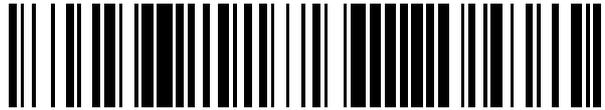


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 439 717**

51 Int. Cl.:

H04W 72/10 (2009.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.12.2011 E 11193524 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.11.2013 EP 2466981**

54 Título: **Procedimiento de asignación de recursos en una red de comunicación móvil y de malla con limitación de las interferencias entre clústeres y sistema que implementa el procedimiento**

30 Prioridad:

17.12.2010 FR 1004937

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

24.01.2014

73 Titular/es:

**THALES (100.0%)
45, rue de Villiers
92200 Neuilly Sur Seine, FR**

72 Inventor/es:

**ROUSSEAU, STÉPHANE;
ESMIOL, FABIEN y
CONAN, VANIA**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 439 717 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de asignación de recursos en una red de comunicación móvil y de malla con limitación de las interferencias entre clústeres y sistema que implementa el procedimiento

5 La presente invención se refiere al campo de las redes de comunicaciones móviles y de malla, por ejemplo las redes móviles ad hoc. La invención también se refiere a las redes móviles celulares. Este tipo de redes comprenden una pluralidad de nodos interconectados entre sí a través de enlaces de radio. Los nodos de la red son unos equipos de comunicación por radio, por ejemplo un terminal informático equipado con una conexión wifi, un teléfono portátil o cualquier otro dispositivo de comunicación inalámbrico. Un nodo también puede designar un vehículo móvil que lleva incorporado un dispositivo inalámbrico de comunicación.

10 La invención se refiere de manera más particular a la asignación de recursos de comunicación temporales en una red móvil, en particular el acceso múltiple al medio de transmisión por división en el tiempo (TDMA).

15 Las redes móviles ad hoc se caracterizan por una capacidad para organizarse, sin una infraestructura predefinida, para garantizar el transporte de comunicaciones con una calidad específica y para configurarse de forma automática con el fin de cumplir con los requerimientos de despliegue del sistema. Además, una red de este tipo debe poder garantizar su mantenimiento de manera autónoma, en particular al ser móviles los nodos de la red, la topología de la red debe poder actualizarse de forma permanente.

En una red móvil ad hoc, resulta indispensable diseñar y aplicar un método de acceso simultáneo a los recursos de transmisión para evitar que las comunicaciones simultáneas entre varios usuarios o grupos de usuarios interfieran entre sí.

20 El problema de la supresión o de la limitación de las interferencias entre usuarios en una red móvil es crucial ya que afecta directamente a la calidad de servicio que puede proporcionar dicha red.

La problemática de las interferencias entre usuarios en una red inalámbrica se trata de formas diferentes en el estado de la técnica.

25 En primer lugar, se conocen las soluciones basadas en la aplicación de protocolos específicos de transporte que integran unos métodos de control y de corrección de los errores vinculados a las interferencias a costa de una reducción de la velocidad útil. Por ejemplo, los métodos de tipo ARQ « Automatic Repeat Request », FEC « Forward Error Correcting » o H-ARQ « Hybrid Automatic Repeat Request » se utilizan para luchar contra las perturbaciones generadas por las interferencias de las comunicaciones entre usuarios, pero estos introducen o bien unos datos de redundancia que afectan al flujo útil o bien un plazo adicional de transmisión a veces incompatible con determinadas aplicaciones en tiempo real como la voz en IP. A título de ejemplo, el documento [1] presenta un estudio de los protocolos de transporte que permiten luchar contra el fenómeno de interferencias en una red inalámbrica.

30 Otros métodos conocidos se basan en el empleo de protocolos de enrutamiento, aplicados en la capa de red, con el objetivo de maximizar el aprovechamiento de los recursos de la red inalámbrica. A título de ejemplo, el método que se describe en el documento [2] se basa en una estimación de las interferencias generadas por las comunicaciones, el que se describe en el documento [3] tiene en cuenta una anticipación de las futuras interferencias.

Por último, existen unos métodos de acceso simultáneo a los recursos físicos del medio de transmisión que se aplican en la capa física o en la capa MAC. Estos métodos buscan compartir los recursos entre los diferentes usuarios de forma que se eviten las colisiones.

40 El método de acceso múltiple CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*) utiliza un mecanismo para evitar las colisiones entre comunicaciones basado en un principio de acuse de recibo recíproco entre el emisor y el receptor. Si la red está saturada, la transmisión se difiere. En caso contrario, si el medio de transmisión está disponible durante un tiempo dado, la transmisión se realiza durante este tiempo. El emisor transmite un mensaje que contiene información sobre el volumen de los datos que desea emitir y su velocidad de transmisión. El receptor envía un mensaje al emisor que le informa de que el medio está disponible para una emisión, a continuación el emisor comienza a emitir sus datos. Una vez recibidos todos los datos emitidos, el receptor envía un acuse de recepción al emisor. Todos los emisores vecinos esperan entonces durante un tiempo estimado como necesario para la transmisión del volumen de información que hay que emitir. El método de acceso CSMA/CA lo utilizan, en particular, las redes Wifi.

50 El método de acceso múltiple CDMA (*Code division multiple access*) se refiere a un sistema de codificación de las transmisiones, basado en la técnica de ensanchamiento de espectro. Varios enlaces digitales pueden utilizar la misma frecuencia portadora por medio de un código de ensanchamiento asignado a cada uno. El receptor utiliza el mismo código de ensanchamiento para demodular la señal que recibe y extraer la información útil. Los códigos de ensanchamiento utilizados tienen una propiedad de ortogonalidad que garantiza que se eviten las colisiones entre comunicaciones de diferentes usuarios. El código en sí mismo no transporta ninguna información útil. La operación de desensanchamiento en la recepción precisa importantes capacidades de cálculo, por lo tanto unos componentes más caros.

El método de acceso múltiple FDMA (*Frequency division multiple access*) consiste en una división de la banda de frecuencias útil en sub-bandas de tal modo que se asigna una parte del espectro a cada usuario. De este modo, se reducen las colisiones entre usuarios que no comunican en las mismas frecuencias.

5 Se conocen por último los métodos de acceso múltiple TDMA (*Time division multiple access*) basados en una división en el tiempo de los recursos y del acceso múltiple al medio de transmisión. Estos métodos aplican una división temporal en ventanas 100 discontinuas cada una con una duración igual a un periodo T predeterminado. Cada ventana temporal 100 se divide en una pluralidad S de segmentos de tiempo 110 con una duración T/I también llamados intervalos 110. Un ejemplo de división temporal en ventanas 100 e intervalos 110 se representa en la figura 1. Cuando un terminal quiere comunicarse con otro, acuerdan entre la elección de los intervalos 110 de tiempo durante los cuales se va a realizar la comunicación teniendo en cuenta las comunicaciones realizadas por los demás terminales del entorno con el fin de evitar todas las colisiones con estos. Este método garantiza la calidad de servicio, pero precisa la sincronización entre sí de todos los terminales de la red así como el conocimiento de las comunicaciones que realizan los demás terminales para hacer en todo momento una buena elección de asignación de los intervalos de tiempo a cada usuario. Este método precisa, por lo tanto, la cooperación entre los terminales para funcionar, lo que puede plantear problemas para las redes de gran tamaño.

Para realizar esta cooperación en una red de malla sea cual sea su tamaño, un método consiste en introducir una jerarquía entre los terminales. Los terminales se reagrupan de este modo en sub-conjuntos, también llamados clústeres, en los cuales un único terminal, llamado *cluster head*, actúa como administrador y tiene como función la secuenciación de las comunicaciones en los intervalos de la ventana temporal TDMA para todos los terminales del clúster vigilando que no haya colisiones entre las comunicaciones de cada terminal. Los demás terminales del clúster tienen un enlace directo con el *cluster head*, o bien son miembros si solo están conectados a miembros del clúster, o bien nodos de retransmisión si tienen un enlace con un terminal que pertenece a otro clúster.

