

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 684 471**

51 Int. Cl.:

H04W 72/04

(2009.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.07.2010 PCT/EP2010/061097**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.02.2011 WO11012694**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.07.2010 E 10735301 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.05.2018 EP 2460383**

54 Título: **Procedimiento de acceso múltiple a recursos de radio en una red ad hoc móvil y sistema que implementa el procedimiento**

30 Prioridad:

31.07.2009 FR 0903794

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

03.10.2018

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**MONZAT DE SAINT JULIEN, GILLES y
CARRERE, PATRICE**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 684 471 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 acceso múltiple a recursos de radio en una red *ad hoc* móvil y sistema que implementa el procedimiento

5 La presente invención se refiere a un procedimiento de acceso múltiple a los recursos de radio en una red *ad hoc* móvil, por ejemplo una red de alta velocidad y reducida latencia, así como al sistema que implementa este procedimiento.

10 Se aplica ventajosamente en un contexto aeronáutico en el que los nodos de la red *ad hoc* son unas aeronaves pero pueden implementarse para cualquier tipo de red *ad hoc* móvil. Se entiende por red *ad hoc*, una red constituida por elementos móviles, también llamados nodos, que acumulan a la vez las funciones de emisor, receptor y de retransmisor. Cada nodo de una red *ad hoc* comunica directamente con sus vecinos sin pasar por un punto de acceso intermedio que tendría la función de retransmisor o/y de enrutado de los paquetes transmitidos como es el caso en una red denominada en modo infraestructura. Una red *ad hoc* ofrece una topología de tipo mallado. En lo que sigue de la descripción, se llamará nodo de una red a todo terminal móvil que comunica a través de un enlace inalámbrico con otros terminales móviles organizados y estructurados en un seno de una red mallada. Un nodo es por ejemplo, pero no únicamente, una aeronave, o un avión sin piloto que integra un sistema de telecomunicaciones que implementa el procedimiento de acceso a unos recursos de radio según la invención.

15 A título de ejemplo, una red en modo infraestructura es una red de telefonía móvil de tipo UMTS ("Universal Mobile Telecommunications System"). Este tipo de red está constituido por un lado por terminales móviles que tienen una función de emisor y receptor, y por otro lado por puntos de acceso fijos que tienen una función de retransmisor de los mensajes de una célula hacia otra. Una red *ad hoc*, por el contrario, no está constituida más que por nodos móviles y no necesita la implementación de infraestructuras fijas para ejecutar la funcionalidad de enrutado de la información transmitida.

20 Uno de los problemas encontrados para implementar un sistema de transmisión de datos en el seno de una red móvil *ad hoc* es el de la compartición eficaz de los recursos espectrales con el objetivo de ofrecer a todos los usuarios un acceso rápido al medio de comunicación, para comunicaciones de alta velocidad o discretas.

La técnica anterior describe varios procedimientos de acceso múltiple que permiten a varios terminales conectados al mismo medio de transmisión, compartir la banda pasante disponible sin interferir unos con otros.

25 Un primer procedimiento de acceso múltiple existente es el procedimiento de acceso múltiple por división de tiempo o en inglés TDMA ("Time Division Multiple Access"). Este procedimiento permite a todos los usuarios comunicar sobre una misma frecuencia dada asignándoles unos segmentos temporales durante los que pueden transmitir (respectivamente recibir) datos. Este procedimiento se utiliza principalmente en el sistema de telefonía celular europea GSM ("Global System for Mobile Communications"). Un inconveniente del procedimiento de acceso múltiple TDMA es que el tiempo de acceso al medio para un usuario está limitado a la espera del segmento temporal que le haya sido asignado a este usuario. Este retardo de transmisión genera entonces un tiempo de latencia potencialmente grande. Un segundo inconveniente de este procedimiento de acceso es que debe introducirse un tiempo de guarda entre cada segmento temporal para tener en cuenta los tiempos de propagación de la señal, con el fin de evitar que dos usuarios distintos interfieran uno con el otro. El tiempo de guarda se dimensiona en función de las distancias máximas entre los usuarios. La introducción de tiempos de guarda genera entonces una disminución de la banda pasante disponible.

30 Un segundo procedimiento de acceso múltiple conocido es el procedimiento de acceso múltiple por división de frecuencia o en inglés FDMA ("Frequency Division Multiple Access"). Este procedimiento permite compartir un intervalo de frecuencias entre varios usuarios asignando a cada usuario una o varias bandas de frecuencia en las que está autorizado a comunicar. Un inconveniente del procedimiento de acceso múltiple FDMA es que debe introducirse una banda de guarda entre cada banda de frecuencia con el fin de evitar que dos usuarios distintos interfieran uno con el otro. El tamaño de las bandas de guarda se dimensiona en función del rendimiento de los filtros paso banda y de la velocidad relativa máxima entre usuarios (efecto Doppler). La introducción de bandas de guardar genera igualmente una disminución de la banda pasante disponible.

35 Un tercer procedimiento de acceso múltiple es el procedimiento de acceso múltiple por división de código o en inglés CDMA ("Code Division Multiple Access"). Este procedimiento se basa en las técnicas conocidas de expansión del espectro por secuencia directa. Este procedimiento permite a todos los usuarios comunicar sobre una misma frecuencia dada asignándoles unos códigos ortogonales utilizados para expandir y des-expandir la señal útil. Sin embargo, el procedimiento de acceso CDMA presenta una limitación en el marco de una red *ad hoc* móvil. Es sensible al problema conocido de "el efecto próximo-lejano" o en inglés "near-far effect". Este problema se presenta cuando un terminal emite con gran potencia en dirección a un terminal lejano, saturando esta señal entonces los terminales más próximos.

40 Se distingue el CDMA síncrono, que utiliza unos códigos perfectamente ortogonales (por ejemplo unos códigos de Walsh), del CDMA asíncrono, que utiliza unos códigos basados en secuencias de PN ("Pseudo Noise") conocidas bajo la denominación de códigos PN en inglés (por ejemplo unos códigos de Gold o de Kasami).

45 Un cuarto procedimiento de acceso múltiple se describe en la solicitud de patente de Estados Unidos US 2006/234717.

Otro problema provocado cuando se busca desplegar una red *ad hoc* móvil es la especificación del tipo de antenas utilizadas. Con el fin de garantizar un enlace a muy alta velocidad, es decir del orden de 100 Mb/s, entre los

terminales de la red y esto con alcance máximo, se prefiere utilizar antenas direccionales porque presentan una ganancia mayor de directividad en una dirección dada lo que permite concentrar toda la potencia de transmisión hacia el terminal receptor.

5 Finalmente, en una red móvil, los nodos se desplazan en el transcurso del tiempo lo que plantea el problema de reasignación dinámica de los recursos de radio por el procedimiento de acceso. El procedimiento debe ser capaz principalmente de tener en cuenta, lo más eficazmente posible, frecuentes cambios de topología con el fin de cubrir las necesidades de comunicación de los nodos.

