(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 823 675**

(51) Int. CI.:

***H04W 72/04*** (2009.01)
*H04W 84/18* (2009.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.12.2018 E 18212861 (1)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.07.2020 EP 3506703**

(54) Título: **Procedimiento de asignación de recursos de radio en una red inalámbrica, por aprendizaje**

(30) Prioridad:

**28.12.2017 FR 1701395**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
**07.05.2021**

(73) Titular/es:

**THALES (50.0%)**
**Tour Carpe Diem Place des Corolles Esplanade Nord**
**92400 Courbevoie, FR y**
**CENTRALESUPÉLEC (50.0%)**

(72) Inventor/es:

**GAVEAU, JÉRÔME;**
**LE MARTRET, CHRISTOPHE y**
**ASSAAD, MOHAMED**

(74) Agente/Representante:

**GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo**

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 de radio en una red inalámbrica, por aprendizaje

La invención se refiere al campo de las redes de comunicación inalámbrica que comprende un conjunto de dispositivos que se comunican entre sí y que están organizados en forma de grupos. La invención se relaciona con un procedimiento de asignación de recursos de radio, en particular de recursos de radio en forma de canales lógicos, en dicha red. Dicho de otra manera, la invención se refiere a la gestión de las atribuciones de recursos de radio a los diferentes grupos de la red, para comunicar.

A continuación la expresión “canal lógico” designa un conjunto de recursos de frecuencia y/o temporales asignados a uno o varios terminales para comunicar. Un canal lógico puede definirse por una ley de salto de frecuencia en el transcurso del tiempo. Por ejemplo, un canal lógico se define por un canal de frecuencia predeterminada para cada intervalo temporal, en el transcurso de una secuencia que comprende varios intervalos temporales.

En una red inalámbrica compuesta de dispositivos que comunican entre sí, las comunicaciones utilizan recursos de radio, por ejemplo recursos de frecuencia o temporales o incluso recursos de nivel de potencia de las señales emitidas para comunicar.

Por ejemplo, en una red organizada en grupos de dispositivos, cada grupo utiliza un conjunto de recursos de radio, por ejemplo canales lógicos para comunicar.

Si dos grupos utilizan los mismos canales lógicos para comunicar, pueden perturbarse mutuamente o interferir entre sí según la distancia que le separe. Por tanto, es necesario tomar en cuenta las interferencias mutuas entre grupos para asignar lo mejor posible los recursos de radio a los grupos de la red con un objetivo global de maximizar el número de conexiones de comunicaciones que funcionan con un nivel de calidad de la conexión suficiente para implementar los servicios prestados por la red.

Para limitar la influencia de las interferencias entre grupos de una misma red, una solución existente consiste en atribuir canales de frecuencia ortogonal es a los diferentes grupos de la red. Esta solución es sin embargo limitada, teniendo en cuenta el hecho de que la red espectral disponible es en sí misma muy a menudo limitada.

Otra solución consiste en efectuar una reutilización espacial de los canales atribuyendo los mismos canales a grupos suficientemente alejados, siempre y cuando se sepan de antemano las posiciones de los grupos, incluyendo el caso de redes móviles. Esta asignación es por tanto estática y vale para toda la duración de la misión. Esta solución presenta límites de asignación estática a objetos dinámicos. Si se aproximan grupos en el transcurso de la misión, son susceptibles de perturbarse mutuamente.

Por tanto, es necesario recurrir a soluciones dinámicas que permiten realizar en el transcurso del tiempo la mejor asignación posible de los canales. Esta solución debe también distribuirse a los grupos ya que es difícil de imaginar centralizar el cálculo de este reparto por razones de latencia, desde el punto de vista de la vulnerabilidad y de la sobrecarga de las señales de señalizaciones.

Se conoce, por otro lado, un método de asignación de recursos basado en un algoritmo matemático de prueba-error denominado “*Trial and Error Learning*” (TEL). Este método se describe en la publicación científica [1].

Este método posee buenas propiedades de convergencia a la vez que se implementa de forma descentralizada en el seno de cada grupo de la red. Cada toma de decisión de un grupo se basa en un diagrama de estado que necesita, únicamente, informaciones locales incluyendo una métrica de calidad percibida del funcionamiento de las conexiones de comunicación en el seno del grupo. Las condiciones de convergencia de este algoritmo requieren, sin embargo, que la métrica de calidad percibida por un grupo sea un valor determinista. Es decir que, para cada configuración de la red, existe un solo y único valor de calidad por grupo. Sin embargo, los canales de comunicaciones están sometidos a diversos fenómenos aleatorios (desvanecimientos, ruido de medida,…) que introducen variaciones del valor de la calidad percibida alrededor de su valor determinista. En estas condiciones, el método propuesto en [1] no converge más hacia un punto de funcionamiento satisfactorio y los rendimientos de la red son degradados.

Un problema que tiene por objetivo resolver la invención es por tanto mejorar el método propuesto en [1] con el fin de encontrar una convergencia y rendimientos satisfactorios cuando la métrica de calidad percibida es perturbada por fenómenos aleatorios.

Otro problema a resolver es generalizar el método a otros algoritmos de prueba-error por ejemplo el descrito en las publicaciones científicas [2] y [3].

La invención permite resolver las limitaciones de las soluciones de la técnica anterior proponiendo un procedimiento de asignación de recursos de radio basado en un método prueba-error implementando un diagrama de estados, tal como se describe en especial en las referencias [1], [2] y [3]. La invención consiste, en especial, en la introducción de un intervalo de tolerancia cuyos terminales son actualizados de forma automatizada con el fin de tomar en cuenta la influencia no determinista de las perturbaciones de los canales de propagación en una red inalámbrica. El intervalo de

tolerancia es tomado en cuenta durante las decisiones efectuadas en las transiciones del diagrama de estado. Estas transiciones dependen del valor actual de la métrica de calidad medido que corresponde al estado global de las conexiones de comunicación en un grupo de la red.

La invención tiene por objeto un procedimiento de asignación de recursos de radio en el seno de una red de dispositivos de comunicación organizados en grupos, comprendiendo el procedimiento las etapas siguientes ejecutadas iterativamente por al menos un dispositivo de comunicación de cada grupo:

- Seleccionar una nueva configuración de asignación a' de recursos de radio para aplicar a los dispositivos del grupo, con una probabilidad de selección dada, o aplicar una configuración de asignación $\bar{a}$ de referencia, con una probabilidad complementaria a dicha probabilidad de selección,
- Medir una métrica u' de calidad global de las conexiones de comunicación entre dispositivos del grupo,
- Comparar la métrica u' de calidad medida con una métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia, incluyendo la comparación la toma en cuenta de un intervalo [$\bar{u}$ - $\delta_-$, $\bar{u}$ - $\delta_+$] de tolerancia alrededor de la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia, estando definido el intervalo de tolerancia por un umbral $\delta_-$ de tolerancia baja y un umbral $\delta_+$ de tolerancia alta,
- En función de dicha comparación, efectuar, en el seno de un diagrama de estados que tenga un número de estados predeterminado, una transición desde un estado de salida hacia un estado de llegada,
- En función del estado de llegada, actualizar o no la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia con la métrica u' de calidad medida y/o actualizar o no la configuración de asignación $\bar{a}$ de referencia con una nueva configuración de asignación a',
- En función de dicha transición y de dicha comparación, actualizar una memoria que contiene al menos una métrica de calidad medida de manera que los valores contenidos en la memoria sean estacionarios,
- Determinar un terminal inferior y un terminal superior de la distribución de las métricas de calidad de manera que un porcentaje dado de valores este comprendido entre el terminal inferior y el terminal superior,
- Determinar el umbral $\delta_+$ de tolerancia alta a partir del terminal superior y el umbral $\delta_-$ de tolerancia baja a partir del terminal inferior.

