

ARQUITECTURA DE PROCESADOR DE ÁRBOL DE DECISIÓN

PARALELO

ANTECEDENTES

5

Un árbol de decisión es un árbol de búsqueda binaria compuesto de nodos de decisión y subárboles y/u hojas izquierdos y derechos. Un nodo de decisión incluye una decisión que se va a tomar. Las ramificaciones llevan a un modo de decisión a otros nodos de decisión o a nodos de hoja, y una selección de una de las ramificaciones se basa en la decisión hecha en el modo de decisión. Una decisión ilustrativa incluye la comparación de dos valores, tal como un valor de característica y un valor de umbral. Si valor características es menor que o igual al valor de umbral, entonces se selecciona un subárbol izquierdo; si el valor de característica no es menor que o igual al valor de umbral, entonces se selecciona el subárbol derecho. La ramificación es seguida al siguiente nodo y, si el siguiente nodo es un nodo de decisión, se toma otra decisión, y así sucesivamente hasta que se selecciona una ramificación que lleva un nodo de hoja. Un nodo de hoja representa una salida o un punto final del árbol de decisión. Una salida ilustrativa es un valor de salida, o una puntuación, para el árbol de decisión. Este proceso se denomina como recorrer el árbol de decisión.

Entre otras aplicaciones, se utilizan árboles de decisión para clasificar documentos en la búsqueda de documento. En un ejemplo, un árbol de decisión se utiliza para calcular la relevancia de un artículo particular (por ejemplo, una página web) para una consulta de búsqueda

particular. Se obtiene un conjunto inicial de documentos de resultado de búsqueda candidatos, y se produce un método de característica para los documentos de resultado de búsqueda candidatos. El vector de característica representa varios aspectos (por ejemplo, estadísticas de documentos) de los documentos de resultados de búsqueda candidatos. Un ejemplo de una característica es el número de veces que una palabra de consulta búsqueda aparece en el documento candidato. Cada nodo de árbol de decisión incluye un umbral y un identificador de característica, que puede utilizarse para buscar el valor de característica para el documento resultado de búsqueda candidato. Se recorre el árbol de decisión, y el proceso de recorrido de árbol eventualmente llega en uno de hoja y envía la puntuación asociada. La puntuación (o múltiples puntuaciones si se utiliza más de un árbol de decisión) se utiliza para determinar la relevancia de un resultado de búsqueda candidato. Las puntuaciones relativas de múltiples documentos se utilizan para clasificar los documentos.

Además de la búsqueda, los árboles de decisión tienen una variedad de usos. Los árboles de decisión se utilizan para implementar reconocimiento de gesto, reconocimiento de voz, extracción de datos, y otros tipos de cálculos.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

Esta Breve Descripción se proporciona para introducir conceptos simplificados de la presente descripción, que además se describen a

continuación en una descripción detallada. Esta Breve Descripción no pretende identificar características esenciales del tema reclamado, ni pretende utilizarse al determinar el alcance del tema reclamado.

Las modalidades de la presente descripción incluyen
5 implementaciones de *hardware* de calificación de árbol de decisión, lo que permite una calificación de árbol de decisión más rápida que la calificación de árbol de decisión basado en *software* convencional. La arquitectura en chip del sistema de calificación de árbol de decisión incluye una pluralidad de procesadores de árbol de decisión implementado en paralelo en uno o
10 más circuitos especializados o de lógica programable. En el nivel superior de la arquitectura en chip se encuentra un calificador de árbol de decisión (DTS, según sus siglas en inglés) que recibe vectores de característica (por ejemplo, conjuntos de valores de característica) de anfitrión de sistema o sistema de procesamiento de cómputo ascendente, envía los
15 factores de característica a un primer grupo de árbol de decisión (DTC, según sus siglas en inglés), recibe puntuaciones de los grupos de árbol de decisión, y envía el resultado al anfitrión o a otro sistema descendente. En el siguiente nivel de la jerarquía, una pluralidad de grupos de árbol de decisión (DTC) distribuye vectores de característica entre ellos mismos, y
20 procesa y propaga puntuaciones de procesadores de árbol de decisión a DTC vecinos y a DTS. Los DTC incluyen uno o más procesadores de árbol de decisión, y uno o más mosaicos de almacenamiento de característica (FST, según sus siglas en inglés). Valor de característica y compresión de valor de umbral reducen el ancho de banda y requisitos de
25 almacenamiento para el sistema de puntuación de árbol de decisión.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La descripción detallada se describe con referencia a las figuras anexas. En las figuras, el dígito(s) adicional de un número de referencia
5 identifica la figura en la cual aparece por primera vez en una referencia. El uso de los mismos números de referencia en diferentes figuras indica artículos similares o idénticos.

La Figura 1 es un diagrama de bloques de un sistema de calificación de árbol de decisión ilustrativo que incluye uno o más calificadores de
10 árbol de decisión implementados por *hardware* de acuerdo con varias modalidades.

La Figura 2 ilustra una codificación árbol de decisión de acuerdo con varias modalidades de la presente descripción.

La Figura 3 ilustra una lista ilustrativa de valores de umbral únicos
15 en una línea de número real.

La Figura 4 ilustra una arquitectura ilustrativa del calificador de árbol de decisión de acuerdo con varias modalidades.

La Figura 5 ilustra una arquitectura ilustrativa de un grupo de árbol de decisión de acuerdo con varias modalidades.

20 La Figura 6 ilustra una implementación de recorrido de árbol de etapas múltiples, de secuencias múltiples, conectada de un procesador de árbol de decisión, de acuerdo con varias modalidades.

La Figura 7 ilustra una gráfica de flujo que muestra un proceso ilustrativo para ejecutar un nodo de árbol de decisión, de acuerdo con
25 varias modalidades.

La Figura 8 ilustra un proceso de calificar vectores de característica para una pluralidad de árboles de decisión por un calificador de árbol de decisión, de acuerdo con varias modalidades.

La Figura 9 ilustra un proceso para calificar una pluralidad de
5 árboles de decisión por grupos de árbol de decisión, de acuerdo con varias modalidades.

La Figura 10 ilustra un proceso para codificar valores de umbral de una pluralidad de árboles de decisión de acuerdo con varias modalidades.

La Figura 11 ilustra un proceso para codificar un conjunto de valores
10 de característica, de acuerdo con varias modalidades.

La Figura 12 es un diagrama de bloques de un sistema de cómputo ilustrativo que se puede utilizar para realizar varios métodos aquí descritos.

15

DESCRIPCIÓN DETALLADA

Vista general

Las modalidades de la presente descripción incluyen implementaciones de *hardware* de puntuación de árbol de decisión, que
20 permiten una puntuación de árbol de decisión más rápida que una puntuación de árbol de decisión basada en *software* convencional. La implementación de *hardware* incluye uno o más procesadores de decisión, implementados como circuitería, que ejecutan programas de árbol de decisión. Un programa de árbol de decisión es un árbol de decisión que se
25 ha convertido en un programa u otros datos ejecutables por un procesador

de árbol de decisión. Un programa de árbol de decisión incluye una tabla de árbol de decisión, que incluye los varios nodos de decisión, identificadores de característica, valores de umbral, y valores de salida para un árbol de decisión. Algunas modalidades de los procesadores de árbol de decisión recorren árboles de decisión en una forma de etapas múltiples y/o de secuencias múltiples. En modalidades de secuencias múltiples, cada etapa del procesador de árbol de decisión ejecuta una secuencia de árbol de decisión diferente; de esa forma un procesador de árbol de decisión de secuencias múltiples de etapa n ejecuta concurrentemente porciones de hasta n árboles de decisión por ciclo.

Las modalidades incluyen procesos, sistemas, y aparatos para codificar, comprimir, y/o recopilar árboles de decisión que se van a ejecutar dentro de un procesador de árbol de decisión. En varias modalidades, se eliminan indicadores de árboles de decisión al disponer los nodos de manera que algunos de los nodos con ramificaciones entre ellos en el árbol de decisión estén adyacentes en el nodo particular en la tabla de árbol de decisión. Otros nodos son identificados con siguientes datos de nodo, tal como valores desplazados o delta. Valores de hoja son parte de las representaciones de nodo de árbol de decisión, en lugar de parte de entradas de nodo de hojas separadas.

En algunas modalidades, el valor de característica y compresión de valor de umbral reduce el ancho de banda y requisitos de almacenamiento para un sistema de puntuación de árbol de decisión, mientras también aumenta el tamaño de cargas de trabajo que las modalidades son capaces de manejar. En algunas modalidades de la presente descripción, una lista

clasificada se crea para cada valor de umbral con el que se compara una característica particular en uno o más árboles de decisión, e indicios de valor de umbral son asignados a los valores de umbral. Aunque el número total de posibles umbrales es alto (por ejemplo, representado en algunas modalidades por un número de punto flotante de 32 bits), el número total de umbrales reales para una característica particular en una pluralidad de árboles de decisión es en práctica mucho más pequeño, usualmente no mayor a 255 umbrales (aunque son posibles números más grandes de umbrales). Se crea un índice de valor de umbral de número entero pequeño de punto fijo denso o no denso. El índice de valor de umbral pueden ser números de cero al número total de umbrales, y de esa forma pueden representarse por un valor de punto fijo de 4 bits, 8 bits, u otro de n bits. En otras modalidades, el índice de valor de umbral pueden ser números negativos, y puede incluir valores de número entero no contiguos, tal como 0, 2, 4, 6, u otros valores de número entero no contiguos. Valores de característica también son codificados como indicios de valor de característica de punto fijo de n bits, de manera que comparaciones de los indicios de valor de umbral a los indicios de valor de características sean equivalentes a comparaciones a los valores de característica no comprimidos, originales.

En algunas modalidades, se implementa una pluralidad de procesadores de árbol de decisión en paralelo a uno o más circuitos de lógica especializada o programable. En algunas modalidades, la pluralidad de procesadores de árbol de decisión ejecuta, o ejecuta concurrentemente, árboles de decisión con respecto a un vector de característica común. En

el nivel superior de la arquitectura en chip se encuentra un calificador de árbol de decisión (DTS) que recibe vectores de característica (por ejemplo, conjuntos de valores de característica) de un anfitrión de sistema o sistema de procesamiento de cómputo ascendente, envía los factores de
5 característica a un primer grupo de árbol de decisión (DTC), recibe calificaciones de los grupos de árbol de decisión, y envía el resultado al anfitrión o a otro sistema descendente. En el siguiente nivel la jerarquía, una pluralidad de grupos de árbol de decisión (DTC) distribuye vectores de característica entre ellos mismos y propaga puntuaciones de procesadores
10 de árbol de decisión a DTC vecinos y a DTS. En el siguiente nivel de la jerarquía, los DTC incluyen uno o más procesadores de árbol de decisión, y uno o más mosaicos de almacenamiento de característica (FST). Los procesadores de árbol de decisión pueden ser de secuencia múltiple para ejecutar concurrentemente múltiples árboles de decisión con respecto a
15 vectores de características comunes. El FST almacena vectores de característica que se van a calificar contra la pluralidad de árboles de decisión, en algunas modalidades son amortiguados de manera doble para permitir que se escriba un conjunto de características al FST mientras otro grupo de característica se accede por los procesadores de árbol de
20 decisión para calificación.

Las modalidades aquí descritas son factibles a implementación de *hardware* especializado tal como en una ASIC, o en dispositivos de lógica programable tal como FPGA. Varios aspectos de modalidades también son factibles e implementación en un procesador de núcleo múltiple, un
25 sistema en chip (SoC) (por ejemplo, uno o más núcleos de puntuación de

árbol de decisión en un SoC), y/o como un procesador de propósito general con un conjunto de instrucción extendido, y de esa forma capaces de ejecutar parcial o completamente árboles de decisión en respuesta a una o más instrucciones de procesador atómico. Los dispositivos, procesos, y sistemas aquí descritos pueden implementarse en un número de formas. A continuación se proporcionan implementaciones ilustrativas con referencia a las siguientes figuras.

Sistema de calificación de árbol de decisión ilustrativo

La Figura 1 es un diagrama de bloques de un sistema de calificación de árbol de decisión ilustrativo 100 que incluye uno o más calificadores de árbol de decisión implementados por *hardware* 102 de acuerdo con varias modalidades. Un anfitrión 104 incluye un codificador de árbol de decisión 106 para codificar árboles de decisión en contextos de modelo 108 para ejecución en los calificadores de árbol de decisión 102. Como se describe en más detalle a continuación, el codificador de árbol de decisión 106 representa árboles de decisión que utilizan nodos de longitud variable, en donde se eliminan indicadores de subárbol con adyacencias y desplazamientos, valores de hojas se incluyen en las representaciones de nodo, y valores umbral se codifican como valores de índice de umbral. El codificador de árbol de decisión 106 reduce los tamaños de los árboles de decisión, para permitir que más de ellos se carguen sobre el calificador de árbol de decisión 102. El codificador de árbol de decisión 106 también puede o alternativamente comprime los datos de árbol de decisión (o datos de árbol de decisión codificados) de los contextos de modelo 108

utilizando otras técnicas de compresión. En estas modalidades, el calificador de árbol de decisión 102 u otra lógica en chip está configurada para descomprimir el árbol de decisión comprimido o datos de árbol de decisión codificados para calificación en el calificador de árbol de decisión 102.

