

(12) SOLICITUD INTERNACIONAL PUBLICADA EN VIRTUD DEL TRATADO DE COOPERACIÓN EN MATERIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organización Mundial de la Propiedad
Intelectual
Oficina internacional



(10) Número de Publicación Internacional
WO 2009/147261 A1

(43) Fecha de publicación internacional
10 de diciembre de 2009 (10.12.2009)

PCT

(51) Clasificación Internacional de Patentes:
H04B 7/24 (2006.01) **H04L 12/24** (2006.01)
G06F 9/50 (2006.01)

(21) Número de la solicitud internacional:
PCT/ES2009/000300

(22) Fecha de presentación internacional:
28 de mayo de 2009 (28.05.2009)

(25) Idioma de presentación: español

(26) Idioma de publicación: español

(30) Datos relativos a la prioridad:
P200801671 30 de mayo de 2008 (30.05.2008) ES

(71) Solicitante (para todos los Estados designados salvo US): **UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA**; C/ Jordi Girona, 31, E-08034 Barcelona (ES).

(72) Inventores; e

(75) Inventores/Solicitantes (para US solamente): **REVÉS BALLESTÉ, Xavier** [ES/ES]; C/ Jordi Girona, 31, E-08034 Barcelona (ES). **MAROJEVIC, Vuk** [SR/ES]; C/ Jordi Girona, 31, E-08034 Barcelona (ES). **GELONCH BOSCH, Antoni** [ES/ES]; C/ Jordi Girona, 31, E-08034 Barcelona (ES).

(74) Representante común: **UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA**; C/ Jordi Girona, 29, Edificio Nexus II, planta baja, E-08034 Barcelona (ES).

(81) Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección nacional admisible): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección regional admisible): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), euroasiática (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europea (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publicada:

— con informe de búsqueda internacional (Art. 21(3))

[Continúa en la página siguiente]

(54) Title: METHOD FOR MANAGING COMPUTATION RESOURCES WHICH IS APPLICABLE TO A SOFTWARE-DEFINED RADIO SYSTEM

(54) Título: MÉTODO PARA GESTIONAR RECURSOS DE COMPUTACIÓN APLICABLE A UN SISTEMA DE RADIO DEFINIDA POR PROGRAMA

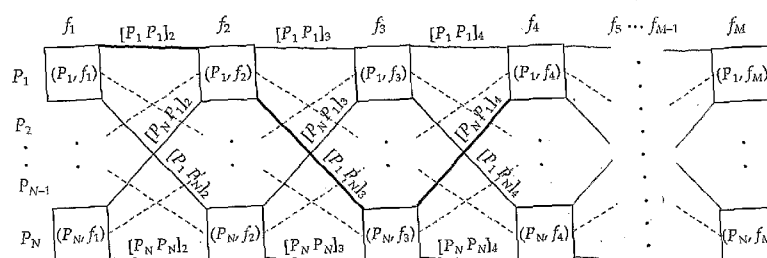


Fig. 15

(57) Abstract: For the purpose of mapping some functions, processes or parts of an SDR application on some processors with some particular computation resources, the method involves: pre-mapping said functions on some processors; forming some nodes which form a matrix of candidate nodes, each one of which is associated with a function and a processor; pre-connecting each of the candidate nodes in one column to those in the following column; checking all of the nodes in said matrix in order to evaluate the costs thereof, including those accumulated on the possible candidate paths resulting from said pre-connection; preselecting candidate nodes and paths as a function of the accumulated costs thereof; and carrying out a final selection of nodes or final mapping on the basis of the different accumulated costs and said preselection.

(57) Resumen: Comprende con el fin de mapear unas funciones, procesos o partes de una aplicación SDR sobre unos procesadores con unos recursos de computación determinados: realizar un pre-mapeado de dichas funciones sobre unos procesadores; constituyendo unos nodos que forman una matriz de nodos candidatos, cada uno de ellos asociado a una función y un procesador; pre-conectar cada uno de los

[Continúa en la página siguiente]



-
- *antes de la expiración del plazo para modificar las reivindicaciones y para ser republicada si se reciben modificaciones (Regla 48.2(h))*

nodos candidatos de una columna con los de la siguiente; recorrer todos los nodos de dicha matriz para evaluar sus costes, incluidos los acumulados en los posibles caminos candidatos resultantes de dicha pre-conexión; realizar una preselección de caminos y de nodos candidatos en función de sus costes acumulados; y realizar una selección final de nodos, o mapeado final, en base a los diferentes costes acumulados y a dicha preselección.

MÉTODO PARA GESTIONAR RECURSOS DE COMPUTACIÓN APLICABLE A UN SISTEMA DE RADIO DEFINIDA POR PROGRAMA

Sector de la técnica

5 La presente invención concierne a un método para gestionar recursos de computación aplicable a un sistema de radio definida por programa, que en general comprende mapear unas funciones, procesos o partes de una aplicación sobre unos procesadores con unos recursos de computación determinados, seleccionados utilizando funciones de coste, y en particular a un método que comprende realizar un
10 pre-mapeado de dichas funciones sobre unos procesadores, constituyendo unos nodos, cada uno de ellos asociado a una función y un procesador, que forman una matriz de nodos pre-conectados por mediación de unos caminos candidatos, recorrer todos los nodos de dicha matriz para evaluar sus costes, realizar una preselección de caminos y de nodos candidatos, y finalmente realizar una selección o mapeado final
15 en base a los diferentes costes acumulados y a la preselección realizada.

Estado de la técnica anterior

La radio definida por programa (Software-defined radio (SDR)) puede ser considerada como una generalización de radio por programa, o software, porque
20 caracteriza a un transceptor que implementa uno o más bloques procesadores de señal mediante software. SDR es un concepto emergente que influye en el diseño de cadenas de procesamiento de señales definidas por software e independientes en relación al hardware para comunicaciones vía radio. Introduce flexibilidad en sistemas inalámbricos, facilitando el paso dinámico desde una tecnología de acceso vía radio
25 (RAT) a otra o, en otras palabras, la desasignación y reasignación de recursos de computación de una aplicación SDR a otra.

El contexto de computación SDR consiste principalmente en plataformas multiprocesador heterogéneas, ya sean estaciones base (BSs) o terminales móviles (MTs), así como cadenas de procesamiento de señales definidas por software. Los
30 terminales móviles están muy limitados en cuanto a recursos de energía y de computación, en flexibilidad, y en soporte para implementaciones RAT concurrentes. Al contrario, los recursos de computación de las estaciones base están menos limitados, su consumo energético no es una limitación, y el número de implementaciones RAT concurrentes puede ser tan alto como se desee. No obstante,
35 el potencialmente gran número de usuarios y los altos grados de flexibilidad, modularidad y reconfigurabilidad de las plataformas hacen que la gestión de recursos

en las estaciones base sea igualmente importante pero más compleja que en los terminales móviles.

Existe la necesidad de definir una estructura de software flexible que haga de interfaz entre recursos de computación SDR, por un lado, y el sistema inalámbrico, representado por los requerimientos de computación SDR, por otro lado. La estructura debe ser capaz, mediante la aplicación de un correspondiente método, de mapear dinámicamente y de manera eficiente aplicaciones SDR con restricciones de precedencia, sobre unas plataformas SDR mientras satisface las restricciones de computación SDR. Estas restricciones son, en primer lugar, los requerimientos de computación en tiempo real de las aplicaciones SDR, definidos por las demandas relativas a mínima tasa de bits y máxima latencia, y los recursos de computación limitados de las plataformas SDR.

Existen multitud de contribuciones referentes al mapeado y programación de tareas en plataformas de computación multiprocesador heterogéneas. Estas contribuciones están enfocadas a una gran variedad de problemas en contextos de computación de propósito general o especial. Algunas abordan de manera conjunta los problemas de mapeado y programación de tareas y presentan soluciones óptimas o inferiores al óptimo con diferentes objetivos, como por ejemplo, el de minimizar el tiempo de ejecución o el coste de los procesos de comunicación, el objetivo de satisfacer los plazos de respuesta en tiempo real, así como otros objetivos adicionales o alternativos.

Por la patente US6768901 se conoce gestionar recursos de computación de un sistema de radio definida por programa, mapeando unas funciones, procesos o partes de una aplicación sobre unos procesadores con unos recursos de computación determinados, seleccionados utilizando funciones de coste. Se propone en dicho documento realizar una abstracción de los recursos computacionales con el fin de utilizar un lenguaje de capacidades común, tanto por lo que se refiere a los recursos disponibles como a los requeridos. No se especifica un tipo de abstracción concreta, quitándole importancia, de hecho, al tipo de abstracción a utilizar.

Por otra parte por el artículo "Modelado para la gestión de recursos de computación en sistemas SDR", del XXI Symposium Nacional de la Unión científica Internacional de Radio, de los mismos inventores de la presente invención, se conoce un modelo de un sistema SDR basado en una abstracción que tiene en cuenta los recursos computacionales limitados del mismo.

Asimismo se conoce la aplicación en sistemas SDR del mapeado "greedy- o g-mapping", el cual es una aproximación de mapeado local que no requiere de ningún

postprocesado. Este se basa en seleccionar de entre una cuadrícula o matriz de nodos candidatos, cada uno de ellos asociado a una función y un procesador, en base a los resultados de una función de coste aplicada a cada uno de los nodos. El algoritmo g-mapping en primer lugar selecciona un nodo de la primera columna de dicha matriz, tras lo cual tiene en cuenta el coste acumulado en cada uno de los nodos de la segunda columna tomando como origen el nodo seleccionado de la primera columna, en base a cuyo coste selecciona un nodo de la segunda columna, y así sucesivamente para el resto de columnas, de manera que en cada paso se selecciona únicamente un nodo, el cual es el único que se mantiene activo al efectuar el paso siguiente de selección de un nodo de la siguiente columna.

Aparece necesario ofrecer una alternativa al estado de la técnica que permita, para una misma matriz de nodos candidatos a mapear, obtener unos mejores resultados que el obtenido con el g-mapping, gracias a considerar para la selección de cada nodo, muchas más posibles combinaciones de nodos que las tenidas en cuenta por el g-mapping, así como al hecho de realizar una serie de preselecciones previas a la selección final de nodos.

Explicación de la invención

Para conseguir tal fin la presente invención concierne a un método para gestionar recursos de computación aplicable a un sistema de radio definida por programa, del tipo que comprende mapear unas funciones, procesos o partes de al menos una aplicación sobre unos procesadores con unos recursos de computación determinados, seleccionados utilizando funciones de coste mediante la realización de las siguientes etapas:

a) pre-mapear cada una de M funciones de dicha aplicación a cada uno de N procesadores, obteniendo así una matriz de NxM nodos candidatos, cada uno de ellos asociado a una función y un procesador,

b) pre-conectar cada uno de los nodos candidatos pertenecientes a una columna de dicha matriz con todos los nodos candidatos de la columna siguiente, posibilitando cada una de dichas conexiones una comunicación de datos a través de un camino candidato que incluye al menos un nodo candidato origen, una de dichas conexiones y un nodo candidato destino,

c) aplicar al menos una función de coste a cada uno de los N nodos candidatos de la primera columna de dicha matriz, o nodos asociados a una primera de dichas funciones, obteniendo el coste de cada uno de dichos nodos candidatos,

d) aplicar al menos una función de coste a los caminos candidatos que incluyen a los nodos candidatos de la primera columna en conexión con al menos los de la segunda, y calcular el coste acumulado asociado a cada uno de dichos caminos candidatos que incluye al menos el coste del nodo destino en función de decisiones precedentes y el coste del nodo origen obtenido en la etapa c), en su totalidad o en parte, obteniendo así el coste de cada uno de dichos caminos candidatos, y:

e) preseleccionar para cada nodo candidato de la segunda columna al menos parte del camino candidato de coste óptimo que lleva a dicho nodo candidato de la segunda columna o pasa por él, obteniendo, respectivamente, N primeros caminos o segmentos de caminos preseleccionados, descartando las conexiones que unen a los nodos candidatos de la primera columna con los de la segunda que no forman parte de dichos primeros caminos o segmentos de caminos preseleccionados.