Según un aspecto particular de la invención, la actualización de la memoria comprende las etapas siguientes:

- Si se selecciona una nueva configuración de asignación de recursos de radio,
    - Si la métrica de calidad de referencia es actualizada, reinicializar la memoria con la métrica de calidad medida,
    - Si no, no actualizar la memoria,
- Si se aplica la configuración de asignación de referencia,
    - si la métrica de calidad medida está comprendida en el intervalo de tolerancia, añadir la métrica de calidad medida a la memoria
    - Si no,
        - Si la métrica de calidad de referencia es actualizada, reinicializar la memoria con la métrica de calidad medida
        - Si no, no actualizar la memoria.

Según un modo de realización particular de la invención, la métrica u' de calidad de un grupo es igual a la relación entre el número de conexiones de comunicación en estado de funcionar en el grupo y el número de conexiones de comunicación total en el grupo.

Según un modo de realización particular de la invención, los recursos de radio son recursos de frecuencia.

Según un modo de realización particular de la invención, el diagrama de estados comprende un estado satisfactorio y un estado no satisfactorio.

Según un modo de realización particular de la invención, cuando el estado de salida es el estado satisfactorio y se selecciona una nueva configuración de asignación a' de recursos de radio:

- se efectúa una transición hacia el estado satisfactorio con una probabilidad de transición que depende de la métrica u' de calidad medida y se actualiza la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia con la métrica u' de calidad medida y se actualiza la configuración de asignación $\bar{a}$ de referencia con la nueva configuración de asignación a',
- se efectúa una transición hacia el estado no satisfactorio con una probabilidad complementaria a dicha probabilidad de transición.

Según un modo de realización particular de la invención, cuando el estado de salida es el estado satisfactorio y se aplican al grupo de configuración de asignación $\bar{a}$ recursos de radio de referencia $\bar{a}$:

- Si la métrica u' de calidad medida está comprendida en el intervalo [$\bar{u}$ - $\delta_-$, $\bar{u}$ - $\delta_+$] de tolerancia alrededor de la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia, se efectúa una transición hacia el estado satisfactorio,
- si la métrica u' de calidad medida no está comprendida en el intervalo [$\bar{u}$ - $\delta_-$, $\bar{u}$ - $\delta_+$] de tolerancia;
    - se efectúa una transición hacia el estado satisfactorio con una probabilidad de transición que depende de la métrica u' de calidad medida y se actualiza la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia con la métrica u' de calidad medida,
    - se efectúa una transición hacia el estado no satisfactorio con una probabilidad complementaria a dicha probabilidad de transición.

Según un modo de realización particular de la invención, cuando el estado de salida es el estado no satisfactorio, se selecciona una nueva configuración de asignación a' de recursos de radio y:

- se efectúa una transición hacia el estado satisfactorio con una probabilidad de transición que depende de la métrica u' de calidad medida y se actualiza la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia con la métrica u' de calidad medida y se actualiza la configuración de asignación $\bar{a}$ con la nueva configuración de asignación a',
- se efectúa una transición hacia el estado no satisfactorio con una probabilidad complementaria a dicha probabilidad de transición.

Según un modo de realización particular de la invención, el diagrama de estados comprende además al menos un primer estado de transición y un segundo estado de transición.

Según un modo de realización particular de la invención, cuando el estado de salida es el estado satisfactorio y se selecciona una nueva configuración de asignación de recursos de radio:

- si la métrica u' de calidad medida es inferior o igual a la suma de la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia y del umbral $\delta_+$ de tolerancia alta se efectúa una transición hacia el estado satisfactorio sin actualizar ni la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia ni la configuración de asignación $\bar{a}$ de referencia,
- si la métrica u' de calidad medida es superior a la suma de la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia y del umbral $\delta_+$ de tolerancia alta:
    - se efectúa una transición hacia el estado satisfactorio con una probabilidad de transición dada y se actualiza la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia con la métrica u' de calidad medida y se actualiza la configuración de asignación $\bar{a}$ de referencia con la nueva configuración de asignación a',
    - se efectúa la transición hacia el estado satisfactorio con una probabilidad complementaria a dicha probabilidad de transición sin actualizar ni la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia ni la configuración de asignación $\bar{a}$ de referencia.

Según un modo de realización particular de la invención, cuando el estado de salida es el estado satisfactorio y se aplica un grupo de configuración de asignación $\bar{a}$ de recursos de radio de referencia:

- Si la métrica de calidad medida está comprendida en el intervalo [$\bar{u}$ - $\delta_-$, $\bar{u}$ - $\delta_+$] de tolerancia alrededor de la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia, se efectúa una transición hacia el estado satisfactorio sin actualizar la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia,

- Si la métrica u' de calidad medida es superior a la suma de la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia y del umbral $\delta_+$ de tolerancia alta, se efectúa una transición hacia el primer estado de transición sin actualizar la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia,

- Si la métrica u' de calidad medida es inferior a la diferencia entre la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia y el umbral $\delta_+$ de tolerancia baja, se efectúa una transición hacia el segundo estado de transición sin actualizar la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia.

Según un modo de realización particular de la invención, cuando el estado de salida es el primer estado de transición, se aplica la configuración de asignación $\bar{a}$ de recursos de radio de referencia y:

- Si la métrica de calidad medida está comprendida en el intervalo [$\bar{u}$ - $\delta_-$, $\bar{u}$ - $\delta_+$] de tolerancia alrededor de la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia, se efectúa una transición hacia el estado satisfactorio sin actualizar la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia,

- Si la métrica de calidad medida es superior a la suma de la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia y del umbral $\delta_+$ de tolerancia alta, se efectúa una transición hacia el estado satisfactorio y se actualiza la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia con la métrica u' de calidad medida,

- Si la métrica u' de calidad medida es inferior a la diferencia entre la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia y el umbral $\delta_+$ de tolerancia baja, se efectúa una transición hacia el segundo estado de transición sin actualizar la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia.