10 La presente invención propone principalmente un procedimiento de acceso múltiple adaptado a la compartición eficaz de los recursos en el seno de una red ad hoc móvil. Cada plataforma observa como se le asigna una banda de frecuencias que gestiona mediante un procedimiento de acceso CDMA para recibir simultáneamente las señales procedentes de otras plataformas. En la emisión, cada plataforma utiliza un código asignado por el destinatario para transmitir en la banda de frecuencia de este último.

15 El procedimiento de acceso propuesto difiere de los procedimientos de acceso TDMA o TDD ("Time Division Duplexing") en sentido de que no introduce tiempos de latencia vinculados a la espera de unos recursos de radio para emitir.

El procedimiento de acceso según la invención permite limitar los inconvenientes vinculados a diversos procedimientos de acceso de la técnica anterior.

- La utilización de códigos de expansión según un procedimiento CDMA permite limitar la pérdida debida a las bandas de guarda requeridas para un procedimiento FDMA de la técnica anterior.

20 En efecto, el procedimiento según la invención permite el multiplexado de diversos enlaces en el seno de cada banda limitando de ese modo el número de bandas necesarias.

- La utilización de bandas de frecuencias de recepción distintas asignadas a cada nodo de la red permite limitar el problema del "near-far effect" introducido por los procedimientos de acceso CDMA. En efecto, el hecho de separar las transmisiones de manera que en una banda dada no haya más que un único receptor evita por construcción el problema del "near-far effect".

25 El procedimiento de acceso propuesto implementa igualmente unos mecanismos de reutilización espacial de las bandas de frecuencia.

La invención se aplica principalmente en el marco de las limitaciones siguientes:

- El número de bandas de frecuencia disponibles es superior o igual al número de participantes de la red.
- No hay reutilización espacial de las bandas de frecuencia.

30 La invención permite igualmente levantar estas limitaciones y propone aumentar el número potencial de usuarios de la red reutilizando las bandas de frecuencia sobre varias plataformas de la red. Para que la compartición de estas bandas sea lo más eficaz posible, se utiliza un algoritmo de asignación dinámica de las bandas de frecuencia con el objetivo de minimizar las interferencias entre cada plataforma que reutiliza una misma banda de frecuencia. La asignación de las bandas de frecuencia se realiza sobre la base de una red establecida construida previamente mediante un algoritmo de construcción de la red. De esta manera, los nodos que posean un enlace de transmisión entre ellos verán la atribución unas bandas de frecuencia de recepción diferentes. En caso de reutilización de una banda de frecuencia, se realiza una verificación de manera que el nivel de perturbación inducido por un enlace sobre otro permanezca por debajo de un umbral predefinido. Esta verificación elimina así igualmente el problema del "near-far effect".

40 La reutilización de las bandas de frecuencia en una red móvil implica frecuentes cambios de banda. Estos cambios deben efectuarse sin tiempo muerto con el fin de mantener la propiedad de poder transmitir sin latencia importante en no importa qué instante. Se propone un mecanismo de cambio de frecuencia síncrono, igualmente conocido en inglés bajo el término "handover".

45 La invención es ventajosamente aplicable para antenas directivas que permiten obtener unas grandes velocidades y alcances. El procedimiento propuesto saca partido de la directividad de las antenas para aumentar la reutilización espacial de las bandas de frecuencia y aumentar así la velocidad total en la red ad hoc.

50 La invención tiene por objeto un procedimiento de acceso múltiple a los recursos de radio en una red ad hoc móvil que incluye una pluralidad de terminales o nodos móviles que comunican, de coordenadas geográficas conocidas caracterizado porque incluye al menos las etapas siguientes:

- una etapa de construcción de dicha red que permite generar una pluralidad de enlaces activos entre al menos dos nodos activos de dicha red, estando compuesto un enlace activo por dos pares de canales, asignados respectivamente a la emisión y a la recepción, incluyendo cada uno un subcanal de señalización y un subcanal de comunicación, siendo activo un enlace cuando el grado de relevancia de dicho enlace es superior a una constante dada, siendo determinado el grado de relevancia de dicho enlace al menos en función de criterios de distancia entre dichos nodos y/o de criterios de prioridad entre dichos nodos, incluyendo cada uno de dichos

5 nodos activos de dicha red una tabla de vecindad que reagrupa el conjunto de los nodos activos de dicha red a los que está directamente unido por un enlace activo,

o una etapa de asignación de bandas de frecuencia de recepción a cada uno de dichos nodos activos de dicha red, siendo dichas bandas de frecuencia de anchura idéntica y separadas por una banda de guarda mínima dada, siendo efectuada dicha asignación de la manera siguiente:

- si el número de nodos activos de dicha red es inferior o igual al número de bandas de frecuencia disponibles, se asigna una banda de frecuencia de recepción diferente a cada uno de dichos nodos,
- si el número de nodos activos de dicha red es estrictamente superior al número de bandas de frecuencia disponibles, se realiza una reutilización de dichas bandas de frecuencia de tal manera que la asignación se efectúe de manera que se minimicen las interferencias entre dos nodos activos que tienen la misma banda de frecuencia de recepción,

o una etapa de asignación de código de expansión efectuada por cada uno de dichos nodos activos receptores de dicha red para cada uno de dichos nodos emisores vecinos a los que está directamente unido mediante un enlace activo según un procedimiento CDMA asíncrono, comunicando dichos nodos emisores vecinos con dicho nodo receptor en la banda de frecuencia de recepción que le ha sido asignada,

o una etapa de control de potencia efectuada por cada uno de dichos nodos receptores de dicha red para cada uno de dichos nodos emisores vecinos a los que está directamente unido por un enlace activo, implementando dicha etapa de control de potencia un bucle de regulación de potencia diferente para cada uno de dichos enlaces activos que emanan de dicho nodo receptor teniendo por función asegurar que todas las señales recibidas por dicho nodo receptor procedentes de dichos nodos emisores lo son con el mismo nivel de potencia.

En una variante de realización de la invención, se asigna la misma banda de frecuencia de recepción a una pluralidad de nodos activos distintos si y solamente si el nivel de perturbación inducido por un enlace activo de uno de dichos nodos sobre un enlace activo de otro de dichos nodos es inferior a un umbral dado.

En una variante de realización de la invención, se efectúa un cambio de banda de frecuencia de recepción de un nodo de dicha red en el curso de la transmisión y este cambio se advierte a los otros nodos de dicha red con ayuda de mensajes de advertencia que contienen al menos el instante del cambio y la nueva banda de frecuencia.

En una variante de realización de la invención, cada uno de dichos nodos actualiza una base de datos geográficos que incluye sus coordenadas geográficas así como la de los nodos de su tabla de vecindad, siendo proporcionadas dichas coordenadas geográficas por un mecanismo externo a dicha red tal como una forma de onda omnidireccional de largo alcance, un enlace de datos táctico o un sistema de radar.

En una variante de realización de la invención, cada uno de dichos nodos actualiza una base de datos geográficos que incluye sus coordenadas geográficas así como la de los nodos de su tabla de vecindad, siendo construida y mantenida dicha base con ayuda de mensajes de señalización dedicados con este fin y transmitidos entre los nodos de dicha red.