Para un primer ejemplo de realización, que será referenciado en un apartado posterior como indicativo de la utilización de una ventana de cálculo $w=1$, para el cual cada uno de dichos caminos candidatos es un camino de dos nodos (o camino de longitud 1) que incluye únicamente una de dichas conexiones, un nodo candidato origen y un nodo candidato destino de dos columnas consecutivas, el método comprende llevar a cabo:

- dicha etapa d) para aplicar dicha función de coste, que es al menos una, a los caminos candidatos que incluyen a los nodos candidatos de la primera columna en conexión con, únicamente, los nodos candidatos de la segunda columna, y

- dicha etapa e) para preseleccionar por entero, para cada nodo candidato destino de la segunda columna, el camino candidato de coste óptimo que lleva hasta él, obteniéndose dichos N primeros caminos preseleccionados que parten de un nodo de la primera columna y finalizan en un nodo de la segunda columna.

Para dicho primer ejemplo de realización si $M=2$, el método comprende seleccionar los dos nodos que forman parte del camino de coste óptimo, de entre dichos primeros caminos preseleccionados, y por ende el procesador o procesadores asociados a cada uno de dichos dos nodos seleccionados como procesador o procesadores mapeados para ejecutar la primera función, el asociado al nodo de la primera columna, y una segunda función el asociado al nodo de la segunda columna.

En cambio para un caso más real en que $M \geq 3$, el método comprende, para dicho primer ejemplo de realización, realizar las siguientes etapas, análogas a dichas etapas d) y e), respectivamente:

- d') aplicar al menos una función de coste a los caminos candidatos que incluyen a los nodos candidatos de la segunda columna en conexión con los de la

tercera, para calcular el coste acumulado asociado a cada uno de dichos caminos candidatos que incluye al menos el coste del nodo destino de la tercera columna en función de decisiones precedentes y el coste de uno de dichos primeros caminos preseleccionados en la etapa e), cada uno de los cuales incluye únicamente un nodo de la primera columna conectado con uno nodo de la segunda columna, obteniendo así el coste de cada uno de dichos caminos candidatos con destino en un respectivo nodo candidato de la tercera columna, y

e') preseleccionar para cada nodo candidato destino de la tercera columna el camino candidato de coste óptimo que lleva hasta él desde un nodo origen de la segunda columna, obteniendo N segundos caminos preseleccionados, descartando las conexiones que unen a los nodos candidatos de la segunda columna con los de la tercera que no forman parte de dichos segundos caminos preseleccionados.

Según el primer ejemplo de realización cuando $M=3$, el método comprende seleccionar, de entre dichos N segundos caminos preseleccionados, el de coste óptimo, y recorrerlo hacia atrás junto por el primer camino preseleccionado al que se encuentra unido, para seleccionar los tres nodos que forman parte de dicho recorrido, y por ende el procesador o procesadores asociados a cada uno de dichos tres nodos seleccionados como procesadores mapeados para ejecutar la primera función, el asociado al nodo de la primera columna, la segunda función, el asociado al nodo de la segunda columna, y la tercera función, el asociado al nodo de la tercera columna.

Si en cambio $M>3$, el método comprende, para el primer ejemplo de realización, realizar, para cada una de las columnas siguientes a la tercera columna, dos a dos y avanzando columna a columna, unas etapas análogas a dichas etapas d') y e') para finalmente preseleccionar para cada nodo candidato destino de cada columna adicional a la tercera columna, el camino candidato de coste óptimo que lleva hasta él desde un nodo origen de la columna inmediatamente anterior, obteniendo N caminos preseleccionados adicionales por columna, descartando las conexiones que no forman parte de dichos caminos preseleccionados adicionales.

Finalmente para dicho caso en que $M>3$, el método comprende, para el primer ejemplo de realización, seleccionar, de entre los N caminos preseleccionados adicionales que incluyen a los nodos de la última columna, el de coste óptimo, y recorrerlo hacia atrás junto con todos los caminos preseleccionados a los que se encuentra unido, para seleccionar los M nodos que forman parte de dicho recorrido, y por ende el procesador o procesadores asociados a cada uno de dichos M nodos seleccionados como procesadores mapeados para ejecutar las M funciones.

Para un segundo ejemplo de realización, que será referenciado en un apartado posterior como indicativo de la utilización de una ventana de cálculo $w=2$, para el cual cada uno de dichos caminos candidatos incluye un nodo candidato origen, un nodo candidato intermedio y un nodo candidato destino, de tres columnas consecutivas respectivamente, interconectados por dos de dichas conexiones, es decir un camino de tres nodos, el método comprende llevar a cabo:

- dicha etapa d) para aplicar al menos dicha función de coste a los caminos candidatos, cada uno de los cuales incluye, interconectados por dos conexiones respectivas, un nodo candidato origen de la primera columna, un nodo candidato intermedio de la segunda columna y un nodo candidato destino de la tercera columna, para calcular el coste acumulado de cada uno de dichos caminos candidatos de tres nodos y el de sus segmentos iniciales, o segmentos de camino de dos nodos que incluyen a un nodo de la primera columna y a uno de la segunda, y

- dicha etapa e) para preseleccionar, para cada nodo candidato intermedio de la segunda columna, únicamente parte del camino candidato de tres nodos de coste óptimo que pasa por él, siendo dichas partes preseleccionadas dichos N primeros segmentos de camino de dos nodos.

Para dicho segundo ejemplo de realización, cuando $M>3$, el método comprende realizar la siguiente etapa, análoga a dicha etapa d):

d") aplicar al menos una función de coste a los caminos candidatos de tres nodos que incluyen, interconectados por dos conexiones respectivas, un nodo candidato origen de la segunda columna, un nodo candidato intermedio de la tercera columna y un nodo candidato destino de la cuarta columna, para calcular el coste acumulado asociado a cada uno de dichos caminos candidatos de tres nodos, que incluye al menos el coste del nodo destino de la cuarta columna en función de decisiones precedentes y el coste acumulado de uno de dichos primeros segmentos de camino de dos nodos preseleccionados en la etapa e).

En concreto cuando $M=4$, el método comprende, para dicho segundo ejemplo de realización, realizar las siguientes etapas, tras dicha etapa d"):

- preseleccionar para cada nodo candidato intermedio de la tercera columna, el camino candidato completo de tres nodos de coste óptimo que pasa por él y finaliza en un nodo de la cuarta columna, obteniendo N caminos de tres nodos preseleccionados, y

- seleccionar, de entre dichos N caminos de tres nodos preseleccionados, el de coste óptimo, y recorrer dicho camino seleccionado desde su nodo intermedio, de la tercera columna, hacia delante y hacia atrás junto con el primer segmento de camino

de dos nodos preseleccionado en la etapa e) al que se encuentra unido, para seleccionar los cuatro nodos que forman parte de dicho recorrido, y por ende el procesador o procesadores asociados a cada uno de dichos cuatro nodos seleccionados como procesadores mapeados para ejecutar la primera función, el asociado al nodo de la primera columna, la segunda función, el asociado al nodo de la segunda columna, la tercera función, el asociado al nodo de la tercera columna, y una cuarta función, el asociado al nodo de la cuarta columna.

Alternativamente cuando $M > 4$, el método comprende, para dicho segundo ejemplo de realización, realizar la siguiente etapa tras dicha etapa d''):

e'') preseleccionar, para cada nodo candidato intermedio de la tercera columna, únicamente parte del camino candidato de tres nodos de coste óptimo que pasa por él y finaliza en un nodo candidato de la cuarta columna, obteniendo N segundos segmentos de camino de dos nodos preseleccionados.

El método comprende realizar, para dicho caso en que $M > 4$ del segundo ejemplo de realización, para cada una de las columnas siguientes a la cuarta columna, tres a tres y avanzando columna a columna, unas etapas análogas a dichas etapas d'') y e'') para cada camino de tres nodos adicional que finaliza en cada una de las columnas siguientes o adicionales a la cuarta columna, a excepción del camino de tres nodos adicional que finaliza en la columna M, para preseleccionar para cada nodo candidato intermedio de cada camino de tres nodos adicional, únicamente parte del camino candidato de tres nodos de coste óptimo que pasa por él, obteniendo N segmentos de camino de dos nodos preseleccionados adicionales por cada columna adicional a la cuarta columna.

Por lo que respecta a dichos caminos de tres nodos adicionales que finalizan en la columna M, el método comprende realizar las siguientes etapas (para $M > 4$ del segundo ejemplo de realización), tras dicha etapa análoga a dicha etapa e''):

- preseleccionar para cada nodo candidato intermedio de la columna M-1, el camino candidato completo de tres nodos de coste óptimo que pasa por él y finaliza en un nodo de la columna M, obteniendo N caminos de tres nodos preseleccionados, y

- seleccionar, de entre dichos N caminos de tres nodos preseleccionados, el de coste óptimo, y recorrer dicho camino seleccionado desde su nodo intermedio, de la columna M-1, hacia delante y hacia atrás junto con todos los segmentos de camino de dos nodos preseleccionados a los que se encuentra unido, para seleccionar los M nodos que forman parte de dicho recorrido, y por ende el procesador o procesadores asociados a cada uno de dichos M nodos seleccionados como procesadores mapeados para ejecutar las M funciones.

Para unos ejemplos de realización adicionales para los que $w > 2$, o dicho de otro modo cuando cada uno de dichos caminos candidatos es un camino de más de tres nodos, el método comprende llevar a cabo:

- dicha etapa d) para calcular el coste acumulado de cada uno de dichos caminos candidatos de más de tres nodos y el de sus segmentos iniciales de camino de dos nodos que incluyen a un nodo de la primera columna y a uno de la segunda,

- dicha etapa e) para preseleccionar, para cada nodo candidato de la segunda columna, únicamente parte del camino candidato de más de tres nodos de coste óptimo que pasa por él, siendo dichas partes preseleccionadas dichos N primeros segmentos de camino de dos nodos, y

- realizar unas etapas análogas a dichas etapas descritas para dichos caminos de tres nodos, preseleccionando para cada nodo candidato que ocupa la segunda posición en cada camino de más tres nodos adicional que finaliza en cada una de las columnas siguientes o adicionales a la cuarta columna, a excepción del camino de más de tres nodos adicional que finaliza en la columna M, el segmento inicial de dos nodos del camino candidato de más de tres nodos de coste óptimo que pasa por él, obteniendo N segmentos de camino de dos nodos preseleccionados adicionales por cada columna adicional a la cuarta columna.

El método comprende realizar, para dichos caminos de más de tres nodos adicionales que finalizan en la columna M, las siguientes etapas:

- preseleccionar para cada nodo candidato que ocupa la segunda posición en cada camino de más tres nodos adicional que finaliza en la columna M, el camino candidato completo de más de tres nodos de coste óptimo que pasa por él y finaliza en un nodo de la columna M, obteniendo N caminos de más tres nodos preseleccionados, y

- seleccionar, de entre dichos N caminos de más de tres nodos preseleccionados, el de coste óptimo, y recorrer dicho camino seleccionado desde su respectivo nodo que ocupa la segunda posición en el camino, hacia delante y hacia atrás junto con todos los segmentos de camino de dos nodos preseleccionados a los que se encuentra unido, para seleccionar los M nodos que forman parte de dicho recorrido, y por ende el procesador o procesadores asociados a cada uno de dichos M nodos seleccionados como procesadores mapeados para ejecutar las M funciones.

Por lo que se refiere a las mencionadas decisiones precedentes, éstas influyen en dicho coste acumulado al menos por lo que respecta a los recursos restantes en cada nodo tras haber tomado dichas decisiones o preselecciones.

La funciones de coste utilizadas por el método propuesto por la invención evalúan el coste de computación que relaciona los requerimientos de procesado con los recursos disponibles de procesado en cada momento, y el coste de comunicación que relaciona los requerimientos de ancho de banda para traspasar datos de un proceso a otro con los correspondientes anchos de banda disponibles entre los procesadores.

El método comprende, para un ejemplo de realización, determinar dichos recursos de computación de cada uno de dichos procesadores tomando como base un segmento temporal, o "time slot", de una pluralidad de segmentos temporales iguales, de duración suficiente como para asegurar que cada procesador sea capaz de ejecutar las funciones o procesos asignados y de traspasar datos a otro procesador antes de que finalice dicho segmento temporal, garantizando así el procesado en tiempo real requerido por las aplicaciones SDR.