Según un modo de realización particular de la invención, cuando el estado de salida es el segundo estado de transición, se aplica la configuración de asignación $\bar{a}$ de recursos de radio de referencia y:

- Si la métrica de calidad medida está comprendida en el intervalo $[\bar{u} - \delta_-, \bar{u} - \delta_+]$ de tolerancia alrededor de la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia, se efectúa una transición hacia el estado satisfactorio sin actualizar la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia,

- Si la métrica de calidad medida es superior a la suma de la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia y del umbral $\delta_+$ de tolerancia alta, se efectúa una transición hacia el primer estado de transición sin actualizar la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia,

- Si la métrica de calidad medida es inferior a la diferencia entre la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia y el umbral $\delta_+$ de tolerancia baja, se efectúa una transición hacia el estado no satisfactorio sin actualizar la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia.

Según un modo de realización particular de la invención, cuando el estado de salida es el estado no satisfactorio, se selecciona una nueva configuración de asignación a' de recursos de radio y:

- Se efectúa una transición hacia el estado satisfactorio con una probabilidad de transición dada y se actualiza la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia con la métrica u' de calidad medida y se actualiza la configuración de asignación $\bar{a}$ de referencia con la nueva configuración de asignación a',

- Se efectúa una transición hacia el estado no satisfactorio con una probabilidad complementaria a dicha probabilidad de transición sin actualizar la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia ni la configuración de asignación $\bar{a}$ de referencia.

La invención tiene por tanto por objeto un programa de ordenador que comprende instrucciones para la ejecución del procedimiento de asignación de recursos de radio según la invención, cuando el programa es ejecutado por un procesador.

La invención tiene también por objeto un soporte de grabación legible por un procesador sobre el cual se graba un programa que comprende instrucciones para la ejecución del procedimiento de asignación de recursos de radio según la invención, cuando el programa es ejecutado por un procesador.

La invención tiene también por objeto un dispositivo de comunicación adecuado para comunicar con una pluralidad de otros dispositivos de comunicación en el seno de una red organizada en grupos, comprendiendo el dispositivo de comunicación medios configurados para implementar el procedimiento de asignación de recursos de radio según la invención.

Otras características y ventajas de la presente invención aparecerán mejor de la lectura de la descripción siguiente en relación a los dibujos adjuntos que representan:

- Las figuras 1 a 4, cuatro diagramas que ilustran la implementación de un primer método de asignación de recursos de radio por prueba-error según la técnica anterior,

- Las figuras 5 y 6, dos diagramas que ilustran la implementación de un segundo método de asignación de recursos de radio por prueba-error según la técnica anterior,

- Las figuras 7 a 10, los cuatro diagramas de las figuras 1 a 4 adaptados para implementar el método de asignación de recursos de radio según un primer modo de realización de la invención,

- Las figuras 11 y 12, los dos diagramas de las figuras 5 y 6 adaptados para implementar el método de asignación de recursos de radio según un segundo modo de realización de la invención,

- La figura 13, un organigrama que describe las principales etapas de implementación del método de asignación de recursos de radio según la invención,

- La figura 14, un diagrama de transiciones entre diferentes estados de una máquina de estados para ilustrar la primera etapa implementada del método de asignación de recursos de radio según la invención,

- La figura 15, un esquema que ilustra una red inalámbrica organizada en grupos de dispositivos de comunicación, comprendiendo cada grupo al menos un dispositivo de comunicación configurado para ejecutar la invención,

- La figura 16, un esquema que ilustra un dispositivo de comunicación configurado para ejecutar la invención.

Se describe en primer lugar un primer método de asignación de recursos de radio por prueba-error según la técnica anterior, con el apoyo de las figuras 1 a 4. Este primer método corresponde al descrito en el documento de referencia [1] y se designa a continuación método TEL del acrónimo "*Trial and Error Learning*". El principio de este método es el siguiente: se considera una red de nodos móviles o fijos adecuados para comunicarse entre sí por una conexión inalámbrica. La red de nodos es una red ad hoc. Los nodos están organizados en grupos de nodos. En cada grupo, el nodo maestro está encargado de ejecutar el método de asignación de recursos de radio para determinar los recursos de radio que deben utilizar el conjunto de los nodos del grupo para comunicar en cada instante. Los recursos de radio pueden ser recursos de frecuencia o pueden comprender recursos de frecuencia y temporales o incluso recursos en términos de nivel de potencia de las señales emitidas. De forma más general, los modos de realización de la invención son descritos a continuación considerando que los recursos de radio son canales lógicos, como se define en el preámbulo de este texto.

En cada instante, el nodo maestro recibe una información que se refiere al estado de las conexiones de comunicación inalámbrica en el seno del grupo. Esta información es, por ejemplo, recibida en forma de una métrica de calidad global del estado de las conexiones de comunicación. Por ejemplo, la métrica puede ser igual a la relación del número de conexiones de comunicación en estado de funcionar respecto al número de conexiones de comunicación total en el seno del grupo.

Una conexión de comunicación en estado de funcionar es una conexión de comunicación cuya relación señal con respecto al ruido y/o la relación señal con respecto a las interferencias es suficientemente elevada para permitir una comunicación. De manera general, el nivel de ruido y/o interferencias aceptable para que una conexión esté en el estado de funcionar puede depender de la calidad de servicio objetivo y el tipo de servicio que se desee implementar en esta conexión. En cada instante, las conexiones de comunicación de la red son perturbadas por el ruido pero también por las interferencias generadas por otros nodos de la red que comunican de forma simultánea con los mismos recursos de radio o recursos próximos.

Un objetivo del método es determinar en cada instante, la mejor asignación de recursos de radio para cada grupo para maximizar el número de conexiones de comunicación en estado de funcionar en el conjunto de la red. Dicho de otra manera, el método tiene por objetivo maximizar la suma de las métricas de calidad en el conjunto de los grupos que comprenden la red.

En cada instante, el nodo maestro ejecuta un conjunto de acciones que dependen de su estado en el seno de un diagrama de estado específico del método TEL. Según este método, el diagrama de estado comprende cuatro estados: un estado C denominado satisfactorio en el cual el nodo se encuentra cuando la configuración de asignación de recursos es satisfactoria, un estado D denominado no satisfactorio en el cual el nodo se encuentra cuando la configuración de asignación de recursos no es satisfactoria y dos estados H y W de transición entre el estado C satisfactorio y el estado D no satisfactorio. El primer estado H de transiciones un estado de transición denominado "optimista". El segundo estado W de asignaciones un estado de transición denominado "vigilante".

Sin perder generalidad, se pueden contemplar otros diagramas de estados, en especial diagramas de estados que sólo comprenden dos estados C, D o que comprenden más de dos estados de transición.

Las figuras 1 a 4 describen el diagrama de estado del método TEL y las acciones ejecutadas por el nodo maestro según el estado de salida en el cual se encuentra y según el valor de la métrica de calidad recibida.

