

MÉTODO Y APARATO PARA LA SELECCIÓN INTELIGENTE DE OPORTUNIDADES ESPECTRALES EN REDES DE RADIO COGNITIVA

SECTOR TECNOLÓGICO

La presente invención se refiere a un método y aparato que mejora la selección de oportunidades espectrales para los usuarios licenciados o no licenciados, en las redes de radio cognitiva. La selección de una adecuada oportunidad espectral (frecuencia de operación disponible) permite mejorar el desempeño de la movilidad espectral en las redes de radio cognitiva (redes inalámbricas inteligentes), lo cual afecta de forma positiva los parámetros de calidad del servicio de las comunicaciones móviles.

ESTADO DE LA TÉCNICA

La invención ES2245018, expone un procedimiento y aparato para proporcionar una transferencia por software en un sistema de comunicaciones móviles. En dicha invención, la intensidad de cada señal transmitida por las demás estaciones base en comunicación con una estación móvil, se considera al determinar si añadir o no una estación base al conjunto de las estaciones base en comunicación con la estación remota. Se añade una estación base solo si la señal recibida de dicha estación base proporciona un valor añadido suficiente para justificar el impacto en la capacidad del sistema.

De acuerdo con lo anterior, se puede ver claramente que la invención descrita difiere de la presente invención en varios aspectos; primero, en que su enfoque es hacia la transferencia de la señal y no hacia la frecuencia de operación que se utilizará en dicha transferencia. Segundo, el procedimiento se enfoca en la intensidad de las señales transmitidas, mientras que la presente invención se enfoca en varios criterios de decisión como la probabilidad de disponibilidad de la frecuencia de operación, el tiempo medio de disponibilidad, la relación señal a ruido y el ancho de banda, de las frecuencias disponibles.

La invención ES2293960 presenta un método para realizar una transferencia "handover" en un sistema de telecomunicaciones que tiene una estación base de origen y una estación base de destino, en el que una estación móvil especificada establece una conexión con la estación base de origen, estando el método caracterizado por: tras la recepción de un primer informe de mediciones desde la estación móvil especificada, iniciar en la estación base de destino una parte preliminar de una secuencia de handover para la estación móvil especificada, cuya parte preliminar de la secuencia de handover incluye la sincronización del enlace ascendente de radio con respecto a la estación móvil especificada; y posteriormente, tras la recepción de un segundo informe de mediciones desde la estación móvil especificada, iniciar en la estación base de destino otra parte de la secuencia de handover para la estación móvil especificada.

A pesar de que la anterior invención también utiliza varias mediciones para realizar la transferencia, difiere de la presente invención en que no utiliza varios criterios de decisión para determinar cuál es la oportunidad espectral más adecuada y tampoco tiene en cuenta el contexto en el que se desarrolla la investigación ni los requerimientos de los usuarios que necesitan del recurso espectral.

La invención US 6879830B1, describe un método para realizar una transferencia entre una estación móvil y una red. En el caso de un enlace existente, los datos del enlace para el enlace se almacenan en la estación base en cuestión y los recursos de la estación base se mantienen en reserva para el enlace. Cuando se entrega un enlace, los datos del enlace permanecen inicialmente almacenados en la primera estación base y los recursos de la primera estación base permanecen inicialmente en reserva. En un momento posterior, los datos del enlace se eliminan y los recursos se liberan. Además, se usa un método en el que en el caso de un traspaso, la estación móvil envía a la red una consulta sobre si la red puede soportar el traspaso transfiriendo los datos del enlace desde la primera estación

móvil a la segunda estación móvil. Si se informa a la estación móvil que la red no puede soportar el traspaso, la estación móvil pone los datos de enlace a disposición de la segunda estación base.

De acuerdo con lo anterior, la invención descrita difiere de la presente invención en varios aspectos; primero, en que la información de los recursos espectrales es más completa en la presente invención; segundo, que dicha información se almacena por periodos de tiempo más largos para realizar estadísticas a futuro; tercero, la presente invención utiliza varios criterios de decisión para determinar cuál es la oportunidad espectral más adecuada; cuarto, la presente invención a diferencia de la anterior, tiene en cuenta el contexto en el que se desarrolla la investigación y los requerimientos de los usuarios que necesitan del recurso espectral.

Considerando la información anterior, es evidente que existe en el estado de la técnica la necesidad de contar con métodos y aparatos que permitan seleccionar la oportunidad espectral más adecuada, de acuerdo con el contexto en el que se desarrolla la investigación y los requerimientos de la misma. De acuerdo con lo anterior, el método debe tener la capacidad de ser adaptativo y modificar su comportamiento de forma dinámica, de acuerdo con los requerimientos y parámetros de la comunicación.

Actualmente, no existe un método robusto para la selección de oportunidades espectrales en redes de radio cognitiva que tenga en cuenta diferentes escenarios de desarrollo de la comunicación como los resultantes de la combinación de variables tales como: clase de aplicación (tiempo real o mejor esfuerzo), nivel de tráfico (tráfico alto o tráfico bajo) y tipo de red (GSM o Wi-Fi); así mismo, los requerimientos de la aplicación a ejecutar por parte del usuario, por lo menos los cuatro tipos de aplicaciones más usuales en las comunicaciones móviles: servicios de voz (demandan 1 canal), servicios Web (demandan 2 canales), servicios de streaming (demandan 4 canales) y servicios de videoconferencia o multimedia (demandan 10 canales); lo anterior, a partir del análisis de diversos métodos de selección de oportunidades espectrales que determine el método más adecuado.

De acuerdo con lo anterior, la presente invención se refiere a un aparato y un método para la selección inteligente de oportunidades espectrales en redes de radio cognitiva, que mejore el desempeño de la movilidad en redes de radio cognitiva, modificando su comportamiento de forma dinámica, de acuerdo con los requerimientos y parámetros de la comunicación del usuario. El aparato y método propuesto, está compuesto por una unidad de control encargada de coordinar todo el proceso de selección de la mejor oportunidad espectral de acuerdo con características del espectro y los requerimientos del usuario. A través de una unidad de selección adaptativa, de acuerdo con ciertos parámetros de información: tipo de aplicación, relación oferta-demanda, patrón de tráfico y nivel de tráfico, se escoge el mecanismo de selección de canal disponible más adecuado entre tres diferentes formas: realimentación, a través de la unidad de asignación realimentada, multicanal, a través de la unidad de asignación multicanal, y predicción, a través de la unidad de predicción. Lo anterior, teniendo como base los siguientes criterios de decisión: probabilidad de disponibilidad del canal, tiempo estimado de disponibilidad del canal, relación señal a ruido del canal y ancho de banda del canal.

