Señora
Edna Marcela Ramírez Orozco
Directora de Nuevas Creaciones
Superintendencia de Industria y Comercio
E. S. D.

Referencia: Solicitud de Patente de Invención PCT denominada **"SISTEMA DE PLANIFICACIÓN Y RECOMENDACIÓN DE CAPACIDAD REFERENCIA CRUZADA A SOLICITUDES RELACIONADAS"**

Asunto: Respuesta al oficio No. 13926 del 18 de agosto de 2023

Expediente No. **NC2020/0016116**

Juan Carlos Cuesta Quintero, mayor de edad, identificado como aparece al pie de mí firma, obrando en mi calidad de apoderado de **ARRIS ENTERPRISES LLC** doy respuesta al Oficio No. 13926 del 18 de agosto de 2023, bajo los siguientes términos:

1. De la solicitud de patente

1.1. Título

El examinador objeta el título de la solicitud argumentando que el mismo no refleja el objeto divulgado en la descripción y las reivindicaciones. Con el fin de subsanar la objeción del examinador, el solicitante presenta una nueva memoria descriptiva con el titulo modificado de acuerdo la sugerencia del examinador.

1.2. Reivindicaciones

El examinador objeta la claridad de las reivindicaciones argumentando lo siguiente:

> "*Esta oficina informa que, se sugiere modificar el preámbulo de las reivindicaciones independientes 1 y 16 con el fin que describan el objeto de la invención (Ej: "Un sistema de planificación y recomendación de capacidad referencia cruzada a solicitudes relacionadas, que comprende (…)").*
>
> *Esta oficina informa que, las reivindicaciones 1, 16 y 18 mencionan los términos "uso" (reivs. 1, 16 y 18) y "usar" (reiv. 16), los cuales indican el uso que puede darse al producto reivindicado, lo cual no es una característica técnica que defina a la invención. Se sugiere eliminarlo o realizar las modificaciones correspondientes.*
>
> *Esta oficina informa que, el capítulo reivindicatorio carece de números de referencia. Se sugiere incluir entre paréntesis () los números de referencia de cada uno de los elementos que hacen parte de la invención de acuerdo con la numeración empleada en los dibujos, con el fin, de hacer más fácil la comprensión de la materia reivindicada.*"

Con el fin de subsanar las objeciones del examinador, el solicitante presenta un nuevo capítulo reivindicatorio corregido, en el cual se han eliminado las referencias a los usos y se incluyen las referencias entre paréntesis.

2. Examen de patentabilidad

El examinador objeta la novedad y el nivel inventivo de la presente invención a la luz de las enseñanzas de los documentos EP2701344 (en adelante D1), WO2011149532 (en adelante D2) y US2012137336 (en adelante D3). Con el fin de subsanar las objeciones del examinador, el solicitante presenta las siguientes observaciones y aclaraciones:

El International Preliminary Report on Patentability (IPRP) indicó que las reivindicaciones no eran nuevas a la luz de D1 (EP 2 701 344).

Sin embargo, el solicitante alega respetuosamente que esa interpretación de las reivindicaciones a la luz de D1 es incorrecta. La reivindicación independiente 1 tiene la limitación de *"un primer modelo, el primer modelo de calidad de experiencia (QoE) de al menos un abonado en función de la capacidad de al menos un elemento de red*".

Del mismo modo, la reivindicación 16 establece la limitación de *"utilizar información para modelar la calidad de la experiencia (QoE) de al menos un abonado en función de la capacidad".* Estas limitaciones no se describen en D1.

El (IPRP) cita erróneamente D1 en 0052 y 0065 como aparentemente revelando estas limitaciones, pero estos párrafos no lo hacen.

D1 revela una serie de indicadores clave de rendimiento (KPI), uno de los cuales es la capacidad o "uso por abonado" (que parece reflejar simplemente la demanda de ancho de banda) y otro de los cuales es la calidad de la experiencia. Véase D1 en par. 0040, 0065. Los pasajes que cita el IPRP se limitan a describir la recopilación de estadísticas sobre los

KPI por recurso de red, por ejemplo, el seguimiento de la capacidad por recurso, o la calidad de la experiencia de vídeo por recurso. Lo que no se describe es un modelo que modele la QoE (como la calidad de la experiencia de vídeo) en función de la capacidad. Por lo tanto, las reivindicaciones son nuevas e inventivas respecto a los documentos citados.

3. Conclusiones

En consecuencia y luego de haber presentado los argumentos necesarios y haber realizado las modificaciones pertinentes en el capítulo reivindicatorio de la presente invención, queda evidenciado que la invención cumple con los requisitos de patentabilidad definidos en la Decisión 486 de 2000.

Cordialmente,

Juan Carlos Cuesta Quintero
C.C. 79.339.809 de Bogotá
T.P. 43.273 del C.S. de la J.

Anexos: Comprobante de pago por modificación de la solicitud.
Capítulos descriptivo y reivindicatorio modificados con control de cambios.
Capítulos descriptivo y reivindicatorio modificados en limpio.

~~SISTEMA DE PLANIFICACIÓN Y RECOMENDACIÓN DE CAPACIDAD~~

~~REFERENCIA CRUZADA A SOLICITUDES RELACIONADAS~~SISTEMA, MODELADOR DE TRAFICO Y MÉTODO DE PLANIFICACION Y RECOMENDACIÓN DE CAPACIDAD

REFERENCIA CRUZADA A SOLICITUDES RELACIONADAS

Ninguno

ANTECEDENTES

El objeto de esta solicitud generalmente se refiere a un sistema de ingeniería de tráfico de red para determinar el ancho de banda, potencia de procesamiento u otros requisitos de red para mantener una Calidad de Experiencia (QoE) deseada para cada uno de un grupo de usuarios individuales, o cada conjunto de una pluralidad de conjuntos de usuarios.

La ingeniería de tráfico es un importante esfuerzo que intenta cuantificar los recursos de red (p. ej., capacidad de ancho de banda de enlace, potencia de procesamiento, etc.) necesarios para proporcionar y/o mantener los niveles de Calidad de Experiencia deseados para un solo suscriptor o para un conjunto combinado de suscriptores que comparten enlaces de interconexión en Internet o que comparten recursos de procesamiento en un Servidor. Por ejemplo, la ingeniería de tráfico es útil para determinar el número de enlaces de teléfono necesarios para que los abonados telefónicos compartan un enlace telefónico, o el número de receptores de tonos táctiles que se necesitan en una oficina central para respaldar un conjunto determinado de abonados telefónicos. La ingeniería de tráfico también se puede utilizar para determinar la cantidad de espectro inalámbrico LTE necesario para un conjunto de suscriptores móviles o el tamaño de una celda en un entorno de Red Móvil, para determinar la potencia de procesamiento necesaria en un Núcleo CMTS o la capacidad de ancho de banda Ethernet necesaria en una red Spine/Leaf

[columna/ramificaciones] o la capacidad de ancho de banda DOCSIS necesaria en una planta HFC conectada a un Nodo RPHY para la entrega de Datos de Alta Velocidad a los suscriptores DOCSIS conectados a una única planta HFC. Por lo tanto, la Ingeniería de Tráfico se puede aplicar en una amplia gama de aplicaciones dentro de un gran número de tipos de infraestructura (Voz, Video y Datos) utilizados por un gran número de Proveedores de Servicios (telcos, MSO de Cable y Proveedores Inalámbricos).

La ingeniería de tráfico generalmente combina varios aspectos de la arquitectura del sistema, estadísticas, análisis de costos y factores humanos para determinar la cantidad apropiada de capacidad de ancho de banda o potencia de procesamiento requerida para entregar contenido a los suscriptores con una calidad satisfactoria para ellos. También implica simultáneamente análisis de costes detallados, ya que cualquier solución propuesta también debe ser rentable para el proveedor de servicios y, en última instancia, para los suscriptores. “Mantener satisfechos a los suscriptores” a un coste razonable para ellos es un ejercicio de modelado difícil dada la naturaleza subjetiva de los problemas: ¿Qué tan contentos están los suscriptores hoy? ¿Qué tan contentos se sentirán en el futuro si no se realizan cambios? ¿Qué tan contentos se sentirán en el futuro si se realizan cambios? ¿Cuánta capacidad de ancho de banda o potencia de procesamiento se necesita para mantenerlos contentos?

Es difícil determinar la QoE de cada suscriptor incluso para un momento presente en el tiempo, lo que probablemente requeriría colocar un sensor en las neuronas dentro del cerebro de cada suscriptor, una encuesta minuto a minuto para que cada uno de los suscriptores la rellene para realizar un seguimiento de sus opiniones, o técnicas imposibles, odiosas y/o poco prácticas similares. Es incluso más difícil determinar la QoE que cada suscriptor puede tener en el futuro cuando la aplicación de Internet, los patrones de tráfico y los Acuerdos de Nivel de Servicio han

cambiado; intentar hacerlo mientras se investigan muchas opciones de diseño de red diferentes para el futuro puede hacer que el problema sea aún más complicado. Sin embargo, estos desalentadores cálculos y predicciones son necesarios para dirigir la futura evolución de la red.

Por lo tanto, lo que se desea es un sistema de ingeniería de tráfico mejorado que evalúe con mayor precisión la asignación de recursos de red necesaria para proporcionar y/o mantener una QoE deseada para suscriptores individuales y/o conjuntos de suscriptores.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Para una mejor comprensión de la invención, y para mostrar cómo puede llevarse a cabo, ahora se hará referencia, a modo de ejemplo, a las figuras adjuntas, en las cuales:

La Figura 1 muestra un modelo genérico ilustrativo de contenido CATV descendente que fluye de Internet a un suscriptor.

Las Figuras 2A-2C muestran un procedimiento para calcular el nivel de QoE dado un tamaño del “Grupo de Servicio” del Suscriptor, un conjunto de características de transmisión y la capacidad de ancho de banda disponible.

La Figura 3 ilustra el Mapeo de Suscriptores en Agrupaciones de Tipos de Suscriptores.

La Figura 4A muestra un conjunto de datos hipotéticos con dos atributos donde se puede utilizar un enfoque de agrupación manual para clasificar a los suscriptores en diferentes grupos.

La Figura 4B muestra un conjunto de datos hipotéticos con dos atributos que requiere un clúster automático basado en datos para clasificar a los suscriptores en diferentes grupos.

La Figura 5 muestra los pasos para crear Funciones de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda para cada Suscriptor o Agrupación de Tipo de Suscriptor.

La Figura 6 muestra las Funciones de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda para los suscriptores primero y segundo, y un grupo de servicios compuesto por esos dos suscriptores.

La Figura 7 muestra una Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda para el primer suscriptor de la Figura 6.

La Figura 8 muestra una Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda para el segundo suscriptor de la Figura 6.

La Figura 9 muestra una Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda para el grupo de servicio de la Figura 6.

La Figura 10 muestra una Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda Agregada Final ilustrativa para un “Grupo de Servicio” con 400 suscriptores.

La Figura 11 ilustra un sistema que típicamente muestra altos niveles de QoE.

La Figura 12 ilustra un sistema que típicamente muestra bajos niveles de QoE.

La Figura 13 ilustra el ancho de banda de entrada y el ancho de banda de salida en un CMTS.

La Figura 14 ilustra un sistema donde el ancho de banda real fluctúa para proporcionar a veces una QoE alta y proporcionar a veces una QoE baja.

La Figura 15 muestra un cálculo de una Prob(“Verde”) y una Prob(“Amarilla”) a partir de una Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda Agregada Final y una Capacidad de Ancho de Banda Disponible.

La Figura 16 muestra un método ilustrativo para calcular la capacidad de ancho de banda requerida dado un tamaño de Grupo de Servicio y dado un conjunto particular de características para una mezcla de suscriptores dada y un nivel de QoE dado requerido.

La Figura 17 muestra un método ilustrativo para calcular un tamaño de Grupo de Servicio admisible (Nsub) dada la QoE requerida, la capacidad de ancho de banda disponible real y un conjunto particular de características para una mezcla de suscriptores dada.

La Figura 18 muestra un método ilustrativo para calcular conjuntos de características admisibles para una mezcla de suscriptores dada, tamaño de “Grupo de Servicio”, nivel de QoE requerido y Capacidad de Ancho de Banda Disponible real.

La Figura 19 muestra un método ilustrativo para calcular combinaciones de tamaños permitidas para los grupos de suscriptores y conjuntos particulares de características para esos grupos de suscriptores.

La Figura 20 muestra un método ilustrativo para calcular simultáneamente un tamaño de Grupo de Servicio (Nsub) apropiado y un conjunto de características para ese tamaño de Grupo de Servicio.

La Figura 21 muestra un método ilustrativo para determinar la vida útil de un “Grupo de Servicio”, con y sin una división de nodo.

La Figura 22 ilustra esquemáticamente el flujo de datos en una dirección ascendente.

La Figura 23 ilustra problemas potenciales con información que fluye en la dirección ascendente.

La Figura 24 muestra un sistema ilustrativo que utiliza hardware de caja blanca para realizar una o más funciones descritas en la presente memoria descriptiva.

La Figura 25 muestra una arquitectura de acceso distribuido capaz de implementar modalidades de los sistemas y métodos descritos.

La Figura 26 muestra un sistema de modelado de tráfico adaptativo usado para la planificación de capacidad de acuerdo con una o más modalidades de la presente descripción.

La Figura 27 muestra un modelador de tráfico adaptativo ilustrativo del sistema de la Figura 26.

La Figura 28 muestra un muestreador adaptativo ilustrativo del modelador de la Figura 27.

Las Figuras 29 y 30 muestran las utilizaciones del sistema de la Figura 26.

La Figura 31 muestra un modelador de QoE ilustrativo del sistema de la Figura 26.

La Figura 32 muestra un evaluador de red ilustrativo del sistema de la Figura 26.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

Como se señaló anteriormente, determinar los niveles de QoE existentes y futuros de los suscriptores es una tarea compleja pero necesaria, que normalmente requiere que los ingenieros de tráfico recurran al uso de estimaciones cuantitativas de la satisfacción subjetiva de usuarios individuales. Preferentemente, estas estimaciones cuantitativas se basan en cálculos basados en métricas fáciles de recopilar. Dichas métricas pueden incluir mediciones del ancho de banda versus tiempo, caídas de paquetes versus tiempo y/o retrasos de paquetes versus tiempo, cada uno de los cuales se puede supervisar para un solo suscriptor o para un grupo de suscriptores. En última instancia, la estimación numérica de los niveles de QoE se basa normalmente en cálculos de funciones que combinan dichas métricas alcanzables y comparaciones de los resultados de esas funciones frente a valores umbral que se diferencian respectivamente entre una pluralidad de niveles de QoE.

La mayoría de los métodos de ingeniería de tráfico conocidos hasta la fecha utilizan métricas relativamente simples, fórmulas relativamente simples y valores umbral relativamente simples para definir una QoE adecuada para uno o más suscriptores. Como resultado, la mayoría de los métodos existentes han sido algo imprecisos, y su capacidad para predecir correctamente la capacidad de ancho de banda requerida, u otros recursos de red para el tráfico de Internet, se ve obstaculizada por problemas numerosos e importantes. En primer lugar, los métodos existentes no siempre tienen en cuenta los diferentes patrones de uso del ancho de banda promedio de los

diferentes tipos de suscriptores, es decir, los diferentes suscriptores tienen usos significativamente diferentes para Internet y otros servicios.

En segundo lugar, los métodos existentes no siempre tienen en cuenta los diferentes patrones de uso del ancho de banda pico de los diferentes tipos de suscriptores, es decir, diferentes suscriptores se inscribirán y podrán transmitir ráfagas pico en diferentes niveles. En tercer lugar, los métodos existentes no siempre tienen en cuenta los diferentes tipos de aplicaciones que utilizan los suscriptores, es decir, diferentes aplicaciones utilizadas por diferentes suscriptores pueden consumir ancho de banda de manera muy diferente. En cuarto lugar, los métodos existentes no permiten la creación de varias mezclas de diferentes tipos de suscriptores y aplicaciones al calcular los niveles de Calidad de Experiencia. Por ejemplo, los diferentes mercados pueden tener diferentes combinaciones de suscriptores de gama alta y suscriptores de gama baja, lo que debería reflejarse en los cálculos de QoE, pero hasta la fecha no.

En quinto lugar, es posible tener simultáneamente algunos suscriptores que transmiten a sus niveles máximos, algunos suscriptores que transmiten a niveles moderados y algunos suscriptores que están relativamente inactivos y que no transmiten mucho en absoluto. Sin embargo, los métodos existentes normalmente no tienen en cuenta dichos niveles de transmisión simultáneos y diferentes de varios suscriptores, o lo hacen adecuadamente incluso cuando se realiza tal intento.

En sexto lugar, los métodos existentes no siempre proporcionan un mecanismo para proyectar cambios en los patrones de uso de ancho de banda (por ejemplo, ancho de banda promedio del usuario, ancho de banda máximo del usuario, tipos de aplicaciones, etc.) hacia el futuro o hacia el pasado. Dicho de otra forma, los métodos existentes no ofrecieron medios o apenas ofrecieron

medios para proyectar cambios en los niveles de ancho de banda hacia delante o hacia atrás en el tiempo, pero en su lugar se fijan únicamente en niveles de ancho de banda instantáneos.

En séptimo lugar, los métodos existentes no siempre proporcionan un mecanismo para permitir a los proveedores especificar los niveles de QoE requeridos para sus suscriptores. Por ejemplo, es posible que diferentes proveedores quieran dar niveles de QoE más altos o más bajos a sus suscriptores para que coincidan con lo que ofrecen los competidores, o para que coincidan con el tamaño de los presupuestos financieros del proveedor en particular. Como otro ejemplo, es posible que algunos proveedores deseen permitir diferentes niveles de QoE para diferentes grupos de suscriptores. Por consiguiente, niveles de QoE objetivos deberían en algunos casos ser una entrada para una o más funciones de ingeniería de tráfico, pero los métodos existentes no proporcionan dicha flexibilidad.

En octavo lugar, los métodos existentes no siempre son aplicables a grupos de suscriptores mayores o menores que el número típico de suscriptores utilizado, es decir, Operadores de Múltiples Sistemas (MSO) solo utilizarían fórmulas precisas para grupos de suscriptores de “Grupo de Servicio” cuyos tamaños fueran inferiores a aproximadamente 400 suscriptores, y, por lo tanto, impidieron que las fórmulas se usaran en otras aplicaciones en las que eran habituales más suscriptores, como una aplicación donde 40,000 suscriptores están conectados a un sistema I-CMTS, o 20,000 suscriptores están conectados a un conmutador Ethernet o a un Grupo de Servicio de Profundidad de Fibra con 50 suscriptores o menos.

En noveno lugar, los métodos existentes no siempre proporcionan un mecanismo para predecir el nivel real de experiencia del usuario, por ejemplo, los niveles de ancho de banda esperados versus tiempo, a partir de sus fórmulas simples. Por el contrario, los métodos existentes tienden

a ser de naturaleza binaria (buena o mala), ignorando la realidad de que la Calidad de Experiencia es un continuo.

En décimo lugar, los métodos existentes no siempre proporcionan orientación sobre las muchas rutas que un proveedor podría tomar para proporcionar un nivel de Calidad de Experiencia deseado. Por último, los métodos existentes no siempre utilizan técnicas que puedan aplicarse a diferentes tipos de tráfico, es decir, una técnica ideal podría aplicarse a muchos tipos de tráfico diferentes, incluido el tráfico de Internet, el tráfico de voz, el tráfico de video y cualquier combinación de estos tipos de tráfico. En duodécimo lugar, los métodos existentes pueden no ser siempre aplicables a las características únicamente diferentes del Tráfico Descendente y Ascendente, lo cual es importante, ya que ambos existen en el mundo real.

En la memoria descriptiva, los dibujos, y las reivindicaciones, los términos “ruta de reenvío” y “vía descendente” pueden usarse indistintamente para referirse a una ruta desde Internet o proveedor al usuario final o suscriptor. Por el contrario, los términos “ruta de retorno”, “ruta inversa” y “vía ascendente” pueden usarse indistintamente para referirse a una ruta de un usuario final o suscriptor a Internet o a un proveedor.

Para ilustrar las diversas deficiencias de los métodos de ingeniería de tráfico existentes descritos anteriormente, considere un entorno MSO ilustrativo donde los ingenieros de tráfico de MSO históricamente han sido encargados de determinar la cantidad mínima de Capacidad de Ancho de Banda de DOCSIS de datos de Alta Velocidad total (medida en Mbps) requerida para mantener niveles de Calidad de Experiencia “aceptables” en un conjunto particular de suscriptores, que juntos deben compartir esa Capacidad de Ancho de Banda dentro de un “Grupo de Servicio”. Estos “Grupos de Servicio” se definen normalmente como los suscriptores conectados a un único

puerto descendente CMTS, con uno o más puertos ascendentes asociados. Los suscriptores residen en los enlaces coaxiales de un sistema Híbrido de Fibra Coaxial (HFC) que emana de un único Nodo de Fibra Óptica, que convierte las señales ópticas de una fibra en señales de RF en un cable coaxial. Un Grupo de Servicio de CMTS (SG) puede abarcar varios Nodos de Fibra Óptica. De forma alternativa, un único Nodo de Fibra Óptica puede segmentarse utilizando varias longitudes de onda y contener varias SG de CMTS.

Por lo general, se asume que los suscriptores dentro del “Grupo de Servicio” se caracterizan por los siguientes parámetros: (a) el número de suscriptores que comparten la capacidad de ancho de banda dentro de un “Grupo de Servicio” se proporciona por el valor de Nsub; (b) los suscriptores están consumiendo un ancho de banda promedio por suscriptor ocupado por hora de Tavg (medido en Mbps); y (c) cada uno de los suscriptores está suscrito a uno de los diversos anchos de banda disponibles del Acuerdo de Nivel de Servicio (SLA) (medidos en Mbps) que limitan los niveles máximos de ancho de banda de sus transmisiones. Estos SLA se definen por los niveles máximos de ancho de banda ofrecidos a los suscriptores. El Tmáx es el parámetro DOCSIS que controla el ancho de banda pico y normalmente se establece en un valor ligeramente mayor (por ejemplo, +10%) que los anchos de banda pico asociados con el SLA de los clientes, para tener en cuenta las sobrecargas de red. Los distintos anchos de banda picos de SLA pueden identificarse mediante valores dados por Tmax_1, Tmax_2, ..., Tmax_max (donde Tmax_1 < Tmax_2 < ... < Tmax_max. Por lo tanto, Tmax_max es el Acuerdo de Nivel de Servicio más alto con el nivel máximo de ancho de banda admisible.

Obviamente, la cantidad de Capacidad de Ancho de Banda ofrecida al grupo de suscriptores de Nsub debe ser al menos suficiente para mantener los niveles máximos de ancho de banda que consumirá un solo suscriptor activo. Sin embargo, también se esperaría que más de un suscriptor

pudiera estar activo simultáneamente. Por lo tanto, sería preferible determinar cuántos de los suscriptores del grupo de servicio podrían estar activos simultáneamente. En teoría, es posible que todos los Nsub de los suscriptores puedan estar activos simultáneamente, y si un MSO desea proporcionar una Capacidad de Ancho de Banda adecuada para respaldar a todos sus suscriptores simultáneamente, pasando el ancho de banda a su velocidad máxima permitida, el MSO podría hacerlo. Sin embargo, eso sería muy caro, y la probabilidad de que se produzca esa circunstancia, es decir, todos los números Nsub de suscriptores que transmiten a su velocidad máxima al mismo tiempo, es tan baja que la solución resultante se consideraría sobrediseñada y demasiado cara para su aplicación. Como resultado, es probable que haya un nivel de simultaneidad en algún lugar entre el primer extremo o solo un suscriptor que utilice ancho de banda en cualquier momento dado y el segundo extremo de todos los suscriptores simultáneamente utilizando el ancho de banda máximo que es el objetivo de diseño adecuado. Encontrar esta solución “intermedia” es, aunque desafiante, una de las tareas necesarias de un Ingeniero de Tráfico de MSO y requiere que el Ingeniero de Tráfico de MSO especifique un nivel de Calidad de Experiencia que se considere viable y adecuado para mantener satisfechos a los suscriptores durante un porcentaje de tiempo razonable.

Históricamente, los Ingenieros de Tráfico de MSO utilizaban fórmulas de regla general simples para determinar la cantidad de Capacidad de Ancho de Banda necesaria para un “Grupo de Servicio” concreto. Algunas de las fórmulas que se han utilizado incluyen:

(a) Capacidad de Ancho de Banda requerida = Nsub*Tavg

(b) Capacidad de Ancho de Banda requerida = 2*Tmax_max

(c) Capacidad de Ancho de Banda requerida = 3*Tmax_max

(d) Capacidad de Ancho de Banda requerida = 1.43*Nsub*Tavg

Esta última fórmula (d) hace que los MSO añadan más Capacidad de Ancho de Banda al Grupo de Servicio siempre que el nivel medio de uso de ancho de banda del Grupo de Servicio se aproxime al ~70 % de la Capacidad de Ancho de Banda disponible. El MSO podría reducir alternativamente el tamaño del Grupo de Servicio, por ejemplo, “nodos divididos”, reduciendo el componente de Nsub para aumentar la Capacidad de Ancho de Banda por Suscriptor.

Además, los presentes inventores presentan la siguiente fórmula, que proporciona buenos resultados para los “Grupos de Servicio” con un tamaño de varios cientos de suscriptores:

(e) Capacidad de Ancho de Banda requerida = Nsub*Tavg + K*Tmax_max

Donde el parámetro K es un coeficiente QoE, y se ha descubierto que un valor de K = 1.2 funciona bien para varios cientos de suscriptores.

Los expertos en la técnica reconocerán que las cinco fórmulas descritas anteriormente pueden avanzar hacia adelante y hacia atrás en el tiempo al recalcular los valores de Nsub y Tavg y Tmax_max que se encuentran en diferentes puntos en el tiempo. Sin embargo, estas fórmulas, a pesar de ello, sufren de otras de las doce deficiencias enumeradas anteriormente. Por lo tanto, existe una necesidad dentro del campo de la ingeniería de tráfico de red de encontrar una técnica aceptable que identifique la capacidad de ancho de banda requerida para un grupo de servicio en un entorno de Proveedor de Servicios, a la vez que evita las doce áreas problemáticas enumeradas anteriormente. Esta nueva técnica beneficiaría enormemente a los ingenieros de tráfico de redes de todos los campos y sectores, p. ej., Telco, MSO, Wireless, etc. Además de las fórmulas simplificadas definidas anteriormente, ha habido otros intentos de definir fórmulas para predecir las capacidades de ancho de banda necesarias para varios tipos de tráfico. Las fórmulas más famosas son las desarrolladas por Erlang y Engstad, que se utilizan principalmente para predecir las Capacidades de Ancho de Banda requeridas para el tráfico de voz para llamadas

telefónicas. Estas fórmulas introdujeron la noción de una “probabilidad de bloqueo”, que permite al ingeniero de tráfico especificar un nivel de QoE aceptable. En este caso, la QoE estaba vinculada exclusivamente a la probabilidad de que se bloqueara la llamada telefónica marcada antes de ser completada. Aunque estas fórmulas, y otras como ellas, son (y pueden seguir siendo) herramientas útiles para los ingenieros de tráfico, cada una tiene varias deficiencias para las aplicaciones de los ingenieros de tráfico modernos. En primer lugar, parecen ser solo aplicables al tráfico de voz. Los intentos de modificarlos para utilizarlos para otros tipos de tráfico, por ejemplo, datos de video y de alta velocidad, solo han tenido éxito parcialmente, en el mejor de los casos.

Además, estas fórmulas suelen hacer muchas suposiciones simplificadoras sobre la naturaleza del tráfico que no necesariamente coinciden con las estadísticas de video del mundo real y el tráfico de datos y voz de alta velocidad de hoy en día. Por ejemplo, algunas de las derivaciones de fórmulas asumen un número infinito de suscriptores. Las fórmulas a veces presuponen que todos los suscriptores tienen características idénticas, a veces asumen que hay una distribución de Poisson que describe el número de llamadas que llegan en una ventana de tiempo determinada y a veces asumen que la función de densidad de probabilidad asociada con el intervalo de tiempo entre llegadas de llamadas es exponencial. Aunque todas estas suposiciones llevan a simplificaciones en las matemáticas asociadas y permiten desarrollar soluciones de forma cerrada, que, ciertamente, son muy útiles, las estadísticas de las cargas de tráfico que asumen estas fórmulas a menudo no coinciden con las estadísticas de las cargas de tráfico del mundo real típicas. Este problema se agrava cuando estos tipos de fórmulas se utilizan para predecir los niveles de capacidad de ancho de banda requeridos para el tráfico que no sea de voz, es decir, para el tráfico de datos de Internet de alta velocidad y video.

Concretamente, en lo que respecta al tráfico de datos, no existe un único evento que resulte en una condición de “bloqueo” en la que se niegue el servicio; más bien, la congestión conduce a una reducción del rendimiento y a un aumento de las latencias y una degradación gradual de la QoE. Por lo tanto, el ingeniero de tráfico necesita determinar la degradación aceptable para la aplicación de datos, por lo que no es el escenario binario presentado en aplicaciones de telefonía tradicionales.

Los sistemas y métodos novedosos descritos dentro de la presente memoria descriptiva, abordan las dificultades anteriores de manera mucho más flexible que los sistemas y métodos existentes. Los sistemas y métodos descritos en la presente descripción preferentemente tienen alguna o todas las siguientes características. En primer lugar, los sistemas y métodos descritos preferentemente no ajustan por la fuerza los flujos de tráfico a una distribución estadística particular (como una distribución de Poisson) simplemente porque es fácil de usar. En cambio, los sistemas y métodos descritos utilizan preferentemente técnicas analíticas que miden distribuciones estadísticas que corresponden a flujos de tráfico reales en el pasado o en el presente, o probablemente, de hecho, flujos de tráfico futuros extrapolados de distribuciones estadísticas medibles actualmente.

En segundo lugar, los sistemas y métodos descritos utilizan preferentemente métricas fáciles de observar y de medir para especificar los niveles de QoE experimentados por los suscriptores.

En tercer lugar, los sistemas y métodos descritos proporcionan preferentemente soluciones implementables mediante el uso de cualquiera de uno o más de los siguientes enfoques:

(1) calcular el nivel de QoE dado un tamaño de Grupo de Servicio (Nsub) y dado un conjunto particular de características (por ejemplo, Tavg, Tmáx y tipo de aplicación) para una mezcla de suscriptores dada y una capacidad de ancho de banda disponible real dada;

(2) calcular la capacidad de ancho de banda requerida dado un tamaño de Grupo de Servicio (Nsub) y dado un conjunto particular de características (por ejemplo, Tavg, Tmáx y tipo de aplicación) para una mezcla de suscriptores dada y un nivel de Calidad de Experiencia requerido dado;

(3) calcular el tamaño de Grupo de Servicio admisible (Nsub) dado el nivel de Calidad de Experiencia requerido y dada la Capacidad de Ancho de Banda Disponible y dado un conjunto particular de características (por ejemplo, Tavg, Tmáx y tipo de aplicación) para una mezcla de suscriptores dada;

(4) calcular conjuntos de características admisibles (por ejemplo, Tavg, Tmáx y tipos de aplicación) para una mezcla de suscriptores dada y un tamaño de “Grupo de Servicio” dado (Nsub), un nivel de Calidad de Experiencia requerido dado y una Capacidad de Ancho de Banda Disponible real dada;

(5) calcular un conjunto de tamaños de Grupo de Servicio permitidos (valores de Nsub) junto con un conjunto “minimalista” de características (Tavg, Tmáx y tipos de aplicaciones) para una combinación de suscriptores determinada, nivel de QoE requerido y Capacidad de Ancho de Banda Disponible real; y

(6) calcular un tamaño de Grupo de Servicio (valor de Nsub) junto con un conjunto de características (Tavg, Tmáx y tipos de aplicaciones) que satisfacen una regla deseada para una combinación de suscriptores determinada, nivel de QoE requerido y Capacidad de Ancho de Banda Disponible real.

En cuarto lugar, los sistemas y métodos descritos proporcionan preferentemente soluciones que abordan cualquiera de uno o más de los problemas identificados anteriormente con respecto a los métodos de ingeniería de tráfico existentes. En particular, los sistemas y métodos descritos preferentemente:

(a) permiten que diferentes suscriptores tengan diferentes niveles de ancho de banda promedio, como lo hacen en el mundo real;

(b) permiten que diferentes suscriptores tengan diferentes niveles máximos de ancho de banda, como lo hacen en el mundo real;

(c) permiten que diferentes suscriptores ejecuten diferentes aplicaciones que tengan niveles de uso de ancho de banda diferentes, como lo hacen en el mundo real;

(d) permiten mezclas de diferentes tipos de suscriptores y tipos de aplicaciones a ser combinados dentro de un “Grupo de Servicio”, ya que existen diversas mezclas en el mundo real;

(e) permiten un modelado preciso de los niveles de simultaneidad entre las mezclas de suscriptores y tipos de aplicaciones, para imitar el mundo real;

(f) permiten cálculos (como la capacidad de ancho de banda requerida) que se deben realizar para todos los puntos a lo largo de una línea temporal en lugar de realizarse solo para el presente;

(g) permiten a los proveedores especificar niveles de QoE que se ajusten a sus propias necesidades y restricciones, para imitar el mundo real;

(h) permiten cálculos que pueden aplicarse a cualquier Grupo de Servicio de cualquier tamaño, haciendo, de este modo, que dichos cálculos sean útiles para predecir las capacidades de ancho de banda requeridas para muchos componentes de red diferentes, independientemente del tamaño;

(i) permiten cálculos para vincular los niveles de QoE a experiencias del mundo real, para predecir lo que realmente experimentará el usuario;

(j) permiten cálculos para especificar muchas rutas diferentes que los proveedores pueden utilizar para corregir cualquier problema de QoE, como añadir ancho de banda, reducir suscriptores, reorganizar la mezcla de suscriptores, etc.

(k) permiten cálculos que se pueden utilizar para cualquier tipo de tráfico, p. ej., voz, video, datos de alta velocidad, etc.; y

(l) permiten cálculos que se pueden utilizar para el tráfico descendente y ascendente, como en el mundo real.

Preferentemente, algunas modalidades de los sistemas y métodos descritos logran todos los objetivos anteriores.

La presente descripción describirá inicialmente una modalidad posterior al enfoque (1) anterior, con respecto al tráfico descendente que fluye desde Internet al suscriptor. El enfoque (1) calcula el nivel de QoE dado un tamaño de “Grupo de Servicio” (Nsub) y dado un conjunto particular de características (Tavg, Tmáx y tipo de aplicación que están siendo utilizados) para una mezcla de suscriptores dada y una capacidad de ancho de banda disponible real dada. Posteriormente, la presente descripción describirá cómo el enfoque (1) puede modificarse ligeramente para respaldar los enfoques (2), (3) y (4). La descripción también destacará cómo se puede modificar ligeramente este método para respaldar el Tráfico Ascendente.

La Figura 1 muestra un modelo genérico 10 del tráfico descendente de Internet 12 a una pluralidad de suscriptores 14, a medida que el tráfico pasa a través de un conjunto de elementos de red, incluyendo el enrutador 16 y CMTS 18, en su camino hacia un recurso compartido particular, por ejemplo, un enlace de salida 20 que emana de ese CMTS. En particular, el modelo genérico ilustrado 10 muestra el tráfico descendente que fluye hacia un CMTS 18 que luego dirige, pone en cola y programa flujos de paquetes que llegan al CMTS a un enlace DOCSIS de

salida 20 individual compartido por doscientos suscriptores 14 (Nsub) a través de un nodo de fibra 22.

A partir de esta cifra se puede ver que el tráfico que se transmite desde Internet 12 en un enlace de alta velocidad de 100 Gbps fluye al enrutador 16. A continuación, el tráfico se transmite desde el Enrutador 16 en un enlace de alta velocidad de 10 Gbps que fluye al CMTS 18. El CMTS 18 tiene varios (por ejemplo, cien) dominios DOCSIS MAC que tienen canales DOCSIS dentro de estos. El CMTS 18 dirigirá algunos de los paquetes al dominio MAC 1. Se puede ver que este dominio MAC en particular crea un cuello de botella potencial en la dirección descendente, ya que hay aproximadamente 864 Mbps de capacidad de ancho de banda compartida en los canales DOCSIS descendentes de 24 enlaces que emanan del dominio MAC 1. Los 24 canales DOCSIS en el dominio MAC alimentan los módems de cable subtendido, que, en este ejemplo, son doscientos, cada uno de los cuales comparte la capacidad de ancho de banda dentro de ese Dominio MAC. Como resultado, el CMTS 18 debe dirigir, poner en cola y programar paquetes para los suscriptores de forma adecuada.

Dado que las ráfagas que superan los 864 Mbps pueden producirse periódicamente en el CMTS 18, debido a las llegadas de paquetes a alta velocidad en la interfaz de 10 Gbps, la cola es una función crítica realizada por el CMTS 18. A veces, las velocidades de llegada de paquetes transitorios que se producen en la interfaz de 10 Gbps del CMTS 18 pueden ser tan altas que las colas del CMTS 18 se desbordan, o los retrasos de paquetes incurridos en las colas se vuelven demasiado grandes. En estos casos, el CMTS 18 puede elegir la caída realmente de paquetes, lo que desencadena un mecanismo de retroalimentación dentro de TCP que debería limitar las velocidades de transmisión en la fuente TCP dentro de Internet 12. La QoE del suscriptor está íntimamente vinculada a estas operaciones de cola de paquetes y caída de paquetes del CMTS

18, porque las experiencias de un suscriptor están fuertemente impulsadas por retrasos de paquetes, caídas de paquetes y el ancho de banda TCP resultante que está impulsado por los mecanismos de retroalimentación TCP que transportan la información de retraso y caída a la fuente TCP (a través de TCP ACK).

A un nivel fundamental, los métodos y sistemas descritos en esta memoria descriptiva se basan en la capacidad de supervisar el ancho de banda (como función de tiempo) para cada uno de los suscriptores dentro de un “grupo de servicio”. El “grupo de servicio” que se está evaluando puede variar. En el ejemplo mostrado en la Figura 1, se define que son los doscientos suscriptores que comparten los canales DOCSIS unidos que emanan del CMTS 18. Por lo tanto, en ese caso, es útil definir cuánta capacidad de ancho de banda se requiere (y cuántos canales DOCSIS se requieren) para proporcionar una buena QoE a los doscientos suscriptores que comparten esa capacidad de ancho de banda.

De forma alternativa, el “grupo de servicio” puede definirse como todos los suscriptores conectados a todos los Dominios MAC gestionados por el CMTS 18 o una hoja dentro del CMTS 18. Si, por ejemplo, el CMTS 18 administra 100 Dominios MAC y cada Dominio MAC tiene doscientos suscriptores, entonces este “grupo de servicio” con alcance CMTS consistiría en los 100*200=20,000 suscriptores asociados al CMTS 18. En ese caso, sería útil definir cuánta capacidad de ancho de banda se requiere (y cuántos enlaces de 10 Gbps se requieren) en la interfaz entre el CMTS 18 y el enrutador 16.

De forma alternativa, el “grupo de servicio” puede definirse como todos los suscriptores conectados a un enrutador en Internet. Si, por ejemplo, el enrutador 16 dirige paquetes a 10 de dichos CMTS 18, donde cada CMTS 18 administra 100 Dominios MAC y cada dominio MAC tiene

doscientos suscriptores, entonces este “grupo de servicio” con alcance de enrutador consistiría en los 10*100*200=200,000 suscriptores asociados al enrutador 16. En ese caso, sería útil definir cuánta capacidad de ancho de banda se requiere (y cuántos enlaces de 100 Gbps se requieren) en la interfaz entre el enrutador 16 y la Internet 12.

Obviamente, se requerirá más capacidad de ancho de banda para el enrutador 16 (con 200 000 suscriptores) que el CMTS 18 (con 20 000 suscriptores), y más capacidad de ancho de banda requerida para el CMTS 18 (con 20 000 suscriptores) que el dominio DOCSIS MAC (con 200 suscriptores). Pero se puede apreciar fácilmente que las capacidades de ancho de banda requeridas no escalan linealmente con el número de suscriptores, es decir, la capacidad de ancho de banda del CMTS 18 no será igual a cien veces la capacidad de ancho de banda del dominio DOCSIS MAC, aunque el CMTS 18 tenga cien veces más suscriptores que el dominio DOCSIS MAC. Esto se debe principalmente al hecho de que la probabilidad de que un pequeño número de suscriptores reciba simultáneamente datos descendentes es mucho mayor que la probabilidad de que un gran número de suscriptores reciba simultáneamente datos descendentes. Este hecho es una de las razones clave por las que los sistemas y métodos descritos en esta memoria descriptiva son tan útiles; permiten a los ingenieros de tráfico determinar realmente las capacidades de ancho de banda requeridas para estos “grupos de servicio” de diferentes tamaños.

Por lo tanto, los sistemas y métodos descritos en esta memoria descriptiva son bastante versátiles y se pueden utilizar para especificar las capacidades de ancho de banda requeridas en muchas ubicaciones diferentes en una red de transmisión de datos de un proveedor a un suscriptor, o cliente, por ejemplo, enrutadores de red de retorno grandes, enrutadores empresariales pequeños, etc. En general, es beneficioso poder evaluar la capacidad de ancho de banda

requerida para una QoE determinada o, a la inversa, el nivel de QoE para una capacidad de ancho de banda determinada. Al recopilar y procesar información de ingeniería de tráfico, por ejemplo, paquetes de datos, a medida que dicha información ingresa o sale de un CMTS (o CCAP), se pueden determinar modelos estadísticos de QoE de clientes como una función de parámetros de ingeniería de tráfico como ancho de banda, tamaño del grupo de servicio, etc. Las diferentes restricciones del mundo real utilizarán, como se ha indicado anteriormente, diferentes conjuntos de datos recopilados. Por ejemplo, los datos que se introducen en un CMTS 18 desde el enrutador 16 son más relevantes para determinar el ancho de banda o la QoE necesarios para todos los grupos de servicio atendidos por el CMTS 18, mientras que los datos que salen del CMTS 18 hacia el transporte óptico 20 son más relevantes para determinar el ancho de banda o la QoE necesarios para los grupos de servicio atendidos por la línea de transmisión desde el CMTS 18 hacia el transporte óptico 20. Los sistemas y métodos descritos en la presente descripción son útiles para cada una de estas aplicaciones.

Para ilustrar la utilidad del sistema y los métodos revelados, la memoria descriptiva describirá primero un procedimiento para calcular, en la dirección descendente, el tipo de solución previamente identificado como solución/enfoque (1), es decir, calcular el nivel de QoE dado un tamaño de “grupo de servicio” (Nsub), un conjunto particular de características (Tavg, Tmáx y tipo de aplicación) para una mezcla de suscriptores, y la capacidad de ancho de banda disponible real. A continuación, la memoria descriptiva describirá los procedimientos para calcular los tipos de solución (2), (3) y (4) en la dirección descendente. Por último, la memoria descriptiva describirá cómo se puede modificar cada uno de estos procedimientos para la dirección ascendente.

Solución (1) en la Dirección Descendente

La solución 1 calcula preferentemente el nivel de Calidad de Experiencia teniendo en cuenta el tamaño del “grupo de servicio” (Nsub), un conjunto particular de características (Tavg, Tmáx y tipo de aplicación) para una mezcla de suscriptores y la capacidad de ancho de banda real disponible. Las Figuras 2A-2C generalmente muestran un procedimiento 100 que logra este cálculo.

Ejemplo de uso del ancho de banda por suscriptor

Con referencia específicamente a la Figura 2A, el primer paso 102 es el muestreo de los niveles de uso de ancho de banda por suscriptor como una función del tiempo, con granularidad temporal de grano fino. Este paso recopila preferentemente información sobre cómo los suscriptores utilizan su ancho de banda en este momento. Las estadísticas actuales resultantes asociadas con estas muestras se utilizarán finalmente para predecir las estadísticas futuras (o pasadas) para los suscriptores en diferentes momentos en el tiempo, y esa información se utilizará para calcular las capacidades de ancho de banda necesarias dentro del Dominio DOCSIS MAC.

Estas muestras de uso de ancho de banda por suscriptor se pueden recopilar en cualquiera de los varios puntos en la ruta del flujo de datos. Idealmente, las muestras del uso del ancho de banda para estos flujos de paquetes descendentes se toman antes de que los flujos de paquetes encuentren cualquier cuello de botella importante de la red donde los retrasos de paquetes o las caídas de paquetes sean significativos. La ubicación ideal para recoger estas muestras sería en los muchos servidores de Internet donde se origina el tráfico. Sin embargo, esto no es práctico, por lo que las muestras pueden recogerse además por vía descendente cerca de los suscriptores en puntos justo antes de que se identifiquen los cuellos de botella (con retrasos de paquetes y caídas de paquetes) como probables de producirse. En el sistema de ejemplo que se muestra en

la Figura 1, por ejemplo, determinar los requisitos de capacidad de ancho de banda para el dominio DOCSIS MAC probablemente se lograría prácticamente mediante la recolección de las muestras de uso de ancho de banda por suscriptor en el enlace de 10 Gbps en el CMTS 18. Los expertos en la materia reconocerán que las muestras podrían recogerse en el enlace de 100 Gbps en el enrutador 16 sin sesgo significativo de los datos de retrasos de paquetes y pérdidas de paquetes que podrían producirse en el CMTS 18.

Además, la red de acceso como la capacidad DOCSIS, la capacidad inalámbrica, la capacidad DSL, la capacidad G.Fast o la capacidad Ethernet que alimenta a las empresas domésticas en el enlace Last Hop a menudo tienden a formar un gran cuello de botella para flujos de paquetes descendentes. La capacidad WiFi que dirige los paquetes a través de un hogar o edificio empresarial particular también forma un gran cuello de botella para los flujos de paquetes descendentes. Cualquier ubicación “norte” de estos cuellos de botella puede servir como una ubicación adecuada para tomar muestras de los datos. Una de las ubicaciones más populares sería dentro del CMTS o eNodoB o DSLAM o Punto de Distribución G.Fast, o en los enrutadores situados al norte de estos enlaces Last Hop, porque estos elementos son algunos de los últimos elementos de la red a través de los cuales pasarán los paquetes antes de atravesar los principales cuellos de botella (y experimentar posibles retrasos de paquetes y caída de paquetes). La medición de los flujos de paquetes antes de que se produzcan estos retrasos y caídas ayuda a obtener resultados más precisos para el método descrito en la presente memoria descriptiva. Más adelante en la memoria descriptiva, cuando se divulgan sistemas y técnicas pertenecientes al tráfico ascendente, la descripción también mostrará formas en las cuales las muestras pueden tomarse dentro de las regiones con cuellos de botella de la red, sin embargo, puede haber más errores y aproximaciones más grandes en las respuestas resultantes producidas por los sistemas y métodos descritos.

El período de muestreo apropiado Ts (la ventana temporal entre muestras sucesivas del ancho de banda promedio) puede determinarse caso por caso. Los períodos de muestreo más largos llevan a que se recopilen menos datos y, por lo tanto, facilitan el almacenamiento y procesamiento de los datos, pero, por el contrario, pueden dificultar la “visualización” de ráfagas de ancho de banda que son típicas de muchas aplicaciones de Internet actuales. Por ejemplo, considere una ráfaga de ancho de banda de 1 Gbps que se produce durante 1 segundo y, a continuación, permanece silenciosa durante 99 segundos. Una ventana de muestra de 100 segundos no “verá” realmente la existencia de la ráfaga de ancho de banda de 1 Gbps. En su lugar, mediría 1 Gbits de datos transmitidos en un intervalo de tiempo de 100 segundos y calcularía que el ancho de banda promedio es de 1 Gbits/100 segundos = 10 Mbps. Esa es una medición y caracterización del canal bastante diferente a la que realmente se produjo en el canal. Los períodos de muestreo más cortos conducen a más datos recopilados y conllevan más requisitos de procesamiento y hardware, pero las muestras cortas permiten realmente “ver” ráfagas de ancho de banda cortas.

Los presentes inventores han evaluado que, para los sistemas de red de datos existentes, los períodos de muestreo de un segundo (es decir, Ts=1), o menos, son adecuadamente cortos. Esto permite al sistema “ver” los períodos de ráfaga típicos que se producen para las actividades de navegación web (donde las páginas web suelen tardar ~1 segundo en descargarse), para las transferencias de segmentos de video IP (donde los segmentos se suelen transferir en ráfagas de 2 a 10 segundos) y para las descargas de archivos (donde el flujo continuo de paquetes TCP suele ocupar fácilmente un segundo de tiempo). Por lo tanto, las interacciones entre estos diferentes tipos de aplicaciones también tienden a ocurrir durante períodos de Ts=1segundo. Es bastante posible que las aplicaciones futuras y los anchos de banda de red futuros aceleren estas interacciones, de modo que los períodos de muestreo para este método puedan necesitar reducirse. Sin embargo, en la actualidad, pueden ser preferibles muestras de 1 segundo. En

consecuencia, en algunas modalidades preferidas, el resultado de la etapa 102 es capturar el ancho de banda promedio consumido por cada suscriptor dentro de cada ventana de muestreo de 1 segundo. El ancho de banda promedio en un intervalo de 1 segundo se puede obtener monitorizando todos los paquetes que pasan (y sus longitudes asociadas) durante ese intervalo de 1 segundo. Al final de cada segundo, las longitudes asociadas (en bits) para todos los paquetes que se transmitieron a un suscriptor particular durante esa ventana de 1 segundo se pueden sumar, y la suma resultante (en bits) se puede dividir por el período de muestreo (que resulta ser de 1 segundo) para determinar el ancho de banda promedio transmitido a ese suscriptor particular durante esa ventana de 1 segundo.