Por otra parte con el fin de trabajar con dichos segmentos temporales, el método comprende mapear dichas funciones para ejecutar finalmente la aplicación mediante un proceso de segmentación de instrucciones, estableciéndose los mismos requerimientos de computación para cada uno de dichos segmentos temporales.

Breve descripción de los dibujos

Las anteriores y otras ventajas y características se comprenderán más plenamente a partir de la siguiente descripción detallada de unos ejemplos de realización con referencia a los dibujos adjuntos, que deben tomarse a título ilustrativo y no limitativo, en los que:

la Fig. 1 es una representación esquemática de un modelo de plataforma con sus recursos inicialmente disponibles (a) y de un modelo de aplicación con sus requerimientos de recursos (b), utilizables para aplicar el método propuesto por la presente invención;

la Fig. 2 muestra de manera esquemática una matriz de nodos (a, c) configurada según el método propuesto, con unos nodos iniciales dibujados con línea continua objeto de análisis según una primera parte del método propuesto, para un ejemplo de realización, así como una tabla de costes (b) de dichos nodos;

la Fig. 3 muestra la misma matriz (a, c) de la Fig. 2, para el mismo ejemplo de realización, pero para un paso posterior, o segunda parte del método propuesto por la invención, indicando la vista (a) los caminos examinados en línea continua y la vista (c) el camino preseleccionado en negrita, así como una tabla de costes (b) indicando el coste acumulado en un primer nodo de una segunda columna de dicha matriz;

la Fig. 4 muestra unas vistas análogas a las de la Fig. 3, para el mismo segundo paso, pero aplicado a un segundo nodo de dicha segunda columna de la matriz, indicando la vista (a) los caminos examinados en línea continua y la vista (c) el camino preseleccionado en negrita;

5 la Fig. 5 muestra unas vistas análogas a las de la Fig. 3, con la diferencia de que el análisis referente a dicha segunda parte del método propuesto por la invención, se lleva a cabo respecto al primer nodo de la tercera columna;

la Fig. 6 muestra unas vistas análogas a las de la Fig. 4, con la diferencia de que el análisis referente a dicha segunda parte del método propuesto por la invención, se lleva a cabo respecto al segundo nodo de la tercera columna;

10 la Fig. 7 muestra unas vistas análogas a las de la Fig. 3 y 5, con la diferencia de que el análisis referente a dicha segunda parte del método propuesto por la invención, se lleva a cabo respecto al primer nodo de la cuarta columna;

la Fig. 8 muestra unas vistas análogas a las de la Fig. 4 y 6, con la diferencia de que el análisis referente a dicha segunda parte del método propuesto por la invención, se lleva a cabo respecto al segundo nodo de la cuarta columna, y de que en (c) no aparece ninguna línea en negrita por no haberse preseleccionado ningún camino que lleva al segundo nodo de la cuarta columna debido al coste infinito de ambos;

20 la Fig. 9 muestra en la vista (a) la matriz de nodos de las Figs. 2 a 7, con unos nodos seleccionados definitivamente que forman parte del recorrido indicado por unas flechas discontinuas, así como una vista (b) que indica el mapeado final representado por dichos nodos seleccionados;

la Fig. 10 muestra unas vistas análogas a las de la Fig. 3 pero para otro ejemplo de realización para el que se examinan caminos de tres nodos que pasan por el nodo gris de la vista (a), indicando dicha vista (a) los caminos examinados en línea continua y la vista (c) el segmento de uno de dichos caminos preseleccionado, en negrita, así como una tabla de costes (b) indicando los costes acumulados en cada uno de dichos caminos examinados;

30 la Fig. 11 muestra unas vistas análogas a las de la Fig. 10, para el mismo segundo paso, pero aplicado a los caminos que pasan por el nodo gris de la vista (a);

la Fig. 12 muestra unas vistas análogas a las de la Fig. 10, pero donde los nodos objeto de análisis se han desplazado una posición a la derecha, y donde en la vista (c) se ha preseleccionado, marcado en negrita, un camino completo de tres nodos que abarca las tres últimas columnas;

la Fig. 13 expone unas vistas análogas a las de la Fig. 12, pero donde tanto los caminos de tres nodos examinados (vista (a)) como el preseleccionado (vista (c)) pasan por el segundo nodo de la tercera columna; y

la Fig. 14 muestra en la vista (a) la matriz de nodos con unos nodos seleccionados definitivamente que forman parte del recorrido indicado por unas flechas discontinuas, para el ejemplo de realización de las Figs. 10 a 13, así como una vista (b) que indica el mapeado final representado por dichos nodos seleccionados;

la Fig. 15 es una representación esquemática de una matriz de NxM nodos generada y utilizada por el método propuesto por la presente invención;

la Fig. 16 ilustra una secuencia de instrucciones o pseudo-código representativos de la implementación del método propuesto por la presente invención para un ejemplo de realización; y

la Fig. 17 es una tabla que contiene las variables y expresiones más importantes utilizados en el siguiente apartado de descripción detallada de unos ejemplos de realización.

Descripción detallada de unos ejemplos de realización

En el presente apartado se referirá, con referencia a las figuras adjuntas, el método propuesto como algoritmo " t_w -mapping" o algoritmo de programación de ventana w dinámica, donde w indica el tamaño de dicha ventana, de análisis y cálculo.

Aunque se asume un problema particular de mapeado, los conceptos mostrados son validos para cualquier problema.

Para ejemplificar el proceso de mapeado según el algoritmo t_w -mapping, se ha asumido una función de coste sencilla. Esta consiste en la suma entre el coste de computación y el coste de comunicación. El coste de computación pone en relación los requerimientos de procesado con los recursos disponibles de procesado, mientras que el coste de comunicación pone en relación los requerimientos de ancho de banda (para traspasar datos de un proceso a otro) con los correspondientes anchos de banda disponibles entre los procesadores. Anchos de banda internos a un procesador se asumen infinitos, por lo cual el coste de traspasar datos de un proceso a otro ejecutados dentro del mismo procesador no implica ningún coste de comunicación. Para garantizar un mapeado correcto, se actualizan los recursos disponibles después de cada decisión del t_w -mapping. Los números (costes) provienen de esta función de coste, que no se especifica con más detalle porque el objetivo es ejemplificar el funcionamiento del t_w -mapping; el origen de estos números no es significativo sino cómo se comporta el algoritmo en función de estos números. Nótese que un coste

infinito indica el caso de requerir más recursos de los disponibles. Por lo tanto costes finitos representan mapeados validos, mientras que costes infinitos indican mapeados (parciales) inválidos. Para esta como para cualquier función de coste aplicada el objetivo es optimizar (minimizar en este caso) el coste de mapeado; el algoritmo toma las decisiones correspondientes, lo que se verá a continuación.

Por lo que se refiere a la plataforma y aplicación (Recursos disponibles y requeridos), en la Fig. 1a se muestra el modelo de una plataforma de 2 procesadores, indicando los recursos de procesado (números negrita) y de comunicación (números normales), y en la Fig. 1b se muestran los recursos requeridos de procesado (números negrita) y de traspaso de datos (números normales) y el modelo de la aplicación que consiste de 4 procesos (módulos o funciones).

Funcionamiento de t_w -mapping paso a paso:

Ventana $w = 1$:

A) Parte I del algoritmo, o dicho de otro modo primera parte del método propuesto:

En la primera parte el algoritmo calcula el coste da mapear el proceso o función f_1 a todos los procesadores (Fig. 2a). Según la función de coste elegida, mapear el proceso f_1 al procesador P_1 cuesta 0.5, mientras que mapear el proceso f_1 al procesador P_2 cuesta 1 (Fig. 2b). Estos costes se guardan en los correspondientes nodos (Fig. 2c).

B) Parte II del algoritmo:

En la segunda parte, el t_1 -mapping examina los nodos entre el paso 2 y el paso $(M-w+1)$. Los nodos de cada paso se pueden procesar en paralelo, mientras que paso $(i+1)$ se ha de procesar después del procesado de los nodos de paso i . Para el nodo (P_1, f_2) se examinan los caminos $[P_1 P_1]_2$ y $[P_2 P_1]_2$ (Fig. 3a). Sus costes acumulados, o sea el coste del nodo de origen más el coste de mapear f_2 a P_1 y a P_2 , respectivamente, se calculan en función de los recursos restantes (Fig. 3b) para elegir el de menor coste que marca el camino a seguir (Fig. 3c).

Para el nodo (P_2, f_2) se examinan los caminos $[P_1 P_2]_2$ y $[P_2 P_2]_2$ (Fig. 4a). Sus costes acumulados, o sea el coste del nodo de origen más el coste de mapear f_2 a P_1 y a P_2 , respectivamente, se calculan en función de los recursos restantes (Fig. 3b) para elegir el de menor coste que marca el camino a seguir (Fig. 4c).

Una vez acabado de procesar los nodos del paso 2, se continúa con los nodos del paso 3. Estos nodos se procesan de la manera equivalente a la que se aplicó a los nodos del paso 2, partiendo de los costes guardados y los recursos disponibles en los nodos (P_1, f_2) y (P_2, f_2) (Fig. 5 y Fig. 6). Finalmente, se procesan los nodos del paso 4 (Fig. 7 y Fig. 8).

C) Parte III del algoritmo:

Una vez acabada la parte II del algoritmo, se continúa con la parte III. En esta parte el t_w -mapping primero busca el nodo de mínimo coste bajo los del paso $M-w+1$. En el caso del t_1 -mapping y el ejemplo considerado, esto es el nodo (P_1, f_4) , con el coste de 2.83, opuesto al coste infinito del nodo (P_2, f_4) (Fig. 9a). Partiendo de este nodo se traspasa el diagrama del t_w -mapping por las conexiones marcadas en negrita hasta llegar a un nodo del paso 1, marcando los nodos atravesados (Fig. 9a). Esto devuelve el mapeado final según la función de coste aplicada y la ventana elegida. En este caso la solución propone mapear f_1, f_2 y f_4 a procesador P_1 y f_3 a P_2 (Fig. 9b). El coste total de este mapeado es 2.83, tal y como indica el nodo (P_1, f_4) (Fig. 9a).

Ventana $w = 2$:

A) Parte I del algoritmo:

Es la misma que en el caso de $w = 1$ (Fig. 2).

B) Parte II del algoritmo:

Los caminos tienen una longitud de $w = 2$. Hay $N^w = 2^2 = 4$ caminos que se comparan en cada nodo de la parte II del algoritmo. La Fig. 10 ilustra el procedimiento para el nodo (P_1, f_2) y la Fig. 11 para el nodo (P_2, f_2) . Nótese que, aunque se usa el coste del camino de longitud 2 para tomar la decisión, se marca sólo la primera parte del camino y se guarda el coste correspondiente al paso de longitud 1 (Fig. 10c y Fig. 11c).

Se procede con los 2 nodos bajo el paso 3 (ver Figs. 12 y 13) de manera equivalente, con la diferencia de que el coste acumulado hasta los nodos de la cuarta columna se guardan o asignan a los nodos de la tercera columna y de que se marca el camino entero de longitud 2 después de haber tomado la decisión. Esto es debido a que se trata del último paso de la parte II del t_2 -mapping: $M-w+1 = 4-2+1 = 3$.

C) Parte III del algoritmo:

Se elige el nodo de mínimo coste bajo el paso $(M-w+1) = (4-2+1) = 3$, en este caso el nodo (P_2, f_3) . Partiendo de este nodo se recorre el diagrama t_w -mapping en ambas direcciones por las conexiones marcadas hasta llegar al paso 1 por un lado y al paso 4 por el otro (Fig. 14a). El mapeado final se obtiene a partir de los nodos

5 travesados (Fig. 14b) durante este procedimiento.

Debido a que en los sistemas SDR se conciben criterios de optimización diferentes, tales como el relativo a satisfacer requerimientos de computación en tiempo real en condiciones difíciles de satisfacer, o el relativo a optimizar el consumo energético, el método o algoritmo propuesto por la presente invención es de propósito

10 general, y puede ejecutar diferentes funciones de coste y ser dinámicamente ajustado a cambios en el entorno de señales de radio.

A continuación se detallará, con referencia a las Figs. 15 y 16, el algoritmo de t_w -mapping descrito para un ejemplo de realización más genérico que el descrito anteriormente, y generalizado para M funciones, N procesadores y $N \times M$ nodos.