En anfitrión 104 también incluye un codificador de vector de característica 110 que codifica valores de característica dentro de vectores de característica 112 para reducir los requisitos de ancho de banda y almacenamiento de los calificadores de árbol de decisión 102, para hacer los vectores de características 112 compatibles con los contextos de modelo codificados 108, y para colocar los contextos de modelo 108 y los vectores de característica 112 en una forma más fácilmente procesada por *hardware* especializado como se describe en varias modalidades aquí. Como se describe en más detalle en otra parte dentro de esta descripción detallada, el codificador de vector de característica 110 selecciona valores de índice de característica para las características de manera que comparaciones de los valores de índice de característica a valores de índice de umbral dentro de los contextos de modelo 108 sean equivalentes a comparaciones de los valores de características correspondientes y valores de umbral.

El anfitrión 104 incluye un programador de calificación de árbol de decisión 114 que programa trabajos de calificación de árbol de decisión. El anfitrión 104 recibe o determina varios de los vectores de características 112 que se van a calificar contra varios otros de los contextos de modelo 108. Un conjunto ilustrativo de trabajos de calificación de árbol de decisión

incluye:

Vector de característica 1/contexto de modelo A

Vector de característica 2/contexto de modelo B

Vector de característica 3/contexto de modelo A

5 Vector de característica 4/contexto de modelo B

Debido a que toma generalmente más tiempo cargar un nuevo contexto de modelo en el calificador de árbol de decisión 102 de lo que toma cargar un nuevo vector de característica de calificador de árbol de decisión 102, el programador de calificación de árbol de decisión 114
10 redistribuye los trabajos de calificación de decisión para reducir el número de veces que se carga un nuevo contexto de modelo 108 en el calificador de árbol de decisión 102. Continuando con el ejemplo anterior, los trabajos de calificación de árbol de decisión se disponen como a continuación:

Vector de característica 1/contexto de modelo A

15 Vector de característica 2/contexto de modelo A

Vector de característica 3/contexto de modelo B

Vector de característica 4/contexto de modelo B

En el campo de búsqueda, un contexto de modelo es un conjunto de árboles de decisión asociados con un tipo de búsqueda que se realiza.
20 Ejemplos de contextos de búsqueda que utilizan diferentes conjuntos de árboles de decisión son lenguaje (búsqueda en consultas de idioma inglés pueden realizarse utilizando un contexto de modelo diferente que búsquedas realizadas en consultas de idioma alemán), búsquedas de imagen, búsqueda de noticias, búsqueda de video, y así sucesivamente.
25 Otros contextos de búsqueda pueden llamar contexto de modelos

separados.

El anfitrión 104 está configurado para acoplarse de manera comunicativa a uno o más dispositivos de lógica especializados o programables 116 a través de interfaces de trayectoria de datos, tal como
5 interfaz de datos 118 y 120. Las interfaces 118 y 120 son, en varias modalidades, interfaces de expresión de interfaces de componente periférico (PCI-Express), u otros tipos de interfaces y especificaciones pueden utilizarse sin apartarse del alcance de modalidades. La determinación del tipo de interfaz puede basarse en objetivo de ancho de
10 banda de interfaz, que a su vez pueden basarse en objetivos de rendimiento para el sistema de calificación de árbol de decisión 100. En un ejemplo particular, en donde una velocidad de procesamiento objetivo es una calificación de documento de microsegundo por búsqueda, utilizan técnicas de árbol de decisión y compresión de característica aquí descrita
15 resulta en un objetivo de ancho de banda de aproximadamente 2-8 KB por vector de característica (por ejemplo, por documento de resultado de búsqueda candidato), o aproximadamente 2-8 KB por segundo, PCI-Express es adecuado para este objetivo, aunque otros tipos de interfaz y especificaciones también pueden ser adecuados para éste u otros
20 objetivos. También pueden utilizarse múltiples interfaces en lugar de una interfaz de alta velocidad individual sin apartarse del alcance de las modalidades.

Como se describe en más detalle a continuación, el anfitrión 104 puede implementarse como una pluralidad de instrucciones de
25 programación ejecutables por uno o más procesadores de propósito

general de un sistema de cómputo. Sin embargo, uno o más aspectos del anfitrión 104 pueden implementarse en circuitos de lógica especializada o programable (tal como chips de ASIC o chips de FPGA).

El calificador de árbol de decisión 102 incluye uno o más grupos de
5 árbol de decisión 122. Los grupos de árbol de decisión 122 están configurados para distribuir los contextos de modelo 108 y los vectores de característica 112 entre ellos mismos. Alternativamente, o además, el calificador de árbol de decisión 102 puede incluir una red de interconexión para pasar los contextos de modelo 108 y/o los vectores de característica
10 112 a través del calificador de árbol de decisión 102. Los grupos de árbol de decisión 122 también están configurados para procesar y propagar calificaciones de árbol de decisión de grupos de árbol de decisión vecinos 122, así como de los procesadores de árbol de decisión 124 dentro de los grupos de árbol de decisión 122. Los grupos de árbol de decisión 122
15 están configurados para procesar las calificaciones recibidas de los procesadores de árbol de decisión 124 y grupos de árbol de decisión vecinos, que pueden incluir sumar las calificaciones de árbol de decisión, y propagar las calificaciones procesadas (por ejemplo, las calificaciones humanas) a otros grupos de árbol de decisión vecino 122, como se
20 describirá en más detalle en otra parte dentro de esta descripción detallada. El calificador de árbol de decisión 102 está configurado para recibir de uno o más de los grupos de árbol de decisión 122 una calificación final (por ejemplo, una escalada o una cantidad de vector) del trabajo de calificación de árbol de decisión y para enviar la calificación al
25 anfitrión 104, u otro dispositivo descendente.

Los procesadores de árbol de decisión 124 incluyen circuitería para ejecutar árboles de decisión de uno o más contextos de modelo 108, tal como en paralelo y concurrentemente contra uno común de los vectores de característica 112, o contra aquellos diferentes de los vectores de característica 112, dependiendo de la implementación. Aquellos diferentes del almacenamiento de característica 126 pueden almacenar ya sea uno común de las características 112 o diferentes vectores de característica 112. El almacenamiento de característica 126 dentro de cada grupo de árbol de decisión 122 puede almacenar aquellos iguales o diferentes de los vectores de característica 112.

Como se utiliza aquí, un procesador de árbol de decisión 124 incluye circuitería para almacenar un árbol de decisión. Un procesador de árbol de decisión 124 puede incluir tanto circuitería para almacenar un árbol de decisión, como el mismo código de árbol de decisión, representado como una tabla de árbol de decisión almacenado en alguna memoria accesible para el procesador de árbol de decisión 124. Una o más tablas de árbol de decisión pueden ser codificadas en los procesadores de árbol de decisión 124, almacenados en memoria dentro de los procesadores de árbol de decisión 124, o almacenados en memoria que de otra forma está asociada con y comunicativamente acoplada a los procesadores de árbol de decisión 124. La memoria en la que están almacenadas las tablas de árbol de decisión puede ser almacenamiento compartido dedicado, y puede ser memoria de acceso aleatorio (RAM), memoria flash, memoria de sólo lectura (ROM), u otro tipo de memoria. La memoria en la que son almacenadas las tablas de árbol de decisión pueden estar en matriz, tal

como memoria de matriz, o puede estar fuera del chip o memoria unida, de manera que pueda acoplarse comunicativamente a través de una interfaz de memoria de alta velocidad. Los contextos de modelo pueden residir conjuntamente dentro de la memoria compartida dedicada. En algunas modalidades, el anfitrión 104 puede proporcionar los contextos de modelo 108 a los calificadores de árbol de decisión 102, y/o a una memoria en chip o unida. El anfitrión 104, cuando programa una carga útil, puede proporcionar los calificadores de árbol de decisión 102 con una indicación del contexto de modelo 108 que debe cargarse o de otra forma accederse y ejecutarse por los procesadores de árbol de decisión 124. En algunas modalidades, puede haber dos niveles de memoria que almacenan tablas de árbol de decisión; un primer nivel de memoria (que puede ser memoria en chip o unida, y puede compartirse o dedicarse a uno o más procesadores de árbol de decisión 124) se carga o se puede cargar con una tabla o tablas de árbol de decisión particulares que se van a ejecutar de conformidad con un requisito de carga de trabajo actual. Un segundo nivel de memoria (que puede ser en chip o en memoria unida, compartida o dedicada a uno o más procesadores de árbol de decisión 124) puede almacenar uno o más contextos de modelo residentes conjuntos, todos o porciones que se pueden cargar en el primer nivel de memoria de tabla de árbol de decisión.

El anfitrión 104 puede proporcionar uno común de los vectores de característica 112 a una pluralidad de dispositivos de lógica especializada o programable 116, y también proporcionar tablas de árbol de decisión de un contexto de modelo individual 108 a la pluralidad de dispositivos de

lógica especializada o programable 116. De esa forma, los grupos de árbol de decisión individuales 112 y procesadores de árbol de decisión 124 a través de una pluralidad de dispositivos de lógica especializada o programable 116 pueden calificar árboles de decisión de un contexto de modelo individual 108 contra uno común de los vectores de característica 112. Los datos de puntuación de cada uno de la pluralidad de dispositivos de lógica especializados o programables 116 puede propagarse dentro de cada uno de la pluralidad de dispositivos de lógica especializada o programable 116 como se describe en otra parte dentro de esta descripción detallada, y también pasarse de nuevo al anfitrión 104. En algunas modalidades, los datos de calificación pueden pasarse de un primer dispositivo de lógica especializada programable 116 a otro dispositivo de lógica especializada programable 116, que entonces además puede propagar los datos de puntuación (tal como al sumar o anexar puntuaciones, o anexas sumas de puntuaciones) para producir datos de puntuación combinados para ambos dispositivos de lógica especializada o programable 116.

Otros métodos para procesar datos de puntuación son posibles sin apartarse del alcance de modalidades. Por ejemplo, cada calificador de árbol de decisión 102 puede recibir calificaciones, o una lista de sumas de calificaciones, de los procesadores de árbol de decisión 124 y/o los grupos de árbol de decisión 122 dentro del calificador de árbol de decisión 102, y proporcionar un valor sumado final ya sea al anfitrión 104, otro dispositivo de lógica programable 116, o algún otro dispositivo descendente. El calificador de árbol de decisión 102 puede proporcionar las listas de

calificaciones (o sumas de calificaciones) al anfitrión 104, otro dispositivo de lógica programable 116, o al otro dispositivo descendente. El anfitrión 104, otro dispositivo de lógica programable 116, u otro dispositivo descendente puede realizar una calificación final del vector de característica 112, tal como al sumar las calificaciones o al realizar algún otro algoritmo para determinar una calificación final para el vector de característica 112, tal como con base en datos de calificación de uno o más de la pluralidad de dispositivos de lógica especializados programables 116.

En algunas modalidades, los dispositivos de lógica especializada programable 116 pueden ser, o estar incluidos en, uno o más circuitos integrados específicos de aplicación (ASIC), un dispositivo de lógica programable tal como una matriz de puerta programable de campo (FPGA), un sistema en un chip (SoC), como parte de un procesador de propósito general que tiene una porción especializada que califica árboles de decisión, algún otro dispositivo de lógica, o alguna combinación de los anteriores.

Procesador de propósito general con conjunto de instrucción extendido

En algunas modalidades, la arquitectura de conjunto de instrucción de un procesador de propósito general se extiende para incluir instrucciones de calificación transversales de árbol de decisión, y de estado. En algunas modalidades, el conjunto de instrucción extendido incluye una instrucción para recorrer un nodo en un árbol de decisión. En

algunas modalidades, el conjunto de instrucción extendido incluye una instrucción para recorrer una pluralidad de nodos, o para recorrer todo el árbol de decisión desde una raíz (nodo superior) a una hoja.