En la figura 2 se representa un ejemplo de topología de red de malla sin una jerarquía específica. La misma red organizada en clústeres se representa en la figura 3. Cada clúster se identifica por su terminal *cluster head*, identificado por la letra C y un número, y por un círculo con un radio sustancialmente igual al alcance de un enlace de radio entre dos terminales. Los terminales situados en el interior de un círculo pertenecen al clúster i gestionado por el terminal *cluster head* C_i.

Dicha organización en clústeres permite delegar la asignación de los recursos a determinados terminales para un grupo de terminales adyacentes. Cada clúster gestiona sus comunicaciones con independencia de los demás clústeres, lo que permite una gestión de los recursos en las redes a gran escala.

No obstante, esta gestión independiente por clústeres conlleva unos riesgos de colisión entre las comunicaciones de dos clústeres adyacentes. Un clúster adyacente es un clúster inmediatamente vecino de otro. En el ejemplo de la figura 3, los clústeres C2, C3 y C5 son adyacentes al clúster C1. Del mismo modo, los clústeres C4, C5 y C7 son adyacentes al clúster C6. Al no conocer los clústeres los intervalos seleccionados por los demás clústeres, puede suceder que dos clústeres estén lo suficientemente próximos para que las comunicaciones de uno perturben las comunicaciones del otro y seleccionen los mismos intervalos para sus comunicaciones generando de este modo colisiones entre sus comunicaciones.

Un problema de los métodos de acceso múltiple TDMA asociados a una organización de la red de malla en clústeres es, por lo tanto, que no se garantiza la prevención de las colisiones o interferencias entre clústeres. Para que esto sea así, el método de acceso a los recursos debe permitir minimizar las posibilidades de que dos o varios clústeres adyacentes seleccionen los mismos intervalos de tiempo para comunicar.

Una solución a este problema se presenta en el documento [4]. Este se basa en la definición de súper ventanas temporales compuestas por una pluralidad N_v de ventanas temporales TDMA. Cada súper ventana se asigna a un clúster diferente, de forma arbitraria, con como única restricción que no se asigne la misma súper ventana a dos clústeres adyacentes. Esta solución permite evitar las interferencias entre clústeres vecinos, sin embargo su eficacia es limitada ya que implica un plazo igual a al menos la duración de una súper ventana, entre dos comunicaciones. Además, el número N_v de ventanas temporales asignadas a un clúster se define en función de una estimación, a priori, del número de clústeres vecinos o adyacentes. Así pues, este método no tiene en cuenta el aspecto dinámico de la topología de una red móvil y no permite una distribución óptima de los recursos para unos clústeres que presentan un número de clústeres adyacentes inferior a N_v.

También se conoce la solicitud de patente francesa FR 2910 655, del mismo solicitante. Esta solicitud describe un procedimiento de reserva y de asignación de recursos de comunicación, en una red, asignándose los recursos a los nodos de la red en forma de franjas temporales.

Esta solución se basa en el empleo de franjas temporales y se aproxima a los métodos de acceso múltiple TDMA que presentan los inconvenientes comentados con anterioridad.

La presente invención busca resolver las mencionadas limitaciones de los métodos conocidos de acceso múltiple proponiendo un método que permite limitar, e incluso suprimir, las interferencias entre clústeres garantizando al mismo tiempo una distribución y una asignación óptima de los recursos.

Para ello, la invención tiene por objeto un procedimiento de asignación de recursos de comunicaciones en una red móvil de malla que comprende una pluralidad de nodos que se comunican entre sí por medio de enlaces de radio, estando dichos recursos de comunicaciones constituidos por al menos una ventana temporal que comprende al menos una pluralidad de intervalos de tiempo durante los cuales a dichos nodos se les permite o no comunicar, estando dicha red de malla estructurada en una pluralidad de clústeres que comprenden, cada uno, al menos un nodo, caracterizándose dicho procedimiento porque comprende al menos las siguientes etapas:

- una etapa de generación de una tabla de configuraciones comprendiendo, cada una, un índice diferente de prioridad de asignación para cada intervalo de tiempo de dicha ventana temporal, variando dichos índices de 0 a $n-1$, siendo n un número entero estrictamente positivo igual al número de intervalos de tiempo;
- una etapa de asignación de una configuración, entre el conjunto generado de configuraciones, a cada clúster de tal modo que un número N_p predeterminado, estrictamente positivo, de índices de prioridad no se asignen a los mismos intervalos para los clústeres que son adyacentes entre sí;
- una etapa de asignación de los intervalos de tiempo a las comunicaciones dentro del clúster en el orden de las prioridades definidas en la configuración asignada a dicho clúster, creciendo el índice de prioridad asociado a un intervalo, por ejemplo, con el orden de asignación de un intervalo a una nueva comunicación, asignándose un nuevo intervalo únicamente si todos los intervalos cuyo índice de prioridad es inferior ya se han asignado a una comunicación.

En una variante de realización de la invención, la generación de la tabla de configuraciones se realiza al menos por medio de las siguientes etapas:

- una etapa de inicialización de los índices de prioridad de la primera configuración en unos valores dados;
- para cada configuración con índice c que va de 2 al número de configuraciones total N_c ,
 - una etapa de generación de una secuencia MIN_c que comprende n valores asociados a los n intervalos de tiempo, el valor $MIN_c(s)$ de la secuencia MIN_c asociada a un intervalo con índice s en la ventana temporal se considera igual al índice mínimo entre los índices de prioridad de dicho intervalo con índice s en todas las configuraciones anteriormente generadas;
 - una etapa de generación de una secuencia SUM_c , que comprende n valores asociados a los n intervalos de tiempo, el valor $SUM_c(s)$ de la secuencia SUM_c asociada a un intervalo con índice s en la ventana temporal se considera igual a la suma de los índices de prioridad de dicho intervalo con índice s para todas las configuraciones anteriormente generadas;
 - una etapa de separación de los índices de prioridad entre índices de prioridad obligatoria e índices de prioridad opcional, siendo los índices de prioridad obligatoria estrictamente inferiores al ratio n/c , siendo los índices de prioridad opcional superiores al ratio n/c ;
 - una etapa de asignación de la prioridad obligatoria con índice p al intervalo de tiempo con índice s para el cual la secuencia MIN_c presenta un valor máximo, si varios intervalos cumplen esta condición, entonces la prioridad obligatoria con índice p se asigna al intervalo para el cual la secuencia SUM_c presenta un valor máximo;
 - una etapa de asignación de la prioridad opcional con índice p al intervalo de tiempo con índice s para el cual la secuencia SUM_c presenta un valor máximo, si varios intervalos cumplen esta condición, entonces la prioridad opcional con índice p se asigna al intervalo para el cual la secuencia MIN_c presenta un valor máximo.

En otra variante de realización de la invención, se realiza la generación de una tabla de configuraciones diferente para cada grupo (G_1 , G_2) de clústeres que solo comprende los clústeres adyacentes entre sí, realizándose la etapa de inicialización a partir de la configuración asignada a un clúster de dicho grupo que también pertenece a otro grupo o a partir de una configuración arbitraria cuando ninguno de los clústeres miembro de dicho grupo es también miembro de otro grupo.

En otra variante de realización de la invención, a cada clúster se le asigna la configuración con índice c mínimo en la tabla de configuraciones que aun no se ha asignado a otro clúster.

En otra variante de realización de la invención, en el interior del clúster, las comunicaciones se prohíben en los intervalos asociados a un índice de prioridad superior a un umbral predeterminado.