La recogida de muestras debería realizarse en tantos suscriptores como sea posible. Además, el número de muestras por suscriptor debería ser bastante grande para producir resultados estadísticamente significativos en funciones de densidad de probabilidad que se crean en pasos posteriores. Esta actividad de muestreo se puede realizar en todo momento a lo largo del día para ver el promedio de las estadísticas. También se puede hacer a una hora específica del día para ver las estadísticas particulares para esa hora del día en particular. En algunas modalidades preferidas, las muestras se recogen solo durante la “ventana ocupada” (por ejemplo, de 8 p.m. a 11 p.m.) cuando los niveles de actividad del suscriptor están en su máximo. Se pueden tomar muestras sucesivas de muchos días sucesivos para proporcionar un número adecuado de muestras para el análisis. Para ver las tendencias, se pueden tomar grupos de muestras en un mes y, a continuación, repetirse X meses más tarde para ver cualquier cambio que pueda estar ocurriendo. Siempre que se realiza el muestreo, el muestreo se puede realizar en todos los suscriptores a la vez, o puede realizar un “round-robin” entre grupos más pequeños de suscriptores, trabajando en un pequeño grupo de suscriptores durante una hora y luego pasar a otro pequeño grupo de suscriptores en la próxima hora. Esto puede reducir la cantidad de

procesamiento necesaria para realizar el muestreo dentro del Elemento de Red, pero también aumenta el tiempo total necesario para recoger los recuentos de muestras adecuados para todos los suscriptores.

El muestreo se puede realizar utilizando cualquiera de las diversas técnicas. En una modalidad, los contadores de octetos pueden usarse para contar el número de paquetes que pasan a través del Elemento de Red para cada suscriptor. El contador de octetos se incrementa por el número de octetos en un paquete cada vez que pasa un paquete para el suscriptor en particular. Ese contador de octetos se puede entonces muestrear una vez por segundo. Los valores de recuento de octetos muestreados de cada tiempo de muestra sucesivo de 1 segundo se pueden almacenar en una memoria. Después de recoger un número determinado de muestras, los contadores de octetos muestreados se pueden almacenar en la memoria persistente y, a continuación, se puede repetir el proceso. Después de que todos estos valores de recuento de octetos se hayan almacenado en la memoria persistente durante el periodo de tiempo ocupado (8 p.m. a 11 p.m. por la noche), se puede realizar el procesamiento posterior de las muestras persistentes. El posprocesamiento simplemente restaría valores sucesivos entre sí para determinar el valor de octeto delta (en unidades de octetos) para cada período de muestreo de 1 segundo. Ese valor de octeto delta se puede multiplicar entonces por 8 para crear el valor de bit delta (en unidades de bits) para cada período de muestreo de 1 segundo. Ese valor de bits delta puede dividirse entonces por el período de muestreo (que en este caso es 1 segundo) para crear el ancho de banda promedio (en unidades de bits por segundo) para cada período de muestreo de 1 segundo. Esto crea un vector de valores de ancho de banda promedio (en unidades de bits por segundo y muestreado a intervalos de 1 segundo) para cada suscriptor.

Suscriptores del grupo

Con referencia aún a la Figura 2A, el paso 104 agrupa a los suscriptores en diferentes grupos, cada grupo define un tipo de suscriptor único. Una vez que el vector de muestras de ancho de banda promedio (en unidades de bits por segundo) está disponible para cada suscriptor (como resultado de la ejecución del paso anterior), los suscriptores deben estar separados y agrupados en diferentes grupos que definan tipos de suscriptores únicos. Esto se hace determinando primero al menos tres atributos diferentes para cada uno de los suscriptores: Tmáx, Tavg y la naturaleza de las aplicaciones utilizadas por el suscriptor. Tmáx puede ser el Nivel Máximo de Ancho de Banda del Acuerdo de Nivel de Servicio para cada suscriptor respectivo. El Tavg puede ser el ancho de banda promedio para cada suscriptor respectivo, que puede calcularse sumando todos los valores de muestra de ancho de banda promedio para el suscriptor y dividiendo por el número de valores de muestra. La naturaleza de las aplicaciones utilizadas por el suscriptor puede ser en una modalidad preferida la “Relación Activa de la Aplicación” promedio de las aplicaciones, que se define como la fracción de muestras de 1 segundo donde las aplicaciones del suscriptor estaban activas (con ventanas de 1 segundo que tienen anchos de banda promedio que son sustancialmente mayores que cero). Se debe entender que una métrica relacionada es la “Relación Silenciosa de la Aplicación” de las aplicaciones, por lo que la Relación Silenciosa de la Aplicación se define como la fracción de muestras de 1 segundo en las que las aplicaciones del suscriptor eran silenciosas (con ventanas de 1 segundo con anchos de banda promedio iguales o cercanos a cero). Por lo tanto, debería ser evidente que Relación Silenciosa de la Aplicación = 1.0 – Relación Activa de la Aplicación. Se debe entender que los métodos más complicados para caracterizar las aplicaciones del suscriptor también podrían usarse de manera coherente con la presente descripción.

La separación de los suscriptores en diferentes grupos se puede lograr definiendo umbrales que separen los niveles entre sí. Esto debe hacerse preferiblemente para cada uno de los atributos.

Por ejemplo, los valores Tmáx pueden separarse de acuerdo con los diferentes niveles del Acuerdo de Nivel de Servicio (SLA) que el Operador ofrece. Si un Operador ofrece cinco niveles de Acuerdo de Nivel de Servicio (por ejemplo, 8 Mbps, 16 Mbps, 31 Mbps, 63 Mbps y 113 Mbps), entonces cada uno de esos cinco valores de Tmáx permitirá a los suscriptores separarse de acuerdo con su valor de Tmáx.

Para los valores de Tavg, se puede observar todo el rango de valores de Tavg para todos los suscriptores. Por ejemplo, puede oscilar entre 0.1 Mbps y 3 Mbps. Entonces es posible que, por ejemplo, se puedan definir tres agrupaciones diferentes (una para valores de Tavg altos, una para valores de Tavg medios y una para valores de Tavg bajos). El umbral que separa los valores Tavg altos de los valores Tavg medios y el umbral que separa los valores Tavg medios de los valores Tavg bajos se pueden seleccionar adecuadamente. Por ejemplo, los valores de Tavg bajos pueden incluir cualquier valor inferior a 0.75 Mbps. Los valores de Tavg altos pueden incluir valores superiores a 1.25 Mbps. Los valores de Tavg medios pueden incluir cualquier valor entre 0.75 Mbps (inclusive) y 1.25 Mbps (inclusive).

Para los valores de Relación Activa de la Aplicación que describen los tipos de aplicación que utilizan los suscriptores, los valores de Relación Activa pueden oscilar entre 0.1 y 0.9. Es posible que, por ejemplo, se puedan definir dos agrupaciones diferentes (una para valores de Relación Activa de la Aplicación altos y otra para valores de Relación Activa de la Aplicación bajos). El umbral que separa los valores altos de Relación Activa de la Aplicación de la Relación Activa de la Aplicación baja se puede seleccionar adecuadamente. Por ejemplo, los valores bajos de Relación Activa de la Aplicación pueden incluir valores inferiores a 0.5. Los valores de Relación Activa de la Aplicación altos pueden incluir cualquier valor mayor o igual a 0.5.

Preferentemente, una única agrupación de Tipo de Suscriptor es un grupo de suscriptores que comparten características operativas comunes. Idealmente, después del mapeo, tendríamos muchos suscriptores asignados a cada uno de los grupos de Tipo de Suscriptor (para ayudar a garantizar la significación estadística dentro de las estadísticas utilizadas en los próximos pasos). Por lo tanto, en el ejemplo anterior, donde un operador ofrece cinco niveles de servicio de ancho de banda, donde los suscriptores se dividen en valores de Tavg altos, medios y bajos, y hay dos tipos de aplicaciones definidos utilizados por los suscriptores, se puede crear un total de treinta (5*3*2) agrupaciones diferentes de “Tipo de suscriptor” (para esta modalidad particular). A continuación, cada suscriptor puede asignarse a uno (y solo uno) de estas treinta agrupaciones de Tipo de Suscriptor diferentes, como se ilustra en la Figura 3.

En el futuro, este proceso de agrupamiento podría mejorarse aún más. Se pueden agregar umbrales adicionales por atributo. Se pueden considerar otros atributos para refinar aún más el proceso de agrupamiento. O los umbrales pueden depender de varios atributos. Por ejemplo, el umbral de Tavg para Bajo, Medio y Alto puede aumentar con valores de SLA más altos.

Una vez que cada uno de los suscriptores ha sido asignado a su grupo de Tipo de Suscriptor apropiado mostrado en la Figura 3, en base a los atributos operativos asociados del suscriptor, entonces para cada grupo de Tipo de Suscriptor particular, las muestras de ancho de banda promedio (calculadas en el paso 102) de todos los suscriptores dentro de ese grupo pueden combinarse para crear un superconjunto de muestras de ancho de banda promedio para cada grupo de Tipo de Suscriptor. Este superconjunto de muestras se convierte en la definición del uso del ancho de banda para cada agrupación de Tipo de Suscriptor, que contiene una mezcla del uso del ancho de banda para todos los usuarios que se asignaron a una agrupación de Tipo de Suscriptor común.

Una vez que se ha creado el superconjunto de muestras para cada agrupación de Tipo de Suscriptor, se pueden calcular los valores de atributo promedio para cada agrupación de Tipo de Suscriptor. En particular, el valor Tmáx para cada grupo de Tipo de Suscriptor se identifica fácilmente, ya que todos los suscriptores dentro del mismo grupo de Tipo de Suscriptor comparten el mismo valor de Tmáx. El valor de Tavg promedio para el superconjunto de muestras se puede calcular sumando todas las muestras de ancho de banda promedio dentro del superconjunto y dividiendo por el número total de muestras en el superconjunto. Esto puede convertirse en el valor de Tavg de definición para la agrupación de Tipo de Suscriptor particular. De manera similar, el valor promedio de la Relación Activa de la Aplicación para el superconjunto de muestras se puede calcular contando el número de muestras que no son cero dentro del superconjunto y dividiéndolo por el número total de muestras en el superconjunto. Cada grupo de Tipo de Suscriptor tendrá preferentemente un triplete único de valores dados por Tmáx, Tavg, Relación Activa de la Aplicación promedio.

A medida que aumenta el número de atributos analizados y/o aumenta el número de niveles dentro de un atributo, entonces el número de grupos de Tipo de Suscriptor únicos puede aumentar drásticamente. Puede ser posible agrupar varios grupos de Tipo de Suscriptor con un comportamiento similar para hacer un número más manejable de grupos. En el ejemplo anterior, había treinta grupos de Tipo de Suscriptor únicos. En algunas situaciones, todos los grupos de Tipo de Suscriptor con valores de Tavg bajos pueden comportarse de forma idéntica, independientemente de Tmáx o de la Relación Activa de la Aplicación. En esa situación, estos diez grupos de Tipo de Suscriptor podrían consolidarse en un único grupo de Tipo de Suscriptor, reduciendo el número total de grupos a veintiuno. Es posible que se realicen otras agrupaciones de grupos para mayores reducciones.

Como acabamos de revelar, los suscriptores individuales pueden agruparse en diferentes categorías en función de tres atributos diferentes, es decir, Tmáx, Tavg y Relación Activa de la Aplicación promedio. Esta agrupación ilustrativa mejora la precisión de la estimación de la función de densidad de probabilidad del uso del ancho de banda por suscriptor, como se describe más adelante en esta memoria descriptiva. Sin embargo, otras modalidades pueden agrupar a los suscriptores en diferentes categorías de manera diferente. Por ejemplo, los grupos de suscriptores se pueden diferenciar por agrupación manual o automática. Para la agrupación manual y automática, el primer paso es identificar un conjunto de atributos que se utilizará como base para la agrupación. Tenga en cuenta que cada atributo añade una dimensión adicional y, por lo tanto, puede aumentar significativamente la complejidad de la agrupación. El número de atributos (dimensiones) debe elegirse de manera que incluya todos los atributos necesarios para identificar cualquier agrupación natural de los suscriptores, pero el número no debe ser tan grande como para dar como resultado agrupaciones con datos muy dispersos en cada grupo.

Con respecto a la agrupación manual, primero se puede identificar un conjunto de atributos. A continuación, cada valor de atributo se divide independientemente en varios grupos. Para algunos de los atributos, la agrupación es obvia, por ejemplo, el operador elige el valor de Tmáx para que sea un conjunto de valores distintos que den como resultado una agrupación obvia. Para otros atributos como Tavg o Relación Activa de la Aplicación, se puede identificar el valor mínimo y máximo de cada atributo y, a continuación, dividir el rango de valores de cada atributo en un número de grupos. Estos grupos pueden obtenerse simplemente dividiendo el rango de valores del atributo en intervalos uniformes o seleccionando un conjunto de grupos no uniformes.

Aunque el enfoque de agrupación manual es relativamente sencillo, a medida que aumenta el número de atributos y muestras de datos (suscriptores), es probable que sea difícil lograr la agrupación manual que captura cómo se agrupan realmente las muestras de datos. La Figura 4a, por ejemplo, muestra un gráfico de dispersión de un conjunto de datos hipotético con dos atributos. Claramente, este conjunto de datos es lo suficientemente sencillo como para que una agrupación manual independiente de cada atributo sea suficiente. Sin embargo, a medida que el conjunto de datos se complica más como se muestra en la Figura 4B, por ejemplo, una agrupación manual simple será casi imposible de obtener, lo que requiere un enfoque de agrupación automática. En un enfoque de agrupación automático, preferentemente se utiliza un algoritmo “basado en datos” para identificar los clústeres en los datos. Dichas técnicas se utilizan en técnicas de análisis de “grandes datos” existentes para agrupar los datos observados en diferentes clústeres para obtener inferencias significativas. En el enfoque de agrupación automática se pueden utilizar varios algoritmos de agrupación como la agrupación en clústeres de k-medias, la agrupación basada en distribución o los algoritmos de agrupación basados en densidad.

Crear una función de densidad de probabilidad de ancho de banda por suscriptor para cada tipo de agrupación de tipo de suscriptor

Con referencia de nuevo a la Figura 2A, el paso 106 puede crear preferentemente Funciones de Densidad de Probabilidad (pdf) de ancho de banda por suscriptor para cada tipo de Agrupación de Tipo de Suscriptor usando mediciones de suscriptores agrupados recopilados en un período de tiempo actual. Concretamente, una vez que el vector superconjunto de muestras de ancho de banda promedio (en unidades de bits por segundo) está disponible para cada grupo de Tipo de Suscriptor, como resultado de la ejecución del paso 104, se puede calcular la función de densidad

de probabilidad de ancho de banda actual para cada grupo de Tipo de Suscriptor. Esto puede lograrse en una modalidad preferida en varias subetapas, como se identifica a continuación.

En primer lugar, se crea un histograma de frecuencia a partir del superconjunto de muestras de ancho de banda promedio para cada grupo de Tipo de Suscriptor. El histograma de frecuencia debe definirse con un “tamaño del compartimiento” elegido que sea lo suficientemente pequeño para caracterizar con precisión los anchos de banda consumidos por el usuario. Los presentes inventores han determinado que los tamaños de los compartimientos en el orden de ~100 kbps son adecuados para las características de ancho de banda actuales. También pueden ser aceptables tamaños de compartimientos más grandes de (aproximadamente) ~1-10 Mbps. Es posible que los tamaños de los compartimientos en algunas modalidades deban ajustarse a medida que cambia el uso de ancho de banda de los suscriptores. En general, el objetivo es garantizar que los compartimientos sucesivos del histograma de frecuencia tengan valores de recuento de frecuencia similares (lo que significa que no hay cambios rápidos en la forma del histograma de frecuencia entre compartimientos sucesivos). El tamaño del compartimiento requerido depende en cierta medida de los niveles máximos de ancho de banda mostrados por cada suscriptor; los niveles máximos de ancho de banda más grandes pueden permitir que se utilicen tamaños de compartimientos más grandes. Por ejemplo, supongamos que el tamaño del compartimiento se seleccionó para ser 10 Mbps. Una vez seleccionado el tamaño del compartimiento, el eje x del histograma de frecuencia se puede definir con múltiplos enteros de ese tamaño de compartimiento. Luego, las muestras de ancho de banda promedio para una agrupación de Tipo de Suscriptor particular se utilizan para determinar el número de muestras que existen dentro de cada compartimiento para esa agrupación de Tipo de Suscriptor particular.

Con referencia a la Figura 5, el primer compartimiento en el eje x del histograma de frecuencia representa muestras de ancho de banda entre 0 Mbps (inclusive) y 10 Mbps. El segundo compartimiento en el eje x del histograma de frecuencia representa muestras de ancho de banda entre 10 Mbps (inclusive) y 20 Mbps. Otros compartimientos cubren rangos similares de 10 Mbps. La creación del histograma de frecuencia para un determinado grupo de Tipo de Suscriptor preferentemente implica analizar todas las muestras de ancho de banda promedio del superconjunto para ese grupo de Tipo de Suscriptor y contar el número de muestras que existen dentro de los límites de cada compartimiento. El recuento de frecuencia para cada compartimiento se introduce entonces en ese compartimiento, y se obtendrá un gráfico del histograma de frecuencia similar al mostrado en la parte superior de la Figura 5. En el gráfico de histograma de frecuencia particular de la Figura 5, el primer compartimiento (que cubre el rango de 0 Mbps (inclusive) a 10 Mbps) tiene un recuento de frecuencia de ~50, lo que implica que 50 de las muestras de ancho de banda promedio de ese suscriptor mostraron un nivel de ancho de banda promedio entre 0 Mbps (inclusive) y 10 Mbps.

A continuación, el histograma de frecuencia para cada agrupación de Tipo de Suscriptor puede convertirse en un histograma de frecuencia relativa. Esto se logra dividiendo cada valor de compartimiento en el histograma de frecuencia por el número total de muestras recogidas para esta agrupación de Tipo de Suscriptor particular dentro del superconjunto de muestras de ancho de banda promedio. La altura resultante de cada compartimiento representa la probabilidad (en cualquier período de muestreo) de ver un valor de ancho de banda promedio que existe dentro del rango de anchos de banda definidos por ese compartimiento en particular. Como comprobación, la suma de los valores de compartimiento dentro del histograma de frecuencia relativa resultante debe ser 1.0.

Por último, el histograma de frecuencia relativa se puede convertir en una función de densidad de probabilidad para la agrupación de Tipo de Suscriptor. Debe observarse que, dado que esto es realmente para datos discretos, es más correcto llamarlo una función de masa de probabilidad. Sin embargo, la presente descripción utilizará el término función de densidad de probabilidad, ya que se aproxima a una función de densidad de probabilidad (pdf). La conversión a un pdf para la agrupación del Tipo de Suscriptor puede lograrse dividiendo cada valor de compartimiento en el histograma de frecuencia relativa por el tamaño del compartimiento, en el ejemplo actual, asumido como 10 Mbps. Los expertos en la técnica apreciarán que los valores resultantes de la función de densidad de probabilidad pueden tener valores mayores que 1.0. Además, como comprobación, la suma de cada uno de los valores de la función de densidad de probabilidad multiplicado por el valor del eje x central del compartimiento para cada valor de la función de densidad de probabilidad debe ser 1.0.

La función de densidad de probabilidad para cada grupo de Tipo de Suscriptor es, en esencia, una huella dactilar que identifica el uso único del ancho de banda (dentro de cada intervalo de 1 segundo de tiempo) para los suscriptores que normalmente se asignan a un determinado grupo de Tipo de Suscriptor. Los compartimientos en la función de densidad de probabilidad de un determinado grupo de Tipo de Suscriptor indican qué valores de ancho de banda son más o menos probables dentro de un intervalo de 1 segundo para un usuario “típico” de ese grupo de Tipo de Suscriptor en particular.

Crear un modelo de regresión para los PDF

Con referencia de nuevo a la Figura 2A, en el paso 108, se crean modelos de regresión para cada pdf de ancho de banda de tipo por suscriptor como una función de Tmáx, Tavg y Relación Activa

de la Aplicación. Concretamente, una vez que se conoce la función de densidad de probabilidad para cada grupo de Tipo de Suscriptor, se dispone de una gran cantidad de información para crear un modelo de regresión para el pdf como función de Tmáx, Tavg y Relación Activa de la Aplicación. Normalmente, la función de densidad de probabilidad requerirá de un análisis de regresión múltiple. Al final, se produce una fórmula con la forma general

pdf(Ancho de banda) = f(Ancho de banda, Tmáx, Tavg, Relación Activa de la Aplicación)

donde Ancho de banda es el ancho de banda particular de interés. Se puede crear una función de densidad de probabilidad que se alargue en un amplio rango de valores de ancho de banda mediante el uso de la fórmula con muchos valores de ancho de banda posicionados de forma cercana.

Una vez obtenida, esta fórmula de función de densidad de probabilidad se puede utilizar para predecir el valor pdf para cualquier tipo de suscriptor, incluso si el suscriptor tiene valores de Tmáx y Tavg y de Relación Activa de la Aplicación que difieren de los disponibles en los pasos 104 y 106 mostrados en la Figura 2A.

Especificar atributos de todo el “Grupo de servicio” en un período de tiempo potencialmente diferente

En el paso 110, los detalles y atributos de todo el “Grupo de Servicio” se especifican en un período de tiempo potencialmente diferente. El término “marco de tiempo potencialmente diferente” pretende referirse a un marco de tiempo que se permite avanzar y retroceder en el tiempo, aunque no necesariamente necesita hacerlo. Por lo tanto, en un caso, los sistemas y el método descritos en la presente descripción pueden usarse simplemente para medir las características de la red y

el rendimiento a lo largo de un intervalo de tiempo actual para determinar si se está logrando actualmente una QoE deseada, y si no, para algunas modalidades responder en consecuencia. Alternativamente, como se explica a continuación, los sistemas y métodos descritos en la presente descripción pueden usarse en una capacidad predictiva para determinar las características y el rendimiento de la red en un intervalo que comienza, o se extiende en, el futuro para anticipar y prevenir la congestión de la red.

También debe apreciarse que el término “Grupo de Servicio” puede utilizarse en un sentido muy amplio; puede definir los suscriptores que comparten el ancho de banda en los canales DOCSIS unidos dentro de un Dominio DOCSIS MAC (conectado a un único Nodo de Fibra), o de manera alternativa, podría definir los suscriptores que comparten el ancho de banda en un CMTS o en un enrutador de red troncal. Los sistemas y métodos divulgados son aplicables a todos estos diferentes “Grupos de Servicio”.

Antes de que se pueda determinar la Capacidad de Ancho de Banda Requerida para satisfacer los niveles de Calidad de Experiencia requeridos para los suscriptores de un “Grupo de Servicio” dado, se deben conocer los detalles del “Grupo de Servicio” y sus suscriptores asociados. En particular, es necesario que se conozca al menos la siguiente información sobre el “Grupo de Servicio”:

i. el número total de suscriptores dentro del “Grupo de Servicio” (Nsub)

ii. la Tmáx y Tavg y Relación Activa de la Aplicación para cada uno de esos suscriptores

O, alternativamente, una lista de todas las distintas agrupaciones de Tipo de Servicio y sus atributos asociados, en la que los atributos de cada agrupación de Tipo de Servicio deben incluir:

a. el número de suscriptores asociados con la agrupación de Tipo de Servicio en particular (o el porcentaje del número total de suscriptores que están asociado con la agrupación del Tipo de Servicio en particular)

b. el valor de Tmáx para la agrupación de Tipo de Servicio

c. el valor de Tavg promedio para la agrupación de Tipo de Servicio

d. el valor promedio de la Relación Activa de la Aplicación para la agrupación de Tipo de Servicio.

A menudo es el caso de que un ingeniero de tráfico debe determinar las Capacidades de Ancho de Banda Requeridas no solo para el presente, sino también para el futuro. Como resultado, el ingeniero de tráfico a menudo debe especificar los atributos del “Grupo de Servicio” (como los valores de Tmáx y Tavg y de Relación Activa de la Aplicación) para los próximos años. Obviamente, esto no es un ejercicio trivial, y nunca es posible encontrar una respuesta con absoluta certeza; nadie puede predecir el futuro, y las variaciones inesperadas siempre son posibles. Sin embargo, una extrapolación de las tendencias pasadas puede ser útil para predecir tendencias en el futuro.

Estos tipos de predicciones extrapoladas para el futuro son bastante posibles para los valores de Tmáx y Tavg, ya que sus tendencias pasadas suelen conocerse. Se pueden incluso determinar las diferentes tendencias pasadas que podrían existir para los valores de Tmáx y Tavg para diferentes grupos de Tipo de Servicio. Por ejemplo, muchos Operadores han visto cómo los valores de Tmáx descendentes crecen en ~50 % por año durante largos periodos de tiempo, y más recientemente, muchos Operadores han visto cómo los valores de Tavg descendente crecen en ~40 % por año. Si se sabe que el valor de Tmáx y el valor de Tavg para el momento actual es Tmáx0 y Tavg0, respectivamente, y si asumimos que las tasas de crecimiento para Tmáx y Tavg

permanecen constantes a lo largo del tiempo, entonces el valor de Tmáx y el valor de Tavg previstos en Y años a partir del momento actual, designados como Tmáx(Y) y Tavg(Y), respectivamente, pueden calcularse como:

Tmáx(Y) = (Tmáx0)*(1.5)**(Y)

Tavg(Y) = (Tavg0)*(1.4)**(Y).

En particular, las dos fórmulas anteriores también son válidas para valores Y negativos, lo que significa que también se pueden utilizar para “predecir” los valores de Tmáx y Tavg que existían en el pasado. Por ejemplo, para determinar la estimación de sobre lo que los valores de Tmáx y Tavg eran dos años antes de la fecha actual, se puede utilizar un valor de Y=-2 dentro de las fórmulas. Por lo tanto, las fórmulas se pueden utilizar para predecir los valores de Tmáx y Tavg en el pasado y en el futuro.

Crear pdf para cada “Grupo de Suscriptores” para un período de tiempo potencialmente diferente

Con referencia a la Figura 2B, una vez que se conocen los valores de Tmáx y Tavg y Relación Activa de la Aplicación para cada suscriptor o agrupación de Tipo de Suscriptor para el marco temporal de interés (dentro del “Grupo de Servicio” particular), esta información se puede utilizar en el paso 112 para crear una función de densidad de probabilidad para cada uno de los suscriptores o las agrupaciones de Tipo de Servicio (calculada como una función de los valores de Tmáx, Tavg y Relación Activa de la Aplicación previstos en el marco temporal de interés). Este cálculo utiliza la fórmula definida en el paso de regresión del paso 4:

pdf(Ancho de banda) = f(Ancho de banda, Tmáx, Tavg, Relación Activa de la Aplicación).

Una vez completado el paso 112, estará disponible una predicción única de la función de densidad de probabilidad para cada suscriptor o agrupación de Tipo de Suscriptor dentro del "Grupo de Servicio". Es importante recordar que la función de densidad de probabilidad para la agrupación de Tipo de Suscriptor sigue siendo una medición de las probabilidades de varios anchos de banda que ocurren para un solo suscriptor que está asociado con las características únicas de una agrupación de Tipo de Suscriptor en particular.

Para los grupos de Tipo de Suscriptor con valores de SLA más pequeños, puede ser posible reutilizar parte del pdf de otros valores de SLA actuales. Por ejemplo, un grupo con un valor de SLA de Tmáx de 10 Mbps podría convertirse en un SLA de Tmáx de 20 Mbps en el futuro. Si el pdf para un SLA de Tmáx de 20 Mbps existe hoy, ese pdf podría ser reutilizado opcionalmente para el grupo de 10 Mbps en el futuro. Obviamente, cualquier nuevo valor de SLA de Tmáx requerirá el paso 112.

Reajustar pdf

En el paso opcional 114, la función de densidad de probabilidad separada y única para cada suscriptor o grupo de Tipo de Suscriptor dentro del "Grupo de Servicio" para un período de tiempo potencialmente diferente puede reajustarse. Concretamente, una vez que la función de densidad de probabilidad predicha se crea en el paso 112, utilizando las fórmulas de regresión para un período de tiempo de interés particular, es posible "reajustar" la función de densidad de probabilidad basándose en vistas o predicciones particulares sobre la naturaleza del tráfico y las aplicaciones en el período de tiempo de interés. Esto permite a un ingeniero de tráfico utilizar la experiencia para anular predicciones del modelo de regresión. Esto puede ser aconsejable o no,

pero algunas modalidades de la presente descripción pueden permitir ciertamente el ajuste de la predicción de la función de densidad de probabilidad.

Si, por ejemplo, un ingeniero de tráfico cree que una nueva aplicación de video aparecerá en un futuro marco de tiempo que inyectará una gran cantidad de transmisiones de ancho de banda alto en el sistema que pueden terminar creando una gran cantidad de ancho de banda por suscriptor de alrededor de 50 Mbps (lo que no se predijo mediante el modelo de regresión), entonces algunas modalidades pueden permitir preferentemente que el ingeniero de tráfico aumente los valores de densidad de probabilidad en el rango de (aproximadamente) 45 Mbps a 55 Mbps. La curva resultante puede denominarse “función de densidad de probabilidad reajustada”. Una vez realizado el reajuste, entonces la “función de densidad de probabilidad reajustada” resultante debe “renormalizarse” preferentemente para que aún se muestre la característica única requerida de una función de densidad de probabilidad adecuada. En particular, debe elevarse o bajarse a lo largo de toda su longitud para que el área por debajo de la función de densidad de probabilidad siga siendo igual a uno. Esto se puede lograr multiplicando cada valor dentro de la función de densidad de probabilidad por un factor de escala S, donde

S = 1/(área por debajo de la “función de densidad de probabilidad reajustada”).

Por lo tanto, la “función de densidad de probabilidad reajustada y renormalizada” resultante viene dada por:

“pdf reajustado y renormalizado” = S*(“función de densidad de probabilidad reajustada”).

Validar la independencia de las actividades de ancho de banda para los suscriptores

En el paso opcional 116, la independencia de las actividades de ancho de banda para los suscriptores dentro de un “Grupo de Servicio” puede validarse preferentemente. Este paso utiliza

una teoría bien conocida a partir de la probabilidad y las estadísticas que establece el siguiente argumento:

Supongamos que X e Y son dos variables aleatorias independientes (como las mediciones de ancho de banda promedio de 1 segundo tomadas de dos suscriptores diferentes). Supongamos también que f(x) y g(y) son las funciones de densidad de probabilidad de las dos variables aleatorias X e Y, respectivamente. Entonces, la suma de esas dos variables aleatorias produce una nueva variable aleatoria Z=X+Y (que correspondería al ancho de banda agregado creado al agregar las muestras de ancho de banda de 1 segundo de los dos suscriptores juntos), y la nueva variable aleatoria Z tendrá una nueva función de densidad de probabilidad dada por h(z), donde h(z) = f(x) se convoluciona con g(y).

Por lo tanto, en este paso, se debe confirmar que las actividades de ancho de banda para diferentes suscriptores son sustancialmente independientes y no correlacionadas. Resulta que normalmente podemos suponer (mientras introducimos solo una pequeña cantidad de error) que las actividades de ancho de banda de dos suscriptores independientes son en gran medida independientes entre sí. Los estudios han demostrado que esto es sobre todo cierto. Puede haber algunas correlaciones entre las actividades de ancho de banda de diferentes suscriptores que podrían deberse a:

i. una propensión común entre los seres humanos a realizar actividades relacionadas con el ancho de banda en la parte superior e inferior de la hora (cuando terminan los programas de televisión);

ii. actividades relacionadas con el ancho de banda que son iniciadas por máquinas en diferentes hogares de suscriptores que están sincronizadas para comenzar sus actividades en un momento específico (como grabadoras de video digital en casa que están programadas para comenzar sus grabaciones a las 8 p.m.); y

iii. posibles comportamientos de autosincronización de aplicaciones orientadas a TCP que compiten por el ancho de banda (como los códecs de video de tasa de bits adaptables).

Sin embargo, estas interacciones tienden a ser bastante pequeñas. Con el fin de validar que un conjunto particular de suscriptores dentro de un “Grupo de Servicio” está usando ancho de banda de maneras que son en gran medida independientes, se puede realizar una prueba decisiva que no es necesariamente una prueba de independencia para todo el tiempo, pero sí da una instantánea del comportamiento del suscriptor durante un período de tiempo y determina si las actividades del suscriptor son en gran medida independientes (o no) durante ese período de tiempo.

Concretamente, las muestras individuales de ancho de banda con, por ejemplo, una granularidad de 1 segundo, se recogen por primera vez durante la ventana de tiempo ocupada (por ejemplo, de 20:00 a 23:00 por la noche). Esto es similar a las acciones realizadas en el paso 102 anterior, pero este conjunto particular de muestras debe recogerse preferentemente de una manera muy específica. En particular, la recogida de las muestras debe sincronizarse preferentemente de manera que la primera muestra de 1 segundo recogida para el Suscriptor #1 se tome exactamente en el mismo momento en el tiempo (más o menos 100 milisegundos) que la primera muestra de 1 segundo recogida para el Suscriptor #2. De manera similar, la muestra de 1 segundo recogida para el Suscriptor #2 se toma exactamente en el mismo momento en el tiempo (más o menos 100 milisegundos) que la primera muestra de 1 segundo recogida para el Suscriptor #3. Esta regla se aplica a todos los suscriptores de Nsub dentro del “Grupo de Servicio”. Por lo tanto, este procedimiento producirá muestras de ancho de banda de 1 segundo que se sincronizan, permitiendo la identificación de correlaciones temporales entre las actividades de los diferentes suscriptores. Por ejemplo, si de repente sucede que todos los suscriptores irrumpan a un nivel de ancho de banda muy alto exactamente en el mismo momento durante el tiempo, por ejemplo,

muestra 110 (asociada con ese único período de tiempo de 1 segundo que es de 110 segundos después de que se inició el muestreo), entonces se puede identificar el comportamiento sincronizado dentro de las muestras debido a la implicación de que este es un nivel de correlación entre las actividades de ancho de banda de los suscriptores.

A continuación, se expone una prueba matemática para detectar la cantidad de correlación que existe entre los suscriptores muestreados dentro del “Grupo de Servicio” y para ver el impacto que estas posibles actividades sincronizadas pueden tener en los resultados que se calcularán posteriormente.

Primero, crear la Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda #1 basada en las muestras de ancho de banda recogidas del Suscriptor #1 y repetir para cada uno de los demás suscriptores. Esto producirá Funciones de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda de Nsub, con etiquetas que van desde la Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda #1 a la Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda #Nsub. Las Funciones de Densidad de Probabilidad del Ancho de Banda pueden crearse mediante el uso del método descrito con respecto a la etapa 118 de la Figura 2B, que se analiza más adelante.

En segundo lugar, realizar una convolución de todas las Funciones de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda de Nsub en conjunto para crear una Función de densidad de Probabilidad de Ancho de Banda Agregada Final para este “Grupo de Servicio” en particular. Debe tenerse en cuenta que esta Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda Agregada Final particular no incluye ningún reconocimiento de simultaneidad entre ráfagas de ancho de banda entre suscriptores. En cambio, asume que todas las ráfagas de ancho de banda de los diferentes

suscriptores son totalmente independientes entre sí e ignora cualquier correlación entre las actividades de ancho de banda del suscriptor.

En tercer lugar, tomar cada una de las muestras de ancho de banda secuenciales para el Suscriptor #1 y concatenarlas juntas y tratar el resultado como un vector de fila, repitiendo para cada uno de los demás suscriptores. Este procedimiento producirá vectores de fila de Nsub. Colocar los vectores de fila uno encima del otro para crear una matriz de números. La primera fila de esa matriz debe contener las muestras de ancho de banda con secuencia temporal para el Suscriptor #1. La segunda fila de esa matriz debe contener las muestras de ancho de banda con secuencia temporal para el Suscriptor #2. Este patrón debe continuar hasta la última fila (fila Nsub), que debe contener las muestras de ancho de banda con secuencia temporal para el Suscriptor #Nsub. También debe ser evidente que la primera columna de la matriz representa el primer segundo de muestras sincronizadas para cada uno de los suscriptores. La segunda columna de la matriz representa el siguiente segundo de muestras sincronizadas para cada uno de los suscriptores. Las columnas sucesivas en la matriz también representan muestras sincronizadas para cada uno de los suscriptores en un momento determinado en el tiempo.

En cuarto lugar, mediante el uso de la matriz anterior, añadir todos los valores en cada columna y crear un Vector de Suma en la parte inferior de la matriz. Este Vector de Suma es el ancho de banda real por “Grupo de Servicio” que se pasó a través del grupo de servicio, donde cada valor dentro del Vector de Suma representa una muestra de tiempo de 1 segundo en particular. Debe tenerse en cuenta que cualquier simultaneidad de ráfagas de ancho de banda entre los suscriptores se describirá dentro de este Vector de Suma. Por lo tanto, un determinado instante en el tiempo en el que todos los suscriptores podrían haber habilitado para ráfagas

simultáneamente sus anchos de banda a niveles muy altos se mostrarían como un valor muy alto en ese momento en el tiempo dentro de este Vector de Suma.

En quinto lugar, crear la Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda del Vector de Suma basada en las muestras de ancho de banda dentro del Vector de Suma. La Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda de este Vector de Suma incluirá un reconocimiento de simultaneidad entre ráfagas de ancho de banda entre suscriptores. De nuevo, estos PDF pueden crearse mediante el uso de las técnicas descritas con respecto a la etapa 118 de la Figura 2A, que se describe a continuación.

En sexto lugar, comparar la Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda del Vector de Suma con la Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda Agregada Final. En algunas modalidades, una o más de las pruebas conocidas de “bondad de ajuste” del campo de probabilidad y estadísticas pueden usarse para determinar qué tan cerca coinciden las dos Funciones de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda entre sí. En un alto nivel, la cola más a la derecha de las dos Funciones de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda puede revelar si la cola de la Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda del Vector de Suma alcanza valores mucho más altos (con mayor probabilidad) que la cola dentro de la Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda Agregada Final. Si lo hace, es probable que los suscriptores individuales estén ilustrando un nivel de sincronía y correlación entre sus ráfagas de ancho de banda. Sin embargo, es probable que este problema no exista en ninguna cantidad significativa, porque se ha visto que el comportamiento del suscriptor no tiende a estar fuertemente sincronizado y correlacionado.

Debe tenerse en cuenta que el paso 116 solo se puede aplicar a las muestras actuales, por lo que cualquier inferencia que produzca información sobre la independencia del ancho de banda del suscriptor para el futuro es solo una hipótesis. Sin embargo, parece algo lógico asumir que, si los suscriptores presentes muestran una correlación limitada entre los niveles de ancho de banda de los demás, es probable que los futuros suscriptores también muestren un comportamiento no correlacionado similar.

Los expertos en la técnica apreciarán que la prueba anterior para la correlación entre el comportamiento del suscriptor puede automatizarse fácilmente para su implementación en un dispositivo computarizado, tal como CMTS 118 u otro dispositivo de procesamiento.

Crear PDF de ancho de banda agregado para suscriptores dentro del "Grupo de Servicio" para un período de tiempo potencialmente diferente

Una vez que se crea un pdf para cada suscriptor o agrupación de Tipo de Suscriptor (que opcionalmente puede ser "reajustado y renormalizado"), y opcionalmente una vez que se ha determinado la independencia entre las actividades de ancho de banda del suscriptor, se puede crear una Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda Agregada Final para cualquier "Grupo de Servicio" en el paso 118.

El paso 118 se basa en suposiciones sobre la naturaleza del tráfico y algunas reglas de las estadísticas. En particular, se conoce bien a partir de la probabilidad y las estadísticas que:

Suponiendo que X e Y son dos variables aleatorias independientes (como las mediciones de ancho de banda promedio de 1 segundo tomadas de dos suscriptores diferentes) y que f(x) y g(y) son las funciones de densidad de probabilidad de las dos variables aleatorias X e Y,

respectivamente, entonces la suma de esas dos variables aleatorias produce una nueva variable aleatoria Z=X+Y (que correspondería al ancho de banda agregado creado al agregar las muestras de ancho de banda de 1 segundo de los dos suscriptores juntos), y la nueva variable aleatoria Z tendrá una nueva función de densidad de probabilidad dada por h(z), donde h(z) = f(x) convolucionó con g(y).

Esta regla se ilustra mediante los gráficos de función de densidad de probabilidad de ancho de banda artificial (no realistas y simplificados) en la Figura 6. El gráfico superior de la Figura 6 muestra la función de densidad de probabilidad de ancho de banda de un suscriptor en particular #1. El gráfico del medio de la Figura 6 muestra la función de densidad de probabilidad de ancho de banda de un suscriptor en particular #2. El gráfico inferior de la Figura 6 (en amarillo) muestra la función de densidad de probabilidad de ancho de banda resultante de la convolución de las dos primeras funciones de densidad de probabilidad de ancho de banda (en la parte superior y media de la Figura 6). En otras palabras, el gráfico inferior de la Figura 6 es esencialmente la función de densidad de probabilidad de ancho de banda de un “Grupo de Servicio” compuesto por el suscriptor #1 y el suscriptor #2, cuyos anchos de banda se han sumado juntos. En esta figura, los dos suscriptores experimentan anchos de banda de solo 1 Mbps y 1000 Mbps. Aunque no es realista, la ilustración muestra cómo el proceso de convolución crea todas las combinaciones de anchos de banda a partir de los suscriptores. Sus anchos de banda agregados (en la parte amarilla inferior de la Figura 6) ilustran que su “Grupo de Servicio” con sus cargas de tráfico combinadas experimentaría anchos de banda de 2 Mbps (cuando ambos reciben a 1 Mbps), 1001 Mbps (cuando uno recibe a 1 Mbps y el otro recibe a 1000 Mbps) y 2000 Mbps (cuando ambos reciben a 1000 Mbps). Las probabilidades reales de cada uno de estos anchos de banda también se muestran con los números junto a las flechas. Deben tenerse en cuenta los siguientes cálculos:

i. prob(BW agregado es 2 Mbps) = prob(sub #1 es 1 Mbps) * prob(sub #2 es 1 Mbps)

=0.999*0.999

= 0.998001

= 99.8001%

ii. prob(BW agregado es 1001 Mbps) =

[prob(sub #1 es 1000 Mbps) * prob(sub #2 es 1 Mbps)]

+ [prob(sub #2 es 1000 Mbps) * prob(sub #1 es 1 Mbps)] =

[0.001*0.999] + [0.001*0.999] =

0.001998 =

0.1998%

iii. prob(BW agregado es 2000 Mbps) = prob(sub #1 es 1000 Mbps) * prob(sub #2 es 1000 Mbps)

=0.001*0.001

=0.000001

= 0.0001%.

Por lo tanto, se puede ver que las acciones de la convolución tienden a reducir las probabilidades de niveles de ancho de banda particulares dentro del “Grupo de Servicio” (en relación con las probabilidades de ancho de banda para cada suscriptor individual). Al final, el área bajo cada gráfico debe ser uno para satisfacer las condiciones requeridas para cualquier función de densidad de probabilidad, y esa condición se cumple realmente en los tres gráficos mostrados en la Figura 6.

Las funciones reales de densidad de probabilidad de ancho de banda de dos suscriptores diferentes del mundo real se ilustran en las Figuras 7 y 8, respectivamente, y la salida de convolución resultante que conduce a la función de densidad de probabilidad de ancho de banda

agregado para un “Grupo de Servicio” compuesto por los dos suscriptores se muestra en la Figura 9.

Debe tenerse en cuenta que el argumento de convolución descrito anteriormente solo es válido si las dos variables aleatorias iniciales (X e Y) son variables aleatorias independientes. Sin embargo, basándose en análisis similares a los descritos en el paso 116, estas correlaciones tienden a ser bastante pequeñas, y en su mayor parte, pueden ignorarse. Con esta suposición, mediante la convolución de las dos “funciones de densidad de probabilidad de ancho de banda reajustadas y renormalizadas” juntas, se puede crear una nueva función de densidad de probabilidad de ancho de banda que describa la probabilidad de los anchos de banda agregados para sus flujos de paquetes combinados. Debe tenerse en cuenta que, al realizar esta convolución, debe entenderse que la “función de densidad de probabilidad reajustada y renormalizada” utilizada para un suscriptor puede ser la función de densidad de probabilidad prevista para ese suscriptor en particular, o puede ser la función de densidad de probabilidad prevista para la agrupación de Tipo de Suscriptor a la que se ha asignado el suscriptor. En cualquier caso, la función de densidad de probabilidad es una predicción más aproximada de la que el usuario mostraría.

Una vez que la función de densidad de probabilidad del ancho de banda agregado para dos suscriptores se ha calculado utilizando la regla de convolución anterior, entonces la función de densidad de probabilidad del ancho de banda agregado resultante se puede convolucionar con la “función de densidad de probabilidad del ancho de banda reajustado y renormalizado” de un tercer suscriptor para crear la función de densidad de probabilidad del ancho de banda agregado para tres suscriptores. Este proceso se puede llevar a cabo una y otra vez, añadiendo la “función

de densidad de probabilidad de ancho de banda reajustada y renormalizada” de un nuevo suscriptor con cada convolución sucesiva.

Un “Grupo de Servicio” que contenga suscriptores de Nsub requeriría que se realizaran convoluciones sucesivas (Nsub-1) para crear la Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda Agregada Final que describiera el ancho de banda agregado de todos los suscriptores de Nsub agregados. Dado que la “función de densidad de probabilidad de ancho de banda reajustada y renormalizada” de cada suscriptor puede ser diferente de la de los demás suscriptores, la Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda Agregada Final es una función única para el conjunto único de suscriptores que se agrupó en el “Grupo de Servicio”.

En la Figura 10 se ilustra un ejemplo de resultado de este paso de convolución múltiple para un “Grupo de Servicio” real que contiene suscriptores Nsub=400. Aunque esta curva tiene el aspecto de una curva gaussiana normal, se ha descubierto que sus colas no coinciden con la forma gaussiana. Dado que, como se describirá más adelante, la forma de las colas es el atributo más importante de esta curva para los propósitos de esta descripción, la curva gaussiana no puede usarse de manera fiable como una aproximación a la curva real calculada mediante convolución repetitiva. Por lo tanto, la convolución repetitiva (o la FFT repetitiva relacionada) debe utilizarse preferentemente.

Debe quedar claro que se puede realizar un conjunto similar de operaciones de convolución sucesivas (Nsub-1) si el “Grupo de Servicio” se define alternativamente para tener suscriptores Nsub, donde X% de ellos forma parte de una agrupación de Tipo de Servicio con las características de {Tavg1, Tmáx1, y Relación Activa de la Aplicación 1} e Y% de ellos forma parte de una agrupación de Tipo de Servicio con las características de {Tavg2, Tmáx2 y Relación Activa

de la Aplicación 2}. En ese caso, realizaríamos convoluciones (ceiling(Nsub*X%)-1) para combinar las funciones de densidad de probabilidad de ancho de banda de los primeros suscriptores de ceiling(Nsub*X%). Debe tenerse en cuenta que estas convoluciones utilizarían funciones de densidad de probabilidad de ancho de banda creadas utilizando {Tmáx1, Tavg1 y Relación Activa de la Aplicación 1}. Luego los resultados de ese conjunto inicial de convoluciones se usarían como punto de partida, y luego se realizarían otras convoluciones (ceiling(Nsub*Y%)-1) para combinar las funciones de densidad de probabilidad de ancho de banda de los siguientes suscriptores de ceiling(Nsub*Y%) con los resultados del conjunto inicial de convoluciones. Estas convoluciones utilizarían funciones de densidad de probabilidad de ancho de banda creadas utilizando {Tmáx2, Tavg2 y Relación Activa de la Aplicación 2}. Esto daría lugar a una Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda Agregada Final que describiera el ancho de banda combinado agregado esperado para los suscriptores de Nsub que operan dentro del “Grupo de Servicio”.

El ejemplo anterior ilustra las operaciones de convolución necesarias cuando había dos agrupaciones de Tipo de Servicio diferentes definidas dentro del “Grupo de Servicio”. Las extensiones del enfoque anterior son obvias si hay más de dos agrupaciones de Tipo de Servicios diferentes dentro del “Grupo de Servicio”.

Debe ser evidente que el enfoque anterior se puede utilizar para “Grupos de Servicio” de cualquier tamaño (p. ej.: Nsub=50 o Nsub=50 000). El enfoque también se puede utilizar para “Grupos de Servicio” con cualquier mezcla de tipos de suscriptores (p. ej., todos los suscriptores con los mismos valores altos de {Tmáx, Tavg, Relación Activa de la Aplicación}, o una mezcla de suscriptores al 50:50 con la mitad con valores muy altos de {Tmáx, Tavg, Relación Activa de la Aplicación} y la mitad con valores bajos y altos de {Tmáx, Tavg, Relación Activa de la Aplicación},

o una mezcla con cada suscriptor que tiene un conjunto diferente de valores de {Tmáx, Tavg, Relación Activa de la Aplicación}.