El estado que se puede utilizar por el procesador de propósito
 5 general con un conjunto de instrucción extendido para atravesar el árbol de decisión incluye representación de los nodos de árbol de decisión y los datos de vector de característica. Los nodos de árbol de decisión pueden ser representados en una estructura de datos, en instrucciones ejecutables, o en alguna otra forma. Como una estructura de datos, el
 10 árbol de decisión puede ser representado en un árbol que comprende uno o más nodos, los nodos comprenden identificadores de característica, valores de umbral, y datos de subárbol izquierdo y derecho, que pueden identificar nodos de subárbol izquierdos (respectivamente derechos) o nodos de hoja izquierdos (respectivamente derechos) o valores de
 15 calificación de hoja. Datos de un nodo particular pueden ser agrupados en bytes adyacentes, por ejemplo, un registro o *estructura* o *clase* o pueden extenderse a través de tablas. En donde los nodos de árbol de decisión son representados como una estructura de datos, un nodo de árbol se identifica por un valor de datos, por ejemplo, una matriz o
 20 indicador (dirección de máquina) del nodo. El atravesar un nodo de árbol en respuesta a una instrucción para recorrer uno o más nodos comprende iniciar con un identificador de nodo de árbol, recuperar la característica que identifica, compararla con el valor de umbral del nodo, y utilizar el resultado de comparación para determinar el identificador de nodo de árbol
 25 del subárbol izquierdo o derecho, u hoja derecha/izquierda de valor de

hoja. En algunas modalidades, una instrucción para recorrer un árbol, denominado aquí como una instrucción de RECORRIDO DE NODO, puede tomar dos parámetros, por ejemplo un registro que contiene un indicador al nodo de árbol y un registro que contiene un indicador al vector de característica en RAM, y puede producir los valores, por ejemplo, un registro que contiene ya sea un indicador al subárbol izquierdo o derecho (si no es un nodo de hoja) o que contiene el valor de salida (si es un nodo de hoja), así como un registro de código de condición que contiene un indicador que se establece en RECORRIDO DE NODO ha alcanzado el valor de hoja (que termina el recorrido de árbol). En el lenguaje de ensamble, un recorrido de árbol incluye:

```

    ;carga r1 con la dirección de nodo de raíz del árbol de decisión
    ;carga r2 con la dirección del vector de característica
    repetición:
15      r1 = RECORRIDO DE NODO r1,r2; recorrido de un nodo a su
        subárbol izquierdo o derecho; nodo
        repetición JNE; repetición hasta que se alcanza una hoja
        ;alcanzó una hoja; valor de salida de hoja está en r1
        Otra modalidad de RECORRIDO DE NODO agrupa la prueba de
20      circuito y brinca en una instrucción:
        ;carga r1 con la dirección del nodo raíz del árbol de decisión
        ;carga r2 con la dirección del vector de característica
        repetición 2:
        r1 = REPETICIÓN DE RECORRIDO DE NODO r1,r2 repetición 2;
25      recorrer un nodo, repetir; hasta; se alcanza una hoja

```

;alcanzó una hoja o, valor de salida de hoja está en r1

Otra modalidad recorre todo el árbol en una instrucción:

;carga r1 con la dirección del nodo de raíz del árbol de decisión

;carga r2 con la dirección del vector de característica

5 r = RECORRIDO DE ÁRBOL r1,r2; recorrer el árbol

;valor de salida de hoja está en r1

En algunas modalidades, se representa un árbol de decisión como una serie instrucciones transversales de árbol que se ejecutan por un procesador, que implementa instrucciones transversales de árbol de
10 decisión. Las instrucciones corresponden a un nodo en un árbol de decisión. Las instrucciones, representadas como secuencias de bit, comprenden campos de bit que incluyen un identificador de característica, un umbral, e identificadores de los nodos y/u hojas de subárbol izquierdos y derechos y valores de hoja. En esta modalidad, se identifica un modo de
15 árbol con una dirección de instrucción (código de máquina). Por lo tanto, un recorrido de árbol comprende ejecutar una instrucción de recorrido de nodo de árbol que cambia el flujo de control de programa para saltar al código para el subárbol izquierdo o derecho.

Por ejemplo, si un árbol de decisión está comprendido de dos nodos:

20 si (característica $10 \leq 11$) entonces

 si (característica $20 \leq 12$) entonces

 calificación: a;

 de otra manera

 calificación = b;

25 terminarsi

de otra manera

calificación = c;

terminarsi

Esto puede ser representado con este programa:

5 recorrido de árbol:

;carga r2 con la dirección del vector de característica

raíz:

r1 = NODO#10,#t1,#izquierdo,#0,#0,#c,#fin,r2

izquierdo:

10 r1 = NODO#20,#t2,#0,#0,#a,#b,#fin,r2

fin:

;valor de salida de hoja en r1

en donde las instrucciones de NODO codifican:

valor de salida de hoja = NODO #característica - identificador,
15 #umbral - valor, #dirección de subárbol izquierdo, #dirección de subárbol
derecho, #valor de salida de hoja izquierda, #valor de salida de hoja
derecha, #dirección de código de hoja, registro de dirección de vector de
característica

Los campos # son campos de bits del valor ónmediatoô de la
20 instrucción.

En esta modalidad un árbol de decisión se califica al ejecutar su
primera instrucción de nodo, que salta a la siguiente instrucción de nodo
izquierdo o derecho, y así sucesivamente, hasta que alcanza una hoja. Los
campos de bit de instrucción de nodo de raíz codifican el identificador de
25 característica (10), el valor de umbral (41), el subárbol izquierdo

(izquierdo), el subárbol derecho (nulo), el valor de hoja izquierda (nulo), y el valor de hoja derecho (c). En este ejemplo si la característica identificada es menor que o igual al umbral t1, entonces el control se transfiere a la segunda instrucción de NODO en la dirección izquierda

5 Estos campos de bit de instrucción codifican su identificador de característica (20), valor de umbral (t2), subárboles izquierdo y derecho (nulo), y los valores de salida de hoja izquierda y derecha (a y b, respectivamente). Si una instrucción de nodo avanza una hoja, entonces transfiere control al árbol especificado (extremo) y el índice de hoja o valor

10 de salida se obtiene en el registro de salida.

En otra modalidad, una instrucción transversal de árbol puede utilizar registros implícitos, registros de propósito especial, o ubicaciones de memoria para identificar el vector de característica y la dirección del nodo de hoja. En otras modalidades, puede emplear codificaciones de

15 instrucción de longitud variable para comprimir o eliminar campos de bit de instrucción (tal como cero campos de subárbol) que no se utilizan para representar un nodo de árbol de decisión particular. Otras modalidades pueden tomar ventaja de adyacencia de instrucciones en memoria para comprimir o eliminar campos de bit (tal como una dirección de subárbol

20 izquierda o derecha) en una forma similar a aquella previamente descrita.

En algunas modalidades, la memoria de estructura de datos de árbol de decisión, o la memoria de instrucción de árbol de decisión, pueden integrarse en el procesador de propósito general, almacenarse externamente a éste, o pueden acoplarse a la memoria externa a través de

25 una jerarquía de memoria caché.

Un procesador de propósito general con árbol de decisión transversal, instrucciones de calificación, y estado también puede acoplarse a una RAM de almacenamiento de característica. En algunas modalidades la RAM de almacenamiento de característica puede cargarse
5 automáticamente por una red de distribución de vector de característica como se describe en otra parte dentro de esta descripción detallada. En particular, pueden cargarse nuevos datos de característica en esta RAM por la red de distribución de vector de características sin requerir ejecución de cualquiera de las instrucciones por el procesador de
10 propósito general con conjunto de instrucciones extendido para recorrer árboles de decisión. Esto puede ahorrar tiempo y energía requerida para calificar un árbol de decisión.

Un procesador de propósito general con el árbol de decisión transversal, instrucciones de calificación, y estado también pueden
15 acoplarse a un sistema de agregación de calificación. Esto puede comprender registros adicionales, estado de secuencia, o una red de árbol de agregador, para acumular valores (calificaciones) de salida de hoja que resultan de instrucciones como recorrido de nodo, recorrido de árbol, o nodo para atravesar un nodo a un nodo de hoja. Esto también puede
20 ahorrar tiempo y energía requerido para calificar un árbol de decisión.

Codificación ilustrativa de árbol de decisión

La Figura 2 ilustra una codificación de árbol de decisión de acuerdo con varias modalidades de la presente descripción. Un árbol de decisión
25 ilustrativo 200 se ilustra en la Figura 2. Incluye una pluralidad de nodos de

decisión 202 y una pluralidad de nodos de hoja 204. Un nodo de decisión 202 incluye varias características, incluyendo un identificador de característica, que puede ser un índice, un número de índice, un número de referencia u otro identificador que identifica la característica que se
 5 compara en el nodo de decisión 202. El nodo de decisión 202 también incluye un valor de umbral al cual se compara el valor de característica (indicado a través del identificador de característica). El nodo de decisión 202 también incluye un indicador de ramificación izquierda y un identificador de ramificación derecha, que indica las ubicaciones en donde
 10 están localizados los siguientes nodos. Cada nodo de decisión 202 representa una comparación; por ejemplo, número de nodo 7 muestra ese valor de característica, identificado como característica "F1" se compara con el número de umbral 10. Otras comparaciones son posibles sin desviarse del alcance de modalidades.

15 Las modalidades aquí descritas se refieren a ramificación izquierda, ramificación derecha, nodos izquierdos, nodos derechos, etc. Pero estos términos se utilizan simplemente para la búsqueda de describir un árbol de decisión. En general, un algoritmo de recorrido de árbol de decisión realiza una comparación entre el valor de característica y el valor de umbral y
 20 procede ya sea a un primer nodo o a un segundo nodo dependiendo del resultado de la comparación. Para facilidad de descripción, estos siguientes nodos son indicados aquí como nodos izquierdos y nodos derechos, pero no se va a tomar esto en un sentido literal o limitante.

Un nodo de hoja 204 incluye un valor de hoja. Cuando un algoritmo
 25 de recorrido de árbol de decisión alcanza un nodo de hoja 204, el caso

particular de recorrer el árbol de decisión se completa, y el valor de hoja correspondiente al nodo de hoja particular 204 llega en esta salida.

El codificador de árbol de decisión 106 codifica el árbol de decisión 200. El codificador de árbol de decisión 106 crea una tabla de árbol de
5 decisión 206 para cada árbol de decisión dentro de un contexto de modelo. En la tabla de árbol de decisión 206, se eliminan al menos algunos indicadores de ramificación con adyacencias. De esa forma, el Nodo 1 en el árbol de decisión 200 se codifica en la tabla de árbol de decisión como estando antes del Nodo 2. El Nodo 3 es enlistado después del Nodo 2, y el
10 Nodo 4 es después del Nodo 3. De esa forma, durante la ejecución de los Nodos 1-3 dentro de la tabla de árbol de decisión 206, un procesador de árbol de decisión, tal como uno de los procesadores de árbol de decisión 124, sabe seleccionar, con base en el resultado de una comparación del valor de característica al valor de umbral, ya sea al siguiente nodo
15 adyacente en la tabla de árbol de decisión 206 u otro lado, indicado por los siguientes datos de nodo tal como un valor de desplazamiento, como un siguiente nodo que se va a ejecutar por los procesadores de árbol de decisión. De esa forma, con base en las adyacencias ilustrativas ilustradas en la Figura 2, los resultados de ejecutar nodo de decisión de la tabla de
20 árbol de decisión 206 que indican seleccionar el resultado de ramificación izquierda al seleccionar el nodo adyacente como el siguiente nodo. De esa forma, en donde un nodo de decisión particular tiene una ramificación izquierda que lleva otro nodo de decisión (y nuevo nodo de hoja), el nodo adyacente en la tabla de árbol de decisión 206 es el siguiente nodo
25 izquierdo. Los siguientes nodos derechos son identificados utilizando los

siguientes datos de nodo, tal como valores de desplazamiento. Cuando no haya ningún nodo de decisión izquierdo (debido a que por ejemplo la ramificación izquierda lleva a un nodo de hoja), es posible que los siguientes nodos derechos estén adyacentes; tales nodos derechos
 5 también pueden ser identificados por los siguientes datos de nodo, tal como valores de desplazamiento, o puede asumirse que son adyacentes.

Además de disponer los nodos de decisión 202 dentro de la tabla de árbol de decisión 206 con base en adyacencias, el codificador de árbol de decisión 106 también incluye valores de nodo de hoja de nodos de hoja
 10 204 en la representación de los nodos de decisión 202 dentro de la tabla de árbol de decisión 206. Por ejemplo, el Nodo 7 es codificado por el codificador de árbol de decisión 106 de manera que su representación incluye un valor de hoja. Con base en el resultado de la ejecución del Nodo 7 (por ejemplo, con base en la comparación del valor delta
 15 característico un valor de umbral 10 como se muestra en la Figura 2), el procesador de árbol de decisión selecciona enviar el valor del nodo de hoja izquierdo o seleccionar nodo 8 como el siguiente nodo de decisión para procesamiento.

Los nodos de decisión 202 son representados dentro de la tabla de
 20 árbol de decisión 206 como nodos de decisión de longitud variable (algunos se muestran como siendo menores que otros para ilustrar esto). En un ejemplo, los siguientes campos se utilizan por el codificador de árbol de decisión 206 para codificar los nodos de decisión.