DESCRIPCION DE LAS FIGURAS

Para complementar la descripción y con el objetivo de ayudar a generar una mayor comprensión de las características del invento, se acompaña a esta descripción, de dos dibujos, como parte complementaria de la misma, donde se presenta de manera ilustrativa y no limitativa, las características físicas y funcionales del dispositivo:

Figura 1. Diagrama de bloques funcional del aparato.

Figura 2. Diagrama de procesos del método.

DESCRIPCION DETALLADA DE LA INVENCION

La presente invención está compuesta por un aparato y un método, ambos enfocados a realizar la selección inteligente de oportunidades espectrales en redes de radio cognitiva. Tanto el aparato como el método están fuertemente relacionados y su descripción es muy similar, sin embargo, se realiza una descripción para cada caso y se tienen sendas figuras para el aparato (figura 1) y el proceso (figura 2).

Antes de iniciar es importante aclarar que una oportunidad espectral, es un recurso espectral disponible en una banda de frecuencia. La oportunidad espectral también se denomina frecuencia disponible, canal disponible, recurso espectral, espacio blanco o hueco espectral.

Las redes de radio cognitiva son la evolución de las redes inalámbricas. Las principales características de la radio cognitiva, que le confieren todas sus capacidades son la capacidad cognitiva y reconfigurabilidad. Sin embargo, las redes de radio cognitiva imponen retos en la gestión del espectro, debido a la naturaleza fluctuante del espectro disponible y a los requerimientos de calidad de servicio de las aplicaciones inalámbricas.

La movilidad de espectro o handoff espectral se puede definir como el proceso en donde un usuario de radio cognitiva cambia su frecuencia de operación, por alguna de varias razones. De acuerdo con investigaciones recientes la movilidad espectral tiene un impacto significativo en el desempeño de las redes de radio cognitiva y depende en gran medida de la selección de la oportunidad espectral que se realice durante el proceso de decisión espectral.

Cuando no se selecciona adecuadamente la oportunidad espectral o canal disponible, es posible que la transmisión de datos deba pausarse, esto provoca un aumento significativo del retardo que finalmente incide de forma directa en el nivel de desempeño y la calidad de servicio de la comunicación del usuario. De acuerdo con lo anterior, encontrar un canal disponible con las características requeridas sobre el cual un usuario pueda continuar su sesión de transmisión de datos es un asunto apremiante en movilidad espectral. La selección del canal depende de muchos factores, tales como la capacidad de canal, la disponibilidad del canal y la probabilidad de que el canal siga libre durante la comunicación. Una pobre selección de canal puede causar múltiples cambios de canal, degradando el desempeño de la comunicación y de la red.

Para solucionar este problema, la presente invención tiene por objetivo desarrollar un aparato y un método adaptativo de decisión espectral que mejore el desempeño de la movilidad en redes de radio cognitiva, modificando su comportamiento de forma dinámica, de acuerdo con los requerimientos y parámetros de la comunicación del usuario.

El aparato y método propuesto, está compuesto por una unidad de control encargada de coordinar todo el proceso de selección de la mejor oportunidad espectral de acuerdo con características del espectro y los requerimientos del usuario. A través de una unidad de selección adaptativa, de acuerdo con ciertos parámetros de información: tipo de aplicación, relación oferta-demanda, patrón de tráfico y nivel de tráfico, se escoge el mecanismo de selección de canal disponible más adecuado entre tres diferentes formas: realimentación, a través de una unidad de asignación realimentada, multicanal, a través de una unidad de asignación multicanal, y predicción, a través de una unidad de predicción. Lo anterior, teniendo como base los siguientes criterios de decisión: probabilidad de disponibilidad (PD) del canal, tiempo estimado de disponibilidad (TED) del canal, relación señal a ruido (SNR) del canal y ancho de banda (AB) del canal.

Teniendo como base la figura 1, el aparato electrónico para la selección inteligente de oportunidades espectrales en redes de radio cognitiva, está conformado por: una unidad de control (6), un GPS (8), tres memorias SD (7) (11) (13), un módulo de medición de criterios

(10), una unidad de asignación espectral realimentada (17), una unidad de asignación espectral multicanal (23), una unidad de asignación espectral predictiva (18) y una unidad de selección adaptativa (24).

De acuerdo con la figura 1, los usuarios móviles (1) (2) (3), realizan sus comunicaciones a través del ambiente de radio (4). Para poder seleccionar una oportunidad espectral adecuada, primero hay que identificarlas, esto se puede realizar a través de los mismos dispositivos móviles (1) (2) (3), lo cual agotaría más rápido su batería, o a través de un módulo de monitorización de espectro (5). La información detectada por (5) es enviada a la unidad de control (6) para que a partir de las oportunidades espectrales detectadas por (5), la presente invención determine cuál es la mejor oportunidad espectral para un usuario (9) que solicite un recurso espectral. Es importante aclarar que de la figura 1, (1), (2), (3), (4), (5) y (9), no hacen parte del aparato para la Selección Inteligente de Oportunidades Espectrales en Redes de Radio Cognitiva, sin embargo, proporcionan las señales e información necesaria con la que trabaja la invención.

La información proporcionada por (5) a la unidad de control (6), es básicamente los niveles de potencia de las señales y los diversos canales de frecuencia donde fueron detectadas. La unidad de control (6) con ayuda del módulo GPS (8), agrega la información del tiempo y lugar en la que dichas señales fueron recibidas, las organiza y las almacena en la memoria SD 1 (7), para ir construyendo una base de datos de la información espectral de interés, tanto en tiempo como en lugar.

Cuando la unidad de control (6) recibe una solicitud de canal disponible por parte de un usuario (9), le envía una señal de inicio al módulo de medición de criterios (10), para que se inicie todo el proceso de selección de oportunidad espectral.

El módulo de medición de criterios (10) está encargado de realizar la medición actual de los criterios de decisión para la selección de la oportunidad espectral. Los criterios de decisión son medidos a partir de las señales de potencia, relación señal a ruido y frecuencia, las cuales son proporcionadas al módulo de medición de criterios (10) a través de la unidad de control (6) y la memoria SD 1 (7). Con las anteriores señales, el módulo de medición de criterios (10) obtiene los valores de los cuatro criterios de decisión: probabilidad de disponibilidad (PD), tiempo estimado de disponibilidad (TED), relación señal a ruido (SNR) y ancho de banda (AB), los cuales son normalizados sobre 100 y almacenados en la memoria SD 2 (11).

La variable PD, corresponde al análisis del ciclo de trabajo normalizado de cada una de las señales de potencia que son oportunidades espectrales potenciales. La variable TED, corresponde al tiempo de disponibilidad promedio de cada canal, primero se calculan todos los periodos de tiempo en que cada canal estuvo disponible de forma continua, y luego se toma el promedio sobre dichos periodos para cada canal. La variable SNR, corresponde al promedio de la diferencia entre la potencia de la señal y la potencia del piso de ruido promedio, la cual es suministrada por el instrumento que realice la detección de señales. La variable AB, corresponde al ancho de banda promedio de cada canal, que dependerá en gran parte de la configuración del instrumento que realice la detección de señales.