Cuando el tamaño del “Grupo de Servicio” aumenta hasta ser grande, el gran número de convoluciones que debe realizarse en este paso puede requerir bastante tiempo. Por ejemplo, un “Grupo de Servicio” que contiene 50 000 suscriptores Nsub requeriría que la función de convolución repetitiva se realizara 49.999 veces. Además, la longitud de la convolución crece con cada convolución repetitiva, por lo que los cálculos de la convolución se vuelven bastante lentos para valores de Nsub grandes. Se revelan varias técnicas que se pueden emplear para ayudar a acelerar el cálculo de las funciones de convolución múltiple.

En primer lugar, se pueden utilizar transformadas rápidas de Fourier (FFT) en lugar de las convoluciones más lentas. Si una función de densidad de probabilidad tiene N muestras y la segunda función de densidad de probabilidad tiene M muestras, entonces cada una de las funciones de densidad de probabilidad debe rellenarse con ceros hasta una longitud de N+M-1, lo que garantizará que este paso realice la convolución lineal (y no la convolución circular). A continuación, se calcula la FFT de cada una de las funciones de densidad de probabilidad rellenadas con ceros. Las dos FFT se multiplican juntas utilizando multiplicación de números compleja por término. Luego se calcula la FFT inversa del resultado multiplicado. El resultado de esa FFT inversa es la convolución de las dos funciones de densidad de probabilidad originales. Este enfoque de FFT es una implementación mucho más rápida cuando se compara con el enfoque de convolución, por lo que el enfoque de FFT es la modalidad preferida.

En segundo lugar, si muchos de los suscriptores utilizan los mismos valores {Tmáx, Tavg, Relación Activa de la Aplicación}, entonces es posible un procedimiento de aceleración binaria.

Por ejemplo, suponiendo, por ejemplo, que un subconjunto de once suscriptores cuyas funciones de densidad de probabilidad de ancho de banda que se convolucionarán entre sí tienen valores idénticos de {Tmáx, Tavg, Relación Activa de la Aplicación}, esos once suscriptores (por definición) también tendrán funciones de densidad de probabilidad de ancho de banda idénticas, dadas por f(x). La aceleración binaria se logra mediante el siguiente proceso. En primer lugar, convolucione f(x) con f(x) para crear la función de densidad de probabilidad de ancho de banda para dos suscriptores. La función de densidad de probabilidad de ancho de banda resultante para dos suscriptores se llamará g(x). Luego, convolucione g(x) con g(x) para crear la función de densidad de probabilidad de ancho de banda para cuatro suscriptores. La función de densidad de probabilidad de ancho de banda resultante para cuatro suscriptores se llamará h(x). Luego, convolucione h(x) con h(x) para crear la función de densidad de probabilidad de ancho de banda para ocho suscriptores. La función de densidad de probabilidad de ancho de banda resultante para ocho suscriptores se llamará k(x). Luego, convolucione k(x) con g(x) para crear la función de densidad de probabilidad de ancho de banda para diez suscriptores. La función de densidad de probabilidad de ancho de banda resultante para diez suscriptores se llamará l(x). Luego, convolucione l(x) con f(x) para crear la función de densidad de probabilidad de ancho de banda para once suscriptores. La función de densidad de probabilidad de ancho de banda resultante para once suscriptores se llamará m(x). Este resultado habría requerido un total de (11-1)=10 convoluciones si no hubiéramos realizado el proceso de aceleración binaria. Con este proceso de aceleración binaria, pudimos reducir el número total de convoluciones a 5 convoluciones, donde la primera convolución produjo el resultado para dos suscriptores, la segunda convolución produjo el resultado para cuatro suscriptores, la tercera convolución produjo el resultado para ocho suscriptores, la cuarta convolución produjo el resultado para diez suscriptores y la quinta convolución produjo el resultado para once suscriptores. Este proceso de aceleración binaria es aún más eficiente para tamaños más grandes de “Grupo de Servicio”. Por ejemplo, si tenemos

un “Grupo de Servicio” con exactamente Nsub = 32 768 suscriptores y si asumimos que todos esos suscriptores tienen los mismos valores de {Tmáx, Tavg, Relación Activa de la Aplicación}, entonces en lugar de realizar (32 768-1) = 32 767 convoluciones, podríamos lograr el resultado deseado aplicando el proceso de aceleración binaria y solo realizar 15 convoluciones (dado que 2^{15} = 32 768).

En tercer lugar, es evidente que los cálculos de convolución son funciones particionables que se pueden distribuir entre varios núcleos de procesador en un entorno distribuido. Por ejemplo, si es necesario realizar un total de 32 convoluciones, 16 de ellas podrían colocarse en un núcleo de procesador y 16 podrían colocarse en un segundo núcleo de procesador. Una vez que cada núcleo de procesador ha calculado su resultado intermedio, los dos resultados intermedios podrían combinarse en un tercer núcleo de procesador donde se realiza la convolución final entre los dos resultados intermedios. Este enfoque de divide y vencerás de los cálculos de convolución se puede distribuir obviamente en incluso más de dos núcleos de procesador, siempre que los resultados se combinen en última instancia para los pasos finales de convolución. Este enfoque completo también parece estar bien diseñado para dividirse y ejecutarse de forma paralela, de una manera multi-nodo dentro de un clúster de Hadoop compatible con entornos YARN o MapReduce. Por lo tanto, el cálculo de las convoluciones parece ser adecuado para la paralelización mediante el uso de varios servidores.

Determinación de la capacidad de ancho de banda disponible en el “Grupo de Servicio”

Con referencia a la Figura 2C, para cualquier subsistema que pase datos a (o desde) un grupo de suscriptores dentro de un “Grupo de Servicio”, es preferible especificar la Capacidad de Ancho de Banda Disponible en el paso opcional 120. Generalmente, esta capacidad es dictada por

algunos cuellos de botella potenciales dentro del sistema que limitan la cantidad total de capacidad de ancho de banda que se puede pasar a (o desde) los suscriptores dentro del “Grupo de Servicio”.

Estos posibles cuellos de botella pueden aparecer en cualquiera de varias áreas, ya que los datos suelen ser procesados por muchos elementos. Por ejemplo, considere un entorno DOCSIS donde los datos descendentes se pasan a través de un enrutador 16 y a través de un CMTS 18 como se muestra en la Figura 1, a un sistema de distribución de fibra coaxial y luego a un cable módem 14. Los cuellos de botella potenciales incluyen el ancho de banda del puerto del lado WAN en el enrutador 16, la capacidad de procesamiento del enrutador, la capacidad de la placa base del enrutador, el ancho de banda del puerto del lado LAN en el enrutador, el ancho de banda del puerto del lado WAN en el CMTS 18, la capacidad de procesamiento del CMTS, la capacidad de la placa base del CMTS y el ancho de banda del puerto del lado del cable en el CMTS 18 (definido por el número de canales DOCSIS configurado en el cable coaxial). Normalmente, solo uno de estos posibles cuellos de botella se convierte en el cuello de botella limitante, lo que limita la capacidad general del sistema a su valor más bajo. Aunque cualquiera de estos posibles cuellos de botella (enumerados anteriormente) podría ser el cuello de botella limitante, a menudo se descubre que es el ancho de banda del puerto del lado del cable en el CMTS 18 (definido por el número de canales DOCSIS configurados en el cable coaxial).

Independientemente de qué cuello de botella potencial sea el cuello de botella limitante, el Operador debe identificar el cuello de botella limitante y determinar la capacidad de ancho de banda asociada permitida por ese cuello de botella limitante. El Operador siempre puede optar por modificar el cuello de botella limitante (añadir canales DOCSIS, etc.) para aumentar la capacidad de ancho de banda asociada, pero eso normalmente implica costes de sistema

añadidos. Sin embargo, en algún momento, el operador debe “identificar” los elementos particulares del sistema que planean utilizar y determinar su cuello de botella limitante final y su capacidad de ancho de banda final asociada. Esta capacidad de ancho de banda asociada final se convierte en la Capacidad de Ancho de Banda Disponible para el “Grupo de Servicio”.

Calcular una QoE utilizando la Probabilidad de Superar la Capacidad de Ancho de Banda Disponible del “Grupo de Servicio” como métrica

Una vez que se ha calculado la Función de Densidad de Probabilidad Agregada Final” para un “Grupo de Servicio” particular (utilizando las convoluciones iterativas del paso anterior) y una vez que se ha identificado la Capacidad de Ancho de Banda disponible para el “Grupo de Servicio”, puede ser preferible definir una métrica para medir cuantitativamente el Nivel de Calidad de Experiencia que los suscriptores dentro de ese “Grupo de Servicio” probablemente experimenten. Idealmente, esta sería una métrica que se relaciona con la Función de Densidad de Probabilidad Agregada Final y la Capacidad de Ancho de Banda Disponible.

Se podrían utilizar muchas métricas diferentes de Calidad de Experiencia. Una métrica preferida que se aplica a muchos tipos de servicio diferentes (datos, voz, video, etc.) es la probabilidad de que las acciones del suscriptor soliciten niveles de ancho de banda que superen la Capacidad de Ancho de Banda Disponible del “Grupo de Servicio”. Por lo tanto, en el paso 122 se puede especificar un nivel de QoE deseado utilizando la métrica de la probabilidad de superar la capacidad de ancho de banda disponible del “Grupo de Servicio”. El razonamiento para utilizar esta métrica es sencillo.

Considere un escenario en el que un Operador haya construido un sistema que pueda suministrar una Capacidad de Ancho de Banda Disponible de 2 Gbps a un “Grupo de Servicio”. Si los suscriptores dentro de ese “Grupo de Servicio” nunca solicitan más de 2 Gbps de ancho de banda real, entonces es muy probable que esos suscriptores tengan altos niveles de Calidad de Experiencia, como se muestra, por ejemplo, en la Figura 11. Esto, por supuesto, supone que sus flujos de datos no se ven obstaculizados por otros obstáculos de la ruta, como sobrecargas del servidor en el origen o congestión del enrutador en la ruta norte de la red de entrega del Operador. Si, en cambio, los suscriptores dentro de ese “Grupo de Servicio” nunca solicitan más de 2 Gbps de ancho de banda real, entonces es muy probable que esos suscriptores tengan un bajo nivel de Calidad de Experiencia, como se muestra en la Figura 12. Los flujos de tráfico de ancho de banda alto (la Carga Ofrecida) que llegan al CMTS, como el CMTS 18 de la Figura 1, tendrán que limitarse a la capacidad de ancho de banda disponible de 2 Gbps por la caja de CMTS para crear un conjunto de flujos de tráfico de ancho de banda bajo que se salen del CMTS (la Carga Entregada). Esta limitación controlada de la Carga Ofrecida solo se puede realizar mediante retrasos de paquetes en colas y caídas de paquetes dentro del CMTS. Debe quedar claro que se producen retrasos de paquetes y caídas de paquetes en todos los elementos de la red, como los Enrutadores, dentro de Internet. Estos retrasos y caídas probablemente se acoplen (a través de la ruta de retroalimentación TCP ACK) nuevamente al origen TCP y provoquen que TCP reduzca su ventana de congestión y disminuya el rendimiento de los flujos de tráfico que se envían a los suscriptores. Es probable que los suscriptores vean los valores de rendimiento reducidos, y esos valores de rendimiento reducidos podrían conducir a niveles de QoE reducidos.

La Figura 11 ilustra, por lo tanto, un punto interesante relacionado con las mediciones muestreadas de ancho de banda tomadas en la etapa 102 de la Figura 2A, es decir, que hay tanto tráfico de entrada como de salida que a menudo debe tenerse en cuenta. Por ejemplo, para

el tráfico de datos descendente de alta velocidad que se propaga a través de los elementos de red de la Figura 1, el tráfico de entrada para el CMTS 18 llega desde el enrutador 16, y el tráfico de salida para el CMTS 18 sale del CMTS que se dirige hacia el combinador 19 por vía descendente del CMTS 18. Por lo tanto, hay muchas ubicaciones en las que se pueden tomar muestras de ancho de banda. Idealmente, estas muestras de ancho de banda se toman en el lado de entrada del elemento de red donde las colas y las caídas pueden desempeñar un papel importante en la limitación del ancho de banda en un “punto de choque”. Para los sistemas DOCSIS, es probable que la cola y la caída de paquetes se produzcan dentro de la lógica de Administración y Programación de Tráfico del CMTS. Es probable que el “punto de choque” esté en el propio CMTS, porque es donde la capacidad de ancho de banda disponible de los enlaces de entrada (en la parte superior del CMTS en la Figura 1) se reduce inmensamente antes de que el tráfico se transmita en los enlaces de salida. El ancho de banda de entrada a menudo será mayor que el ancho de banda de salida debido a los retrasos de paquetes y caídas de paquetes que pueden producirse dentro del CMTS. Por este motivo, es posible que el ancho de banda de entrada en el CMTS supere la Capacidad de Ancho de Banda Disponible asociada con el puerto de salida en el CMTS. El ancho de banda potencialmente mayor en el puerto de entrada a veces se denomina “Carga Ofrecida”, y el ancho de banda potencialmente menor en el puerto de salida a veces se denomina “Carga Entregada”. A menudo es cierto que la Carga Entregada es menor que la Carga Ofrecida. La diferencia entre los dos valores en cualquier momento representa flujos de paquetes que se han retrasado o caído para reducir los niveles de Carga Entregada. Estos conceptos se ilustran en la Figura 13.

Los ejemplos extremos ilustrados en las Figuras 11 y 12 no son la norma. En el mundo real, pueden producirse fluctuaciones de tráfico, por lo que la Carga Ofrecida a veces es menor que la capacidad de ancho de banda disponible, lo que produce una buena QoE, pero a veces mayor

que la capacidad de ancho de banda disponible, lo que produce una Calidad de Experiencia potencialmente mala o potencialmente buena. Esto se ilustra en la Figura 14.

Dentro de esta memoria descriptiva, los periodos de tiempo en los que la Carga Ofrecida es inferior a la Capacidad de Ancho de Banda Disponible se describirán como periodos de tiempo “verdes”, donde el verde implica una buena QoE: todos los paquetes fluyen rápidamente a través del CMTS sin grandes retrasos o caídas de paquetes. Dentro de esta memoria descriptiva, los períodos de tiempo en los que la Carga Ofrecida es mayor que la Capacidad de Ancho de Banda Disponible se describirán como períodos de tiempo “Amarillos”, donde el amarillo implica una QoE posiblemente mala o una QoE posiblemente buena; algunos de los paquetes fluyen a través del CMTS con grandes retrasos y/o caídas de paquetes durante un período de tiempo “Amarillo”, pero no está claro si ese evento “Amarillo” está provocando reducciones en la Calidad de Experiencia. Si los resultados son QoE bajas, estos dependen de la naturaleza de las aplicaciones que son destinatarias de los niveles de ancho de banda reducidos. Por ejemplo, los flujos de video ABR IP (como los entregados por Netflix) son más bien resistentes a los retrasos periódicos de paquetes y a las tasas de transferencia efectiva de paquetes porque (a) hay búferes de fluctuación relativamente grandes integrados en el software del cliente que permiten que los flujos de paquetes entrantes tengan reducciones periódicas o pérdidas de paquetes, y las retransmisiones de TCP pueden rellenar fácilmente esas lagunas; y (b) la naturaleza adaptativa del video ABR IP puede permitir que los anchos de banda de flujo se reduzcan (utilizando resoluciones más bajas) si/cuando se experimentan retrasos de paquetes o caídas de paquetes. Sin embargo, otras aplicaciones (como las Pruebas de Velocidad) pueden ser muy sensibles a los retrasos de paquetes y a las caídas de paquetes que puedan producirse. Por lo tanto, un evento “Verde” casi siempre implica una buena Calidad de Experiencia, pero un evento “Amarillo” es menos claro: podría implicar una mala Calidad de Experiencia para algunos suscriptores y una

buena Calidad de Experiencia para otros suscriptores. Pero a un alto nivel, un evento “Amarillo” representa la posibilidad de tener una menor Calidad de Experiencia.

Por lo tanto, declaramos que podemos obtener alguna medida de la Calidad de Experiencia entre los suscriptores si supervisamos la fracción de tiempo que los suscriptores dentro del “Grupo de Servicio” están experimentando eventos “Verdes” (Prob(“Verde”)) y la fracción de tiempo que los suscriptores dentro del “Grupo de Servicio” están experimentando eventos “Amarillos” (Prob(“Amarillo”)). Debe tenerse en cuenta que, si las observaciones se toman durante bastante tiempo, entonces la fracción de tiempo que los suscriptores dentro del “Grupo de Servicio” experimentan eventos “Verdes” = probabilidad de experimentar un evento “Verde” = Prob(“Verde”) y la fracción de tiempo que los suscriptores dentro del “Grupo de Servicio” experimentan eventos “Amarillos” = probabilidad de experimentar un evento “Amarillo” = Prob(“Amarillo”). También debe tenerse en cuenta que Prob(“Verde”) + Prob(“Amarillo”) = 1,0. Una fracción más alta de eventos “Amarillos” (es decir, un valor más alto de Prob(“Amarillo”)), y, a la inversa, una fracción más baja de eventos “Verdes” (es decir, un valor más bajo de Prob(“Verde”)) es un indicador de que el nivel de Calidad de Experiencia de los suscriptores puede ser menor. Una fracción más baja de eventos “Amarillos” (es decir, un valor más bajo de Prob(“Amarillo”)), y, a la inversa, una fracción más alta de eventos “Verdes” (es decir, un valor más alto de Prob(“Verde”)) es un indicador de que el nivel de Calidad de Experiencia de los suscriptores puede ser probablemente menor. Por lo tanto, aunque estas métricas (Prob(“Amarillo”) y Prob(“Verde”)) no son perfectas, ambas métricas medibles son indicadores útiles de la Calidad de Experiencia.

Otro resultado útil del uso de estas dos métricas (Prob(“Amarillo”) y Prob(“Verde”)) es que también se pueden obtener fácilmente de la Función de Densidad de Probabilidad del Ancho de Banda

Agregada Final combinada con el valor de Capacidad de Ancho de Banda Disponible. Esto significa que el trabajo en el dominio de tiempo no es necesario para calcular las dos métricas, y, dado que las técnicas definidas en los pasos anteriores permiten el cálculo de las Funciones de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda Agregada Final y los valores de Capacidad de Ancho de Banda Disponible para “Grupos de servicio” para futuros tiempos, el uso de las funciones de densidad de probabilidad y de los valores de Capacidad de Ancho de Banda Disponible para calcular la Prob(“Amarillo”) y Prob(“Verde”) proporcionará más valor y más capacidad para adaptarse al futuro que trabajar con muestras de dominio de tiempo.

Una modalidad ilustrativa que calcula las dos métricas (Prob(“Amarillo”) y Prob(“Verde”)) a partir de una Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda Agregada Final conocida y un valor de Capacidad de Ancho de Banda Disponible conocido para un “Grupo de Servicio” procede de la siguiente manera. El reconocimiento de que el área bajo una parte de la Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda Agregada Final va desde el Ancho de Banda #1 al Ancho de Banda #2 genera la probabilidad de que el “Grupo de Servicio” vea el ancho de banda dentro del rango desde el Ancho de Banda #1 al Ancho de Banda #2. Por lo tanto, si el Ancho de Banda #1 se define como el valor de Capacidad de Ancho de Banda Disponible y si el Ancho de banda #2 se define como el infinito, entonces la Prob(“Amarillo”) es igual al área bajo la Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda Agregada Final entre el valor de Capacidad de Ancho de Banda Disponible y el infinito. En esencia, esta es la probabilidad de que el nivel de ancho de banda del “Grupo de Servicio” supere el valor de Capacidad de Ancho de Banda Disponible.

De una manera similar, si el Ancho de Banda #1 se define como cero y si el Ancho de banda #2 se define como el valor de Capacidad de Ancho de Banda Disponible, entonces la Prob(“Verde”)

= al área bajo la Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda Agregada Final entre cero y el valor de Capacidad de Ancho de Banda Disponible. En esencia, esta es la probabilidad de que el nivel de ancho de banda del “Grupo de Servicio” sea menor que el valor de Capacidad de Ancho de Banda Disponible. Estos conceptos se ilustran en la Figura 15. Dado que la Capacidad de Ancho de Banda Disponible (definida por la línea roja discontinua) se mueve a niveles de ancho de banda más altos o más bajos (a la derecha e izquierda de la figura), el área asociada con la Prob(“Verde”) se hace más grande y más pequeña, respectivamente. Esta modificación del valor de la capacidad de Ancho de Banda Disponible básicamente cambia el nivel de Calidad de Experiencia.

Por lo tanto, los métodos numéricos simples y bien conocidos para calcular áreas bajo las curvas pueden usarse para determinar tanto Prob(“Verde”) como Prob(“Amarillo”) una vez que se conocen la Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda Agregada Final y la Capacidad de Ancho de Banda Disponible. El valor de la Prob(“Verde”) es una métrica que se puede utilizar como indicador del peor caso posible de Buena Calidad de Experiencia: describe esencialmente el peor caso (el más pequeño) de fracción de tiempo para esperar que los suscriptores dentro del “Grupo de Servicio” experimenten una Buena Calidad de Experiencia. De manera similar, el valor de la Prob(“Amarillo”) es una métrica que se puede utilizar como indicador del peor caso posible de Buena Calidad de Experiencia en que describe esencialmente el peor caso (el más grande) de fracción de tiempo para esperar que los suscriptores dentro del “Grupo de Servicio” experimenten una Mala Calidad de Experiencia. Debe tenerse en cuenta que la fracción real de tiempo que los suscriptores experimentarán realmente una Mala Calidad de Experiencia probablemente será menor que este número de peores casos. Como resultado, esta métrica de Prob(“Amarillo”) realmente da un límite superior en la cantidad de tiempo que los suscriptores experimentarán una Mala Calidad de Experiencia.

Debe estar claro que el uso de una Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda para describir las ráfagas de ancho de banda de la Figura 14 pierde una parte importante de la información que se encuentra en la Figura 14. Esta información describe la ubicación temporal de las ráfagas de ancho de banda. En el mundo real, está claro que hay cierta dependencia entre la ubicación temporal de una ráfaga de ancho de banda (para una ventana de 1 segundo) y la ubicación temporal de otras ráfagas de ancho de banda (para ventanas de 1 segundo). Una vez que comienza una ráfaga, existe una mayor probabilidad de que continúe existiendo en los próximos segundos. Sin embargo, este efecto es cada vez menos importante cuando los sistemas tienen un valor de Prob("Amarillo") relativamente bajo. La probabilidad de alguna ráfaga pase a "Amarillo" es baja, por lo que la probabilidad de tener intervalos "Amarillos" consecutivos también es una probabilidad baja. Dado que se espera que los diseños que utilizan los sistemas y métodos revelados normalmente exijan que Prob("Amarillo") sea bajo, el hecho de que las relaciones temporales entre ráfagas se pierdan en las Funciones de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda puede ignorarse.

Calcular una QoE utilizando el Tiempo Promedio Entre Eventos donde el Ancho de Banda Real Supera el Ancho de Banda Disponible como métrica

Los cálculos descritos en la divulgación anterior correspondiente al paso 122 proporcionan una métrica de QoE razonablemente buena utilizando los valores de Prob("Verde") y Prob("Amarillo") divulgados. Los valores de Prob("Verde") altos y los valores de Prob("Amarillo") correspondientemente bajos corresponden a una Alta Calidad de Experiencias. Sin embargo, se pueden utilizar otras métricas, además, o como alternativa a, las métricas reveladas con respecto al paso 122 para proporcionar más o diferente información sobre que tan bien o mal funcionará

un diseño de “Grupo de Servicio” particular. Una vez que se calcula la métrica Prob(“Amarillo”), este valor también indicará la fracción de tiempo que el “Grupo de Servicio” experimentará un evento “Amarillo” (con una Carga Ofrecida mayor que la Capacidad de Ancho de Banda Disponible). Dado que las muestras de ancho de banda para el “Grupo de Servicio” se toman en intervalos conocidos, por ejemplo, cada segundo, esta métrica de Prob(“Amarillo”) también indica la fracción de muestras de ancho de banda que esperamos que muestren mediciones de ancho de banda mayores que la Capacidad de Ancho de Banda Disponible para el “Grupo de Servicio”.

Por lo tanto, los eventos “Amarillos” se dispersan realmente en el tiempo en todas las muestras de dominio de tiempo de 1 segundo para el “Grupo de Servicio”. En algunas modalidades, se puede suponer que los eventos “Amarillos” no están correlacionados y pueden ocurrir aleatoriamente a lo largo del tiempo, por lo tanto, se puede calcular el tiempo promedio entre los eventos sucesivos “Amarillos” (es decir, el tiempo promedio entre muestras de 1 segundo con ancho de banda mayor que la Capacidad de Ancho de Banda Disponible) y en el paso 124 se puede especificar una QoE usando la métrica del tiempo promedio entre eventos donde el ancho de banda real excede el ancho de banda disponible. La fórmula sencilla que nos da esta nueva métrica es:

Tiempo Promedio Entre Eventos “Amarillos” = Período de Muestreo / [Prob(“Amarillo")]

En muchos de los ejemplos anteriores, se utilizó un período de muestreo de 1 segundo. En tal caso, la fórmula anterior se convierte en:

Tiempo Promedio entre Eventos “Amarillos” = 1 segundo / [Prob(“Amarillo”).

La siguiente tabla indica cómo varias mediciones para Prob(“Amarillo”) (y Prob(“Verde”) se convertirán en valores de Tiempo Promedio Entre valores de Evento “Amarillo” Sucesivos:

Prob Amarillo	Prob Verde	Tiempo Promedio Entre “Amarillo”
0.02	0.98	50 segundos
0.01	0.99	1 min. 40 segundos
0.005	0.995	3 min. 20 segundos
0.001	0.999	16 min. 40 segundos
0.0005	0.9995	22 min. 20 segundos
0.0001	0.9999	2 horas 46 min.
0.00005	0.99995	5 horas 33 min.

En esta tabla, se puede observar que las reducciones en los valores de Prob(“Amarillo”) conducen a menores probabilidades de tener un evento “Amarillo”, y esto, a su vez, conduce a períodos de tiempo promedio mucho más largos entre eventos “Amarillos” sucesivos. Si la Capacidad de Ancho de Banda Disponible del “Grupo de Servicio” aumenta a un nivel para que la Prob(“Amarillo”) baje a 0,0001 (y la Prob(“Verde”) = 0.9999), entonces la duración promedio entre eventos “Amarillos” sucesivos es de 2 horas y 46 minutos. Esto es aproximadamente igual a la duración total del “Período Ocupado” que normalmente ocurre de las 20:00 a las 23:00 todas las noches. Como resultado, implica que normalmente solo se producirá un único evento “Amarillo” de 1 segundo en una noche dada. Esto puede considerarse aceptable para la mayoría de los Operadores. Si se desean probabilidades aún más bajas de eventos “Amarillos”, entonces la duración media del tiempo entre eventos “Amarillos” sucesivos será aún más larga, y muchas noches pasarán sin que ocurra un único evento “Amarillo”.

Los presentes inventores creen que los Operadores sensibles a los costes pueden desear ejecutar sus “Grupos de Servicio” con un valor Prob(“Amarillo”)= 0.02 y un valor correspondiente

(Prob(“Verde”)= 0.98. Con esta condición de red, se producirá un evento “Amarillo” aproximadamente una vez cada 50 segundos. Pero dado que la mayoría de los eventos “Amarillos” no son catastróficos y dado que los eventos sucesivos “Amarillos” probablemente afectarán a diferentes suscriptores con cada evento sucesivo, la mayoría de los suscriptores probablemente no notarán las repercusiones de un evento “Amarillo” que ocurre cada 50 segundos. El uso de este diseño permite al Operador ejecutar el “Grupo de Servicio” con Capacidades de Ancho de Banda Disponible mucho más bajas, lo que les permite ahorrar dólares de inversión en equipos necesarios para proporcionar esa Capacidad de Ancho de Banda Disponible. Sin embargo, los expertos en la técnica reconocerán que diferentes modalidades que usan esta métrica descrita pueden dirigirse a diferentes valores de Prob(“Amarillo”).

Las pruebas de velocidad pueden ser una de las aplicaciones más exigentes y son muy sensibles a la congestión de la red. También es una herramienta muy importante que los operadores y los clientes utilizan para medir el rendimiento de SLA. Por lo tanto, se puede examinar el impacto de QoE de una prueba de velocidad común como OOKLA cuando se utiliza el valor Prob(“Amarillo”)=0.02. Esta prueba se ejecutará normalmente en 25 segundos o menos, por lo que, en promedio, puede haber un único evento “Amarillo” una vez cada dos pruebas de velocidad. Esto significa que la prueba de velocidad sin el evento “Amarillo” se ejecutará a su velocidad máxima de Tmáx. La otra prueba de velocidad con un evento “Amarillo” se ejecutará a velocidad máxima durante 24 de los 25 intervalos, pero a una velocidad reducida para el intervalo “Amarillo”. Aunque asumamos que la capacidad es insignificante durante el evento “Amarillo”, la prueba de velocidad sigue alcanzando el 96 % de su capacidad Tmáx. Si el parámetro de Tmáx DOCSIS se aprovisiona con al menos un 4% adicional de sobrecarga, entonces el consumidor puede aún alcanzar su valor de SLA contractual a pesar de un único evento “Amarillo”. Con al menos un 8% de sobrecarga adicional de Tmáx, el consumidor puede seguir alcanzando su valor

de SLA contractual con dos eventos “Amarillos”. Para este ejemplo, la probabilidad de dos eventos “Amarillos” dentro de una única prueba de velocidad es muy pequeña.

Los expertos en la técnica apreciarán que algunas modalidades del sistema descrito solo pueden usar la métrica descrita en la etapa 122, mientras que otros solo pueden usar la métrica descrita en la etapa 124. Por ejemplo, como se señaló anteriormente, la métrica descrita en el paso 124 (el tiempo promedio entre los eventos “Amarillos”) se calcula sobre la suposición de que los eventos amarillos no están correlacionados, y aunque esta métrica puede seguir siendo útil en circunstancias en las que los eventos amarillos no están correlacionados, lo que justifica el uso de la métrica en todas las circunstancias, algunas otras modalidades pueden determinar si dicha correlación existe, y si existe, solo utilizan la métrica descrita en el paso 122. Aunque otras modalidades pueden usar ambas métricas mientras que otras modalidades pueden usar otras métricas no descritas específicamente en la presente descripción, por lo tanto, cada una de las etapas 122 y 124 son estrictamente opcionales, aunque en modalidades preferidas es ciertamente beneficioso establecer alguna métrica para cuantificar la QoE.

Los expertos en la técnica también apreciarán que las etapas descritas previamente no necesariamente tienen que realizarse en el orden exacto descrito. Por ejemplo, algunas modalidades pueden especificar el ancho de banda disponible antes de tomar muestras del uso del ancho de banda por suscriptor, o antes de crear funciones de distribución de probabilidad, etc.

Todos los pasos anteriores se pueden realizar en tiempo real (como si la red estuviera funcionando) o se pueden realizar tomando muestras de los datos, archivando los datos y, a

continuación, realizando todos estos cálculos fuera de línea y guardando los resultados para que los resultados se puedan utilizar en el campo en un momento posterior.

El enfoque de muestreo/archivo requiere herramientas de monitorización de la red, cantidades significativas de almacenamiento y posprocesamiento significativo, lo que puede restringir el número de sitios y Grupos de Servicio que pueden ser supervisados. Por el contrario, el diseño de una caja CMTS/CCAP con puertos u otras conexiones que permitan la supervisión/almacenamiento remoto de los datos que fluyen a través del CMTS/CCAP puede permitir analizar cantidades masivas de datos en tiempo real y comprimirlos en un formato más manejable. Aunque es posible que el intento de crear un pdf de ancho de banda por módem no sea realista, el CMTS puede ser capaz de crear compartimientos de Histograma de Frecuencia para cada uno de los grupos de Tipo de Suscriptor, así como sus propios Grupos de Servicio DOCSIS y su Grupo de Servicio de puerto NSI. Esto permitirá crear fácilmente un pdf de ancho de banda para cada uno en tiempo real. Con muchos CMTS que recopilan estas mismas estadísticas, se puede crear un muestreo mucho mayor de módems.

Mediante estas técnicas, el sistema puede ser capaz de calcular de forma eficaz Prob(“Amarillo”) en tiempo real para cada uno de sus Grupos de Servicio DOCSIS. Esto permite potencialmente la Monitorización de QoE en tiempo real para todos y cada uno de los Grupos de Servicio, lo que proporciona un enorme impulso a las operaciones de red que intentan determinar cuándo se agota la Capacidad de Ancho de Banda Disponible de cada Grupo de Servicio.

Determinar si las métricas de QoE son aceptables

Las técnicas descritas en los pasos 102-124 permiten al Operario calcular varias Métricas de Calidad de Experiencia, incluida la Prob(“Amarillo”), la Prob(“Verde”) y el Tiempo Promedio Entre Eventos “Amarillos” Sucesivos.

En el paso opcional 126, el Operador puede determinar si las métricas de Calidad de Experiencia de salida resultantes son aceptables o no. Los operadores pueden utilizar la experiencia con las notificaciones de problemas de los clientes y correlacionar el número de notificaciones de problemas de los clientes con estas métricas para determinar si las métricas de salida son una medida suficiente de la QoE. También pueden utilizar los resultados de las ejecuciones de simulación (imitación de las operaciones de los suscriptores y determinación de cuándo las métricas producen niveles de rendimiento de suscriptor aceptables). De cualquier manera, esto permite al Operador definir finalmente Valores Umbral para Niveles Operativos Aceptables para cada una de las métricas de Calidad de Experiencia.

Otra técnica que puede crear una correlación más formal entre los valores de la Prob(“Verde”) y la Calidad de Experiencia es crear un modelo de simulación del CMTS (u otro elemento de la red), a partir del cual se puede determinar la naturaleza de los retrasos en el flujo de paquetes asociados y las caídas de paquetes para un sistema en particular, y, a continuación, se puede determinar el Nivel de Calidad de Experiencia aproximado (como la Puntuación de la Monitorización de Rendimiento de OOKLA u otra Puntuación de la Monitorización de Rendimiento) de los flujos de paquetes dentro de una “Área” (como un Grupo de Servicio) insertando esos retrasos simulados de paquetes y caídas de paquetes en una ejecución real de OOKLA. En algunas modalidades, esto puede lograrse en un entorno de laboratorio, que puede lograrse como se muestra a continuación:

i. identificar las estadísticas de retraso de ráfagas de retraso prolongado asociadas con un valor de Prob(“Verde”) en particular. Esto se puede lograr ejecutando flujos de paquetes de suscriptor recopilados reales a través del modelo de simulación CMTS. El modelo preferiblemente almacena en búferes los paquetes y potencialmente los hace caer cuando se producen ráfagas de ancho de banda. El resultado de esta ejecución de simulación producirá características de retraso y caída que corresponden a la solución de “Grupo de Servicio” concreta;

ii. cuando se produce una ráfaga de ancho de banda de entrada de varios suscriptores transmisores, debe haber ráfagas de retraso claras que se produzcan dentro del modelo de simulación. Estas ráfagas de retraso se etiquetan preferentemente con una variable i, donde i varía de 1 al número de ráfagas de retraso en la ejecución de simulación. Para una ráfaga de retraso particular con la etiqueta i, esa ráfaga de retraso particular puede caracterizarse aproximadamente mirando el peor retraso posible Max_Xi experimentado por cualquier paquete dentro de esa ráfaga de retraso i-th (Max_Xi). También se puede caracterizar aproximadamente por toda la duración Yi (en tiempo) de la ráfaga de retraso. Recopile una lista de tuplas (Max_Xi, Yi) para las diferentes ráfagas de retraso que se ven en la simulación, donde Max_Xi indica el retraso máximo y Yi indica la longitud de ráfaga asociada con el retraso de ráfaga i;

iii. a partir de la lista compilada en el paso (ii), identifique el valor Max_Xi más grande y el valor Yi más grande, y coloque estos dos valores más grandes juntos en una tupla para crear (Max_Max_Xi, Max_Yi). Esta tupla anómala representa el peor de los escenarios de retrasos de paquetes y duraciones de ráfaga de paquetes (para el “Grupo de Servicio” particular de interés) en los pasos siguientes. Por lo tanto, una ráfaga de retraso convencional que retrasa los paquetes ALL por Max_Max_Xi dentro de un intervalo de tiempo dado por Max_Yi se inyectará en flujos de paquetes reales que van a una Prueba de OOKLA;

iv. seleccione un valor Z que represente la fracción del recorrido a través de las Pruebas de Monitorización de Rendimiento de OOKLA cuando la ráfaga de retraso largo se inyecta en el flujo de paquetes asociados con la Prueba de OOKLA;

v. ejecute una Prueba de Monitorización de Rendimiento de OOKLA real utilizando un cliente de OOKLA real y un servidor de OOKLA real.

vi. calcule el número medio N de ráfagas de retraso convencionales que se producirían (en promedio) durante la duración de la prueba de OOKLA. Si, por ejemplo, la prueba de OOKLA se ejecuta durante Test_Time=40 segundos y se descubrieron ráfagas (en promedio) cada T=19 segundos, entonces N = ceiling(Test_Time/T) = ceiling(40/19) = 2 ráfagas convencionales de retraso Max_Max_Xi y durante un periodo de tiempo Max_Yi pueden insertarse en la ruta de los paquetes dentro de la prueba de OOKLA;

vii. inserte un número N apropiado de ráfagas de retraso convencionales en el paquete de OOKLA mientras se ejecuta la Monitorización de Rendimiento de OOKLA, donde los paquetes reciben un retraso Max_Max_Xi durante un período de tiempo dado por Max_Yi. Este retraso se añade simplemente a sus retrasos normales debido a la ruta de propagación. La última ventana de ráfaga de retraso convencional Max_Yi debe insertarse en un punto que sea una fracción Z del camino hasta la finalización de la prueba OOKLA; y

viii. mida la puntuación de la Prueba de Monitorización del Rendimiento (S) de OOKLA para la ejecución asociada con cada ejecución con una tupla de valores dada por (Max_Max_Xi,Max_Yi,Z,N) y repita las ejecuciones para obtener un muestreo estadístico de las puntuaciones S, utilizando la puntuación S del peor caso para especificar la puntuación OOKLA del peor caso para este “Grupo de Servicio” y utilizando (Max_Max_Xi, Max_Yi, Z, N) para definir la naturaleza de las ráfagas de retraso que atacan los flujos de paquetes de OOKLA. A continuación, cree un mapeo a partir de los valores de “Grupo de Servicio” y (Max_Max_Xi, Max_Yi, Z, N) para Prob(“Verde”) y para la puntuación S del peor caso de OOKLA.

Se puede crear una tabla de puntuaciones de la Prueba de Supervisión del Rendimiento (S) de OOKLA para muchos tipos de sistemas de “Grupo de Servicio” diferentes. El objetivo es crear una tabla que asocie la Puntuación de Monitorización de Rendimiento de OOKLA del peor caso (S) con los valores Prob(“Verde”) y con los valores de ráfaga de retraso asociados dentro de la tupla (Max_Max_Xi,Max_Yi,Z,N) para cada tipo de sistema de “Grupo de servicio” en una lista de tipos de “Grupo de Servicio”. Esto se puede lograr como se describe a continuación:

1. repita los pasos i-viii anteriores para un mayor número de configuraciones de “Grupo de Servicio”, en algunas modalidades incluso para “Grupos de Servicio” hipotéticos que aún no existen hoy;

2. identifique un tipo de “Grupo de Servicio” particular de una lista de “Grupos de Servicio” que contenga varias disposiciones de suscriptores de Nsub, donde cada suscriptor tiene una tupla definida específicamente (Tmáx, Tavg, Relación Activa de la Aplicación). Esta definición de “Grupo de Servicio” también debe especificar la Capacidad de Ancho de Banda Disponible dentro del “Grupo de Servicio”;

3. cree modelos para las Funciones de Densidad de Probabilidad del Suscriptor para cada suscriptor dentro del “Grupo de Servicio” concreto utilizando los modelos de regresión que salen del paso 108 en la Figura 2A. Utilice los métodos de convolución descritos anteriormente para determinar el valor de la Prob(“Verde”) asociado a cada “Grupo de Servicio” y la Capacidad de Ancho de Banda Disponible dentro del “Grupo de Servicio”;

4. dado que se trata de un “Grupo de Servicio” hipotético, es posible que no se recopilen datos reales del grupo de servicio, por lo que, en algunos casos, puede ser necesario generar tráfico en un entorno de simulación CMTS para cada suscriptor generando ráfagas a partir de sus modelos de Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda por Suscriptor. En esencia, esto crea una Función de Distribución Acumulativa a partir de cada modelo de Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda por Suscriptor. Para determinar el nivel

de ancho de banda particular generado por un suscriptor particular durante una ventana de 1 segundo, se puede utilizar un generador de números aleatorios uniforme para acceder a una variable J aleatoria en el eje y de la Función de Distribución Acumulativa, y luego se puede hacer un mapa desde J a través de la curva de la Función de Distribución Acumulativa, y luego hacia abajo hasta el eje x para seleccionar un valor de ancho de banda de 1 segundo para este suscriptor particular para transmitir. Los mapeos repetidos de esta naturaleza pueden crear una curva de ancho de banda representativa para este suscriptor en particular. Este proceso se puede realizar para todos los suscriptores dentro del “Grupo de servicio”. Debe tenerse en cuenta que cualquier acumulación localizada de ancho de banda que pueda ocurrir en el mundo real probablemente no se capture en este proceso. Si se desea añadir este efecto, entonces múltiples ráfagas de 1 segundo pueden moverse artificialmente juntas, pero determinar cómo hacerlo puede ser difícil;

5. las ráfagas de ancho de banda de todos los suscriptores luego se pueden agregar para crear un flujo de ancho de banda agregado a través del entorno de simulación CMTS. El simulador de CMTS puede entonces realizar la Administración de Tráfico en el ancho de banda y pasar el ancho de banda de forma similar a como se pasaría en un CMTS del mundo real. El entorno de simulación puede realizar un seguimiento de las ráfagas de retraso por suscriptor y de las caídas de paquetes. Habrá ráfagas de retraso claras dentro del modelo de simulación que se producen cada vez que se produce una ráfaga de ancho de banda de entrada. Estas ráfagas de retraso se etiquetan con una variable i, donde i varía de 1 al número de ráfagas de retraso. Para una ráfaga de retraso particular con la etiqueta i, esa ráfaga de retraso particular puede caracterizarse aproximadamente mirando el peor retraso posible Max_Xi experimentado por cualquier paquete dentro de esa ráfaga de retraso i-th (Max_Xi). También se puede caracterizar aproximadamente por toda la duración Yi (en tiempo) de la ráfaga de retraso. Por lo tanto, se puede crear una lista de tuplas (Max_Xi, Yi) para las diferentes ráfagas de retraso que se ven en

la simulación, donde Max_Xi indica el retraso máximo y Yi indica la longitud de ráfaga asociada con el retraso de ráfaga i. Repita esto para todos los suscriptores;

6. busque en la lista de todos los suscriptores e identifique el mayor valor de Max_Xi y el mayor valor de Yi. Agrupe estos dos valores más grandes en una tupla para crear (Max_Max_Xi, Max_Yi). Esta tupla anómala representa el peor de los escenarios de retrasos de paquetes y duraciones de ráfaga de paquetes en los pasos siguientes. Por lo tanto, una ráfaga de retraso convencional que retrasa los paquetes ALL por Max_Max_Xi dentro de un intervalo de tiempo dado por Max_Yi se inyectará en flujos de paquetes reales que van a una Prueba de OOKLA;

7. seleccione un valor Z que represente la fracción del recorrido a través de las Pruebas de Monitorización de Rendimiento de OOKLA cuando la ráfaga de retraso largo se inyecta en el flujo de paquetes asociados con la Prueba de OOKLA;

8. ejecute una Prueba de Monitorización de Rendimiento de OOKLA;

9. calcule el número medio N de ráfagas de retraso convencionales que se producirían (en promedio) durante la duración de la prueba de OOKLA. Si, por ejemplo, la prueba de OOKLA se ejecuta durante Test_Time=40 segundos y se descubrieron ráfagas (en promedio) cada T=19 segundos, entonces inserte N = ceiling(Test_Time/T) = ceiling(40/19) = 2 ráfagas convencionales de retraso Max_Max_Xi y para una duración de Max_Yi en la ruta de los paquetes dentro de la prueba de OOKLA;

10. inserte un número N apropiado de ráfagas de retraso convencionales en el paquete de OOKLA mientras se ejecuta el Monitor de Rendimiento OOKLA, donde los paquetes reciben un retraso Max_Max_Xi durante un período de tiempo dado por Max_Yi. Este retraso se añade a sus retrasos normales debido a la ruta de propagación. La última ventana de ráfaga de retraso convencional Max_Yi debe insertarse en un punto que sea una fracción Z del camino hasta la finalización de la prueba OOKLA;

11. mida la puntuación de la Prueba de Monitorización de Rendimiento de OOKLA (S) para la ejecución asociada con cada ejecución con una tupla de valores dada por (Max_Max_Xi,Max_Yi,Z,N). Repita las ejecuciones para obtener un muestreo estadístico de las puntuaciones S; y

12. repita los pasos 1-11 para muchos “Grupos de Servicio” diferentes. Esto creará la tabla deseada que muestra el tipo de “Grupo de Servicio”, Prob(“Verde”), (Max_Max_Xi,Max_Yi,Z,N) y la peor puntuación de rendimiento de OOKLA (S).

Alterar dinámicamente el diseño de “Grupo de Servicio” en respuesta a métricas de QoE inaceptables

En los pasos 122 y 124, se definieron valores umbral para niveles operativos aceptables para cada uno de las métricas de QoE (Prob(“Amarillo”), la Prob(“Verde”) y el tiempo promedio entre eventos “Amarillos” sucesivos. Si los valores actuales de la métrica de QoE o las predicciones basadas en futuros para los valores de la métrica de QoE (calculados en los pasos 122 y 124) no producen resultados aceptables (es decir, no se encuentran en el lado deseado de los Valores Umbrales), entonces se deben tomar medidas para “arreglar” el “Grupo de Servicio”. El sistema puede iniciar automáticamente muchas de estas acciones una vez activadas por la comparación no deseada entre la métrica de QoE real y los valores umbral. Como se indicó anteriormente, en algunas modalidades, los proveedores de servicios pueden desear definir diferentes umbrales para la QoE aceptable para diferentes grupos de servicios, o incluso diferentes umbrales para la QoE aceptable para diferentes niveles de servicio de suscriptor dentro de un grupo de servicio.

Las acciones típicas que se pueden realizar en un entorno de cable DOCSIS incluyen:

i. enviar un mensaje para iniciar una división de nodo (la acción que divide a los suscriptores en un “Grupo de Servicio” en dos “Grupos de Servicio” más pequeños de manera que sus “Grupos de Servicio” recién definidos tengan valores de Nsub más bajos y niveles de ancho de banda más bajos y una mejor QoE;

ii. enviar un mensaje para mover a los suscriptores de ancho de banda alto fuera del entorno del Grupo de Servicio de Cable DOCSIS y hacia otro entorno de Grupo de Servicio (p. ej., PON) para que los demás suscriptores restantes en el entorno de cable DOCSIS SG experimenten niveles de ancho de banda más bajos y una mejor QoE;

iii. encender más canales DOCSIS 3.0 o 3.1 para que los niveles de Capacidad de Ancho de Banda Disponible aumenten y los suscriptores experimenten una mejor QoE;

iv. apagar los canales DOCSIS 3.0 y sustituir los canales DOCSIS 3.0 por nuevos canales DOCSIS 3.1 para que los niveles de capacidad de ancho de banda disponibles aumenten y los suscriptores experimenten una mejor QoE;

v. reducir el número de canales de video (p. ej., potenciar el Video Digital Conmutado (SDV), convertir MPEG-2 a MPEG-4 y/o reducir el número de programas) y sustituir los canales de video por nuevos canales DOCSIS 3.1 para que los niveles de capacidad de ancho de banda disponibles aumenten y los suscriptores experimenten una mejor QoE;

vi. aumentar el espectro del sistema activando más espectro para que los niveles de capacidad de ancho de banda disponibles aumenten y los suscriptores experimenten una mejor QoE; y

vii. actualizar la planta HFC a una Arquitectura de Acceso Distribuido como PHY Remoto o MACPHY Remoto que potencialmente aumentará los pedidos de modulación utilizados por los canales DOCSIS 3.1, aumentando así el ancho de banda disponible.

Los expertos en la técnica apreciarán que este listado no es exhaustivo, y pueden tomarse otras medidas para modificar un Grupo de Servicio para obtener niveles operativos aceptables.

Solución (2) en la dirección descendente

Como se mencionó anteriormente, una modalidad de los sistemas y métodos descritos incluye calcular la capacidad de ancho de banda requerida dado un tamaño de Grupo de Servicio (Nsub), un conjunto particular de características para una mezcla de suscriptores dada, y un nivel de QoE requerido. Este método puede lograrse realizando primero las etapas 102-118 mostradas en las Figuras 2A y 2B.