En otra variante de realización de la invención, en cada clúster, un nodo ejecuta la función de clúster principal, ejecutando este nodo la etapa de asignación de los intervalos de tiempo a las comunicaciones dentro del clúster en función de su índice de prioridad.

En otra variante de realización de la invención, la etapa de asignación de las configuraciones a cada clúster se realiza mediante unos medios distribuidos que comprenden al menos la difusión, por cada clúster, de su índice de configuración a sus clústeres adyacentes.

En otra variante de realización de la invención, dicha red es una red celular y el nodo principal de clúster es una estación de base.

En otra variante de realización de la invención, la ventana temporal es una ventana TDMA.

En un aspecto particular de la invención, el procedimiento de acuerdo con la invención lo aplican las capas MAC y/o red de la pila de protocolo de cada nodo.

5 La invención también tiene por objeto un sistema de comunicación incorporado en un nodo (Ci) móvil que comunica en el interior de una red móvil ad hoc caracterizado porque comprende unos medios adaptados para aplicar el procedimiento de acuerdo con la invención.

La invención también tiene por objeto una red móvil ad hoc que comprende una pluralidad de nodos (Ci), que comunican entre sí, caracterizado porque cada uno de dichos nodos (Ci) comprende un sistema de comunicación incorporado de acuerdo con la invención.

10 Se mostrarán otras características y ventajas de la invención por medio de la descripción que viene a continuación en referencia a los dibujos adjuntos, que representan:

- la figura 1, una ilustración de una división del tiempo de acuerdo con un método de acceso simultáneo a los recursos TDMA;
- la figura 2, un ejemplo de topología de red de malla sin una jerarquía particular;
- 15 - la figura 3, el ejemplo de la figura 2 con una organización de la red en clústeres;
- la figura 4, un ejemplo, de acuerdo con la invención, de asignación de prioridades a los intervalos de una ventana temporal;
- la figura 5, un ejemplo de tabla de configuraciones generada de acuerdo con la invención;
- la figura 6, un ejemplo de asignación de configuraciones a cada clúster de un grupo de dos clústeres adyacentes;
- 20 - la figura 7, un ejemplo de asignación de configuraciones a cada clúster de un grupo de tres clústeres adyacentes;
- la figura 8, un ejemplo de asignación de configuraciones a cada clúster de un grupo de cuatro clústeres adyacentes;
- 25 - la figura 9, un organigrama de las etapas de implementación del procedimiento de acuerdo con la invención que conducen a la generación de un conjunto de configuraciones;
- la figura 10, un ejemplo, en una variante de realización de la invención, de asignación de configuraciones a cada clúster que comprende un primer grupo de tres clústeres adyacentes y un segundo grupo de dos clústeres adyacentes;
- 30 - la figura 11, una ilustración de la división del tiempo de una ventana TDMA.

Para evitar las colisiones entre comunicaciones resultantes de clústeres adyacentes, el procedimiento de acuerdo con la invención, consiste, en una primera etapa, en asignar una prioridad de uso a cada intervalo de una ventana temporal. La figura 4 ilustra este principio. En esta se representa una ventana temporal 400 dividida en intervalos. Cada intervalo tiene asociada una cifra diferente que va de 0 a N-1, siendo N el número de intervalos en una ventana temporal. La prioridad de uso de un intervalo es más elevada cuanto más pequeña es la cifra asociada. A la cifra que define la prioridad de un intervalo se la designará a continuación índice de prioridad. El conjunto de las prioridades asociadas a los intervalos de una ventana temporal se denomina configuración. Cuando un nodo de un clúster solicita un acceso a los recursos de comunicación al nodo principal del clúster, este último asigna, para esta comunicación, el intervalo de tiempo no utilizado que presenta la prioridad más alta identificada por el índice de prioridad más pequeño. En el ejemplo de la figura 4, la primera comunicación se asignará al intervalo de tiempo con índice de prioridad 0, asignándose el intervalo con el índice de prioridad 4 únicamente cuando los otros cuatro intervalos de tiempo ya están asignados a una comunicación. En una variante de realización de la invención, si el índice de prioridad de un intervalo es superior a un umbral dado, el nodo principal del clúster puede impedir la comunicación en este intervalo.

45 Para evitar las interferencias entre clústeres, el mismo intervalo de tiempo no debe asignarse simultáneamente a las comunicaciones que provienen de dos clústeres adyacentes. Con el fin de cumplir con este requerimiento, el procedimiento de acuerdo con la invención busca en particular asignar, para el mismo intervalo, una prioridad diferente a cada clúster de un conjunto de clústeres adyacentes. De esta forma, el número de configuraciones generadas es igual al número de intervalos de una ventana temporal.

50 La figura 5 representa el conjunto de las configuraciones generadas mediante el procedimiento de acuerdo con la invención para una ventana temporal que comprende 10 intervalos. Este ejemplo se da a título ilustrativo y no es representativo del orden de magnitud del número de intervalos por ventana temporal que es, en la práctica, del orden de un centenar. Cada configuración (representada en ordenadas) presenta un valor con una prioridad diferente para el mismo intervalo de tiempo (representado en abscisas). De esta forma, cada clúster, que organiza las comunicaciones en su interior de acuerdo con una configuración dada, es el único que tiene la prioridad más alta en un intervalo de tiempo. En la práctica, basta con que un clúster tenga la prioridad más elevada en un número de

intervalos igual a $N_p = \frac{n}{1+n_{ady}}$, en la que n_{ady} es el número de clústeres que son adyacentes a este. La genera-

ción de las configuraciones de acuerdo con la invención permite cumplir con esta condición hasta un número de clústeres adyacentes igual al número de intervalos de tiempo de una ventana, lo que es más que suficiente en la práctica.

- 5 Una vez generada la tabla del conjunto de las configuraciones, se asigna una configuración a cada clúster. Varios ejemplos de la asignación de configuraciones se ilustran a continuación por medio de las figuras 6, 7 y 8 retomando el ejemplo de tabla de configuración de la figura 5, definido para seis intervalos de tiempo.

10 La figura 6 ilustra un ejemplo de asignaciones de configuraciones a cada clúster de un grupo de dos clústeres adyacentes C1 y C2. La primera configuración de la tabla de las configuraciones posibles se asigna al clúster C1. La segunda configuración se asigna al clúster C2. De este modo, cada clúster tiene la prioridad más alta en la mitad de los intervalos de la ventana temporal, esto es cinco intervalos en total.

15 La figura 7 ilustra un ejemplo de asignaciones de configuraciones a cada clúster de un grupo de tres clústeres adyacentes C1, C2 y C3. La primera configuración de la tabla del conjunto de las configuraciones posibles se asigna al clúster C1. La segunda configuración se asigna al clúster C2. La tercera configuración se asigna al clúster C3. De este modo, cada clúster tiene la prioridad más alta en un tercio de los intervalos de la ventana temporal, esto es tres intervalos en total.

20 La figura 8 ilustra un ejemplo de asignaciones de configuraciones a cada clúster de un grupo de cuatro clústeres adyacentes C1, C2, C3 y C4. La primera configuración de la tabla del conjunto de las configuraciones posibles se asigna al clúster C1. La segunda configuración se asigna al clúster C2. La tercera configuración se asigna al clúster C3. La cuarta configuración se asigna al clúster C4. De este modo, cada clúster tiene la prioridad más alta en un cuarto de los intervalos de la ventana temporal, esto es dos intervalos en total.

Se describe en la presente memoria el procedimiento, de acuerdo con la invención, aplicado para generar, de forma automática, el conjunto de las configuraciones posibles. Este procedimiento lo ejecuta cada nodo principal de clúster (*cluster head*).

- 25 La figura 9 esquematiza, en forma de organigrama, las etapas de aplicación para la generación del conjunto de las configuraciones de acuerdo con la invención.

La primera configuración 900 se define de forma arbitraria, por ejemplo sus índices de prioridad se asignan a los intervalos de tiempo en su orden creciente de aparición en el tiempo.