A partir de este momento, empiezan a trabajar las tres unidades de asignación espectral con las que cuenta la presente invención: unidad de asignación espectral realimentada (17), unidad de asignación espectral multicanal (23) y la unidad de asignación espectral predictiva (18).

La unidad de asignación espectral realimentada inicia con el módulo de evaluación actual del canal (12), el cual toma la información almacenada en la memoria SD 2 (11) para realizar su tarea. El módulo de evaluación actual del canal (12), realiza un análisis del comportamiento normal de los datos almacenados en la memoria SD 2 (11) y a partir de dicho análisis obtiene el valor del peso de cada uno de los cuatro criterios, que determina

la importancia de dicho criterio para la selección de la oportunidad espectral. Posteriormente, (12) calcula un valor de puntaje para cada oportunidad espectral al sumar el producto de cada uno de los cuatro criterios del canal evaluado por el valor del peso correspondiente, dicho puntaje permite determinar preliminarmente cual es el mejor recurso espectral.

El módulo de evaluación actual del canal (12) almacena la información de los puntajes de la evaluación actual para cada una de las oportunidades espectrales, en la memoria SD 3 (13). En la memoria SD 3 (13) también se almacena la información del puntaje inmediatamente anterior de cada oportunidad espectral, así como el puntaje promedio de los últimos 60 minutos, los cuales son calculados por los módulos de última evaluación (14) y evaluación promedio (15), respectivamente, con ayuda de la información almacenada en la memoria SD 3 (13).

Posteriormente, el módulo asignación realimentada (16) accede a la memoria SD 3 (13) para obtener los valores de los puntajes correspondientes a la evaluación actual (EA), la última evaluación (UE), y la evaluación promedio (EP), y a partir de la ecuación 1, obtener el valor final del puntaje correspondiente a cada oportunidad espectral.

$$Puntaje_Final_i = \alpha \times EA + \beta \times UE + (1 - \alpha - \beta) \times EP \quad (1)$$

Donde $\alpha=0.5$ y $\beta=0.4 \in [0,1]$, y puntaje final i , es el valor de la evaluación final de la oportunidad espectral i .

La oportunidad espectral con el mejor puntaje final es enviada a la unidad predictiva (18) y a la unidad de selección adaptativa (24). Posteriormente, se transfiere el valor de EA a UE y se actualiza el valor de EP de acuerdo con el nuevo valor de UE. Si la oportunidad espectral seleccionada finalmente, se encuentra ocupada, se envía la oportunidad espectral con el segundo mejor puntaje y así sucesivamente.

La unidad de asignación espectral predictiva, recibe la información de la mejor oportunidad espectral de parte del módulo de asignación realimentada (16), y a partir de la información en el tiempo almacenada en la memoria SD 1 (7), correspondiente a dicha oportunidad espectral, realiza la predicción del tiempo de disponibilidad de dicho canal a través de modelos de series de tiempo autoregresivos integrados de promedios móviles. Luego, la unidad de predicción (18) envía la anterior información a la unidad de selección adaptativa (24).

El principal objetivo de desarrollar una unidad predictiva, es reducir el nivel de interferencia entre los usuarios. La tarea de la unidad de predicción (18) es informarle a la unidad de control (6), a través de la unidad de selección adaptativa (24), cuando debe realizar el cambio de canal y a que canal realizarlo. Para lograr esto, la unidad de predicción (18) modela la serie de tiempo de potencias medidas en cada canal. Luego realiza para cada instante de tiempo, el pronóstico de la potencia para el respectivo canal, y con base en el umbral de decisión dado por la ecuación de probabilidad de falsa alarma, predice si el canal estará ocupado o disponible.

Para desarrollar el modelo de serie de tiempo autoregresiva integrada de promedios móviles, se siguió la metodología de Box-Jenkins. Esta metodología consiste en construir un modelo de series de tiempo en cuatro etapas: identificación, estimación de parámetros, verificación del modelo, y pronósticos del modelo.

La unidad de asignación multicanal (23) realiza la asignación multicanal con equidad, es decir, tiene en cuenta un criterio de equidad. Esta equidad es un factor importante en la asignación multicanal, con el cual, una red inalámbrica con recursos insuficientes, trata de asignar los recursos de una manera equitativa a los usuarios.

Para realizar la asignación multicanal el aparato analiza la demanda de ancho de banda de los usuarios, y cuantifica el número de canales requeridos, de acuerdo con el tipo de aplicación que este ejecutando cada usuario. Las demandas de canales pueden ser de un solo canal (simple) o de múltiples canales (multicanal), de acuerdo con el tipo de servicio o aplicación que se esté desarrollando. La presente invención tiene la capacidad de manejar cuatro tipos de aplicaciones: servicios de voz (demandan 1 canal), servicios Web (demandan 2 canales), servicios de streaming (demandan 4 canales) y servicios de videoconferencia o multimedia (demandan 10 canales).

La unidad de asignación multicanal (23), inicia con el módulo de localización de bandas multicanal (19), que a partir de la información almacenada en la memoria SD (7), identifica los canales de frecuencia contiguos y los trata como una sola banda de frecuencia multicanal. Luego de identificar todas las bandas multicanal y canal único (cuando no existen canales adyacentes disponibles), el módulo de localización de bandas multicanal (19) transfiere esta información al módulo de evaluación multicanal (20).

El módulo de evaluación multicanal (20) realiza una evaluación de todas las bandas multicanal y de canal único, a través de la información de los criterios de decisión almacenados en la memoria SD 2 (11). En el caso de las bandas multicanal, promedia la información correspondiente a cada uno de los canales que conforman la banda multicanal. Posteriormente, el módulo de evaluación multicanal (20) transmite los puntajes de cada banda multicanal y de canal único, al módulo de asignación multicanal (21).

El módulo de asignación multicanal (21) se encarga de determinar cuántos y cuáles canales se asignaran a cada usuario (en caso de que sean varios) de acuerdo con la oferta disponible de estos y su solicitud de demanda de canales, la cual depende del tipo de aplicación que desarrolle.