En una variante de realización de la invención, el acceso a los recursos de radio de un nuevo nodo entrante en dicha red se realiza con ayuda al menos de las etapas siguientes:

- o dicho nodo entrante selecciona aleatoriamente una banda de frecuencia de recepción entre las disponibles,
- o dicho nodo entrante transmite al menos un mensaje de entrada en la red en cada una de las bandas de frecuencia disponibles con una potencia de emisión cuyo nivel aumenta progresivamente hasta la obtención de una respuesta, conteniendo dicho mensaje de entrada al menos la posición geográfica de dicho nodo entrante, su velocidad, su aceleración y su banda de frecuencia de recepción,
- o tras la recepción del mensaje de entrada en la red, un nodo de destino actualiza al menos su base de datos geográfica y su tabla de vecindad y responde mediante un mensaje de respuesta transmitido en la banda de frecuencia de recepción contenida en dicho mensaje de entrada en la red con una potencia de emisión calculada al menos en función de la distancia entre dicho nodo entrante y dicho nodo de destino, conteniendo dicho mensaje de respuesta al menos la posición geográfica de dicho nodo de destino, su velocidad, su aceleración y su banda de frecuencia de recepción,
- o tras la recepción del mensaje de respuesta, dicho nodo entrante en la red actualiza al menos su base de datos geográficos y su tabla de vecindad.

En una variante de realización de la invención, el envío de dichos mensajes de entrada en la red y de respuesta se realiza en contención de acceso, utilizando un código de expansión único conocido por todos los nodos de la red.

La invención tiene igualmente por objeto un sistema de comunicación integrado en un nodo móvil que comunica en el seno de una red ad hoc móvil caracterizado porque comprende el menos una base de datos geográfica en tres dimensiones y un procesador de tratamiento adaptados para implementar las etapas del procedimiento de acceso múltiple a los recursos de radio definido anteriormente.

La invención tiene igualmente por objeto una red ad hoc móvil que comprende una pluralidad de nodos móviles, caracterizada porque dichos nodos integran un sistema de comunicación de ese tipo para el acceso múltiple a los

recursos de radio en el seno de dicha red.

En una variante de realización de la invención, dichos nodos móviles son unas aeronaves.

Surgirán otras características de la lectura de la descripción detallada dada a título de ejemplo y no limitativa que sigue realizada con relación a dibujos adjuntos que representan:

- 5 la figura 1, un esquema que ilustra el principio general del procedimiento de acceso según la invención,
la figura 2, un sinóptico funcional de un sistema que comprende dos nodos y que implementa el procedimiento de acceso según la invención,
la figura 3, un esquema que ilustra la conectividad entre varios nodos de una red a la que se aplica la invención,
la figura 4, un ejemplo de red mallada que implementa el procedimiento según la invención,
10 las figuras 5 y 6, dos esquemas que ilustran la gestión de un cambio de asignación dinámica de frecuencia,
la figura 7, un esquema que ilustra el control de potencia implementado con dos tipos de antenas diferentes.

La figura 1 ilustra sobre un diagrama de tiempos/frecuencia el principio del procedimiento de acceso múltiple según la invención. La invención utiliza un número dado de bandas de frecuencia de anchura idéntica B_0, B_1, B_2, B_n espaciadas como mínimo una banda de guarda $\delta B_{101,102}$ de anchura determinada con el fin de asegurar un nivel
15 aceptable de interferencia entre bandas, es decir inferior a un umbral de interferencia dado. En el interior de cada una de estas bandas B_0, B_1, B_2, B_n , la comunicación se organiza dinámicamente utilizando un procedimiento de acceso múltiple por división de códigos (CDMA) asíncrono. Los códigos utilizados, por ejemplo unos códigos de tipo Gold o Kasami conocidos para el experto en la materia, se construyen a partir de secuencias pseudoaleatorias y poseen un buen coeficiente de ortogonalidad entre ellos cualquiera que sea el desfase temporal entre las diferentes
20 transmisiones.

Se atribuye a cada nodo de la red una de estas bandas de frecuencia B_0, B_1, B_2, B_n que utiliza a continuación únicamente en recepción. Es este nodo receptor el que gestiona a continuación el acceso a los recursos de radio de todos los otros nodos que comunican con él en la frecuencia asignada. Principalmente este nodo receptor gestiona la asignación de códigos y de velocidades para los nodos que emiten hacia él, gestiona igualmente los bucles de
25 control de potencia.

Las bandas de frecuencia B_0, B_1, B_2, B_n , pueden reutilizarse por varios nodos bajo las condiciones siguientes:

- los códigos utilizados por estos nodos poseen un buen coeficiente de ortogonalidad,
- el nivel de potencia de un código recibido por un nodo que no es el destinatario de la comunicación no debe sobrepasar un umbral dado.

30 El duplexado utilizado es únicamente en frecuencia. Para un nodo dado, la transmisión no es posible más que fuera de la banda de frecuencia asignada para la recepción. Esto implica unas limitaciones sobre las posibilidades de comunicación directa. Además, en caso de reutilización de frecuencia, varios nodos que poseen la misma banda de recepción pueden disponerse a establecer un enlace entre ellos. Son posibles entonces dos soluciones. La primera consiste en establecer una comunicación indirecta entre estos nodos por medio de un enrutado a través de nodos
35 terceros. La segunda consiste en establecer una comunicación directa reasignando las nuevas bandas de frecuencia sobre la base de los enlaces de la red establecida.

La figura 2 esquematiza funcionalmente los elementos necesarios para la implementación del procedimiento de acceso según la invención.

Un primer nodo móvil 210a de la red, que puede ser una aeronave en el caso de una red aeronáutica o cualquier otro terminal móvil capaz de comunicar con un tercero, comunica con un segundo nodo 210b móvil a través de un
40 enlace 230 de tráfico cuya función es el intercambio de datos utilizados y un enlace 220 de señalización cuya función es el intercambio de mensajes que permiten la gestión global de la red. Cada uno de estos nodos 210a, 210b incluye un procesador que ejecuta, permanentemente, un procedimiento 201a, 201b de construcción de la red según la invención que proporciona información sobre el estado de la red a un procedimiento 202a, 202b de
45 asignación de frecuencias según la invención. Estos dos procedimientos se alimentan continuamente por una base de datos 203a, 203b geográfica en tres dimensiones que actualiza y proporciona permanentemente la posición geográfica, los vectores de velocidad y aceleración del conjunto de los nodos vecinos. El conocimiento de estos parámetros espaciales temporales en un instante t permite estimar la posición de los nodos vecinos en un instante $t' > t$. La base de datos 203a, 203b geográficos 3D se alimenta periódicamente con un periodo mínimo dado. Esta
50 alimentación puede efectuarse de diferentes maneras. Pueden dedicarse unos mensajes 220 de señalización con este fin para soportar de ese modo los mecanismos de gestión de la base 203a, 203b de manera autónoma. Las coordenadas geográficas de los nodos pueden verse igualmente como unos datos de entrada suministrados por unos mecanismos externos tal como un enlace omnidireccional de largo alcance, un enlace de datos táctico o incluso el sistema de radar de un avión.