2 hojas: {logro_ad; info; L_hoja_val; R_Hoja_val} (72 bits)
 25 1 hoja: {logro_ad; info; L_hoja_val o R_Hoja_val} (48 bits)

0 hojas: {logro_ad; info; delta(opcional)} (24 o 36 bits)

Todas las representaciones de nodos de decisión 202 dentro de la tabla de árbol de decisión 206 incluyen un identificador de característica (ñlogro_ad) y campo de información (ñinfo). El identificador de característica identifica una ubicación dentro del almacenamiento de característica en donde el valor de característica (que puede ser un valor de índice de característica como se describe en otra parte dentro de esta descripción detallada) que se va a comparar con un umbral en la ejecución del nodo de decisión se encuentra. El identificador de característica puede ser una dirección u otro identificador que un procesador de árbol de decisión utiliza para buscar el valor de característica dentro del almacenamiento característica, tal como dentro del almacenamiento de característica 126. El campo de información incluye varios subcampos discutidos en más detalle a continuación.

Los nodos de decisión de dos hojas también incluyen un valor de hoja izquierda (ñL_hoja_val) y un valor de hoja derecha (ñR_hoja_val). Estos valores representan posibles resultados o salidas del árbol de decisión 200. Los nodos de decisión de una hoja incluyen uno de un valor de hoja izquierda (ñL_hoja_val) o un valor de hoja derecha (ñR_hoja_val). Un valor de hoja puede incluir varios tipos de datos, incluyendo número entero, punto fijo, punto flotante, o un índice que indica un valor único almacenado fuera de la tabla de árbol de decisión.

Un nodo de decisión sin hojas, tal como el Nodo 2, incluye un valor delta opcional que identifica en donde se localiza el nodo de decisión derecho. En este caso, el nodo de decisión izquierdo está localizado

dentro de la tabla de árbol de decisión 206 en la ubicación adyacente (por ejemplo, para el Nodo 2, el nodo de decisión izquierdo es el Nodo 3). El nodo de decisión derecho está localizado en una ubicación dentro de la tabla de árbol de decisión 206 que se puede identificar por el valor delta. El procesador de árbol de decisión procesa el valor delta para determinar el valor de nodo de decisión derecho. Por ejemplo, el procesador de árbol de decisión puede agregar el valor delta a un valor de ubicación (por ejemplo, un valor de índice o dirección) del nodo de decisión que se ejecuta actualmente para obtener valor de ubicación (por ejemplo, valor de dirección o índice) del siguiente nodo de decisión derecho. En algunos casos, el valor delta es incluido dentro del campo de información como se describe en más detalle a continuación. En estos casos, un valor delta separado no se incluye dentro de la representación de nodo.

En una implementación ilustrativa, el campo logro_ad es de 12 bits, el campo de informaciones es de 12 bits, el campo rdelta es de 12 bits, el valor de hoja izquierda es de 24 bits, y el valor de hoja derecha es de 24 bits.

El campo de información incluye varios subcampos que identifican el valor de umbral, ya sea que hay una hoja izquierda, en donde hay una hoja izquierda, y codifica desplazamiento común o valores delta para localizar el siguiente nodo derecho. Un ejemplo del campo de información es como a continuación:

Info: {nyb; x; l_hoja; r_hoja; umbral}

En algunas modalidades nyb es 1 bit que identifica si el valor de

característica es una palabra de 4 bits o una de 8 bits (por ejemplo, si el valor de característica es un `ñmordisco0`), el campo `x` es 1 bit, el `l_hoja` es 1-bit, el `r_hoja` es 1 bit, y el umbral es 8 bits, aunque pueden utilizarse otros tamaños de campo sin apartarse del alcance de modalidades. El

5 campo `l_hoja` indica si el nodo incluye un valor de hoja izquierda; de forma similar, el campo `r_hoja` indica si el nodo incluye un valor de hoja derecha. Como se observó anteriormente, el campo de información puede utilizarse para codificar el desplazamiento de nodo derecho o valor delta, eliminando con ello la necesidad de un campo delta separado en el nodo. En donde

10 `x=1`, los campos de `l_hoja` y `r_hoja` se utilizan para codificar cuatro valores de desplazamiento comunes. En un ejemplo particular, los campos de `l_hoja` y `r_hoja` se utilizan para codificar desplazamientos de 8 palabras, 12 palabras, 16 palabras, y 20 palabras (en donde una palabra = 12 bits en este ejemplo particular), aunque pueden codificarse otros valores de

15 desplazamiento sin apartarse del alcance de modalidades. En donde el valor de desplazamiento no puede ser codificado con uno de los valores de desplazamiento comunes dentro del campo de información, debido a que por ejemplo, el siguiente nodo derecho está en una ubicación que es uno de los valores de desplazamiento comunes lejos del nodo actual, se utiliza

20 el campo delta de desplazamiento separado opcional. En algunas modalidades, se almacenan múltiples árboles de decisión en una tabla de árbol de decisión, con codificación apropiada que identifica el número de árboles de decisión y/o ubicaciones del uno o más árboles de decisión dentro de la tabla de árbol de decisión.

25 En algunas modalidades, la tabla de árbol de decisión 206 también

incluye un encabezado DTT 408, que codifica varios aspectos de la tabla de árbol de decisión 206, tal como el número de árboles de decisión contenidos dentro de la tabla de árbol de decisión 206 y ubicaciones de partida para uno o más árboles de decisión dentro de la tabla de árbol de
5 decisión 206.

Compresión ilustrativa de umbral y característica

Dentro de un árbol de decisión dado, o dentro de una pluralidad de árboles de decisión tal como dentro de un contexto de modelo 108, los
10 nodos de decisión incluyen identificadores de característica y valores de umbral. En una ejecución de nodo de árbol de decisión ilustrativa, un valor de característica (leído del vector de característica en una ubicación indexada por el identificador de característica logro_ad se compara con un valor de umbral. La comparación puede ser una determinación de si el
15 valor de características es menor que o igual un valor de umbral. Si es así, entonces se selecciona la ramificación izquierda; si es así, entonces se selecciona la ramificación izquierda; si no es así, entonces se selecciona la ramificación derecha. Otros tipos de comparaciones son posibles sin apartarse del alcance de modalidades, tal como menor que, mayor que, o
20 mayor que o igual a. Aunque varios ejemplos de codificación de valor de característica y de valor de umbral descritos a continuación asumen que las comparaciones de árbol de decisión incluyen determinar si un valor de característica es menor que o igual al valor de umbral, puede realizarse codificación similar para valores de característica y valores de umbral con
25 base en otros tipos de comparaciones de árbol de decisión sin apartarse

del alcance de modalidades.

A través de una pluralidad de árboles de decisión, se hará referencia a una característica dada f_i en uno o más nodos. Los nodos que hacen referencia a una característica dada f_i incluirán uno o más de los valores de umbral tv_i . De esa forma, dentro de un contexto de modelo dado (por ejemplo, uno o más árboles de decisión), y para una característica particular f_i , el codificador de árbol de decisión 106 determina una lista ts_i de valores de umbral tv_i que representan valores fv_i que corresponden a una característica f_i particular que se comparan. Los valores de umbral no se comparan con una característica particular f_i y no se incluyen en la lista de la característica particular f_i (aunque se incluirán en otras listas para otras características). Para codificar los valores de umbral tv_i para un f_i particular dentro de un contexto de modelo, se utiliza el siguiente procedimiento.

Para cada característica f_i , el codificador de árbol de decisión 106 forma una lista clasificada ts_i de todos los valores de umbral únicos tv_i que se incluyen en cualquier nodo de cualquiera de los árboles de decisión de un contexto de modelo que también hace referencia a f_i . La Figura 3 ilustra una lista ilustrativa ts_i de valores de umbral únicos tv_i en una línea de número real 300. La lista clasificada ts_i únicamente incluye aquellos únicos de los valores de umbral tv_i ; de esa forma un umbral particular tv_i aparece en ts_i solo una vez, incluso si se incluyen múltiples nodos que hacen referencia a f_i dentro de un contexto de modelo dado.

Una codificación ilustrativa 302 de los valores de umbral tv_i en ts_i se muestran en la Figura 3. Números de índice tv_i se asignan a cada tv_i único

en la línea de número real 300 dentro de ts_i en orden ascendente, de manera que el tv_i más pequeño es asignado con el índice 0 y el tv_i más grande es asignado con un número de índice igual a 1 o menor que el número total de tv_i único dentro de ts_i . En el ejemplo mostrado en la Figura 3, el valor de umbral t_l es el tv_i más pequeño, y se asigna con el índice 0, mientras el valor de umbral t_6 es el tv_i más grande y se asigna con el valor de índice de umbral 5. En donde los valores de umbral son números grandes, la asignación de valores de índice de número entero de punto fijo tv_{i_i} reduce el número de bits requeridos para representar los umbrales dentro de las representaciones de nodo de árbol de decisión. Por ejemplo, los valores de umbral tv_i pueden ser números de punto flotante de 32 bits (aunque otros números de bits, y otros tipos de variables, pueden utilizarse sin apartarse del alcance de modalidades), y en el ejemplo ilustrado en la Figura 3, puede utilizarse tan poco como un número de 3 bits para representar los valores de índice de umbral tv_{i_i} (aunque pueden utilizarse otros números de bits para representar tv_{i_i} y los valores de índice de característica fv_{i_i} , como se describe en más detalle a continuación).

Además de codificar tv_i en tv_{i_i} , el codificador de característica 110 codifica los valores de característica fv_i que corresponden a f_i en los vectores de características 112 en valores de índice de característica fv_{i_i} de manera que sean compatibles con los valores de índice de umbral codificados tv_{i_i} . Cada vector de característica 112 incluye una lista de valores de característica fv_i para cada f_i . En algunas modalidades, los valores de característica fv_i se codifican en valores de índice de

característica fvi_i con base en los valores de índice de umbral tvi_i , y en particular se codifican de manera que resultados de las comparaciones de los valores de índice de umbral tvi_i a los valores de índice de característica fvi_i sean equivalentes a los resultados de comparar los valores de umbral 5 tv_i con los valores de característica fv_i . Al codificar valores de característica de esta forma, resulta la ejecución de árboles de decisión codificados dentro de los contextos de modelo 108 contra los vectores de característica codificados 112 que producen los mismos resultados que ejecución a base de *software*, convencional de los árboles de decisión con
 10 base en los valores de característica y los valores de umbral.

Continuando con el ejemplo ilustrado en la Figura 3, ejecución de los nodos de decisión de los árboles de decisión dentro de los contextos de modelo 108 se basan en determinar si un valor de característica fvi es menor que o igual al valor de umbral tv_i . Por lo tanto, en este ejemplo, los
 15 valores de característica fv_i se codifican en los valores de índice de característica fvi_i de manera que

$$fvi_i \leq tvi_i \text{ si y solo si } fv_i \leq tv_i$$

Más generalmente, los valores de característica fv_i se codifican en valores de índice de característica fvi_i de manera que

$$20 \quad fvi_i \text{ compara } tvi_i \text{ si y solo si } fv_i \text{ compara } tv_i$$

en donde comparar representa la función de comparación realizada durante ejecución del árbol de decisión (por ejemplo, uno de $\leq$, $\geq$, $<$, o $>$). En el ejemplo mostrado en la Figura 3, los valores de índice de característica fvi_i se seleccionan de manera que

$$25 \quad fvi_i \text{ es el entero mayor de manera que } fv_i \leq ts_i[fvi_i],$$

o de otra manera $fvi_i = \#tsi$ si $fi > tsi[\#tsi-1]$,

en donde $\#tsi$ es el número total de valores de umbral t_i asociados con una característica particular f_i dentro de un contexto de modelo particular (por ejemplo, todos los valores de umbral tvi en nodos que hacen referencia a la característica f_i). Dicho de otra forma, los valores de índice de característica fvi_i se seleccionan para ser (1) el valor de índice de umbral tvi_i que corresponde al menor de los valores de umbral tvi que es mayor que o igual al valor de característica fvi , o si todos los valores de umbral tvi son menores que la característica fvi , (2) un número que es mayor que el valor de índice de umbral más grande tvi_i . En el ejemplo mostrado anteriormente, el fvi_i correspondiente se selecciona para ser un número igual al número total de valores de umbral tvi , que es uno más grande que el tvi_i ; sin embargo, cualquier número mayor que el tvi_i mayor puede seleccionarse.

En el ejemplo ilustrado en la Figura 3, el codificador de vector de característica 110 codifica características ilustrativas f1-f6 como codificación 304. Con respecto a la característica f1, t_2 es el menor tvi que es mayor que o igual a f_1 , y de esa forma el valor de índice de característica fvi_i para f1 se establece para ser el mismo que el fvi_i para f2 (es decir, 1). Con respecto a la característica f6, ningún tvi es mayor que o igual a f_6 ; de esa forma el fvi_i de f6 se establece a un número mayor que el tvi_i más grande. En el ejemplo mostrado en la Figura 3, el fvi_i para t_6 se establece a 6, que es uno mayor que el tvi_i más grande, 5. También, en el ejemplo mostrado en la Figura 3, f4 se codifica como 3.