30 Para cada configuración con índice c que va de 2 al número de configuraciones total N_c , que es como máximo igual al número n de intervalos de tiempo en una ventana, se determina, en una primera etapa 901, una secuencia MIN_c que comprende n valores asociados a los n intervalos de tiempo. Para un intervalo de tiempo dado con índice s , el valor correspondiente de la secuencia $MIN_c(s)$ se considera igual al índice mínimo entre los índices de prioridad de este intervalo en todas las configuraciones anteriormente generadas.

35 En una segunda etapa 902, se determina una secuencia SUM_c , que también comprende un número de valores n igual al número de intervalos de tiempo. Para un intervalo de tiempo dado con índice s , el valor correspondiente de la secuencia $SUM_c(s)$ se considera igual a la suma de los índices de prioridad de este intervalo para todas las configuraciones anteriormente generadas.

La configuración con índice c se define a continuación por medio de las etapas 903 a 906. La generación de una configuración consiste en asociar cada índice de prioridad p que va de 0 a $n-1$ a un intervalo de tiempo.

40 En una etapa de prueba 903 los índices de prioridad se separan en dos grupos. Para ello, el índice de prioridad actual p se compara con el ratio n/c . Si p es inferior a n/c entonces la prioridad asociada a este índice se denomina prioridad obligatoria, en caso contrario se llama prioridad opcional. El ratio n/c corresponde al número mínimo de intervalos para los cuales cada clúster de un grupo de clústeres adyacentes debe tener la prioridad más alta y esto con el objetivo de eliminar la interferencia entre clústeres. En una variante de realización de la invención, el nodo principal de clúster puede impedir la comunicación en los intervalos de tiempo que se benefician de una prioridad opcional con el fin de utilizar únicamente los intervalos de tiempo asociados a una prioridad obligatoria que garantiza la ausencia total de colisiones entre comunicaciones de varios clústeres adyacentes.

45 Si p es el índice de una prioridad obligatoria, este debe asignarse a un intervalo de tiempo que aun no se ha beneficiado de otra prioridad obligatoria en una configuración anterior. En una etapa 904, la prioridad obligatoria con índice p se asigna al intervalo temporal con índice s para el cual la secuencia MIN_c determinada en la etapa 901 presenta un valor máximo. Si varios intervalos cumplen esta condición, entonces la prioridad obligatoria con índice p se asigna a aquel para el cual el valor de la secuencia SUM_c es máximo.

Si p es el índice de una prioridad opcional, debe asignarse a un intervalo de tiempo que aun no se ha beneficiado de la misma prioridad en una configuración anterior. En una etapa 905, la prioridad opcional con índice p se asigna al intervalo de tiempo con índice s para el cual la secuencia SUM_c determinada en la etapa 902 presenta un valor máximo. Si varios intervalos de tiempo cumplen esta condición, entonces la prioridad opcional con índice p se asigna a aquel para el cual el valor de la secuencia MIN_c es máximo.

Una vez generada la tabla del conjunto de las configuraciones posibles, es preciso asignar una configuración específica a cada clúster para permitirle que organice sus comunicaciones minimizando el riesgo de colisiones con sus clústeres vecinos. Se describe a continuación un modo de realización de la invención que se refiere a la aplicación, de forma distribuida, de la asignación de una configuración a cada clúster. Sin salirse del marco de la invención, el procedimiento descrito también se aplica a una red ad hoc que no está estructurada en forma de clústeres, asignándose las configuraciones en este caso directamente a cada nodo de la red que accede a los recursos temporales de comunicación en función de las prioridades definidas en la configuración que se le asigna. Este caso se aplica en particular a las redes de pequeño tamaño, que comprenden un reducido número de nodos y que no precisan una jerarquización particular. También se aplica a las redes de tamaño más grande no organizadas en clústeres. La invención también se aplica, de forma similar, a una red celular en la cual varios nodos móviles se estructuran en celdas alrededor de una estación de base fija. Las configuraciones se asignan a las estaciones de base que desempeñan una función similar a la del nodo principal *cluster head*.

El procedimiento de acuerdo con la invención, en un primer modo de realización particular, se describe a continuación para el ejemplo concreto de una red organizada en clústeres. La formación de los clústeres se puede realizar por medio de métodos conocidos denominados de clusterización, por ejemplo el método basado en el algoritmo « Low_Id » que asigna la función de *cluster head* a los nodos de la red que presentan los identificadores más bajos. La formación de los clústeres se puede hacer en función de diferentes características topológicas. En particular, un clúster se puede definir por la distancia en número de saltos entre el *cluster head* y los miembros del clúster o también por el tipo de nodo de transmisión entre dos clústeres. Un nodo de transmisión puede pertenecer a varios clústeres, pasando por él siempre la comunicación entre estos clústeres o, por el contrario, los clústeres se pueden definir de tal modo que sean todos independientes los unos de los otros y en este caso la comunicación dentro del clúster se hace por medio de dos nodos, miembros cada uno de dos clústeres vecinos y que realizan la función de nodos de transmisión.

Cada nodo *cluster head* ejecuta un procedimiento distribuido de acuerdo con la invención que permite asignarle una configuración.

Para ello, cada nodo de la red memoriza, al menos, las siguientes informaciones: su identificador único en el interior de la red que se le asigna en cuanto se forma la red, el identificador del nodo *cluster head* del clúster al que pertenece, el estado de este nodo, esto es si se trata de un nodo *cluster head*, de un nodo de transmisión o de un simple nodo miembro. Cada nodo memoriza también la configuración en la cual se encuentra el clúster al cual pertenece, el número de clústeres en la red, el número y la lista de clústeres adyacentes a su clúster que contiene en particular el identificador del nodo *cluster head* y la configuración de cada clúster adyacente.

Cada nodo *cluster head* crea y difunde en la red, en un intervalo de tiempo dado, un mensaje de información, en forma de paquete de datos, específico que comprende en particular la siguiente información: el identificador del nodo *cluster head* que envía el mensaje, la configuración seleccionada por este nodo *cluster head* y el número de saltos recorridos por el mensaje.

El mensaje de información que crea el nodo *cluster head* se difunde a todos los nodos de la red que están a su alcance directo. En la recepción del mensaje, los nodos ejecutan las siguientes etapas. Si el nodo receptor es un simple nodo miembro, el mensaje se destruye. Si el nodo receptor es un nodo de transmisión, el mensaje se difunde a todos los nodos que están a su alcance directo. Si el nodo receptor es un nodo *cluster head* entonces actualiza la lista de clústeres que son adyacentes a este con las configuraciones que estos utilizan y selecciona una configuración, entre las generadas mediante el procedimiento de acuerdo con la invención, que aun no ha seleccionado un clúster adyacente. Cada nodo *cluster head* conoce de este modo las configuraciones seleccionadas por los clústeres adyacentes, este selecciona, por ejemplo, la configuración de la tabla inmediatamente disponible, es decir que aun no se ha asignado a un clúster, en el orden descendente de las líneas de la tabla.

El procedimiento distribuido que permite asignar una configuración a cada clúster tal como se ha descrito con anterioridad solo es un ejemplo de aplicación de la invención. Se puede considerar cualquier procedimiento, algoritmo o método que permita asignar una configuración a cada clúster de tal modo que un clúster no utilice la misma configuración que uno de estos clústeres adyacentes. Dicho procedimiento lo debe ejecutar al menos cada nodo *cluster head* y debe basarse en el intercambio de informaciones, de forma distribuida, entre los nodos y los clústeres de la red de tal modo que se coordine la asignación de las configuraciones y se permita de este modo una asignación de recursos óptimos para cada clúster.