El módulo de asignación multicanal (21) adapta su funcionamiento de acuerdo con el comportamiento de la demanda y oferta de canales en la banda espectral seleccionada, por tanto, se tuvo en cuenta los dos posibles escenarios al momento de la asignación de recursos:

- ✓ Escenario1: Recursos espectrales mayores a la demanda de usuarios
- ✓ Escenario 2: Recursos espectrales menores a la demanda de usuarios

Escenario 1: En un sistema los recursos como el ancho de banda puede ser utilizado por cualquier usuario que requiera transmitir información, sin embargo, los usuarios que utilizan aplicaciones en tiempo real demandan mayor ancho de banda. De acuerdo a esto sería preferible para este tipo de usuarios, usar transmisiones multicanal. Para lo anterior, es necesario satisfacer las demandas de todos los usuarios, es decir, que el número de oportunidades espectrales sea mayor que el número de canales requeridos por los usuarios. En este caso, el módulo de asignación multicanal (21) asigna el número de canales requeridos por cada usuario de acuerdo con la aplicación que estén ejecutando, y con la oferta excedente realiza una distribución equitativa entre todos los usuarios.

Escenario 2: Bajo este escenario hay que tener en cuenta que no todas las demandas de los usuarios se pueden satisfacer completamente, debido a que la oferta es menor que la demanda; sin embargo, bajo un criterio de equidad, se garantiza que todos o la mayoría de los usuarios van a poder hacer uso de los recursos de la red.

En el proceso de asignación multicanal, cuando la oferta de los recursos espectrales disponibles es menor que la demanda de canales por parte de los usuarios, requiere de un tratamiento especial debido a que si se quiere tener un criterio de equidad con todos los usuarios al momento de la asignación, se debe garantizar que si bien los usuarios no van a tener todos los recursos que solicitaron, se tratará de que todos tengan recursos para transmitir, sin que ninguno salga castigado en el proceso de asignación. Para cumplir con

este propósito se tiene en cuenta la oferta actual derivada de la cantidad de canales disponibles encontrados, y de acuerdo a esto se realiza una proyección ideal de las demandas de cada uno de los usuarios. Una vez realizado esto se procede a agrupar los usuarios de acuerdo al tipo de aplicación que están ejecutando.

Se revisa si la oferta actual satisface la demanda de recursos de los diferentes usuarios y en el caso que no sea así, entonces revisa el grupo de usuarios con mayor demanda de recursos y empieza a restar un canal de la asignación deseada. Realiza este proceso para cada uno de los usuarios hasta que la demanda global sea igual a la oferta disponible, en caso de no ser así, se pasa al segundo grupo con mayor demanda de recursos y realiza el mismo proceso de resta de un canal por usuario revisando que la demanda se iguale con la oferta. Es posible que todos los usuarios terminen con un solo canal, o incluso deban ser retirados del proceso (no asignarles ningún canal). En el caso de tener que retirar usuarios del proceso se empieza por los que demandan más canales, dejando de ultimas los que demanda menos canales; este orden de castigo se fijó para beneficiar los usuarios de un canal que tendrían mayor probabilidad de transmitir su información y que representan el porcentaje más significativo en términos de cantidad de usuarios.

Una vez termina, el módulo de asignación multicanal (21) transmite la información al módulo de evaluación de equidad (22), para que este determine el nivel de equidad de la asignación realizada, en caso de no cumplir con el umbral de equidad, el módulo de evaluación de equidad (21) le solicita al módulo de asignación multicanal (22) reasignar las oportunidades espectrales.

La evaluación de equidad se mide a través del índice de Jain, el cual identifica canales infrautilizados a partir de la ecuación 2.

$$J = \frac{(\sum_{i=1}^n X_i)^2}{n \sum_{i=1}^n X_i^2} \quad (2)$$

Donde n es el número de usuarios y X_i es el rendimiento de la i-esima conexión.

Una vez se satisface el criterio de equidad, el módulo de asignación multicanal (21) envía a la unidad de selección adaptativa (24), la información de la asignación espectral multicanal.

La unidad de selección adaptativa (24) es la encargada de seleccionar cuál de las tres unidades de asignación espectral es la más adecuada, de acuerdo con los requerimientos del usuario (9) y las características del ambiente de radio (4). Para realizar la anterior tarea, la unidad de selección adaptativa (24) le solicita a la unidad de control (6), información del tipo de aplicación que requiere ejecutar el usuario (9), la relación oferta-demanda de canales, el patrón de comportamiento del tráfico y el nivel de tráfico actual. Con la anterior información, la unidad de selección adaptativa (24) selecciona la unidad de asignación espectral más adecuada, como lo describe el método de la figura 2, primero determina si la aplicación que requiere ejecutar el usuario (9) es de tiempo-real, si lo es, determina si la relación oferta/demanda es mayor a 1, si lo es, entonces la unidad de asignación espectral más adecuada es la multicanal (23); si la relación oferta/demanda no es mayor a 1, entonces la unidad de asignación espectral más adecuada es la realimentada (17). Ahora, si la aplicación que requiere ejecutar el usuario (9) no es de tiempo real, determina si el patrón de tráfico tiene un comportamiento conocido y de fácil modelado, si lo es, entonces la unidad de asignación espectral más adecuada es la predictiva (18); si el patrón de tráfico no tiene un comportamiento conocido entonces la unidad de asignación espectral más adecuada es la realimentada (17).

Finalmente, la unidad de selección adaptativa (24) le transmite a la unidad de control (6) la oportunidad espectral más adecuada proporcionada a través de la unidad de asignación

espectral seleccionada. La unidad de control (6) transmite la información al usuario (9) que solicitó el recurso espectral para que inicie su comunicación inalámbrica de forma efectiva.

De acuerdo con la figura 2, el método propuesto para la selección inteligente de oportunidades espectrales en redes de radio cognitiva, inicia (I) detectando alguna solicitud de usuario (II). Para poder seleccionar una oportunidad espectral adecuada, primero hay que identificarlas, esto se puede realizar a través de los mismos dispositivos móviles, lo cual agotaría más rápido su batería, o a través de un módulo de monitorización de espectro. En el caso de que no exista una solicitud de usuario (II), se lee la información de geolocalización del GPS y la información espectral detectada a través de un módulo de monitorización de espectro (III), la cual es básicamente los niveles de potencia de las señales y los diversos canales de frecuencia donde fueron detectadas, para posteriormente almacenarla en una memoria SD 1 (IV), para ir construyendo una base de datos de la información espectral de interés, tanto en tiempo como en lugar; seguidamente, se miden los criterios de decisión (V), a partir de la información almacenada en una memoria SD 1, se normalizan sobre 100 y se guardan en una memoria SD 2 (VI). Los pasos (III), (IV), (V) y (VI), se repiten continuamente hasta que aparezca una solicitud de usuario (II).

Los criterios de decisión son cuatro: probabilidad de disponibilidad (PD), tiempo estimado de disponibilidad (TED), relación señal a ruido (SNR) y ancho de banda (AB). Estos son medidos a partir de las señales de potencia, relación señal a ruido y frecuencia. La variable PD, corresponde al análisis del ciclo de trabajo normalizado de cada una de las señales de potencia que son oportunidades espectrales potenciales. La variable TED, corresponde al tiempo de disponibilidad promedio de cada canal, primero se calculan todos los periodos de tiempo en que cada canal estuvo disponible de forma continua, y luego se toma el promedio sobre dichos periodos para cada canal. La variable SNR, corresponde al promedio de la diferencia entre la potencia de la señal y la potencia del piso de ruido promedio, la cual es suministrada por el instrumento que realice la detección de señales. La variable AB, corresponde al ancho de banda promedio de cada canal, que dependerá en gran parte de la configuración del instrumento que realice la detección de señales.