El número de bits seleccionados para codificar el tvi y el fvi asociado

con un fi particular es, en modalidades, suficientemente grande para incorporar $\#tsi$ (el número total de tvi único asociado con nodos de decisión que hacen referencia a fi). En algunas modalidades, uno de un conjunto de posibles longitudes de índice se utiliza para representar tvi y fvi que reduce la complejidad de codificar tvi y fvi . En un ejemplo particular, tvi y fvi se codifican como cualquiera de palabras de 4 bits, palabra de 8 bits, o como un múltiplo de palabras de 8 bits, aunque pueden utilizarse otras longitudes de palabras sin apartarse del alcance de modalidades. En un ejemplo particular, la longitud de palabras de índice se seleccionan de manera que

- Si $\lg(\#tsi) < 4$, volver a codificar tvi y fvi en 4 bits, en donde $\lg(x)$ es el logaritmo de x para la base 2.
- De manera que si $\lg(\#tsi)$, volver a codificar tvi y fvi en 8 bits
- De otra manera volver a codificar cualquiera de tvi y fvi con comparaciones de umbral $\#tsi > 255$ como $(\#tsi)/225$ separado de fi

En donde fi si se vuelve a codificar en $(\#tsi)/225$ separan fi , los nodos de decisión son registrados por el codificador de árbol de decisión 106 para indicar uno de los $(\#tsi)/225$ separados fi , y los valores de umbral correspondientes tvi de los nodos se vuelven a codificar por consiguiente. En un ejemplo específico, un fi con 1259 tvi dentro de tsi totales resultan nodos asociados con el fi particular siendo codificado de nuevo en uno de cinco nodos diferentes, cada uno con fi separado y umbrales de 8 bits. De esa forma, $fvi_i=0$ se codifica como (0, 0, 0, 0, 0) (por ejemplo, se codifica como 0 para todo los fi separados que el fi original se divide en); $fvi_i=255$ es codificado como (255,0,0,0,0) (por ejemplo, 255 para los primeros de

los fi separados y 0 para todos los otros de los fi separados); $fvi_i=256$ es codificado como (255,1,0,0,0) (con ejemplo, 255 para los primeros del fi separado, 1 para los segundos fi separados y 0 para todos los otros); $fvi_i=1258$ es codificado como (255, 255, 255, 255, 238). Valores de umbral tvi para el fi separados también se codifican en una forma similar.

Arquitectura paralela

La Figura 4 ilustra la arquitectura 400 del calificador de árbol de decisión 102 implementado en un circuito integrado especializado o un circuito integrado programable de acuerdo con varias modalidades. La arquitectura 400 incluye una pluralidad de grupos de árbol de decisión (DTC) 122 dispuestos en una rejilla. Los DTC 122 están configurados para recibir contextos de modelo 108 y vectores de característica 112 desde el calificador de árbol de decisión 102. Los DTC 122 incluyen subgrupos de una pluralidad de procesadores de árbol de decisión 124 y subgrupos de almacenamiento de característica 126. Los subgrupos de procesadores de árbol de decisión 124 pueden cargarse y/o se pueden cargar con tablas de árbol de decisión iguales o diferentes como otro subgrupo de los procesadores de árbol de decisión, y los subgrupos del almacenamiento de característica 126 pueden encargarse o se pueden encargar con vectores de característica iguales o diferentes (por ejemplo, se pueden cargar con vectores de característica comunes).

Los DTC 122 pueden recibir los vectores de característica 112 desde primeros DTC vecinos 122 y distribuir los segundos vecinos de los DTC 122. En ejemplo, DTC 122-A está configurado para recibir vectores de

característica 122 del DTC 122-C, y para distribuir aquellos vectores de característica 112 a DTC 122-C y 122-D como se ilustra por las flechas en la Figura 4.

De forma similar, los DTC 122 pueden recibir datos de calificación de primeros de DTC vecinos 122 y propagarlos a segundos vecinos de los DTC 122. Los datos de calificación se pueden basar en calificaciones de árbol de decisión individual, como enviados por diferentes procesadores de árbol de decisión 124 (tal como contra un grupo de característica común). Los datos de calificación pueden ser una lista de calificaciones, una suma de las calificaciones, o algún otro dato de calificación que se basa en las calificaciones individuales (tal como una multiplicación de las calificaciones individuales, o algún otro algoritmo para calificaciones de procesamiento). Las listas de calificaciones pueden ser listas de calificaciones de resultados de árbol de decisión individuales, o lista de calificaciones procesadas. Por ejemplo, todas las calificaciones de un grupo de árbol de decisión particular 122 se pueden sumar, y anexar una lista de todas las listas de calificaciones de DTC 122 de manera que datos de puntuación finales incluyan una lista calificaciones humanas de cada DTC 122. En otro ejemplo, todas las puntuaciones de los árboles de decisión ejecutados por un procesador de árbol de decisión individual 124 se pueden sumar, y las calificaciones sumadas de todos los procesadores de árbol de decisión pueden enlistarse en datos de calificación final, y así sucesivamente. Otras formas de propagar los datos de calificación pueden utilizarse sin apartarse del alcance de modalidades. En algunas modalidades, datos de calificación procesados o sin procesar de cada DTC

122, grupos de DTC 122, procesadores de árbol de decisión 124, grupos de procesadores de árbol de decisión 124, árboles de decisión individuales, grupos de árboles de decisión se proporcionan al DTC 400 en alguna otra forma (tal como en una red de salida separada), y no se
5 propagan de DTC vecinos 122 como se describe aquí.

En el ejemplo mostrado en la Figura 4, el DTC 122-E está configurado para recibir datos de calificación de DTC vecino 122-F y 122-G. El DTC 122-E está configurado para recibir datos de calificación de DTC vecinos 122-F y 122-G junto con datos de calificación proporcionados
10 por los procesadores de árbol de decisión (tal como los procesadores de árbol de decisión 124) dentro de DTC 122-E, procesar los datos de calificación para determinar datos de calificación combinados (tal como al sumar las calificaciones, anexar las calificaciones a una lista de calificaciones individuales, o procesar los datos de calificación de alguna
15 otra forma), y pasar los datos de calificación combinados a DTC vecinos 122-H, que realiza funciones similares, y así sucesivamente hasta que se propagan todas las calificaciones a una final de los DTC 122, que pasa los datos de calificación finales al DTC 102. Más generalmente, los DTC 122 están configurados para preparar datos de calificación de manera que las
20 calificaciones no se puedan contar al doble. Por ejemplo, un patrón particular de propagación de calificación a través del DTC 102 evita que cualquiera de los DTC 122 reciba dos calificaciones de dos DTC vecinos 122 en donde se han procesado las mismas calificaciones.

En algunas modalidades, cargar un contexto de modelo en la
25 arquitectura de calificador de árbol de decisión 400 incluye cargar

diferentes tablas de árbol de decisión en diferentes mosaicos de árbol de decisión dentro de los DTC 122, incluyendo una pluralidad de árboles de decisión distribuidos a través de los procesadores de árbol de decisión de los DTC 122 de la arquitectura de calificador de árbol de decisión 400. En estas modalidades, cada uno de los árboles de decisión cargados en los DTC 122 produce una calificación separada con base en un vector de característica común.

En algunas modalidades, diferentes tablas de árbol de decisión cargadas al mismo tiempo en la arquitectura de árbol de decisión 400 pueden ser parte de un contexto individual 108 o parte de diferentes contextos de modelo 108. En algunas modalidades, múltiples modelos de árbol de decisión se codifican en un contexto de modelo individual. En un ejemplo, dos modelos pueden ser similares pero tienen algunas diferencias. Los árboles de decisión para los dos modelos se modifican ligeramente para introducir nuevos nodos de decisión para seleccionar cualquiera del modelo 1 o modelo 2. Además, características apropiadas en los vectores de característica para seleccionar ya sea el modelo 1 o el modelo 2.

En algunas modalidades, la carga de un vector de característica en la arquitectura de calificador de árbol de decisión 400 incluye cargar los mismos valores de vector de característica en cada uno de los mosaicos de almacenamiento de característica de los DTC 122. De esa forma, la pluralidad de árboles de decisión de los DTC, que en modalidades son diferentes entre sí, se califican contra el mismo conjunto de características, con todas las calificaciones procesadas (por ejemplo,

sumadas) y propagadas de nuevo al DTS 102.

En otras modalidades, varios de los DTC 122 se cargan con los mismos árboles de decisión, de manera que ejecutan los mismos árboles de decisión con modelos de los DTC 122. Pueden cargarse diferentes
5 vectores de característica en diferentes DTC de manera que los árboles de decisión se ejecutan contra diferentes vectores de característica. En algunas modalidades, los DTC 122 se cargan con diferentes vectores de característica y el mismo árbol de decisión, o grupo de árboles de decisión, se cargan en la arquitectura de calificador de árbol de decisión
10 400. En estas modalidades, cada DTC 122 se carga con un grupo diferente de uno o más vectores de característica. Los árboles de decisión se califican contra los vectores de característica y calificaciones se acumulan durante el tiempo para los vectores de característica a medida que todos los árboles de decisión de un contexto de modelo fluyen pasando los
15 vectores de característica y se ejecutan. En estas modalidades, los DTC 122 pueden configurarse para mantener calificaciones para los vectores de característica hasta que todos los árboles de decisión del contexto de modelo se cargan y ejecutan contra los vectores de característica; alternativamente, calificaciones de árbol de decisión individuales se
20 transmiten al anfitrión 104, que acumula y procesa calificaciones por un vector de característica particular.

Incluso en otras modalidades, diferentes grupos de los DTC 122 se cargan con diferentes trabajos de árbol de decisión (por ejemplo, combinaciones de contextos de modelo y vectores de característica). De
25 esa forma, una primera porción de la arquitectura de calificador de árbol

de decisión 400 determina calificaciones para un primer vector de característica contra un primer contexto de modelo, una segunda porción de la arquitectura de calificador de árbol de decisión 400 determina una calificación para un segundo vector de característica contra un segundo contexto de modelo, y así sucesivamente con una N ésima posición de la arquitectura de sensor de árbol de decisión 400 que determina una calificación para un N ésimo vector de característica contra un N ésimo contexto de modelo. En estas modalidades, los DTC 122 de cada porción se cargan con árboles de decisión de un contexto de modelo, y vectores de característica distribuidos uno por uno dentro de las porciones para calificación, los DTC 122 de cada porción se cargan con diferentes vectores de característica, y los árboles de decisión del contexto de modelo se distribuyen uno por uno dentro de las porciones para calificación.

El número de DTC 122 dentro de la arquitectura de calificador de árbol de decisión 400 puede aumentar a un número arbitrariamente grande, dependiendo del tamaño y capacidades del circuito integrado en el cual se implementa la arquitectura de calificador de árbol de decisión 400.

En algunas modalidades, se utiliza más de una arquitectura de calificador de árbol de decisión 400, cada uno con su propio conjunto de DTC 122 ejecutando en paralelo. En estas modalidades, un contexto de modelo individual puede cargarse sobre DTC 122 en uno o más chips, y vectores de característica distribuidos a los DTC 122 de los diferentes chips uno por uno para calificación. En otras modalidades, diferentes vectores de característica se cargan en los DTC 122 de los diferentes

chips, con diferentes árboles de decisión de los contextos de modelo distribuidos uno por uno en cada uno de los DTC 122 para calificación. En varias otras modalidades, pueden utilizarse combinaciones de estos aspectos para diferentes porciones de la arquitectura de calificador de árbol de decisión de chips múltiples combinada 400.

En algunas modalidades, la determinación de una calificación general o combinada para el contexto de lo cargado en la arquitectura de calificador de árbol de decisión 400 se basa en una función asociativa, tal como adición o multiplicación, en donde el orden en el cual se agrupan las calificaciones no es determinante del resultado. De esa forma, la distribución de los árboles de decisión con aquellos de DTC 122 no es necesariamente importante para producir la calificación final o combinada correcta para un vector de característica particular contra los árboles de decisión del contexto de modelo cargado en la arquitectura 400. En otras modalidades, el procesamiento de las calificaciones para un vector de característica y trabajo de calificación de árbol de decisión de contexto de modelo no es asociativo, y un orden en el cual se distribuyen los árboles de decisión y/o vectores de decisión a través de la arquitectura es importante para determinar la calificación final o combinada de un vector de característica particular.