Se describe ahora un segundo modo de realización de la invención para la asignación de las configuraciones generadas de acuerdo con el método descrito en relación a la figura 9 a los clústeres de la red de tal modo que se aumente aun más el uso de los recursos temporales limitando al mismo tiempo las colisiones entre clústeres

adyacentes.

La figura 10 esquematiza, en su parte derecha, otro ejemplo de topología de red de malla organizada en clústeres. Los clústeres C1, C2 y C3 forman un primer grupo de clústeres adyacentes entre sí. La asignación de las configuraciones a estos tres clústeres se hace de la forma descrita en relación a la figura 7. Un cuarto clúster C4 se forma en la entrada en la red de dos nodos C4-1 y C4-2. El clúster C4 únicamente es adyacente al clúster C3. Para aprovechar al máximo los recursos de comunicación sin generar colisiones entre las comunicaciones de los clústeres C3 y C4, basta con que el clúster C4 tenga una prioridad de asignación superior al clúster C3 en la mitad de los intervalos de la ventana. Ahora bien, la configuración asignada a C3 se asigna ya basándose en la adyacencia con C1 y C2. C3 utiliza la configuración con índice $c=3$ en la tabla 500 generada al inicio. Al tener el clúster C4 únicamente un vecino, la primera configuración disponible en la tabla 500 es la de índice $c=1$ (primera línea de la tabla). Ahora bien, el empleo de esta configuración no garantiza que el clúster C4 se beneficie de la prioridad más alta, con respecto al clúster C3, en la mitad de los intervalos, sino solamente en un tercio, de acuerdo con el método utilizado para generar la tabla 500.

En un modo particular de realización de la invención, se genera una tabla de configuración única para cada grupo de clústeres adyacentes. Dicho grupo solo comprende los clústeres que son adyacentes a todos los demás clústeres de este mismo grupo. En el ejemplo de la figura 10, un primer grupo G1 de clústeres adyacentes se define por el conjunto de clústeres {C1,C2,C3} y un segundo grupo G2 se define por el conjunto de clústeres {C3,C4}. El grupo G1 utiliza la tabla 500 generada con la configuración inicial {0,1,2,3,4,5,6,7,8,9} seleccionada de forma arbitraria. El grupo G2 utiliza una tabla 510 generada por medio del mismo método descrito en relación a la figura 9, pero inicializado con la configuración ya asignada a C3. La configuración asignada a C4 es la primera disponible en la tabla 510 que se asigna a su grupo G2 de clústeres adyacentes. Se trata, por lo tanto, de la segunda configuración de la tabla 510. De este modo, el clúster C4 se beneficia de la prioridad más alta, con respecto al clúster C3, en la mitad de los intervalos de la ventana y no solo en un tercio.

La generación de una tabla de configuraciones específica para cada grupo de clústeres adyacentes precisa la aplicación de los siguientes intercambios de información en el interior de la red. Cada nodo *cluster head* debe conocer, además del identificador de su clúster, el del identificador del o de los grupos de clústeres adyacentes G1, G2 al cual pertenece el clúster que este representa. Un mismo clúster puede pertenecer a varios clústeres adyacentes, como se ilustra en el ejemplo de la figura 10.

Los nodos *cluster head* de cada clúster deben comunicar, por ejemplo, a través de mensajes específicos de información, a los demás nodos *cluster head* del o de los grupos de clústeres adyacentes a los que pertenecen el identificador de configuración que han seleccionado (en la práctica el identificador es el número de la línea de la tabla de configuración generado) y el identificador del grupo de clústeres adyacentes al cual pertenecen. Cada nodo *cluster head* memoriza de este modo la lista de las configuraciones seleccionadas por los clústeres que son adyacentes a este. Si un clúster forma parte de varios grupos de clústeres adyacentes, por ejemplo el clúster C3 en el ejemplo de la figura 10, entonces selecciona su configuración en función de la tabla de configuración compartida por uno de los grupos, por ejemplo el grupo G1, tomando la configuración inmediatamente disponible en esta tabla. A continuación transmite al otro grupo de clústeres adyacentes, el grupo G2 en el ejemplo de la figura 10, la configuración que ha seleccionado con un índice de configuración igual a 1. Al no haber seleccionado aun los otros clústeres del grupo G2 su configuración, es la configuración del clúster C3 la primera asignada en el grupo G2 y lleva, de este modo, en este grupo, el índice número 1.

Los nodos que tienen la función de transmisión entre dos clústeres adyacentes transmiten el o los mensajes específicos de información hacia los clústeres adyacentes en función del identificador de pertenencia a un grupo de clústeres adyacentes comprendido en estos mensajes.

Con la recepción de un mensaje de información, un nodo *cluster head* lleva a cabo las siguientes operaciones. Si dicho mensaje contiene un índice de configuración igual a 1 y la propia configuración, el nodo *cluster head* ejecuta el procedimiento de generación de una nueva tabla de configuración, descrito en relación a la figura 9, inicializando el procedimiento con la configuración contenida en el mensaje. El nodo *cluster head* selecciona a continuación el índice de configuración inmediatamente disponible en el orden de las configuraciones de esta nueva tabla. Este índice se actualiza eventualmente si de forma paralela otro clúster del mismo grupo ya ha hecho uso de la misma configuración. Si, por el contrario, el mensaje contiene un índice de configuración diferente de 1, entonces el nodo *cluster head* utiliza la tabla de configuración de la memoria, actualiza la lista de las configuraciones utilizadas por sus vecinos, en el interior del mismo grupo, y selecciona la configuración siguiente disponible en esta tabla.

Sin salirse del marco de la invención, el procedimiento de asignación de configuración a cada clúster se puede realizar de forma alterna de acuerdo con uno u otro de los modos de realización descritos aplicados al conjunto de los nodos de la red o de acuerdo con cualquier otra variante no descrita de forma explícita que permita asignar a cada clúster la prioridad más alta, con respecto a sus clústeres adyacentes, en un número predeterminado N_p de intervalos.

Desde el momento en que se asigna una configuración definitiva a un clúster, el nodo *cluster head* puede organizar la asignación de los recursos en el interior del clúster en función de las prioridades definidas en la configuración. El

- acceso al medio de comunicación se hace, como se ha indicado con anterioridad, mediante un método TDMA. Los intervalos de tiempo en los cuales se permite o no comunicar a los nodos se incluyen en una ventana temporal denominada ventana TDMA. Una ventana TDMA se compone tradicionalmente de cuatro partes distintas tal y como se representa en la figura 11. En la primera parte T1, se envía una señal que permite la sincronización de todos los miembros del clúster con su *cluster head*. La segunda parte T2 se utiliza para el cálculo de la secuenciación de las peticiones emitidas con anterioridad por los miembros del clúster, es decir qué intervalos utilizará cada terminal. En la tercera parte T3, los miembros del clúster envían sus nuevas peticiones relativas a sus necesidades de recursos. Por último, la última parte T4 se compone de los intervalos de tiempo que realmente utilizarán los terminales para transmitir sus datos de acuerdo con la secuenciación que ha realizado con anterioridad el *cluster head*.
- 5
- 10 Cada clúster dispone de este tipo de ventana. Las configuraciones generadas de acuerdo con la invención se aplican a la última parte de la ventana que se refiere a los intervalos utilizados para la transmisión de datos. Las configuraciones darán un orden de prioridad que hay que respetar entre estos intervalos.
- El procedimiento de acuerdo con la invención lo ejecuta cada nodo de la red o, cuando el nodo está organizado en clústeres, cada nodo que tiene la función de *cluster head*. De manera más precisa, lo pueden aplicar las capas MAC y/o red de la pila de protocolo que ejecuta cada nodo.
- 15