Con referencia a la Fig. 15, en ella puede verse el diagrama de t_w -mapping que contiene una matriz de $N \times M$ t-nodos. Un t-nodo se identifica como $(P_{k(i)}, f_i)$ y representa el mapeado de una función SDR f_i al procesador $P_{k(i)}$. Cualquier t-nodo en el paso i (columna i en el diagrama de t_w -mapping) se encuentra conectado con todos los t-nodos del paso $i+1$. La secuencia de procesadores $[P_{k(0)} P_{k(1)} \dots P_{k(w)}]_i$ identifica el

15 camino- w , un camino de longitud w , que está asociado con el t-nodo $(P_{k(1)}, f_i)$. $P_{k(0)}$ es el procesador de origen del camino- w en el paso $(i-1)$ y $P_{k(w)}$ el procesador de destino en el paso $i+w-1$. Por tanto, $[P_1 P_1 P_N P_1]_2$ representa el camino de tres conexiones o segmentos marcados en negrita en la Fig. 15, y se encuentra asociado con el t-nodo

20 (P_1, f_2) . La Tabla 1 de la Fig. 17 contiene las variables y expresiones más importantes que aparecen en la presente memoria descriptiva.

El algoritmo de t_w -mapping que se ilustra en la Fig. 16 puede ser dividido en tres partes: *procesado en el paso 1* (líneas 1-2 en la Fig. 16), *procesado en los pasos $i = 2, 3, \dots, M-w+1$* (líneas 3-18 en la Fig. 16), y *postprocesado* (líneas 19-20 en la Fig. 16). El t_w -mapping y por tanto su descripción no asume una función de coste en particular.

30 A) Parte I: procesado en el paso 1

La primera parte del algoritmo se refiere a la función SDR f_1 . Para cualquier procesador $P_{k(0)}$, el t_w -mapping ($w \geq 1$) premapea f_1 a $P_{k(0)}$ y almacena el coste de premapeo $CT(P_{k(0)}, f_1)$ en el t-nodo $(P_{k(0)}, f_1)$ (líneas 1-2 en la Fig. 16). El término premapeo indica que el mapeado final de la aplicación SDR no es conocido hasta

35 haber procesado, o premapeo, todas sus funciones SDR.

B) Parte II: procesado en los pasos $i = 2, 3, \dots, M-w+1$

El t_1 -mapping analiza los N segmentos de camino, o caminos de longitud 1, que terminan en el t -nodo $(P_{k(1)}, f_i)$. Estos son $[P_1 P_{k(1)}]_i$, $[P_2 P_{k(1)}]_i$, ..., y $[P_N P_{k(1)}]_i$ (línea 5 en la Fig. 16). Al camino de 1 $[P_{k(0)} P_{k(1)}]_i$ le es asignado el peso $WT[P_{k(0)} P_{k(1)}]_i$ (línea 6 en la Fig. 16). Este peso representa el coste de premapear la función SDR f_i al procesador $P_{k(1)}$ teniendo en consideración las decisiones precedentes, las cuales son proporcionadas por el t -nodo origen del camino de 1 $(P_{k(0)}, f_{i-1})$. El t_1 -mapping calcula el coste acumulado $CT[P_{k(0)} P_{k(1)}]_i = CT(P_{k(0)}, f_{i-1}) + WT[P_{k(0)} P_{k(1)}]_i$ (elementos en negrita de la línea 12 en la Fig. 16) para cada camino de 1. El camino de 1 $[P_{k(0)^*} P_{k(1)}]_i$ es obtenido a partir de:

$$k(0)^* = \arg \min_{k(0)=1,2,\dots,N} \{CT[P_{k(0)} P_{k(1)}]_i\} \quad (1)$$

y representa la decisión de premapeo en el t -nodo $(P_{k(1)}, f_i)$. (La función $\arg \min\{x\}$ da como resultado el/los argumento(s) que conducen al valor mínimo de x .) El algoritmo finalmente resalta el camino de 1 $[P_{k(0)^*} P_{k(1)}]_i$ (línea 14, en negrita, de la Fig. 16) y almacena su coste acumulado en el t -nodo $(P_{k(1)}, f_i)$ (línea 15).

El t_w -mapping ($w > 1$) analiza los N^w caminos- w que están asociados con el t -nodo $(P_{k(1)}, f_i)$. Cualquiera de estos caminos- w se origina en el t -nodo en el paso $(i-1)$, discurre a través de $(P_{k(1)}, f_i)$, y finaliza en el t -nodo en el paso $i+w-1$. El algoritmo calcula los costes acumulados debido a las líneas 5-12 de la Fig. 16. Entonces resuelve

$$\{k(0)^*, k(2)^*, \dots, k(w)^*\} = \arg \min_{k(l)=1,2,\dots,N; \forall l \neq 1} \{CT[P_{k(0)} P_{k(1)} P_{k(2)} \dots P_{k(w)}]_i\}, \quad (2)$$

que ofrece como resultado los índices del camino- w que tienen el mínimo coste acumulado. En el caso de que $i < (M-w+1)$, el t_w -mapping ($w > 1$) resalta el camino de 1 $[P_{k(0)^*} P_{k(1)}]_i$ y almacena el coste acumulado correspondiente en el t -nodo $(P_{k(1)}, f_i)$ (líneas 13-15 en la Fig. 16). De lo contrario, resalta el camino- w $[P_{k(0)^*} P_{k(1)} P_{k(2)^*} \dots P_{k(w)^*}]_{M-w+1}$ entero y almacena su coste acumulado total en el t -nodo $(P_{k(1)}, f_{M-w+1})$ (líneas 16-18 de la Fig. 16).

Todos los N t -nodos en el paso i (línea 4 de la Fig. 16) pueden ser procesados en paralelo. Una vez se ha finalizado su procesamiento, el t_w -mapping ($w \geq 1$), es decir el método propuesto por la presente invención, procede con el paso $i+1$ en el caso de que $i < (M-w+1)$ y si no es así procede con la parte III (línea 3) en el caso de que $i = (M-w+1)$.

C) Parte III: postprocesado

La parte III del algoritmo postprocesa las decisiones de premapado de las partes I y II. El t_w -mapping ($w \geq 1$) resalta en primer lugar el t -nodo en el paso $M-w+1$ que retiene el mínimo coste (línea 19 de la Fig. 16). Comenzando por este t -nodo, el diagrama t_w -mapping, es decir la matriz $N \times M$, es recorrida hacia atrás (o hacia delante y hacia atrás en el caso de que $w > 1$) a lo largo de los caminos de 1 resaltados, a la vez que se resaltan todos los t -nodos que son atravesados durante ese recorrido (línea 20 de la Fig. 16). Esto ofrece como resultado M t -nodos resaltados, que son los finalmente seleccionados para especificar la propuesta de mapeado prevista para el problema particular, la función de coste y el tamaño de ventana escogidos.

Las partes II y III descritas indican que la ventana w controla el nivel de localidad (alcance local vs. global) de las decisiones de premapado: El algoritmo t_1 -mapping está basado en decisiones locales. Sin embargo mantiene N diferentes premapados en cada paso, uno por t -nodo, lo cual resulta en N (parcialmente) diferentes opciones de mapeado (expresiones en negrita en la Fig. 16).

Por otra parte, el algoritmo de t_{M-1} -mapping examina todos los N^M mapeados posibles de las M funciones a los N procesadores. En concreto, calcula los costes acumulados de los caminos- $(M-1)$, es decir caminos de longitud $(M-1)$, de todos los N^{M-1} caminos- $(M-1)$ diferentes que atraviesan el t -nodo $(P_{k(1)}, f_2)$ (líneas 5-12 en la Fig. 16) y selecciona el de mínimo coste (líneas 17 y 18 de la Fig. 16). Esto lo lleva a cabo para todos los N t -nodos en el paso 2 (línea 4 de la Fig. 16). El algoritmo entonces resalta el t -nodo $(P_{k(1)}, f_2)$ (línea 19 de la Fig. 16) y recorre hacia delante y hacia atrás el diagrama de t_w -mapping, es decir la matriz $N \times M$ de nodos interconectados, para obtener el mapeado final (línea 20 de la Fig. 16). Se encuentra así mediante la aplicación del método propuesto por la presente invención, una solución óptima para el problema dado y la función de coste utilizada.

El parámetro w también controla el compromiso entre eficiencia de computación y rendimiento del mapeado: cuanto más grande sea el tamaño de la ventana w , mayor será la complejidad del algoritmo pero mejores serán los resultados del mapeado.

Si bien, tal y como se ha comentado anteriormente, el método propuesto por la presente invención no está limitado a un tipo de función de coste en concreto, para un ejemplo de realización se propone una función de coste que gestiona de manera adecuada los recursos de computación limitados de las plataformas SDR bajo condiciones de tiempo real exigentes, donde los recursos de computación constriñen el mapeado de la aplicación SDR.

La función de coste propuesta se define a partir del peso o coste del camino de

longitud 1 (o conexión simple) $WT[P_{k(l-1)} P_{k(l)}]_h$. Esta función de coste representa una superposición entre el coste de computación y el coste de comunicación, de la siguiente manera:

$$WT[P_{k(l-1)} P_{k(l)}]_h = WT_{comp}[P_{k(l-1)} P_{k(l)}]_h + WT_{com}[P_{k(l-1)} P_{k(l)}]_h; \quad (3a)$$

$$5 \quad WT_{comp}[P_{k(l-1)} P_{k(l)}]_h = \begin{cases} c_h / C_{k(l)}^{(k(l), h)} & , \quad si \ c_h / C_{k(l)}^{(k(l), h)} \leq 1 \\ \infty & , \quad si \ no \end{cases}; \quad (3b)$$

$$WT_{com}[P_{k(l-1)} P_{k(l)}]_h = \begin{cases} \sum_{j=1}^{h-1} b_{jh} / B_{P(f_j)P_{k(l)}}^{(k(l), h)} & , \quad si \ b_{jh} / B_{P(f_j)P_{k(l)}}^{(k(l), h)} \leq 1 \ \forall j \\ \infty & , \quad si \ no \end{cases} \quad (3c)$$

donde WT_{comp} indica el coste de computación, y WT_{com} el coste de comunicación.

Cualquier t-nodo $(P_{k(l)}, f_l)$ almacena las capacidades de procesamiento $C^{(k(l), h)}$ y los anchos de banda $B^{(k(l), h)}$ restantes en función de las decisiones precedentes de premapado. La función de coste calcula en primer lugar los costes de premapado en los t-nodos (P_1, f_1) , (P_2, f_1) , ..., y (P_N, f_1) utilizando la parte derecha de (3b). Para cada t-nodo $(P_{k(0)}, f_1)$, el requerimiento de procesamiento c_1 de la función SDR f_1 es entonces substraído de la capacidad de procesamiento inicial correspondiente $C_{k(0)}$. Esto actualiza las capacidades de procesamiento restantes para todos los t-nodos en el paso 1.

Antes de procesar el camino de longitud 1 $[P_{k(l-1)} P_{k(l)}]_h$, $C^{(k(l), h)}$ y $B^{(k(l), h)}$ son inicializados con $C^{(k(l-1), h-1)}$ y $B^{(k(l-1), h-1)}$. El algoritmo entonces calcula $WT[P_{k(l-1)} P_{k(l)}]_h$ antes de actualizar $C_{k(l)}^{(k(l), h)}$ y $B^{(k(l), h)}$. En particular, c_h se substraee de $C_{k(l)}^{(k(l), h)}$ tras calcular $WT_{comp}[P_{k(l-1)} P_{k(l)}]_h$ con (3b). $B^{(k(l), h)}$, por otra parte, se actualiza de manera dinámica, substrayendo cualquier ancho de banda requerido b_{jh} de la entrada correspondiente en $B^{(k(l), h)}$ inmediatamente después de añadir $b_{jh}/\{\cdot\}$ a $WT_{com}[P_{k(l-1)} P_{k(l)}]_h$ según (3c).