Según las notaciones utilizadas en las figuras 1 a 4, la métrica de calidad medida en cada nuevo instante es referida como u', la métrica de calidad de referencia almacenada en memoria por el nodo maestro es referida como $\bar{u}$, la nueva configuración de asignación de recursos aplicada al grupo es referida como a', la configuración de asignación de recursos de referencia aplicada en el instante anterior y almacenado en memoria por el nodo maestro es referida como $\bar{a}$. Una configuración de asignación de recursos corresponde a un canal lógico asignado al grupo para comunicar. Las métricas de calidad tienen un valor creciente con el nivel global de funcionamiento de las conexiones de comunicación en el seno de un grupo. Dicho de otra manera, cuanto más reducido es el valor de la métrica de calidad, más se degrada el estado de las conexiones en el seno del grupo. Por el contrario, cuanto más elevados el valor de la métrica de calidad, más satisfactorio es el estado de las conexiones en el seno del grupo. De forma ventajosa, la métrica de calidad puede estar normalizada de manera que se lleva a un valor comprendido en el intervalo [0 ;1].

La figura 1 describe las posiciones posibles a partir del estado C satisfactorio. A partir del estado C, el nodo maestro va, o bien a seleccionar aleatoriamente una nueva configuración de asignación a' de recursos diferente de la configuración de asignación $\bar{a}$ de recursos de referencia, con una probabilidad $\varepsilon$ predeterminada, o bien a conservar la configuración de asignación a' = $\bar{a}$ de recursos de referencia con la probabilidad complementaria 1 - $\varepsilon$.

La probabilidad $\varepsilon$ puede ser constante o variable para reducir el tiempo de convergencia. De forma ventajosa, el valor de la probabilidad $\varepsilon$ se toma en el intervalo [0 ;1] en un valor próximo a 0, por ejemplo $10^{-1}$, $10^{-2}$, $10^{-3}$. Con preferencia un, el valor de la probabilidad $\varepsilon$ se toma en un valor que no es demasiado próximo a 1 para no hacer el sistema inestable.

En el primer caso (a' ≠ $\bar{a}$), la nueva métrica $\bar{u}$ de calidad medida se compara con la métrica de calidad de referencia.

Si u'> $\bar{u}$, el nodo maestro acepta la nueva configuración a' y la nueva métrica u' de calidad como referencias con una probabilidad q predeterminada. El estado final sigue siendo el estado C satisfactorio. Con la probabilidad 1-q complementaria, la configuración de referencia y la métrica de referencia no se modifican. La probabilidad q es por ejemplo calculad a través de las relaciones siguientes $q = \varepsilon^{G(u'-\bar{u})}$ con G(x) = $-\gamma_1 x+\gamma_{1/2}$. Las constantes $\gamma_1$ y $\gamma_{1/2}$ se eligen de manera que para cualquier valor x que pertenece al intervalo [0,1], $0 \leq G(x) < \frac{1}{2}$. si por el contrario u'≤ $\bar{u}$, entonces el nodo maestro permanece siempre en el estado C satisfactorio y no modifica los valores ($\bar{a}$, $\bar{u}$) de referencia.

En el segundo caso (a' = $\bar{a}$), la nueva métrica u' de calidad de medida se compara también con la métrica de calidad de referencia.

Si u'> $\bar{u}$, el nodo maestro efectúa una transición hacia el primer estado H de transición y no modifica los valores ($\bar{a}$, $\bar{u}$) de referencia.

Si *u'*< $\bar{u}$, el nodo maestro efectúa una transición hacia el segundo estado W de transición y no modifica sus valores ($\bar{a}$, $\bar{u}$) de referencia.

Si u'= $\bar{u}$, el nodo maestro permanece en el estado C satisfactorio y no modifica los valores ($\bar{a}$, $\bar{u}$) de referencia.

La figura 2 describe las transiciones posibles a partir del primer estado H de transición denominado "optimista". A partir del estado H, el nodo maestro conserva la configuración de asignación de referencia a' = $\bar{a}$ y compara la nueva métrica u' de calidad medida en la métrica de calidad de referencia.

Si u'> $\bar{u}$, el nodo maestro efectúa una transición hacia el estado C satisfactorio y modifica su métrica de calidad de referencia por la nueva métrica medida: $\bar{u}$ = u'.

Si *u'*< $\bar{u}$, el nodo maestro efectúa una transición hacia el segundo estado W de transición y no modifica sus valores ($\bar{a}$, $\bar{u}$) de referencia.

Si u'= $\bar{u}$, el nodo maestro efectúa una transición hacia el estado C satisfactorio y no modifica los valores ($\bar{a}$, $\bar{u}$) de referencia.

La figura 3 describe las transiciones posibles a partir del segundo estado W de transición denominado "vigilante". A partir del estado W, el nodo maestro conserva la configuración de asignación de referencia a'= $\bar{a}$ y compara la nueva métrica u' de calidad medida con la métrica de calidad de referencia.

Si u'> $\bar{u}$, el nodo maestro efectúa una transición hacia el primer estado H de transición denominado "optimista".

Si u'< $\bar{u}$, el nodo maestro efectúa una transición hacia el estado D no satisfactorio.

Si *u'*= $\bar{u}$, el nodo maestro efectúa una transición hacia el estado C satisfactorio.

Los valores de referencia nunca jamás son actualizados partiendo del segundo estado W de transición.

La figura 4 describe las transiciones posibles a partir del estado D no satisfactorio. A partir del estado D, el nodo maestro selecciona una nueva configuración de asignación a' aleatoriamente entre todas las configuraciones posibles, incluyendo la configuración $\bar{a}$ de referencia.

El nodo maestro efectúa una transición hacia el estado C satisfactorio con una probabilidad p predeterminada y permanece en el estado D no satisfactorio con la probabilidad 1-p complementaria. Durante la transición hacia el estado C satisfactorio, los valores de referencia son actualizados ($\bar{a}$, $\bar{u}$)=(a',u').

La probabilidad p es por ejemplo definida por las relaciones siguientes: $p=\varepsilon^{F(u)}$ donde $F(x)=-\phi_1 x + \phi_2$, y las constantes $\phi_1$ y $\phi_2$ son elegidas tales que para cualquier valor de x comprendido en el intervalo [0,1] $0 \leq F(x) < \frac{1}{2K}$. K es igual al número de grupos en la red.

Las figuras 5 y 6 ilustran las transiciones en un diagrama de estado que comprende dos estados C y D, para la implementación de un segundo método de asignación de recursos de radio según la técnica anterior. Este segundo método se describe en las referencias [2] y [3].

Un punto común entre este segundo método y el primer método descrito con el apoyo de las figuras 1 a 4 es la utilización de un diagrama de estados para modelizar las acciones implementadas por el nodo maestro de un grupo cada vez que recibe una nueva métrica u' de calidad. En este segundo método, el diagrama de estado comprende solamente dos estados, un estado C satisfactorio y un estado D no satisfactorio.

La figura 5 describe las transiciones posibles partiendo del estado C satisfactorio.

A partir del estado C, el nodo maestro va o bien a seleccionar aleatoriamente una nueva configuración de asignación de recursos a' ≠ $\bar{a}$ diferente de la configuración de asignación $\bar{a}$ de recursos de referencia, con una probabilidad $\varepsilon^c$ predeterminada, o bien conserva la configuración de asignación de recursos de referencia a'= $\bar{a}$ con la probabilidad 1-$\varepsilon^c$ complementaria. c es un número entero estrictamente superior al número K de grupos en la red.