Cuando exista una solicitud de usuario (II), se identifica si el tipo de aplicación es de tiempo real (RT) o no (VII). Si la aplicación es RT, se verifica si la relación oferta/demanda es mayor que 1 (VIII), en caso positivo, se ejecuta el procedimiento de asignación multicanal, el cual empieza leyendo la información de oferta y demanda (X), para tener en cuenta un criterio de equidad. Esta equidad es un factor importante en la asignación multicanal, con el cual, una red inalámbrica con recursos insuficientes, trata de asignar los recursos de una manera equitativa a los usuarios. Para realizar la asignación multicanal se analiza la demanda de ancho de banda de los usuarios, y cuantifica el número de canales requeridos, de acuerdo con el tipo de aplicación que este ejecutando cada usuario. Las demandas de canales pueden ser de un solo canal (simple) o de múltiples canales (multicanal), de acuerdo con el tipo de servicio o aplicación que se esté desarrollando. La presente invención tiene la capacidad de manejar cuatro tipos de aplicaciones: servicios de voz (demandan 1 canal), servicios Web (demandan 2 canales), servicios de streaming (demandan 4 canales) y servicios de videoconferencia o multimedia (demandan 10 canales).

La asignación multicanal inicia leyendo la información almacenada en la memoria SD 1 (XI), con la cual se realiza la localización de bandas multicanal (XII), identificando los canales de frecuencia contiguos y tratándolos como una sola banda de frecuencia multicanal. Luego de identificar todas las bandas multicanal y canal único (cuando no existen canales adyacentes disponibles), se lee la información de los criterios de decisión, almacenados en la memoria SD 2 (XIII), para poder realizar una evaluación de todas las bandas multicanal (XIV) y de canal único. En el caso de las bandas multicanal, se promedia la información correspondiente a cada uno de los canales que conforman la banda multicanal.

A continuación, se realiza la asignación multicanal (XV), encargada de determinar cuántos y cuáles canales se asignaran a cada usuario (en caso de que sean varios) de acuerdo con la oferta disponible de estos y su solicitud de demanda de canales, la cual depende del tipo

de aplicación que desarrolle. La asignación multicanal (XV) adapta su funcionamiento de acuerdo con el comportamiento de la demanda y oferta de canales en la banda espectral seleccionada, por tanto, se tuvo en cuenta los dos posibles escenarios al momento de la asignación de recursos:

- ✓ Escenario1: Recursos espectrales mayores a la demanda de usuarios
- ✓ Escenario 2: Recursos espectrales menores a la demanda de usuarios

Escenario 1: En un sistema los recursos como el ancho de banda puede ser utilizado por cualquier usuario que requiera transmitir información, sin embargo, los usuarios que utilizan aplicaciones en tiempo real demandan mayor ancho de banda. De acuerdo a esto sería preferible para este tipo de usuarios, usar transmisiones multicanal. Para lo anterior, es necesario satisfacer las demandas de todos los usuarios, es decir, que el número de oportunidades espectrales sea mayor que el número de canales requeridos por los usuarios. En este caso, el módulo de asignación multicanal (XV) asigna el número de canales requeridos por cada usuario de acuerdo con la aplicación que estén ejecutando, y con la oferta excedente realiza una distribución equitativa entre todos los usuarios.

Escenario 2: Bajo este escenario hay que tener en cuenta que no todas las demandas de los usuarios se pueden satisfacer completamente, debido a que la oferta es menor que la demanda; sin embargo, bajo un criterio de equidad, se garantiza que todos o la mayoría de los usuarios van a poder hacer uso de los recursos de la red.

En el proceso de asignación multicanal, cuando la oferta de los recursos espectrales disponibles es menor que la demanda de canales por parte de los usuarios, requiere de un tratamiento especial debido a que si se quiere tener un criterio de equidad con todos los usuarios al momento de la asignación, se debe garantizar que si bien los usuarios no van a tener todos los recursos que solicitaron, se tratará de que todos tengan recursos para transmitir, sin que ninguno salga castigado en el proceso de asignación. Para cumplir con este propósito se tiene en cuenta la oferta actual derivada de la cantidad de canales disponibles encontrados, y de acuerdo a esto se realiza una proyección ideal de las demandas de cada uno de los usuarios. Una vez realizado esto se procede a agrupar los usuarios de acuerdo al tipo de aplicación que están ejecutando.

Se revisa si la oferta actual satisface la demanda de recursos de los diferentes usuarios y en el caso que no sea así, entonces revisa el grupo de usuarios con mayor demanda de recursos y empieza a restar un canal de la asignación deseada. Realiza este proceso para cada uno de los usuarios hasta que la demanda global sea igual a la oferta disponible, en caso de no ser así, se pasa al segundo grupo con mayor demanda de recursos y realiza el mismo proceso de resta de un canal por usuario revisando que la demanda se iguale con la oferta. Es posible que todos los usuarios terminen con un solo canal, o incluso deban ser retirados del proceso (no asignarles ningún canal). En el caso de tener que retirar usuarios del proceso se empieza por los que demandan más canales, dejando de ultimas los que demanda menos canales; este orden de castigo se fijó para beneficiar los usuarios de un canal que tendrían mayor probabilidad de transmitir su información y que representan el porcentaje más significativo en términos de cantidad de usuarios.

Una vez termina la asignación multicanal (XV), se realiza una evaluación de equidad (XVI), para que se determine el nivel de equidad de la asignación realizada; seguidamente, se determina si existe o no equidad (XVI), en caso de no cumplir con el umbral de equidad, se realiza nuevamente la asignación multicanal (XV). En caso de que exista equidad se realiza la asignación de frecuencia al usuario (XXVI).

La evaluación de equidad se mide a través del índice de Jain, el cual identifica canales infrautilizados a partir de la ecuación 2.

En caso de que la relación oferta/demanda no sea mayor que 1 (VIII), se realiza la asignación espectral realimentada, la cual inicia con la lectura de la información de los criterios de decisión, almacenada en la memoria SD 2 (XVII), para realizar la evaluación actual de los canales disponibles (XVIII). La evaluación actual del canal (XVIII), realiza un análisis del comportamiento normal de los datos almacenados en la memoria SD 2 (XVII) y a partir de dicho análisis obtiene el valor del peso de cada uno de los cuatro criterios de decisión, que determina la importancia de dicho criterio para la selección de la oportunidad espectral, para posteriormente, calcular un valor de puntaje para cada oportunidad espectral al sumar el producto de cada uno de los cuatro criterios del canal evaluado por el valor del peso correspondiente, dicho puntaje permite determinar preliminarmente cual es el mejor recurso espectral.