Tal y como se ha mencionado anteriormente, el método propuesto por la presente invención, también referido como algoritmo "t_w-mapping", es aplicable para diferentes tipos de modelado o abstracción de un sistema SDR, tal como el que describe cada plataforma en función de sus recursos de computación o procesamiento y de comunicación (ver Fig. 1a) y el de la aplicación SDR en función de los recursos requeridos de procesamiento y de traspaso de datos (ver Fig. 1b).

Para otros ejemplos de realización los parámetros a tener en cuenta para modelar tanto el sistema SDR como la aplicación SDR pueden ser distintos o complementarios a los indicados referentes a los recursos de procesamiento y de comunicación.

Un ejemplo de realización del método propuesto contempla utilizar el modelado propuesto en el artículo "Modelado para la gestión de recursos de computación en sistemas SDR", del XXI Symposium Nacional de la Unión científica Internacional de Radio, de los mismos inventores de la presente invención.

5 Los datos que son transmitidos o recibidos a través de un enlace inalámbrico necesitan ser procesados mientras existen datos a transmitir o recibir. Una aplicación SDR se ejecutará en general durante la sesión de usuario completa, aunque pueda haber periodos de tiempo en los que no se transmita ningún dato de usuario. El hecho de que una aplicación SDR pueda ser reemplazada por otra durante una sesión de
10 usuario no afecta a este procesamiento de datos continuo.

Debido a ello, el método propuesto por la presente invención contempla, para un ejemplo de realización, dividir la ejecución continua en ejecuciones periódicas dividiendo el tiempo de cada recurso de computación en segmentos temporales de computación equidistantes, o "time slots", y la aplicación SDR en etapas de
15 "pipelining".

La introducción de segmentos temporales de computación permite identificar la capacidad de computación de un procesador tomando como base dichos segmentos temporales, generando así un modelado análogo al del artículo mencionado, pero incorporando la mencionada segmentación en "time slots".

20 Ello proporciona un mecanismo básico para una gestión de recursos de computación eficiente, al tiempo que permite satisfacer las demandas de latencia máxima de las aplicaciones SDR.

La ejecución por proceso de segmentación de instrucciones, o "pipelined", de una aplicación SDR establece que, en cualquier "time slot", todas las funciones SDR
25 procesan y propagan alguna parte de los datos. Es decir, el mismo procesado y la misma transferencia de datos se repite para cada segmento temporal en una porción de datos diferente. Ello introduce unos requerimientos de sincronización que PHAL (The "Platform and Hardware Abstraction Layer") satisface (ver artículo "Software radios: unifying the reconfiguration process over heterogeneous platforms," EURASIP
30 Journal on Applied Signal Processing, vol. 2005, no. 16, pp. 2626-2640, Sept. 2005, de X. Reves, A. Gelonch, V. Marojevic, R. Ferrus).

El "Pipelining" también introduce la latencia, la cual debe ser mantenida dentro del servicio de radio y de los límites de dependencia de QoS. (Calidad del servicio).

A partir de la discusión realizada en los párrafos anteriores, para el modelado
35 del sistema y las aplicaciones SDR tomando como base los mencionados segmentos temporales, o "time slots", se derivan las nuevas unidades MOPTS (millones de

operaciones por "time slot") y MBPTS (mega-bits por "time slot") como $t_{ts} \cdot \text{MOPS}$ y $t_{ts} \cdot \text{Mbps}$, donde t_{ts} es la duración del "time slot". MOPTS y MBPTS sincronizan los recursos de computación disponibles con la gestión en base a "time slots" y son las unidades básicas para el modelado referido.

5 Se propone definir t_{ts} según la siguiente ecuación:

$$t_{ts} = \frac{L_{\max}}{n_{ts}} [\text{SPTS}]$$

donde n_{ts} son el número de "time slots" y $L_{\max}$ es la latencia máxima permisible para la ejecución del conjunto de tareas de la aplicación radio en el conjunto de procesadores disponible, la cual está en función del retardo tolerable extremo a extremo de un
10 enlace de comunicaciones vía radio debido al servicio y el acuerdo de QoS entre el proveedor de servicios de radio y el usuario final. En el modelado propuesto se asume que t_{ts} es suficientemente grande para permitir la ejecución (eficiente) de cualquier función SDR en la cadena de procesado.

Si bien la descripción del método propuesto con referencia a las Figs. 15, 16 y
15 17, se ha hecho en el presente apartado denominándolo algoritmo de " t_w -mapping", y utilizando ecuaciones e instrucciones (las cuales se indican en la Fig. 16), la Fig. 15 también es referenciada desde la descripción del método propuesto hecha en el apartado de explicación de la invención, es decir que la matriz allí referida como matriz de $N \times M$ nodos es, para un ejemplo de realización, la matriz ilustrada en la Fig. 15,
20 incluyendo todos los elementos citados en dicha descripción hecha en el mencionado apartado anterior, tales como los nodos de las diferentes columnas $(P_1, f_1) \dots (P_N, f_1)$ a $(P_1, f_M) \dots (P_N, f_M)$, así como las diferentes conexiones entre nodos de dos columnas consecutivas $([P_1 P_1]_2 \dots [P_1 P_N]_2 \dots [P_N P_1]_2 \dots [P_N P_N]_2) \dots ([P_1 P_1]_M \dots [P_1 P_N]_M \dots [P_N P_1]_M \dots [P_N P_N]_M)$, que conforman lo que en el presente apartado se han denominado
25 como caminos de longitud 1, o segmentos de camino cuando forman parte de un camino que discurre a lo largo de más de dos columnas.

Sirvan las referencias entre paréntesis incluidas en todas las reivindicaciones adjuntas como guía aclaratoria para una mejor comprensión de dichas reivindicaciones apoyándose en la Fig. 15.

30 Un experto en la materia podría introducir cambios y modificaciones en los ejemplos de realización descritos sin salirse del alcance de la invención según está definido en las reivindicaciones adjuntas.

Reivindicaciones

1.- Método para gestionar recursos de computación aplicable a un sistema de radio definida por programa, del tipo que comprende mapear unas funciones, procesos o partes de al menos una aplicación sobre unos procesadores con unos recursos de computación determinados, seleccionados utilizando funciones de coste mediante la realización de las siguientes etapas:

a) pre-mapear cada una de M funciones (f_1 - f_M) de dicha aplicación a cada uno de N procesadores (P_1 - P_N), obteniendo así una matriz de $N \times M$ nodos candidatos ($P_{k(l)}, f_l$), cada uno de ellos asociado a una función y un procesador,

b) pre-conectar cada uno de los nodos candidatos pertenecientes a una columna de dicha matriz con todos los nodos candidatos de la columna siguiente, posibilitando cada una de dichas conexiones una comunicación de datos a través de un camino candidato que incluye al menos un nodo candidato origen, una de dichas conexiones y un nodo candidato destino,

c) aplicar al menos una función de coste a cada uno de los N nodos candidatos ($(P_1, f_1) \dots (P_N, f_1)$) de la primera columna de dicha matriz, o nodos asociados a una primera (f_1) de dichas funciones, obteniendo el coste de cada uno de dichos nodos candidatos ($(P_1, f_1) \dots (P_N, f_1)$),

d) aplicar al menos una función de coste a los caminos candidatos que incluyen a los nodos candidatos de la primera columna ($(P_1, f_1) \dots (P_N, f_1)$) en conexión con al menos los de la segunda ($(P_1, f_2) \dots (P_N, f_2)$), y calcular el coste acumulado asociado a cada uno de dichos caminos candidatos que incluye al menos el coste del nodo destino en función de decisiones precedentes y el coste del nodo origen obtenido en la etapa c), en su totalidad o en parte, obteniendo así el coste de cada uno de dichos caminos candidatos, y:

e) preseleccionar para cada nodo candidato de la segunda columna ($(P_1, f_2) \dots (P_N, f_2)$) al menos parte del camino candidato de coste óptimo que lleva a dicho nodo candidato de la segunda columna ($(P_1, f_2) \dots (P_N, f_2)$) o pasa por él, obteniendo, respectivamente, N primeros caminos o segmentos de caminos preseleccionados, descartando las conexiones ($[P_1 P_1]_2 \dots [P_1 P_N]_2 \dots [P_N P_1]_2 \dots [P_N P_N]_2$) que unen a los nodos candidatos de la primera columna ($(P_1, f_1) \dots (P_N, f_1)$) con los de la segunda ($(P_1, f_2) \dots (P_N, f_2)$) que no forman parte de dichos primeros caminos o segmentos de caminos preseleccionados.

2.- Método según la reivindicación 1, caracterizado porque cuando cada uno de dichos caminos candidatos es un camino de dos nodos que incluye únicamente una de

dichas conexiones, un nodo candidato origen y un nodo candidato destino de dos columnas consecutivas, comprende llevar a cabo:

- dicha etapa d) para aplicar dicha función de coste, que es al menos una, a los caminos candidatos que incluyen a los nodos candidatos de la primera columna $((P_1, f_1) \dots (P_N, f_1))$ en conexión con, únicamente, los nodos candidatos de la segunda columna $((P_1, f_2) \dots (P_N, f_2))$, y

- dicha etapa e) para preseleccionar por entero, para cada nodo candidato destino $((P_1, f_2) \dots (P_N, f_2))$ de la segunda columna, el camino candidato de coste óptimo que lleva hasta él, obteniéndose dichos N primeros caminos preseleccionados que parten de un nodo de la primera columna $((P_1, f_1) \dots (P_N, f_1))$ y finalizan en un nodo de la segunda columna $((P_1, f_2) \dots (P_N, f_2))$.

3.- Método según la reivindicación 2, caracterizado porque cuando $M=2$ comprende seleccionar los dos nodos que forman parte del camino de coste óptimo, de entre dichos primeros caminos preseleccionados, y por ende el procesador o procesadores asociados a cada uno de dichos dos nodos seleccionados como procesador o procesadores mapeados para ejecutar la primera función (f_1), el asociado al nodo de la primera columna $((P_1, f_1) \dots (P_N, f_1))$, y una segunda función (f_2) el asociado al nodo de la segunda columna $((P_1, f_2) \dots (P_N, f_2))$.

4.- Método según la reivindicación 2, caracterizado porque cuando $M \geq 3$, comprende realizar las siguientes etapas, análogas a dichas etapas d) y e), respectivamente:

d') aplicar al menos una función de coste a los caminos candidatos que incluyen a los nodos candidatos de la segunda columna $((P_1, f_2) \dots (P_N, f_2))$ en conexión con los de la tercera $((P_1, f_3) \dots (P_N, f_3))$, para calcular el coste acumulado asociado a cada uno de dichos caminos candidatos que incluye al menos el coste del nodo destino de la tercera columna $((P_1, f_3) \dots (P_N, f_3))$ en función de decisiones precedentes y el coste de uno de dichos primeros caminos preseleccionados en la etapa e), cada uno de los cuales incluye únicamente un nodo de la primera columna $((P_1, f_1) \dots (P_N, f_1))$ conectado con uno nodo de la segunda columna $((P_1, f_2) \dots (P_N, f_2))$, obteniendo así el coste de cada uno de dichos caminos candidatos con destino en un respectivo nodo candidato de la tercera columna $((P_1, f_3) \dots (P_N, f_3))$, y

e') preseleccionar para cada nodo candidato destino de la tercera columna $((P_1, f_3) \dots (P_N, f_3))$ el camino candidato de coste óptimo que lleva hasta él desde un nodo origen de la segunda columna $((P_1, f_2) \dots (P_N, f_2))$, obteniendo N segundos caminos preseleccionados, descartando las conexiones que unen a los nodos candidatos de la

segunda columna $((P_1, f_2)...(P_N, f_2))$ con los de la tercera $((P_1, f_3)...(P_N, f_3))$ que no forman parte de dichos segundos caminos preseleccionados.

5.- Método según la reivindicación 4, caracterizado porque cuando $M=3$, comprende seleccionar, de entre dichos N segundos caminos preseleccionados, el de coste óptimo, y recorrerlo hacia atrás junto con el primer camino preseleccionado al que se encuentra unido, para seleccionar los tres nodos que forman parte de dicho recorrido, y por ende el procesador o procesadores asociados a cada uno de dichos tres nodos seleccionados como procesadores mapeados para ejecutar la primera función (f_1) , el asociado al nodo de la primera columna $((P_1, f_1)...(P_N, f_1))$, la segunda función (f_2) , el asociado al nodo de la segunda columna $((P_1, f_2)...(P_N, f_2))$, y una tercera función (f_3) , el asociado al nodo de la tercera columna $((P_1, f_3)...(P_N, f_3))$.