Vectores de características 112, tablas de árbol de decisión de un contexto de modelo 108, y/o datos de calificación pueden distribuirse a los DTC 122 y/o procesadores de árbol de decisión 124 a través de una o más redes, internas a los dispositivos de lógica especializada programable 116. Uno o más de los DTC 122, los procesadores de árbol de decisión 124, y

los varios almacenamientos de característica 126 se pueden abordar con encabezados de paquete. Sin importar el método de distribución para tablas de árbol de decisión que se pueden cargar en almacenamiento compartido o dedicado para los procesadores de árbol de decisión 124, las

5 tablas de árbol de decisión pueden transmitirse individualmente (tal como a través de paquetes) y dirigirse a aquellos de los DTC 122 o procesadores de árbol de decisión 124, o las tablas de árbol de decisión pueden distribuirse juntas. La lógica dentro del anfitrión 104 y/o el calificador de árbol de decisión 102 puede determinar una distribución de las tablas de

10 árbol de decisión individuales entre los DTC 122 y los procesadores de árbol de decisión 124. Además, los DTC 122 pueden incluir lógica para distribuir tablas de árbol de decisión a aquellos individuales de los procesadores de árbol de decisión 124.

La Figura 4 ilustra un ejemplo de una red para distribuir

15 calificaciones y vectores de característica a los procesadores de árbol de decisión del sistema de procesador múltiple en chip. En particular, los DTC 122 actúan como elementos de red para agregar/procesar los datos de calificación y vectores de característica. En otras modalidades, otros tipos de red se emplean para distribuir las calificaciones y/o los vectores de

20 característica a los procesadores de árbol de decisión y/o el almacenamiento de característica. En estas otras modalidades, los grupos de árbol de decisión 122 pueden o no incluirse como parte de la arquitectura. En una modalidad, los procesadores de decisión pueden ser dispuestos en una red de procesadores de árbol de decisión, y

25 calificaciones y/o vectores de característica pueden distribuirse a través

de los procesadores de árbol de decisión directamente, y eventualmente al calificador de árbol de decisión u otro elemento de agregación de calificación. En otras modalidades, una red de difusión, que puede ser un conductor común, red, punto a punto, concentrador y rayo, u otra topología, puede conectar a los procesadores de árbol de decisión (y/o grupos de árbol de decisión 122) al calificador de árbol de decisión u otro elemento que proporciona los vectores de característica y/o recibe/acumula/procesa calificaciones de los procesadores de árbol de decisión. En otras modalidades, una red en un chip (NOC), que puede tener otros propósitos tal como distribuir datos de configuración a elementos de FPGA u otra función, pueden reutilizarse para distribuir vectores de característica y/o proporcionar datos de calificación desde los procesadores de árbol de decisión al calificador de árbol de decisión u otro elemento de agregación de calificación.

Un elemento de agregación de calificación puede recibir y acumular datos de calificación desde los procesadores de árbol de decisión y/o los grupos de árbol de decisión 122. El elemento de agregación de calificación puede procesar los datos de calificación, que pueden incluir sumar los datos de calificación, anexar los datos de calificación a una lista de vector de puntuaciones, realizar algún otro algoritmo para calcular una calificación con base en los datos recibidos, y así sucesivamente. El elemento de agregación de calificación puede pasar los datos de calificación, ya sea procesados o en forma sin procesar, o un anfitrión u otro elemento descendente.

Las modalidades pueden incluir redes separadas, uno o más datos

de calificación y los otros vectores de característica. De esa forma, en diferentes modalidades, una red puede ser una red de característica, una red de agregación de calificación, o ambas. En algunas modalidades, los grupos de árbol de decisión 122 pueden actuar como elementos de red para una o más de la red de característica o la red de calificación. Son posibles otros ejemplos sin apartarse del alcance de modalidades.

La Figura 5 ilustra la arquitectura 500 de un grupo de árbol de decisión 122 implementado en un circuito integrado especializado o un circuito integrado programable de conformidad con varias modalidades. La arquitectura 500 incluye uno o más procesadores de árbol de decisión 124 y uno o más almacenamientos de característica 126. La arquitectura ilustrativa 500 ilustrada en la Figura 5 ilustra cinco procesadores de árbol de decisión 124 y un almacenamiento de característica 126, aunque otros números de procesadores de árbol de decisión 124 y almacenamientos de características 126 se utilizan en varias otras modalidades.

El DTC 122 incluye un registro de conductor común de entrada de característica para recibir vectores de característica para almacenamiento en el almacenamiento de característica 126, por ejemplo, un registro de conductor común de entrada de característica de 64 bits. El DTC 122 incluye un registro de salida de calificación para acumular y enviar calificaciones de soporte para salida a aquellos del DTC 122, por ejemplo, un registro de salida de calificación de punto fijo de 33 bits. Un árbol añadidor del DTC 122 totaliza las calificaciones de los procesadores de árbol de decisión 124 y de uno o dos o más de DTC vecinos 122. Los procesadores de árbol de decisión 124 envían indicadores hechos con

todas las secuencias de árbol de decisión que se ejecutan ahí se han completado y envían calificaciones. El DTC 122 acumula los indicadores hechos, y después del árbol añadidor que agrega las calificaciones de DTC vecino 122 a las calificaciones de los procesadores de árbol de decisión 124, el DTC 122 envía las calificaciones a uno o más DTC vecinos 122. En este punto, los DTC 122 también pueden enviar señales de finalización a sus DTC ascendentes 122, tal como a través de una red de señal de finalización, que puede ser la misma que o diferente de las redes de interconexión dentro del DTC 102 para distribuir vectores de característica, datos de calificación, y/o datos de tabla de árbol de decisión. En el caso de un DTC final 122, las calificaciones y señales de finalización se envían al DTS 102. Después de recibir las señales de finalización, los DTC 122 y el calificador de árbol de decisión 102 determinan que los DTC de enlace ascendente 122 han completado su ejecución de árbol de decisión y que todas las calificaciones disponibles se reciben en un conductor común de entrada, esas calificaciones ya no se está esperando que se reciban más calificaciones, y las calificaciones ya van a ser agregadas a calificaciones de los procesadores de árbol de decisión 124 y propagadas a DTC de enlace descendente 122 y/o calificador de árbol de decisión 102.

El almacenamiento de característica 126 es, en estas modalidades, amortiguado doblemente para permitir a un grupo de características cargarse en el almacenamiento de característica 126 mientras otro grupo de característica se lee por los procesadores de árbol de decisión 124. En un ejemplo, el almacenamiento de característica 126 incluye dos puertos de escritura de 32 bits, permitiendo que el almacenamiento de

característica 126 reitere 64 bits de datos de característica en 250 MHz. En un ejemplo, el almacenamiento de característica 126 incluye dos puertos de lectura de 32 bits para permitir al almacenamiento de característica 126 recibir dos características de 8 bits por ciclo. El almacenamiento de característica 126 recibe un identificador de característica de los procesadores de árbol de decisión 124 y responde con un valor de característica, por ejemplo, un valor de característica de 8 bits, y un indicador.

En algunas modalidades, el espacio de almacenamiento en el almacenamiento de característica 126 se reduce por captura selectiva de subconjuntos de los vectores de característica que se utilizan por los procesadores de árbol de decisión 124 del grupo de árbol de decisión particular 122. No todas las características dentro de los vectores de característica 112 se indicarán por los árboles de decisión de un grupo de árbol de decisión particular 122; de esa forma, el espacio de almacenamiento en el almacenamiento de característica 126 se reduce, en algunas modalidades, al solo capturar esos valores de característica que se indican realmente por los árboles de decisión ejecutados por procesadores de árbol de decisión 124 del DTC particular 122. De esa forma, las porciones de los vectores de característica que se van a almacenar por un almacenamiento de característica particular 126 pueden denominarse en un paquete dirigido al almacenamiento de característica 126, o al DTC 122 en el que está incluido el almacenamiento de característica particular 126. El almacenamiento de característica 126 puede proporcionarse con una máscara, tal como un paquete abordado

para el almacenamiento de característica 126 o el DTC 122, que identifica las porciones del vector de característica para almacenar selectivamente.

Como se describirá en más detalle a continuación, los procesadores de árbol de decisión 124 son motores de recorrido de árbol de secuencia múltiple, capaces de ejecutar una pluralidad de árboles de decisión. Los árboles de decisión se almacenan como tablas de árbol de decisión dentro de los procesadores de árbol de decisión 124. En varias modalidades, las tablas de árbol de decisión se almacenan en varios tipos de almacenamiento de memoria, tal como memoria de acceso aleatorio, incluyendo memoria de acceso aleatorio dinámico (DRAM), memoria de acceso aleatorio de bloque (BRAM), memoria de acceso aleatorio estática (SRAM), y así sucesivamente. En algunas modalidades, los procesadores de árbol de decisión 124 incluyen una tubería de cinco etapas como se describe en más detalle a continuación; de esa forma, siempre y cuando haya al menos cinco secuencias ejecutables (correspondientes a cinco árboles de decisión cuya ejecución aún no ha sido completada), el procesador de árbol de decisión 124 es capaz de iniciar recorrido de un nodo de un árbol de decisión en cada ciclo de reloj.

20 Tubería de recorrido de árbol de etapas múltiples

En algunas modalidades, los procesadores de árbol de decisión incluyen una arquitectura conectada. La Figura 6 ilustra un circuito de recorrido de árbol de etapas múltiples, de secuencias múltiples, conectados 600 de un procesador de árbol de decisión, de conformidad con varias modalidades. El circuito 600 es implementado en circuitería

lógica dentro del procesador de árbol de decisión. Un circuito de secuencia (o etapa de secuencia) (denotado πTH en la Figura 6) recibe una siguiente secuencia TH_THD de una tabla siguiente SIGUIENTE_THDS 602. En el ejemplo ilustrado en la Figura 6, la tabla SIGUIENTE_THDS 602 es de 32 x 5 bits, y de esa forma almacena hasta 32 siguientes números de secuencia de 5 bits; por lo tanto hasta 32 secuencias pueden manejarse por el circuito 600. La tabla SIGUIENTE_THDS 602 es una lista enlazada de secuencias; inicialmente todas las secuencias son enlistadas en la tabla SIGUIENTE_THDS 602; a medida que la secuencias se completan (al enviar un valor de hoja), las secuencias se desconectan de la tabla SIGUIENTE_THDS 602. Una vez que todas las secuencias se desconectan de la tabla SIGUIENTE_THDS 602, el procesador de árbol de decisión envía una señal de finalización al grupo de árbol de decisión, indicando que se termina con todas las secuencias. El circuito de secuencia utiliza el siguiente identificador de secuencia de la tabla SIGUIENTE_THDS 602 para emitir una lectura de la siguiente dirección de nodo de la siguiente secuencia de una tabla de dirección de nodo, tabla NODO_ADS 604 y una tabla de hoja, tabla de HOJAS 606. La tabla NODO_ADS 604 es 32 x 13 bits, y de esa forma almacena hasta 32 siguientes direcciones de nodo de 13 bits, una para cada secuencia.

La tabla de HOJAS 606 almacena indicadores de salida de hoja; en donde una entrada para una secuencia particular dentro de la tabla de HOJAS 606 almacena un indicador de salida (por ejemplo, un 1 o un 0), el valor de hoja es enviado al grupo de árbol de decisión y las secuencias es desconectada de la tabla SIGUIENTE_THDS 602.

En donde el indicador de salida de hoja indica que ningún valor de hoja se seleccionó previamente, las siguientes direcciones de nodo pasan al circuito de nodo de lectura (o etapa de lectura) (denotada $\overline{RN}$ en la Figura 6), y una lectura a la tabla de nodo NTAB 608 que corresponde a

5 secuencia actual se emite por el circuito 600 para el siguiente descriptor de nodo. En modalidades, la NTAB 608 es almacenada en memoria dedicada dentro o de otra forma asociada con la circuitería del procesador de árbol de decisión. En otras modalidades, la NTAB 608 está almacenada en una memoria que o está separada de o comunicativamente acoplada al

10 procesador de árbol de decisión. En algunas modalidades, la NTAB 608 está almacenada en una memoria compartida por una pluralidad de procesadores de árbol de decisión.