En el primer caso (a' ≠ $\bar{a}$), el nodo maestro efectúa una transición hacia el estado D no satisfactorio con una probabilidad 1-$\varepsilon^{1-u'}$. Con la probabilidad $\varepsilon^{1-u'}$ complementaria, el nodo maestro permanece en el estado C satisfactorio y actualiza la configuración de asignación de referencia la métrica de referencia ($\bar{a}$, $\bar{u}$)=(a',u').

En el segundo caso (a' = a), el nodo maestro comprende la nueva métrica u' de calidad medida en la métrica de calidad de referencia. Si las dos métricas son iguales entre sí, el nodo maestro permanece en el estado C satisfactorio. Si las dos métricas tienen valores diferentes, el nodo maestro efectúa una transición hacia el estado D no satisfactorio con una probabilidad 1-$\varepsilon^{1-u'}$. Con la probabilidad $\varepsilon^{1-u'}$complementaria, el nodo maestro permanece en el estado C satisfactorio y actualiza la configuración de asignación de referencia y la métrica de referencia ($\bar{a}$, $\bar{u}$)= (a',u').

La figura 6 describe las transiciones posibles a partir del estado D no satisfactorio. A partir del estado D no satisfactorio, el nodo maestro selecciona una nueva configuración de asignación a' aleatoriamente entre todas las configuraciones posibles incluyendo la configuración $\bar{a}$ de referencia.

El nodo maestro efectúa una transición hacia el estado C satisfactorio con una probabilidad $\varepsilon^{1-u'}$ y permanece en el estado D no satisfactorio con la probabilidad 1-$\varepsilon^{1-u'}$complementaria. Durante la transición hacia el estado C satisfactorio, los valores de referencia son actualizados ($\bar{a}$, $\bar{u}$)= (a',u').

Los métodos de asignación de recursos de radio, por prueba error, según la técnica anterior, introducidos anteriormente, presentan el inconveniente común de sólo poder funcionar correctamente si la métrica de calidad es un valor determinista. Dicho de otra manera, estos métodos toman como hipótesis que al aplicar a dos instantes diferentes la misma configuración de asignación de recursos a un grupo de la red, la métrica de calidad medida será idéntica en los dos instantes diferentes.

Sin embargo, esta hipótesis es falsa en un contexto real de una red de nodos en la cual las conexiones de comunicación inalámbrica están sometidas a perturbaciones inherentes a los canales de transición utilizados y que son variables en el tiempo. De hecho, los canales de transmisión que son sometidos a diversos fenómenos aleatorios tales como perturbaciones selectivas o no en frecuencia, ruido de medida y otras formas de perturbaciones variables en el transcurso del tiempo. Estos fenómenos introducen variaciones del valor de calidad percibido alrededor de su valor determinista. Bajo estas condiciones, los métodos descritos anteriormente no convergen más hacia un punto de funcionamiento satisfactorio y los rendimientos de la red se degradan.

La invención tiene por objetivo remediar estos problemas por la introducción de umbrales de tolerancia durante las etapas de comparación de la métrica u' de calidad medida con la métrica de calidad de referencia.

Las figuras 7 a 10 representan los cuatro diagramas de las figuras 1 a 4 adaptados para implementar el método de asignación de recursos de radio según un primer modo de realización de la invención. Este primer modo de realización corresponde a un perfeccionamiento del método descrito en el documento de referencia [1] y presentado en las figuras 1 a 4.

En las figuras 7 a 10, se encuentran las diferentes transiciones entre estados del diagrama de estado tales como las ya presentadas en las figuras 1 a 4.

Las transiciones se modifican por la introducción de un umbral $\delta_+$ de tolerancia alta y de un umbral $\delta_-$ de tolerancia baja para la comparación entre la métrica u' de calidad medida y la métrica de calidad de referencia. Dicho de otra manera, las transiciones y acciones emprendidas cuando u'>$\bar{u}$ lo son ahora cuando u'> $\bar{u}$ +$\delta_+$. Del mismo modo, la prueba u'<$\bar{u}$ es reemplazada por u'< $\bar{u}$ -$\delta_-$. Finalmente, la prueba u'= $\bar{u}$ es reemplazada por u' ∈ [$\bar{u}$ - $\delta_-$, $\bar{u}$ + $\delta_+$].

De la misma manera, las figuras 11 y 12 representan los dos diagramas de las figuras 5 y 6 adaptados para implementar el método de ubicación de recursos de radio según un segundo modo de realización de la invención. Este

segundo modo de realización corresponde a un perfeccionamiento del método descrito en los documentos [2] y [3] y presentado en las figuras 5 y 6.

La figura 13 representa un organigrama simplificado de las principales etapas de implementación del método de asignación de recursos de radio según uno cualquiera de los modos de realización, siendo ejecutado el método de manera continua por un nodo maestro de cada grupo de la red.

En una primera etapa 100, el nodo maestro selecciona la configuración de asignación a' de recursos de radio para aplicar, que es, o bien una configuración, o bien la configuración de referencia.

En una segunda etapa 101, el nodo maestro recibe un nuevo valor de métrica u' de calidad medida.

En una tercera etapa 102, se realiza una comparación entre la nueva métrica u' y métrica medida de referencia. Para ciertas transiciones sin embargo, se omite la etapa 102. Este es el caso, en especial, de las transiciones desde el estado D no satisfactorio.

En una cuarta etapa 103, el nodo maestro efectúa una transición en el diagrama de estado, en función del resultado de la comparación. Esta transición puede ser diferente según el modo de realización de la invención. En dos modos de realización particulares de la invención, las transiciones son de acuerdo a las descritas respectivamente en las figuras 7 a 10 y 11 a 12. Sin embargo, los ejemplos de diagramas de estado particulares descritos en estos dos modos de realización pueden generalizarse a cualquier diagrama de estado que comprenda al menos dos estados, como se explicará más adelante. Las acciones anteriores a las transiciones comprenden al menos una comparación entre la métrica u' de calidad medida y la métrica de calidad de referencia, tomando en cuenta esta comparación los umbrales ($\delta_-$, $\delta_+$) de tolerancia.

En función de la transición efectuada y del estado de llegada, la configuración de asignación de recursos de radio, denominada de referencia se actualiza con la nueva configuración de asignación seleccionada en la etapa 100 o no. El valor de la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia es del mismo modo actualizado.

En una quinta etapa 104, una memoria n que contiene una parte de las s métricas de calidad medidas en el pasado se actualiza en función de la transición realizada y del estado de llegada.

En una sexta etapa 105, los umbrales ($\delta_-$, $\delta_+$) de tolerancia son recalculados a partir de la memoria n de manera que se actualizan por la iteración siguiente del procedimiento.