55 La figura 3 ilustra un mecanismo de construcción de la red que implementa el procedimiento de acceso según la invención. Cada nodo N_i, N_j, N_k, N_l ejecuta el algoritmo distribuido de construcción de la red. Este algoritmo es responsable de la gestión dinámica de los enlaces de comunicación entre los diferentes nodos del sistema. Un enlace entre dos nodos es siempre bidireccional y compuesto de cuatro canales. En cada sentido

(emisión/recepción), se utiliza un canal 302, 304 de tráfico y un canal 301, 303 de señalización. Para cada uno de estos canales 301, 302, 303, 304 se asigna un código de expansión o código basado en una secuencia PN y un nivel de potencia. Todo nodo N_i , N_j , N_k , N_l del sistema tiene la posibilidad de establecer un cierto número n de enlaces de comunicación, siendo propio el número de enlaces máximo para cada nodo y siendo determinado en función de sus capacidades de antena y de sus capacidades de recepción en términos del número de códigos tratados en paralelo. El conjunto de los enlaces establecidos con ayuda del algoritmo de construcción de la red, en un instante t , define la topología de la red. Cualquier nodo N_i comunica con un subconjunto de nodos N_j . N_k , N_l del sistema través de n enlaces activos. Eventualmente, unos nodos intermedios pueden asegurar la función de enrutado.

- El algoritmo de construcción de la red fabrica un gráfico que cubre todos los nodos del sistema en el alcance de radio. Se ejecuta permanentemente, cambiando continuamente la conectividad, es decir los enlaces activos entre nodos. Se establece todo enlace entre dos nodos de la red cuyo grado de relevancia sea superior a una constante dada. El grado de relevancia se calcula en función de diferentes criterios dinámicos y/o estáticos, locales y/o recibidos. Los diferentes criterios utilizados pueden ponderarse para elaborar el cálculo final del grado de relevancia. Los criterios utilizados pueden variar igualmente de un tipo de plataforma a otra. Los criterios utilizados son por ejemplo, pero no únicamente, unos criterios geográficos tales como la proximidad de dos nodos de la red entre los que puede establecerse un enlace. Cuanto más corto es un enlace, más relevante será.
- Un enlace entre dos nodos puede definirse como obligatorio por razones propias del sistema. En este caso este enlace tendrá un grado de relevancia máxima a partir del momento en que los nodos están en el alcance de radio uno del otro.

Una vez construida la red, cada nodo N_i del sistema ejecuta algoritmos distribuidos según la invención de asignación dinámica de las bandas de frecuencia en recepción. El procedimiento consiste en asignar de manera distribuida las bandas de frecuencia en recepción a los diferentes nodos del sistema teniendo por objetivo minimizar las interferencias vinculadas a la reasignación de las bandas de frecuencia a diferentes nodos. El procedimiento tiene en cuenta la movilidad para reestructuración de la red reasignando dinámicamente unas frecuencias con el objetivo de mantener los enlaces establecidos.

Se distinguen dos casos de figura. El primer caso corresponde a un escenario para el que el número de nodos que constituyen la red es inferior al número de bandas de frecuencia disponibles. En este caso, la asignación de frecuencia no necesita reutilización de ciertas bandas de frecuencia, la solución es óptima y puede ejecutarse a través de un algoritmo distribuido o simplemente por configuración estática.

El segundo caso necesita una solución más elaborada. Se trata del caso en el que el número de nodos es esta vez superior al número de bandas de frecuencia disponibles. En este caso el objetivo de asignación de frecuencia es minimizar las interferencias entre dos nodos que posean la misma banda de frecuencia de recepción. Un procedimiento posible para ello consiste en recuperar el problema conocido en teoría de grafos de la k -coloración de un grafo plano. Este procedimiento consiste en asignar una banda de frecuencias a cada nodo con la limitación de que dos nodos vecinos no tengan la misma banda de frecuencias.

Un ejemplo de construcción de redes y de asignación de bandas de frecuencia en recepción se ilustra en la figura 4. Hay disponibles tres bandas de frecuencia B_1 , B_2 , B_3 y deben asignarse a 9 nodos distintos que poseen unos enlaces activos entre ellos definidos por un mecanismo de construcción de la red.

El nodo 701 recibe datos del nodo 702 en la banda de frecuencia B_1 .

El nodo 702 recibe datos de los nodos 701 y 704 en la banda B_3 . El nodo 703 recibe datos del nodo 705 en la banda B_3 .

El nodo 704 recibe datos de los nodos 702, 705 y 708 en la banda B_2 .

El nodo 705 recibe datos de los nodos 703, 704 y 709 en la banda B_1 .

El nodo 706 recibe datos del nodo 709 en la banda B_2 .

El nodo 707 recibe datos del nodo 709 en la banda B_2 .

El nodo 708 recibe datos del nodo 704 en la banda B_3 .

El nodo 709 recibe datos de los nodos 705, 706 y 707 en la banda B_3 .

Dos nodos vecinos de la red no tienen la misma banda de frecuencia de recepción con el fin de limitar el nivel de perturbación. Un nodo es vecino de otro en el seno de la red si están directamente enlazadas por un enlace activo.

Los algoritmos de construcción de la red y de asignación dinámica de las bandas de frecuencia definen respectivamente unos cambios, conocidos igualmente bajo el término inglés "handover", de enlaces entre nodos y cambios de banda de frecuencia en recepción. Los cambios de enlaces entre nodos pueden presentarse, por ejemplo, cuando dos nodos que tienen establecido un enlace se alejan demasiado ampliamente uno del otro, el mecanismo de construcción de la red genera entonces nuevos enlaces. Los cambios de banda de frecuencia de recepción se presentan, por ejemplo, cuando dos nodos que comunican en recepción sobre la misma banda de frecuencia se aproximan uno al otro lo que puede crear un nivel de interferencia demasiado grande. Cuando se decide un cambio por un nodo dado, este nodo propaga unos mensajes de advertencia, a través de su canal de señalización, al conjunto de los nodos del sistema que están afectados. El mensaje de advertencia contiene, por ejemplo, la fecha en la que debe tener lugar el cambio así como informaciones tales como una nueva banda de frecuencia, un nivel de potencia o un código PN. La figura 5 ilustra el envío de mensajes de advertencia 401, 402,

403 por un nodo N_i a sus vecinos N_j , N_k , N_l anunciando el futuro cambio 410 de enlace o de frecuencia.

Los nodos emisores deben asegurarse de que la transmisión de un paquete de datos no se presenta durante un cambio de banda de frecuencia, tal como se ilustra sobre la parte izquierda de la figura 6. Está en curso una transmisión en la banda de frecuencia B_{i-1} para la que ya se han transmitido los paquetes 501, 512 de datos, el paquete 503 no puede estar en curso de transmisión cuando se presenta un cambio 504 de banda B_{i-1} a B_i . La parte de la derecha de la figura 6 muestra que el nodo emisor debe esperar al cambio 504 de banda de frecuencia del nodo receptor antes de transmitir el paquete 503 de datos.