La dirección de característica de 12 bits F1_LOGRO_AD y el campo de información de 12 bits F1_INFO del descriptor de nodo, junto con

15 siguientes datos de nodo, tal como un valor de desplazamiento está presente en la NTAB 608, se lee en el circuito de característica F1 (o etapa de característica F1) del circuito 600. Por ejemplo, las siguientes direcciones de nodo izquierdo y derecho y siguientes valores de indicador de hoja izquierda y derecha se calculan previamente por lógica 610 en

20 esta etapa y son una función de la dirección de nodo, el campo de información, y el campo de desplazamiento de Δ opcional. El campo de información determina si el nodo 1, 2, o 0 de los siguientes nodos del subgrupo, y si hay 1, 2, o 0 valores de hoja. Las siguientes direcciones de nodo izquierdas y siguientes derecha se calculan previamente con base en

25 adyacencias entre NTAB 608 del valor F1_RDELTA, si está presente, o de

la codificación del valor de desplazamiento en el campo de información, como se describe también dentro de esta Descripción Detallada. En algunas modalidades, cuando el nodo o cualquier número de subárbol izquierdo, la siguiente dirección de nodo izquierdo es la dirección del nodo
5 adyacente a (inmediatamente después) del nodo actual, y el siguiente indicador de hoja izquierda es falso. De otra forma, el nodo actual tiene un valor de salida de hoja izquierda, y en la siguiente dirección de nodo izquierdo para la dirección de la palabra(s) dentro del nodo actual que contiene el valor de hoja izquierdo, y el siguiente indicador de hoja
10 izquierda es verdadero. El cómputo previo es similar a la siguiente dirección de hoja derecha y el siguiente indicador de hoja derecha. Cuando el nodo actual tiene un nodo de subárbol derecho pero ningún nodo de subárbol izquierdo, la siguiente dirección de nodo derecho es la dirección de nodo adyacente a (inmediatamente después) del nodo actual, y el
15 siguiente indicador de hoja derecha es falso. Cuando el modo actual tiene tanto un nodo de subárbol izquierdo como un nodo de subárbol derecho, la siguiente dirección de nodo derecho se determina al agregar la dirección de nodo actual y un desplazamiento (cuyo valor es codificado dentro del campo de información, o explícitamente representado en el campo de
20 desplazamiento δ opcional), y el siguiente indicador de hoja derecha es falso. De otra forma el nodo actual tiene un valor de salida de hoja derecha, y en la siguiente dirección de nodo derecho la dirección de la palabra(s) dentro del nodo actual que contienen en el valor de hoja derecha, y el siguiente indicador de hoja derecha es verdadero.

25 En el circuito de característica F2 (o etapa característica F2) de

circuito 600, el valor de característica asociada con el F1_LOGRO_AD se lee del almacenamiento de característica 612 (por ejemplo, el almacenamiento de característica 126). El FST 126, en modalidades, está configurado para leerse por dos diferentes procesadores de árbol de
 5 decisión; de esa forma el almacenamiento de característica 612 se muestra teniendo dos entradas y dos salidas.

En el circuito de ejecución (o etapa de ejecución) del circuito 600 (denotado ñEXò en la Figura 6), el valor de característica (ñEX_LOGROò) leído del almacenamiento de característica 612 se compara por lógica 614
 10 al valor de umbral (EX_TH) del nodo que se ejecuta actualmente. En el valor de umbral EX_TH y el valor de característica EX_LOGRO pueden ser valores de índice de umbral y valores de índice de característica como se describe en otra parte dentro de esta descripción detallada, o pueden ser valores de umbral no comprimidos y valores de característica. Las
 15 modalidades de la presente descripción no están limitadas al uso de uno del otro. Con base en el resultado de la salida de comparación por la lógica 614, cualquiera de una siguiente dirección de nodo izquierdo o una siguiente dirección de nodo derecho se escribe a la entrada de la secuencia en la tabla NODO_ADS 604. También con base en el resultado
 20 de la salida de comparación por la lógica 614, ya sea un siguiente indicador de hoja izquierda o un siguiente indicador de hoja derecha se escribe a la entrada de la secuencia en la tabla de hoja 606.

Una vez que el circuito de ejecución selecciona un valor de hoja para una secuencia particular y establece un indicador de hoja, en base la
 25 siguiente vez que se emite la secuencia en la tubería, el indicador de hojas

se lee y en la dirección de nodo en la tabla NODO_ADS 604 no es la dirección de un nodo sino más bien la dirección de palabras de valor de hoja dentro del nodo previo dentro de la NTAB 608. En el circuito RN, estas palabras de valor de hoja se leen desde la NTAB 608, obteniendo
5 con ello la calificación de valor de hoja 620 para la secuencia particular en lugar de una dirección de característica y campo de información. La calificación 620 puede ser enviada al grupo de árbol de decisión como se describe en otra parte dentro de esta descripción detallada. Además, cuando el indicador de hoja es verdadero, la secuencia es desconectada
10 de la tabla SIGUIENTE_THDS 602 de manera que no se busca por la tubería de nuevo.

Cada una de las porciones del circuito 600 (TH, RN, F1, F2, y EX) procesa concurrentemente diferentes secuencias. De esa forma, en cualquier momento, el circuito 600 procesa alguna porción de hasta cinco
15 secuencias diferentes, que corresponde a alguna porción de procesamiento de hasta cinco árboles de decisión diferentes concurrentemente, cada ciclo de reloj.

Procesos ilustrativos

20 La Figura 7 ilustra una gráfica de flujo que muestra un proceso ilustrativo 700 para ejecutar un árbol de decisión, de acuerdo con varias modalidades. En 702, un procesador de árbol de decisión, por ejemplo, un circuito de secuencia o etapa de una tubería de procesador de árbol de decisión, determina una siguiente secuencia que se va a ejecutar por el
25 procesador y emite una lectura a la tabla de nodo para determinar la

siguiente dirección del nodo de la siguiente secuencia.

En 704, un procesador de árbol de decisión, por ejemplo, un circuito de nodo de lectura o etapa de una tubería de procesador de árbol de decisión, recupera datos de nodo de árbol de decisión, tal como palabras de nodo de árbol de decisión, incluyendo al menos indicadores de característica y valores de umbral, desde una tabla de nodo de árbol de decisión, que puede almacenarse dentro del procesador de árbol de decisión. Un subconjunto de los nodos de árbol de decisión también incluye los siguientes datos de nodo, tal como siguientes valores de desplazamiento de nodo.

Resultados finales de las ejecuciones de nodo de árbol de decisión resultan en la salida de valores de hoja como una salida de la secuencia de recorrido de árbol de decisión, tal como en donde una ejecución de árbol de decisión resulta en seleccionar una un valor de hoja izquierda o de hoja derecha. En 706, el procesador de árbol de decisión, por ejemplo, un circuito de lectura o etapa de un procesador de árbol de decisión, determina si un indicador de hoja es establecido para una secuencia particular, tal como durante un pase previo de la secuencia a través de una tubería. En donde se establece el indicador de hoja, en 708 la secuencia particular se desconecta de la tabla de secuencias. En 710, datos de valor de hoja, tal como una o más palabras de valor de hoja, del nodo de árbol de decisión se leen por el circuito de nodo de lectura o etapa de la tubería de procesador de árbol de decisión y se envían al grupo de árbol de decisión, o alguna otra red de salida.

En 712, en donde el valor de indicador de árbol no se establece, el

procesador de árbol de decisión, por ejemplo, un circuito de característica o etapa de una tubería de procesador de árbol de decisión, lee el valor de característica identificado por el indicador de característica desde el almacenamiento de característica.

5 En 714, el procesador de árbol de decisión, por ejemplo, el circuito de característica o etapa de una tubería de procesador de árbol de decisión, calcula previamente posibles direcciones de nodo de árbol de decisión con base en los siguientes datos de nodo, tal como valores de desplazamiento y los siguientes nodos de árbol de decisión cuando son
10 adyacentes a nodos que se ejecutan actualmente. El procesador de árbol de decisión, por ejemplo, el circuito de característica o etapa de una tubería del procesador de árbol de decisión, también o alternativamente calcula previamente direcciones para datos de hoja derecha o izquierda, tal como palabras de hoja derecha o izquierda o valores de nodo de árbol
15 de decisión actual. Como se observa también dentro de esta Descripción Detallada, un subconjunto de los nodos de la tabla de nodo de árbol de decisión incluye uno o más valores de hoja. La presencia de nodos de hoja indica que un posible resultado de la ejecución del nodo de decisión es seleccionar enviar un valor de hoja la siguiente vez que la secuencia pasa
20 a través de la tubería. De esa forma, el procesador de árbol de decisión calcula previamente una de las direcciones de datos de hoja izquierda o una dirección de nodo izquierdo, y uno de una dirección de datos de hoja derecha o una siguiente dirección de nodo derecha, dependiendo de si hay una hoja izquierda o siguiente nodo izquierdo, y con base en si se está
25 ejecutando un valor de hoja derecha o un siguiente nodo derecho en el

nodo de decisión particular. El cálculo previo en 714 ocurre antes de la ejecución del nodo de decisión por el procesador de árbol de decisión.

El cálculo previo de algunas de las siguientes direcciones de nodo se realiza, en algunas modalidades, al procesar los siguientes datos de
5 nodo, tal como un valor de desplazamiento de nodo de árbol de decisión, tal como al agregar el valor de desplazamiento a ubicación del nodo actual para llegar en una ubicación del siguiente nodo. Los siguientes datos de nodo, tal como un valor de desplazamiento, son siguientes datos de nodos separados, tal como un valor de desplazamiento, proporcionado dentro del
10 nodo de decisión, o codificados por el campo de información del nodo de decisión, como se describe en otra parte dentro de esta descripción detallada. El cálculo previo de las siguientes direcciones de nodo también se basa en adyacencias para algunas de las siguientes direcciones de nodo.

15 En 716, el procesador de árbol de decisión, por ejemplo, un circuito o etapa de ejecución de la tubería de procesador de árbol de decisión, ejecuta el árbol de decisión. La ejecución del nodo de árbol de decisión incluye comparar un valor de umbral de nodo de árbol de decisión con el valor de característica recuperado del almacenamiento de característica.
20 El valor de umbral puede ser un valor de índice de umbral, y el valor de característica puede ser un valor de índice característica, como se describe en otra parte dentro de esta descripción detallada.

En 718, el procesador de árbol de decisión, por ejemplo, circuito o etapa de ejecución de la tubería de procesador de árbol de decisión,
25 determina el siguiente nodo de árbol de decisión para que la secuencia

sea recuperada y ejecutada y/o una dirección de datos de hoja que contienen un valor de hoja se envíe la siguiente vez que se busca la secuencia en la tubería. La selección del siguiente nodo de árbol de decisión o dirección de datos de hoja se determina con base en un

5 resultado de ejecutar nodo de árbol de decisión. Algunos resultados de las comparaciones (tal como en donde el valor de característica es menor que o igual al valor de umbral) resultan en determinar el siguiente nodo de árbol de decisión con base en los siguientes datos de nodo, tal como un siguiente valor de desplazamiento de nodo. Otros resultados de las

10 comparaciones (tal como en donde el valor de característica no es menor que o igual al valor de nodos de umbral) resultan en determinar el siguiente nodo de árbol de decisión que es adyacente al nodo que se ejecuta actualmente dentro de una tabla de árbol de decisión asociada con el árbol de decisión dentro del procesador de árbol de decisión.

15 En 720, se hace una determinación por el procesador de árbol de decisión, por ejemplo, por el circuito o etapa de secuencia del procesador de árbol de decisión, si se han retirado todas las secuencias. A medida que las secuencias envían valores de hoja 710 y se contemplan, se desconectan en 708 de una lista conectada de secuencias de árbol de

20 decisión. Cuando todas las secuencias son desconectadas, las ejecuciones de árbol de decisión en este procesador de árbol de decisión 124 se completan. Cada secuencia corresponde a un árbol de decisión individual; de esa forma una vez que se completan todas las secuencias, el procesador de árbol de decisión envía una señal de finalización y envía

25 una o más calificaciones de la ejecución de árbol de decisión.

La Figura 8 ilustra un proceso 800 para calificar una pluralidad de árboles de decisión por un calificador de árbol de decisión, de acuerdo con varias modalidades. En 802, el calificador de árbol de decisión 102 recibe un contexto de modelo 108 de un anfitrión 104 u otro sistema de procesamiento ascendente. En 804, el calificador de árbol de decisión 102 carga el contexto de modelo 108 sobre la pluralidad de grupos de árbol de decisión 122.

En 806, el calificador de árbol de decisión 102 recibe un vector de característica 112 del anfitrión 104 o de un sistema de procesamiento ascendente. En 808, el calificador de árbol de decisión 102 proporciona el vector de característica 112 al primero de los grupos de árbol de decisión 122. De esa forma, en algunas modalidades, un vector de característica común se proporciona a los grupos de árbol de decisión 122 y los procesadores de árbol de decisión 124.

En 810, el calificador de árbol de decisión 102 recibe una calificación final y una señal de finalización desde uno de los grupos de árbol de decisión 122, indicando que los grupos de árbol de decisión han completado la calificación de vector de característica con la pluralidad de árboles de decisión. En 812, el calificador de árbol de decisión 102 proporciona la calificación final al anfitrión 104 o un sistema de procesamiento descendente, que puede incluir en algunas modalidades otro calificador de árbol de decisión u otro sistema.

La Figura 9 ilustra un proceso 900 para calificar una pluralidad de árboles de decisión por grupos de árbol de decisión, de acuerdo con varias modalidades. En 902, los grupos de árbol de decisión (DTC) 122 reciben

un vector de característica (tal como un vector de característica común) desde el calificador de árbol de decisión 102 o de DTC vecinos 122. En 904, los DTC 122 proporcionan el vector de característica a otros DTC vecinos 122. De esa forma, el vector de característica es distribuido a todos los DTC dentro de un calificador de árbol de decisión.