La figura 14 esquematiza una parte de un diagrama de estados utilizado para implementar las cuatro primeras etapas 100-103 del procedimiento, en un contexto general.

A partir de un estado $X_i$ de salida, el nodo maestro efectúa o bien una nueva asignación de recursos 201 con una probabilidad p dada, o bien conserva la configuración de asignación de recursos de referencia 202 utilizada anteriormente, con una probabilidad 1-p complementaria.

A continuación, se realiza una comparación 210 entre la métrica u' de calidad medida y la métrica de calidad de referencia. En función del resultado de la comparación, se realiza una transición 220 hacia un estado de llegada $X_{j1}$, $X_{j2}$, …$X_{jk}$ con una probabilidad de transición dada. Si la probabilidad de transiciones diferente de 1, son posibles dos transiciones hacia dos estados de llegada diferentes. En el caso contrario, es posible una sola transición.

En función de la transición utilizada, se efectúa o no una actualización 230 de la métrica de calidad de referencia y/o de la configuración de asignación de recursos de referencia.

Las etapas 210, 220, 230 se efectúan de manera idéntica después de la etapa 202 y después de la etapa 201. La figura 14 no cubre todas las transiciones posibles pero se da a título ilustrativo para explicar el funcionamiento general de las transiciones.

El diagrama de estados general presentado en la figura 14 permite generalizar los dos modos de realización particulares de la invención descrita respectivamente en la figura 7-10 y 11-12. El número de transiciones de estados puede ser diferente al presentado en la figura 14. En el caso más general, el número de estados es al menos igual a dos.

Ahora se describe con más detalle la quinta etapa 104 del procedimiento según la invención. Esta quinta etapa consiste en actualizar una memoria n que contiene una parte de las métricas de calidad medidas en el pasado. La actualización de la memoria comprende tres acciones A1, A2, A3 diferentes posibles en función de las transiciones del diagrama de estado. En las figuras 7 a 12, se ha indicado, para cada transición, por debajo del estado final, la referencia de la acción a implementar para actualizar la memoria n.

En cada instante t, se mide una nueva métrica $x_t$ de calidad. El estado de memoria n en el instante t es referido como $n_t$. El estado de la memoria n en el instante t+1, es referido como $n_{t+1}$.

Una primera acción A1 posible consiste en no modificar la memoria en el instante t+1 con respecto al instante t: $n_{t+1}=n_t$.

Una segunda acción A2 posible consiste en refrescar la memoria con una nueva métrica de calidad recibida en el instante t+1 y olvidar los valores antiguos contenidos en la memoria en el instante t: $n_{t+1}=x_{t+1}$.

Una tercera acción A3 posible consiste en añadir a la memoria la nueva métrica de calidad recibida en el instante t+1 y conservar los valores antiguos en memoria: $n_{t+1}= [n_t, x_{t+1}]$.

De manera general, la etapa 104 del procedimiento según la invención consiste en actualizar la memoria n utilizando una de las tres acciones A1, A2, A3. La actualización de la memoria se efectúa después de una transición del diagrama de estado utilizado en la etapa 103. Esta actualización se efectúa de la manera siguiente según tres etapas:

Etapa 1)

- Si se aplica una nueva asignación de recursos 201, se pasa directamente a la etapa 3)
- Si se aplica la asignación de recursos de referencia 202, se pasa a la etapa 2)

Etapa 2)

- Si la métrica u' de calidad medida está próxima a la métrica de calidad de referencia, dicho de otra manera si u' pertenece al intervalo $[\bar{u} - \delta_-, \bar{u} + \delta_+]$, entonces la memoria se actualiza según la acción A3,
- si no, se pasa directamente a la etapa 3)

Etapa 3) si hay una actualización de los valores $(\bar{a}, \bar{u})$ de referencia entonces se actualiza la memoria según la acción A2, sino, la memoria se actualiza según la acción A1.

La actualización de la memoria n según la etapa 104 del procedimiento según la invención permite limitar el contenido de la memoria n a observaciones que pueden considerarse siendo estacionarias. El cálculo de los umbrales $\delta_-$, $\delta_+$ de tolerancia es el resultado de una estimación (explicada más en detalle a continuación). Por tanto, es posible realizar una estimación no desviada de estos umbrales cuando los valores contenidos en la memoria n son estacionarios. Por ejemplo, cuando se efectúa una actualización de los valores $(\bar{a}, \bar{u})$ de referencia, las medidas de métrica de calidad recibidas a continuación ya no pueden ser consideradas como estacionarias con respecto a las medidas recibidas anteriormente y contenidas en la memoria n. De hecho, el cambio de los valores de referencia se traduce en un cambio del estado del sistema desde el punto de vista del grupo. Esto es debido en este caso a que se refresca la memoria n.

Ahora se describe la implementación en la etapa 105 de cálculo de los umbrales de tolerancia a partir de la memoria n.

Los umbrales $\delta_-$, $\delta_+$ de tolerancia son determinados de manera que los valores de la métrica de calidad almacenados en la memoria n estén, en gran parte, comprendidos en el intervalo $[\bar{u} - \delta_-, \bar{u} + \delta_+]$ alrededor del valor $\bar{u}$ de referencia de la métrica de calidad. Por tanto, durante la etapa de comparación de la nueva métrica u' medida con la métrica $\bar{u}$ de referencia, se introduce un intervalo de tolerancia alrededor del valor de $\bar{u}$ con el fin de evitar las fluctuaciones no deseadas del algoritmo que serían debidas a los fenómenos aleatorios del canal de transmisión.

Cuando el valor $\bar{u}$ de referencia es fijado por un grupo, existen valores $\delta_+^*$ y $\delta_-^*$ de referencia tales que si el estado del sistema permanece estacionario, por tanto el intervalo $[\bar{u} - \delta_-^*, \bar{u} + \delta_+^*]$ contiene un cierto porcentaje (1 - $R_1$) X 100 de los valores de la métrica u. Un objetivo de la etapa 103 es hacer tender los umbrales $\delta_+$, $\delta_-$ de tolerancia hacia los valores $\delta_+^*$ y $\delta_-^*$ cuando el tamaño de la memoria n aumenta. Si los umbrales $\delta_+$, $\delta_-$ de tolerancia son más pequeños que los valores $\delta_+^*$ y $\delta_-^*$ entonces el sistema se puede deshabilitar. Por consiguiente, la convergencia de los umbrales $\delta_+$ y $\delta_-$ de tolerancia debe hacerse para un valor superior a los valores $\delta_+^*$ y $\delta_-^*$, respectivamente.

La etapa 105 consiste en primer lugar en determinar, gracias a la memoria n, un terminal inferior referido como *L* y un terminal superior, referido como *U*, en la distribución de valores de las métricas *u* tal que, *R1* por ciento de valores de *u* son continuos por debajo del terminal U y por encima del terminal L y ello con un riesgo global más reducido que $R_2$.

Con estos terminales, los umbrales se pueden calcular directamente de la manera siguiente: $\delta_+ = \max(0, U - \bar{u})$ y $\delta_- = \max(0, \bar{u} - L)$, donde max() designa la función máxima de dos operadores. La función max() se utiliza para asegurar que los dos umbrales son siempre mayores o iguales a 0.