Con el fin de no introducir ninguna latencia en la comunicación, es posible, en una variante de realización de la invención, que cada nodo posea la capacidad de recibir en dos bandas B_{i-1} , B_i simultáneamente durante el periodo de cambio. El antiguo enlace no se rompe más que cuando el nuevo está plenamente operativo.

En los sistemas de comunicación móvil basados en una red que incluye una infraestructura y que implementa un procedimiento de acceso múltiple por división de código (CDMA), como por ejemplo los sistemas UMTS, cada nodo de la red no emite más que en un único canal, llamado canal ascendente, hacia un único destino que se denomina estación de base. Esta última se encarga de efectuar la retransmisión de los mensajes hacia unos nodos más alejados. En una red de ese tipo, cada nodo no implementa más que un único bucle de regulación de potencia.

En el sistema según la invención, por el contrario, cada nodo del sistema puede comunicar con varios nodos de destino, organizando estos últimos un acceso a los recursos de radio por división de código (CDMA) en la recepción en unas bandas de frecuencia diferentes y con unos destinos diferentes del nodo emisor. En consecuencia, cualquier nodo del sistema implementa n bucles de regulación de potencia, siendo n el número de enlaces activos directos que unen este nodo a sus vecinos. En efecto, todas las señales que tienen por destino un mismo nodo deben recibirse con un nivel de potencia lo más próximo al nivel requerido, añadiéndose cualquier señal a las interferencias sufridas por las otras señales. Los bucles de regulación de potencia implementados por un nodo tienen por tanto como función adaptar las potencias de emisión en función del balance del enlace de los enlaces activos que unen a los nodos de destino. El balance del enlace depende principalmente de las distancias relativas entre cada nodo. El bucle de control de potencia es tanto más reactivo cuanto mayores son las velocidades relativas de los nodos con el fin de seguir siendo compatible con una red fuertemente móvil.

A título de ejemplo la figura 7 ilustra un bucle de control implementado entre dos nodos 601 y 602 en una banda de frecuencia de recepción igual a B_1 . Muestra igualmente las interferencias inducidas por el nodo 601 sobre el nodo 603 que utiliza igualmente la banda de frecuencia B_1 en recepción con el mismo título que el nodo 602. Los nodos 602 y 603 se sitúan a iguales distancias del nodo emisor 601. La parte izquierda de la figura 7 muestra el caso en el que se utiliza una antena directiva por el nodo emisor 601, en este caso la señal 605 emitida con destino en el nodo 602 se recibe 604 más débilmente por el nodo vecino 603. Por el contrario, en el caso en que se utilice una antena omnidireccional para el nodo emisor 601, como se ilustra en la parte derecha de la figura 7, la señal emitida 606 se recibe con la misma amplitud por el nodo de destino 602 y por el nodo vecino 603.

Se presenta un caso particular de la invención en el caso en el que se actualiza la base de datos geográficos 3D por medio de mensajes de señalización y cuando un terminal móvil realiza su entrada en la red que se ha establecido previamente. Debe por tanto implementarse un protocolo de entrada a la red. Este protocolo se basa en la utilización de mensajes de entrada en la red. Estos mensajes se envían en contención de acceso, utilizando un código único conocido y decodificado por todos. El terminal entrante en la red selecciona aleatoriamente una banda de frecuencia de recepción, entre las disponibles, que podrá hacer evolucionar en el tiempo hasta obtener al menos una respuesta procedente de otro nodo. Transmite mensajes de entrada en la red en cada una de las bandas de frecuencia del sistema con el fin de tener una oportunidad para unirse a al menos un nodo vecino. Para los nodos que utilizan unas antenas directivas, el envío de mensajes de entrada en la red se realiza sucesivamente en diferentes sectores del espacio de manera que se obtenga una cobertura omnidireccional. Con el fin de no deslumbrar a unos nodos próximos que utilizaran en recepción la banda de frecuencia del mensaje de entrada en la red, estos mensajes se envían utilizando inicialmente una potencia reducida que aumenta progresivamente hasta la obtención de una respuesta. Cualquier mensaje de entrada en la red contiene como mínimo la posición geográfica del nodo emisor, sus vectores de velocidad y aceleración así como su banda de frecuencia de recepción. Tras la recepción del mensaje de entrada en la red, el nodo de destino actualiza sus estructuras de datos por tanto su base de datos geográficos 3D y su tabla de vecindad.

Todo nodo que haya recibido un mensaje de entrada en la red responde mediante un mensaje de respuesta que se transmite en la banda de frecuencia definida en el mensaje de entrada en la red. La potencia de emisión del mensaje de respuesta se calcula en función de la distancia de los nodos de origen y destino y del nivel de potencia requerido para la recepción de este tipo de mensaje. La distancia entre los dos nodos se calcula en función de las informaciones geográficas del nodo emisor del mensaje de respuesta y las recibidas en el mensaje de entrada en la red inicial. Estas informaciones se extraen de la base de datos geográficos 3D. El mensaje de respuesta contiene las posiciones geográficas, los vectores de velocidad y aceleración así como la banda de frecuencia de recepción de los nodos conocidos por el nodo emisor. Tras la recepción del mensaje de respuesta, el nodo de destino actualiza sus diferentes estructuras de datos entre ellas su base de datos geográficos 3D y su tabla de vecindad.

La invención tiene como ventaja, gracias al procedimiento de acceso múltiple propuesto, permitir una asignación óptima de los recursos en términos de tiempos de latencia y de banda pasante disponible entre los diferentes usuarios de una red ad hoc móvil. La latencia de la transmisión punto a punto entre dos nodos de la red se reduce porque el acceso al recurso espectral por un usuario no está limitado en el tiempo contrariamente a las técnicas de

acceso múltiple de división en el tiempo.

5 Además la invención presenta igualmente la ventaja de acoplar dos funciones, a saber un procedimiento de acceso múltiple y un procedimiento de discreción que utiliza el mismo mecanismo, lo que permite redistribuir la capacidad no utilizada en caso de discreción, es decir de potencia reducida, a los otros usuarios. En efecto, la señal emitida por un terminal puede convertirse en discreta disminuyendo la potencia de emisión y aumentando el factor de expansión que es un parámetro del procedimiento de acceso CDMA. A título de ejemplo, un factor de expansión igual a 10 implica la codificación de 1 bit útil por 10 espacios (o "chips" en inglés) del código de expansión utilizado. La energía total radiada se reparte en la banda de frecuencia útil y la densidad de potencia por hercio de señal emitida es 10 veces más reducida antes de la operación de des-expansión en la recepción. La señal expandida es por tanto más difícilmente detectable por un tercero. Cada plataforma puede decidir su grado de discreción independientemente de las otras, la caída en la capacidad generada por una necesidad de discreción incrementada se redistribuye a los otros usuarios que comparten la misma banda de frecuencia.