Referencias

- [1] Subramanian, V.; Ramakrishnan, K. K.; Kalyanaraman, S.: "Experimental study of link and transport protocols in interference-prone wireless LAN environments," Communication Systems and Networks and Workshops, 2009. COMSNETS 2009. First International, vol., n.º., págs. 1-10, 5-10 de enero de 2009.
- 20 [2] Lucian Popa, Afshin Rostamizadeh, Richard M. Karp y Christos Papadimitriou, "Traffic load in wireless networks with curveball routing", en: Proc. ACM MOBIHOC, 2007.
- [3] Raffaele Bruno, Vania Conan y Stéphane Rousseau, "A load dependent metric for balancing Internet traffic in Wireless Mesh Networks", en: Proc. of 3rd IEEE International Workshop on Enabling Technologies and Standards for Wireless Mesh Networking (Mesh Tech), Macau, octubre de 2009.
- 25 [4] Pandey, A. y Jae Sung Lim: "CTB-MAC: Cluster-Based TDMA Broadcast MAC Protocol for Mobile Ad hoc Network," Future Information Technology (FutureTech), 2010, 5th International Conference on, vol., n.º., págs. 1-6, 21-23 de mayo de 2010.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento de asignación de recursos de comunicación en una red móvil de malla que comprende una pluralidad de nodos que se comunican entre sí por medio de enlaces de radio, estando dichos recursos de intervalos de tiempo durante los cuales a dichos nodos se les permite o no comunicar, estando dicha red de malla estructurada en una pluralidad de clústeres (C_i) que comprenden cada uno al menos un nodo, estando dicho procedimiento **caracterizado porque** comprende al menos las siguientes etapas:
- 10 ○ una etapa de generación de una tabla (500) de configuraciones comprendiendo cada una un índice de prioridad de asignación diferente para cada intervalo de tiempo de dicha ventana temporal, variando dichos índices de 0 a $n-1$, siendo n un número entero estrictamente positivo igual al número de intervalos de tiempo;
 - una etapa de asignación de una configuración, entre el conjunto generado de configuraciones, a cada clúster de tal modo que un número N_p predeterminado, estrictamente positivo, de índices de prioridad no sean asignados a los mismos intervalos para los clústeres que son adyacentes entre sí;
 - 15 ○ una etapa de asignación de los intervalos de tiempo a las comunicaciones dentro del clúster en el orden de las prioridades definidas en la configuración asignada a dicho clúster.
2. Procedimiento de asignación de recursos de acuerdo con la reivindicación anterior, **caracterizado porque** la generación de la tabla (500) de configuraciones se realiza al menos por medio de las siguientes etapas:
- 20 ○ una etapa de inicialización (900) de los índices de prioridad de la primera configuración en unos valores dados;
 - para cada configuración con índice c que varía de 2 al número de configuraciones total N_c ,
 - 25 ▪ una etapa (901) de generación de una secuencia MIN_c que comprende n valores asociados a los n intervalos de tiempo, el valor $MIN_c(s)$ de la secuencia MIN_c asociada a un intervalo con índice s en la ventana temporal se considera igual al índice mínimo entre los índices de prioridad de dicho intervalo con índice s en todas las configuraciones anteriormente generadas;
 - una etapa (902) de generación de una secuencia SUM_c , que comprende n valores asociados a los n intervalos de tiempo, el valor $SUM_c(s)$ de la secuencia SUM_c asociada a un intervalo con índice s en la ventana temporal se considera igual a la suma de los índices de prioridad de dicho intervalo con índice s para todas las configuraciones anteriormente generadas;
 - 30 ▪ una etapa (903) de separación de los índices de prioridad entre índices de prioridad obligatoria e índices de prioridad opcional, siendo los índices de prioridad obligatoria estrictamente inferiores al ratio n/c , siendo los índices de prioridad opcional superiores al ratio n/c ;
 - una etapa (904) de asignación de la prioridad obligatoria con índice p al intervalo de tiempo con índice s para el cual la secuencia MIN_c presenta un valor máximo, si varios intervalos cumplen esta condición, entonces la prioridad obligatoria con índice p es asignada al intervalo para el cual la secuencia SUM_c presenta un valor máximo;
 - 35 ▪ una etapa (905) de asignación de la prioridad opcional con índice p al intervalo de tiempo con índice s para el cual la secuencia SUM_c presenta un valor máximo, si varios intervalos cumplen esta condición, entonces la prioridad opcional con índice p es asignada al intervalo para el cual la secuencia MIN_c presenta un valor máximo.
- 40 3. Procedimiento de asignación de recursos de acuerdo con la reivindicación 2, **caracterizado porque** la generación de una tabla diferente (500, 510) de configuraciones se realiza para cada grupo (G_1, G_2) de clústeres que solo comprende clústeres adyacentes entre sí, realizándose la etapa de inicialización (900) a partir de la configuración asignada a un clúster de dicho grupo que también pertenece a otro grupo o a partir de una configuración arbitraria cuando ninguno de los clústeres miembro de dicho grupo es también miembro de otro grupo.
- 45 4. Procedimiento de asignación de recursos de acuerdo con una de las reivindicaciones 2 o 3, **caracterizado porque** a cada clúster se le asigna la configuración con el índice c mínimo en la tabla de configuraciones que aun no se ha asignado a otro clúster.
- 50 5. Procedimiento de asignación de recursos de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** en el interior de un clúster, las comunicaciones se prohíben en los intervalos asociados a un índice de prioridad superior a un umbral predeterminado.
6. Procedimiento de asignación de recursos de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque**, en cada clúster, un nodo ejecuta la función de clúster principal, ejecutando este nodo la etapa de asignación de los intervalos de tiempo a las comunicaciones dentro del clúster en función de su índice de prioridad.
- 55 7. Procedimiento de asignación de recursos de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la etapa de asignación de las configuraciones a cada clúster se realiza mediante unos medios distribuidos que comprenden al menos la difusión, por cada clúster, de su índice de configuración a sus clústeres adyacentes.

8. Procedimiento de asignación de recursos de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** dicha red es una red celular y el nodo principal de clúster es una estación de base.
9. Procedimiento de asignación de recursos de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la ventana temporal es una ventana TDMA.
- 5 10. Procedimiento de asignación de recursos de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** es implementado por las capas MAC y/o red de la pila de protocolo de cada nodo.
11. Sistema de comunicación destinado a ser instalado en un nodo (Ci) móvil que comunica en el interior de una red móvil ad hoc **caracterizado porque** dicho sistema comprende unos medios adaptados para implementar el procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 10.
- 10 12. Red móvil ad hoc que comprende una pluralidad de nodos (Ci) que se comunican entre sí **caracterizado porque** cada uno de dichos nodos (Ci) comprende un sistema de comunicación incorporado de acuerdo con la reivindicación 11.