La información de los puntajes de la evaluación actual para cada una de las oportunidades espectrales, se almacena en la memoria SD 3 (XIX). En la memoria SD 3 también se almacena la información del puntaje inmediatamente anterior de cada oportunidad espectral (XX), así como el puntaje promedio de los últimos 60 minutos (XXI), a partir de la misma información almacenada en la memoria SD 3. Posteriormente, la asignación realimentada (XXII) accede a la memoria SD 3 para obtener los valores de los puntajes correspondientes a la evaluación actual (EA), la última evaluación (UE), y la evaluación promedio (EP), y a partir de la ecuación 1, obtener el valor final del puntaje correspondiente a cada oportunidad espectral.

La oportunidad espectral con el mejor puntaje final es seleccionada para ser asignada al usuario (XXVI) que realizó la solicitud al inicio del método. Posteriormente, se transfiere el valor de EA a UE y se actualiza el valor de EP de acuerdo con el nuevo valor de UE. Si la oportunidad espectral seleccionada finalmente, se encuentra ocupada, se envía la oportunidad espectral con el segundo mejor puntaje y así sucesivamente.

Ahora, si la aplicación que ejecuta el usuario que realiza la solicitud no es RT, entonces se determina si el patrón de tráfico es conocido (IX), en caso negativo se ejecuta el proceso descrito anteriormente para la asignación espectral realimentada, y en caso positivo, se realiza la asignación espectral predictiva. La asignación espectral predictiva, lee el resultado de la mejor oportunidad espectral de parte de la asignación realimentada (XXIII), y a partir de la información en el tiempo almacenada en la memoria SD 1 (XXIV), correspondiente a dicha oportunidad espectral, realiza la predicción (XXV) del tiempo de disponibilidad de dicho canal a través de modelos de series de tiempo autoregresivos integrados de promedios móviles.

Finalmente, se transmite la información de la oportunidad espectral a asignar al usuario (XXVI) que solicitó el recurso espectral para que inicie su comunicación inalámbrica de forma efectiva.

El principal objetivo de desarrollar una asignación predictiva, es reducir el nivel de interferencia entre los usuarios. La tarea de la predicción es conocer cuándo se debe realizar el cambio de canal y a qué canal realizarlo. Para lograr esto, la asignación predictiva modela la serie de tiempo de potencias medidas en cada canal. Luego realiza para cada instante de tiempo, el pronóstico de la potencia para el respectivo canal, y con base en el umbral de decisión dado por la ecuación de probabilidad de falsa alarma, predice si el canal estará ocupado o disponible.

Para desarrollar el modelo de serie de tiempo autoregresiva integrada de promedios móviles, se siguió la metodología de Box-Jenkins. Esta metodología consiste en construir un modelo de series de tiempo en cuatro etapas: identificación, estimación de parámetros, verificación del modelo, y pronósticos del modelo.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato para la selección inteligente de oportunidades espectrales en redes de radio cognitiva, caracterizado por que comprende:
 - a) una unidad de control (6) encargada de coordinar todo el proceso de selección de la mejor oportunidad espectral de acuerdo con características del espectro y los requerimientos del usuario;
 - b) un módulo GPS (8) encargado de monitorizar las coordenadas geográficas correspondientes a los niveles de potencia de las señales y a la ubicación del usuario que requiere un canal de frecuencia disponible para transmitir;
 - c) una memoria SD (7) para el almacenamiento de los niveles de potencia de las frecuencias monitorizadas por el detector de espectro, con su correspondiente valor de frecuencia, tiempo de captura y coordenadas geográficas;
 - d) un módulo de medición de criterios de decisión encargado de realizar la medición actual de los criterios de decisión: probabilidad de disponibilidad, tiempo estimado de disponibilidad, relación señal a ruido y ancho de banda, para la selección de la oportunidad espectral, los cuales son medidos a partir de las señales de potencia, relación señal a ruido y frecuencia;
 - e) una memoria SD (11) para el almacenamiento de los valores de cada uno de los criterios de decisión correspondientes a cada una de las oportunidades espectrales;
 - f) una unidad de asignación espectral realimentada que comprende:
 - I. un módulo de evaluación actual del canal (12), el cual toma la información almacenada en la memoria SD (11) para realizar un análisis del comportamiento normal y obtener el valor del peso de cada uno de los cuatro criterios, y calcular un puntaje para cada oportunidad espectral al sumar el producto de cada uno de los cuatro criterios por el valor del peso correspondiente
 - II. una memoria SD (13) donde se almacena el puntaje determinado por el módulo de evaluación actual, el puntaje anterior y el puntaje promedio, para cada una de las oportunidades espectrales
 - III. un módulo de asignación realimentada (16) accede a la memoria SD (13) para obtener los puntajes correspondientes a la evaluación actual (EA), la última evaluación (UE), y la evaluación promedio (EP), y a partir de estos obtener el valor final del puntaje correspondiente a cada oportunidad espectral;
 - g) una unidad de asignación espectral predictiva (18) que recibe la información de la mejor oportunidad espectral de parte del módulo de asignación realimentada y a partir de la información en el tiempo, almacenada en la memoria SD (7), correspondiente a dicha oportunidad espectral, realiza la predicción del tiempo de disponibilidad de dicho canal a través de modelos de series de tiempo autoregresivos, de promedios móviles, autorregresivos de promedios móviles, y autorregresivos integrados de promedios móviles;
 - h) una unidad de asignación espectral multicanal (23) que comprende:

- I. Un módulo de localización de bandas multicanal (19), que a partir de la información almacenada en la memoria SD (7), identifica los canales de frecuencia contiguos y los trata como una sola banda de frecuencia multicanal
 - II. Un módulo de evaluación multicanal (20) que realiza una evaluación de todas las bandas multicanal y de canal único, a través de la información de los criterios de decisión almacenados en la memoria SD (11), y en el caso de las bandas multicanal promedia la información correspondiente a cada uno de los canales que conforman la banda multicanal
 - III. Un módulo de asignación multicanal (21) que se encarga de determinar cuántos y cuáles canales se asignaran a cada usuario de acuerdo con su solicitud de demanda de canales y la oferta disponible de estos
 - IV. Un módulo de evaluación de equidad (22), para que este determine el nivel de equidad de la asignación multicanal realizada a través del índice de Jain; y
- i) una unidad de selección adaptativa (24) encargada de seleccionar cuál de las tres unidades de asignación espectral es la más adecuada, de acuerdo con los requerimientos del usuario (9) y las características del ambiente de radio (4), a partir de la información del tipo de aplicación que requiere ejecutar el usuario (9), la relación oferta-demanda de canales, el patrón de comportamiento del tráfico y el nivel de tráfico actual.
2. Un método para la selección inteligente de oportunidades espectrales en redes de radio cognitiva, que comprende las etapas de:
 - a) almacenamiento de la información espectral correspondiente a nivel de potencia, canal de frecuencia, tiempo y ubicación geográfica, en una primera memoria SD, con el fin de realizar un análisis posterior para conocer el comportamiento de la ocupación espectral;
 - b) análisis de la información espectral almacenada en la primera memoria SD para realizar la medición actual de cuatro criterios de decisión: probabilidad de disponibilidad (PD), tiempo estimado de disponibilidad (TED), relación señal a ruido (SNR) y ancho de banda (AB), para la selección de la oportunidad espectral, los cuales son medidos a partir de las señales de potencia, relación señal a ruido y frecuencia, y los cuales son normalizados sobre 100 y almacenados en una segunda memoria SD, donde:
 - I. la variable PD, corresponde al análisis del ciclo de trabajo normalizado de cada una de las señales de potencia que son oportunidades espectrales potenciales
 - II. la variable TED, corresponde al tiempo de disponibilidad promedio de cada canal, primero se calculan todos los periodos de tiempo en que cada canal estuvo disponible de forma continua, y luego se toma el promedio sobre dichos periodos para cada canal
 - III. la variable SNR, corresponde al promedio de la diferencia entre la potencia de la señal y la potencia del piso de ruido promedio
 - IV. la variable AB, corresponde al ancho de banda promedio de cada canal;

- c) asignación espectral realimentada en la que se lee la información espectral almacenada en la segunda memoria SD y se realiza un análisis del comportamiento normal de dichos datos para determinar el valor del peso de cada uno de los cuatro criterios de decisión y calcular un valor de puntaje actual para cada oportunidad espectral al sumar el producto de cada uno de los cuatro criterios por el valor del peso correspondiente, y posteriormente, obtener un valor de puntaje final al ponderar el puntaje actual con el puntaje anterior y el puntaje promedio, almacenados en una tercera memoria SD, para seleccionar la mejor oportunidad espectral;
- d) asignación espectral predictiva que recibe la información de la mejor oportunidad espectral de la asignación espectral realimentada, y a partir de la información almacenada en la primera memoria SD, correspondiente a dicha oportunidad espectral, realiza la predicción del tiempo de disponibilidad de dicho canal a través de modelos de series de tiempo autoregresivos integrados de promedios móviles;
- e) asignación espectral multicanal que comprende:
 - I. la identificación de canales de frecuencia contiguos para identificar bandas de frecuencia multicanal partir de la información almacenada en la primera memoria SD
 - II. la evaluación de todas las bandas multicanal y de canal único, a través de la información de los criterios de decisión almacenados en la segunda memoria SD. En el caso de las bandas multicanal se promedia la información correspondiente a cada uno de los canales que conforman la banda multicanal
 - III. la asignación multicanal que se encarga de determinar cuántos y cuáles canales se asignaran a cada usuario de acuerdo con su solicitud de demanda de canales y la oferta disponible de estos, si oferta de canales es mayor que la demanda, se revisa la oferta excedente y se realiza una distribución equitativa de canales sobrantes entre todos los usuarios, si la oferta de los recursos espectrales disponibles es menor que la demanda de canales por parte de los usuarios, se realiza una proyección ideal de las demandas de cada uno de los usuarios y se procede a agrupar los usuarios de acuerdo a la cantidad demandada de recursos, en el caso que no se satisfaga la demanda de recursos se revisa el grupo de usuarios con mayor demanda de recursos y se empieza a restar un canal de la asignación deseada, se realiza este proceso para cada uno de los usuarios hasta que la demanda global sea igual a la oferta disponible, en caso de no ser así, se pasa al segundo grupo con mayor demanda de recursos y realiza el mismo proceso de resta de un canal por usuario revisando que la demanda se iguale con la oferta, es posible que todos los usuarios terminen con un solo canal, o incluso deban ser retirados del proceso (no asignarles ningún canal), en el caso de tener que retirar SU del proceso se empieza por los que demandan más canales, dejando de ultimas los que demanda menos canales
 - IV. la evaluación de equidad a través del índice de Jain para determinar el nivel de equidad de la asignación multicanal; y
- f) asignación de la frecuencia seleccionada al usuario que realizó la solicitud del recurso espectral.