6.- Método según la reivindicación 4, caracterizado porque cuando $M>3$, comprende realizar, para cada una de las columnas siguientes a la tercera columna, dos a dos y avanzando columna a columna, unas etapas análogas a dichas etapas d') y e') para finalmente preseleccionar para cada nodo candidato destino de cada columna adicional a la tercera columna, el camino candidato de coste óptimo que lleva hasta él desde un nodo origen de la columna inmediatamente anterior, obteniendo N caminos preseleccionados adicionales por columna, descartando las conexiones que no forman parte de dichos caminos preseleccionados adicionales.

7.- Método según la reivindicación 6, caracterizado porque para dicho caso en que $M>3$, comprende seleccionar, de entre los N caminos preseleccionados adicionales que incluyen a los nodos de la última columna $((P_1, f_M)...(P_N, f_M))$, el de coste óptimo, y recorrerlo hacia atrás junto con todos los caminos preseleccionados a los que se encuentra unido, para seleccionar los M nodos que forman parte de dicho recorrido, y por ende el procesador o procesadores asociados a cada uno de dichos M nodos seleccionados como procesadores mapeados para ejecutar las M funciones (f_1-f_M) .

8.- Método según la reivindicación 1, caracterizado porque cuando cada uno de dichos caminos candidatos incluye un nodo candidato origen, un nodo candidato intermedio y un nodo candidato destino, de tres columnas consecutivas respectivamente, interconectados por dos de dichas conexiones, comprende llevar a cabo:

- dicha etapa d) para aplicar al menos dicha función de coste a los caminos candidatos, cada uno de los cuales incluye, interconectados por dos conexiones respectivas, un nodo candidato origen de la primera columna $((P_1, f_1)...(P_N, f_1))$, un nodo candidato intermedio de la segunda columna $((P_1, f_2)...(P_N, f_2))$ y un nodo

candidato destino de la tercera columna $((P_1, f_3)...(P_N, f_3))$, para calcular el coste acumulado de cada uno de dichos caminos candidatos de tres nodos y el de sus segmentos iniciales, o segmentos de camino de dos nodos que incluyen a un nodo de la primera columna $((P_1, f_1)...(P_N, f_1))$ y a uno de la segunda $((P_1, f_2)...(P_N, f_2))$, y

5 - dicha etapa e) para preseleccionar, para cada nodo candidato intermedio de la segunda columna $((P_1, f_2)...(P_N, f_2))$, únicamente parte del camino candidato de tres nodos de coste óptimo que pasa por él, siendo dichas partes preseleccionadas dichos N primeros segmentos de camino de dos nodos.

9.- Método según la reivindicación 8, caracterizado porque cuando $M > 3$,
10 comprende realizar la siguiente etapa, análoga a dicha etapa d):

d") aplicar al menos una función de coste a los caminos candidatos de tres nodos que incluyen, interconectados por dos conexiones respectivas, un nodo candidato origen de la segunda columna $((P_1, f_2)...(P_N, f_2))$, un nodo candidato intermedio de la tercera columna $((P_1, f_3)...(P_N, f_3))$ y un nodo candidato destino de la
15 cuarta columna $((P_1, f_4)...(P_N, f_4))$, para calcular el coste acumulado asociado a cada uno de dichos caminos candidatos de tres nodos, que incluye al menos el coste del nodo destino de la cuarta columna $((P_1, f_4)...(P_N, f_4))$ en función de decisiones precedentes y el coste acumulado de uno de dichos primeros segmentos de camino de dos nodos preseleccionados en la etapa e).

10.- Método según la reivindicación 9, caracterizado porque cuando $M = 4$,
20 comprende realizar las siguientes etapas, tras dicha etapa d"):

- preseleccionar para cada nodo candidato intermedio de la tercera columna $((P_1, f_3)...(P_N, f_3))$, el camino candidato completo de tres nodos de coste óptimo que pasa por él y finaliza en un nodo de la cuarta columna $((P_1, f_4)...(P_N, f_4))$, obteniendo N
25 caminos de tres nodos preseleccionados, y

- seleccionar, de entre dichos N caminos de tres nodos preseleccionados, el de coste óptimo, y recorrer dicho camino seleccionado desde su nodo intermedio, de la tercera columna $((P_1, f_3)...(P_N, f_3))$, hacia delante y hacia atrás junto con el primer segmento de camino de dos nodos preseleccionado en la etapa e) al que se encuentra
30 unido, para seleccionar los cuatro nodos que forman parte de dicho recorrido, y por ende el procesador o procesadores asociados a cada uno de dichos cuatro nodos seleccionados como procesadores mapeados para ejecutar la primera función (f_1) , el asociado al nodo de la primera columna $((P_1, f_1)...(P_N, f_1))$, la segunda función (f_2) , el asociado al nodo de la segunda columna $((P_1, f_2)...(P_N, f_2))$, la tercera función (f_3) , el
35 asociado al nodo de la tercera columna $((P_1, f_3)...(P_N, f_3))$, y una cuarta función (f_4) , el asociado al nodo de la cuarta columna $((P_1, f_4)...(P_N, f_4))$.

11.- Método según la reivindicación 9, caracterizado porque cuando $M > 4$, comprende realizar la siguiente etapa tras dicha etapa d''):

e'') preseleccionar, para cada nodo candidato intermedio de la tercera columna $((P_1, f_3) \dots (P_N, f_3))$, únicamente parte del camino candidato de tres nodos de coste óptimo que pasa por él y finaliza en un nodo candidato de la cuarta columna $((P_1, f_4) \dots (P_N, f_4))$, obteniendo N segundos segmentos de camino de dos nodos preseleccionados.

12.- Método según la reivindicación 11, caracterizado porque comprende realizar, para cada una de las columnas siguientes a la cuarta columna $((P_1, f_4) \dots (P_N, f_4))$, tres a tres y avanzando columna a columna, unas etapas análogas a dichas etapas d'') y e'') para cada camino de tres nodos adicional que finaliza en cada una de las columnas siguientes o adicionales a la cuarta columna $((P_1, f_4) \dots (P_N, f_4))$, a excepción del camino de tres nodos adicional que finaliza en la columna M, para preseleccionar para cada nodo candidato intermedio de cada camino de tres nodos adicional, únicamente parte del camino candidato de tres nodos de coste óptimo que pasa por él, obteniendo N segmentos de camino de dos nodos preseleccionados adicionales por cada columna adicional a la cuarta columna $((P_1, f_4) \dots (P_N, f_4))$.

13.- Método según la reivindicación 12, caracterizado porque comprende realizar, para dichos caminos de tres nodos adicionales que finalizan en la columna M, las siguientes etapas, tras dicha etapa análoga a dicha etapa e''):

- preseleccionar para cada nodo candidato intermedio de la columna M-1 $((P_1, f_{M-1}) \dots (P_N, f_{M-1}))$, el camino candidato completo de tres nodos de coste óptimo que pasa por él y finaliza en un nodo de la columna M $((P_1, f_M) \dots (P_N, f_M))$, obteniendo N caminos de tres nodos preseleccionados, y

- seleccionar, de entre dichos N caminos de tres nodos preseleccionados, el de coste óptimo, y recorrer dicho camino seleccionado desde su nodo intermedio $((P_1, f_{M-1}) \dots (P_N, f_{M-1}))$, de la columna M-1, hacia delante y hacia atrás junto con todos los segmentos de camino de dos nodos preseleccionados a los que se encuentra unido, para seleccionar los M nodos que forman parte de dicho recorrido, y por ende el procesador o procesadores asociados a cada uno de dichos M nodos seleccionados como procesadores mapeados para ejecutar las M funciones (f_1-f_M) .

14.- Método según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 13, caracterizado porque cuando cada uno de dichos caminos candidatos es un camino de más de tres nodos, comprende llevar a cabo:

- dicha etapa d) para calcular el coste acumulado de cada uno de dichos caminos candidatos de más de tres nodos y el de sus segmentos iniciales de camino

de dos nodos que incluyen a un nodo de la primera columna $((P_1, f_1) \dots (P_N, f_1))$ y a uno de la segunda $((P_1, f_2) \dots (P_N, f_2))$,

- dicha etapa e) para preseleccionar, para cada nodo candidato de la segunda columna $((P_1, f_2) \dots (P_N, f_2))$, únicamente parte del camino candidato de más de tres nodos de coste óptimo que pasa por él, siendo dichas partes preseleccionadas dichos N primeros segmentos de camino de dos nodos, y

- realizar unas etapas análogas a dichas etapas descritas para dichos caminos de tres nodos, preseleccionando para cada nodo candidato que ocupa la segunda posición en cada camino de más tres nodos adicional que finaliza en cada una de las columnas siguientes o adicionales a la cuarta columna, a excepción del camino de más de tres nodos adicional que finaliza en la columna M, el segmento inicial de dos nodos del camino candidato de más de tres nodos de coste óptimo que pasa por él, obteniendo N segmentos de camino de dos nodos preseleccionados adicionales por cada columna adicional a la cuarta columna.

15.- Método según la reivindicación 14, caracterizado porque comprende realizar, para dichos caminos de más de tres nodos adicionales que finalizan en la columna M, las siguientes etapas:

- preseleccionar para cada nodo candidato que ocupa la segunda posición en cada camino de más tres nodos adicional que finaliza en la columna M, el camino candidato completo de más de tres nodos de coste óptimo que pasa por él y finaliza en un nodo de la columna M $((P_1, f_M) \dots (P_N, f_M))$, obteniendo N caminos de más tres nodos preseleccionados, y

- seleccionar, de entre dichos N caminos de más de tres nodos preseleccionados, el de coste óptimo, y recorrer dicho camino seleccionado desde su respectivo nodo que ocupa la segunda posición en el camino, hacia delante y hacia atrás junto con todos los segmentos de camino de dos nodos preseleccionados a los que se encuentra unido, para seleccionar los M nodos que forman parte de dicho recorrido, y por ende el procesador o procesadores asociados a cada uno de dichos M nodos seleccionados como procesadores mapeados para ejecutar las M funciones $(f_1 - f_M)$.

16.- Método según la reivindicación 1, caracterizado porque dichas decisiones precedentes influyen en dicho coste acumulado al menos por lo que respecta a los recursos restantes en cada nodo tras haber tomado dichas decisiones.

17.- Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque dichas funciones de coste evalúan el coste de computación que relaciona los requerimientos de procesado con los recursos disponibles de procesado, y el coste de

comunicación pone que relaciona los requerimientos de ancho de banda para traspasar datos de un proceso a otro con los correspondientes anchos de banda disponibles entre los procesadores.

5 18.- Método según la reivindicación 1, caracterizado porque comprende determinar dichos recursos de computación de cada uno de dichos procesadores (P_1 - P_N), tomando como base un segmento temporal de una pluralidad de segmentos temporales iguales, de duración (t_{ts}) suficiente como para asegurar que cada procesador (P_1 - P_N) sea capaz de ejecutar las funciones (f_1 - f_M) o procesos asignados y de traspasar datos a otro procesador antes de que finalice dicho segmento temporal.

10 19.- Método según la reivindicación 18, caracterizado porque comprende mapear dichas funciones (f_1 - f_M) con el fin de ejecutar finalmente la aplicación mediante un proceso de segmentación de instrucciones, estableciéndose los mismos requerimientos de computación para cada uno de dichos segmentos temporales.