15 La invención permite igualmente gestionar dinámicamente la asignación de las bandas de frecuencia asignadas a la recepción para cada nodo de la red en función de la evolución espacial de esta red. En particular cuando dos terminales que funcionan a la misma frecuencia de recepción se aproximan uno a otro, se implementa una reasignación del plan de frecuencias.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de acceso múltiple a recursos de radio en una red *ad hoc* móvil que incluye una pluralidad de terminales o nodos Ni, Nj, Nk, Nl móviles que comunican, de coordenadas geográficas conocidas **caracterizado porque** incluye al menos las etapas siguientes:

- 5 ○ una etapa de construcción de dicha red que permite generar una pluralidad de enlaces activos entre al menos dos nodos Ni, Nj, Nk, Nl activos de dicha red, estando compuesto un enlace activo por dos pares de canales, asignados respectivamente a la emisión y a la recepción, incluyendo cada uno un subcanal (301, 303) de señalización y un subcanal (302, 304) de comunicación, siendo activo un enlace cuando el grado de relevancia de dicho enlace es superior a una constante dada, siendo determinado el grado de relevancia de dicho enlace al menos en función de criterios de distancia entre dichos nodos y/o de criterios de prioridad entre dichos nodos, incluyendo cada uno de dichos nodos Ni activos de dicha red una tabla de vecindad que reagrupa el conjunto de los nodos Nj, Nk, Nl activos de dicha red a los que está directamente unido por un enlace activo,
- 10 ○ una etapa de asignación de bandas B0, B1, B2, Bn de frecuencia de recepción a cada uno de dichos nodos activos de dicha red, siendo dichas bandas B0, B1, B2, Bn de frecuencia de anchura idéntica y separadas por una banda δB de guarda mínima dada, siendo efectuada dicha asignación de la manera siguiente:
- 15 ▪ si el número de nodos activos de dicha red es inferior o igual al número de bandas B0, B1, B2, Bn de frecuencia disponibles, se asigna una banda de frecuencia de recepción diferente a cada uno de dichos nodos,
- 20 ▪ si el número de nodos activos de dicha red es estrictamente superior al número de bandas B0, B1, B2, Bn de frecuencia disponibles, se realiza una reutilización de dichas bandas de frecuencia de tal manera que la asignación se efectúe de manera que se minimicen las interferencias entre dos nodos activos que tienen la misma banda de frecuencia de recepción,
- una etapa de asignación de código de expansión efectuada por cada uno de dichos nodos Ni activos receptores de dicha red para cada uno de dichos nodos Nj, Nk, Nl emisores vecinos a los que está directamente unido mediante un enlace activo según un procedimiento CDMA asíncrono, comunicando dichos nodos Nj, Nk, Nl emisores vecinos con dicho nodo Ni receptor en la banda Bi de frecuencia de recepción que le ha sido asignada,
- 25 ○ una etapa de control de potencia efectuada por cada uno de dichos nodos Ni receptores de dicha red para cada uno de dichos nodos Nj, Nk, Nl emisores vecinos a los que está directamente unido por un enlace activo, implementando dicha etapa de control de potencia un bucle de regulación de potencia diferente para cada uno de dichos enlaces activos que emanan de dicho nodo Ni receptor teniendo por función asegurar que todas las señales recibidas por dicho nodo Ni receptor procedentes de dichos nodos Nj, Nk, Nl emisores lo son con el mismo nivel de potencia.
- 30

2. Procedimiento de acceso múltiple según la reivindicación 1, **caracterizado porque** se asigna la misma banda de frecuencia de recepción a una pluralidad de nodos activos distintos si y solamente si el nivel de perturbación inducido por un enlace activo de uno de dichos nodos sobre un enlace activo de otro de dichos nodos es inferior a un umbral dado.

35

3. Procedimiento de acceso múltiple según una de las reivindicaciones anteriores **caracterizado porque** se efectúa un cambio de banda de frecuencia de recepción de un nodo de dicha red en el curso de la transmisión y este cambio se anuncia a los otros nodos de dicha red con ayuda de mensajes de advertencia que contienen al menos el instante del cambio y la nueva banda de frecuencia.

40

4. Procedimiento de acceso múltiple según una de las reivindicaciones anteriores **caracterizado porque** cada uno de dichos nodos actualiza una base de datos geográficos que incluye sus coordenadas geográficas así como la de los nodos de su tabla de vecindad, siendo proporcionadas dichas coordenadas geográficas por un mecanismo externo a dicha red tal como una forma de onda omnidireccional de largo alcance, un enlace de datos táctico o un sistema de radar.

45

5. Procedimiento de acceso múltiple según una de las reivindicaciones 1 a 3 **caracterizado porque** cada uno de dichos nodos actualiza una base de datos geográficos que incluye sus coordenadas geográficas así como la de los nodos de su tabla de vecindad, siendo construida y mantenida dicha base con ayuda de mensajes de señalización dedicados a este fin y transmitidos entre los nodos de dicha red.

6. Procedimiento de acceso múltiple según la reivindicación 5 **caracterizado porque** el acceso a los recursos de radio de un nuevo nodo entrante en dicha red se realiza con ayuda de al menos las etapas siguientes:

50

- dicho nodo entrante selecciona aleatoriamente una banda de frecuencia de recepción entre las disponibles,
- dicho nodo entrante transmite al menos un mensaje de entrada en la red en cada una de las bandas B0, B1, B2, Bn de frecuencia disponibles con una potencia de emisión cuyo nivel aumenta progresivamente hasta la obtención de una respuesta, conteniendo dicho mensaje de entrada al menos la posición geográfica de dicho nodo entrante, su velocidad, su aceleración y su banda de frecuencia de recepción,
- 55 ○ tras la recepción de un mensaje de entrada en la red, un nodo de destino actualiza al menos su base de datos geográficos y su tabla de vecindad y responde mediante un mensaje de respuesta transmitido en la banda de

frecuencia de recepción contenida en dicho mensaje de entrada en la red con una potencia de emisión calculada al menos en función de la distancia entre dicho nodo entrante y dicho nodo de destino, conteniendo dicho mensaje de respuesta al menos la posición geográfica de dicho nodo de destino, su velocidad, su aceleración y su banda de frecuencia de recepción,

- 5 ○ tras la recepción de un mensaje de respuesta, dicho nodo entrante en la red actualiza al menos su base de datos geográficos y su tabla de vecindad.

7. Procedimiento de acceso múltiple según la reivindicación 6 **caracterizado porque** el envío de dichos mensajes de entrada en la red y de respuesta se realiza en contención de acceso, utilizando un código de expansión único conocido por todos los nodos de la red.

- 10 8. Sistema de comunicación integrado en un nodo (210a, 210b) móvil que comunica en el seno de una red *ad hoc* móvil **caracterizado porque** comprende el menos una base de datos (203a, 203b) geográficos en tres dimensiones y un procesador de tratamiento adaptados para implementar las etapas del procedimiento de acceso múltiple a los recursos de radio según una de las reivindicaciones 1 a 7.

- 15 9. Red *ad hoc* móvil que comprende una pluralidad de nodos (701-709) móviles, **caracterizada porque** dichos nodos integran un sistema de comunicación para el acceso múltiple a los recursos de radio en el seno de dicha red según la reivindicación 8.