Con referencia a la Figura 16, después de la etapa 118, el nivel de Calidad de Experiencia requerido se especifica en la etapa 202. Esta entrada se puede dar en términos del valor de la Prob (“Amarillo”) deseado, el valor de la Prob(“Verde”) deseado o el valor de “Tiempo Promedio Entre Eventos “Amarillos” Sucesivos” deseado. Los expertos en la técnica se darán cuenta de que, si se especifica cualquiera de estos tres valores, los otros dos pueden calcularse. Por lo tanto, independientemente del valor que se introduzca, se puede determinar el valor de Prob(“Verde”) deseado.

En la etapa 204, los métodos numéricos pueden usarse preferentemente para calcular sucesivamente el área debajo de la Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda Agregada Final, comenzando con el ancho de banda cero y avanzando de manera sucesiva a través de los anchos de banda hasta que el área calculada debajo de la Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda Agregada Final de ancho de banda cero a un valor X de ancho de banda sea igual o ligeramente mayor que el valor Prob(“Verde”) deseado. Debe tenerse en cuenta que este procedimiento calcula la Función de Distribución Acumulada asociada con la Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda Agregada Final. El valor X es el valor

de interés, que es la “Capacidad de Ancho de Banda requerida” necesaria dentro del Grupo de Servicio.

Por último, en el paso 206 las acciones se seleccionan automáticamente para configurar la capacidad de ancho de banda requerida dentro del “Grupo de Servicio”. El sistema puede iniciar automáticamente muchas de estas acciones una vez activadas por los cálculos anteriores. Estas acciones potenciales en un entorno de cable DOCSIS incluyen:

1) encender más canales DOCSIS 3.0 o 3.1 para que los niveles de capacidad de ancho de banda disponible se establezcan y los suscriptores experimenten la QoE deseada;

2) apagar los canales DOCSIS 3.0 y sustituir los canales DOCSIS 3.0 por nuevos canales DOCSIS 3.1 para que se establezcan los niveles de capacidad de ancho de banda disponibles y los suscriptores experimenten la QoE deseada;

3) reducir el número de canales de video (p. ej., potenciar el Video Digital Conmutado (SDV), convertir MPEG-2 a MPEG-4 y/o reducir el número de programas) y sustituir los canales de video por nuevos canales DOCSIS 3.1 para que los niveles de capacidad de ancho de banda disponibles se establezcan y los suscriptores experimenten la QoE deseada;

4) aumentar el espectro del sistema activando más espectro para que se establezcan los niveles de capacidad de ancho de banda disponibles y los suscriptores experimenten la QoE deseada;

5) programar una división de nodos; y

6) actualizar la planta HFC a una Arquitectura de Acceso Distribuido como PHY Remoto o MACPHY Remoto que potencialmente aumentará los pedidos de modulación utilizados por los canales DOCSIS 3.1, aumentando así el ancho de banda disponible.

Los expertos en la técnica apreciarán que este listado no es exhaustivo, y se pueden tomar otras medidas para establecer la capacidad de ancho de banda requerida dentro del “Grupo de Servicio”.

Una vez implementados los pasos anteriores, puede ser beneficioso crear una fórmula que describa la “Capacidad de Ancho de Banda Requerida” para el sistema concreto que se está definiendo. Como se puede ver anteriormente, “Capacidad de Ancho de Banda Requerida” se define como el valor de capacidad de ancho de banda disponible particular (más pequeño) o el valor X calculado anteriormente. Esto se puede hacer ejecutando los pasos anteriores para muchos sistemas diferentes con varias mezclas de Tavg, Tmáx y Relaciones Activas de la Aplicación en los suscriptores. Al final, la fórmula deseada puede tener la forma:

Capacidad de Ancho de Banda Requerida = f(Tavg, Tmáx, Relaciones Activas de la Aplicación, Prob(“Amarillo”))= Nsub*Tavg + Delta(Tavg, Tmáx, Relaciones Activas de la Aplicación, Prob(“Amarillo”)).

Una vez que se pueden observar muchos sistemas, la fórmula Delta se puede calcular utilizando técnicas de Regresión.

La parte Nsub*Tavg de la fórmula puede considerarse el Tavg del Grupo de Servicio (Tavg_sg) y refinarse más. En esta forma, Tavg es el ancho de banda promedio entre todos los suscriptores. Como se indicó anteriormente, Tavg puede variar para cada uno de los grupos de Tipo de Suscriptor. Por lo tanto, una representación más precisa podría ser:

Tavg_sg = Nsub*Tavg = ∑Nsub(i)*Tavg(i) para i=1 a n

donde Nsub(1) y Tavg(1) están asociados con el 1er grupo de Tipo de Suscriptor y Nsub(n) y Tavg(n) están asociados con el grupo de Tipo de Suscriptor nth.

La función Delta también se puede mejorar para ser:

Delta(Tavg, Tmáx, Relaciones Activas de la Aplicación, Prob(“Amarillo”) =

Tráfaga + QoE_Delta (Tavg, Tmáx, Relaciones Activas de la Aplicación, Prob(“Amarillo”) =

Tmax_max + QoE_Delta (Tavg, Tmáx, Relaciones Activas de la Aplicación, Prob(“Amarillo”)

donde Tráfaga es la tasa mínima de ráfaga de ancho de banda aceptable. Para muchos operadores, este valor predeterminado será Tmax_max. En áreas menos competitivas y no reguladas, un operador puede elegir una Tráfaga inferior (por ejemplo, Tráfaga = 50%*Tmáx).

Solución (3) en la Dirección Descendente

Como se mencionó anteriormente, una modalidad de los sistemas y métodos descritos incluye calcular el tamaño admisible del Grupo de Servicio (Nsub) dado el nivel de QoE requerido, la capacidad de ancho de banda real disponible, y un conjunto particular de características para una mezcla de suscriptores dada. La Figura 17 muestra un método 300 que logra esta solución.

En el paso 302, se puede introducir una QoE requerida, utilizando cualquiera de una o más de las tres métricas descritas anteriormente, dadas por Prob(“Amarillo”), Prob(“Verde”) o el Tiempo Promedio Entre Eventos Amarillos Sucesivos. Los expertos en la técnica apreciarán que, una vez que se introduce una de las tres métricas, las otras dos pueden calcularse.

En los pasos 304 y 306, se puede introducir la capacidad de ancho de banda disponible dentro del “Grupo de Servicio” y el conjunto apropiado de características (por ejemplo, Tavg y Tmáx, y tipos de aplicación que se utilizan), respectivamente.

En la etapa 308, un bucle (que generalmente comprende las etapas 102-118 que se muestra en las Figuras 2A-2B) se realiza repetidamente donde el valor de Nsub aumenta progresivamente

desde un valor inicial hasta que se alcanza el valor más grande de Nsub que satisface las tres entradas de restricción enumeradas anteriormente, por ejemplo, hasta que Nsub se haya vuelto tan grande que se supera la métrica de QoE requerida, después de lo cual se usa el valor de Nsub inmediatamente anterior.

Los expertos en la técnica apreciarán que diferentes modalidades pueden usar diferentes etapas en el bucle 308. Por ejemplo, las etapas a las que se hace referencia como opcionales en la descripción anterior de las Figuras 2A y 2B pueden omitirse del bucle 308 sin apartarse del alcance de la presente descripción.

Solución (4) en la Dirección Descendente

Como se mencionó anteriormente, una modalidad de los sistemas y métodos descritos incluye calcular conjuntos admisibles de características para una mezcla de suscriptores dada, tamaño del “Grupo de Servicio”, nivel de QoE requerido y Capacidad de Ancho de Banda Disponible real. La Figura 18 muestra un método 400 que logra esta solución.

En el paso 402, se puede introducir una QoE requerida, utilizando cualquiera de una o más de las tres métricas descritas anteriormente, dadas por Prob(“Amarillo”), Prob(“Verde”) o el Tiempo Promedio Entre Eventos Amarillos Sucesivos. Los expertos en la técnica apreciarán que, una vez que se introduce una de las tres métricas, las otras dos pueden calcularse.

En los pasos 404 y 406, se puede introducir la capacidad de ancho de banda disponible dentro del “Grupo de Servicio” y un Nsub de tamaño de “Grupo de Servicio” seleccionado, respectivamente.

En la etapa 408, un bucle (que generalmente comprende las etapas 102-118 que se muestra en las Figuras 2A-2B), se realiza repetidamente donde valores de {Tavg, Tmáx, Relación Activa de la Aplicación} aumentan progresivamente desde un valor inicial hasta que se logra la combinación de {Tavg, Tmáx, Relación Activa de la Aplicación} que satisface las tres entradas de restricción enumeradas anteriormente, por ejemplo, hasta que la combinación se haya vuelto tan grande que se supera la métrica de QoE requerida, después de lo cual se usa el valor de Nsub inmediatamente anterior como la salida.

Los expertos en la técnica apreciarán que diferentes modalidades pueden usar diferentes etapas en el bucle 408. Por ejemplo, las etapas a las que se hace referencia como opcionales en la descripción anterior de las Figuras 2A y 2B pueden omitirse del bucle 408 sin apartarse del alcance de la presente descripción.

Además, debe tenerse en cuenta que el procedimiento anterior hace la suposición simplificada de que todos los suscriptores de Nsub comparten los mismos valores de {Tavg, Tmáx, Relación Activa de la Aplicación}. Este método se puede ampliar, sin embargo, para incluir varias mezclas de grupos de Tipo de Suscriptor para obtener resultados con diferentes valores {Tavg, Tmáx, Relación Activa de la Aplicación}.

Solución (5) en la Dirección Descendente

Otra modalidad de los sistemas y métodos descritos incluye un método que combina la Solución (3) y la Solución (4). En particular, esta modalidad requeriría calcular un conjunto de tamaños de Grupo de Servicio permitidos (valores Nsub) junto con un conjunto “minimalista” de características (Tavg, Tmáx y tipos de aplicaciones) para una mezcla de suscriptores determinada, nivel de QoE

requerido y Capacidad de Ancho de Banda Disponible real. La Figura 19 muestra un método 410 que logra esta solución.

En el paso 412, se puede introducir una QoE requerida, utilizando cualquiera de una o más de las tres métricas descritas anteriormente, dadas por Prob(“Amarillo”), Prob(“Verde”) o el Tiempo Promedio Entre Eventos Amarillos Sucesivos. Los expertos en la técnica apreciarán que, una vez que se introduce una de las tres métricas, las otras dos pueden calcularse.

En el paso 414, se puede introducir la capacidad de ancho de banda disponible dentro del “Grupo de Servicio” y en el paso 416, un bucle (que comprende generalmente las etapas 102-118 mostradas en las Figuras 2A-2B) se realiza iterativamente, donde el valor de Nsub se incrementa desde un valor inicial hasta un valor final, y para cada valor de Nsub, los valores de {Tavg, Tmáx, Relación Activa de la Aplicación} aumentan gradualmente desde un valor inicial hasta que se logra la combinación de {Nsub, Tavg, Tmáx, Relación Activa de la Aplicación} que satisface las dos entradas de restricción enumeradas anteriormente, es decir, hasta que la combinación se haya vuelto tan grande que se supere la métrica de QoE requerida, después de lo cual la combinación inmediatamente anterior de {Nsub, Tavg, Tmáx, Relación Activa de la Aplicación} se utiliza como la salida para ese valor de Nsub, y la siguiente iteración del bucle se realiza en el siguiente valor incremental de Nsub, hasta que se alcance un valor de Nsub para el que ninguna combinación de atributos satisfaga la métrica de QoE requerida, después de lo cual el valor de Nsub anterior se utiliza como valor final.

Los expertos en la técnica apreciarán que diferentes modalidades pueden usar diferentes etapas en el bucle 416. Por ejemplo, las etapas a las que se hace referencia como opcionales en la

descripción anterior de las Figuras 2A y 2B pueden omitirse del bucle 416 sin apartarse del alcance de la presente descripción.

Además, debe tenerse en cuenta que el procedimiento anterior hace la suposición simplificada de que todos los suscriptores de Nsub comparten los mismos valores de {Tavg, Tmáx, Relación Activa de la Aplicación}. Este método se puede ampliar, sin embargo, para incluir varias mezclas de grupos de Tipo de Suscriptor para obtener resultados con diferentes valores {Tavg, Tmáx, Relación Activa de la Aplicación}.

Solución (6) en la Dirección Descendente

Otra modalidad de los sistemas y métodos descritos incluye una combinación diferente de la Solución (3) y la Solución (4). En particular, esta modalidad requeriría calcular tamaños de Grupo de Servicio (valor Nsub) junto con un conjunto de características (Tavg, Tmáx y tipos de aplicaciones) que satisfacen una regla deseada para una mezcla de suscriptores determinada, nivel de QoE requerido y Capacidad de Ancho de Banda Disponible real. La Figura 18B muestra un método 420 que logra esta solución.

En el paso 422, se puede introducir una QoE requerida, utilizando cualquiera de una o más de las tres métricas descritas anteriormente, dadas por Prob(“Amarillo”), Prob(“Verde”) o el Tiempo Promedio Entre Eventos Amarillos Sucesivos. Los expertos en la técnica apreciarán que, una vez que se introduce una de las tres métricas, las otras dos pueden calcularse.

En el paso 424, se puede introducir la capacidad de ancho de banda disponible dentro del “Grupo de Servicio”, y en el paso 426, se puede introducir una regla deseada. Las reglas pueden adoptar

muchas formas. Un ejemplo de una regla podría ser que el nivel de QoE debe ser aceptable y que el valor Nsub debe estar dentro de un rango preespecificado y que los ingresos totales generados por el grupo de suscriptores deben exceder algún valor predefinido. Dado que los ingresos por suscriptor están asociados con la configuración de Tmáx del suscriptor, la regla puede indicar que el nivel de QoE debe ser aceptable y que el valor de Nsub debe estar dentro de un rango preespecificado y que el producto del valor Nsub que multiplica el valor de Tmáx debe ser mayor que un umbral predefinido particular (dado que el producto del valor de Nsub que multiplica el valor de Tmáx puede estar relacionado con los ingresos totales generados por el grupo de suscriptores).

Suponiendo tal regla, en la etapa 428, el valor de Nsub mínimo admisible y ese valor de Nsub máximo admisible pueden introducirse, que juntos definen el rango especificado previamente para los valores de Nsub. En la etapa 430, se puede introducir el valor umbral predefinido (que se comparará con el producto del valor de Nsub multiplicado por el valor de Tmáx).

En el paso 432, un bucle (que comprende generalmente las etapas 102-118 mostradas en las Figuras 2A-2B) se realiza repetidamente donde el valor de Nsub se incrementa desde el valor de Nsub mínimo admisible hasta el valor de Nsub máximo admisible y para cada valor de Nsub, los valores de {Tavg, Tmáx, Relación Activa de la Aplicación} aumentan gradualmente de un valor inicial a un valor final hasta que se cumple la regla, es decir, hasta que el nivel de QoE se vuelva aceptable y el producto del valor de Nsub multiplicado por el valor de Tmáx sea mayor que el umbral predefinido. Una vez que se ha encontrado un conjunto de valores que satisfacen la regla, la combinación resultante de valores {Nsub, Tavg, Tmáx, Relación Activa de la Aplicación} se utiliza como la salida que satisface la regla.

Los expertos en la técnica apreciarán que diferentes modalidades pueden usar diferentes etapas en el bucle 432. Por ejemplo, las etapas a las que se hace referencia como opcionales en la descripción anterior de las Figuras 2A y 2B pueden omitirse del bucle 612 sin apartarse del alcance de la presente descripción.

Además, debe tenerse en cuenta que el procedimiento anterior hace la suposición simplificada de que todos los suscriptores de Nsub compartan los mismos valores de {Tavg, Tmáx, Relación Activa de la Aplicación}. Este método se puede ampliar, sin embargo, para incluir varias mezclas de grupos de Tipo de Suscriptor para obtener resultados con diferentes valores {Tavg, Tmáx, Relación Activa de la Aplicación}.

Además, debe tenerse en cuenta que el CMTS puede ejecutar acciones automatizadas para reconfigurar dinámicamente los componentes de red (p. ej., utilizando mensajes OpenFlow o Netconf/YANG para desviar el tráfico a diferentes puertos o para cambiar la configuración en Nodos de Fibra configurables dinámicamente) para garantizar que todos los grupos de servicios tengan el tamaño para coincidir con la combinación de {Nsub, Tavg, Tmáx, Relación Activa de la Aplicación} que sale del algoritmo anterior. Esto se ilustra en el paso opcional 434.

Predecir el periodo de vida útil futuro de un “Grupo de Servicio” y alterar automática y dinámicamente el “Grupo de Servicio”

Otra herramienta valiosa que se puede utilizar para ayudar a activar acciones dentro de un motor de inteligencia artificial es una herramienta divulgada que predice la capacidad de ancho de banda necesaria mes a mes o año a año, de cara al futuro. Esta herramienta realiza preferentemente este cálculo con entradas de la Capacidad de Ancho de Banda Disponible

actual, los niveles de QoE aceptables más altos y más bajos de Prob("Verde"), la CAGR (Tasa de Crecimiento Anual Acumulada) para los valores de Tmáx y la CAGR (Tasa de Crecimiento Anual Acumulada) para los valores de Tavg. También debe especificarse preferentemente la naturaleza particular del "Grupo de Servicio", que de alguna manera describe el tamaño (Nsub) del "Grupo de Servicio" y los valores actuales (Tmáx, Tavg, Relación Activa de la Aplicación) para cada uno de los suscriptores de Nsub dentro del "Grupo de Servicio". Los valores de CAGR se pueden utilizar para recalcular los valores (Tmáx, Tavg, Relación Activa de la Aplicación) para cada uno de los suscriptores Nsub en diferentes meses o años en el futuro.

Con referencia a la Figura 21, con los valores de (Tmáx, Tavg, Relación Activa de la Aplicación) para cada suscriptor en cada momento (mes o año) en el futuro, los pasos 102-118 descritos anteriormente pueden usarse para calcular la capacidad de ancho de banda requerida en diferentes puntos en el tiempo (creando los modelos basados en regresión de las Funciones de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda para cada suscriptor en cada punto en el tiempo, y luego convolucionar las Funciones de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda para cada conjunto de suscriptores de Nsub en cada momento para crear la Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda Agregada Final para el "Grupo de Servicio" en cada momento, y luego la Capacidad de Ancho de Banda Requerida se puede calcular para un rango de niveles aceptables de Calidad de experiencia Prob("Verde"). Mientras la capacidad de ancho de banda disponible actual sea mayor que la capacidad de ancho de banda requerida para el nivel de QoE de Prob("Verde") más bajo admisible, entonces el "Grupo de Servicio" actual continuará proporcionando un servicio adecuado y tendrá una vida útil que se extenderá más profundamente en el futuro. Cuando la capacidad de ancho de banda disponible actual es inferior a la capacidad de ancho de banda requerida para el nivel de QoE de Prob("Verde") más bajo admisible, el "Grupo de Servicio" actual no proporcionará un servicio adecuado y tendrá que finalizar su vida útil, lo

que requerirá un cambio de algún tipo. Por lo tanto, este procedimiento permite determinar la vida útil del “Grupo de Servicio” actual.

En algunas modalidades, el número de suscriptores puede reducirse para simular una actividad típica de división de nodo, que convierte un único nodo en dos o más nodos y distribuye los suscriptores de Nsub entre los dos o más nodos. Además, los suscriptores de Nsub pueden o no distribuirse de forma equitativa entre todos los nuevos nodos más pequeños. Con esta nueva definición de “Grupo de Servicio”, se pueden repetir los pasos enumerados en el párrafo anterior y se puede calcular la vida útil del “Grupo de Servicio” con una división de nodos.

Una vez que la herramienta ha creado la información sobre la vida útil del “Grupo de Servicio” actual (con y sin división de nodo), esta información se puede utilizar para activar la alteración dinámica y automática del “Grupo de Servicio” en un momento adecuado antes del final de la vida útil del “Grupo de Servicio”. Estas alteraciones pueden incluir:

1) activar más canales DOCSIS 3.0 para que se establezcan los niveles de capacidad de ancho de banda disponibles y que los suscriptores experimenten la QoE deseada;

2) activar más canales DOCSIS 3.1 para que se establezcan los niveles de capacidad de ancho de banda disponibles y que los suscriptores experimenten la QoE deseada;

3) desactivar los canales DOCSIS 3.0 y sustituir los canales DOCSIS 3.0 por nuevos canales DOCSIS 3.1 para que se establezcan los niveles de capacidad de ancho de banda disponibles y los suscriptores experimenten la QoE deseada;

4) reducir el número de canales de video (p. ej., potenciar el Video Digital Conmutado (SDV), convertir MPEG-2 a MPEG-4 y/o reducir el número de programas), y sustituir los canales de video por nuevos canales DOCSIS 3.1 para que se establezcan los niveles de capacidad de ancho de banda disponibles y los suscriptores experimenten la QoE deseada;

5) aumentar el espectro del sistema activando más espectro para que se establezcan los niveles de capacidad de ancho de banda disponibles y los suscriptores experimenten la QoE deseada;

6) programar una división de nodos; y

7) actualizar la planta HFC a una Arquitectura de Acceso Distribuido como PHY remoto o MACPHY remoto que potencialmente aumentará los pedidos de modulación utilizados por los canales DOCSIS 3.1, aumentando así el ancho de banda disponible.

Los expertos en la técnica apreciarán que este listado no es exhaustivo, y se pueden tomar otras medidas para alterar dinámica y automáticamente el “Grupo de Servicio”.

Otra posible aplicación es en el caso de PHY remoto. En un escenario de R-PHY de profundidad de fibra, solo puede haber un par de docenas de suscriptores por Dispositivo R-PHY (RPD). Se pueden concentrar varias RPD juntas para formar un único Grupo de Servicio de dominio DOCSIS MAC con el fin de utilizar de forma más eficaz los recursos del núcleo de CCAP. Las RPD que se agrupan pueden tener un gran impacto en la QoE de cada Grupo de Servicio. Una herramienta inteligente puede analizar el uso de los suscriptores para clasificarlos y crear eficazmente un pdf de ancho de banda por RPD. Entonces, la herramienta puede decidir qué RPD agrupar para obtener un rendimiento óptimo.

Solución (1) en la Dirección Ascendente

La dirección “ascendente” en un sistema DOCSIS está compuesta por el flujo de paquetes que se propagan desde los módems de cable en el hogar a través de la planta Coaxial de Fibra Híbrida y al CMTS y luego hacia adelante al Enrutador que alimenta Internet. Por desgracia, los elementos de la red que probablemente sean “puntos de choque” ascendentes son

probablemente los módems de cable dentro de los hogares, porque los canales ascendentes unidos dentro del salto Coaxial de Fibra Híbrida son probablemente menores en ancho de banda que cualquier otro enlace en la ruta ascendente. Idealmente, las muestras de ancho de banda ascendentes (del paso 1) se medirían en los enlaces de entrada de estos módems de cable de "punto de choque". Estos enlaces de entrada en los módems de cable suelen ser enlaces Ethernet o WiFi dentro de los hogares de los suscriptores. Dado que hay muchos de ellos y que no suelen ser accesibles, es mucho más difícil adquirir mediciones de ancho de banda en esos "puntos de choque" de entrada. Idealmente, esto es lo que se podría hacer y los pasos de la solución (1) en la dirección ascendente pueden ser idénticos en algunas modalidades a los descritos anteriormente para la dirección descendente, pero en esta situación ideal, las muestras de ancho de banda se tomarían en los enlaces Ethernet y WiFi dentro de todas las casas que alimentan el "Grupo de Servicio".

Sin embargo, donde no es práctico medir estas muestras de ancho de banda, se debe usar una modalidad alternativa, que puede introducir algún error aceptable, para la dirección ascendente. Con referencia a la Figura 22, los enlaces Ethernet y WiFi están debajo de los módems de cable (CM), y la unión de todos esos enlaces de todos los hogares de suscriptores crea el puerto de entrada lógico de alto ancho de banda para el sistema ascendente de interés. Las colas de los módems de cable crean los puntos de choque en los que los flujos de paquetes pueden provocar un cuello de botella. Estas colas de módem de cable son los "puntos de choque" para los flujos ascendentes, y aquí es donde pueden producirse colas y retrasos y pérdidas de paquetes. El cable coaxial de fibra híbrida ascendente real es el puerto de salida de menor ancho de banda. Lo ideal sería realizar mediciones de muestras de ancho de banda en los enlaces Ethernet y WiFi situados debajo de los módems de cable.

Si el acceso a esos puntos no está disponible, los puntos de recogida de muestras de ancho de banda deben moverse preferiblemente a una ubicación diferente, como el CMTS o en los enlaces hacia el norte o elementos de red por encima del CMTS. Como resultado de esta modificación, las muestras de ancho de banda se toman en la ubicación “equivocada”, y puede realizarse alguna forma de corrección en algunas modalidades para la morfología que puede tener lugar entre la ubicación de muestreo ideal y la ubicación de muestreo real. Estas transformaciones son el resultado del hecho de que los retrasos y las pérdidas de las colas de módems de cable ya se han experimentado por los flujos de paquetes si las mediciones de muestras de ancho de banda se toman en el CMTS o al norte del CMTS. En esencia, es probable que el hecho de que los paquetes hayan pasado por las colas de módem de cable y los canales coaxiales de fibra híbrida, suavice las ráfagas. Además, si se toman mediciones de muestras de ancho de banda en enlaces o elementos al norte del CMTS, las transiciones también incluirán los impactos resultantes del procesamiento del CMTS de los paquetes Ascendentes y, potencialmente, los agruparán antes de que se vuelvan a transmitir a los enlaces con dirección norte, lo que puede volver a introducir cierta ráfaga.

Por lo tanto, el muestreo en el CMTS (o al norte del CMTS) puede resultar en estimaciones ligeramente más bajas de los requisitos de capacidad de ancho de banda disponibles. Sin embargo, el ciclo de programación Ascendente del CMTS está en el orden de varios milisegundos, que es pequeño al considerar una ventana de muestra de 1 segundo. En consecuencia, siempre que todo el proceso programador ascendente introduzca una cantidad mínima de retraso, por ejemplo, 50 ms, una modalidad plausible es simplemente usar las muestras de ancho de banda recogidas en el CMTS (o norte del CMTS) y realizar el resto de las etapas 104-118 sin ningún cambio. Alternativamente, en otras modalidades, las capacidades de ancho de banda requeridas pueden aumentarse ligeramente para la solución ascendente. Esto

también puede dar lugar a un ligero aumento de las estimaciones para la QoE, por lo que los niveles de QoE resultantes pueden disminuir ligeramente para la solución ascendente. Todos estos problemas pueden deberse al hecho de que los anchos de banda de pico alto generados por los módems de cable dentro del “Grupo de Servicio” medido se fijarán para que no sean superiores a la capacidad de ancho de banda disponible. Además, los períodos de tiempo en los que el ancho de banda se fija a la capacidad de ancho de banda disponible pueden alargarse artificialmente debido a las acciones de las colas dentro de los módems de cable. Por suerte, estos efectos no suelen afectar a un solo módem, sino que suelen afectar a muchos módems que se transmiten cuando el ancho de banda pico se fija al nivel de capacidad de ancho de banda disponible. Como resultado, el impacto de este efecto de pinzamiento se distribuye entre muchos módems, y las transiciones para cualquier módem en particular son mínimas. Todos estos problemas se ilustran en la Figura 23.

En otras modalidades, puede ser preferible proporcionar instrumentación en el CMTS para medir con más precisión el tráfico ascendente. Si se toman mediciones y se sabe que los datos ascendentes del CMTS no alcanzaron ninguna de las regiones “amarillas” congestionadas en la Figura 21, entonces hay datos muy precisos. Si se conoce el porcentaje de tiempo en que la vía ascendente está congestionada, entonces definirá un cierto nivel de confianza.

Ejemplos de instanciaciones

Es posible una serie de modalidades físicas diferentes de sistemas que implementan la descripción anterior. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 24, una instanciación particular puede usar hardware de caja blanca 500 que puede recibir uno o más enlaces Ethernet a un CMTS 18 a una velocidad de datos relativamente alta.

Idealmente, el número de enlaces Ethernet de entrada en el hardware de caja blanca debe ser mayor o igual que el número de enlaces Ethernet de entrada activos que alimentan el CMTS 18. Los enlaces Ethernet conectados a estos puertos de entrada en el hardware de caja blanca también deben conectarse a los puertos del enrutador (o conmutador) al norte del CMTS. Los paquetes descendentes que se dirigen al CMTS 18 se pueden duplicar en puertos y enviar tanto al CMTS 18 como al hardware de caja blanca. Los paquetes ascendentes que se envían hacia el norte desde el CMTS 18 también se pueden duplicar en puertos y enviar tanto a Internet como al hardware de caja blanca.

Dado que el hardware de caja blanca recibe cada paquete enviado hacia y enviado desde el CMTS 18, este puede registrar el ancho de banda hacia y desde cada dirección IP del suscriptor en segundos durante el período ocupado. Esta información se puede actualizar y archivar constantemente en un disco dentro del servidor de caja blanca (o en una granja de discos remota). Esto permite que el hardware de caja blanca actualice y amplíe continuamente los anchos de banda acumulados para todos los suscriptores, como se define en el paso 102.

Una vez que se han recogido las muestras de datos, los procesadores del servidor de caja blanca también pueden implementar los pasos de posprocesamiento 104, etc. Estos pasos pueden incluir la comunicación a través de SNMP o CLI u otros protocolos al CMTS 18 para adquirir información sobre los suscriptores particulares asociados al CMTS 18 y sus ajustes del Acuerdo de Nivel de Servicio del suscriptor. Estos pasos también pueden incluir la comunicación a través de SNMP o CLI u otros protocolos al CMTS 18 para cambiar la configuración en el número de canales o el ancho de banda de los canales en respuesta a los activadores que se generan como resultado de los análisis estadísticos que se realizan en los pasos 104, etc.

Algunas de las ventajas clave de este enfoque incluyen:

1. su capacidad para trabajar con cualquier arquitectura CMTS genérica, desde CCAP integrado hasta Arquitecturas de Acceso Distribuido;

2. su capacidad para trabajar con equipos CMTS o CMTS de cualquier proveedor;

3. todos los datos originales y la información de la marca horaria se conservan para poder realizar análisis adicionales en el futuro;

4. se alinea bien con las direcciones futuras de virtualización de enrutadores y funcionalidad de CMTS en la nube;

Sin embargo, algunos de los inconvenientes incluyen los requisitos de ancho de banda de red y capacidad de almacenamiento del servidor de caja blanca, especialmente si debe supervisar muchos CMTS en un sistema muy grande.

De forma alternativa, algunos o todos los análisis estadísticos podrían realizarse dentro del CMTS. Por ejemplo, el CMTS 18 podría examinar cada paquete que lo pasa, asignarlo a un grupo de Tipo de Suscriptor adecuado y, a continuación, recopilar estadísticas relevantes como Tavg y calcular el pdf de ancho de banda para ese grupo de Tipo de Suscriptor. El CMTS 18 también puede recopilar estadísticas relevantes para cada uno de sus Grupos de Servicio, como Tavg y cualquier umbral de QoE asociado para ese Grupo de Servicio.

En algunas modalidades donde el CMTS 18 realiza algunos de los análisis estadísticos, la caja blanca 500 puede sondear periódicamente cada CMTS 18 en el sistema para recopilar estos datos intermedios. Esto puede incluir la comunicación a través de SNMP o CLI u otros protocolos al CMTS 18 para adquirir información. El sondeo puede realizarse en el orden de segundos, minutos, horas o días en función de la información que se recupere. El posprocesamiento

adicional luego puede ser realizado por el servidor de caja blanca. Esto puede incluir tomar datos de varios CMTS 18 y fusionar los datos en un único perfil para todo el sistema.

Algunas de las ventajas clave de este enfoque incluyen:

1. se puede implementar en todos los CMTS, por lo que se recopilan estadísticas para cada usuario.
2. Reduce drásticamente el ancho de banda de red y los requisitos de almacenamiento necesarios para el servidor de caja blanca.
3. El procesamiento se realiza en tiempo real y no requiere ningún procesamiento posterior para ver algunos de los resultados.

Se podría imaginar que ambas implementaciones anteriores se podrían utilizar conjuntamente. Las funciones realizadas en el CMTS 18 proporcionan un análisis básico en todo el espacio ocupado por un operador, mientras que un servidor de caja blanca aún podría recibir paquetes duplicados de puertos de un CMTS 18 determinado, donde realiza análisis estadísticos más completos sobre la información.

Los expertos en la técnica apreciarán que, aunque un CMTS 18 como se muestra y describe para ilustrar el tema descrito en el contexto de una arquitectura coaxial de fibra híbrida CATV, pueden usarse otras modalidades de los sistemas y métodos descritos en otros sistemas de distribución de datos, por ejemplo, redes celulares, redes telefónicas/DSL, redes ópticas pasivas (PON), etc. Por lo tanto, los sistemas y métodos descritos son relevantes para cualquier sistema que proporcione datos, voz, video y otro contenido descendente de tal tipo desde una fuente común a una multiplicidad de clientes a través de una red de distribución, y/o entrega de contenido

ascendente de cada una de una multiplicidad de clientes a un destino común a través de tal red de distribución.

Por ejemplo, la Figura 25 muestra una arquitectura de acceso distribuido 600 para distribuir contenido a una pluralidad de grupos de clientes o suscriptores 610 desde Internet 602 a través de un enrutador 604 y una red de conmutadores Ethernet 606 y nodos 608. En esta arquitectura, el enrutador 604 puede recibir contenido descendente de Internet 602 y retransmitir ese contenido a lo largo de una red ramificada, controlada por los conmutadores Ethernet 606, a los nodos 608. Cada nodo 608 presta servicios a un grupo respectivo de suscriptores 610.

La arquitectura distribuida 600 es particularmente útil para la respuesta automatizada a la información obtenida de las funciones de distribución de probabilidad, como se describió anteriormente en la memoria descriptiva. Por ejemplo, el enrutador 604 y/o los conmutadores Ethernet 606 pueden ajustar dinámicamente los tamaños de los grupos de servicios en respuesta a las mediciones que indican que la QoE se degrada o se degradará a niveles inaceptables en función de las funciones de distribución de probabilidad para un período de tiempo actual o futuro. Como otro ejemplo, el enrutador 604 y/o los conmutadores Ethernet pueden reconfigurar a los clientes 610 en diferentes grupos de suscriptores basados en patrones de uso para reducir la probabilidad de que la demanda de ancho de banda en el router 604, o cualquier conmutador Ethernet 606, aumente a un nivel que produciría una QoE considerada inaceptable. Aún en otro ejemplo, cuando los datos a clientes o grupos de clientes particulares pueden proporcionarse a través de más de un conmutador Ethernet, o enlaces entre nodos, diferentes conjuntos de conmutadores Ethernet pueden activarse o desactivarse durante ciertas horas del día para proporcionar el ancho de banda requerido cuando es más probable que sea demandado. Aún en otro ejemplo, una división de nodo puede activarse automáticamente cuando los sistemas y

métodos determinan que es necesario, como se describió anteriormente. En aún otro ejemplo, los sistemas y métodos descritos pueden utilizar grupos de servicio de diferentes tamaños, por ejemplo, el grupo de servicio 1 de tamaño cuatro y el grupo de servicio 2 de tamaño 2 como se muestra en la Figura 25. Los expertos en la técnica apreciarán que el sistema 600 proporciona muchas oportunidades diferentes para responder automáticamente y dinámicamente a la información proporcionada por el análisis automatizado de las funciones de probabilidad medidas por paquetes de muestreo de datos a los suscriptores, como se describió anteriormente, para mantener una QoE deseada a lo largo del tiempo.

Los expertos en la técnica apreciarán que, en cada uno de los ejemplos ilustrados en el párrafo anterior, es conveniente realizar uno o más de los análisis descritos anteriormente (por ejemplo, muestreo, creación de un pdf, regresión, análisis de tiempo de avance, etc.) en cada uno de los Grupos de Servicio definidos en el sistema de la Figura 25, así como también todos los enlaces intermedios (por ejemplo, enlaces #1 a #7) así como la conexión de Internet al enrutador 604.

Los expertos en la técnica también apreciarán que la respuesta automatizada de un sistema, tal como el sistema 600, puede iniciarse de muchas maneras diferentes. Por ejemplo, el núcleo del enrutador/CMTS 604 puede incluir circuitos para controlar los conmutadores Ethernet 606 y/o nodos 608 en respuesta a los datos medidos en el núcleo del CMTS del enrutador 604. Alternativamente, los datos medidos en el enrutador 604 pueden transmitirse a un dispositivo remoto, tal como la caja blanca 500 de la Figura 24 o un servidor remoto para el análisis y el posterior control automatizado remoto de los conmutadores Ethernet 606 y/o nodos 608. Aún en otras modalidades, uno o más nodos 608 pueden incluir circuitos para implementar automáticamente una división de nodos cuando se indica.

Los métodos anteriores proporcionan una poderosa forma de diseñar y gestionar el ancho de banda para redes actuales y futuras. Los métodos se describieron para ejemplos que utilizan tráfico de datos de alta velocidad. Pero dado que las técnicas de medición (muestreo de ancho de banda cada segundo) son aplicables a otros tipos de tráfico (p. ej., video, telefonía, etc.), los métodos pueden utilizarse de forma similar para muchos tipos de tráfico diferentes.

La planificación de la capacidad en las redes DOCSIS se basa actualmente en umbrales de utilización anticipada, que, como se indicó anteriormente, se basan normalmente en reglas generales, como la configuración de la capacidad de ancho de banda requerida para algunos múltiplos de Nsub*Tavg o algunos múltiplos de Tmax_max. Sin embargo, estas reglas generales no tienen en cuenta el efecto que los niveles de utilización anticipados tienen en la experiencia del usuario, lo que conduce a actualizaciones defensivas que pueden causar exceso de capacidad o actualizaciones retrasadas que causan insatisfacción del cliente.

La Figura 26 generalmente ilustra un sistema de planificación de capacidad mejorado 700 que monitoriza los patrones de utilización de la red, predice las tendencias futuras y recomienda ajustes para satisfacer esas tendencias futuras. Concretamente, el sistema de planificación de capacidad 700 preferentemente comprende una red 702 analizada por un modelador de QoE 704 que, utilizando una base de datos de suscriptores 703, genera un modelo de QoE que especifica la capacidad requerida para una QoE satisfactoria experimentada por la entrada de mezclas del suscriptor de la base de datos 103. Preferentemente, el modelador de QoE 704 muestrea a los suscriptores en alta resolución para obtener un muestreo representativo de los suscriptores. Se apreciará que el modelador de QoE 704 puede utilizar cualquiera de las técnicas descritas anteriormente para determinar la capacidad requerida para satisfacer una QoE deseada dada, por ejemplo, la solución (2) mencionada anteriormente en esta memoria descriptiva.

La red 700 también es supervisada por un Monitor de Capacidad 706 que muestrea la red 700 para recopilar información sobre el uso real de la red. La información recopilada puede incluir preferentemente información sobre la topología de la red, niveles de servicio en la red y estadísticas de uso ascendentes y descendentes. La información recopilada preferentemente abarca millones de dispositivos y años de datos, y se almacena en una base de datos de capacidad 708.

Un modelador de tráfico adaptativo 710, como se describe en detalle más adelante en esta memoria descriptiva, recibe y analiza información de la base de datos de capacidad 708 y envía uno o más modelos de tendencias de tráfico a un evaluador de red 712. Concretamente, el modelador de tráfico 710 analiza la información en la base de datos de capacidad 708 para detectar tendencias pasadas en la utilización de capacidad y utiliza ese análisis para predecir tendencias de utilización futuras. Preferentemente, el modelador 710 modela adaptativamente los elementos de red y selecciona dinámicamente de una pluralidad de modelos a lo largo del tiempo para adaptarse mejor a las tendencias de capacidad anticipadas para cada elemento. En este contexto, y el elemento podría ser un nodo, un enrutador, un grupo de suscriptores o cualquier otra parte relevante de una red para la que se desean demandas de capacidad previstas.

El evaluador de red 712 valora la utilización pronosticada de los modelos de tendencias de tráfico obtenidos por el modelador 710, frente a la capacidad necesaria generada por el modelador de QoE 704. Basándose en estas puntuaciones, el evaluador de red 712 genera puntuaciones a un recomendador de capacidad 714. Las puntuaciones combinan preferiblemente el uso de la red, el suscriptor y la información del modelo de predicción con una transformación de QoE para indicar los elementos de red que necesitan actualización, obtenidas como una lista clasificada de

segmentos de red con la necesidad más urgente de capacidad adicional, junto con los datos de puntuación para cada elemento. El recomendador de capacidad 714, a su vez, es preferiblemente una aplicación orientada al usuario que utiliza la información de puntuación recibida para representar tendencias y predicciones de uso de capacidad.

La Figura 27 muestra un modelador de tráfico adaptativo ilustrativo 710, que incluye un muestreador adaptativo 720, un modelador 722, y un analizador de costos 710. El muestreador adaptativo 720 recibe de la base de datos de capacidad 708 una matriz de entrada 718, indicada como $\{sg_i(t)\}$, que cuantifica la utilización real de la capacidad de cada grupo de servicio a lo largo del tiempo. Con esta matriz de entrada 718, el muestreador adaptativo 720 genera una matriz de utilización pico $\{Psg_i(t)\}$ que cuantifica la utilización de la capacidad pico para cada grupo de servicio a lo largo del tiempo. La utilización de la capacidad pico puede representar en algunas modalidades la utilización diaria pico para un grupo de servicio, pero en otras modalidades puede representar la utilización semanal pico, la utilización mensual pico, etc. El método de muestreo utilizado por el muestreador adaptativo 720 puede basarse en un objetivo empresarial e implementarse a través de una entrada de perfil en el muestreador adaptativo 720.

El modelador 722 recibe la matriz de utilización pico $\{Psg_i(t)\}$ y ajusta los datos a cada uno de una pluralidad de modelos diferentes M_1, M_2 . . . M_n. Por ejemplo, diferentes modelos pueden ser lineales, cuadráticos, exponenciales, ARIMA, etc. Cada uno de los modelos, ajustados a la matriz de utilización pico, se analiza entonces mediante un analizador de costos de modelo 724 que utiliza la matriz de utilización pico y los modelos para determinar una matriz de modelos de mejor ajuste $\{msg_i(t)\}$ para cada grupo de servicio, basado en minimizar una función de costo $C\{msg_i(t)\}$. La matriz del modelo de mejor ajuste se reenvía como una salida 716 al evaluador de red 712.

Los expertos en la técnica comprenderán que la matriz de modelos de mejor ajuste $\{msg_i(t)\}$ puede modelar diferentes elementos de red con diferentes modelos de M_1, M_2 . . . M_n.

La Figura 28 muestra un muestreador adaptativo ilustrativo 720, que como se señaló anteriormente recibe una matriz de utilización de capacidad real $\{sg_i(t)\}$ y genera una matriz de utilización pico $\{Psg_i(t)\}$. Existen diferentes formas de representar la utilización de capacidad real, p. ej., la utilización de pico máxima 728, la utilización promedio parcial de 730, la utilización total 732, etc. Con un muestreador conservador, p. ej., pico máximo, el modelo de predicción será más agresivo en la predicción del exceso de capacidad, lo que potencialmente añadirá costes al operador para las actualizaciones a cambio de una mayor capacidad general y, por extensión, una mayor probabilidad de satisfacción del cliente. Por el contrario, con un muestreador liberal, p. ej., promedio total, los costes de actualización previstos pueden minimizarse con el riesgo de encontrarse con una sobreutilización de la capacidad existente. Preferentemente, el muestreador adaptativo 720 es capaz de determinar la utilización de la capacidad usando diferentes de estos métodos, e incluye un selector 734 mediante el cual un operador puede seleccionar un método de muestreo deseado basado en sus propios objetivos. En algunas modalidades, la periodicidad del muestreo puede ajustarse sobre la ventana temporal en base al objetivo comercial (perfil).

Las Figuras 29 y 30 muestran utilizaciones ilustrativas para el muestreador adaptativo 720, donde cada medición de utilización representa la utilización máxima o promedio durante una semana, es decir, cada muestra representa una semana. En otras modalidades, las muestras pueden representar la periodicidad diaria o mensual. En la Figura 29, las utilizaciones promedio de quince minutos se representan por curvas de promedio máximo, promedio parcial y promedio total, respectivamente. En la Figura 30, todas las capacidades de utilización requeridas son lo

suficientemente grandes para cubrir los datos de utilización originales, ya que los cálculos de capacidad requeridos están diseñados para cubrir las utilizaciones de ráfaga.

La Figura 31 muestra esquemáticamente el funcionamiento de un modelador de QoE ilustrativo 704, que recibe información de una red 702 y una base de datos de suscriptores 703. La red 702 proporciona metadatos de tráfico de red detallados, que comprenden información que puede estar limitada en el alcance de la red y el rango de tiempo, pero alta en resolución temporal, a un módulo 740 que identifica los flujos de tráfico de red. A partir de estos flujos de tráfico, el módulo 742 identifica el impacto que los flujos tienen en la QoE, que junto con la información de la base de datos de suscriptores 703, se puede utilizar en el módulo 744 para proporcionar un modelo del impacto que la capacidad tiene en la QoE.

La Figura 32 muestra esquemáticamente el funcionamiento de un evaluador de red ilustrativo 712, que recibe información del modelador de QoE 704 y del modelador de tráfico adaptativo 710. Desde el modelador de QoE 704, el evaluador de red 712 recibe un modelo de QoE como función del uso de la capacidad de toda la red. Desde el modelador de tráfico adaptativo, el evaluador de red 712 recibe un modelo de predicción del tráfico para cada segmento de red. A partir de esta información, el evaluador de red genera una lista clasificada de segmentos de red que más necesitan actualizaciones de capacidad, junto con información que predice la capacidad necesaria para cada segmento de red como una función de QoE, es decir, el evaluador de red transforma sus entradas en una salida en un espacio de QoE, mediante la cual se pueden determinar o recomendar las necesidades de capacidad futuras.

Se apreciará que la invención no se limita a la modalidad particular que se ha descrito, y que las variaciones pueden hacerse en la misma sin apartarse del alcance de la invención como se define

en las reivindicaciones adjuntas, como se interpreta de acuerdo con los principios de la ley vigente, incluida la doctrina de equivalentes o cualquier otro principio que aumente el alcance ejecutable de una reivindicación más allá de su alcance literal. A menos que el contexto indique lo contrario, una referencia en una reivindicación al número de instancias de un elemento, ya sea una referencia a una instancia o más de una instancia, requiere al menos el número establecido de instancias del elemento, pero no pretende excluir del alcance de la reivindicación una estructura o método que tiene más instancias de ese elemento de lo indicado. La palabra “comprende” o un derivado de esta, cuando se usa en una reivindicación, se usa en un sentido no exclusivo que no pretende excluir la presencia de otros elementos o etapas en una estructura o método reivindicado.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de planificación y recomendación de capacidad referencia cruzada a solicitudes relacionadas, que comprende:

un primer módulo que recibe información de una red que proporciona contenido a cada uno de una pluralidad de suscriptores (14) y utiliza la información para generar un primer modelo, el primer modelo modela la calidad de experiencia (QoE) de al menos un suscriptor (14) como una función de capacidad de al menos un elemento de red;

un segundo módulo que genera un segundo modelo que modela la capacidad futura del al menos un elemento de red basado en la recepción de información que mide ~~el uso~~la utilización real de la red; y

un tercer módulo que utiliza el primer modelo y el segundo modelo para generar una previsión de la capacidad necesaria en un intervalo futuro.

2. El sistema de la reivindicación 1 donde el tercer módulo proporciona la previsión como una salida de la capacidad futura requerida en un espacio de QoE.

3. El sistema de la reivindicación 1 donde el segundo módulo incluye un muestreador adaptativo que mide la utilización máxima basada en muestras de utilización real.

4. El sistema de la reivindicación 3 donde el muestreador adaptativo incluye un selector capaz de cambiar la forma en que se muestrea la utilización real.

5. El sistema de la reivindicación 3 donde el muestreador adaptativo es capaz de ajustar el periodo de muestreo en función de una periodicidad de las muestras de utilización real.

6. El sistema de la reivindicación 3 donde el segundo módulo incluye un modelador que ajusta los datos del muestreador adaptativo a cada uno de una pluralidad de modelos.

7. El sistema de la reivindicación 1 donde el tercer módulo genera una lista clasificada de segmentos de red con la necesidad más urgente de capacidad adicional.

8. Un modelador de tráfico adaptativo (710) para una red que proporciona contenido a cada uno de una pluralidad de suscriptores (14), el modelador (710) que comprende:

un muestreador adaptativo que mide la utilización máxima en función de las muestras de utilización real;

un modelador que ajusta los datos del muestreador adaptativo a cada uno de una pluralidad de modelos y genera una matriz de modelos de mejor ajuste para cada uno de al menos un elemento de red.

9. El modelador de tráfico adaptativo (710) de la reivindicación 8, incluido un analizador de costes utilizado por el modelador para determinar la matriz de modelos de mejor ajuste en función de una función de coste.

10. El modelador de tráfico adaptativo (710) de la reivindicación 8 donde el muestreador adaptativo es capaz de ajustar el periodo de muestreo en función de una periodicidad de las muestras de utilización real.