FIGURAS

Figura 1. Diagrama de bloques funcional del aparato

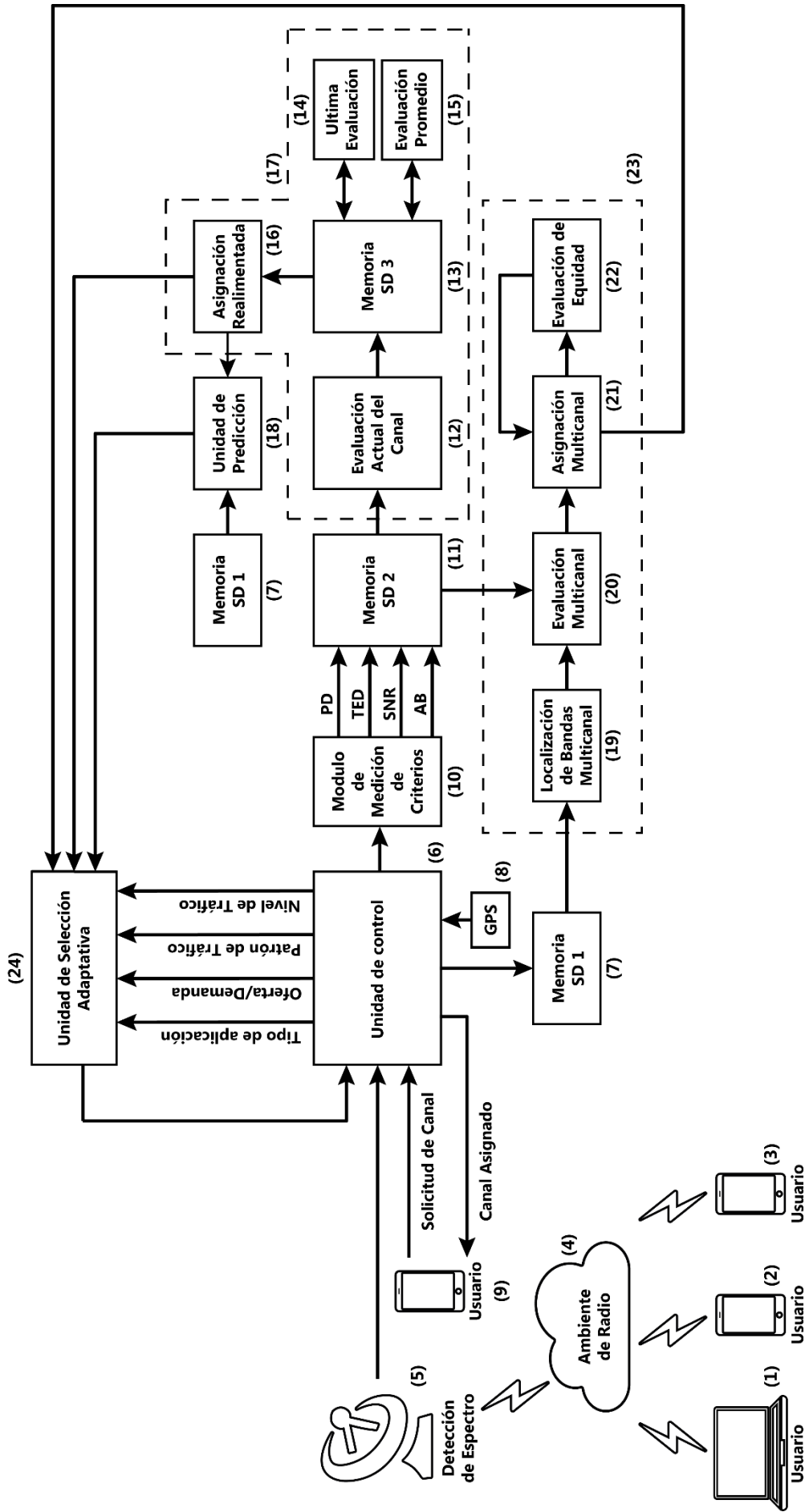
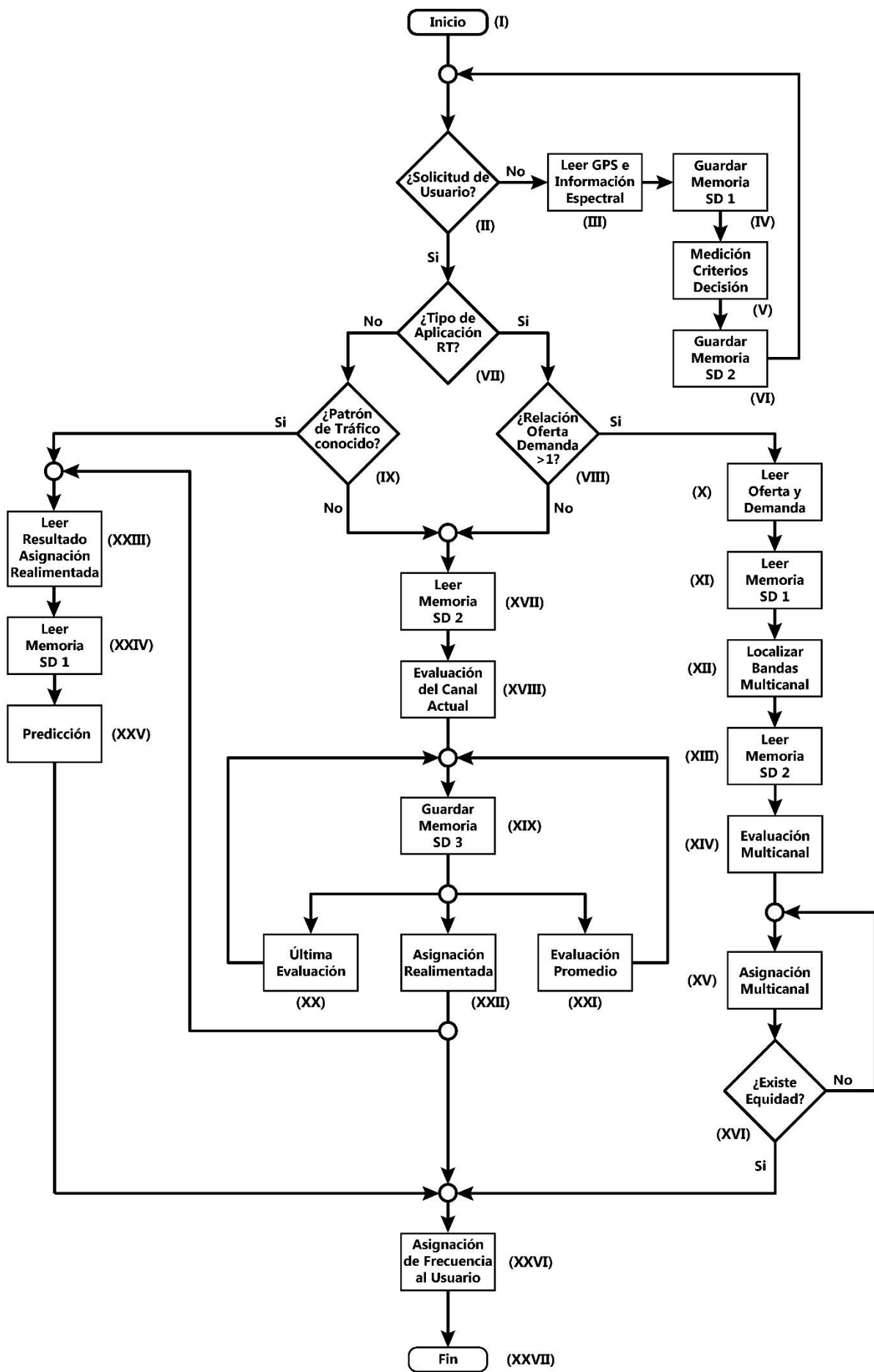


Figura 2. Diagrama de procesos del método



RESUMEN

La presente invención se refiere a un aparato y un método para la selección inteligente de oportunidades espectrales en redes de radio cognitiva, que mejore el desempeño de la movilidad en redes de radio cognitiva, modificando su comportamiento de forma dinámica, de acuerdo con los requerimientos y parámetros de la comunicación del usuario.

El aparato y método propuesto, está compuesto por una unidad de control encargada de coordinar todo el proceso de selección de la mejor oportunidad espectral de acuerdo con características del espectro y los requerimientos del usuario. A través de una unidad de selección adaptativa, de acuerdo con ciertos parámetros de información: tipo de aplicación, relación oferta-demanda, patrón de tráfico y nivel de tráfico, se escoge el mecanismo de selección de canal disponible más adecuado entre tres diferentes formas: realimentación, a través de la unidad de asignación realimentada, multicanal, a través de la unidad de asignación multicanal, y predicción, a través de la unidad de predicción. Lo anterior, teniendo como base los siguientes criterios de decisión: probabilidad de disponibilidad del canal, tiempo estimado de disponibilidad del canal, relación señal a ruido del canal y ancho de banda del canal.