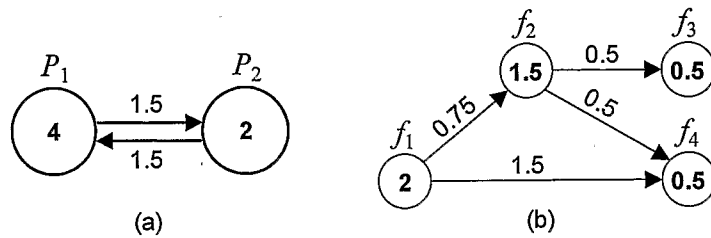


Fig. 1

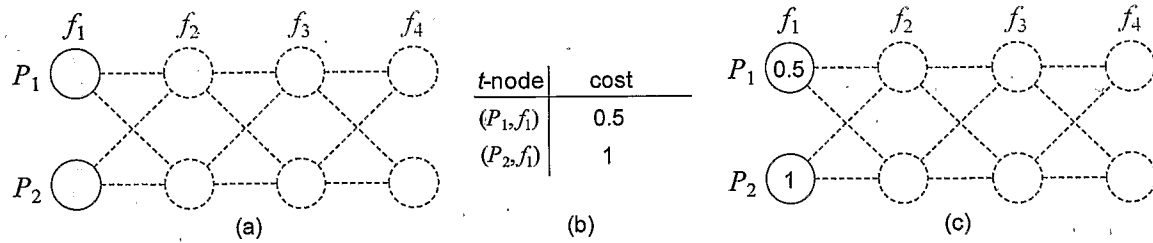


Fig. 2

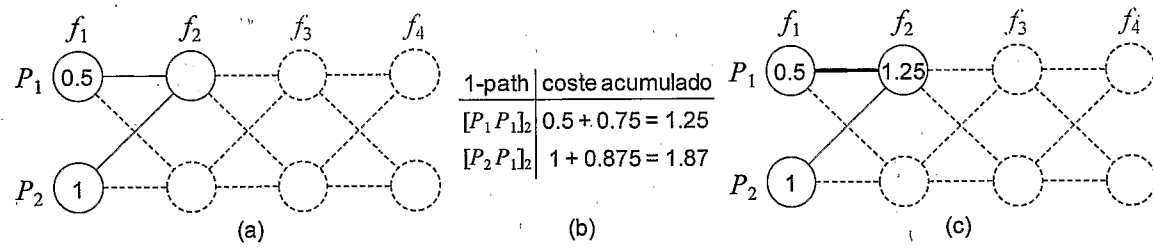


Fig. 3

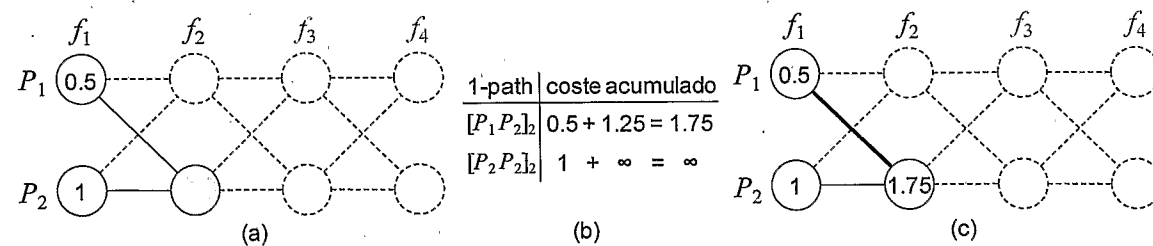


Fig. 4

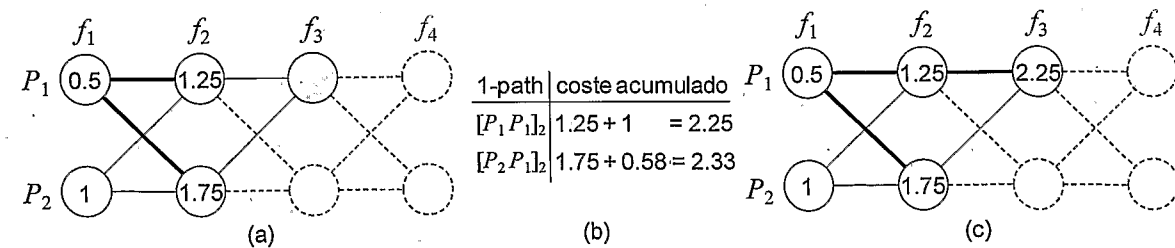


Fig. 5

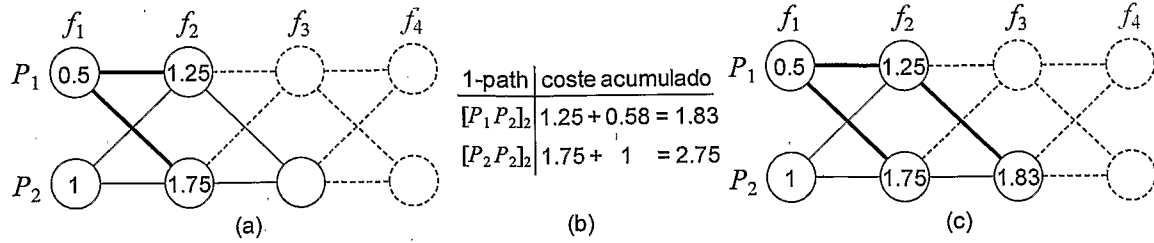


Fig. 6

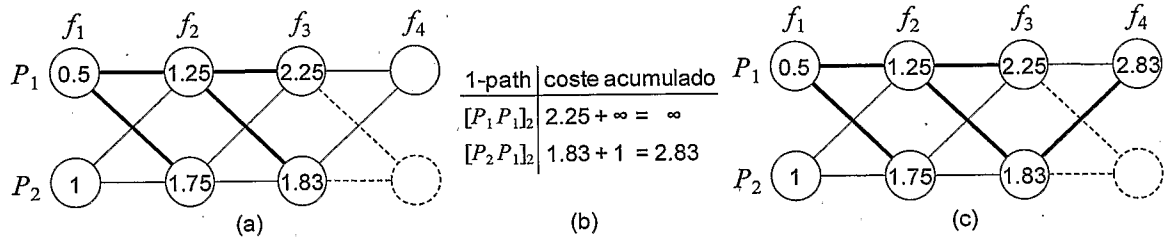


Fig. 7

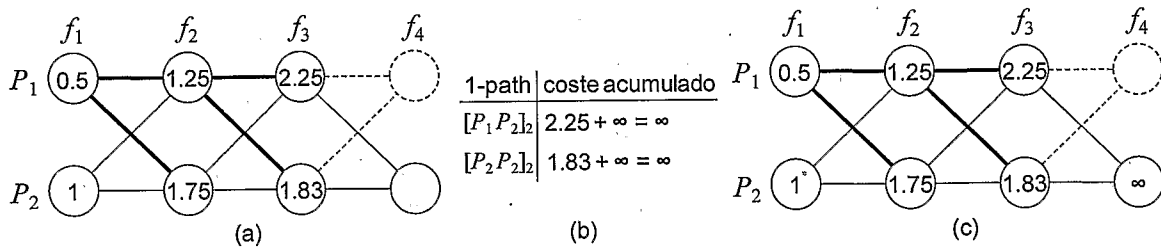


Fig. 8

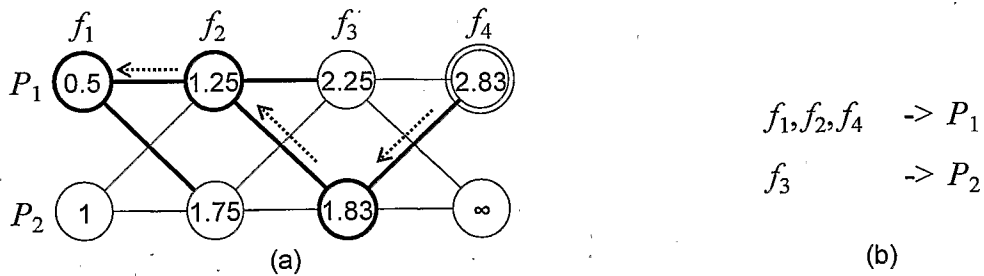


Fig. 9

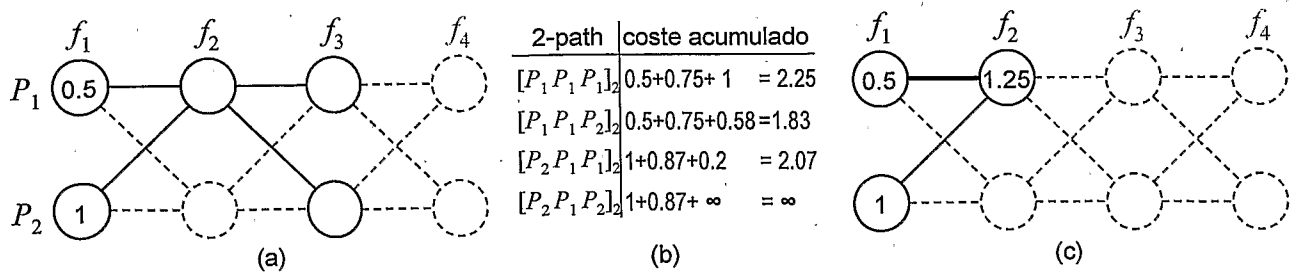


Fig. 10

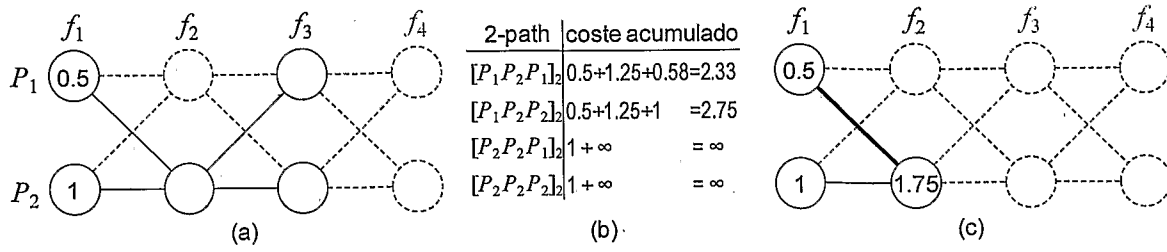


Fig. 11

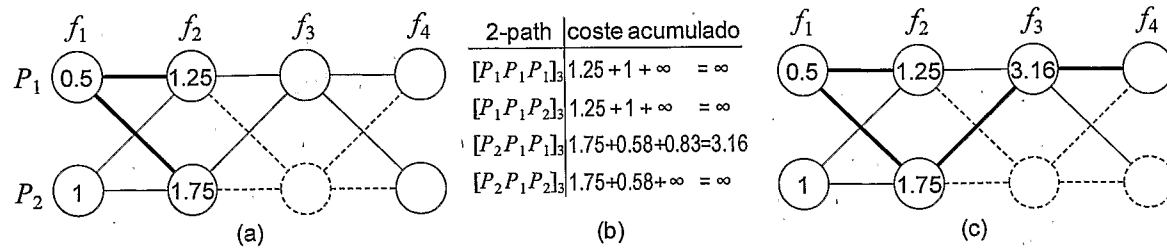
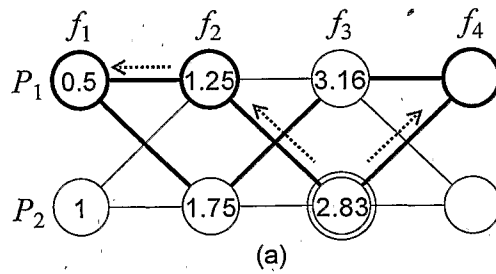


Fig. 12

>

Fig. 13



$$f_1, f_2, f_4 \rightarrow P_1$$

$$f_3 \rightarrow P_2$$

(b)