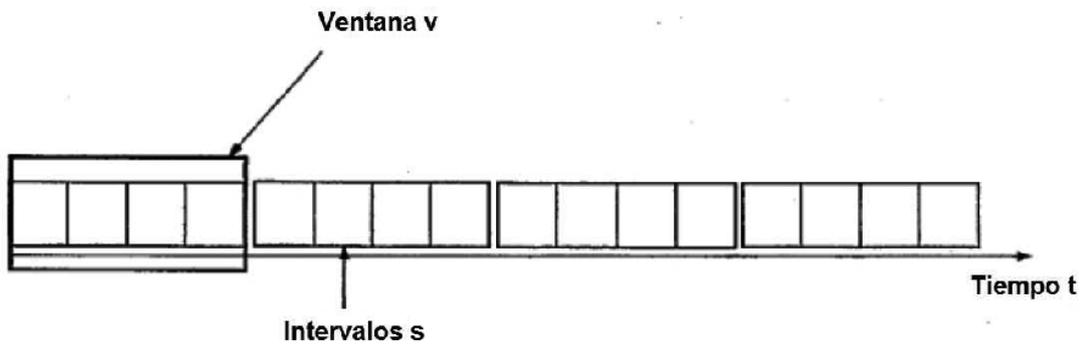


FIG.1

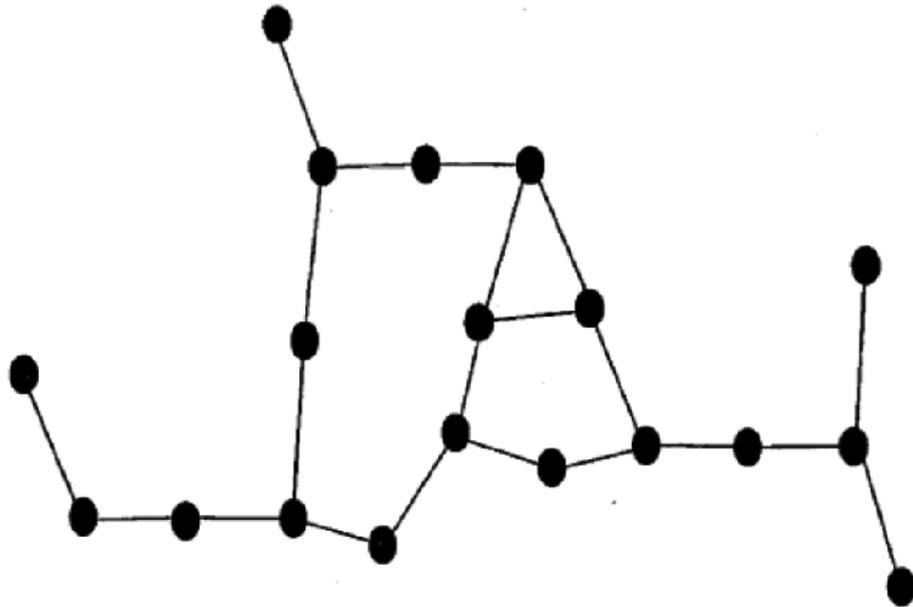


FIG.2

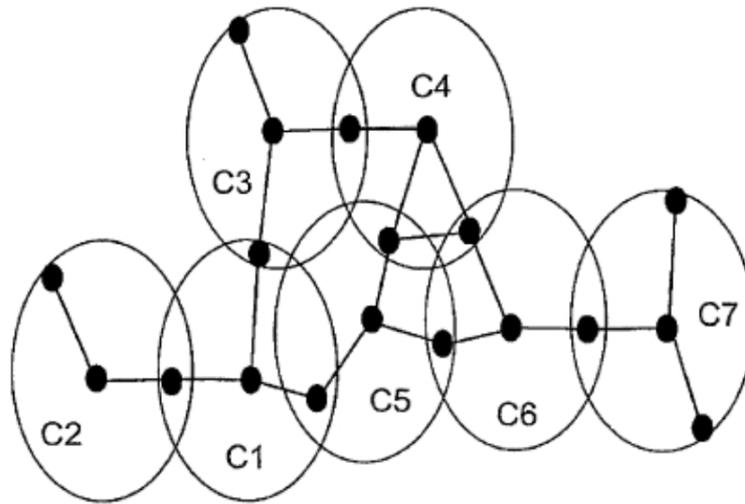


FIG.3

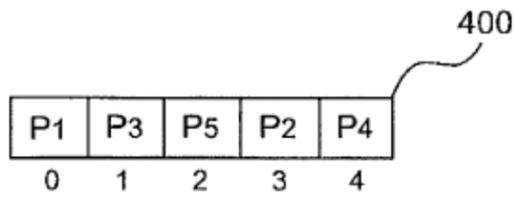


FIG.4

Intervalos

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
	8	6	4	2	0	1	3	5	7	9
	3	5	6	7	9	8	0	1	4	2
	4	2	0	1	7	6	9	8	3	5
	3	6	9	8	1	0	7	4	5	2
	6	0	2	4	8	9	3	5	1	7
	3	9	7	5	1	4	6	0	8	2
	7	1	2	5	8	3	4	9	0	6
	1	8	7	0	2	6	4	5	9	3

Configuraciones

FIG.5

Intervalos										C1	C2
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	C1	C2
9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
8	6	4	2	0	1	3	5	7	9		
3	5	6	7	9	8	0	1	4	2		
4	2	0	1	7	6	9	8	3	5		
3	6	9	8	1	0	7	4	5	2		
6	0	2	4	8	9	3	5	1	7		
3	9	7	5	1	4	6	0	8	2		
7	1	2	5	8	3	4	9	0	6		
1	8	7	0	2	6	4	5	9	3		



FIG.6

	Intervalos										C1	C2	C3
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9				
9	8	7	6	5	4	3	2	1	0				
8	6	4	2	0	1	3	5	7	9				
3	5	6	7	9	8	0	1	4	2				
4	2	0	1	7	6	9	8	3	5				
3	6	9	8	1	0	7	4	5	2				
6	0	2	4	8	9	3	5	1	7				
3	9	7	5	1	4	6	0	8	2				
7	1	2	5	8	3	4	9	0	6				
1	8	7	0	2	6	4	5	9	3				