10. Red *ad hoc* móvil según la reivindicación 9 **caracterizada porque** dichos nodos móviles son aeronaves.

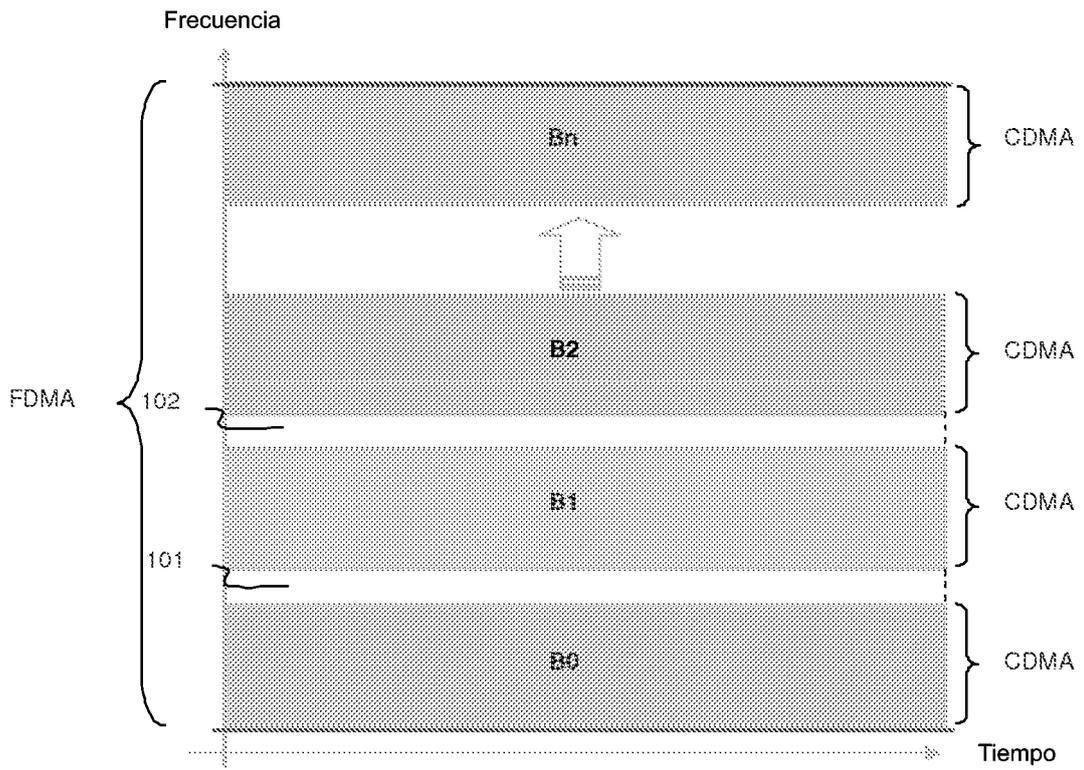


FIG.1

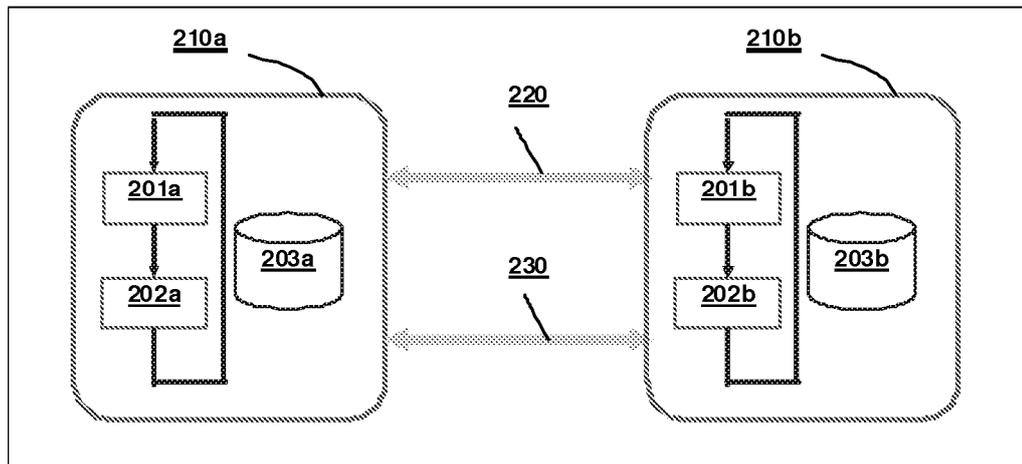


FIG.2