Fig. 14

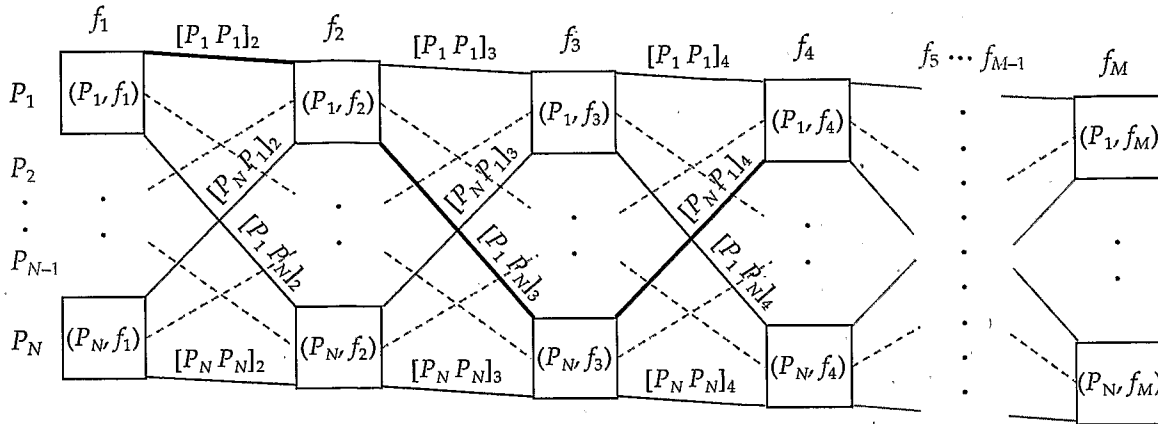


Fig. 15

01	para el procesador $P_{k(0)} = P_1, P_2, \dots, P_N$
02	almacenar $CT(P_{k(0)}, f_1) = c$ coste de preapear f_1 to $P_{k(0)}$ en el t-nodo $P_{k(0)}, f_1$
03	para el paso $= 2, 3, \dots, (M-w+1)$
04	para el t-nodo $(P_{k(1)}, f_i) = (P_1, f_i), (P_2, f_i), \dots, (P_N, f_i)$
05	para el camino de 1 $P_{k(0)} P_{k(1)} i = [P_1 P_{k(1)}]_i, [P_2 P_{k(1)}]_i, \dots, [P_N P_{k(1)}]_i$
06	$WT[P_{k(0)} P_{k(1)}]_i = c$ coste de preapear i a $P_{k(1)}$ en función de decisiones precedentes
07	para el camino de 1 $P_{k(1)} P_{k(2)} i+1 = [P_{k(1)} P_1]_{i+1}, [P_{k(1)} P_2]_{i+1}, \dots, [P_{k(1)} P_N]_{i+1}$
08	$WT[P_{k(1)} P_{k(2)}]_{i+1} = c$ coste de preapear f_{i+1} to $P_{k(2)}$ en función de decisiones precedentes
09	...
10	para el camino de 1 $P_{k(w-1)} P_{k(w)} i+w-1 = [P_{k(w-1)} P_1]_{i+w-1}, [P_{k(w-1)} P_2]_{i+w-1}, \dots, [P_{k(w-1)} P_N]_{i+w-1}$
11	$WT[P_{k(w-1)} P_{k(w)}]_{i+w-1} = c$ coste de preapear f_{i+w-1} to $P_{k(w)}$ a en función de decisiones precedentes
12	$CT[P_{k(0)} P_{k(1)} P_{k(2)} \dots P_{k(w)}]_i = CT(P_{k(0)}, f_{i-1}) + WT[P_{k(0)} P_{k(1)}]_i + WT[P_{k(1)} P_{k(2)}]_{i+1} + \dots$ $+ WT[P_{k(w-1)} P_{k(w)}]_{i+w-1}$
13	si $i < M-w+1$
14	resaltar camino de 1 $[P_{k(0)} P_{k(1)}]_i \mid CT[P_{k(0)} P_{k(1)} P_{k(2)} \dots P_{k(w)}]_i \leq CT[P_{k(0)} P_{k(1)} P_{k(2)} \dots P_{k(w)}]_i \forall$ $(k(0) k(2) k(3) \dots k(w))$
15	almacenar $CT(P_{k(1)}, f_i) = CT(P_{k(0)}, f_{i-1}) + WT[P_{k(0)} P_{k(1)}]_i$ en el t-nodo $P_{k(1)}, f_i$
16	si no
17	resaltar camino-w $[P_{k(0)} P_{k(1)} P_{k(2)} \dots P_{k(w)}]_i \mid CT[P_{k(0)} P_{k(1)} P_{k(2)} \dots P_{k(w)}]_i$ $\leq CT[P_{k(0)} P_{k(1)} P_{k(2)} \dots P_{k(w)}]_i \forall (k(0) k(2) k(3) \dots k(w))$
18	almacenar $CT(P_{k(1)}, f_{M-w+1}) = CT[P_{k(0)} P_{k(1)} P_{k(2)} \dots P_{k(w)}]_{M-w+1}$ en el t-nodo $P_{k(1)}, f_{M-w+1}$
19	resaltar t-nodo $\{(P_{k(1)}, f_{M-w+1}) \mid CT(P_{k(1)}, f_{M-w+1}) \leq CT(P_{k(1)}, f_{M-w+1}) \forall k(1)\}$
20	f Recorrer la matriz $N \times M$ hacia $P_{k(1)}, f_{M-w+1}$ a lo largo de los caminos de longitud 1 resaltados y resaltar los t-nodos delante y hacia atrás desde $P_{k(1)}, f_{M-w+1}$ atravesados

Fig. 16

TABLA 1
DESCRIPCIÓN Y RANGOS DE VARIABLES Y EXPRESIONES

Variable o expresión	Rango ¹	Descripción
N	$1, 2, \dots$	número de procesadores
M	$1, 2, \dots$	número de funciones SDR
w	$1, 2, \dots, M-1$	tamaño de ventana
$k(l)$	$1, 2, \dots, N; (l \in 0, 1, \dots, w)$	índice de procesador $k(l)$ con su posición relativa l en el camino- w
$P_{k(l)}$	$P_1, P_2, \dots, P_N$	procesador
i, j	$1, 2, \dots, M$	índice de pasos (índices de funciones SDR)
f_i	$f_1, f_2, \dots, f_M$	función SDR
$(P_{k(l)}, f_i)$		t-nodo que describe el mapeado de f_i a $P_{k(l)}$
$h = i + (l - 1)$	$(l \neq 0; i \in 2, 3, \dots, M-w+1)$	índice de paso h ; variable auxiliar que substituye a $i + (l - 1)$
$[P_{k(0)} P_{k(1)} \dots P_{k(w)}]_i$	$(i \in 2, 3, \dots, M-w+1)$	camino- w asociado con t-nodo $(P_{k(1)}, f_i)$
$[P_{k(l-1)} P_{k(l)}]_h$	$(l \neq 0; i \in 2, 3, \dots, M-w+1)$	camino de longitud 1 entre los t-nodos $(P_{k(l-1)}, f_{h-1})$ y $(P_{k(l)}, f_h)$
$WT[P_{k(l-1)} P_{k(l)}]_h$	$(l \neq 0; i \in 2, 3, \dots, M-w+1)$	peso o coste de conexión
$CT[P_{k(0)} P_{k(1)} \dots P_{k(w)}]_i$	$(i \in 2, 3, \dots, M-w+1)$	coste acumulado asociado con camino- w $[P_{k(0)} P_{k(1)} \dots P_{k(w)}]_i$
$CT(P_{k(l)}, f_i)$	$(l \in 1, 2; i \in 1, 2, \dots, M-w+1)$	coste acumulado en el t-nodo $(P_{k(l)}, f_i)$
$P(f_i)$		procesador asignado a la función SDR f_i
$C^{(k(l), i)}$		capacidades de procesamiento restantes en el t-nodo $(P_{k(l)}, f_i)$
$C_{k(l)}^{(k(l), i)}$		capacidad de procesamiento restante del procesador $P_{k(l)}$ en el t-nodo $(P_{k(l)}, f_i)$
$B^{(k(l), i)}$		anchos de banda restantes en el t-nodo $(P_{k(l)}, f_i)$
$B_{P(f_j)P_{k(l)}}^{(k(l), i)}$		ancho de banda restante entre los procesadores $P(f_j)$ y $P_{k(l)}$ en el t-nodo $(P_{k(l)}, f_i)$

¹ Los rangos de argumento están indicados entre paréntesis

Fig. 17

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/ ES 2009/000300

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

see extra sheet

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H04B+, G06F+, H04L+

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

INVENES,EPODOC,WPI,IEEE

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	XP031099831 (Marojevic, V.; Reves, X.; Gelonch, A.) "Computing Resource Management for SDR Platforms" Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2005. PIMRC 2005. IEEE 16th International Symposium on , vol.1, no., pp. 685-689, 11-14 Sept. 2005 URL: http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=1651523&isnumber=34626	1-19
A	US 6768901 B1 (OSBORN et al.) 27.07.2004, todo el documento.	1-19
A	XP031338315 (Marojevic, V.; Salazar, J.; Reves, X.; Gelonch, A.) "On Integrating Radio, Computing, and Application Resource Management in Cognitive Radio Systems" Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications, 2007. WiMOB 2007. Third IEEE International Conference on , vol., no., pp.32-32, 8-10 Oct. 2007 URL: http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=4390826&isnumber=4390790	1-19

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance.	
"E" earlier document but published on or after the international filing date	
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"O" document referring to an oral disclosure use, exhibition, or other means	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other documents , such combination being obvious to a person skilled in the art
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	
	"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

10 November 2009 (10.11.2009)

Date of mailing of the international search report

(19/11/2009)

Name and mailing address of the ISA/
O.E.P.M.

Paseo de la Castellana, 75 28071 Madrid, España.
Facsimile No. 34 91 3495304

Authorized officer

J. Herrando Calvo

Telephone No. +34 91 349 55 78

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/ ES 2009/000300

CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04B 7/24 (2006.01)

G06F 9/50 (2006.01)

H04L 12/24 (2006.01)

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional N°
PCT/ ES 2009/000300

A. CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

Ver hoja adicional

De acuerdo con la Clasificación Internacional de Patentes (CIP) o según la clasificación nacional y CIP.

B. SECTORES COMPRENDIDOS POR LA BÚSQUEDA

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

H04B+, G06F+, H04L+

Otra documentación consultada, además de la documentación mínima, en la medida en que tales documentos formen parte de los sectores comprendidos por la búsqueda

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda internacional (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, IEEE

C. DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES

Categoría*	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones N°
X	XP031099831 (Marojevic, V.; Reves, X.; Gelonch, A.) "Computing Resource Management for SDR Platforms" Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2005. PIMRC 2005. IEEE 16th International Symposium on , vol.1, no., pp. 685-689, 11-14 Sept. 2005 URL: http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=1651523&isnumber=34626	1-19
A	US 6768901 B1 (OSBORN et al.) 27.07.2004, todo el documento.	1-19
A	XP031338315 (Marojevic, V.; Salazar, J.; Reves, X.; Gelonch, A.) "On Integrating Radio, Computing, and Application Resource Management in Cognitive Radio Systems" Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications, 2007. WiMOB 2007. Third IEEE International Conference on , vol., no., pp.32-32, 8-10 Oct. 2007 URL: http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=4390826&isnumber=4390790	1-19

☐ En la continuación del Recuadro C se relacionan otros documentos ☐ Los documentos de familias de patentes se indican en el Anexo

* Categorías especiales de documentos citados:	"T"	documento ulterior publicado con posterioridad a la fecha de presentación internacional o de prioridad que no pertenece al estado de la técnica pertinente pero que se cita por permitir la comprensión del principio o teoría que constituye la base de la invención.
"A" documento que define el estado general de la técnica no considerado como particularmente relevante.	"X"	documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse nueva o que implique una actividad inventiva por referencia al documento aisladamente considerado.
"E" solicitud de patente o patente anterior pero publicada en la fecha de presentación internacional o en fecha posterior.	"Y"	documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse que implique una actividad inventiva cuando el documento se asocia a otro u otros documentos de la misma naturaleza, cuya combinación resulta evidente para un experto en la materia.
"L" documento que puede plantear dudas sobre una reivindicación de prioridad o que se cita para determinar la fecha de publicación de otra cita o por una razón especial (como la indicada).	"&"	documento que forma parte de la misma familia de patentes.
"O" documento que se refiere a una divulgación oral, a una utilización, a una exposición o a cualquier otro medio.		
"P" documento publicado antes de la fecha de presentación internacional pero con posterioridad a la fecha de prioridad reivindicada.		

Fecha en que se ha concluido efectivamente la búsqueda internacional. 10 Noviembre 2009 (10.11.2009)	Fecha de expedición del informe de búsqueda internacional 19-NOVIEMBRE-2009 (19/11/2009)
Nombre y dirección postal de la Administración encargada de la búsqueda internacional O.E.P.M. Paseo de la Castellana, 75 28071 Madrid, España. N° de fax 34 91 3495304	Funcionario autorizado J. Herrando Calvo N° de teléfono +34 91 349 55 78

CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

H04B 7/24 (2006.01)

G06F 9/50 (2006.01)

H04L 12/24 (2006.01)