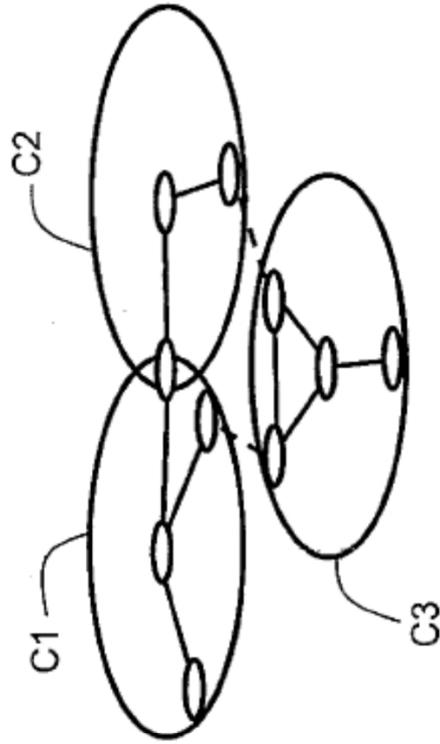


FIG.7

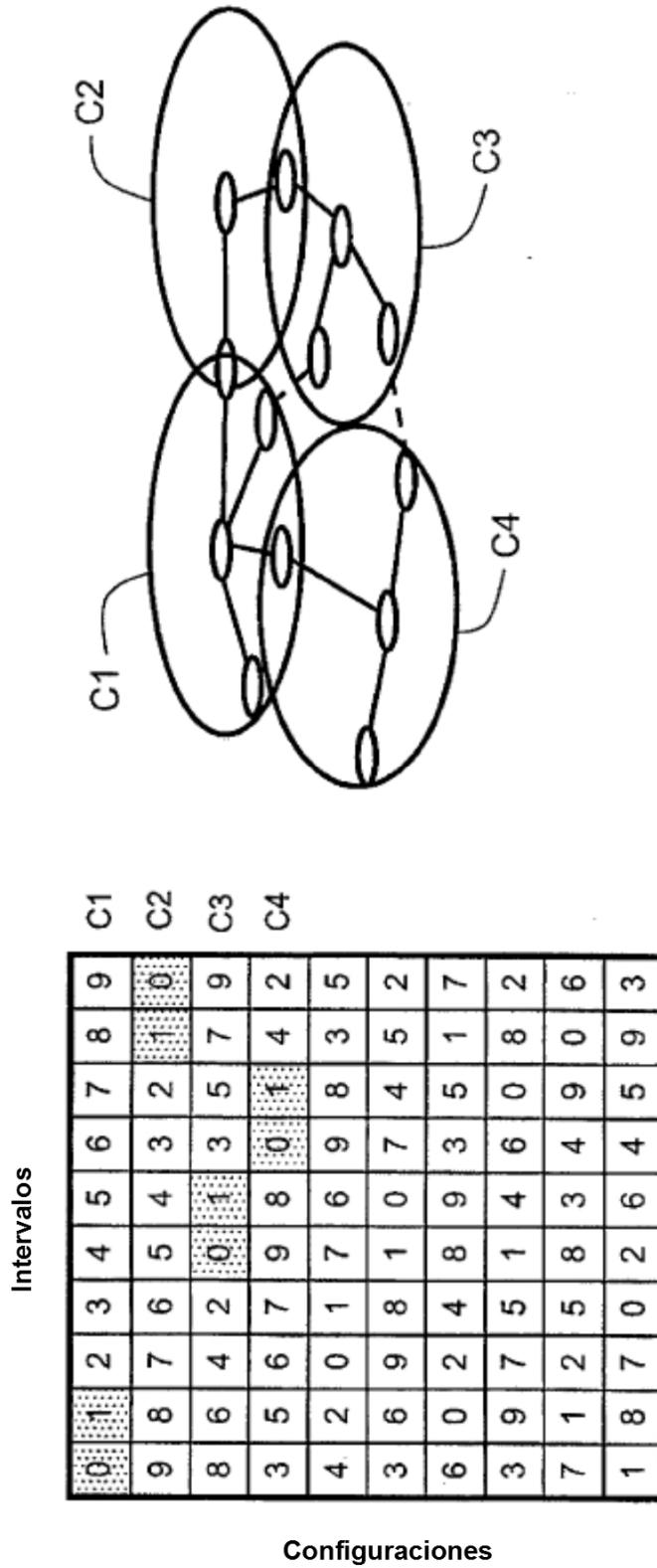


FIG.8

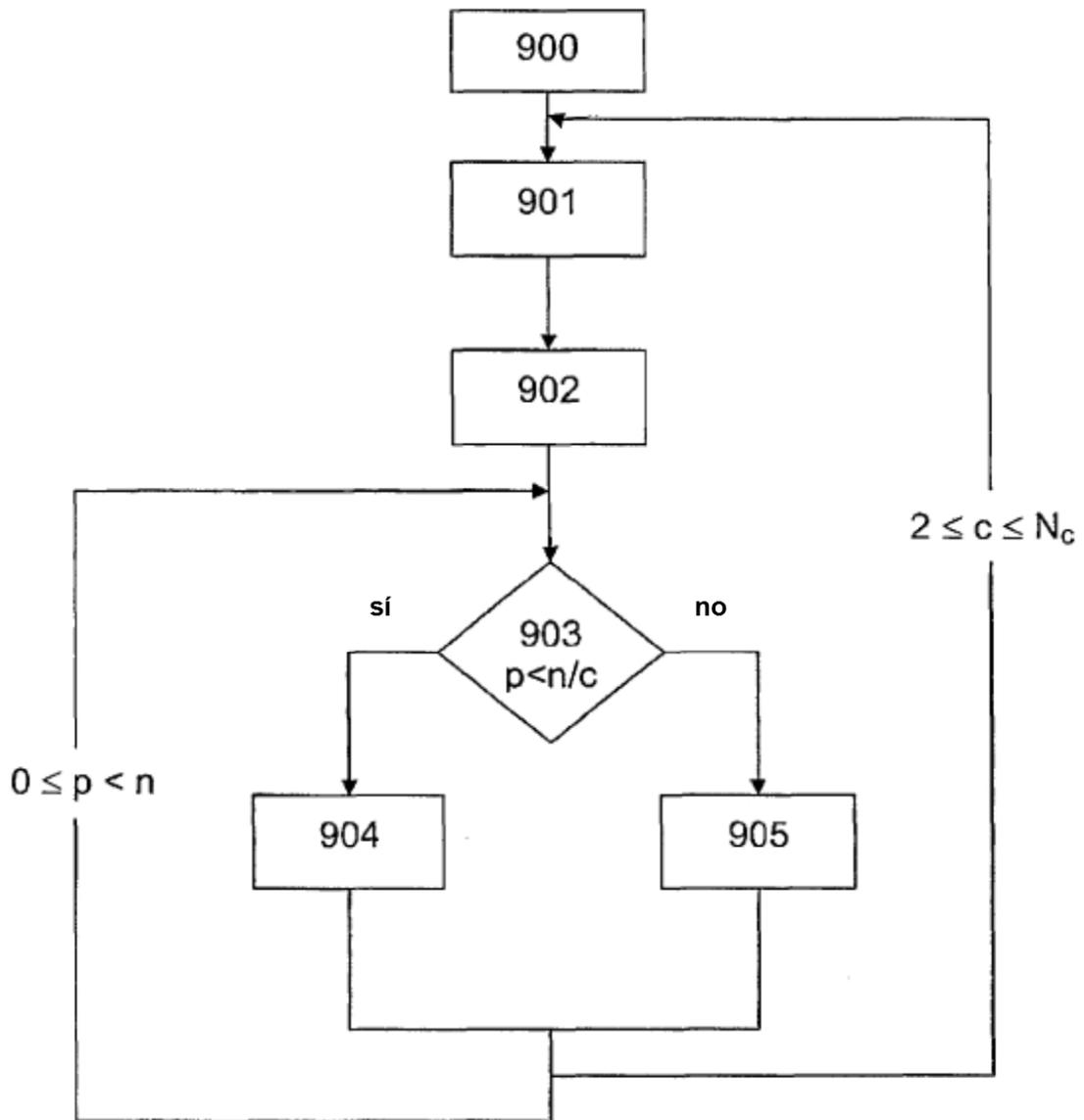


FIG.9

Tabla 1 para conjunto { C1, C2, C3 }

500

Configuraciones	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	C1
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	C2
	8	6	4	2	0	1	3	5	7	9	C3
	3	5	6	7	9	8	0	1	4	2	
	4	2	0	1	7	6	9	8	3	5	
	3	6	9	8	1	0	7	4	5	2	
	6	0	2	4	8	9	3	5	1	7	
	3	9	7	5	1	4	6	0	8	2	
	7	1	2	5	8	3	4	9	0	6	
	1	8	7	0	2	6	4	5	9	3	

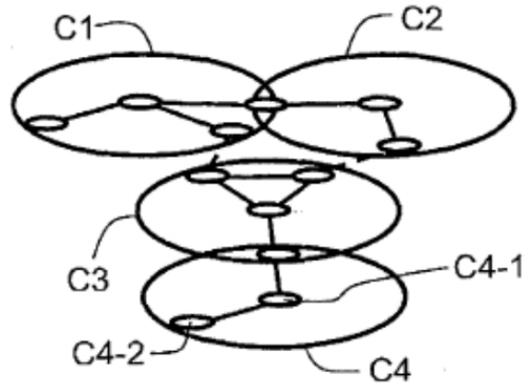


Tabla 2 para conjunto { C3, C4 }

510

Configuraciones	8	6	4	2	0	3	5	7	9	C3	
	1	3	5	7	9	8	6	4	2	0	C4

FIG.10

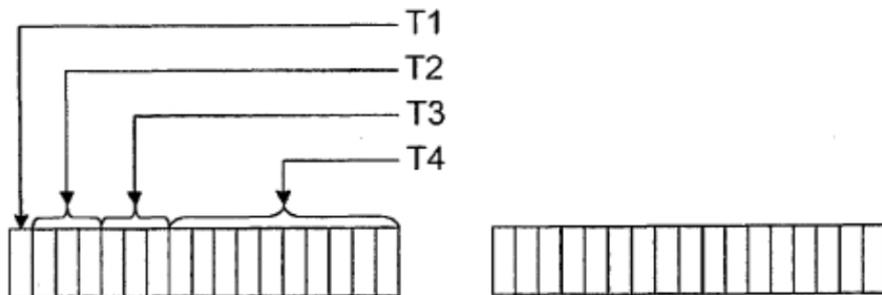


FIG.11