En 906, los grupos de árbol de decisión 122 provocan que la pluralidad de procesadores de árbol de decisión 124 dentro de una pluralidad de DTC 122 empiece la ejecución de la pluralidad de árboles de decisión dentro de los contextos de modelo cargados en DTC 122. La ejecución de la pluralidad de árboles de decisión puede ser concurrente, y puede realizarse por procesadores de árbol de decisión de secuencia múltiple, de etapa múltiple conectados. La ejecución de los árboles de decisión incluye, entre otras cosas, comparaciones de valores de umbral (o valores de índice de umbral) a valores de característica (o valores de índice de característica) de un vector de característica común, y selección de siguientes nodos y/o valores de salida con base en las comparaciones. La ejecución de los árboles de decisión resulta en calificaciones correspondientes para unos de la pluralidad de árboles de decisión.

En 908, los DTC 122 reciben de los procesadores de árbol de decisión 124 las calificaciones correspondientes y señales de finalización que resultan de la ejecución de los árboles de decisión en los procesadores de árbol de decisión 124. En 910, los DTC 122 reciben calificaciones y señales de finalización de DTC vecinos 122.

En 912, con base en recepción de las señales de finalización y las calificaciones, los DTC 122 procesan las calificaciones de los

procesadores de árbol de decisión 124 dentro de los DTC 122 con calificaciones de los DTC vecinos 122. Por ejemplo, los DTC 122 pueden sumar las calificaciones para producir una calificación acumulada. En otro ejemplo, los DTC 122 pueden anexar las calificaciones, una suma de las calificaciones de los procesadores de árbol de decisión 124 dentro de los DTC 122, a los datos de calificación recibidos de los DTC vecinos 122.

En 914, los DTC 122 propagan las calificaciones acumuladas y señales de finalización a DTC vecinos 122, alcanzando eventualmente el final de uno de los DTC 122, que proporcionan una calificación final al calificador de árbol de decisión 122. De esta forma, las calificaciones individuales de cada uno de los árboles de decisión que se ejecutan en los procesadores de árbol de decisión 124 dentro de cada uno de los DTC 122 se acumulan en datos de calificación finales, tal como una suma final de calificaciones o conjunto de calificaciones de aquellos individuales de los procesadores de árbol de decisión y se propagan al calificador de árbol de decisión 102.

La Figura 10 ilustra un proceso 1000 para codificar valores de umbral de una pluralidad de árboles de decisión de acuerdo con varias modalidades. En 1002, un codificador de árbol de decisión 106 identifica todos los valores de umbral indicados en todos los nodos de decisión de una pluralidad de árboles de decisión, tal como aquellos dentro de un contexto de modelo 1008, que corresponden a una característica particular.

En 1004, el codificador de árbol de decisión 106 determina una lista de valores de umbral únicos asociados con la característica particular en

el uno o más árboles de decisión. En algunas modalidades, la lista es clasificada, tal como en orden ascendente o descendente. En 1006, el codificador de árbol de decisión 106 determina un número de bits que se van a utilizar para representar valores de índice de umbral para los valores
5 de umbral con base al menos en parte en un número de valores en la lista clasificada de valores de umbral únicos asociados con la característica particular en el uno o más árboles de decisión.

En un ejemplo particular, en donde el logaritmo de base 2 del número total de valores de umbral asociados con la característica
10 particular es menor que 4, el índice de umbral es codificado como una palabra de 4 bits, en donde el logaritmo de base 2 del número total de valores de umbral asociados con las características particulares es menor que 8, el índice de umbral es codificado como una palabra de 8 bits. En donde el logaritmo de base 2 del número total de valores de umbral
15 asociado con la característica particular es mayor que 8, se utilizan múltiples características para representar la característica particular en el árbol de decisión codificado, de manera que el número de característica para representar la característica particular se determina por $n/255$ en donde n es igual al número total de valores de umbral asociados con la
20 característica particular, como se describe en otra parte dentro de esta descripción detallada. Se utilizan palabras de 8 bits para representar los valores de umbral para estas múltiples características. En otras modalidades, el árbol de decisión es modificado para incluir múltiples nodos de decisión en lugar de un nodo con un número de umbrales únicos
25 que excede un valor predeterminado. Otros ejemplos son posibles sin

apartarse del alcance de modalidades.

En 1008, el codificador de árbol de decisión 106 determina una pluralidad de valores de índice de umbral para la lista de valores de umbral únicos. En algunas modalidades, los valores de índice son
5 asignados a la lista clasificada, de manera que los valores de índice de umbral asociados con valores de umbral menores son menores que los valores de índice de umbral asociados con valores de umbral mayores, aunque valores de índice mayores son asignados a valores de umbral menores en otras modalidades. En un ejemplo particular, el menor de los
10 valores de umbral único es asignado con un valor de índice de umbral de 0, y el mayor es asignado con un valor de índice umbral que es igual al número total de valores de umbral únicos menos uno. Otros ejemplos son posibles sin apartarse del alcance de modalidades.

En 1010, el codificador de árbol de decisión 106 representa el uno o
15 más árboles de decisión de manera que los nodos de decisión de los uno o más árboles de decisión asociados con la característica particular incluyan los valores de índice de umbral. El proceso 1000 se repite para cada característica indicada al menos en un nodo de decisión de una pluralidad de árboles de decisión hasta que todos los valores de umbral en la
20 pluralidad de árboles de decisión se codifican con valores de índice de umbral.

La Figura 11 ilustra un proceso 1100 para codificar un vector de valores de característica, de acuerdo con varias modalidades. Como se describió anteriormente con respecto a la Figura 10, los valores de umbral
25 para cada característica se codifican. Los valores de característica para

vectores de característica que se van a clasificar contra el conjunto de árboles de decisión codificados se codifican de manera que los valores de características sean compatibles con los valores de umbral codificados. En 1102, un codificador de vector de característica 110 recibe un vector de
5 característica 112 que se va a calificar por una pluralidad de árboles de decisión.

En 1104, un codificador de vector de característica 110 compara un valor de característica asociado con la característica particular con valores de umbral que corresponden a la característica particular (por ejemplo, a
10 la lista *tsi* descrita anteriormente). En 1106, se hace una determinación por el codificador de vector de característica 110 en cuanto a si el valor de característica correspondiente a la característica particular del vector de característica es mayor que el valor de umbral más grande en el conjunto de valores de umbral asociados con la pluralidad de árboles de decisión
15 con la característica particular.

En 1108, después de determinar que el valor de característica no es mayor que el valor de umbral más grande (la trayectoria ñNOð), el codificador de vector de característica 110 identifica el más pequeño de uno de la lista de valores de umbral únicos que es mayor que o igual al
20 valor de característica.

En 1110, el codificador de vector de característica 110 codifica el valor de característica para producir un valor de característica codificado (por ejemplo, un valor de índice de característica) que es igual a uno particular de los valores de índice de umbral clasificados que corresponde
25 al más pequeño de la lista clasificada de valores de umbral únicos.

En 1112, después de determinar que el valor de característica es mayor que el valor de umbral más grande (la trayectoria $\tilde{S}(\tilde{t})$), el código de vector de característica 110 establece el valor de índice característica para ser mayor que el valor de índice de umbral más grande. En un ejemplo particular, el valor de índice de característica se establece para ser igual al número total de valores de umbral únicos asociados con la característica, pero cualquier número mayor al valor de índice de umbral más grande podría utilizarse. De esta forma, los valores de índice de características se establecen de manera que los resultados de comparaciones de los valores de índice de umbral a los valores de índice de característica correspondientes durante ejecución de árbol de decisión (tal como por los procesadores de árbol de decisión 124) sean equivalentes a resultados de comparaciones de valores de umbral correspondientes a valores de característica correspondientes.

Las operaciones de los procesos ilustrativos de las Figuras 7-11 se ilustran en bloques individuales y se resumen con referencia a sus bloques. El orden en el cual se describen las operaciones no pretende interpretarse como una limitación, y cualquier número de las operaciones descritas puede combinarse en cualquier orden, separarse en suboperaciones, y/o realizarse en paralelo para implementar el proceso. Los procesos de acuerdo con varias modalidades de la presente descripción pueden incluir solamente algunas o todas las operaciones ilustradas en la gráfica de flujo lógico.

Sistema de cómputo ilustrativo

La Figura 12 es un diagrama de bloques de un sistema de cómputo ilustrativo 1200 que se puede utilizar para realizar varios métodos aquí descritos. El sistema de cómputo 1200 puede estar configurado como cualquier dispositivo de cómputo adecuado capaz de implementar todo o parte de un sistema de calificación de árbol de decisión, tal como el anfitrión 104. De acuerdo con varios ejemplos no limitantes, los dispositivos de cómputo adecuados pueden incluir computadoras personales (PC), dispositivos portátiles, dispositivos inteligentes portátiles, teléfonos inteligentes, computadoras de tableta, computadoras laptop, computadoras de escritorio, sistemas de juegos, reproductores de medios electrónicos (tal como reproductores de MP3 y lectores de libro electrónico), servidores, conjuntos de servidor, centros de datos, computadoras de propósito especial, combinaciones de éstos, o cualquier otro dispositivo(s) de cómputo capaz de almacenar y ejecutar todo o parte del sistema de clasificación de árbol de decisión aquí descrito.

En una configuración ilustrativa, el sistema de cómputo 1200 comprende uno o más procesadores 1202 y memoria 1204. El sistema de cómputo 1200 también puede contener una conexión(es) de comunicación 1206 que permite comunicaciones con varios otros sistemas. El sistema de cómputo 1200 también puede incluir uno o más dispositivos de entrada 1208, tal como un teclado, ratón, pluma, dispositivo de entrada de voz, dispositivo de entrada táctil, etc., y uno o más dispositivos de entrada 1210, tal como una pantalla, bocinas, impresora, etc., acoplados comunicativamente al (a los) procesador(es) 1202 y la memoria 1204.

La memoria 1204 puede almacenar instrucciones de programa que se pueden cargar y ejecutar en el procesador(es) 1202, así como datos generados durante la ejecución de, y/o útiles en conjunto con, estos programas. En el ejemplo ilustrado, la memoria 1204 almacena un sistema operativo 1212, que proporciona funcionalidad de sistema básico del sistema de cómputo 1200 y, entre otras cosas, proporciona la operación de los otros programas y módulos de programa del sistema de cómputo 1200.

Medios legibles por computadora

Dependiendo de la configuración y tipo de dispositivo de cómputo utilizado, la memoria 1204 del sistema de cómputo 1200 en la Figura 12 puede incluir memoria volátil (tal como memoria de acceso aleatorio (RAM)) y/o memoria no volátil (tal como memoria de sólo lectura (ROM), memoria flash, etc.). La memoria 1204 también puede incluir almacenamiento removible adicional y/o almacenamiento no removible que incluye, pero no está limitado a, memoria flash, almacenamiento magnético, almacenamiento óptico, y/o almacenamiento de cinta que puede proporcionar almacenamiento no volátil e instrucciones legibles por computadora, estructuras de datos, módulos de programa, y otros datos para el sistema de cómputo 1200.

La memoria 1202 es un ejemplo de medios legibles por computadora. Los medios legibles por computadora incluyen al menos dos tipos de medios legibles por computadora, principalmente medios de almacenamiento por computadora y medios de comunicaciones. Los medios de almacenamiento por computadora incluyen medios volátiles y no

volátiles, removibles y no removibles implementados en cualquier proceso o tecnología para almacenamiento de información tal como instrucciones legibles por computadora, estructuras de datos, módulos de programa, u otros datos. Los medios de almacenamiento por computadora incluyen, pero no están limitados a, memoria de cambio de fase (PRAM), memoria de acceso aleatorio estática (SRAM), memoria de acceso aleatorio dinámico (DRAM), otros tipos de memoria de acceso aleatorio (RAM), memoria de sólo lectura (ROM), memoria de sólo lectura programable eléctricamente borrrable (EEPROM), memoria flash u otra tecnología de memoria, memoria de sólo lectura de disco compacto (CD-ROM), discos versátiles digitales (DVD) u otro almacenamiento óptico, casetes magnéticos, cinta magnética, almacenamiento de disco magnético u otros dispositivos de almacenamiento magnético, o cualquier otro medio de transmisión que puede utilizarse para almacenar información para acceder por un dispositivo de cómputo. En contraste, los medios de comunicación pueden representar instrucciones legibles por computadora, estructuras de datos, módulos de programa u otros datos en una señal de datos modulada, tal como una onda portadora, u otro mecanismo de transmisión. Como se define aquí, los medios de almacenamiento por computadora no incluyen medios de comunicación.

Conclusión

Aunque la descripción utiliza lenguaje que es específico para características estructurales y/o actos metodológicos, la invención no está limitada a las características o actos específicos descritos. Más bien, las

características y actos específicos se describen como formas ilustrativas para implementar la invención.

5

10

15

20

25