Cuando $\bar{u} \in [L, U]$, se tiene siempre $\delta_+ + \delta_- = L + U$. Sucede que $\bar{u}$ ya no está situado en este intervalo [*L, U*], por ejemplo cuando el nivel de ruido es demasiado elevado o cuando el estado del sistema ha sido modificado. En este caso, existe una actualización de los umbrales después de la cual la igualdad $\delta_+ + \delta_- = L + U$ ya no se verifica y se obtiene $\delta_+ + \delta_- > L + U$. Se deduce que uno de los dos umbrales es necesariamente nulo y, para volver a la igualdad $\delta_+ + \delta_- = L + U$ se fuerza por tanto el umbral no nulo a decrecer. Por ejemplo, imaginemos después de la actualización, $\delta_- = 0$, entonces en este caso, se forzará $\delta_+ = L + U$.

Este procedimiento va a reducir necesariamente el intervalo de tolerancia alrededor de $\bar{u}$ que no conviene. Esto tiene como consecuencia llevar el grupo a cambiar de valor de referencia en el transcurso de las próximas iteraciones del algoritmo.

Cuando la memoria n contiene pocos valores, los umbrales de tolerancia deben tener un valor importante que sea tal que el grupo sea poco sensible a las variaciones del valor de la métrica de calidad. Esto permite en primer lugar obtener valores de umbrales de tolerancia más grandes que los valores $\delta_+^*$ y $\delta_-^*$ con el fin de hacer converger los umbrales por valores superiores. Esto permite además, estabilizar el sistema para que los valores recibidos por cada grupo sean estacionarios. Considerando los riesgos $R_1$ y $R_2$ en los estimadores, los umbrales obtenidos serán naturalmente muy grandes cuando la memoria es de pequeño tamaño.

Ahora se describe más en detalle un ejemplo de realización posible de la etapa 103.

Los umbrales de tolerancia se calculan a partir de la memoria n así como del valor $\bar{u}$ de referencia en el instante t actual. La manera de calcular los umbrales de tolerancia puede depender de la información contenida en la métrica de calidad medida. Nosotros presentamos en este caso un ejemplo de realización en el que la métrica de calidad se calcula a partir de valores de funcionamiento de cada conexión *i* del grupo. Una conexión *i* es considerada estando en estado de funcionar si el valor $l_i$ recibido es igual a 1 y se considera deficientes si $l_i$ es igual a 0. A causa de los fenómenos aleatorios presentes en el sistema, este valor de funcionamiento es una variable aleatoria. De forma más precisa, esta variable sigue una ley de Bernoulli de parámetro $p_i$ para cada conexión *i*. Con una probabilidad $p_i$ la conexión funciona ($l_i$ = 1), sino no funciona ($l_i$ = 0). En este ejemplo, la métrica de calidad medida es definida por

$$u = \frac{1}{N_l}\sum_i l_i$$

$N_l$ es el número de conexiones de comunicación en un grupo.

Como el valor de la métrica u de calidad es la suma de variables aleatorias independientes, se puede obtener su distribución efectuando una convolución de las distribuciones de las leyes de cada conexión i que dependen de su probabilidad $p_i$. A partir de la distribución exacta de u, es posible calcular directamente el valor de los terminales ideales a los que nos referimos como L* y U*. Supongamos que los valores exactos de las probabilidades $p_i$ son continuos para cada conexión i. En este caso, es posible calcular la distribución exacta, referida como pdf, de la variable u. Dicho de otra manera, para k ∈ [1, $N_l$], pdf $\left(\frac{k}{N_l}\right)$ es la probabilidad de que k conexiones estén en estado de funcionar. A continuación de este razonamiento, $P(k) = \sum_{i=1}^{k} \mathrm{pdf}\left(\frac{i}{N_l}\right)$ es la probabilidad de que al menos k conexiones estén en estado de funcionar. Se busca el valor de k tal que la probabilidad que k conexiones estén en estado de funcionar sea más pequeña que $\frac{R_1}{2}$. *L** representa este valor. El cálculo formal se efectúa de la manera siguiente

$$L^* = \mathrm{argmax}\left\{k \middle| P(k) \leq \frac{R_1}{2}\right\},$$

dicho de otra manera, el valor de L* es el valor más grande de k tal que la probabilidad de tener k conexiones que estén en el estado de funcionar sea más reducida que $\frac{R_1}{2}$.

En lo que se refiere al otro terminal *U**, se efectúa un razonamiento simétrico (a la derecha de la distribución). Se busca el número de conexiones k tales que la probabilidad de que más de k conexiones estén en estado de funcionar sea más reducida que $\frac{R_1}{2}$. La probabilidad complementaria a *P(k)* da

$$1 - P(k) = \sum_{i=k+1}^{N_l} \mathrm{pdf}\left(\frac{i}{N_l}\right)$$

La probabilidad 1-P(k) representa la probabilidad de que k+1 conexiones o más estén en el estado de funcionar (véase índice de salida de la suma). Por consiguiente, esto subestima la probabilidad de que como mucho l conexiones estén en estado de funcionar y puede llevar a la inestabilidad en el algoritmo. Para resolver este inconveniente, se utiliza simplemente el valor 1 - *P(k - 1)* y la fórmula para calcular el terminal u* se hace $U^* = \mathrm{argmin}\left\{k \middle| 1 - P(k-1) \leq \frac{R_1}{2}\right\}$.

Dicho de otra manera, el valor de U* es el valor mínimo de k tal que la probabilidad de que como mucho k conexiones estén en estado de funcionar, 1 - *P(k - 1)* sea más reducida que $\frac{R_1}{2}$.

A continuación, se obtienen los umbrales de tolerancia ideales utilizando las relaciones $\delta_+^* = U^* - \bar{u}$ y $\delta_-^* = \bar{u} - L^*$. calculando los umbrales de tolerancia de esta forma (1 - $R_1$)x100 % de los valores de u están comprendidos en el intervalo $[\bar{u} - \delta_-^*, \bar{u} + \delta_+^*]$ con una probabilidad igual a 1.

Un problema es que para obtener los valores de umbrales $(\delta_-^*, \delta_+^*)$, de tolerancia es necesario conocer los parámetros $p_i$ de cada conexión i. Para calcular estos parámetros, se utiliza la memoria n que es de tamaño finito, por consiguiente sólo es posible un acceso a los valores de $p_i$ estimados $\hat{p}_i$ . Se deduce que no se pueden calcular directamente *L** y *U** y por tanto no se pueden obtener valores de las tolerancias $(\delta_-^*, \delta_+^*)$. Sólo los valores *L* y *U* intermedios son accesibles por el cálculo y permitirán obtener los umbrales ($\delta_-$, $\delta_+$) de tolerancia intermedios. Para hacer esto, el método propuesto se basa en una estimación de un intervalo de confianza alrededor de los parámetros $p_i$. Es posible con la memoria n, construir un intervalo de confianza referido como $C_i = [p_i^-, p_i^+]$ alrededor de $p_i$ tal que $p_i$ pertenece al intervalo $C_i$ durante (1 - $R_2$)x100 por ciento del tiempo.