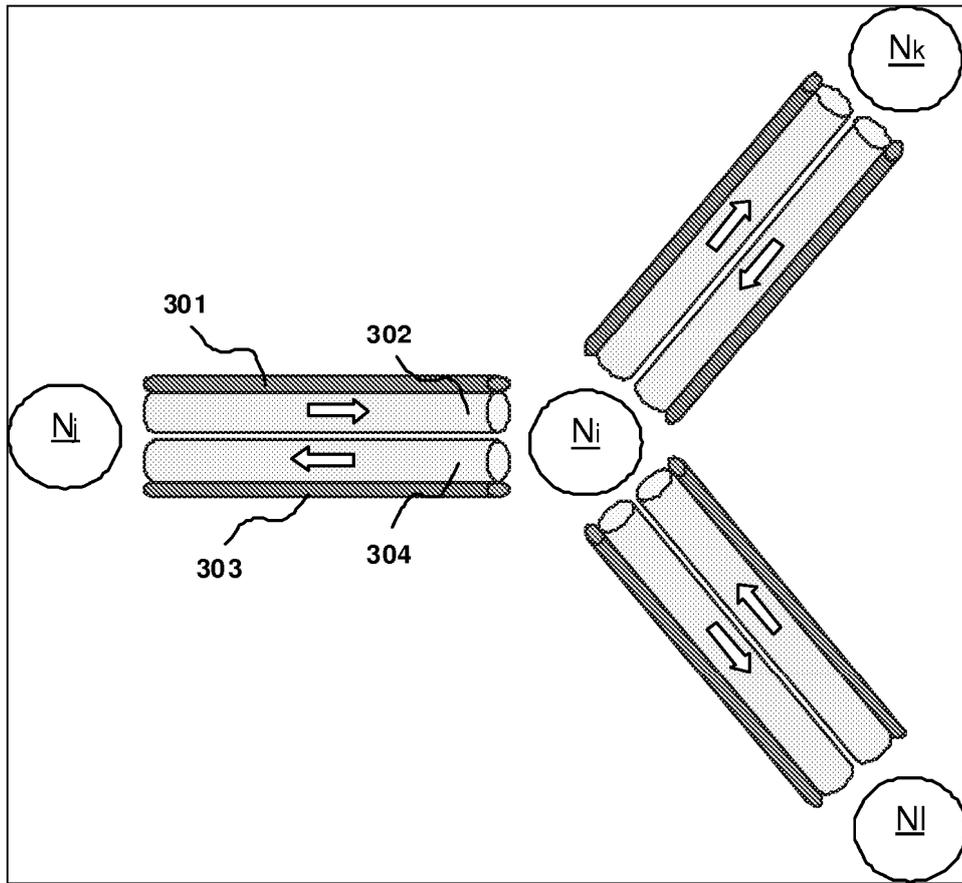


FIG.3

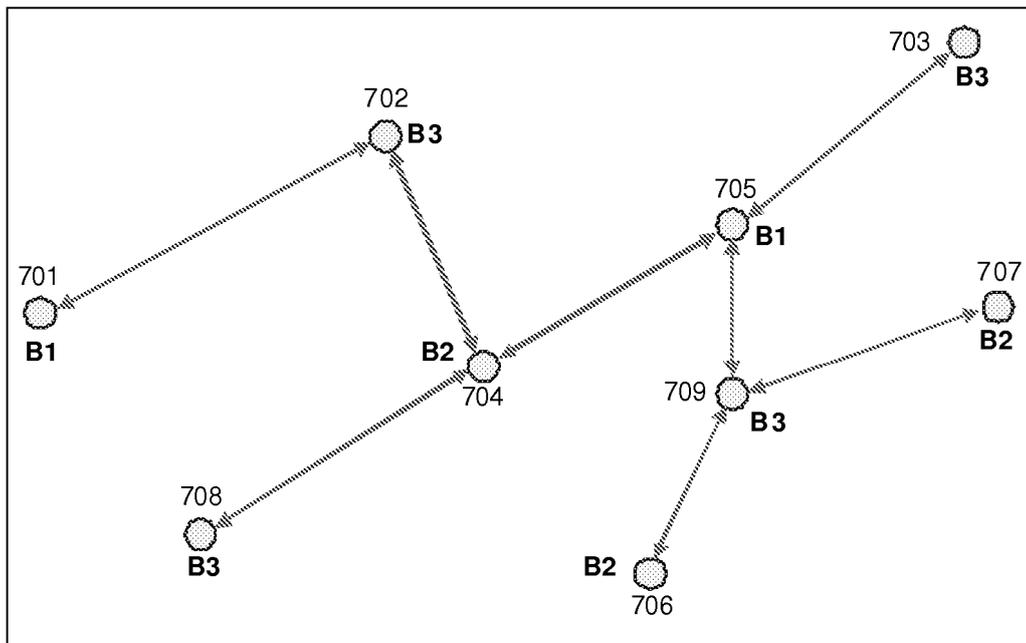


FIG.4

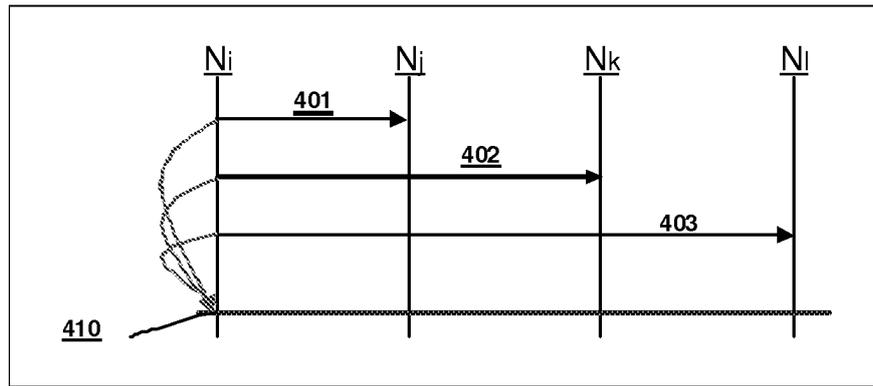


FIG.5

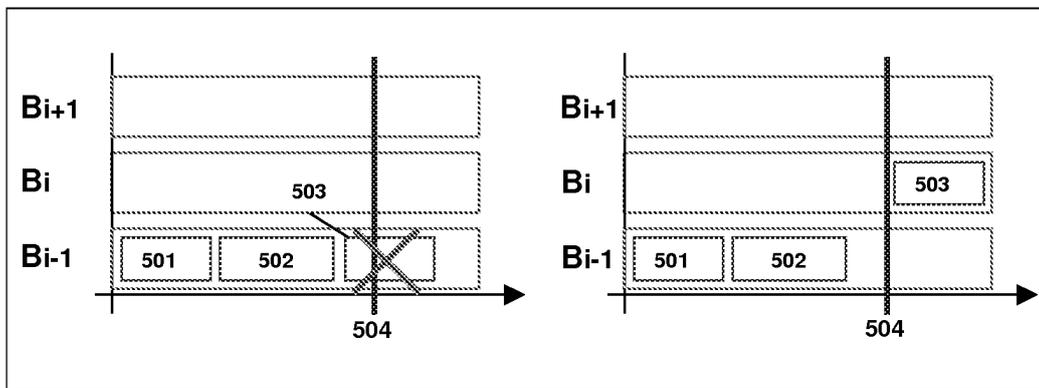


FIG.6

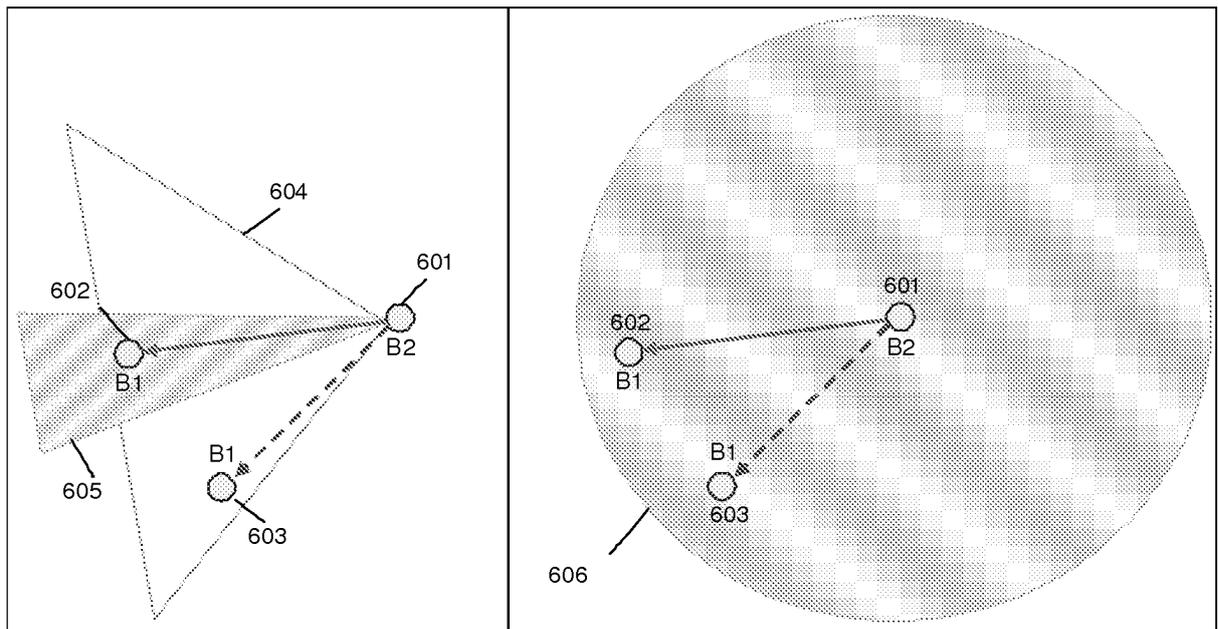


FIG.7