11. El modelador de tráfico adaptativo (710) de la reivindicación 8 donde el muestreador adaptativo incluye un selector capaz de cambiar la forma en que se muestrea la utilización real.

12. El modelador de tráfico adaptativo (710) de la reivindicación 11 donde el selector selecciona entre un muestreo de pico máximo, un muestreo de promedio total y un muestreo de promedio parcial.

13. El modelador de tráfico adaptativo (710) de la reivindicación 11 donde el selector se basa en una entrada de perfil en el selector.

14. El modelador de tráfico adaptativo (710) de la reivindicación 8 que muestrea la utilización de la red para cada uno de una pluralidad de grupos de servicio.

15. El modelador de tráfico adaptativo (710) de la reivindicación 8 es capaz de generar diferentes modelos de mejor ajuste para diferentes elementos de red.

16. Un método (100) de planificación y recomendación de capacidad referencia cruzada a solicitudes relacionadas, que comprende:

r~~R~~ecibir información de una red que proporciona contenido a cada uno de una pluralidad de suscriptores (14);

~~Utilizar~~en base a dicha ~~la~~ información, ~~para~~ modelar la calidad de experiencia (QoE) de al menos un suscriptor (14) como función de la capacidad de al menos un elemento de red;

~~usar~~en base a mediciones de~~l~~ la utilización~~uso~~ real de la red, ~~para~~ modelar la capacidad futura del al menos un elemento de red; y

~~usar~~en base ~~el~~al primer modelo y el segundo modelo, ~~para~~ generar una previsión de la capacidad necesaria en un intervalo futuro.

17. El método (100) de la reivindicación 16 donde la previsión es de capacidad futura requerida en un espacio de QoE.

18. El método (100) de la reivindicación 16, que incluye la etapa de medir la utilización pico ~~mediante el uso~~a partir de muestras de utilización real, y ~~el uso~~ de la utilización pico para modelar la capacidad futura del al menos un elemento de red.

19. El método (100) de la reivindicación 18 que incluye la etapa de seleccionar entre una pluralidad de opciones disponibles, la manera en que se muestrea la utilización real.

20. El método (100) de la reivindicación 18 que incluye la etapa de ajustar el período de muestreo en base a una periodicidad de las muestras de utilización real.

SISTEMA, MODELADOR DE TRAFICO Y MÉTODO DE PLANIFICACION Y RECOMENDACIÓN DE CAPACIDAD REFERENCIA CRUZADA A SOLICITUDES RELACIONADAS

Ninguno

ANTECEDENTES

El objeto de esta solicitud generalmente se refiere a un sistema de ingeniería de tráfico de red para determinar el ancho de banda, potencia de procesamiento u otros requisitos de red para mantener una Calidad de Experiencia (QoE) deseada para cada uno de un grupo de usuarios individuales, o cada conjunto de una pluralidad de conjuntos de usuarios.

La ingeniería de tráfico es un importante esfuerzo que intenta cuantificar los recursos de red (p. ej., capacidad de ancho de banda de enlace, potencia de procesamiento, etc.) necesarios para proporcionar y/o mantener los niveles de Calidad de Experiencia deseados para un solo suscriptor o para un conjunto combinado de suscriptores que comparten enlaces de interconexión en Internet o que comparten recursos de procesamiento en un Servidor. Por ejemplo, la ingeniería de tráfico es útil para determinar el número de enlaces de teléfono necesarios para que los abonados telefónicos compartan un enlace telefónico, o el número de receptores de tonos táctiles que se necesitan en una oficina central para respaldar un conjunto determinado de abonados telefónicos. La ingeniería de tráfico también se puede utilizar para determinar la cantidad de espectro inalámbrico LTE necesario para un conjunto de suscriptores móviles o el tamaño de una celda en un entorno de Red Móvil, para determinar la potencia de procesamiento necesaria en un Núcleo CMTS o la capacidad de ancho de banda Ethernet necesaria en una red Spine/Leaf [columna/ramificaciones] o la capacidad de ancho de banda DOCSIS necesaria en una planta

HFC conectada a un Nodo RPHY para la entrega de Datos de Alta Velocidad a los suscriptores DOCSIS conectados a una única planta HFC. Por lo tanto, la Ingeniería de Tráfico se puede aplicar en una amplia gama de aplicaciones dentro de un gran número de tipos de infraestructura (Voz, Video y Datos) utilizados por un gran número de Proveedores de Servicios (telcos, MSO de Cable y Proveedores Inalámbricos).

La ingeniería de tráfico generalmente combina varios aspectos de la arquitectura del sistema, estadísticas, análisis de costos y factores humanos para determinar la cantidad apropiada de capacidad de ancho de banda o potencia de procesamiento requerida para entregar contenido a los suscriptores con una calidad satisfactoria para ellos. También implica simultáneamente análisis de costes detallados, ya que cualquier solución propuesta también debe ser rentable para el proveedor de servicios y, en última instancia, para los suscriptores. “Mantener satisfechos a los suscriptores” a un coste razonable para ellos es un ejercicio de modelado difícil dada la naturaleza subjetiva de los problemas: ¿Qué tan contentos están los suscriptores hoy? ¿Qué tan contentos se sentirán en el futuro si no se realizan cambios? ¿Qué tan contentos se sentirán en el futuro si se realizan cambios? ¿Cuánta capacidad de ancho de banda o potencia de procesamiento se necesita para mantenerlos contentos?

Es difícil determinar la QoE de cada suscriptor incluso para un momento presente en el tiempo, lo que probablemente requeriría colocar un sensor en las neuronas dentro del cerebro de cada suscriptor, una encuesta minuto a minuto para que cada uno de los suscriptores la rellene para realizar un seguimiento de sus opiniones, o técnicas imposibles, odiosas y/o poco prácticas similares. Es incluso más difícil determinar la QoE que cada suscriptor puede tener en el futuro cuando la aplicación de Internet, los patrones de tráfico y los Acuerdos de Nivel de Servicio han cambiado; intentar hacerlo mientras se investigan muchas opciones de diseño de red diferentes

para el futuro puede hacer que el problema sea aún más complicado. Sin embargo, estos desalentadores cálculos y predicciones son necesarios para dirigir la futura evolución de la red.

Por lo tanto, lo que se desea es un sistema de ingeniería de tráfico mejorado que evalúe con mayor precisión la asignación de recursos de red necesaria para proporcionar y/o mantener una QoE deseada para suscriptores individuales y/o conjuntos de suscriptores.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Para una mejor comprensión de la invención, y para mostrar cómo puede llevarse a cabo, ahora se hará referencia, a modo de ejemplo, a las figuras adjuntas, en las cuales:

La Figura 1 muestra un modelo genérico ilustrativo de contenido CATV descendente que fluye de Internet a un suscriptor.

Las Figuras 2A-2C muestran un procedimiento para calcular el nivel de QoE dado un tamaño del “Grupo de Servicio” del Suscriptor, un conjunto de características de transmisión y la capacidad de ancho de banda disponible.

La Figura 3 ilustra el Mapeo de Suscriptores en Agrupaciones de Tipos de Suscriptores.

La Figura 4A muestra un conjunto de datos hipotéticos con dos atributos donde se puede utilizar un enfoque de agrupación manual para clasificar a los suscriptores en diferentes grupos.

La Figura 4B muestra un conjunto de datos hipotéticos con dos atributos que requiere un clúster automático basado en datos para clasificar a los suscriptores en diferentes grupos.

La Figura 5 muestra los pasos para crear Funciones de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda para cada Suscriptor o Agrupación de Tipo de Suscriptor.

La Figura 6 muestra las Funciones de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda para los suscriptores primero y segundo, y un grupo de servicios compuesto por esos dos suscriptores.

La Figura 7 muestra una Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda para el primer suscriptor de la Figura 6.

La Figura 8 muestra una Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda para el segundo suscriptor de la Figura 6.

La Figura 9 muestra una Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda para el grupo de servicio de la Figura 6.

La Figura 10 muestra una Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda Agregada Final ilustrativa para un “Grupo de Servicio” con 400 suscriptores.

La Figura 11 ilustra un sistema que típicamente muestra altos niveles de QoE.

La Figura 12 ilustra un sistema que típicamente muestra bajos niveles de QoE.

La Figura 13 ilustra el ancho de banda de entrada y el ancho de banda de salida en un CMTS.

La Figura 14 ilustra un sistema donde el ancho de banda real fluctúa para proporcionar a veces una QoE alta y proporcionar a veces una QoE baja.

La Figura 15 muestra un cálculo de una Prob(“Verde”) y una Prob(“Amarilla”) a partir de una Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda Agregada Final y una Capacidad de Ancho de Banda Disponible.

La Figura 16 muestra un método ilustrativo para calcular la capacidad de ancho de banda requerida dado un tamaño de Grupo de Servicio y dado un conjunto particular de características para una mezcla de suscriptores dada y un nivel de QoE dado requerido.

La Figura 17 muestra un método ilustrativo para calcular un tamaño de Grupo de Servicio admisible (Nsub) dada la QoE requerida, la capacidad de ancho de banda disponible real y un conjunto particular de características para una mezcla de suscriptores dada.

La Figura 18 muestra un método ilustrativo para calcular conjuntos de características admisibles para una mezcla de suscriptores dada, tamaño de “Grupo de Servicio”, nivel de QoE requerido y Capacidad de Ancho de Banda Disponible real.

La Figura 19 muestra un método ilustrativo para calcular combinaciones de tamaños permitidas para los grupos de suscriptores y conjuntos particulares de características para esos grupos de suscriptores.

La Figura 20 muestra un método ilustrativo para calcular simultáneamente un tamaño de Grupo de Servicio (Nsub) apropiado y un conjunto de características para ese tamaño de Grupo de Servicio.

La Figura 21 muestra un método ilustrativo para determinar la vida útil de un “Grupo de Servicio”, con y sin una división de nodo.

La Figura 22 ilustra esquemáticamente el flujo de datos en una dirección ascendente.

La Figura 23 ilustra problemas potenciales con información que fluye en la dirección ascendente.

La Figura 24 muestra un sistema ilustrativo que utiliza hardware de caja blanca para realizar una o más funciones descritas en la presente memoria descriptiva.

La Figura 25 muestra una arquitectura de acceso distribuido capaz de implementar modalidades de los sistemas y métodos descritos.

La Figura 26 muestra un sistema de modelado de tráfico adaptativo usado para la planificación de capacidad de acuerdo con una o más modalidades de la presente descripción.

La Figura 27 muestra un modelador de tráfico adaptativo ilustrativo del sistema de la Figura 26.

La Figura 28 muestra un muestreador adaptativo ilustrativo del modelador de la Figura 27.

Las Figuras 29 y 30 muestran las utilizaciones del sistema de la Figura 26.

La Figura 31 muestra un modelador de QoE ilustrativo del sistema de la Figura 26.

La Figura 32 muestra un evaluador de red ilustrativo del sistema de la Figura 26.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

Como se señaló anteriormente, determinar los niveles de QoE existentes y futuros de los suscriptores es una tarea compleja pero necesaria, que normalmente requiere que los ingenieros de tráfico recurran al uso de estimaciones cuantitativas de la satisfacción subjetiva de usuarios individuales. Preferentemente, estas estimaciones cuantitativas se basan en cálculos basados en métricas fáciles de recopilar. Dichas métricas pueden incluir mediciones del ancho de banda versus tiempo, caídas de paquetes versus tiempo y/o retrasos de paquetes versus tiempo, cada uno de los cuales se puede supervisar para un solo suscriptor o para un grupo de suscriptores. En última instancia, la estimación numérica de los niveles de QoE se basa normalmente en cálculos de funciones que combinan dichas métricas alcanzables y comparaciones de los resultados de esas funciones frente a valores umbral que se diferencian respectivamente entre una pluralidad de niveles de QoE.

La mayoría de los métodos de ingeniería de tráfico conocidos hasta la fecha utilizan métricas relativamente simples, fórmulas relativamente simples y valores umbral relativamente simples para definir una QoE adecuada para uno o más suscriptores. Como resultado, la mayoría de los métodos existentes han sido algo imprecisos, y su capacidad para predecir correctamente la capacidad de ancho de banda requerida, u otros recursos de red para el tráfico de Internet, se ve obstaculizada por problemas numerosos e importantes. En primer lugar, los métodos existentes no siempre tienen en cuenta los diferentes patrones de uso del ancho de banda promedio de los

diferentes tipos de suscriptores, es decir, los diferentes suscriptores tienen usos significativamente diferentes para Internet y otros servicios.

En segundo lugar, los métodos existentes no siempre tienen en cuenta los diferentes patrones de uso del ancho de banda pico de los diferentes tipos de suscriptores, es decir, diferentes suscriptores se inscribirán y podrán transmitir ráfagas pico en diferentes niveles. En tercer lugar, los métodos existentes no siempre tienen en cuenta los diferentes tipos de aplicaciones que utilizan los suscriptores, es decir, diferentes aplicaciones utilizadas por diferentes suscriptores pueden consumir ancho de banda de manera muy diferente. En cuarto lugar, los métodos existentes no permiten la creación de varias mezclas de diferentes tipos de suscriptores y aplicaciones al calcular los niveles de Calidad de Experiencia. Por ejemplo, los diferentes mercados pueden tener diferentes combinaciones de suscriptores de gama alta y suscriptores de gama baja, lo que debería reflejarse en los cálculos de QoE, pero hasta la fecha no.

En quinto lugar, es posible tener simultáneamente algunos suscriptores que transmiten a sus niveles máximos, algunos suscriptores que transmiten a niveles moderados y algunos suscriptores que están relativamente inactivos y que no transmiten mucho en absoluto. Sin embargo, los métodos existentes normalmente no tienen en cuenta dichos niveles de transmisión simultáneos y diferentes de varios suscriptores, o lo hacen adecuadamente incluso cuando se realiza tal intento.

En sexto lugar, los métodos existentes no siempre proporcionan un mecanismo para proyectar cambios en los patrones de uso de ancho de banda (por ejemplo, ancho de banda promedio del usuario, ancho de banda máximo del usuario, tipos de aplicaciones, etc.) hacia el futuro o hacia el pasado. Dicho de otra forma, los métodos existentes no ofrecieron medios o apenas ofrecieron

medios para proyectar cambios en los niveles de ancho de banda hacia delante o hacia atrás en el tiempo, pero en su lugar se fijan únicamente en niveles de ancho de banda instantáneos.

En séptimo lugar, los métodos existentes no siempre proporcionan un mecanismo para permitir a los proveedores especificar los niveles de QoE requeridos para sus suscriptores. Por ejemplo, es posible que diferentes proveedores quieran dar niveles de QoE más altos o más bajos a sus suscriptores para que coincidan con lo que ofrecen los competidores, o para que coincidan con el tamaño de los presupuestos financieros del proveedor en particular. Como otro ejemplo, es posible que algunos proveedores deseen permitir diferentes niveles de QoE para diferentes grupos de suscriptores. Por consiguiente, niveles de QoE objetivos deberían en algunos casos ser una entrada para una o más funciones de ingeniería de tráfico, pero los métodos existentes no proporcionan dicha flexibilidad.

En octavo lugar, los métodos existentes no siempre son aplicables a grupos de suscriptores mayores o menores que el número típico de suscriptores utilizado, es decir, Operadores de Múltiples Sistemas (MSO) solo utilizarían fórmulas precisas para grupos de suscriptores de “Grupo de Servicio” cuyos tamaños fueran inferiores a aproximadamente 400 suscriptores, y, por lo tanto, impidieron que las fórmulas se usaran en otras aplicaciones en las que eran habituales más suscriptores, como una aplicación donde 40,000 suscriptores están conectados a un sistema I-CMTS, o 20,000 suscriptores están conectados a un conmutador Ethernet o a un Grupo de Servicio de Profundidad de Fibra con 50 suscriptores o menos.

En noveno lugar, los métodos existentes no siempre proporcionan un mecanismo para predecir el nivel real de experiencia del usuario, por ejemplo, los niveles de ancho de banda esperados versus tiempo, a partir de sus fórmulas simples. Por el contrario, los métodos existentes tienden

a ser de naturaleza binaria (buena o mala), ignorando la realidad de que la Calidad de Experiencia es un continuo.

En décimo lugar, los métodos existentes no siempre proporcionan orientación sobre las muchas rutas que un proveedor podría tomar para proporcionar un nivel de Calidad de Experiencia deseado. Por último, los métodos existentes no siempre utilizan técnicas que puedan aplicarse a diferentes tipos de tráfico, es decir, una técnica ideal podría aplicarse a muchos tipos de tráfico diferentes, incluido el tráfico de Internet, el tráfico de voz, el tráfico de video y cualquier combinación de estos tipos de tráfico. En duodécimo lugar, los métodos existentes pueden no ser siempre aplicables a las características únicamente diferentes del Tráfico Descendente y Ascendente, lo cual es importante, ya que ambos existen en el mundo real.

En la memoria descriptiva, los dibujos, y las reivindicaciones, los términos “ruta de reenvío” y “vía descendente” pueden usarse indistintamente para referirse a una ruta desde Internet o proveedor al usuario final o suscriptor. Por el contrario, los términos “ruta de retorno”, “ruta inversa” y “vía ascendente” pueden usarse indistintamente para referirse a una ruta de un usuario final o suscriptor a Internet o a un proveedor.

Para ilustrar las diversas deficiencias de los métodos de ingeniería de tráfico existentes descritos anteriormente, considere un entorno MSO ilustrativo donde los ingenieros de tráfico de MSO históricamente han sido encargados de determinar la cantidad mínima de Capacidad de Ancho de Banda de DOCSIS de datos de Alta Velocidad total (medida en Mbps) requerida para mantener niveles de Calidad de Experiencia “aceptables” en un conjunto particular de suscriptores, que juntos deben compartir esa Capacidad de Ancho de Banda dentro de un “Grupo de Servicio”. Estos “Grupos de Servicio” se definen normalmente como los suscriptores conectados a un único

puerto descendente CMTS, con uno o más puertos ascendentes asociados. Los suscriptores residen en los enlaces coaxiales de un sistema Híbrido de Fibra Coaxial (HFC) que emana de un único Nodo de Fibra Óptica, que convierte las señales ópticas de una fibra en señales de RF en un cable coaxial. Un Grupo de Servicio de CMTS (SG) puede abarcar varios Nodos de Fibra Óptica. De forma alternativa, un único Nodo de Fibra Óptica puede segmentarse utilizando varias longitudes de onda y contener varias SG de CMTS.

Por lo general, se asume que los suscriptores dentro del “Grupo de Servicio” se caracterizan por los siguientes parámetros: (a) el número de suscriptores que comparten la capacidad de ancho de banda dentro de un “Grupo de Servicio” se proporciona por el valor de Nsub; (b) los suscriptores están consumiendo un ancho de banda promedio por suscriptor ocupado por hora de Tavg (medido en Mbps); y (c) cada uno de los suscriptores está suscrito a uno de los diversos anchos de banda disponibles del Acuerdo de Nivel de Servicio (SLA) (medidos en Mbps) que limitan los niveles máximos de ancho de banda de sus transmisiones. Estos SLA se definen por los niveles máximos de ancho de banda ofrecidos a los suscriptores. El Tmáx es el parámetro DOCSIS que controla el ancho de banda pico y normalmente se establece en un valor ligeramente mayor (por ejemplo, +10%) que los anchos de banda pico asociados con el SLA de los clientes, para tener en cuenta las sobrecargas de red. Los distintos anchos de banda picos de SLA pueden identificarse mediante valores dados por Tmax_1, Tmax_2, ..., Tmax_max (donde Tmax_1 < Tmax_2 < ... < Tmax_max. Por lo tanto, Tmax_max es el Acuerdo de Nivel de Servicio más alto con el nivel máximo de ancho de banda admisible.

Obviamente, la cantidad de Capacidad de Ancho de Banda ofrecida al grupo de suscriptores de Nsub debe ser al menos suficiente para mantener los niveles máximos de ancho de banda que consumirá un solo suscriptor activo. Sin embargo, también se esperaría que más de un suscriptor

pudiera estar activo simultáneamente. Por lo tanto, sería preferible determinar cuántos de los suscriptores del grupo de servicio podrían estar activos simultáneamente. En teoría, es posible que todos los Nsub de los suscriptores puedan estar activos simultáneamente, y si un MSO desea proporcionar una Capacidad de Ancho de Banda adecuada para respaldar a todos sus suscriptores simultáneamente, pasando el ancho de banda a su velocidad máxima permitida, el MSO podría hacerlo. Sin embargo, eso sería muy caro, y la probabilidad de que se produzca esa circunstancia, es decir, todos los números Nsub de suscriptores que transmiten a su velocidad máxima al mismo tiempo, es tan baja que la solución resultante se consideraría sobrediseñada y demasiado cara para su aplicación. Como resultado, es probable que haya un nivel de simultaneidad en algún lugar entre el primer extremo o solo un suscriptor que utilice ancho de banda en cualquier momento dado y el segundo extremo de todos los suscriptores simultáneamente utilizando el ancho de banda máximo que es el objetivo de diseño adecuado. Encontrar esta solución “intermedia” es, aunque desafiante, una de las tareas necesarias de un Ingeniero de Tráfico de MSO y requiere que el Ingeniero de Tráfico de MSO especifique un nivel de Calidad de Experiencia que se considere viable y adecuado para mantener satisfechos a los suscriptores durante un porcentaje de tiempo razonable.

Históricamente, los Ingenieros de Tráfico de MSO utilizaban fórmulas de regla general simples para determinar la cantidad de Capacidad de Ancho de Banda necesaria para un “Grupo de Servicio” concreto. Algunas de las fórmulas que se han utilizado incluyen:

(a) Capacidad de Ancho de Banda requerida = Nsub*Tavg

(b) Capacidad de Ancho de Banda requerida = 2*Tmax_max

(c) Capacidad de Ancho de Banda requerida = 3*Tmax_max

(d) Capacidad de Ancho de Banda requerida = 1.43*Nsub*Tavg

Esta última fórmula (d) hace que los MSO añadan más Capacidad de Ancho de Banda al Grupo de Servicio siempre que el nivel medio de uso de ancho de banda del Grupo de Servicio se aproxime al ~70 % de la Capacidad de Ancho de Banda disponible. El MSO podría reducir alternativamente el tamaño del Grupo de Servicio, por ejemplo, “nodos divididos”, reduciendo el componente de Nsub para aumentar la Capacidad de Ancho de Banda por Suscriptor.

Además, los presentes inventores presentan la siguiente fórmula, que proporciona buenos resultados para los “Grupos de Servicio” con un tamaño de varios cientos de suscriptores:

(e) Capacidad de Ancho de Banda requerida = Nsub*Tavg + K*Tmax_max

Donde el parámetro K es un coeficiente QoE, y se ha descubierto que un valor de K = 1.2 funciona bien para varios cientos de suscriptores.

Los expertos en la técnica reconocerán que las cinco fórmulas descritas anteriormente pueden avanzar hacia adelante y hacia atrás en el tiempo al recalcular los valores de Nsub y Tavg y Tmax_max que se encuentran en diferentes puntos en el tiempo. Sin embargo, estas fórmulas, a pesar de ello, sufren de otras de las doce deficiencias enumeradas anteriormente. Por lo tanto, existe una necesidad dentro del campo de la ingeniería de tráfico de red de encontrar una técnica aceptable que identifique la capacidad de ancho de banda requerida para un grupo de servicio en un entorno de Proveedor de Servicios, a la vez que evita las doce áreas problemáticas enumeradas anteriormente. Esta nueva técnica beneficiaría enormemente a los ingenieros de tráfico de redes de todos los campos y sectores, p. ej., Telco, MSO, Wireless, etc. Además de las fórmulas simplificadas definidas anteriormente, ha habido otros intentos de definir fórmulas para predecir las capacidades de ancho de banda necesarias para varios tipos de tráfico. Las fórmulas más famosas son las desarrolladas por Erlang y Engstad, que se utilizan principalmente para predecir las Capacidades de Ancho de Banda requeridas para el tráfico de voz para llamadas

telefónicas. Estas fórmulas introdujeron la noción de una “probabilidad de bloqueo”, que permite al ingeniero de tráfico especificar un nivel de QoE aceptable. En este caso, la QoE estaba vinculada exclusivamente a la probabilidad de que se bloqueara la llamada telefónica marcada antes de ser completada. Aunque estas fórmulas, y otras como ellas, son (y pueden seguir siendo) herramientas útiles para los ingenieros de tráfico, cada una tiene varias deficiencias para las aplicaciones de los ingenieros de tráfico modernos. En primer lugar, parecen ser solo aplicables al tráfico de voz. Los intentos de modificarlos para utilizarlos para otros tipos de tráfico, por ejemplo, datos de video y de alta velocidad, solo han tenido éxito parcialmente, en el mejor de los casos.

Además, estas fórmulas suelen hacer muchas suposiciones simplificadoras sobre la naturaleza del tráfico que no necesariamente coinciden con las estadísticas de video del mundo real y el tráfico de datos y voz de alta velocidad de hoy en día. Por ejemplo, algunas de las derivaciones de fórmulas asumen un número infinito de suscriptores. Las fórmulas a veces presuponen que todos los suscriptores tienen características idénticas, a veces asumen que hay una distribución de Poisson que describe el número de llamadas que llegan en una ventana de tiempo determinada y a veces asumen que la función de densidad de probabilidad asociada con el intervalo de tiempo entre llegadas de llamadas es exponencial. Aunque todas estas suposiciones llevan a simplificaciones en las matemáticas asociadas y permiten desarrollar soluciones de forma cerrada, que, ciertamente, son muy útiles, las estadísticas de las cargas de tráfico que asumen estas fórmulas a menudo no coinciden con las estadísticas de las cargas de tráfico del mundo real típicas. Este problema se agrava cuando estos tipos de fórmulas se utilizan para predecir los niveles de capacidad de ancho de banda requeridos para el tráfico que no sea de voz, es decir, para el tráfico de datos de Internet de alta velocidad y video.

Concretamente, en lo que respecta al tráfico de datos, no existe un único evento que resulte en una condición de “bloqueo” en la que se niegue el servicio; más bien, la congestión conduce a una reducción del rendimiento y a un aumento de las latencias y una degradación gradual de la QoE. Por lo tanto, el ingeniero de tráfico necesita determinar la degradación aceptable para la aplicación de datos, por lo que no es el escenario binario presentado en aplicaciones de telefonía tradicionales.

Los sistemas y métodos novedosos descritos dentro de la presente memoria descriptiva, abordan las dificultades anteriores de manera mucho más flexible que los sistemas y métodos existentes. Los sistemas y métodos descritos en la presente descripción preferentemente tienen alguna o todas las siguientes características. En primer lugar, los sistemas y métodos descritos preferentemente no ajustan por la fuerza los flujos de tráfico a una distribución estadística particular (como una distribución de Poisson) simplemente porque es fácil de usar. En cambio, los sistemas y métodos descritos utilizan preferentemente técnicas analíticas que miden distribuciones estadísticas que corresponden a flujos de tráfico reales en el pasado o en el presente, o probablemente, de hecho, flujos de tráfico futuros extrapolados de distribuciones estadísticas medibles actualmente.

En segundo lugar, los sistemas y métodos descritos utilizan preferentemente métricas fáciles de observar y de medir para especificar los niveles de QoE experimentados por los suscriptores.

En tercer lugar, los sistemas y métodos descritos proporcionan preferentemente soluciones implementables mediante el uso de cualquiera de uno o más de los siguientes enfoques:

(1) calcular el nivel de QoE dado un tamaño de Grupo de Servicio (Nsub) y dado un conjunto particular de características (por ejemplo, Tavg, Tmáx y tipo de aplicación) para una mezcla de suscriptores dada y una capacidad de ancho de banda disponible real dada;

(2) calcular la capacidad de ancho de banda requerida dado un tamaño de Grupo de Servicio (Nsub) y dado un conjunto particular de características (por ejemplo, Tavg, Tmáx y tipo de aplicación) para una mezcla de suscriptores dada y un nivel de Calidad de Experiencia requerido dado;

(3) calcular el tamaño de Grupo de Servicio admisible (Nsub) dado el nivel de Calidad de Experiencia requerido y dada la Capacidad de Ancho de Banda Disponible y dado un conjunto particular de características (por ejemplo, Tavg, Tmáx y tipo de aplicación) para una mezcla de suscriptores dada;

(4) calcular conjuntos de características admisibles (por ejemplo, Tavg, Tmáx y tipos de aplicación) para una mezcla de suscriptores dada y un tamaño de “Grupo de Servicio” dado (Nsub), un nivel de Calidad de Experiencia requerido dado y una Capacidad de Ancho de Banda Disponible real dada;

(5) calcular un conjunto de tamaños de Grupo de Servicio permitidos (valores de Nsub) junto con un conjunto “minimalista” de características (Tavg, Tmáx y tipos de aplicaciones) para una combinación de suscriptores determinada, nivel de QoE requerido y Capacidad de Ancho de Banda Disponible real; y

(6) calcular un tamaño de Grupo de Servicio (valor de Nsub) junto con un conjunto de características (Tavg, Tmáx y tipos de aplicaciones) que satisfacen una regla deseada para una combinación de suscriptores determinada, nivel de QoE requerido y Capacidad de Ancho de Banda Disponible real.

En cuarto lugar, los sistemas y métodos descritos proporcionan preferentemente soluciones que abordan cualquiera de uno o más de los problemas identificados anteriormente con respecto a los métodos de ingeniería de tráfico existentes. En particular, los sistemas y métodos descritos preferentemente:

(a) permiten que diferentes suscriptores tengan diferentes niveles de ancho de banda promedio, como lo hacen en el mundo real;

(b) permiten que diferentes suscriptores tengan diferentes niveles máximos de ancho de banda, como lo hacen en el mundo real;

(c) permiten que diferentes suscriptores ejecuten diferentes aplicaciones que tengan niveles de uso de ancho de banda diferentes, como lo hacen en el mundo real;

(d) permiten mezclas de diferentes tipos de suscriptores y tipos de aplicaciones a ser combinados dentro de un “Grupo de Servicio”, ya que existen diversas mezclas en el mundo real;

(e) permiten un modelado preciso de los niveles de simultaneidad entre las mezclas de suscriptores y tipos de aplicaciones, para imitar el mundo real;

(f) permiten cálculos (como la capacidad de ancho de banda requerida) que se deben realizar para todos los puntos a lo largo de una línea temporal en lugar de realizarse solo para el presente;

(g) permiten a los proveedores especificar niveles de QoE que se ajusten a sus propias necesidades y restricciones, para imitar el mundo real;

(h) permiten cálculos que pueden aplicarse a cualquier Grupo de Servicio de cualquier tamaño, haciendo, de este modo, que dichos cálculos sean útiles para predecir las capacidades de ancho de banda requeridas para muchos componentes de red diferentes, independientemente del tamaño;

(i) permiten cálculos para vincular los niveles de QoE a experiencias del mundo real, para predecir lo que realmente experimentará el usuario;

(j) permiten cálculos para especificar muchas rutas diferentes que los proveedores pueden utilizar para corregir cualquier problema de QoE, como añadir ancho de banda, reducir suscriptores, reorganizar la mezcla de suscriptores, etc.

(k) permiten cálculos que se pueden utilizar para cualquier tipo de tráfico, p. ej., voz, video, datos de alta velocidad, etc.; y

(l) permiten cálculos que se pueden utilizar para el tráfico descendente y ascendente, como en el mundo real.

Preferentemente, algunas modalidades de los sistemas y métodos descritos logran todos los objetivos anteriores.

La presente descripción describirá inicialmente una modalidad posterior al enfoque (1) anterior, con respecto al tráfico descendente que fluye desde Internet al suscriptor. El enfoque (1) calcula el nivel de QoE dado un tamaño de “Grupo de Servicio” (Nsub) y dado un conjunto particular de características (Tavg, Tmáx y tipo de aplicación que están siendo utilizados) para una mezcla de suscriptores dada y una capacidad de ancho de banda disponible real dada. Posteriormente, la presente descripción describirá cómo el enfoque (1) puede modificarse ligeramente para respaldar los enfoques (2), (3) y (4). La descripción también destacará cómo se puede modificar ligeramente este método para respaldar el Tráfico Ascendente.

La Figura 1 muestra un modelo genérico 10 del tráfico descendente de Internet 12 a una pluralidad de suscriptores 14, a medida que el tráfico pasa a través de un conjunto de elementos de red, incluyendo el enrutador 16 y CMTS 18, en su camino hacia un recurso compartido particular, por ejemplo, un enlace de salida 20 que emana de ese CMTS. En particular, el modelo genérico ilustrado 10 muestra el tráfico descendente que fluye hacia un CMTS 18 que luego dirige, pone en cola y programa flujos de paquetes que llegan al CMTS a un enlace DOCSIS de

salida 20 individual compartido por doscientos suscriptores 14 (Nsub) a través de un nodo de fibra 22.

A partir de esta cifra se puede ver que el tráfico que se transmite desde Internet 12 en un enlace de alta velocidad de 100 Gbps fluye al enrutador 16. A continuación, el tráfico se transmite desde el Enrutador 16 en un enlace de alta velocidad de 10 Gbps que fluye al CMTS 18. El CMTS 18 tiene varios (por ejemplo, cien) dominios DOCSIS MAC que tienen canales DOCSIS dentro de estos. El CMTS 18 dirigirá algunos de los paquetes al dominio MAC 1. Se puede ver que este dominio MAC en particular crea un cuello de botella potencial en la dirección descendente, ya que hay aproximadamente 864 Mbps de capacidad de ancho de banda compartida en los canales DOCSIS descendentes de 24 enlaces que emanan del dominio MAC 1. Los 24 canales DOCSIS en el dominio MAC alimentan los módems de cable subtendido, que, en este ejemplo, son doscientos, cada uno de los cuales comparte la capacidad de ancho de banda dentro de ese Dominio MAC. Como resultado, el CMTS 18 debe dirigir, poner en cola y programar paquetes para los suscriptores de forma adecuada.

Dado que las ráfagas que superan los 864 Mbps pueden producirse periódicamente en el CMTS 18, debido a las llegadas de paquetes a alta velocidad en la interfaz de 10 Gbps, la cola es una función crítica realizada por el CMTS 18. A veces, las velocidades de llegada de paquetes transitorios que se producen en la interfaz de 10 Gbps del CMTS 18 pueden ser tan altas que las colas del CMTS 18 se desbordan, o los retrasos de paquetes incurridos en las colas se vuelven demasiado grandes. En estos casos, el CMTS 18 puede elegir la caída realmente de paquetes, lo que desencadena un mecanismo de retroalimentación dentro de TCP que debería limitar las velocidades de transmisión en la fuente TCP dentro de Internet 12. La QoE del suscriptor está íntimamente vinculada a estas operaciones de cola de paquetes y caída de paquetes del CMTS

18, porque las experiencias de un suscriptor están fuertemente impulsadas por retrasos de paquetes, caídas de paquetes y el ancho de banda TCP resultante que está impulsado por los mecanismos de retroalimentación TCP que transportan la información de retraso y caída a la fuente TCP (a través de TCP ACK).

A un nivel fundamental, los métodos y sistemas descritos en esta memoria descriptiva se basan en la capacidad de supervisar el ancho de banda (como función de tiempo) para cada uno de los suscriptores dentro de un “grupo de servicio”. El “grupo de servicio” que se está evaluando puede variar. En el ejemplo mostrado en la Figura 1, se define que son los doscientos suscriptores que comparten los canales DOCSIS unidos que emanan del CMTS 18. Por lo tanto, en ese caso, es útil definir cuánta capacidad de ancho de banda se requiere (y cuántos canales DOCSIS se requieren) para proporcionar una buena QoE a los doscientos suscriptores que comparten esa capacidad de ancho de banda.

De forma alternativa, el “grupo de servicio” puede definirse como todos los suscriptores conectados a todos los Dominios MAC gestionados por el CMTS 18 o una hoja dentro del CMTS 18. Si, por ejemplo, el CMTS 18 administra 100 Dominios MAC y cada Dominio MAC tiene doscientos suscriptores, entonces este “grupo de servicio” con alcance CMTS consistiría en los 100*200=20,000 suscriptores asociados al CMTS 18. En ese caso, sería útil definir cuánta capacidad de ancho de banda se requiere (y cuántos enlaces de 10 Gbps se requieren) en la interfaz entre el CMTS 18 y el enrutador 16.

De forma alternativa, el “grupo de servicio” puede definirse como todos los suscriptores conectados a un enrutador en Internet. Si, por ejemplo, el enrutador 16 dirige paquetes a 10 de dichos CMTS 18, donde cada CMTS 18 administra 100 Dominios MAC y cada dominio MAC tiene

doscientos suscriptores, entonces este “grupo de servicio” con alcance de enrutador consistiría en los 10*100*200=200,000 suscriptores asociados al enrutador 16. En ese caso, sería útil definir cuánta capacidad de ancho de banda se requiere (y cuántos enlaces de 100 Gbps se requieren) en la interfaz entre el enrutador 16 y la Internet 12.

Obviamente, se requerirá más capacidad de ancho de banda para el enrutador 16 (con 200 000 suscriptores) que el CMTS 18 (con 20 000 suscriptores), y más capacidad de ancho de banda requerida para el CMTS 18 (con 20 000 suscriptores) que el dominio DOCSIS MAC (con 200 suscriptores). Pero se puede apreciar fácilmente que las capacidades de ancho de banda requeridas no escalan linealmente con el número de suscriptores, es decir, la capacidad de ancho de banda del CMTS 18 no será igual a cien veces la capacidad de ancho de banda del dominio DOCSIS MAC, aunque el CMTS 18 tenga cien veces más suscriptores que el dominio DOCSIS MAC. Esto se debe principalmente al hecho de que la probabilidad de que un pequeño número de suscriptores reciba simultáneamente datos descendentes es mucho mayor que la probabilidad de que un gran número de suscriptores reciba simultáneamente datos descendentes. Este hecho es una de las razones clave por las que los sistemas y métodos descritos en esta memoria descriptiva son tan útiles; permiten a los ingenieros de tráfico determinar realmente las capacidades de ancho de banda requeridas para estos “grupos de servicio” de diferentes tamaños.

Por lo tanto, los sistemas y métodos descritos en esta memoria descriptiva son bastante versátiles y se pueden utilizar para especificar las capacidades de ancho de banda requeridas en muchas ubicaciones diferentes en una red de transmisión de datos de un proveedor a un suscriptor, o cliente, por ejemplo, enrutadores de red de retorno grandes, enrutadores empresariales pequeños, etc. En general, es beneficioso poder evaluar la capacidad de ancho de banda

requerida para una QoE determinada o, a la inversa, el nivel de QoE para una capacidad de ancho de banda determinada. Al recopilar y procesar información de ingeniería de tráfico, por ejemplo, paquetes de datos, a medida que dicha información ingresa o sale de un CMTS (o CCAP), se pueden determinar modelos estadísticos de QoE de clientes como una función de parámetros de ingeniería de tráfico como ancho de banda, tamaño del grupo de servicio, etc. Las diferentes restricciones del mundo real utilizarán, como se ha indicado anteriormente, diferentes conjuntos de datos recopilados. Por ejemplo, los datos que se introducen en un CMTS 18 desde el enrutador 16 son más relevantes para determinar el ancho de banda o la QoE necesarios para todos los grupos de servicio atendidos por el CMTS 18, mientras que los datos que salen del CMTS 18 hacia el transporte óptico 20 son más relevantes para determinar el ancho de banda o la QoE necesarios para los grupos de servicio atendidos por la línea de transmisión desde el CMTS 18 hacia el transporte óptico 20. Los sistemas y métodos descritos en la presente descripción son útiles para cada una de estas aplicaciones.

Para ilustrar la utilidad del sistema y los métodos revelados, la memoria descriptiva describirá primero un procedimiento para calcular, en la dirección descendente, el tipo de solución previamente identificado como solución/enfoque (1), es decir, calcular el nivel de QoE dado un tamaño de “grupo de servicio” (Nsub), un conjunto particular de características (Tavg, Tmáx y tipo de aplicación) para una mezcla de suscriptores, y la capacidad de ancho de banda disponible real. A continuación, la memoria descriptiva describirá los procedimientos para calcular los tipos de solución (2), (3) y (4) en la dirección descendente. Por último, la memoria descriptiva describirá cómo se puede modificar cada uno de estos procedimientos para la dirección ascendente.

Solución (1) en la Dirección Descendente

La solución 1 calcula preferentemente el nivel de Calidad de Experiencia teniendo en cuenta el tamaño del “grupo de servicio” (Nsub), un conjunto particular de características (Tavg, Tmáx y tipo de aplicación) para una mezcla de suscriptores y la capacidad de ancho de banda real disponible. Las Figuras 2A-2C generalmente muestran un procedimiento 100 que logra este cálculo.

Ejemplo de uso del ancho de banda por suscriptor

Con referencia específicamente a la Figura 2A, el primer paso 102 es el muestreo de los niveles de uso de ancho de banda por suscriptor como una función del tiempo, con granularidad temporal de grano fino. Este paso recopila preferentemente información sobre cómo los suscriptores utilizan su ancho de banda en este momento. Las estadísticas actuales resultantes asociadas con estas muestras se utilizarán finalmente para predecir las estadísticas futuras (o pasadas) para los suscriptores en diferentes momentos en el tiempo, y esa información se utilizará para calcular las capacidades de ancho de banda necesarias dentro del Dominio DOCSIS MAC.

Estas muestras de uso de ancho de banda por suscriptor se pueden recopilar en cualquiera de los varios puntos en la ruta del flujo de datos. Idealmente, las muestras del uso del ancho de banda para estos flujos de paquetes descendentes se toman antes de que los flujos de paquetes encuentren cualquier cuello de botella importante de la red donde los retrasos de paquetes o las caídas de paquetes sean significativos. La ubicación ideal para recoger estas muestras sería en los muchos servidores de Internet donde se origina el tráfico. Sin embargo, esto no es práctico, por lo que las muestras pueden recogerse además por vía descendente cerca de los suscriptores en puntos justo antes de que se identifiquen los cuellos de botella (con retrasos de paquetes y caídas de paquetes) como probables de producirse. En el sistema de ejemplo que se muestra en

la Figura 1, por ejemplo, determinar los requisitos de capacidad de ancho de banda para el dominio DOCSIS MAC probablemente se lograría prácticamente mediante la recolección de las muestras de uso de ancho de banda por suscriptor en el enlace de 10 Gbps en el CMTS 18. Los expertos en la materia reconocerán que las muestras podrían recogerse en el enlace de 100 Gbps en el enrutador 16 sin sesgo significativo de los datos de retrasos de paquetes y pérdidas de paquetes que podrían producirse en el CMTS 18.

Además, la red de acceso como la capacidad DOCSIS, la capacidad inalámbrica, la capacidad DSL, la capacidad G.Fast o la capacidad Ethernet que alimenta a las empresas domésticas en el enlace Last Hop a menudo tienden a formar un gran cuello de botella para flujos de paquetes descendentes. La capacidad WiFi que dirige los paquetes a través de un hogar o edificio empresarial particular también forma un gran cuello de botella para los flujos de paquetes descendentes. Cualquier ubicación “norte” de estos cuellos de botella puede servir como una ubicación adecuada para tomar muestras de los datos. Una de las ubicaciones más populares sería dentro del CMTS o eNodoB o DSLAM o Punto de Distribución G.Fast, o en los enrutadores situados al norte de estos enlaces Last Hop, porque estos elementos son algunos de los últimos elementos de la red a través de los cuales pasarán los paquetes antes de atravesar los principales cuellos de botella (y experimentar posibles retrasos de paquetes y caída de paquetes). La medición de los flujos de paquetes antes de que se produzcan estos retrasos y caídas ayuda a obtener resultados más precisos para el método descrito en la presente memoria descriptiva. Más adelante en la memoria descriptiva, cuando se divulgan sistemas y técnicas pertenecientes al tráfico ascendente, la descripción también mostrará formas en las cuales las muestras pueden tomarse dentro de las regiones con cuellos de botella de la red, sin embargo, puede haber más errores y aproximaciones más grandes en las respuestas resultantes producidas por los sistemas y métodos descritos.

El período de muestreo apropiado Ts (la ventana temporal entre muestras sucesivas del ancho de banda promedio) puede determinarse caso por caso. Los períodos de muestreo más largos llevan a que se recopilen menos datos y, por lo tanto, facilitan el almacenamiento y procesamiento de los datos, pero, por el contrario, pueden dificultar la “visualización” de ráfagas de ancho de banda que son típicas de muchas aplicaciones de Internet actuales. Por ejemplo, considere una ráfaga de ancho de banda de 1 Gbps que se produce durante 1 segundo y, a continuación, permanece silenciosa durante 99 segundos. Una ventana de muestra de 100 segundos no “verá” realmente la existencia de la ráfaga de ancho de banda de 1 Gbps. En su lugar, mediría 1 Gbits de datos transmitidos en un intervalo de tiempo de 100 segundos y calcularía que el ancho de banda promedio es de 1 Gbits/100 segundos = 10 Mbps. Esa es una medición y caracterización del canal bastante diferente a la que realmente se produjo en el canal. Los períodos de muestreo más cortos conducen a más datos recopilados y conllevan más requisitos de procesamiento y hardware, pero las muestras cortas permiten realmente “ver” ráfagas de ancho de banda cortas.

Los presentes inventores han evaluado que, para los sistemas de red de datos existentes, los períodos de muestreo de un segundo (es decir, Ts=1), o menos, son adecuadamente cortos. Esto permite al sistema “ver” los períodos de ráfaga típicos que se producen para las actividades de navegación web (donde las páginas web suelen tardar ~1 segundo en descargarse), para las transferencias de segmentos de video IP (donde los segmentos se suelen transferir en ráfagas de 2 a 10 segundos) y para las descargas de archivos (donde el flujo continuo de paquetes TCP suele ocupar fácilmente un segundo de tiempo). Por lo tanto, las interacciones entre estos diferentes tipos de aplicaciones también tienden a ocurrir durante períodos de Ts=1segundo. Es bastante posible que las aplicaciones futuras y los anchos de banda de red futuros aceleren estas interacciones, de modo que los períodos de muestreo para este método puedan necesitar reducirse. Sin embargo, en la actualidad, pueden ser preferibles muestras de 1 segundo. En

consecuencia, en algunas modalidades preferidas, el resultado de la etapa 102 es capturar el ancho de banda promedio consumido por cada suscriptor dentro de cada ventana de muestreo de 1 segundo. El ancho de banda promedio en un intervalo de 1 segundo se puede obtener monitorizando todos los paquetes que pasan (y sus longitudes asociadas) durante ese intervalo de 1 segundo. Al final de cada segundo, las longitudes asociadas (en bits) para todos los paquetes que se transmitieron a un suscriptor particular durante esa ventana de 1 segundo se pueden sumar, y la suma resultante (en bits) se puede dividir por el período de muestreo (que resulta ser de 1 segundo) para determinar el ancho de banda promedio transmitido a ese suscriptor particular durante esa ventana de 1 segundo.

La recogida de muestras debería realizarse en tantos suscriptores como sea posible. Además, el número de muestras por suscriptor debería ser bastante grande para producir resultados estadísticamente significativos en funciones de densidad de probabilidad que se crean en pasos posteriores. Esta actividad de muestreo se puede realizar en todo momento a lo largo del día para ver el promedio de las estadísticas. También se puede hacer a una hora específica del día para ver las estadísticas particulares para esa hora del día en particular. En algunas modalidades preferidas, las muestras se recogen solo durante la “ventana ocupada” (por ejemplo, de 8 p.m. a 11 p.m.) cuando los niveles de actividad del suscriptor están en su máximo. Se pueden tomar muestras sucesivas de muchos días sucesivos para proporcionar un número adecuado de muestras para el análisis. Para ver las tendencias, se pueden tomar grupos de muestras en un mes y, a continuación, repetirse X meses más tarde para ver cualquier cambio que pueda estar ocurriendo. Siempre que se realiza el muestreo, el muestreo se puede realizar en todos los suscriptores a la vez, o puede realizar un “round-robin” entre grupos más pequeños de suscriptores, trabajando en un pequeño grupo de suscriptores durante una hora y luego pasar a otro pequeño grupo de suscriptores en la próxima hora. Esto puede reducir la cantidad de

procesamiento necesaria para realizar el muestreo dentro del Elemento de Red, pero también aumenta el tiempo total necesario para recoger los recuentos de muestras adecuados para todos los suscriptores.

El muestreo se puede realizar utilizando cualquiera de las diversas técnicas. En una modalidad, los contadores de octetos pueden usarse para contar el número de paquetes que pasan a través del Elemento de Red para cada suscriptor. El contador de octetos se incrementa por el número de octetos en un paquete cada vez que pasa un paquete para el suscriptor en particular. Ese contador de octetos se puede entonces muestrear una vez por segundo. Los valores de recuento de octetos muestreados de cada tiempo de muestra sucesivo de 1 segundo se pueden almacenar en una memoria. Después de recoger un número determinado de muestras, los contadores de octetos muestreados se pueden almacenar en la memoria persistente y, a continuación, se puede repetir el proceso. Después de que todos estos valores de recuento de octetos se hayan almacenado en la memoria persistente durante el periodo de tiempo ocupado (8 p.m. a 11 p.m. por la noche), se puede realizar el procesamiento posterior de las muestras persistentes. El posprocesamiento simplemente restaría valores sucesivos entre sí para determinar el valor de octeto delta (en unidades de octetos) para cada período de muestreo de 1 segundo. Ese valor de octeto delta se puede multiplicar entonces por 8 para crear el valor de bit delta (en unidades de bits) para cada período de muestreo de 1 segundo. Ese valor de bits delta puede dividirse entonces por el período de muestreo (que en este caso es 1 segundo) para crear el ancho de banda promedio (en unidades de bits por segundo) para cada período de muestreo de 1 segundo. Esto crea un vector de valores de ancho de banda promedio (en unidades de bits por segundo y muestreado a intervalos de 1 segundo) para cada suscriptor.

Suscriptores del grupo

Con referencia aún a la Figura 2A, el paso 104 agrupa a los suscriptores en diferentes grupos, cada grupo define un tipo de suscriptor único. Una vez que el vector de muestras de ancho de banda promedio (en unidades de bits por segundo) está disponible para cada suscriptor (como resultado de la ejecución del paso anterior), los suscriptores deben estar separados y agrupados en diferentes grupos que definan tipos de suscriptores únicos. Esto se hace determinando primero al menos tres atributos diferentes para cada uno de los suscriptores: Tmáx, Tavg y la naturaleza de las aplicaciones utilizadas por el suscriptor. Tmáx puede ser el Nivel Máximo de Ancho de Banda del Acuerdo de Nivel de Servicio para cada suscriptor respectivo. El Tavg puede ser el ancho de banda promedio para cada suscriptor respectivo, que puede calcularse sumando todos los valores de muestra de ancho de banda promedio para el suscriptor y dividiendo por el número de valores de muestra. La naturaleza de las aplicaciones utilizadas por el suscriptor puede ser en una modalidad preferida la “Relación Activa de la Aplicación” promedio de las aplicaciones, que se define como la fracción de muestras de 1 segundo donde las aplicaciones del suscriptor estaban activas (con ventanas de 1 segundo que tienen anchos de banda promedio que son sustancialmente mayores que cero). Se debe entender que una métrica relacionada es la “Relación Silenciosa de la Aplicación” de las aplicaciones, por lo que la Relación Silenciosa de la Aplicación se define como la fracción de muestras de 1 segundo en las que las aplicaciones del suscriptor eran silenciosas (con ventanas de 1 segundo con anchos de banda promedio iguales o cercanos a cero). Por lo tanto, debería ser evidente que Relación Silenciosa de la Aplicación = 1.0 – Relación Activa de la Aplicación. Se debe entender que los métodos más complicados para caracterizar las aplicaciones del suscriptor también podrían usarse de manera coherente con la presente descripción.

La separación de los suscriptores en diferentes grupos se puede lograr definiendo umbrales que separen los niveles entre sí. Esto debe hacerse preferiblemente para cada uno de los atributos.

Por ejemplo, los valores Tmáx pueden separarse de acuerdo con los diferentes niveles del Acuerdo de Nivel de Servicio (SLA) que el Operador ofrece. Si un Operador ofrece cinco niveles de Acuerdo de Nivel de Servicio (por ejemplo, 8 Mbps, 16 Mbps, 31 Mbps, 63 Mbps y 113 Mbps), entonces cada uno de esos cinco valores de Tmáx permitirá a los suscriptores separarse de acuerdo con su valor de Tmáx.

Para los valores de Tavg, se puede observar todo el rango de valores de Tavg para todos los suscriptores. Por ejemplo, puede oscilar entre 0.1 Mbps y 3 Mbps. Entonces es posible que, por ejemplo, se puedan definir tres agrupaciones diferentes (una para valores de Tavg altos, una para valores de Tavg medios y una para valores de Tavg bajos). El umbral que separa los valores Tavg altos de los valores Tavg medios y el umbral que separa los valores Tavg medios de los valores Tavg bajos se pueden seleccionar adecuadamente. Por ejemplo, los valores de Tavg bajos pueden incluir cualquier valor inferior a 0.75 Mbps. Los valores de Tavg altos pueden incluir valores superiores a 1.25 Mbps. Los valores de Tavg medios pueden incluir cualquier valor entre 0.75 Mbps (inclusive) y 1.25 Mbps (inclusive).

Para los valores de Relación Activa de la Aplicación que describen los tipos de aplicación que utilizan los suscriptores, los valores de Relación Activa pueden oscilar entre 0.1 y 0.9. Es posible que, por ejemplo, se puedan definir dos agrupaciones diferentes (una para valores de Relación Activa de la Aplicación altos y otra para valores de Relación Activa de la Aplicación bajos). El umbral que separa los valores altos de Relación Activa de la Aplicación de la Relación Activa de la Aplicación baja se puede seleccionar adecuadamente. Por ejemplo, los valores bajos de Relación Activa de la Aplicación pueden incluir valores inferiores a 0.5. Los valores de Relación Activa de la Aplicación altos pueden incluir cualquier valor mayor o igual a 0.5.

Preferentemente, una única agrupación de Tipo de Suscriptor es un grupo de suscriptores que comparten características operativas comunes. Idealmente, después del mapeo, tendríamos muchos suscriptores asignados a cada uno de los grupos de Tipo de Suscriptor (para ayudar a garantizar la significación estadística dentro de las estadísticas utilizadas en los próximos pasos). Por lo tanto, en el ejemplo anterior, donde un operador ofrece cinco niveles de servicio de ancho de banda, donde los suscriptores se dividen en valores de Tavg altos, medios y bajos, y hay dos tipos de aplicaciones definidos utilizados por los suscriptores, se puede crear un total de treinta (5*3*2) agrupaciones diferentes de “Tipo de suscriptor” (para esta modalidad particular). A continuación, cada suscriptor puede asignarse a uno (y solo uno) de estas treinta agrupaciones de Tipo de Suscriptor diferentes, como se ilustra en la Figura 3.

En el futuro, este proceso de agrupamiento podría mejorarse aún más. Se pueden agregar umbrales adicionales por atributo. Se pueden considerar otros atributos para refinar aún más el proceso de agrupamiento. O los umbrales pueden depender de varios atributos. Por ejemplo, el umbral de Tavg para Bajo, Medio y Alto puede aumentar con valores de SLA más altos.

Una vez que cada uno de los suscriptores ha sido asignado a su grupo de Tipo de Suscriptor apropiado mostrado en la Figura 3, en base a los atributos operativos asociados del suscriptor, entonces para cada grupo de Tipo de Suscriptor particular, las muestras de ancho de banda promedio (calculadas en el paso 102) de todos los suscriptores dentro de ese grupo pueden combinarse para crear un superconjunto de muestras de ancho de banda promedio para cada grupo de Tipo de Suscriptor. Este superconjunto de muestras se convierte en la definición del uso del ancho de banda para cada agrupación de Tipo de Suscriptor, que contiene una mezcla del uso del ancho de banda para todos los usuarios que se asignaron a una agrupación de Tipo de Suscriptor común.

Una vez que se ha creado el superconjunto de muestras para cada agrupación de Tipo de Suscriptor, se pueden calcular los valores de atributo promedio para cada agrupación de Tipo de Suscriptor. En particular, el valor Tmáx para cada grupo de Tipo de Suscriptor se identifica fácilmente, ya que todos los suscriptores dentro del mismo grupo de Tipo de Suscriptor comparten el mismo valor de Tmáx. El valor de Tavg promedio para el superconjunto de muestras se puede calcular sumando todas las muestras de ancho de banda promedio dentro del superconjunto y dividiendo por el número total de muestras en el superconjunto. Esto puede convertirse en el valor de Tavg de definición para la agrupación de Tipo de Suscriptor particular. De manera similar, el valor promedio de la Relación Activa de la Aplicación para el superconjunto de muestras se puede calcular contando el número de muestras que no son cero dentro del superconjunto y dividiéndolo por el número total de muestras en el superconjunto. Cada grupo de Tipo de Suscriptor tendrá preferentemente un triplete único de valores dados por Tmáx, Tavg, Relación Activa de la Aplicación promedio.

A medida que aumenta el número de atributos analizados y/o aumenta el número de niveles dentro de un atributo, entonces el número de grupos de Tipo de Suscriptor únicos puede aumentar drásticamente. Puede ser posible agrupar varios grupos de Tipo de Suscriptor con un comportamiento similar para hacer un número más manejable de grupos. En el ejemplo anterior, había treinta grupos de Tipo de Suscriptor únicos. En algunas situaciones, todos los grupos de Tipo de Suscriptor con valores de Tavg bajos pueden comportarse de forma idéntica, independientemente de Tmáx o de la Relación Activa de la Aplicación. En esa situación, estos diez grupos de Tipo de Suscriptor podrían consolidarse en un único grupo de Tipo de Suscriptor, reduciendo el número total de grupos a veintiuno. Es posible que se realicen otras agrupaciones de grupos para mayores reducciones.

Como acabamos de revelar, los suscriptores individuales pueden agruparse en diferentes categorías en función de tres atributos diferentes, es decir, Tmáx, Tavg y Relación Activa de la Aplicación promedio. Esta agrupación ilustrativa mejora la precisión de la estimación de la función de densidad de probabilidad del uso del ancho de banda por suscriptor, como se describe más adelante en esta memoria descriptiva. Sin embargo, otras modalidades pueden agrupar a los suscriptores en diferentes categorías de manera diferente. Por ejemplo, los grupos de suscriptores se pueden diferenciar por agrupación manual o automática. Para la agrupación manual y automática, el primer paso es identificar un conjunto de atributos que se utilizará como base para la agrupación. Tenga en cuenta que cada atributo añade una dimensión adicional y, por lo tanto, puede aumentar significativamente la complejidad de la agrupación. El número de atributos (dimensiones) debe elegirse de manera que incluya todos los atributos necesarios para identificar cualquier agrupación natural de los suscriptores, pero el número no debe ser tan grande como para dar como resultado agrupaciones con datos muy dispersos en cada grupo.

Con respecto a la agrupación manual, primero se puede identificar un conjunto de atributos. A continuación, cada valor de atributo se divide independientemente en varios grupos. Para algunos de los atributos, la agrupación es obvia, por ejemplo, el operador elige el valor de Tmáx para que sea un conjunto de valores distintos que den como resultado una agrupación obvia. Para otros atributos como Tavg o Relación Activa de la Aplicación, se puede identificar el valor mínimo y máximo de cada atributo y, a continuación, dividir el rango de valores de cada atributo en un número de grupos. Estos grupos pueden obtenerse simplemente dividiendo el rango de valores del atributo en intervalos uniformes o seleccionando un conjunto de grupos no uniformes.

Aunque el enfoque de agrupación manual es relativamente sencillo, a medida que aumenta el número de atributos y muestras de datos (suscriptores), es probable que sea difícil lograr la agrupación manual que captura cómo se agrupan realmente las muestras de datos. La Figura 4a, por ejemplo, muestra un gráfico de dispersión de un conjunto de datos hipotético con dos atributos. Claramente, este conjunto de datos es lo suficientemente sencillo como para que una agrupación manual independiente de cada atributo sea suficiente. Sin embargo, a medida que el conjunto de datos se complica más como se muestra en la Figura 4B, por ejemplo, una agrupación manual simple será casi imposible de obtener, lo que requiere un enfoque de agrupación automática. En un enfoque de agrupación automático, preferentemente se utiliza un algoritmo “basado en datos” para identificar los clústeres en los datos. Dichas técnicas se utilizan en técnicas de análisis de “grandes datos” existentes para agrupar los datos observados en diferentes clústeres para obtener inferencias significativas. En el enfoque de agrupación automática se pueden utilizar varios algoritmos de agrupación como la agrupación en clústeres de k-medias, la agrupación basada en distribución o los algoritmos de agrupación basados en densidad.

Crear una función de densidad de probabilidad de ancho de banda por suscriptor para cada tipo de agrupación de tipo de suscriptor

Con referencia de nuevo a la Figura 2A, el paso 106 puede crear preferentemente Funciones de Densidad de Probabilidad (pdf) de ancho de banda por suscriptor para cada tipo de Agrupación de Tipo de Suscriptor usando mediciones de suscriptores agrupados recopilados en un período de tiempo actual. Concretamente, una vez que el vector superconjunto de muestras de ancho de banda promedio (en unidades de bits por segundo) está disponible para cada grupo de Tipo de Suscriptor, como resultado de la ejecución del paso 104, se puede calcular la función de densidad

de probabilidad de ancho de banda actual para cada grupo de Tipo de Suscriptor. Esto puede lograrse en una modalidad preferida en varias subetapas, como se identifica a continuación.

En primer lugar, se crea un histograma de frecuencia a partir del superconjunto de muestras de ancho de banda promedio para cada grupo de Tipo de Suscriptor. El histograma de frecuencia debe definirse con un “tamaño del compartimiento” elegido que sea lo suficientemente pequeño para caracterizar con precisión los anchos de banda consumidos por el usuario. Los presentes inventores han determinado que los tamaños de los compartimientos en el orden de ~100 kbps son adecuados para las características de ancho de banda actuales. También pueden ser aceptables tamaños de compartimientos más grandes de (aproximadamente) ~1-10 Mbps. Es posible que los tamaños de los compartimientos en algunas modalidades deban ajustarse a medida que cambia el uso de ancho de banda de los suscriptores. En general, el objetivo es garantizar que los compartimientos sucesivos del histograma de frecuencia tengan valores de recuento de frecuencia similares (lo que significa que no hay cambios rápidos en la forma del histograma de frecuencia entre compartimientos sucesivos). El tamaño del compartimiento requerido depende en cierta medida de los niveles máximos de ancho de banda mostrados por cada suscriptor; los niveles máximos de ancho de banda más grandes pueden permitir que se utilicen tamaños de compartimientos más grandes. Por ejemplo, supongamos que el tamaño del compartimiento se seleccionó para ser 10 Mbps. Una vez seleccionado el tamaño del compartimiento, el eje x del histograma de frecuencia se puede definir con múltiplos enteros de ese tamaño de compartimiento. Luego, las muestras de ancho de banda promedio para una agrupación de Tipo de Suscriptor particular se utilizan para determinar el número de muestras que existen dentro de cada compartimiento para esa agrupación de Tipo de Suscriptor particular.

Con referencia a la Figura 5, el primer compartimiento en el eje x del histograma de frecuencia representa muestras de ancho de banda entre 0 Mbps (inclusive) y 10 Mbps. El segundo compartimiento en el eje x del histograma de frecuencia representa muestras de ancho de banda entre 10 Mbps (inclusive) y 20 Mbps. Otros compartimientos cubren rangos similares de 10 Mbps. La creación del histograma de frecuencia para un determinado grupo de Tipo de Suscriptor preferentemente implica analizar todas las muestras de ancho de banda promedio del superconjunto para ese grupo de Tipo de Suscriptor y contar el número de muestras que existen dentro de los límites de cada compartimiento. El recuento de frecuencia para cada compartimiento se introduce entonces en ese compartimiento, y se obtendrá un gráfico del histograma de frecuencia similar al mostrado en la parte superior de la Figura 5. En el gráfico de histograma de frecuencia particular de la Figura 5, el primer compartimiento (que cubre el rango de 0 Mbps (inclusive) a 10 Mbps) tiene un recuento de frecuencia de ~50, lo que implica que 50 de las muestras de ancho de banda promedio de ese suscriptor mostraron un nivel de ancho de banda promedio entre 0 Mbps (inclusive) y 10 Mbps.

A continuación, el histograma de frecuencia para cada agrupación de Tipo de Suscriptor puede convertirse en un histograma de frecuencia relativa. Esto se logra dividiendo cada valor de compartimiento en el histograma de frecuencia por el número total de muestras recogidas para esta agrupación de Tipo de Suscriptor particular dentro del superconjunto de muestras de ancho de banda promedio. La altura resultante de cada compartimiento representa la probabilidad (en cualquier período de muestreo) de ver un valor de ancho de banda promedio que existe dentro del rango de anchos de banda definidos por ese compartimiento en particular. Como comprobación, la suma de los valores de compartimiento dentro del histograma de frecuencia relativa resultante debe ser 1.0.

Por último, el histograma de frecuencia relativa se puede convertir en una función de densidad de probabilidad para la agrupación de Tipo de Suscriptor. Debe observarse que, dado que esto es realmente para datos discretos, es más correcto llamarlo una función de masa de probabilidad. Sin embargo, la presente descripción utilizará el término función de densidad de probabilidad, ya que se aproxima a una función de densidad de probabilidad (pdf). La conversión a un pdf para la agrupación del Tipo de Suscriptor puede lograrse dividiendo cada valor de compartimiento en el histograma de frecuencia relativa por el tamaño del compartimiento, en el ejemplo actual, asumido como 10 Mbps. Los expertos en la técnica apreciarán que los valores resultantes de la función de densidad de probabilidad pueden tener valores mayores que 1.0. Además, como comprobación, la suma de cada uno de los valores de la función de densidad de probabilidad multiplicado por el valor del eje x central del compartimiento para cada valor de la función de densidad de probabilidad debe ser 1.0.

La función de densidad de probabilidad para cada grupo de Tipo de Suscriptor es, en esencia, una huella dactilar que identifica el uso único del ancho de banda (dentro de cada intervalo de 1 segundo de tiempo) para los suscriptores que normalmente se asignan a un determinado grupo de Tipo de Suscriptor. Los compartimientos en la función de densidad de probabilidad de un determinado grupo de Tipo de Suscriptor indican qué valores de ancho de banda son más o menos probables dentro de un intervalo de 1 segundo para un usuario “típico” de ese grupo de Tipo de Suscriptor en particular.

Crear un modelo de regresión para los PDF

Con referencia de nuevo a la Figura 2A, en el paso 108, se crean modelos de regresión para cada pdf de ancho de banda de tipo por suscriptor como una función de Tmáx, Tavg y Relación Activa

de la Aplicación. Concretamente, una vez que se conoce la función de densidad de probabilidad para cada grupo de Tipo de Suscriptor, se dispone de una gran cantidad de información para crear un modelo de regresión para el pdf como función de Tmáx, Tavg y Relación Activa de la Aplicación. Normalmente, la función de densidad de probabilidad requerirá de un análisis de regresión múltiple. Al final, se produce una fórmula con la forma general

pdf(Ancho de banda) = f(Ancho de banda, Tmáx, Tavg, Relación Activa de la Aplicación)

donde Ancho de banda es el ancho de banda particular de interés. Se puede crear una función de densidad de probabilidad que se alargue en un amplio rango de valores de ancho de banda mediante el uso de la fórmula con muchos valores de ancho de banda posicionados de forma cercana.

Una vez obtenida, esta fórmula de función de densidad de probabilidad se puede utilizar para predecir el valor pdf para cualquier tipo de suscriptor, incluso si el suscriptor tiene valores de Tmáx y Tavg y de Relación Activa de la Aplicación que difieren de los disponibles en los pasos 104 y 106 mostrados en la Figura 2A.

Especificar atributos de todo el “Grupo de servicio” en un período de tiempo potencialmente diferente

En el paso 110, los detalles y atributos de todo el “Grupo de Servicio” se especifican en un período de tiempo potencialmente diferente. El término “marco de tiempo potencialmente diferente” pretende referirse a un marco de tiempo que se permite avanzar y retroceder en el tiempo, aunque no necesariamente necesita hacerlo. Por lo tanto, en un caso, los sistemas y el método descritos en la presente descripción pueden usarse simplemente para medir las características de la red y

el rendimiento a lo largo de un intervalo de tiempo actual para determinar si se está logrando actualmente una QoE deseada, y si no, para algunas modalidades responder en consecuencia. Alternativamente, como se explica a continuación, los sistemas y métodos descritos en la presente descripción pueden usarse en una capacidad predictiva para determinar las características y el rendimiento de la red en un intervalo que comienza, o se extiende en, el futuro para anticipar y prevenir la congestión de la red.

También debe apreciarse que el término “Grupo de Servicio” puede utilizarse en un sentido muy amplio; puede definir los suscriptores que comparten el ancho de banda en los canales DOCSIS unidos dentro de un Dominio DOCSIS MAC (conectado a un único Nodo de Fibra), o de manera alternativa, podría definir los suscriptores que comparten el ancho de banda en un CMTS o en un enrutador de red troncal. Los sistemas y métodos divulgados son aplicables a todos estos diferentes “Grupos de Servicio”.

Antes de que se pueda determinar la Capacidad de Ancho de Banda Requerida para satisfacer los niveles de Calidad de Experiencia requeridos para los suscriptores de un “Grupo de Servicio” dado, se deben conocer los detalles del “Grupo de Servicio” y sus suscriptores asociados. En particular, es necesario que se conozca al menos la siguiente información sobre el “Grupo de Servicio”:

i. el número total de suscriptores dentro del “Grupo de Servicio” (Nsub)

ii. la Tmáx y Tavg y Relación Activa de la Aplicación para cada uno de esos suscriptores

O, alternativamente, una lista de todas las distintas agrupaciones de Tipo de Servicio y sus atributos asociados, en la que los atributos de cada agrupación de Tipo de Servicio deben incluir:

a. el número de suscriptores asociados con la agrupación de Tipo de Servicio en particular (o el porcentaje del número total de suscriptores que están asociado con la agrupación del Tipo de Servicio en particular)

b. el valor de Tmáx para la agrupación de Tipo de Servicio

c. el valor de Tavg promedio para la agrupación de Tipo de Servicio

d. el valor promedio de la Relación Activa de la Aplicación para la agrupación de Tipo de Servicio.

A menudo es el caso de que un ingeniero de tráfico debe determinar las Capacidades de Ancho de Banda Requeridas no solo para el presente, sino también para el futuro. Como resultado, el ingeniero de tráfico a menudo debe especificar los atributos del “Grupo de Servicio” (como los valores de Tmáx y Tavg y de Relación Activa de la Aplicación) para los próximos años. Obviamente, esto no es un ejercicio trivial, y nunca es posible encontrar una respuesta con absoluta certeza; nadie puede predecir el futuro, y las variaciones inesperadas siempre son posibles. Sin embargo, una extrapolación de las tendencias pasadas puede ser útil para predecir tendencias en el futuro.

Estos tipos de predicciones extrapoladas para el futuro son bastante posibles para los valores de Tmáx y Tavg, ya que sus tendencias pasadas suelen conocerse. Se pueden incluso determinar las diferentes tendencias pasadas que podrían existir para los valores de Tmáx y Tavg para diferentes grupos de Tipo de Servicio. Por ejemplo, muchos Operadores han visto cómo los valores de Tmáx descendentes crecen en ~50 % por año durante largos periodos de tiempo, y más recientemente, muchos Operadores han visto cómo los valores de Tavg descendente crecen en ~40 % por año. Si se sabe que el valor de Tmáx y el valor de Tavg para el momento actual es Tmáx0 y Tavg0, respectivamente, y si asumimos que las tasas de crecimiento para Tmáx y Tavg

permanecen constantes a lo largo del tiempo, entonces el valor de Tmáx y el valor de Tavg previstos en Y años a partir del momento actual, designados como Tmáx(Y) y Tavg(Y), respectivamente, pueden calcularse como:

Tmáx(Y) = (Tmáx0)*(1.5)**(Y)

Tavg(Y) = (Tavg0)*(1.4)**(Y).

En particular, las dos fórmulas anteriores también son válidas para valores Y negativos, lo que significa que también se pueden utilizar para “predecir” los valores de Tmáx y Tavg que existían en el pasado. Por ejemplo, para determinar la estimación de sobre lo que los valores de Tmáx y Tavg eran dos años antes de la fecha actual, se puede utilizar un valor de Y=-2 dentro de las fórmulas. Por lo tanto, las fórmulas se pueden utilizar para predecir los valores de Tmáx y Tavg en el pasado y en el futuro.

Crear pdf para cada “Grupo de Suscriptores” para un período de tiempo potencialmente diferente

Con referencia a la Figura 2B, una vez que se conocen los valores de Tmáx y Tavg y Relación Activa de la Aplicación para cada suscriptor o agrupación de Tipo de Suscriptor para el marco temporal de interés (dentro del “Grupo de Servicio” particular), esta información se puede utilizar en el paso 112 para crear una función de densidad de probabilidad para cada uno de los suscriptores o las agrupaciones de Tipo de Servicio (calculada como una función de los valores de Tmáx, Tavg y Relación Activa de la Aplicación previstos en el marco temporal de interés). Este cálculo utiliza la fórmula definida en el paso de regresión del paso 4:

pdf(Ancho de banda) = f(Ancho de banda, Tmáx, Tavg, Relación Activa de la Aplicación).

Una vez completado el paso 112, estará disponible una predicción única de la función de densidad de probabilidad para cada suscriptor o agrupación de Tipo de Suscriptor dentro del "Grupo de Servicio". Es importante recordar que la función de densidad de probabilidad para la agrupación de Tipo de Suscriptor sigue siendo una medición de las probabilidades de varios anchos de banda que ocurren para un solo suscriptor que está asociado con las características únicas de una agrupación de Tipo de Suscriptor en particular.

Para los grupos de Tipo de Suscriptor con valores de SLA más pequeños, puede ser posible reutilizar parte del pdf de otros valores de SLA actuales. Por ejemplo, un grupo con un valor de SLA de Tmáx de 10 Mbps podría convertirse en un SLA de Tmáx de 20 Mbps en el futuro. Si el pdf para un SLA de Tmáx de 20 Mbps existe hoy, ese pdf podría ser reutilizado opcionalmente para el grupo de 10 Mbps en el futuro. Obviamente, cualquier nuevo valor de SLA de Tmáx requerirá el paso 112.

Reajustar pdf

En el paso opcional 114, la función de densidad de probabilidad separada y única para cada suscriptor o grupo de Tipo de Suscriptor dentro del "Grupo de Servicio" para un período de tiempo potencialmente diferente puede reajustarse. Concretamente, una vez que la función de densidad de probabilidad predicha se crea en el paso 112, utilizando las fórmulas de regresión para un período de tiempo de interés particular, es posible "reajustar" la función de densidad de probabilidad basándose en vistas o predicciones particulares sobre la naturaleza del tráfico y las aplicaciones en el período de tiempo de interés. Esto permite a un ingeniero de tráfico utilizar la experiencia para anular predicciones del modelo de regresión. Esto puede ser aconsejable o no,

pero algunas modalidades de la presente descripción pueden permitir ciertamente el ajuste de la predicción de la función de densidad de probabilidad.

Si, por ejemplo, un ingeniero de tráfico cree que una nueva aplicación de video aparecerá en un futuro marco de tiempo que inyectará una gran cantidad de transmisiones de ancho de banda alto en el sistema que pueden terminar creando una gran cantidad de ancho de banda por suscriptor de alrededor de 50 Mbps (lo que no se predijo mediante el modelo de regresión), entonces algunas modalidades pueden permitir preferentemente que el ingeniero de tráfico aumente los valores de densidad de probabilidad en el rango de (aproximadamente) 45 Mbps a 55 Mbps. La curva resultante puede denominarse “función de densidad de probabilidad reajustada”. Una vez realizado el reajuste, entonces la “función de densidad de probabilidad reajustada” resultante debe “renormalizarse” preferentemente para que aún se muestre la característica única requerida de una función de densidad de probabilidad adecuada. En particular, debe elevarse o bajarse a lo largo de toda su longitud para que el área por debajo de la función de densidad de probabilidad siga siendo igual a uno. Esto se puede lograr multiplicando cada valor dentro de la función de densidad de probabilidad por un factor de escala S, donde

S = 1/(área por debajo de la “función de densidad de probabilidad reajustada”).

Por lo tanto, la “función de densidad de probabilidad reajustada y renormalizada” resultante viene dada por:

“pdf reajustado y renormalizado” = S*(“función de densidad de probabilidad reajustada”).

Validar la independencia de las actividades de ancho de banda para los suscriptores

En el paso opcional 116, la independencia de las actividades de ancho de banda para los suscriptores dentro de un “Grupo de Servicio” puede validarse preferentemente. Este paso utiliza

una teoría bien conocida a partir de la probabilidad y las estadísticas que establece el siguiente argumento:

Supongamos que X e Y son dos variables aleatorias independientes (como las mediciones de ancho de banda promedio de 1 segundo tomadas de dos suscriptores diferentes). Supongamos también que f(x) y g(y) son las funciones de densidad de probabilidad de las dos variables aleatorias X e Y, respectivamente. Entonces, la suma de esas dos variables aleatorias produce una nueva variable aleatoria Z=X+Y (que correspondería al ancho de banda agregado creado al agregar las muestras de ancho de banda de 1 segundo de los dos suscriptores juntos), y la nueva variable aleatoria Z tendrá una nueva función de densidad de probabilidad dada por h(z), donde h(z) = f(x) se convoluciona con g(y).

Por lo tanto, en este paso, se debe confirmar que las actividades de ancho de banda para diferentes suscriptores son sustancialmente independientes y no correlacionadas. Resulta que normalmente podemos suponer (mientras introducimos solo una pequeña cantidad de error) que las actividades de ancho de banda de dos suscriptores independientes son en gran medida independientes entre sí. Los estudios han demostrado que esto es sobre todo cierto. Puede haber algunas correlaciones entre las actividades de ancho de banda de diferentes suscriptores que podrían deberse a:

i. una propensión común entre los seres humanos a realizar actividades relacionadas con el ancho de banda en la parte superior e inferior de la hora (cuando terminan los programas de televisión);

ii. actividades relacionadas con el ancho de banda que son iniciadas por máquinas en diferentes hogares de suscriptores que están sincronizadas para comenzar sus actividades en un momento específico (como grabadoras de video digital en casa que están programadas para comenzar sus grabaciones a las 8 p.m.); y

iii. posibles comportamientos de autosincronización de aplicaciones orientadas a TCP que compiten por el ancho de banda (como los códecs de video de tasa de bits adaptables).

Sin embargo, estas interacciones tienden a ser bastante pequeñas. Con el fin de validar que un conjunto particular de suscriptores dentro de un “Grupo de Servicio” está usando ancho de banda de maneras que son en gran medida independientes, se puede realizar una prueba decisiva que no es necesariamente una prueba de independencia para todo el tiempo, pero sí da una instantánea del comportamiento del suscriptor durante un período de tiempo y determina si las actividades del suscriptor son en gran medida independientes (o no) durante ese período de tiempo.

Concretamente, las muestras individuales de ancho de banda con, por ejemplo, una granularidad de 1 segundo, se recogen por primera vez durante la ventana de tiempo ocupada (por ejemplo, de 20:00 a 23:00 por la noche). Esto es similar a las acciones realizadas en el paso 102 anterior, pero este conjunto particular de muestras debe recogerse preferentemente de una manera muy específica. En particular, la recogida de las muestras debe sincronizarse preferentemente de manera que la primera muestra de 1 segundo recogida para el Suscriptor #1 se tome exactamente en el mismo momento en el tiempo (más o menos 100 milisegundos) que la primera muestra de 1 segundo recogida para el Suscriptor #2. De manera similar, la muestra de 1 segundo recogida para el Suscriptor #2 se toma exactamente en el mismo momento en el tiempo (más o menos 100 milisegundos) que la primera muestra de 1 segundo recogida para el Suscriptor #3. Esta regla se aplica a todos los suscriptores de Nsub dentro del “Grupo de Servicio”. Por lo tanto, este procedimiento producirá muestras de ancho de banda de 1 segundo que se sincronizan, permitiendo la identificación de correlaciones temporales entre las actividades de los diferentes suscriptores. Por ejemplo, si de repente sucede que todos los suscriptores irrumpan a un nivel de ancho de banda muy alto exactamente en el mismo momento durante el tiempo, por ejemplo,

muestra 110 (asociada con ese único período de tiempo de 1 segundo que es de 110 segundos después de que se inició el muestreo), entonces se puede identificar el comportamiento sincronizado dentro de las muestras debido a la implicación de que este es un nivel de correlación entre las actividades de ancho de banda de los suscriptores.

A continuación, se expone una prueba matemática para detectar la cantidad de correlación que existe entre los suscriptores muestreados dentro del “Grupo de Servicio” y para ver el impacto que estas posibles actividades sincronizadas pueden tener en los resultados que se calcularán posteriormente.

Primero, crear la Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda #1 basada en las muestras de ancho de banda recogidas del Suscriptor #1 y repetir para cada uno de los demás suscriptores. Esto producirá Funciones de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda de Nsub, con etiquetas que van desde la Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda #1 a la Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda #Nsub. Las Funciones de Densidad de Probabilidad del Ancho de Banda pueden crearse mediante el uso del método descrito con respecto a la etapa 118 de la Figura 2B, que se analiza más adelante.

En segundo lugar, realizar una convolución de todas las Funciones de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda de Nsub en conjunto para crear una Función de densidad de Probabilidad de Ancho de Banda Agregada Final para este “Grupo de Servicio” en particular. Debe tenerse en cuenta que esta Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda Agregada Final particular no incluye ningún reconocimiento de simultaneidad entre ráfagas de ancho de banda entre suscriptores. En cambio, asume que todas las ráfagas de ancho de banda de los diferentes

suscriptores son totalmente independientes entre sí e ignora cualquier correlación entre las actividades de ancho de banda del suscriptor.

En tercer lugar, tomar cada una de las muestras de ancho de banda secuenciales para el Suscriptor #1 y concatenarlas juntas y tratar el resultado como un vector de fila, repitiendo para cada uno de los demás suscriptores. Este procedimiento producirá vectores de fila de Nsub. Colocar los vectores de fila uno encima del otro para crear una matriz de números. La primera fila de esa matriz debe contener las muestras de ancho de banda con secuencia temporal para el Suscriptor #1. La segunda fila de esa matriz debe contener las muestras de ancho de banda con secuencia temporal para el Suscriptor #2. Este patrón debe continuar hasta la última fila (fila Nsub), que debe contener las muestras de ancho de banda con secuencia temporal para el Suscriptor #Nsub. También debe ser evidente que la primera columna de la matriz representa el primer segundo de muestras sincronizadas para cada uno de los suscriptores. La segunda columna de la matriz representa el siguiente segundo de muestras sincronizadas para cada uno de los suscriptores. Las columnas sucesivas en la matriz también representan muestras sincronizadas para cada uno de los suscriptores en un momento determinado en el tiempo.

En cuarto lugar, mediante el uso de la matriz anterior, añadir todos los valores en cada columna y crear un Vector de Suma en la parte inferior de la matriz. Este Vector de Suma es el ancho de banda real por “Grupo de Servicio” que se pasó a través del grupo de servicio, donde cada valor dentro del Vector de Suma representa una muestra de tiempo de 1 segundo en particular. Debe tenerse en cuenta que cualquier simultaneidad de ráfagas de ancho de banda entre los suscriptores se describirá dentro de este Vector de Suma. Por lo tanto, un determinado instante en el tiempo en el que todos los suscriptores podrían haber habilitado para ráfagas

simultáneamente sus anchos de banda a niveles muy altos se mostrarían como un valor muy alto en ese momento en el tiempo dentro de este Vector de Suma.

En quinto lugar, crear la Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda del Vector de Suma basada en las muestras de ancho de banda dentro del Vector de Suma. La Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda de este Vector de Suma incluirá un reconocimiento de simultaneidad entre ráfagas de ancho de banda entre suscriptores. De nuevo, estos PDF pueden crearse mediante el uso de las técnicas descritas con respecto a la etapa 118 de la Figura 2A, que se describe a continuación.

En sexto lugar, comparar la Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda del Vector de Suma con la Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda Agregada Final. En algunas modalidades, una o más de las pruebas conocidas de “bondad de ajuste” del campo de probabilidad y estadísticas pueden usarse para determinar qué tan cerca coinciden las dos Funciones de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda entre sí. En un alto nivel, la cola más a la derecha de las dos Funciones de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda puede revelar si la cola de la Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda del Vector de Suma alcanza valores mucho más altos (con mayor probabilidad) que la cola dentro de la Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda Agregada Final. Si lo hace, es probable que los suscriptores individuales estén ilustrando un nivel de sincronía y correlación entre sus ráfagas de ancho de banda. Sin embargo, es probable que este problema no exista en ninguna cantidad significativa, porque se ha visto que el comportamiento del suscriptor no tiende a estar fuertemente sincronizado y correlacionado.

Debe tenerse en cuenta que el paso 116 solo se puede aplicar a las muestras actuales, por lo que cualquier inferencia que produzca información sobre la independencia del ancho de banda del suscriptor para el futuro es solo una hipótesis. Sin embargo, parece algo lógico asumir que, si los suscriptores presentes muestran una correlación limitada entre los niveles de ancho de banda de los demás, es probable que los futuros suscriptores también muestren un comportamiento no correlacionado similar.

Los expertos en la técnica apreciarán que la prueba anterior para la correlación entre el comportamiento del suscriptor puede automatizarse fácilmente para su implementación en un dispositivo computarizado, tal como CMTS 118 u otro dispositivo de procesamiento.

Crear PDF de ancho de banda agregado para suscriptores dentro del "Grupo de Servicio" para un período de tiempo potencialmente diferente

Una vez que se crea un pdf para cada suscriptor o agrupación de Tipo de Suscriptor (que opcionalmente puede ser "reajustado y renormalizado"), y opcionalmente una vez que se ha determinado la independencia entre las actividades de ancho de banda del suscriptor, se puede crear una Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda Agregada Final para cualquier "Grupo de Servicio" en el paso 118.

El paso 118 se basa en suposiciones sobre la naturaleza del tráfico y algunas reglas de las estadísticas. En particular, se conoce bien a partir de la probabilidad y las estadísticas que:

Suponiendo que X e Y son dos variables aleatorias independientes (como las mediciones de ancho de banda promedio de 1 segundo tomadas de dos suscriptores diferentes) y que f(x) y g(y) son las funciones de densidad de probabilidad de las dos variables aleatorias X e Y,

respectivamente, entonces la suma de esas dos variables aleatorias produce una nueva variable aleatoria Z=X+Y (que correspondería al ancho de banda agregado creado al agregar las muestras de ancho de banda de 1 segundo de los dos suscriptores juntos), y la nueva variable aleatoria Z tendrá una nueva función de densidad de probabilidad dada por h(z), donde h(z) = f(x) convolucionó con g(y).

Esta regla se ilustra mediante los gráficos de función de densidad de probabilidad de ancho de banda artificial (no realistas y simplificados) en la Figura 6. El gráfico superior de la Figura 6 muestra la función de densidad de probabilidad de ancho de banda de un suscriptor en particular #1. El gráfico del medio de la Figura 6 muestra la función de densidad de probabilidad de ancho de banda de un suscriptor en particular #2. El gráfico inferior de la Figura 6 (en amarillo) muestra la función de densidad de probabilidad de ancho de banda resultante de la convolución de las dos primeras funciones de densidad de probabilidad de ancho de banda (en la parte superior y media de la Figura 6). En otras palabras, el gráfico inferior de la Figura 6 es esencialmente la función de densidad de probabilidad de ancho de banda de un “Grupo de Servicio” compuesto por el suscriptor #1 y el suscriptor #2, cuyos anchos de banda se han sumado juntos. En esta figura, los dos suscriptores experimentan anchos de banda de solo 1 Mbps y 1000 Mbps. Aunque no es realista, la ilustración muestra cómo el proceso de convolución crea todas las combinaciones de anchos de banda a partir de los suscriptores. Sus anchos de banda agregados (en la parte amarilla inferior de la Figura 6) ilustran que su “Grupo de Servicio” con sus cargas de tráfico combinadas experimentaría anchos de banda de 2 Mbps (cuando ambos reciben a 1 Mbps), 1001 Mbps (cuando uno recibe a 1 Mbps y el otro recibe a 1000 Mbps) y 2000 Mbps (cuando ambos reciben a 1000 Mbps). Las probabilidades reales de cada uno de estos anchos de banda también se muestran con los números junto a las flechas. Deben tenerse en cuenta los siguientes cálculos:

i. prob(BW agregado es 2 Mbps) = prob(sub #1 es 1 Mbps) * prob(sub #2 es 1 Mbps)

=0.999*0.999

= 0.998001

= 99.8001%

ii. prob(BW agregado es 1001 Mbps) =

[prob(sub #1 es 1000 Mbps) * prob(sub #2 es 1 Mbps)]

+ [prob(sub #2 es 1000 Mbps) * prob(sub #1 es 1 Mbps)] =

[0.001*0.999] + [0.001*0.999] =

0.001998 =

0.1998%

iii. prob(BW agregado es 2000 Mbps) = prob(sub #1 es 1000 Mbps) * prob(sub #2 es 1000 Mbps)

=0.001*0.001

=0.000001

= 0.0001%.

Por lo tanto, se puede ver que las acciones de la convolución tienden a reducir las probabilidades de niveles de ancho de banda particulares dentro del “Grupo de Servicio” (en relación con las probabilidades de ancho de banda para cada suscriptor individual). Al final, el área bajo cada gráfico debe ser uno para satisfacer las condiciones requeridas para cualquier función de densidad de probabilidad, y esa condición se cumple realmente en los tres gráficos mostrados en la Figura 6.

Las funciones reales de densidad de probabilidad de ancho de banda de dos suscriptores diferentes del mundo real se ilustran en las Figuras 7 y 8, respectivamente, y la salida de convolución resultante que conduce a la función de densidad de probabilidad de ancho de banda

agregado para un “Grupo de Servicio” compuesto por los dos suscriptores se muestra en la Figura 9.

Debe tenerse en cuenta que el argumento de convolución descrito anteriormente solo es válido si las dos variables aleatorias iniciales (X e Y) son variables aleatorias independientes. Sin embargo, basándose en análisis similares a los descritos en el paso 116, estas correlaciones tienden a ser bastante pequeñas, y en su mayor parte, pueden ignorarse. Con esta suposición, mediante la convolución de las dos “funciones de densidad de probabilidad de ancho de banda reajustadas y renormalizadas” juntas, se puede crear una nueva función de densidad de probabilidad de ancho de banda que describa la probabilidad de los anchos de banda agregados para sus flujos de paquetes combinados. Debe tenerse en cuenta que, al realizar esta convolución, debe entenderse que la “función de densidad de probabilidad reajustada y renormalizada” utilizada para un suscriptor puede ser la función de densidad de probabilidad prevista para ese suscriptor en particular, o puede ser la función de densidad de probabilidad prevista para la agrupación de Tipo de Suscriptor a la que se ha asignado el suscriptor. En cualquier caso, la función de densidad de probabilidad es una predicción más aproximada de la que el usuario mostraría.

Una vez que la función de densidad de probabilidad del ancho de banda agregado para dos suscriptores se ha calculado utilizando la regla de convolución anterior, entonces la función de densidad de probabilidad del ancho de banda agregado resultante se puede convolucionar con la “función de densidad de probabilidad del ancho de banda reajustado y renormalizado” de un tercer suscriptor para crear la función de densidad de probabilidad del ancho de banda agregado para tres suscriptores. Este proceso se puede llevar a cabo una y otra vez, añadiendo la “función

de densidad de probabilidad de ancho de banda reajustada y renormalizada” de un nuevo suscriptor con cada convolución sucesiva.

Un “Grupo de Servicio” que contenga suscriptores de Nsub requeriría que se realizaran convoluciones sucesivas (Nsub-1) para crear la Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda Agregada Final que describiera el ancho de banda agregado de todos los suscriptores de Nsub agregados. Dado que la “función de densidad de probabilidad de ancho de banda reajustada y renormalizada” de cada suscriptor puede ser diferente de la de los demás suscriptores, la Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda Agregada Final es una función única para el conjunto único de suscriptores que se agrupó en el “Grupo de Servicio”.

En la Figura 10 se ilustra un ejemplo de resultado de este paso de convolución múltiple para un “Grupo de Servicio” real que contiene suscriptores Nsub=400. Aunque esta curva tiene el aspecto de una curva gaussiana normal, se ha descubierto que sus colas no coinciden con la forma gaussiana. Dado que, como se describirá más adelante, la forma de las colas es el atributo más importante de esta curva para los propósitos de esta descripción, la curva gaussiana no puede usarse de manera fiable como una aproximación a la curva real calculada mediante convolución repetitiva. Por lo tanto, la convolución repetitiva (o la FFT repetitiva relacionada) debe utilizarse preferentemente.

Debe quedar claro que se puede realizar un conjunto similar de operaciones de convolución sucesivas (Nsub-1) si el “Grupo de Servicio” se define alternativamente para tener suscriptores Nsub, donde X% de ellos forma parte de una agrupación de Tipo de Servicio con las características de {Tavg1, Tmáx1, y Relación Activa de la Aplicación 1} e Y% de ellos forma parte de una agrupación de Tipo de Servicio con las características de {Tavg2, Tmáx2 y Relación Activa

de la Aplicación 2}. En ese caso, realizaríamos convoluciones (ceiling(Nsub*X%)-1) para combinar las funciones de densidad de probabilidad de ancho de banda de los primeros suscriptores de ceiling(Nsub*X%). Debe tenerse en cuenta que estas convoluciones utilizarían funciones de densidad de probabilidad de ancho de banda creadas utilizando {Tmáx1, Tavg1 y Relación Activa de la Aplicación 1}. Luego los resultados de ese conjunto inicial de convoluciones se usarían como punto de partida, y luego se realizarían otras convoluciones (ceiling(Nsub*Y%)-1) para combinar las funciones de densidad de probabilidad de ancho de banda de los siguientes suscriptores de ceiling(Nsub*Y%) con los resultados del conjunto inicial de convoluciones. Estas convoluciones utilizarían funciones de densidad de probabilidad de ancho de banda creadas utilizando {Tmáx2, Tavg2 y Relación Activa de la Aplicación 2}. Esto daría lugar a una Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda Agregada Final que describiera el ancho de banda combinado agregado esperado para los suscriptores de Nsub que operan dentro del “Grupo de Servicio”.

El ejemplo anterior ilustra las operaciones de convolución necesarias cuando había dos agrupaciones de Tipo de Servicio diferentes definidas dentro del “Grupo de Servicio”. Las extensiones del enfoque anterior son obvias si hay más de dos agrupaciones de Tipo de Servicios diferentes dentro del “Grupo de Servicio”.

Debe ser evidente que el enfoque anterior se puede utilizar para “Grupos de Servicio” de cualquier tamaño (p. ej.: Nsub=50 o Nsub=50 000). El enfoque también se puede utilizar para “Grupos de Servicio” con cualquier mezcla de tipos de suscriptores (p. ej., todos los suscriptores con los mismos valores altos de {Tmáx, Tavg, Relación Activa de la Aplicación}, o una mezcla de suscriptores al 50:50 con la mitad con valores muy altos de {Tmáx, Tavg, Relación Activa de la Aplicación} y la mitad con valores bajos y altos de {Tmáx, Tavg, Relación Activa de la Aplicación},

o una mezcla con cada suscriptor que tiene un conjunto diferente de valores de {Tmáx, Tavg, Relación Activa de la Aplicación}.

Cuando el tamaño del “Grupo de Servicio” aumenta hasta ser grande, el gran número de convoluciones que debe realizarse en este paso puede requerir bastante tiempo. Por ejemplo, un “Grupo de Servicio” que contiene 50 000 suscriptores Nsub requeriría que la función de convolución repetitiva se realizara 49.999 veces. Además, la longitud de la convolución crece con cada convolución repetitiva, por lo que los cálculos de la convolución se vuelven bastante lentos para valores de Nsub grandes. Se revelan varias técnicas que se pueden emplear para ayudar a acelerar el cálculo de las funciones de convolución múltiple.

En primer lugar, se pueden utilizar transformadas rápidas de Fourier (FFT) en lugar de las convoluciones más lentas. Si una función de densidad de probabilidad tiene N muestras y la segunda función de densidad de probabilidad tiene M muestras, entonces cada una de las funciones de densidad de probabilidad debe rellenarse con ceros hasta una longitud de N+M-1, lo que garantizará que este paso realice la convolución lineal (y no la convolución circular). A continuación, se calcula la FFT de cada una de las funciones de densidad de probabilidad rellenadas con ceros. Las dos FFT se multiplican juntas utilizando multiplicación de números compleja por término. Luego se calcula la FFT inversa del resultado multiplicado. El resultado de esa FFT inversa es la convolución de las dos funciones de densidad de probabilidad originales. Este enfoque de FFT es una implementación mucho más rápida cuando se compara con el enfoque de convolución, por lo que el enfoque de FFT es la modalidad preferida.

En segundo lugar, si muchos de los suscriptores utilizan los mismos valores {Tmáx, Tavg, Relación Activa de la Aplicación}, entonces es posible un procedimiento de aceleración binaria.

Por ejemplo, suponiendo, por ejemplo, que un subconjunto de once suscriptores cuyas funciones de densidad de probabilidad de ancho de banda que se convolucionarán entre sí tienen valores idénticos de {Tmáx, Tavg, Relación Activa de la Aplicación}, esos once suscriptores (por definición) también tendrán funciones de densidad de probabilidad de ancho de banda idénticas, dadas por f(x). La aceleración binaria se logra mediante el siguiente proceso. En primer lugar, convolucione f(x) con f(x) para crear la función de densidad de probabilidad de ancho de banda para dos suscriptores. La función de densidad de probabilidad de ancho de banda resultante para dos suscriptores se llamará g(x). Luego, convolucione g(x) con g(x) para crear la función de densidad de probabilidad de ancho de banda para cuatro suscriptores. La función de densidad de probabilidad de ancho de banda resultante para cuatro suscriptores se llamará h(x). Luego, convolucione h(x) con h(x) para crear la función de densidad de probabilidad de ancho de banda para ocho suscriptores. La función de densidad de probabilidad de ancho de banda resultante para ocho suscriptores se llamará k(x). Luego, convolucione k(x) con g(x) para crear la función de densidad de probabilidad de ancho de banda para diez suscriptores. La función de densidad de probabilidad de ancho de banda resultante para diez suscriptores se llamará l(x). Luego, convolucione l(x) con f(x) para crear la función de densidad de probabilidad de ancho de banda para once suscriptores. La función de densidad de probabilidad de ancho de banda resultante para once suscriptores se llamará m(x). Este resultado habría requerido un total de (11-1)=10 convoluciones si no hubiéramos realizado el proceso de aceleración binaria. Con este proceso de aceleración binaria, pudimos reducir el número total de convoluciones a 5 convoluciones, donde la primera convolución produjo el resultado para dos suscriptores, la segunda convolución produjo el resultado para cuatro suscriptores, la tercera convolución produjo el resultado para ocho suscriptores, la cuarta convolución produjo el resultado para diez suscriptores y la quinta convolución produjo el resultado para once suscriptores. Este proceso de aceleración binaria es aún más eficiente para tamaños más grandes de “Grupo de Servicio”. Por ejemplo, si tenemos

un “Grupo de Servicio” con exactamente Nsub = 32 768 suscriptores y si asumimos que todos esos suscriptores tienen los mismos valores de {Tmáx, Tavg, Relación Activa de la Aplicación}, entonces en lugar de realizar (32 768-1) = 32 767 convoluciones, podríamos lograr el resultado deseado aplicando el proceso de aceleración binaria y solo realizar 15 convoluciones (dado que 2^{15} = 32 768).

En tercer lugar, es evidente que los cálculos de convolución son funciones particionables que se pueden distribuir entre varios núcleos de procesador en un entorno distribuido. Por ejemplo, si es necesario realizar un total de 32 convoluciones, 16 de ellas podrían colocarse en un núcleo de procesador y 16 podrían colocarse en un segundo núcleo de procesador. Una vez que cada núcleo de procesador ha calculado su resultado intermedio, los dos resultados intermedios podrían combinarse en un tercer núcleo de procesador donde se realiza la convolución final entre los dos resultados intermedios. Este enfoque de divide y vencerás de los cálculos de convolución se puede distribuir obviamente en incluso más de dos núcleos de procesador, siempre que los resultados se combinen en última instancia para los pasos finales de convolución. Este enfoque completo también parece estar bien diseñado para dividirse y ejecutarse de forma paralela, de una manera multi-nodo dentro de un clúster de Hadoop compatible con entornos YARN o MapReduce. Por lo tanto, el cálculo de las convoluciones parece ser adecuado para la paralelización mediante el uso de varios servidores.

Determinación de la capacidad de ancho de banda disponible en el “Grupo de Servicio”

Con referencia a la Figura 2C, para cualquier subsistema que pase datos a (o desde) un grupo de suscriptores dentro de un “Grupo de Servicio”, es preferible especificar la Capacidad de Ancho de Banda Disponible en el paso opcional 120. Generalmente, esta capacidad es dictada por

algunos cuellos de botella potenciales dentro del sistema que limitan la cantidad total de capacidad de ancho de banda que se puede pasar a (o desde) los suscriptores dentro del “Grupo de Servicio”.

Estos posibles cuellos de botella pueden aparecer en cualquiera de varias áreas, ya que los datos suelen ser procesados por muchos elementos. Por ejemplo, considere un entorno DOCSIS donde los datos descendentes se pasan a través de un enrutador 16 y a través de un CMTS 18 como se muestra en la Figura 1, a un sistema de distribución de fibra coaxial y luego a un cable módem 14. Los cuellos de botella potenciales incluyen el ancho de banda del puerto del lado WAN en el enrutador 16, la capacidad de procesamiento del enrutador, la capacidad de la placa base del enrutador, el ancho de banda del puerto del lado LAN en el enrutador, el ancho de banda del puerto del lado WAN en el CMTS 18, la capacidad de procesamiento del CMTS, la capacidad de la placa base del CMTS y el ancho de banda del puerto del lado del cable en el CMTS 18 (definido por el número de canales DOCSIS configurado en el cable coaxial). Normalmente, solo uno de estos posibles cuellos de botella se convierte en el cuello de botella limitante, lo que limita la capacidad general del sistema a su valor más bajo. Aunque cualquiera de estos posibles cuellos de botella (enumerados anteriormente) podría ser el cuello de botella limitante, a menudo se descubre que es el ancho de banda del puerto del lado del cable en el CMTS 18 (definido por el número de canales DOCSIS configurados en el cable coaxial).

Independientemente de qué cuello de botella potencial sea el cuello de botella limitante, el Operador debe identificar el cuello de botella limitante y determinar la capacidad de ancho de banda asociada permitida por ese cuello de botella limitante. El Operador siempre puede optar por modificar el cuello de botella limitante (añadir canales DOCSIS, etc.) para aumentar la capacidad de ancho de banda asociada, pero eso normalmente implica costes de sistema

añadidos. Sin embargo, en algún momento, el operador debe “identificar” los elementos particulares del sistema que planean utilizar y determinar su cuello de botella limitante final y su capacidad de ancho de banda final asociada. Esta capacidad de ancho de banda asociada final se convierte en la Capacidad de Ancho de Banda Disponible para el “Grupo de Servicio”.

Calcular una QoE utilizando la Probabilidad de Superar la Capacidad de Ancho de Banda Disponible del “Grupo de Servicio” como métrica

Una vez que se ha calculado la Función de Densidad de Probabilidad Agregada Final” para un “Grupo de Servicio” particular (utilizando las convoluciones iterativas del paso anterior) y una vez que se ha identificado la Capacidad de Ancho de Banda disponible para el “Grupo de Servicio”, puede ser preferible definir una métrica para medir cuantitativamente el Nivel de Calidad de Experiencia que los suscriptores dentro de ese “Grupo de Servicio” probablemente experimenten. Idealmente, esta sería una métrica que se relaciona con la Función de Densidad de Probabilidad Agregada Final y la Capacidad de Ancho de Banda Disponible.

Se podrían utilizar muchas métricas diferentes de Calidad de Experiencia. Una métrica preferida que se aplica a muchos tipos de servicio diferentes (datos, voz, video, etc.) es la probabilidad de que las acciones del suscriptor soliciten niveles de ancho de banda que superen la Capacidad de Ancho de Banda Disponible del “Grupo de Servicio”. Por lo tanto, en el paso 122 se puede especificar un nivel de QoE deseado utilizando la métrica de la probabilidad de superar la capacidad de ancho de banda disponible del “Grupo de Servicio”. El razonamiento para utilizar esta métrica es sencillo.

Considere un escenario en el que un Operador haya construido un sistema que pueda suministrar una Capacidad de Ancho de Banda Disponible de 2 Gbps a un “Grupo de Servicio”. Si los suscriptores dentro de ese “Grupo de Servicio” nunca solicitan más de 2 Gbps de ancho de banda real, entonces es muy probable que esos suscriptores tengan altos niveles de Calidad de Experiencia, como se muestra, por ejemplo, en la Figura 11. Esto, por supuesto, supone que sus flujos de datos no se ven obstaculizados por otros obstáculos de la ruta, como sobrecargas del servidor en el origen o congestión del enrutador en la ruta norte de la red de entrega del Operador. Si, en cambio, los suscriptores dentro de ese “Grupo de Servicio” nunca solicitan más de 2 Gbps de ancho de banda real, entonces es muy probable que esos suscriptores tengan un bajo nivel de Calidad de Experiencia, como se muestra en la Figura 12. Los flujos de tráfico de ancho de banda alto (la Carga Ofrecida) que llegan al CMTS, como el CMTS 18 de la Figura 1, tendrán que limitarse a la capacidad de ancho de banda disponible de 2 Gbps por la caja de CMTS para crear un conjunto de flujos de tráfico de ancho de banda bajo que se salen del CMTS (la Carga Entregada). Esta limitación controlada de la Carga Ofrecida solo se puede realizar mediante retrasos de paquetes en colas y caídas de paquetes dentro del CMTS. Debe quedar claro que se producen retrasos de paquetes y caídas de paquetes en todos los elementos de la red, como los Enrutadores, dentro de Internet. Estos retrasos y caídas probablemente se acoplen (a través de la ruta de retroalimentación TCP ACK) nuevamente al origen TCP y provoquen que TCP reduzca su ventana de congestión y disminuya el rendimiento de los flujos de tráfico que se envían a los suscriptores. Es probable que los suscriptores vean los valores de rendimiento reducidos, y esos valores de rendimiento reducidos podrían conducir a niveles de QoE reducidos.

La Figura 11 ilustra, por lo tanto, un punto interesante relacionado con las mediciones muestreadas de ancho de banda tomadas en la etapa 102 de la Figura 2A, es decir, que hay tanto tráfico de entrada como de salida que a menudo debe tenerse en cuenta. Por ejemplo, para

el tráfico de datos descendente de alta velocidad que se propaga a través de los elementos de red de la Figura 1, el tráfico de entrada para el CMTS 18 llega desde el enrutador 16, y el tráfico de salida para el CMTS 18 sale del CMTS que se dirige hacia el combinador 19 por vía descendente del CMTS 18. Por lo tanto, hay muchas ubicaciones en las que se pueden tomar muestras de ancho de banda. Idealmente, estas muestras de ancho de banda se toman en el lado de entrada del elemento de red donde las colas y las caídas pueden desempeñar un papel importante en la limitación del ancho de banda en un “punto de choque”. Para los sistemas DOCSIS, es probable que la cola y la caída de paquetes se produzcan dentro de la lógica de Administración y Programación de Tráfico del CMTS. Es probable que el “punto de choque” esté en el propio CMTS, porque es donde la capacidad de ancho de banda disponible de los enlaces de entrada (en la parte superior del CMTS en la Figura 1) se reduce inmensamente antes de que el tráfico se transmita en los enlaces de salida. El ancho de banda de entrada a menudo será mayor que el ancho de banda de salida debido a los retrasos de paquetes y caídas de paquetes que pueden producirse dentro del CMTS. Por este motivo, es posible que el ancho de banda de entrada en el CMTS supere la Capacidad de Ancho de Banda Disponible asociada con el puerto de salida en el CMTS. El ancho de banda potencialmente mayor en el puerto de entrada a veces se denomina “Carga Ofrecida”, y el ancho de banda potencialmente menor en el puerto de salida a veces se denomina “Carga Entregada”. A menudo es cierto que la Carga Entregada es menor que la Carga Ofrecida. La diferencia entre los dos valores en cualquier momento representa flujos de paquetes que se han retrasado o caído para reducir los niveles de Carga Entregada. Estos conceptos se ilustran en la Figura 13.

Los ejemplos extremos ilustrados en las Figuras 11 y 12 no son la norma. En el mundo real, pueden producirse fluctuaciones de tráfico, por lo que la Carga Ofrecida a veces es menor que la capacidad de ancho de banda disponible, lo que produce una buena QoE, pero a veces mayor

que la capacidad de ancho de banda disponible, lo que produce una Calidad de Experiencia potencialmente mala o potencialmente buena. Esto se ilustra en la Figura 14.

Dentro de esta memoria descriptiva, los periodos de tiempo en los que la Carga Ofrecida es inferior a la Capacidad de Ancho de Banda Disponible se describirán como periodos de tiempo “verdes”, donde el verde implica una buena QoE: todos los paquetes fluyen rápidamente a través del CMTS sin grandes retrasos o caídas de paquetes. Dentro de esta memoria descriptiva, los períodos de tiempo en los que la Carga Ofrecida es mayor que la Capacidad de Ancho de Banda Disponible se describirán como períodos de tiempo “Amarillos”, donde el amarillo implica una QoE posiblemente mala o una QoE posiblemente buena; algunos de los paquetes fluyen a través del CMTS con grandes retrasos y/o caídas de paquetes durante un período de tiempo “Amarillo”, pero no está claro si ese evento “Amarillo” está provocando reducciones en la Calidad de Experiencia. Si los resultados son QoE bajas, estos dependen de la naturaleza de las aplicaciones que son destinatarias de los niveles de ancho de banda reducidos. Por ejemplo, los flujos de video ABR IP (como los entregados por Netflix) son más bien resistentes a los retrasos periódicos de paquetes y a las tasas de transferencia efectiva de paquetes porque (a) hay búferes de fluctuación relativamente grandes integrados en el software del cliente que permiten que los flujos de paquetes entrantes tengan reducciones periódicas o pérdidas de paquetes, y las retransmisiones de TCP pueden rellenar fácilmente esas lagunas; y (b) la naturaleza adaptativa del video ABR IP puede permitir que los anchos de banda de flujo se reduzcan (utilizando resoluciones más bajas) si/cuando se experimentan retrasos de paquetes o caídas de paquetes. Sin embargo, otras aplicaciones (como las Pruebas de Velocidad) pueden ser muy sensibles a los retrasos de paquetes y a las caídas de paquetes que puedan producirse. Por lo tanto, un evento “Verde” casi siempre implica una buena Calidad de Experiencia, pero un evento “Amarillo” es menos claro: podría implicar una mala Calidad de Experiencia para algunos suscriptores y una

buena Calidad de Experiencia para otros suscriptores. Pero a un alto nivel, un evento “Amarillo” representa la posibilidad de tener una menor Calidad de Experiencia.

Por lo tanto, declaramos que podemos obtener alguna medida de la Calidad de Experiencia entre los suscriptores si supervisamos la fracción de tiempo que los suscriptores dentro del “Grupo de Servicio” están experimentando eventos “Verdes” (Prob(“Verde”)) y la fracción de tiempo que los suscriptores dentro del “Grupo de Servicio” están experimentando eventos “Amarillos” (Prob(“Amarillo”)). Debe tenerse en cuenta que, si las observaciones se toman durante bastante tiempo, entonces la fracción de tiempo que los suscriptores dentro del “Grupo de Servicio” experimentan eventos “Verdes” = probabilidad de experimentar un evento “Verde” = Prob(“Verde”) y la fracción de tiempo que los suscriptores dentro del “Grupo de Servicio” experimentan eventos “Amarillos” = probabilidad de experimentar un evento “Amarillo” = Prob(“Amarillo”). También debe tenerse en cuenta que Prob(“Verde”) + Prob(“Amarillo”) = 1,0. Una fracción más alta de eventos “Amarillos” (es decir, un valor más alto de Prob(“Amarillo”)), y, a la inversa, una fracción más baja de eventos “Verdes” (es decir, un valor más bajo de Prob(“Verde”)) es un indicador de que el nivel de Calidad de Experiencia de los suscriptores puede ser menor. Una fracción más baja de eventos “Amarillos” (es decir, un valor más bajo de Prob(“Amarillo”)), y, a la inversa, una fracción más alta de eventos “Verdes” (es decir, un valor más alto de Prob(“Verde”)) es un indicador de que el nivel de Calidad de Experiencia de los suscriptores puede ser probablemente menor. Por lo tanto, aunque estas métricas (Prob(“Amarillo”) y Prob(“Verde”)) no son perfectas, ambas métricas medibles son indicadores útiles de la Calidad de Experiencia.

Otro resultado útil del uso de estas dos métricas (Prob(“Amarillo”) y Prob(“Verde”)) es que también se pueden obtener fácilmente de la Función de Densidad de Probabilidad del Ancho de Banda

Agregada Final combinada con el valor de Capacidad de Ancho de Banda Disponible. Esto significa que el trabajo en el dominio de tiempo no es necesario para calcular las dos métricas, y, dado que las técnicas definidas en los pasos anteriores permiten el cálculo de las Funciones de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda Agregada Final y los valores de Capacidad de Ancho de Banda Disponible para “Grupos de servicio” para futuros tiempos, el uso de las funciones de densidad de probabilidad y de los valores de Capacidad de Ancho de Banda Disponible para calcular la Prob(“Amarillo”) y Prob(“Verde”) proporcionará más valor y más capacidad para adaptarse al futuro que trabajar con muestras de dominio de tiempo.

Una modalidad ilustrativa que calcula las dos métricas (Prob(“Amarillo”) y Prob(“Verde”)) a partir de una Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda Agregada Final conocida y un valor de Capacidad de Ancho de Banda Disponible conocido para un “Grupo de Servicio” procede de la siguiente manera. El reconocimiento de que el área bajo una parte de la Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda Agregada Final va desde el Ancho de Banda #1 al Ancho de Banda #2 genera la probabilidad de que el “Grupo de Servicio” vea el ancho de banda dentro del rango desde el Ancho de Banda #1 al Ancho de Banda #2. Por lo tanto, si el Ancho de Banda #1 se define como el valor de Capacidad de Ancho de Banda Disponible y si el Ancho de banda #2 se define como el infinito, entonces la Prob(“Amarillo”) es igual al área bajo la Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda Agregada Final entre el valor de Capacidad de Ancho de Banda Disponible y el infinito. En esencia, esta es la probabilidad de que el nivel de ancho de banda del “Grupo de Servicio” supere el valor de Capacidad de Ancho de Banda Disponible.

De una manera similar, si el Ancho de Banda #1 se define como cero y si el Ancho de banda #2 se define como el valor de Capacidad de Ancho de Banda Disponible, entonces la Prob(“Verde”)

= al área bajo la Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda Agregada Final entre cero y el valor de Capacidad de Ancho de Banda Disponible. En esencia, esta es la probabilidad de que el nivel de ancho de banda del “Grupo de Servicio” sea menor que el valor de Capacidad de Ancho de Banda Disponible. Estos conceptos se ilustran en la Figura 15. Dado que la Capacidad de Ancho de Banda Disponible (definida por la línea roja discontinua) se mueve a niveles de ancho de banda más altos o más bajos (a la derecha e izquierda de la figura), el área asociada con la Prob(“Verde”) se hace más grande y más pequeña, respectivamente. Esta modificación del valor de la capacidad de Ancho de Banda Disponible básicamente cambia el nivel de Calidad de Experiencia.

Por lo tanto, los métodos numéricos simples y bien conocidos para calcular áreas bajo las curvas pueden usarse para determinar tanto Prob(“Verde”) como Prob(“Amarillo”) una vez que se conocen la Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda Agregada Final y la Capacidad de Ancho de Banda Disponible. El valor de la Prob(“Verde”) es una métrica que se puede utilizar como indicador del peor caso posible de Buena Calidad de Experiencia: describe esencialmente el peor caso (el más pequeño) de fracción de tiempo para esperar que los suscriptores dentro del “Grupo de Servicio” experimenten una Buena Calidad de Experiencia. De manera similar, el valor de la Prob(“Amarillo”) es una métrica que se puede utilizar como indicador del peor caso posible de Buena Calidad de Experiencia en que describe esencialmente el peor caso (el más grande) de fracción de tiempo para esperar que los suscriptores dentro del “Grupo de Servicio” experimenten una Mala Calidad de Experiencia. Debe tenerse en cuenta que la fracción real de tiempo que los suscriptores experimentarán realmente una Mala Calidad de Experiencia probablemente será menor que este número de peores casos. Como resultado, esta métrica de Prob(“Amarillo”) realmente da un límite superior en la cantidad de tiempo que los suscriptores experimentarán una Mala Calidad de Experiencia.

Debe estar claro que el uso de una Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda para describir las ráfagas de ancho de banda de la Figura 14 pierde una parte importante de la información que se encuentra en la Figura 14. Esta información describe la ubicación temporal de las ráfagas de ancho de banda. En el mundo real, está claro que hay cierta dependencia entre la ubicación temporal de una ráfaga de ancho de banda (para una ventana de 1 segundo) y la ubicación temporal de otras ráfagas de ancho de banda (para ventanas de 1 segundo). Una vez que comienza una ráfaga, existe una mayor probabilidad de que continúe existiendo en los próximos segundos. Sin embargo, este efecto es cada vez menos importante cuando los sistemas tienen un valor de Prob("Amarillo") relativamente bajo. La probabilidad de alguna ráfaga pase a "Amarillo" es baja, por lo que la probabilidad de tener intervalos "Amarillos" consecutivos también es una probabilidad baja. Dado que se espera que los diseños que utilizan los sistemas y métodos revelados normalmente exijan que Prob("Amarillo") sea bajo, el hecho de que las relaciones temporales entre ráfagas se pierdan en las Funciones de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda puede ignorarse.

Calcular una QoE utilizando el Tiempo Promedio Entre Eventos donde el Ancho de Banda Real Supera el Ancho de Banda Disponible como métrica

Los cálculos descritos en la divulgación anterior correspondiente al paso 122 proporcionan una métrica de QoE razonablemente buena utilizando los valores de Prob("Verde") y Prob("Amarillo") divulgados. Los valores de Prob("Verde") altos y los valores de Prob("Amarillo") correspondientemente bajos corresponden a una Alta Calidad de Experiencias. Sin embargo, se pueden utilizar otras métricas, además, o como alternativa a, las métricas reveladas con respecto al paso 122 para proporcionar más o diferente información sobre que tan bien o mal funcionará

un diseño de “Grupo de Servicio” particular. Una vez que se calcula la métrica Prob(“Amarillo”), este valor también indicará la fracción de tiempo que el “Grupo de Servicio” experimentará un evento “Amarillo” (con una Carga Ofrecida mayor que la Capacidad de Ancho de Banda Disponible). Dado que las muestras de ancho de banda para el “Grupo de Servicio” se toman en intervalos conocidos, por ejemplo, cada segundo, esta métrica de Prob(“Amarillo”) también indica la fracción de muestras de ancho de banda que esperamos que muestren mediciones de ancho de banda mayores que la Capacidad de Ancho de Banda Disponible para el “Grupo de Servicio”.

Por lo tanto, los eventos “Amarillos” se dispersan realmente en el tiempo en todas las muestras de dominio de tiempo de 1 segundo para el “Grupo de Servicio”. En algunas modalidades, se puede suponer que los eventos “Amarillos” no están correlacionados y pueden ocurrir aleatoriamente a lo largo del tiempo, por lo tanto, se puede calcular el tiempo promedio entre los eventos sucesivos “Amarillos” (es decir, el tiempo promedio entre muestras de 1 segundo con ancho de banda mayor que la Capacidad de Ancho de Banda Disponible) y en el paso 124 se puede especificar una QoE usando la métrica del tiempo promedio entre eventos donde el ancho de banda real excede el ancho de banda disponible. La fórmula sencilla que nos da esta nueva métrica es:

Tiempo Promedio Entre Eventos “Amarillos” = Período de Muestreo / [Prob(“Amarillo")]

En muchos de los ejemplos anteriores, se utilizó un período de muestreo de 1 segundo. En tal caso, la fórmula anterior se convierte en:

Tiempo Promedio entre Eventos “Amarillos” = 1 segundo / [Prob(“Amarillo”).

La siguiente tabla indica cómo varias mediciones para Prob(“Amarillo”) (y Prob(“Verde”) se convertirán en valores de Tiempo Promedio Entre valores de Evento “Amarillo” Sucesivos:

Prob Amarillo	Prob Verde	Tiempo Promedio Entre “Amarillo”
0.02	0.98	50 segundos
0.01	0.99	1 min. 40 segundos
0.005	0.995	3 min. 20 segundos
0.001	0.999	16 min. 40 segundos
0.0005	0.9995	22 min. 20 segundos
0.0001	0.9999	2 horas 46 min.
0.00005	0.99995	5 horas 33 min.

En esta tabla, se puede observar que las reducciones en los valores de Prob(“Amarillo”) conducen a menores probabilidades de tener un evento “Amarillo”, y esto, a su vez, conduce a períodos de tiempo promedio mucho más largos entre eventos “Amarillos” sucesivos. Si la Capacidad de Ancho de Banda Disponible del “Grupo de Servicio” aumenta a un nivel para que la Prob(“Amarillo”) baje a 0,0001 (y la Prob(“Verde”) = 0.9999), entonces la duración promedio entre eventos “Amarillos” sucesivos es de 2 horas y 46 minutos. Esto es aproximadamente igual a la duración total del “Período Ocupado” que normalmente ocurre de las 20:00 a las 23:00 todas las noches. Como resultado, implica que normalmente solo se producirá un único evento “Amarillo” de 1 segundo en una noche dada. Esto puede considerarse aceptable para la mayoría de los Operadores. Si se desean probabilidades aún más bajas de eventos “Amarillos”, entonces la duración media del tiempo entre eventos “Amarillos” sucesivos será aún más larga, y muchas noches pasarán sin que ocurra un único evento “Amarillo”.

Los presentes inventores creen que los Operadores sensibles a los costes pueden desear ejecutar sus “Grupos de Servicio” con un valor Prob(“Amarillo”)= 0.02 y un valor correspondiente

(Prob(“Verde”)= 0.98. Con esta condición de red, se producirá un evento “Amarillo” aproximadamente una vez cada 50 segundos. Pero dado que la mayoría de los eventos “Amarillos” no son catastróficos y dado que los eventos sucesivos “Amarillos” probablemente afectarán a diferentes suscriptores con cada evento sucesivo, la mayoría de los suscriptores probablemente no notarán las repercusiones de un evento “Amarillo” que ocurre cada 50 segundos. El uso de este diseño permite al Operador ejecutar el “Grupo de Servicio” con Capacidades de Ancho de Banda Disponible mucho más bajas, lo que les permite ahorrar dólares de inversión en equipos necesarios para proporcionar esa Capacidad de Ancho de Banda Disponible. Sin embargo, los expertos en la técnica reconocerán que diferentes modalidades que usan esta métrica descrita pueden dirigirse a diferentes valores de Prob(“Amarillo”).

Las pruebas de velocidad pueden ser una de las aplicaciones más exigentes y son muy sensibles a la congestión de la red. También es una herramienta muy importante que los operadores y los clientes utilizan para medir el rendimiento de SLA. Por lo tanto, se puede examinar el impacto de QoE de una prueba de velocidad común como OOKLA cuando se utiliza el valor Prob(“Amarillo”)=0.02. Esta prueba se ejecutará normalmente en 25 segundos o menos, por lo que, en promedio, puede haber un único evento “Amarillo” una vez cada dos pruebas de velocidad. Esto significa que la prueba de velocidad sin el evento “Amarillo” se ejecutará a su velocidad máxima de Tmáx. La otra prueba de velocidad con un evento “Amarillo” se ejecutará a velocidad máxima durante 24 de los 25 intervalos, pero a una velocidad reducida para el intervalo “Amarillo”. Aunque asumamos que la capacidad es insignificante durante el evento “Amarillo”, la prueba de velocidad sigue alcanzando el 96 % de su capacidad Tmáx. Si el parámetro de Tmáx DOCSIS se aprovisiona con al menos un 4% adicional de sobrecarga, entonces el consumidor puede aún alcanzar su valor de SLA contractual a pesar de un único evento “Amarillo”. Con al menos un 8% de sobrecarga adicional de Tmáx, el consumidor puede seguir alcanzando su valor

de SLA contractual con dos eventos “Amarillos”. Para este ejemplo, la probabilidad de dos eventos “Amarillos” dentro de una única prueba de velocidad es muy pequeña.

Los expertos en la técnica apreciarán que algunas modalidades del sistema descrito solo pueden usar la métrica descrita en la etapa 122, mientras que otros solo pueden usar la métrica descrita en la etapa 124. Por ejemplo, como se señaló anteriormente, la métrica descrita en el paso 124 (el tiempo promedio entre los eventos “Amarillos”) se calcula sobre la suposición de que los eventos amarillos no están correlacionados, y aunque esta métrica puede seguir siendo útil en circunstancias en las que los eventos amarillos no están correlacionados, lo que justifica el uso de la métrica en todas las circunstancias, algunas otras modalidades pueden determinar si dicha correlación existe, y si existe, solo utilizan la métrica descrita en el paso 122. Aunque otras modalidades pueden usar ambas métricas mientras que otras modalidades pueden usar otras métricas no descritas específicamente en la presente descripción, por lo tanto, cada una de las etapas 122 y 124 son estrictamente opcionales, aunque en modalidades preferidas es ciertamente beneficioso establecer alguna métrica para cuantificar la QoE.

Los expertos en la técnica también apreciarán que las etapas descritas previamente no necesariamente tienen que realizarse en el orden exacto descrito. Por ejemplo, algunas modalidades pueden especificar el ancho de banda disponible antes de tomar muestras del uso del ancho de banda por suscriptor, o antes de crear funciones de distribución de probabilidad, etc.

Todos los pasos anteriores se pueden realizar en tiempo real (como si la red estuviera funcionando) o se pueden realizar tomando muestras de los datos, archivando los datos y, a

continuación, realizando todos estos cálculos fuera de línea y guardando los resultados para que los resultados se puedan utilizar en el campo en un momento posterior.

El enfoque de muestreo/archivo requiere herramientas de monitorización de la red, cantidades significativas de almacenamiento y posprocesamiento significativo, lo que puede restringir el número de sitios y Grupos de Servicio que pueden ser supervisados. Por el contrario, el diseño de una caja CMTS/CCAP con puertos u otras conexiones que permitan la supervisión/almacenamiento remoto de los datos que fluyen a través del CMTS/CCAP puede permitir analizar cantidades masivas de datos en tiempo real y comprimirlos en un formato más manejable. Aunque es posible que el intento de crear un pdf de ancho de banda por módem no sea realista, el CMTS puede ser capaz de crear compartimientos de Histograma de Frecuencia para cada uno de los grupos de Tipo de Suscriptor, así como sus propios Grupos de Servicio DOCSIS y su Grupo de Servicio de puerto NSI. Esto permitirá crear fácilmente un pdf de ancho de banda para cada uno en tiempo real. Con muchos CMTS que recopilan estas mismas estadísticas, se puede crear un muestreo mucho mayor de módems.

Mediante estas técnicas, el sistema puede ser capaz de calcular de forma eficaz Prob(“Amarillo”) en tiempo real para cada uno de sus Grupos de Servicio DOCSIS. Esto permite potencialmente la Monitorización de QoE en tiempo real para todos y cada uno de los Grupos de Servicio, lo que proporciona un enorme impulso a las operaciones de red que intentan determinar cuándo se agota la Capacidad de Ancho de Banda Disponible de cada Grupo de Servicio.

Determinar si las métricas de QoE son aceptables

Las técnicas descritas en los pasos 102-124 permiten al Operario calcular varias Métricas de Calidad de Experiencia, incluida la Prob(“Amarillo”), la Prob(“Verde”) y el Tiempo Promedio Entre Eventos “Amarillos” Sucesivos.

En el paso opcional 126, el Operador puede determinar si las métricas de Calidad de Experiencia de salida resultantes son aceptables o no. Los operadores pueden utilizar la experiencia con las notificaciones de problemas de los clientes y correlacionar el número de notificaciones de problemas de los clientes con estas métricas para determinar si las métricas de salida son una medida suficiente de la QoE. También pueden utilizar los resultados de las ejecuciones de simulación (imitación de las operaciones de los suscriptores y determinación de cuándo las métricas producen niveles de rendimiento de suscriptor aceptables). De cualquier manera, esto permite al Operador definir finalmente Valores Umbral para Niveles Operativos Aceptables para cada una de las métricas de Calidad de Experiencia.

Otra técnica que puede crear una correlación más formal entre los valores de la Prob(“Verde”) y la Calidad de Experiencia es crear un modelo de simulación del CMTS (u otro elemento de la red), a partir del cual se puede determinar la naturaleza de los retrasos en el flujo de paquetes asociados y las caídas de paquetes para un sistema en particular, y, a continuación, se puede determinar el Nivel de Calidad de Experiencia aproximado (como la Puntuación de la Monitorización de Rendimiento de OOKLA u otra Puntuación de la Monitorización de Rendimiento) de los flujos de paquetes dentro de una “Área” (como un Grupo de Servicio) insertando esos retrasos simulados de paquetes y caídas de paquetes en una ejecución real de OOKLA. En algunas modalidades, esto puede lograrse en un entorno de laboratorio, que puede lograrse como se muestra a continuación:

i. identificar las estadísticas de retraso de ráfagas de retraso prolongado asociadas con un valor de Prob(“Verde”) en particular. Esto se puede lograr ejecutando flujos de paquetes de suscriptor recopilados reales a través del modelo de simulación CMTS. El modelo preferiblemente almacena en búferes los paquetes y potencialmente los hace caer cuando se producen ráfagas de ancho de banda. El resultado de esta ejecución de simulación producirá características de retraso y caída que corresponden a la solución de “Grupo de Servicio” concreta;

ii. cuando se produce una ráfaga de ancho de banda de entrada de varios suscriptores transmisores, debe haber ráfagas de retraso claras que se produzcan dentro del modelo de simulación. Estas ráfagas de retraso se etiquetan preferentemente con una variable i, donde i varía de 1 al número de ráfagas de retraso en la ejecución de simulación. Para una ráfaga de retraso particular con la etiqueta i, esa ráfaga de retraso particular puede caracterizarse aproximadamente mirando el peor retraso posible Max_Xi experimentado por cualquier paquete dentro de esa ráfaga de retraso i-th (Max_Xi). También se puede caracterizar aproximadamente por toda la duración Yi (en tiempo) de la ráfaga de retraso. Recopile una lista de tuplas (Max_Xi, Yi) para las diferentes ráfagas de retraso que se ven en la simulación, donde Max_Xi indica el retraso máximo y Yi indica la longitud de ráfaga asociada con el retraso de ráfaga i;

iii. a partir de la lista compilada en el paso (ii), identifique el valor Max_Xi más grande y el valor Yi más grande, y coloque estos dos valores más grandes juntos en una tupla para crear (Max_Max_Xi, Max_Yi). Esta tupla anómala representa el peor de los escenarios de retrasos de paquetes y duraciones de ráfaga de paquetes (para el “Grupo de Servicio” particular de interés) en los pasos siguientes. Por lo tanto, una ráfaga de retraso convencional que retrasa los paquetes ALL por Max_Max_Xi dentro de un intervalo de tiempo dado por Max_Yi se inyectará en flujos de paquetes reales que van a una Prueba de OOKLA;

iv. seleccione un valor Z que represente la fracción del recorrido a través de las Pruebas de Monitorización de Rendimiento de OOKLA cuando la ráfaga de retraso largo se inyecta en el flujo de paquetes asociados con la Prueba de OOKLA;

v. ejecute una Prueba de Monitorización de Rendimiento de OOKLA real utilizando un cliente de OOKLA real y un servidor de OOKLA real.

vi. calcule el número medio N de ráfagas de retraso convencionales que se producirían (en promedio) durante la duración de la prueba de OOKLA. Si, por ejemplo, la prueba de OOKLA se ejecuta durante Test_Time=40 segundos y se descubrieron ráfagas (en promedio) cada T=19 segundos, entonces N = ceiling(Test_Time/T) = ceiling(40/19) = 2 ráfagas convencionales de retraso Max_Max_Xi y durante un periodo de tiempo Max_Yi pueden insertarse en la ruta de los paquetes dentro de la prueba de OOKLA;

vii. inserte un número N apropiado de ráfagas de retraso convencionales en el paquete de OOKLA mientras se ejecuta la Monitorización de Rendimiento de OOKLA, donde los paquetes reciben un retraso Max_Max_Xi durante un período de tiempo dado por Max_Yi. Este retraso se añade simplemente a sus retrasos normales debido a la ruta de propagación. La última ventana de ráfaga de retraso convencional Max_Yi debe insertarse en un punto que sea una fracción Z del camino hasta la finalización de la prueba OOKLA; y

viii. mida la puntuación de la Prueba de Monitorización del Rendimiento (S) de OOKLA para la ejecución asociada con cada ejecución con una tupla de valores dada por (Max_Max_Xi,Max_Yi,Z,N) y repita las ejecuciones para obtener un muestreo estadístico de las puntuaciones S, utilizando la puntuación S del peor caso para especificar la puntuación OOKLA del peor caso para este “Grupo de Servicio” y utilizando (Max_Max_Xi, Max_Yi, Z, N) para definir la naturaleza de las ráfagas de retraso que atacan los flujos de paquetes de OOKLA. A continuación, cree un mapeo a partir de los valores de “Grupo de Servicio” y (Max_Max_Xi, Max_Yi, Z, N) para Prob(“Verde”) y para la puntuación S del peor caso de OOKLA.

Se puede crear una tabla de puntuaciones de la Prueba de Supervisión del Rendimiento (S) de OOKLA para muchos tipos de sistemas de “Grupo de Servicio” diferentes. El objetivo es crear una tabla que asocie la Puntuación de Monitorización de Rendimiento de OOKLA del peor caso (S) con los valores Prob(“Verde”) y con los valores de ráfaga de retraso asociados dentro de la tupla (Max_Max_Xi,Max_Yi,Z,N) para cada tipo de sistema de “Grupo de servicio” en una lista de tipos de “Grupo de Servicio”. Esto se puede lograr como se describe a continuación:

1. repita los pasos i-viii anteriores para un mayor número de configuraciones de “Grupo de Servicio”, en algunas modalidades incluso para “Grupos de Servicio” hipotéticos que aún no existen hoy;

2. identifique un tipo de “Grupo de Servicio” particular de una lista de “Grupos de Servicio” que contenga varias disposiciones de suscriptores de Nsub, donde cada suscriptor tiene una tupla definida específicamente (Tmáx, Tavg, Relación Activa de la Aplicación). Esta definición de “Grupo de Servicio” también debe especificar la Capacidad de Ancho de Banda Disponible dentro del “Grupo de Servicio”;

3. cree modelos para las Funciones de Densidad de Probabilidad del Suscriptor para cada suscriptor dentro del “Grupo de Servicio” concreto utilizando los modelos de regresión que salen del paso 108 en la Figura 2A. Utilice los métodos de convolución descritos anteriormente para determinar el valor de la Prob(“Verde”) asociado a cada “Grupo de Servicio” y la Capacidad de Ancho de Banda Disponible dentro del “Grupo de Servicio”;

4. dado que se trata de un “Grupo de Servicio” hipotético, es posible que no se recopilen datos reales del grupo de servicio, por lo que, en algunos casos, puede ser necesario generar tráfico en un entorno de simulación CMTS para cada suscriptor generando ráfagas a partir de sus modelos de Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda por Suscriptor. En esencia, esto crea una Función de Distribución Acumulativa a partir de cada modelo de Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda por Suscriptor. Para determinar el nivel

de ancho de banda particular generado por un suscriptor particular durante una ventana de 1 segundo, se puede utilizar un generador de números aleatorios uniforme para acceder a una variable J aleatoria en el eje y de la Función de Distribución Acumulativa, y luego se puede hacer un mapa desde J a través de la curva de la Función de Distribución Acumulativa, y luego hacia abajo hasta el eje x para seleccionar un valor de ancho de banda de 1 segundo para este suscriptor particular para transmitir. Los mapeos repetidos de esta naturaleza pueden crear una curva de ancho de banda representativa para este suscriptor en particular. Este proceso se puede realizar para todos los suscriptores dentro del “Grupo de servicio”. Debe tenerse en cuenta que cualquier acumulación localizada de ancho de banda que pueda ocurrir en el mundo real probablemente no se capture en este proceso. Si se desea añadir este efecto, entonces múltiples ráfagas de 1 segundo pueden moverse artificialmente juntas, pero determinar cómo hacerlo puede ser difícil;

5. las ráfagas de ancho de banda de todos los suscriptores luego se pueden agregar para crear un flujo de ancho de banda agregado a través del entorno de simulación CMTS. El simulador de CMTS puede entonces realizar la Administración de Tráfico en el ancho de banda y pasar el ancho de banda de forma similar a como se pasaría en un CMTS del mundo real. El entorno de simulación puede realizar un seguimiento de las ráfagas de retraso por suscriptor y de las caídas de paquetes. Habrá ráfagas de retraso claras dentro del modelo de simulación que se producen cada vez que se produce una ráfaga de ancho de banda de entrada. Estas ráfagas de retraso se etiquetan con una variable i, donde i varía de 1 al número de ráfagas de retraso. Para una ráfaga de retraso particular con la etiqueta i, esa ráfaga de retraso particular puede caracterizarse aproximadamente mirando el peor retraso posible Max_Xi experimentado por cualquier paquete dentro de esa ráfaga de retraso i-th (Max_Xi). También se puede caracterizar aproximadamente por toda la duración Yi (en tiempo) de la ráfaga de retraso. Por lo tanto, se puede crear una lista de tuplas (Max_Xi, Yi) para las diferentes ráfagas de retraso que se ven en

la simulación, donde Max_Xi indica el retraso máximo y Yi indica la longitud de ráfaga asociada con el retraso de ráfaga i. Repita esto para todos los suscriptores;

6. busque en la lista de todos los suscriptores e identifique el mayor valor de Max_Xi y el mayor valor de Yi. Agrupe estos dos valores más grandes en una tupla para crear (Max_Max_Xi, Max_Yi). Esta tupla anómala representa el peor de los escenarios de retrasos de paquetes y duraciones de ráfaga de paquetes en los pasos siguientes. Por lo tanto, una ráfaga de retraso convencional que retrasa los paquetes ALL por Max_Max_Xi dentro de un intervalo de tiempo dado por Max_Yi se inyectará en flujos de paquetes reales que van a una Prueba de OOKLA;

7. seleccione un valor Z que represente la fracción del recorrido a través de las Pruebas de Monitorización de Rendimiento de OOKLA cuando la ráfaga de retraso largo se inyecta en el flujo de paquetes asociados con la Prueba de OOKLA;

8. ejecute una Prueba de Monitorización de Rendimiento de OOKLA;

9. calcule el número medio N de ráfagas de retraso convencionales que se producirían (en promedio) durante la duración de la prueba de OOKLA. Si, por ejemplo, la prueba de OOKLA se ejecuta durante Test_Time=40 segundos y se descubrieron ráfagas (en promedio) cada T=19 segundos, entonces inserte N = ceiling(Test_Time/T) = ceiling(40/19) = 2 ráfagas convencionales de retraso Max_Max_Xi y para una duración de Max_Yi en la ruta de los paquetes dentro de la prueba de OOKLA;

10. inserte un número N apropiado de ráfagas de retraso convencionales en el paquete de OOKLA mientras se ejecuta el Monitor de Rendimiento OOKLA, donde los paquetes reciben un retraso Max_Max_Xi durante un período de tiempo dado por Max_Yi. Este retraso se añade a sus retrasos normales debido a la ruta de propagación. La última ventana de ráfaga de retraso convencional Max_Yi debe insertarse en un punto que sea una fracción Z del camino hasta la finalización de la prueba OOKLA;

11. mida la puntuación de la Prueba de Monitorización de Rendimiento de OOKLA (S) para la ejecución asociada con cada ejecución con una tupla de valores dada por (Max_Max_Xi,Max_Yi,Z,N). Repita las ejecuciones para obtener un muestreo estadístico de las puntuaciones S; y

12. repita los pasos 1-11 para muchos “Grupos de Servicio” diferentes. Esto creará la tabla deseada que muestra el tipo de “Grupo de Servicio”, Prob(“Verde”), (Max_Max_Xi,Max_Yi,Z,N) y la peor puntuación de rendimiento de OOKLA (S).

Alterar dinámicamente el diseño de “Grupo de Servicio” en respuesta a métricas de QoE inaceptables

En los pasos 122 y 124, se definieron valores umbral para niveles operativos aceptables para cada uno de las métricas de QoE (Prob(“Amarillo”), la Prob(“Verde”) y el tiempo promedio entre eventos “Amarillos” sucesivos. Si los valores actuales de la métrica de QoE o las predicciones basadas en futuros para los valores de la métrica de QoE (calculados en los pasos 122 y 124) no producen resultados aceptables (es decir, no se encuentran en el lado deseado de los Valores Umbrales), entonces se deben tomar medidas para “arreglar” el “Grupo de Servicio”. El sistema puede iniciar automáticamente muchas de estas acciones una vez activadas por la comparación no deseada entre la métrica de QoE real y los valores umbral. Como se indicó anteriormente, en algunas modalidades, los proveedores de servicios pueden desear definir diferentes umbrales para la QoE aceptable para diferentes grupos de servicios, o incluso diferentes umbrales para la QoE aceptable para diferentes niveles de servicio de suscriptor dentro de un grupo de servicio.

Las acciones típicas que se pueden realizar en un entorno de cable DOCSIS incluyen:

i. enviar un mensaje para iniciar una división de nodo (la acción que divide a los suscriptores en un “Grupo de Servicio” en dos “Grupos de Servicio” más pequeños de manera que sus “Grupos de Servicio” recién definidos tengan valores de Nsub más bajos y niveles de ancho de banda más bajos y una mejor QoE;

ii. enviar un mensaje para mover a los suscriptores de ancho de banda alto fuera del entorno del Grupo de Servicio de Cable DOCSIS y hacia otro entorno de Grupo de Servicio (p. ej., PON) para que los demás suscriptores restantes en el entorno de cable DOCSIS SG experimenten niveles de ancho de banda más bajos y una mejor QoE;

iii. encender más canales DOCSIS 3.0 o 3.1 para que los niveles de Capacidad de Ancho de Banda Disponible aumenten y los suscriptores experimenten una mejor QoE;

iv. apagar los canales DOCSIS 3.0 y sustituir los canales DOCSIS 3.0 por nuevos canales DOCSIS 3.1 para que los niveles de capacidad de ancho de banda disponibles aumenten y los suscriptores experimenten una mejor QoE;

v. reducir el número de canales de video (p. ej., potenciar el Video Digital Conmutado (SDV), convertir MPEG-2 a MPEG-4 y/o reducir el número de programas) y sustituir los canales de video por nuevos canales DOCSIS 3.1 para que los niveles de capacidad de ancho de banda disponibles aumenten y los suscriptores experimenten una mejor QoE;

vi. aumentar el espectro del sistema activando más espectro para que los niveles de capacidad de ancho de banda disponibles aumenten y los suscriptores experimenten una mejor QoE; y

vii. actualizar la planta HFC a una Arquitectura de Acceso Distribuido como PHY Remoto o MACPHY Remoto que potencialmente aumentará los pedidos de modulación utilizados por los canales DOCSIS 3.1, aumentando así el ancho de banda disponible.

Los expertos en la técnica apreciarán que este listado no es exhaustivo, y pueden tomarse otras medidas para modificar un Grupo de Servicio para obtener niveles operativos aceptables.

Solución (2) en la dirección descendente

Como se mencionó anteriormente, una modalidad de los sistemas y métodos descritos incluye calcular la capacidad de ancho de banda requerida dado un tamaño de Grupo de Servicio (Nsub), un conjunto particular de características para una mezcla de suscriptores dada, y un nivel de QoE requerido. Este método puede lograrse realizando primero las etapas 102-118 mostradas en las Figuras 2A y 2B.

Con referencia a la Figura 16, después de la etapa 118, el nivel de Calidad de Experiencia requerido se especifica en la etapa 202. Esta entrada se puede dar en términos del valor de la Prob (“Amarillo”) deseado, el valor de la Prob(“Verde”) deseado o el valor de “Tiempo Promedio Entre Eventos “Amarillos” Sucesivos” deseado. Los expertos en la técnica se darán cuenta de que, si se especifica cualquiera de estos tres valores, los otros dos pueden calcularse. Por lo tanto, independientemente del valor que se introduzca, se puede determinar el valor de Prob(“Verde”) deseado.

En la etapa 204, los métodos numéricos pueden usarse preferentemente para calcular sucesivamente el área debajo de la Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda Agregada Final, comenzando con el ancho de banda cero y avanzando de manera sucesiva a través de los anchos de banda hasta que el área calculada debajo de la Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda Agregada Final de ancho de banda cero a un valor X de ancho de banda sea igual o ligeramente mayor que el valor Prob(“Verde”) deseado. Debe tenerse en cuenta que este procedimiento calcula la Función de Distribución Acumulada asociada con la Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda Agregada Final. El valor X es el valor

de interés, que es la “Capacidad de Ancho de Banda requerida” necesaria dentro del Grupo de Servicio.

Por último, en el paso 206 las acciones se seleccionan automáticamente para configurar la capacidad de ancho de banda requerida dentro del “Grupo de Servicio”. El sistema puede iniciar automáticamente muchas de estas acciones una vez activadas por los cálculos anteriores. Estas acciones potenciales en un entorno de cable DOCSIS incluyen:

1) encender más canales DOCSIS 3.0 o 3.1 para que los niveles de capacidad de ancho de banda disponible se establezcan y los suscriptores experimenten la QoE deseada;

2) apagar los canales DOCSIS 3.0 y sustituir los canales DOCSIS 3.0 por nuevos canales DOCSIS 3.1 para que se establezcan los niveles de capacidad de ancho de banda disponibles y los suscriptores experimenten la QoE deseada;

3) reducir el número de canales de video (p. ej., potenciar el Video Digital Conmutado (SDV), convertir MPEG-2 a MPEG-4 y/o reducir el número de programas) y sustituir los canales de video por nuevos canales DOCSIS 3.1 para que los niveles de capacidad de ancho de banda disponibles se establezcan y los suscriptores experimenten la QoE deseada;

4) aumentar el espectro del sistema activando más espectro para que se establezcan los niveles de capacidad de ancho de banda disponibles y los suscriptores experimenten la QoE deseada;

5) programar una división de nodos; y

6) actualizar la planta HFC a una Arquitectura de Acceso Distribuido como PHY Remoto o MACPHY Remoto que potencialmente aumentará los pedidos de modulación utilizados por los canales DOCSIS 3.1, aumentando así el ancho de banda disponible.

Los expertos en la técnica apreciarán que este listado no es exhaustivo, y se pueden tomar otras medidas para establecer la capacidad de ancho de banda requerida dentro del “Grupo de Servicio”.

Una vez implementados los pasos anteriores, puede ser beneficioso crear una fórmula que describa la “Capacidad de Ancho de Banda Requerida” para el sistema concreto que se está definiendo. Como se puede ver anteriormente, “Capacidad de Ancho de Banda Requerida” se define como el valor de capacidad de ancho de banda disponible particular (más pequeño) o el valor X calculado anteriormente. Esto se puede hacer ejecutando los pasos anteriores para muchos sistemas diferentes con varias mezclas de Tavg, Tmáx y Relaciones Activas de la Aplicación en los suscriptores. Al final, la fórmula deseada puede tener la forma:

Capacidad de Ancho de Banda Requerida = f(Tavg, Tmáx, Relaciones Activas de la Aplicación, Prob(“Amarillo”))= Nsub*Tavg + Delta(Tavg, Tmáx, Relaciones Activas de la Aplicación, Prob(“Amarillo”)).

Una vez que se pueden observar muchos sistemas, la fórmula Delta se puede calcular utilizando técnicas de Regresión.

La parte Nsub*Tavg de la fórmula puede considerarse el Tavg del Grupo de Servicio (Tavg_sg) y refinarse más. En esta forma, Tavg es el ancho de banda promedio entre todos los suscriptores. Como se indicó anteriormente, Tavg puede variar para cada uno de los grupos de Tipo de Suscriptor. Por lo tanto, una representación más precisa podría ser:

Tavg_sg = Nsub*Tavg = ∑Nsub(i)*Tavg(i) para i=1 a n

donde Nsub(1) y Tavg(1) están asociados con el 1er grupo de Tipo de Suscriptor y Nsub(n) y Tavg(n) están asociados con el grupo de Tipo de Suscriptor nth.

La función Delta también se puede mejorar para ser:

Delta(Tavg, Tmáx, Relaciones Activas de la Aplicación, Prob(“Amarillo”) =

Tráfaga + QoE_Delta (Tavg, Tmáx, Relaciones Activas de la Aplicación, Prob(“Amarillo”) =

Tmax_max + QoE_Delta (Tavg, Tmáx, Relaciones Activas de la Aplicación, Prob(“Amarillo”)

donde Tráfaga es la tasa mínima de ráfaga de ancho de banda aceptable. Para muchos operadores, este valor predeterminado será Tmax_max. En áreas menos competitivas y no reguladas, un operador puede elegir una Tráfaga inferior (por ejemplo, Tráfaga = 50%*Tmáx).

Solución (3) en la Dirección Descendente

Como se mencionó anteriormente, una modalidad de los sistemas y métodos descritos incluye calcular el tamaño admisible del Grupo de Servicio (Nsub) dado el nivel de QoE requerido, la capacidad de ancho de banda real disponible, y un conjunto particular de características para una mezcla de suscriptores dada. La Figura 17 muestra un método 300 que logra esta solución.

En el paso 302, se puede introducir una QoE requerida, utilizando cualquiera de una o más de las tres métricas descritas anteriormente, dadas por Prob(“Amarillo”), Prob(“Verde”) o el Tiempo Promedio Entre Eventos Amarillos Sucesivos. Los expertos en la técnica apreciarán que, una vez que se introduce una de las tres métricas, las otras dos pueden calcularse.

En los pasos 304 y 306, se puede introducir la capacidad de ancho de banda disponible dentro del “Grupo de Servicio” y el conjunto apropiado de características (por ejemplo, Tavg y Tmáx, y tipos de aplicación que se utilizan), respectivamente.

En la etapa 308, un bucle (que generalmente comprende las etapas 102-118 que se muestra en las Figuras 2A-2B) se realiza repetidamente donde el valor de Nsub aumenta progresivamente

desde un valor inicial hasta que se alcanza el valor más grande de Nsub que satisface las tres entradas de restricción enumeradas anteriormente, por ejemplo, hasta que Nsub se haya vuelto tan grande que se supera la métrica de QoE requerida, después de lo cual se usa el valor de Nsub inmediatamente anterior.

Los expertos en la técnica apreciarán que diferentes modalidades pueden usar diferentes etapas en el bucle 308. Por ejemplo, las etapas a las que se hace referencia como opcionales en la descripción anterior de las Figuras 2A y 2B pueden omitirse del bucle 308 sin apartarse del alcance de la presente descripción.

Solución (4) en la Dirección Descendente

Como se mencionó anteriormente, una modalidad de los sistemas y métodos descritos incluye calcular conjuntos admisibles de características para una mezcla de suscriptores dada, tamaño del “Grupo de Servicio”, nivel de QoE requerido y Capacidad de Ancho de Banda Disponible real. La Figura 18 muestra un método 400 que logra esta solución.

En el paso 402, se puede introducir una QoE requerida, utilizando cualquiera de una o más de las tres métricas descritas anteriormente, dadas por Prob(“Amarillo”), Prob(“Verde”) o el Tiempo Promedio Entre Eventos Amarillos Sucesivos. Los expertos en la técnica apreciarán que, una vez que se introduce una de las tres métricas, las otras dos pueden calcularse.

En los pasos 404 y 406, se puede introducir la capacidad de ancho de banda disponible dentro del “Grupo de Servicio” y un Nsub de tamaño de “Grupo de Servicio” seleccionado, respectivamente.

En la etapa 408, un bucle (que generalmente comprende las etapas 102-118 que se muestra en las Figuras 2A-2B), se realiza repetidamente donde valores de {Tavg, Tmáx, Relación Activa de la Aplicación} aumentan progresivamente desde un valor inicial hasta que se logra la combinación de {Tavg, Tmáx, Relación Activa de la Aplicación} que satisface las tres entradas de restricción enumeradas anteriormente, por ejemplo, hasta que la combinación se haya vuelto tan grande que se supera la métrica de QoE requerida, después de lo cual se usa el valor de Nsub inmediatamente anterior como la salida.

Los expertos en la técnica apreciarán que diferentes modalidades pueden usar diferentes etapas en el bucle 408. Por ejemplo, las etapas a las que se hace referencia como opcionales en la descripción anterior de las Figuras 2A y 2B pueden omitirse del bucle 408 sin apartarse del alcance de la presente descripción.

Además, debe tenerse en cuenta que el procedimiento anterior hace la suposición simplificada de que todos los suscriptores de Nsub comparten los mismos valores de {Tavg, Tmáx, Relación Activa de la Aplicación}. Este método se puede ampliar, sin embargo, para incluir varias mezclas de grupos de Tipo de Suscriptor para obtener resultados con diferentes valores {Tavg, Tmáx, Relación Activa de la Aplicación}.

Solución (5) en la Dirección Descendente

Otra modalidad de los sistemas y métodos descritos incluye un método que combina la Solución (3) y la Solución (4). En particular, esta modalidad requeriría calcular un conjunto de tamaños de Grupo de Servicio permitidos (valores Nsub) junto con un conjunto “minimalista” de características (Tavg, Tmáx y tipos de aplicaciones) para una mezcla de suscriptores determinada, nivel de QoE

requerido y Capacidad de Ancho de Banda Disponible real. La Figura 19 muestra un método 410 que logra esta solución.

En el paso 412, se puede introducir una QoE requerida, utilizando cualquiera de una o más de las tres métricas descritas anteriormente, dadas por Prob(“Amarillo”), Prob(“Verde”) o el Tiempo Promedio Entre Eventos Amarillos Sucesivos. Los expertos en la técnica apreciarán que, una vez que se introduce una de las tres métricas, las otras dos pueden calcularse.

En el paso 414, se puede introducir la capacidad de ancho de banda disponible dentro del “Grupo de Servicio” y en el paso 416, un bucle (que comprende generalmente las etapas 102-118 mostradas en las Figuras 2A-2B) se realiza iterativamente, donde el valor de Nsub se incrementa desde un valor inicial hasta un valor final, y para cada valor de Nsub, los valores de {Tavg, Tmáx, Relación Activa de la Aplicación} aumentan gradualmente desde un valor inicial hasta que se logra la combinación de {Nsub, Tavg, Tmáx, Relación Activa de la Aplicación} que satisface las dos entradas de restricción enumeradas anteriormente, es decir, hasta que la combinación se haya vuelto tan grande que se supere la métrica de QoE requerida, después de lo cual la combinación inmediatamente anterior de {Nsub, Tavg, Tmáx, Relación Activa de la Aplicación} se utiliza como la salida para ese valor de Nsub, y la siguiente iteración del bucle se realiza en el siguiente valor incremental de Nsub, hasta que se alcance un valor de Nsub para el que ninguna combinación de atributos satisfaga la métrica de QoE requerida, después de lo cual el valor de Nsub anterior se utiliza como valor final.

Los expertos en la técnica apreciarán que diferentes modalidades pueden usar diferentes etapas en el bucle 416. Por ejemplo, las etapas a las que se hace referencia como opcionales en la

descripción anterior de las Figuras 2A y 2B pueden omitirse del bucle 416 sin apartarse del alcance de la presente descripción.

Además, debe tenerse en cuenta que el procedimiento anterior hace la suposición simplificada de que todos los suscriptores de Nsub comparten los mismos valores de {Tavg, Tmáx, Relación Activa de la Aplicación}. Este método se puede ampliar, sin embargo, para incluir varias mezclas de grupos de Tipo de Suscriptor para obtener resultados con diferentes valores {Tavg, Tmáx, Relación Activa de la Aplicación}.

Solución (6) en la Dirección Descendente

Otra modalidad de los sistemas y métodos descritos incluye una combinación diferente de la Solución (3) y la Solución (4). En particular, esta modalidad requeriría calcular tamaños de Grupo de Servicio (valor Nsub) junto con un conjunto de características (Tavg, Tmáx y tipos de aplicaciones) que satisfacen una regla deseada para una mezcla de suscriptores determinada, nivel de QoE requerido y Capacidad de Ancho de Banda Disponible real. La Figura 18B muestra un método 420 que logra esta solución.

En el paso 422, se puede introducir una QoE requerida, utilizando cualquiera de una o más de las tres métricas descritas anteriormente, dadas por Prob(“Amarillo”), Prob(“Verde”) o el Tiempo Promedio Entre Eventos Amarillos Sucesivos. Los expertos en la técnica apreciarán que, una vez que se introduce una de las tres métricas, las otras dos pueden calcularse.

En el paso 424, se puede introducir la capacidad de ancho de banda disponible dentro del “Grupo de Servicio”, y en el paso 426, se puede introducir una regla deseada. Las reglas pueden adoptar

muchas formas. Un ejemplo de una regla podría ser que el nivel de QoE debe ser aceptable y que el valor Nsub debe estar dentro de un rango preespecificado y que los ingresos totales generados por el grupo de suscriptores deben exceder algún valor predefinido. Dado que los ingresos por suscriptor están asociados con la configuración de Tmáx del suscriptor, la regla puede indicar que el nivel de QoE debe ser aceptable y que el valor de Nsub debe estar dentro de un rango preespecificado y que el producto del valor Nsub que multiplica el valor de Tmáx debe ser mayor que un umbral predefinido particular (dado que el producto del valor de Nsub que multiplica el valor de Tmáx puede estar relacionado con los ingresos totales generados por el grupo de suscriptores).

Suponiendo tal regla, en la etapa 428, el valor de Nsub mínimo admisible y ese valor de Nsub máximo admisible pueden introducirse, que juntos definen el rango especificado previamente para los valores de Nsub. En la etapa 430, se puede introducir el valor umbral predefinido (que se comparará con el producto del valor de Nsub multiplicado por el valor de Tmáx).

En el paso 432, un bucle (que comprende generalmente las etapas 102-118 mostradas en las Figuras 2A-2B) se realiza repetidamente donde el valor de Nsub se incrementa desde el valor de Nsub mínimo admisible hasta el valor de Nsub máximo admisible y para cada valor de Nsub, los valores de {Tavg, Tmáx, Relación Activa de la Aplicación} aumentan gradualmente de un valor inicial a un valor final hasta que se cumple la regla, es decir, hasta que el nivel de QoE se vuelva aceptable y el producto del valor de Nsub multiplicado por el valor de Tmáx sea mayor que el umbral predefinido. Una vez que se ha encontrado un conjunto de valores que satisfacen la regla, la combinación resultante de valores {Nsub, Tavg, Tmáx, Relación Activa de la Aplicación} se utiliza como la salida que satisface la regla.

Los expertos en la técnica apreciarán que diferentes modalidades pueden usar diferentes etapas en el bucle 432. Por ejemplo, las etapas a las que se hace referencia como opcionales en la descripción anterior de las Figuras 2A y 2B pueden omitirse del bucle 612 sin apartarse del alcance de la presente descripción.

Además, debe tenerse en cuenta que el procedimiento anterior hace la suposición simplificada de que todos los suscriptores de Nsub compartan los mismos valores de {Tavg, Tmáx, Relación Activa de la Aplicación}. Este método se puede ampliar, sin embargo, para incluir varias mezclas de grupos de Tipo de Suscriptor para obtener resultados con diferentes valores {Tavg, Tmáx, Relación Activa de la Aplicación}.

Además, debe tenerse en cuenta que el CMTS puede ejecutar acciones automatizadas para reconfigurar dinámicamente los componentes de red (p. ej., utilizando mensajes OpenFlow o Netconf/YANG para desviar el tráfico a diferentes puertos o para cambiar la configuración en Nodos de Fibra configurables dinámicamente) para garantizar que todos los grupos de servicios tengan el tamaño para coincidir con la combinación de {Nsub, Tavg, Tmáx, Relación Activa de la Aplicación} que sale del algoritmo anterior. Esto se ilustra en el paso opcional 434.

Predecir el periodo de vida útil futuro de un “Grupo de Servicio” y alterar automática y dinámicamente el “Grupo de Servicio”

Otra herramienta valiosa que se puede utilizar para ayudar a activar acciones dentro de un motor de inteligencia artificial es una herramienta divulgada que predice la capacidad de ancho de banda necesaria mes a mes o año a año, de cara al futuro. Esta herramienta realiza preferentemente este cálculo con entradas de la Capacidad de Ancho de Banda Disponible

actual, los niveles de QoE aceptables más altos y más bajos de Prob("Verde"), la CAGR (Tasa de Crecimiento Anual Acumulada) para los valores de Tmáx y la CAGR (Tasa de Crecimiento Anual Acumulada) para los valores de Tavg. También debe especificarse preferentemente la naturaleza particular del "Grupo de Servicio", que de alguna manera describe el tamaño (Nsub) del "Grupo de Servicio" y los valores actuales (Tmáx, Tavg, Relación Activa de la Aplicación) para cada uno de los suscriptores de Nsub dentro del "Grupo de Servicio". Los valores de CAGR se pueden utilizar para recalcular los valores (Tmáx, Tavg, Relación Activa de la Aplicación) para cada uno de los suscriptores Nsub en diferentes meses o años en el futuro.

Con referencia a la Figura 21, con los valores de (Tmáx, Tavg, Relación Activa de la Aplicación) para cada suscriptor en cada momento (mes o año) en el futuro, los pasos 102-118 descritos anteriormente pueden usarse para calcular la capacidad de ancho de banda requerida en diferentes puntos en el tiempo (creando los modelos basados en regresión de las Funciones de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda para cada suscriptor en cada punto en el tiempo, y luego convolucionar las Funciones de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda para cada conjunto de suscriptores de Nsub en cada momento para crear la Función de Densidad de Probabilidad de Ancho de Banda Agregada Final para el "Grupo de Servicio" en cada momento, y luego la Capacidad de Ancho de Banda Requerida se puede calcular para un rango de niveles aceptables de Calidad de experiencia Prob("Verde"). Mientras la capacidad de ancho de banda disponible actual sea mayor que la capacidad de ancho de banda requerida para el nivel de QoE de Prob("Verde") más bajo admisible, entonces el "Grupo de Servicio" actual continuará proporcionando un servicio adecuado y tendrá una vida útil que se extenderá más profundamente en el futuro. Cuando la capacidad de ancho de banda disponible actual es inferior a la capacidad de ancho de banda requerida para el nivel de QoE de Prob("Verde") más bajo admisible, el "Grupo de Servicio" actual no proporcionará un servicio adecuado y tendrá que finalizar su vida útil, lo

que requerirá un cambio de algún tipo. Por lo tanto, este procedimiento permite determinar la vida útil del “Grupo de Servicio” actual.

En algunas modalidades, el número de suscriptores puede reducirse para simular una actividad típica de división de nodo, que convierte un único nodo en dos o más nodos y distribuye los suscriptores de Nsub entre los dos o más nodos. Además, los suscriptores de Nsub pueden o no distribuirse de forma equitativa entre todos los nuevos nodos más pequeños. Con esta nueva definición de “Grupo de Servicio”, se pueden repetir los pasos enumerados en el párrafo anterior y se puede calcular la vida útil del “Grupo de Servicio” con una división de nodos.

Una vez que la herramienta ha creado la información sobre la vida útil del “Grupo de Servicio” actual (con y sin división de nodo), esta información se puede utilizar para activar la alteración dinámica y automática del “Grupo de Servicio” en un momento adecuado antes del final de la vida útil del “Grupo de Servicio”. Estas alteraciones pueden incluir:

1) activar más canales DOCSIS 3.0 para que se establezcan los niveles de capacidad de ancho de banda disponibles y que los suscriptores experimenten la QoE deseada;

2) activar más canales DOCSIS 3.1 para que se establezcan los niveles de capacidad de ancho de banda disponibles y que los suscriptores experimenten la QoE deseada;

3) desactivar los canales DOCSIS 3.0 y sustituir los canales DOCSIS 3.0 por nuevos canales DOCSIS 3.1 para que se establezcan los niveles de capacidad de ancho de banda disponibles y los suscriptores experimenten la QoE deseada;

4) reducir el número de canales de video (p. ej., potenciar el Video Digital Conmutado (SDV), convertir MPEG-2 a MPEG-4 y/o reducir el número de programas), y sustituir los canales de video por nuevos canales DOCSIS 3.1 para que se establezcan los niveles de capacidad de ancho de banda disponibles y los suscriptores experimenten la QoE deseada;

5) aumentar el espectro del sistema activando más espectro para que se establezcan los niveles de capacidad de ancho de banda disponibles y los suscriptores experimenten la QoE deseada;

6) programar una división de nodos; y

7) actualizar la planta HFC a una Arquitectura de Acceso Distribuido como PHY remoto o MACPHY remoto que potencialmente aumentará los pedidos de modulación utilizados por los canales DOCSIS 3.1, aumentando así el ancho de banda disponible.

Los expertos en la técnica apreciarán que este listado no es exhaustivo, y se pueden tomar otras medidas para alterar dinámica y automáticamente el “Grupo de Servicio”.

Otra posible aplicación es en el caso de PHY remoto. En un escenario de R-PHY de profundidad de fibra, solo puede haber un par de docenas de suscriptores por Dispositivo R-PHY (RPD). Se pueden concentrar varias RPD juntas para formar un único Grupo de Servicio de dominio DOCSIS MAC con el fin de utilizar de forma más eficaz los recursos del núcleo de CCAP. Las RPD que se agrupan pueden tener un gran impacto en la QoE de cada Grupo de Servicio. Una herramienta inteligente puede analizar el uso de los suscriptores para clasificarlos y crear eficazmente un pdf de ancho de banda por RPD. Entonces, la herramienta puede decidir qué RPD agrupar para obtener un rendimiento óptimo.

Solución (1) en la Dirección Ascendente

La dirección “ascendente” en un sistema DOCSIS está compuesta por el flujo de paquetes que se propagan desde los módems de cable en el hogar a través de la planta Coaxial de Fibra Híbrida y al CMTS y luego hacia adelante al Enrutador que alimenta Internet. Por desgracia, los elementos de la red que probablemente sean “puntos de choque” ascendentes son

probablemente los módems de cable dentro de los hogares, porque los canales ascendentes unidos dentro del salto Coaxial de Fibra Híbrida son probablemente menores en ancho de banda que cualquier otro enlace en la ruta ascendente. Idealmente, las muestras de ancho de banda ascendentes (del paso 1) se medirían en los enlaces de entrada de estos módems de cable de "punto de choque". Estos enlaces de entrada en los módems de cable suelen ser enlaces Ethernet o WiFi dentro de los hogares de los suscriptores. Dado que hay muchos de ellos y que no suelen ser accesibles, es mucho más difícil adquirir mediciones de ancho de banda en esos "puntos de choque" de entrada. Idealmente, esto es lo que se podría hacer y los pasos de la solución (1) en la dirección ascendente pueden ser idénticos en algunas modalidades a los descritos anteriormente para la dirección descendente, pero en esta situación ideal, las muestras de ancho de banda se tomarían en los enlaces Ethernet y WiFi dentro de todas las casas que alimentan el "Grupo de Servicio".

Sin embargo, donde no es práctico medir estas muestras de ancho de banda, se debe usar una modalidad alternativa, que puede introducir algún error aceptable, para la dirección ascendente. Con referencia a la Figura 22, los enlaces Ethernet y WiFi están debajo de los módems de cable (CM), y la unión de todos esos enlaces de todos los hogares de suscriptores crea el puerto de entrada lógico de alto ancho de banda para el sistema ascendente de interés. Las colas de los módems de cable crean los puntos de choque en los que los flujos de paquetes pueden provocar un cuello de botella. Estas colas de módem de cable son los "puntos de choque" para los flujos ascendentes, y aquí es donde pueden producirse colas y retrasos y pérdidas de paquetes. El cable coaxial de fibra híbrida ascendente real es el puerto de salida de menor ancho de banda. Lo ideal sería realizar mediciones de muestras de ancho de banda en los enlaces Ethernet y WiFi situados debajo de los módems de cable.

Si el acceso a esos puntos no está disponible, los puntos de recogida de muestras de ancho de banda deben moverse preferiblemente a una ubicación diferente, como el CMTS o en los enlaces hacia el norte o elementos de red por encima del CMTS. Como resultado de esta modificación, las muestras de ancho de banda se toman en la ubicación “equivocada”, y puede realizarse alguna forma de corrección en algunas modalidades para la morfología que puede tener lugar entre la ubicación de muestreo ideal y la ubicación de muestreo real. Estas transformaciones son el resultado del hecho de que los retrasos y las pérdidas de las colas de módems de cable ya se han experimentado por los flujos de paquetes si las mediciones de muestras de ancho de banda se toman en el CMTS o al norte del CMTS. En esencia, es probable que el hecho de que los paquetes hayan pasado por las colas de módem de cable y los canales coaxiales de fibra híbrida, suavice las ráfagas. Además, si se toman mediciones de muestras de ancho de banda en enlaces o elementos al norte del CMTS, las transiciones también incluirán los impactos resultantes del procesamiento del CMTS de los paquetes Ascendentes y, potencialmente, los agruparán antes de que se vuelvan a transmitir a los enlaces con dirección norte, lo que puede volver a introducir cierta ráfaga.

Por lo tanto, el muestreo en el CMTS (o al norte del CMTS) puede resultar en estimaciones ligeramente más bajas de los requisitos de capacidad de ancho de banda disponibles. Sin embargo, el ciclo de programación Ascendente del CMTS está en el orden de varios milisegundos, que es pequeño al considerar una ventana de muestra de 1 segundo. En consecuencia, siempre que todo el proceso programador ascendente introduzca una cantidad mínima de retraso, por ejemplo, 50 ms, una modalidad plausible es simplemente usar las muestras de ancho de banda recogidas en el CMTS (o norte del CMTS) y realizar el resto de las etapas 104-118 sin ningún cambio. Alternativamente, en otras modalidades, las capacidades de ancho de banda requeridas pueden aumentarse ligeramente para la solución ascendente. Esto

también puede dar lugar a un ligero aumento de las estimaciones para la QoE, por lo que los niveles de QoE resultantes pueden disminuir ligeramente para la solución ascendente. Todos estos problemas pueden deberse al hecho de que los anchos de banda de pico alto generados por los módems de cable dentro del “Grupo de Servicio” medido se fijarán para que no sean superiores a la capacidad de ancho de banda disponible. Además, los períodos de tiempo en los que el ancho de banda se fija a la capacidad de ancho de banda disponible pueden alargarse artificialmente debido a las acciones de las colas dentro de los módems de cable. Por suerte, estos efectos no suelen afectar a un solo módem, sino que suelen afectar a muchos módems que se transmiten cuando el ancho de banda pico se fija al nivel de capacidad de ancho de banda disponible. Como resultado, el impacto de este efecto de pinzamiento se distribuye entre muchos módems, y las transiciones para cualquier módem en particular son mínimas. Todos estos problemas se ilustran en la Figura 23.

En otras modalidades, puede ser preferible proporcionar instrumentación en el CMTS para medir con más precisión el tráfico ascendente. Si se toman mediciones y se sabe que los datos ascendentes del CMTS no alcanzaron ninguna de las regiones “amarillas” congestionadas en la Figura 21, entonces hay datos muy precisos. Si se conoce el porcentaje de tiempo en que la vía ascendente está congestionada, entonces definirá un cierto nivel de confianza.

Ejemplos de instanciaciones

Es posible una serie de modalidades físicas diferentes de sistemas que implementan la descripción anterior. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 24, una instanciación particular puede usar hardware de caja blanca 500 que puede recibir uno o más enlaces Ethernet a un CMTS 18 a una velocidad de datos relativamente alta.

Idealmente, el número de enlaces Ethernet de entrada en el hardware de caja blanca debe ser mayor o igual que el número de enlaces Ethernet de entrada activos que alimentan el CMTS 18. Los enlaces Ethernet conectados a estos puertos de entrada en el hardware de caja blanca también deben conectarse a los puertos del enrutador (o conmutador) al norte del CMTS. Los paquetes descendentes que se dirigen al CMTS 18 se pueden duplicar en puertos y enviar tanto al CMTS 18 como al hardware de caja blanca. Los paquetes ascendentes que se envían hacia el norte desde el CMTS 18 también se pueden duplicar en puertos y enviar tanto a Internet como al hardware de caja blanca.

Dado que el hardware de caja blanca recibe cada paquete enviado hacia y enviado desde el CMTS 18, este puede registrar el ancho de banda hacia y desde cada dirección IP del suscriptor en segundos durante el período ocupado. Esta información se puede actualizar y archivar constantemente en un disco dentro del servidor de caja blanca (o en una granja de discos remota). Esto permite que el hardware de caja blanca actualice y amplíe continuamente los anchos de banda acumulados para todos los suscriptores, como se define en el paso 102.

Una vez que se han recogido las muestras de datos, los procesadores del servidor de caja blanca también pueden implementar los pasos de posprocesamiento 104, etc. Estos pasos pueden incluir la comunicación a través de SNMP o CLI u otros protocolos al CMTS 18 para adquirir información sobre los suscriptores particulares asociados al CMTS 18 y sus ajustes del Acuerdo de Nivel de Servicio del suscriptor. Estos pasos también pueden incluir la comunicación a través de SNMP o CLI u otros protocolos al CMTS 18 para cambiar la configuración en el número de canales o el ancho de banda de los canales en respuesta a los activadores que se generan como resultado de los análisis estadísticos que se realizan en los pasos 104, etc.

Algunas de las ventajas clave de este enfoque incluyen:

1. su capacidad para trabajar con cualquier arquitectura CMTS genérica, desde CCAP integrado hasta Arquitecturas de Acceso Distribuido;

2. su capacidad para trabajar con equipos CMTS o CMTS de cualquier proveedor;

3. todos los datos originales y la información de la marca horaria se conservan para poder realizar análisis adicionales en el futuro;

4. se alinea bien con las direcciones futuras de virtualización de enrutadores y funcionalidad de CMTS en la nube;

Sin embargo, algunos de los inconvenientes incluyen los requisitos de ancho de banda de red y capacidad de almacenamiento del servidor de caja blanca, especialmente si debe supervisar muchos CMTS en un sistema muy grande.

De forma alternativa, algunos o todos los análisis estadísticos podrían realizarse dentro del CMTS. Por ejemplo, el CMTS 18 podría examinar cada paquete que lo pasa, asignarlo a un grupo de Tipo de Suscriptor adecuado y, a continuación, recopilar estadísticas relevantes como Tavg y calcular el pdf de ancho de banda para ese grupo de Tipo de Suscriptor. El CMTS 18 también puede recopilar estadísticas relevantes para cada uno de sus Grupos de Servicio, como Tavg y cualquier umbral de QoE asociado para ese Grupo de Servicio.

En algunas modalidades donde el CMTS 18 realiza algunos de los análisis estadísticos, la caja blanca 500 puede sondear periódicamente cada CMTS 18 en el sistema para recopilar estos datos intermedios. Esto puede incluir la comunicación a través de SNMP o CLI u otros protocolos al CMTS 18 para adquirir información. El sondeo puede realizarse en el orden de segundos, minutos, horas o días en función de la información que se recupere. El posprocesamiento

adicional luego puede ser realizado por el servidor de caja blanca. Esto puede incluir tomar datos de varios CMTS 18 y fusionar los datos en un único perfil para todo el sistema.

Algunas de las ventajas clave de este enfoque incluyen:

1. se puede implementar en todos los CMTS, por lo que se recopilan estadísticas para cada usuario.
2. Reduce drásticamente el ancho de banda de red y los requisitos de almacenamiento necesarios para el servidor de caja blanca.
3. El procesamiento se realiza en tiempo real y no requiere ningún procesamiento posterior para ver algunos de los resultados.

Se podría imaginar que ambas implementaciones anteriores se podrían utilizar conjuntamente. Las funciones realizadas en el CMTS 18 proporcionan un análisis básico en todo el espacio ocupado por un operador, mientras que un servidor de caja blanca aún podría recibir paquetes duplicados de puertos de un CMTS 18 determinado, donde realiza análisis estadísticos más completos sobre la información.

Los expertos en la técnica apreciarán que, aunque un CMTS 18 como se muestra y describe para ilustrar el tema descrito en el contexto de una arquitectura coaxial de fibra híbrida CATV, pueden usarse otras modalidades de los sistemas y métodos descritos en otros sistemas de distribución de datos, por ejemplo, redes celulares, redes telefónicas/DSL, redes ópticas pasivas (PON), etc. Por lo tanto, los sistemas y métodos descritos son relevantes para cualquier sistema que proporcione datos, voz, video y otro contenido descendente de tal tipo desde una fuente común a una multiplicidad de clientes a través de una red de distribución, y/o entrega de contenido

ascendente de cada una de una multiplicidad de clientes a un destino común a través de tal red de distribución.

Por ejemplo, la Figura 25 muestra una arquitectura de acceso distribuido 600 para distribuir contenido a una pluralidad de grupos de clientes o suscriptores 610 desde Internet 602 a través de un enrutador 604 y una red de conmutadores Ethernet 606 y nodos 608. En esta arquitectura, el enrutador 604 puede recibir contenido descendente de Internet 602 y retransmitir ese contenido a lo largo de una red ramificada, controlada por los conmutadores Ethernet 606, a los nodos 608. Cada nodo 608 presta servicios a un grupo respectivo de suscriptores 610.

La arquitectura distribuida 600 es particularmente útil para la respuesta automatizada a la información obtenida de las funciones de distribución de probabilidad, como se describió anteriormente en la memoria descriptiva. Por ejemplo, el enrutador 604 y/o los conmutadores Ethernet 606 pueden ajustar dinámicamente los tamaños de los grupos de servicios en respuesta a las mediciones que indican que la QoE se degrada o se degradará a niveles inaceptables en función de las funciones de distribución de probabilidad para un período de tiempo actual o futuro. Como otro ejemplo, el enrutador 604 y/o los conmutadores Ethernet pueden reconfigurar a los clientes 610 en diferentes grupos de suscriptores basados en patrones de uso para reducir la probabilidad de que la demanda de ancho de banda en el router 604, o cualquier conmutador Ethernet 606, aumente a un nivel que produciría una QoE considerada inaceptable. Aún en otro ejemplo, cuando los datos a clientes o grupos de clientes particulares pueden proporcionarse a través de más de un conmutador Ethernet, o enlaces entre nodos, diferentes conjuntos de conmutadores Ethernet pueden activarse o desactivarse durante ciertas horas del día para proporcionar el ancho de banda requerido cuando es más probable que sea demandado. Aún en otro ejemplo, una división de nodo puede activarse automáticamente cuando los sistemas y

métodos determinan que es necesario, como se describió anteriormente. En aún otro ejemplo, los sistemas y métodos descritos pueden utilizar grupos de servicio de diferentes tamaños, por ejemplo, el grupo de servicio 1 de tamaño cuatro y el grupo de servicio 2 de tamaño 2 como se muestra en la Figura 25. Los expertos en la técnica apreciarán que el sistema 600 proporciona muchas oportunidades diferentes para responder automáticamente y dinámicamente a la información proporcionada por el análisis automatizado de las funciones de probabilidad medidas por paquetes de muestreo de datos a los suscriptores, como se describió anteriormente, para mantener una QoE deseada a lo largo del tiempo.

Los expertos en la técnica apreciarán que, en cada uno de los ejemplos ilustrados en el párrafo anterior, es conveniente realizar uno o más de los análisis descritos anteriormente (por ejemplo, muestreo, creación de un pdf, regresión, análisis de tiempo de avance, etc.) en cada uno de los Grupos de Servicio definidos en el sistema de la Figura 25, así como también todos los enlaces intermedios (por ejemplo, enlaces #1 a #7) así como la conexión de Internet al enrutador 604.

Los expertos en la técnica también apreciarán que la respuesta automatizada de un sistema, tal como el sistema 600, puede iniciarse de muchas maneras diferentes. Por ejemplo, el núcleo del enrutador/CMTS 604 puede incluir circuitos para controlar los conmutadores Ethernet 606 y/o nodos 608 en respuesta a los datos medidos en el núcleo del CMTS del enrutador 604. Alternativamente, los datos medidos en el enrutador 604 pueden transmitirse a un dispositivo remoto, tal como la caja blanca 500 de la Figura 24 o un servidor remoto para el análisis y el posterior control automatizado remoto de los conmutadores Ethernet 606 y/o nodos 608. Aún en otras modalidades, uno o más nodos 608 pueden incluir circuitos para implementar automáticamente una división de nodos cuando se indica.

Los métodos anteriores proporcionan una poderosa forma de diseñar y gestionar el ancho de banda para redes actuales y futuras. Los métodos se describieron para ejemplos que utilizan tráfico de datos de alta velocidad. Pero dado que las técnicas de medición (muestreo de ancho de banda cada segundo) son aplicables a otros tipos de tráfico (p. ej., video, telefonía, etc.), los métodos pueden utilizarse de forma similar para muchos tipos de tráfico diferentes.

La planificación de la capacidad en las redes DOCSIS se basa actualmente en umbrales de utilización anticipada, que, como se indicó anteriormente, se basan normalmente en reglas generales, como la configuración de la capacidad de ancho de banda requerida para algunos múltiplos de Nsub*Tavg o algunos múltiplos de Tmax_max. Sin embargo, estas reglas generales no tienen en cuenta el efecto que los niveles de utilización anticipados tienen en la experiencia del usuario, lo que conduce a actualizaciones defensivas que pueden causar exceso de capacidad o actualizaciones retrasadas que causan insatisfacción del cliente.

La Figura 26 generalmente ilustra un sistema de planificación de capacidad mejorado 700 que monitoriza los patrones de utilización de la red, predice las tendencias futuras y recomienda ajustes para satisfacer esas tendencias futuras. Concretamente, el sistema de planificación de capacidad 700 preferentemente comprende una red 702 analizada por un modelador de QoE 704 que, utilizando una base de datos de suscriptores 703, genera un modelo de QoE que especifica la capacidad requerida para una QoE satisfactoria experimentada por la entrada de mezclas del suscriptor de la base de datos 103. Preferentemente, el modelador de QoE 704 muestrea a los suscriptores en alta resolución para obtener un muestreo representativo de los suscriptores. Se apreciará que el modelador de QoE 704 puede utilizar cualquiera de las técnicas descritas anteriormente para determinar la capacidad requerida para satisfacer una QoE deseada dada, por ejemplo, la solución (2) mencionada anteriormente en esta memoria descriptiva.

La red 700 también es supervisada por un Monitor de Capacidad 706 que muestrea la red 700 para recopilar información sobre el uso real de la red. La información recopilada puede incluir preferentemente información sobre la topología de la red, niveles de servicio en la red y estadísticas de uso ascendentes y descendentes. La información recopilada preferentemente abarca millones de dispositivos y años de datos, y se almacena en una base de datos de capacidad 708.

Un modelador de tráfico adaptativo 710, como se describe en detalle más adelante en esta memoria descriptiva, recibe y analiza información de la base de datos de capacidad 708 y envía uno o más modelos de tendencias de tráfico a un evaluador de red 712. Concretamente, el modelador de tráfico 710 analiza la información en la base de datos de capacidad 708 para detectar tendencias pasadas en la utilización de capacidad y utiliza ese análisis para predecir tendencias de utilización futuras. Preferentemente, el modelador 710 modela adaptativamente los elementos de red y selecciona dinámicamente de una pluralidad de modelos a lo largo del tiempo para adaptarse mejor a las tendencias de capacidad anticipadas para cada elemento. En este contexto, y el elemento podría ser un nodo, un enrutador, un grupo de suscriptores o cualquier otra parte relevante de una red para la que se desean demandas de capacidad previstas.

El evaluador de red 712 valora la utilización pronosticada de los modelos de tendencias de tráfico obtenidos por el modelador 710, frente a la capacidad necesaria generada por el modelador de QoE 704. Basándose en estas puntuaciones, el evaluador de red 712 genera puntuaciones a un recomendador de capacidad 714. Las puntuaciones combinan preferiblemente el uso de la red, el suscriptor y la información del modelo de predicción con una transformación de QoE para indicar los elementos de red que necesitan actualización, obtenidas como una lista clasificada de

segmentos de red con la necesidad más urgente de capacidad adicional, junto con los datos de puntuación para cada elemento. El recomendador de capacidad 714, a su vez, es preferiblemente una aplicación orientada al usuario que utiliza la información de puntuación recibida para representar tendencias y predicciones de uso de capacidad.

La Figura 27 muestra un modelador de tráfico adaptativo ilustrativo 710, que incluye un muestreador adaptativo 720, un modelador 722, y un analizador de costos 710. El muestreador adaptativo 720 recibe de la base de datos de capacidad 708 una matriz de entrada 718, indicada como $\{sg_i(t)\}$, que cuantifica la utilización real de la capacidad de cada grupo de servicio a lo largo del tiempo. Con esta matriz de entrada 718, el muestreador adaptativo 720 genera una matriz de utilización pico $\{Psg_i(t)\}$ que cuantifica la utilización de la capacidad pico para cada grupo de servicio a lo largo del tiempo. La utilización de la capacidad pico puede representar en algunas modalidades la utilización diaria pico para un grupo de servicio, pero en otras modalidades puede representar la utilización semanal pico, la utilización mensual pico, etc. El método de muestreo utilizado por el muestreador adaptativo 720 puede basarse en un objetivo empresarial e implementarse a través de una entrada de perfil en el muestreador adaptativo 720.

El modelador 722 recibe la matriz de utilización pico $\{Psg_i(t)\}$ y ajusta los datos a cada uno de una pluralidad de modelos diferentes M_1, M_2 . . . M_n. Por ejemplo, diferentes modelos pueden ser lineales, cuadráticos, exponenciales, ARIMA, etc. Cada uno de los modelos, ajustados a la matriz de utilización pico, se analiza entonces mediante un analizador de costos de modelo 724 que utiliza la matriz de utilización pico y los modelos para determinar una matriz de modelos de mejor ajuste $\{msg_i(t)\}$ para cada grupo de servicio, basado en minimizar una función de costo $C\{msg_i(t)\}$. La matriz del modelo de mejor ajuste se reenvía como una salida 716 al evaluador de red 712.

Los expertos en la técnica comprenderán que la matriz de modelos de mejor ajuste $\{msg_i(t)\}$ puede modelar diferentes elementos de red con diferentes modelos de M_1, M_2 . . . M_n.

La Figura 28 muestra un muestreador adaptativo ilustrativo 720, que como se señaló anteriormente recibe una matriz de utilización de capacidad real $\{sg_i(t)\}$ y genera una matriz de utilización pico $\{Psg_i(t)\}$. Existen diferentes formas de representar la utilización de capacidad real, p. ej., la utilización de pico máxima 728, la utilización promedio parcial de 730, la utilización total 732, etc. Con un muestreador conservador, p. ej., pico máximo, el modelo de predicción será más agresivo en la predicción del exceso de capacidad, lo que potencialmente añadirá costes al operador para las actualizaciones a cambio de una mayor capacidad general y, por extensión, una mayor probabilidad de satisfacción del cliente. Por el contrario, con un muestreador liberal, p. ej., promedio total, los costes de actualización previstos pueden minimizarse con el riesgo de encontrarse con una sobreutilización de la capacidad existente. Preferentemente, el muestreador adaptativo 720 es capaz de determinar la utilización de la capacidad usando diferentes de estos métodos, e incluye un selector 734 mediante el cual un operador puede seleccionar un método de muestreo deseado basado en sus propios objetivos. En algunas modalidades, la periodicidad del muestreo puede ajustarse sobre la ventana temporal en base al objetivo comercial (perfil).

Las Figuras 29 y 30 muestran utilizaciones ilustrativas para el muestreador adaptativo 720, donde cada medición de utilización representa la utilización máxima o promedio durante una semana, es decir, cada muestra representa una semana. En otras modalidades, las muestras pueden representar la periodicidad diaria o mensual. En la Figura 29, las utilizaciones promedio de quince minutos se representan por curvas de promedio máximo, promedio parcial y promedio total, respectivamente. En la Figura 30, todas las capacidades de utilización requeridas son lo

suficientemente grandes para cubrir los datos de utilización originales, ya que los cálculos de capacidad requeridos están diseñados para cubrir las utilizaciones de ráfaga.

La Figura 31 muestra esquemáticamente el funcionamiento de un modelador de QoE ilustrativo 704, que recibe información de una red 702 y una base de datos de suscriptores 703. La red 702 proporciona metadatos de tráfico de red detallados, que comprenden información que puede estar limitada en el alcance de la red y el rango de tiempo, pero alta en resolución temporal, a un módulo 740 que identifica los flujos de tráfico de red. A partir de estos flujos de tráfico, el módulo 742 identifica el impacto que los flujos tienen en la QoE, que junto con la información de la base de datos de suscriptores 703, se puede utilizar en el módulo 744 para proporcionar un modelo del impacto que la capacidad tiene en la QoE.

La Figura 32 muestra esquemáticamente el funcionamiento de un evaluador de red ilustrativo 712, que recibe información del modelador de QoE 704 y del modelador de tráfico adaptativo 710. Desde el modelador de QoE 704, el evaluador de red 712 recibe un modelo de QoE como función del uso de la capacidad de toda la red. Desde el modelador de tráfico adaptativo, el evaluador de red 712 recibe un modelo de predicción del tráfico para cada segmento de red. A partir de esta información, el evaluador de red genera una lista clasificada de segmentos de red que más necesitan actualizaciones de capacidad, junto con información que predice la capacidad necesaria para cada segmento de red como una función de QoE, es decir, el evaluador de red transforma sus entradas en una salida en un espacio de QoE, mediante la cual se pueden determinar o recomendar las necesidades de capacidad futuras.

Se apreciará que la invención no se limita a la modalidad particular que se ha descrito, y que las variaciones pueden hacerse en la misma sin apartarse del alcance de la invención como se define

en las reivindicaciones adjuntas, como se interpreta de acuerdo con los principios de la ley vigente, incluida la doctrina de equivalentes o cualquier otro principio que aumente el alcance ejecutable de una reivindicación más allá de su alcance literal. A menos que el contexto indique lo contrario, una referencia en una reivindicación al número de instancias de un elemento, ya sea una referencia a una instancia o más de una instancia, requiere al menos el número establecido de instancias del elemento, pero no pretende excluir del alcance de la reivindicación una estructura o método que tiene más instancias de ese elemento de lo indicado. La palabra “comprende” o un derivado de esta, cuando se usa en una reivindicación, se usa en un sentido no exclusivo que no pretende excluir la presencia de otros elementos o etapas en una estructura o método reivindicado.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de planificación y recomendación de capacidad referencia cruzada a solicitudes relacionadas, que comprende:

un primer módulo que recibe información de una red que proporciona contenido a cada uno de una pluralidad de suscriptores (14) y utiliza la información para generar un primer modelo, el primer modelo modela la calidad de experiencia (QoE) de al menos un suscriptor (14) como una función de capacidad de al menos un elemento de red;

un segundo módulo que genera un segundo modelo que modela la capacidad futura del al menos un elemento de red basado en la recepción de información que mide la utilización real de la red; y

un tercer módulo que utiliza el primer modelo y el segundo modelo para generar una previsión de la capacidad necesaria en un intervalo futuro.

2. El sistema de la reivindicación 1 donde el tercer módulo proporciona la previsión como una salida de la capacidad futura requerida en un espacio de QoE.

3. El sistema de la reivindicación 1 donde el segundo módulo incluye un muestreador adaptativo que mide la utilización máxima basada en muestras de utilización real.

4. El sistema de la reivindicación 3 donde el muestreador adaptativo incluye un selector capaz de cambiar la forma en que se muestrea la utilización real.

5. El sistema de la reivindicación 3 donde el muestreador adaptativo es capaz de ajustar el periodo de muestreo en función de una periodicidad de las muestras de utilización real.

6. El sistema de la reivindicación 3 donde el segundo módulo incluye un modelador que ajusta los datos del muestreador adaptativo a cada uno de una pluralidad de modelos.

7. El sistema de la reivindicación 1 donde el tercer módulo genera una lista clasificada de segmentos de red con la necesidad más urgente de capacidad adicional.

8. Un modelador de tráfico adaptativo (710) para una red que proporciona contenido a cada uno de una pluralidad de suscriptores (14), el modelador (710) que comprende:

un muestreador adaptativo que mide la utilización máxima en función de las muestras de utilización real;

un modelador que ajusta los datos del muestreador adaptativo a cada uno de una pluralidad de modelos y genera una matriz de modelos de mejor ajuste para cada uno de al menos un elemento de red.

9. El modelador de tráfico adaptativo (710) de la reivindicación 8, incluido un analizador de costes utilizado por el modelador para determinar la matriz de modelos de mejor ajuste en función de una función de coste.

10. El modelador de tráfico adaptativo (710) de la reivindicación 8 donde el muestreador adaptativo es capaz de ajustar el periodo de muestreo en función de una periodicidad de las muestras de utilización real.

11. El modelador de tráfico adaptativo (710) de la reivindicación 8 donde el muestreador adaptativo incluye un selector capaz de cambiar la forma en que se muestrea la utilización real.

12. El modelador de tráfico adaptativo (710) de la reivindicación 11 donde el selector selecciona entre un muestreo de pico máximo, un muestreo de promedio total y un muestreo de promedio parcial.

13. El modelador de tráfico adaptativo (710) de la reivindicación 11 donde el selector se basa en una entrada de perfil en el selector.

14. El modelador de tráfico adaptativo (710) de la reivindicación 8 que muestrea la utilización de la red para cada uno de una pluralidad de grupos de servicio.

15. El modelador de tráfico adaptativo (710) de la reivindicación 8 es capaz de generar diferentes modelos de mejor ajuste para diferentes elementos de red.

16. Un método (100) de planificación y recomendación de capacidad referencia cruzada a solicitudes relacionadas, que comprende:

recibir información de una red que proporciona contenido a cada uno de una pluralidad de suscriptores (14);

en base a dicha información, modelar la calidad de experiencia (QoE) de al menos un suscriptor (14) como función de la capacidad de al menos un elemento de red;

en base a mediciones de la utilización real de la red, modelar la capacidad futura del al menos un elemento de red; y

en base al primer modelo y el segundo modelo, generar una previsión de la capacidad necesaria en un intervalo futuro.

17. El método (100) de la reivindicación 16 donde la previsión es de capacidad futura requerida en un espacio de QoE.

18. El método (100) de la reivindicación 16, que incluye la etapa de medir la utilización pico a partir de muestras de utilización real, y de la utilización pico para modelar la capacidad futura del al menos un elemento de red.

19. El método (100) de la reivindicación 18 que incluye la etapa de seleccionar entre una pluralidad de opciones disponibles, la manera en que se muestrea la utilización real.

20. El método (100) de la reivindicación 18 que incluye la etapa de ajustar el período de muestreo en base a una periodicidad de las muestras de utilización real.

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO

NIT: 800.176.089-2

COMPROBANTE DE RECAUDO SISTEMA SIPI

Radicado: NC2024/0000126
Recibo: 24-1067
Fecha: 10/01/2024

JUAN CARLOS CUESTA QUINTERO
CC: 79.339.809
Pago PSE No: 918112
CUS: 388488153

NC Modificación a las reivindicaciones
Request on Patente PCT NC2020/0016116

Detalle del pago

Id.	Rentístico	Concepto y Servicio	Cant.	Val. Unit.	Subtotal
1	50005-01-03	Modificaciones / Correcciones al registro Patente PCT (DESCUENTO INTERNET)	1	$ 215,000	$ 215,000
		TOTAL			$ 215,000

Sede Centro: Carrera 13 No.27-00 Pisos 3,4,5 y 10 Bogotá D.C. - Colombia
Web: www.sic.gov.co e-mail:contactenos@sic.gov.co Conmutador:(571)5870000 Contact Center: (571)5920400