Se explica a continuación como utilizar este intervalo con el fin de calcular los terminales estimados de *L** y *U** referidos como L y U después de haber presentado su cálculo.

Sea $x^i = (x_1^i, \ldots, x_M^i)$, M medidas de los valores de estado de una conexión $l_i$, sabemos que la variable $y_M^i = \sum_k x_k^i$ sigue una ley binomial, por consiguiente:

$$p(y_M^i = k | p_i) = \binom{M}{k} (p_i)^k (1 - p_i)^{M-k}$$

Se utiliza a continuación un enfoque Bayesiano para encontrar la ley a priori sobre los valores de $p_i$. Utilizando la fórmula anterior, se deduce que la ley a priori sobre $p_i$ es proporcional a $(p_i)^k(1-p_i)^{M-k}$. Para obtener una ley, nos aseguramos de que esta fórmula sea igual a 1 cuando se integra sobre el soporte de $p_i$([0,1]). Esto da:

$$p(p_i | y_M^i = k) = \frac{(M+1)!}{k!\,(M-k)!} (p_i)^k (1 - p_i)^{M-k}$$

Esta fórmula es integral de la función beta incompleta referida como $B_{int}(p_i,k + 1, M - k +1)$. Se puede directamente deducir el intervalo con la confianza deseada (1 - $R_2$) de la manera siguiente

$$p_i^- = \arg\left\{ p \middle| \int_0^p B_{int}(x, k+1, M-k+1)\ dx = \frac{R_2}{2} \right\}$$

**y**

$$p_i^+ = \arg\left\{ p \middle| \int_p^1 B_{int}(x, k+1, M-k+1)\ dx = \frac{R_2}{2} \right\}$$

A continuación se explica cómo obtener los valores de U y L con estas aproximaciones respecto a los valores de los parámetros $p_i$, es decir con únicamente el intervalo alrededor de $p_i$.

Si se consideran tres variables aleatorias de Bernoulli $X_1$, $X_2$ y $X_3$ de parámetros $p_i^- < p_i < p_i^+$ respectivamente. Después de la definición, la probabilidad de que $X_1$ sea inferior a $X_2$ es más grande que la inversa, del mismo modo, la probabilidad de que $X_2$ sea inferior a $X_3$ es más grande que la inversa. Ahora, se calculan tres valores $Z_1$, $Z_2$ y $Z_3$ de utilidad tales que, para $Z_1$ se utilizan los parámetros $p_i^-$, para $Z_2$ los parámetros $p_i$ y finalmente para $Z_3$ los parámetros $p_i^+$. se puede reiterar el razonamiento anterior con las variables $X_j$, es decir que, por ejemplo, la probabilidad de que $Z_1$ sea inferior a $Z_2$ es más grande que la inversa. Si se observan las distribuciones pdf-, pdf y pdf+ de $Z_1$, $Z_2$ y $Z_3$ entonces, por ejemplo, se sabe que con una confianza $1 - \frac{R_2}{2}$ que

$$\forall k \in [1, N_l], P_-(k) \geq P(k)$$

Donde según *pdf-* la probabilidad de que al menos k conexiones funcionen es

$$P_-(k) = \sum_{i=1}^{k} pdf_-\left(\frac{k}{N_l}\right)$$

Y que

$$\forall k \in [1, N_l], 1 - P(k-1) \leq 1 - P_+(k-1)$$

Donde según *pdf*+ la probabilidad de que como mucho k conexiones funcionen es

$$1 - P_{+}(k-1) = \sum_{i=k}^{N_l} \mathrm{pdf}_{+}\left(\frac{k}{N_l}\right).$$

De forma más precisa, P_(k) representa una subestimación, con una confianza $1-\frac{R_2}{2}$, de la probabilidad de tener al menos k conexiones que estén en estado de funcionar. Del mismo modo, 1 -*P*+(k - 1) representa una subestimación, con una confianza $1-\frac{R_2}{2}$, de tener más de k conexiones que estén en estado de funcionar. Se ha de observar que el usuario sólo tiene acceso a las probabilidades *P*+ y *P*- y no a la probabilidad P. Es decir que no se puede calcular directamente *L** y *U**. Sin embargo, se pueden adaptar las fórmulas utilizadas para calcular *L** y *U** a la información disponible, *P*+ y *P*- *con el fin de obtener* L y *U*. las fórmulas adaptadas son:

$$L = \mathrm{argmax}\left\{k \middle| P_{-}(k) \leq \frac{R_1}{2}\right\}$$

$$U = \mathrm{argmin}\left\{k \middle| 1 - P_{+}(k-1) \leq \frac{R_1}{2}\right\}$$

L es el valor máximo de k tal que la subestimación de probabilidad (con un riesgo de subestimación más reducido que $\frac{R_2}{2}$)*P*-(*k*) de *P*(*k*) sea más reducido que $\frac{R_2}{2}$.

U es el valor mínimo de k tal que la subestimación de la probabilidad (con un riesgo de subestimación más reducido que $\frac{R_2}{2}$) 1 - P+(k - 1) de 1 - P(k - 1) que como mucho k conexiones funcionen sea más reducida que $\frac{R_1}{2}$. Por tanto, con una confianza igual a (1 - *R*2)x100 % se tiene *L* ≤ *L** y *U* ≥ *U**. Por tanto el conjunto definido por [*L*, *U*] cubre al menos (1 - *R*1)x100 % de los valores de *u* con al menos el riesgo considerado *R2*.

$R_1$ representa la porción de los valores de métrica de calidad que se desea tomar en cuenta. $R_2$ representa el riesgo de errar en la elección de los umbrales de tolerancia. Los umbrales $\delta^+$ y $\delta^-$ calculados son estimadores ya que los terminales L y U son ellos mismos los estimadores. Por consiguiente, existe un riesgo de que sean falsos, y $R_2$ representa este riesgo. Por ejemplo, cuando se calcula la media de una variable aleatoria (es decir la suma de los valores recibidos respecto al número total de valores), hay un riesgo de que el estimador este por encima (o por debajo) de la media estadística. Es importante que este riesgo sea controlado con el fin de evitar que los umbrales sean demasiado reducidos, lo que podría conducir a una inestabilidad general del sistema ya que el grupo reaccionaría por tanto al ruido pensando que estas son las modificaciones del estado del sistema.

Los valores de $R_1$ y $R_2$ son elegidos en función de los parámetros del sistema.

Por ejemplo, con el fin de cubrir una buena parte de los valores posibles de u mientras permanece sensible a los cambios de acciones posibles en la red, $R_1$ puede ser elegido tal que $1 - R_1 > 0{,}95$.

El valor de $R_2$ es, a su vez, que depende de la estimación utilizada en el cálculo de los umbrales. Por ejemplo, en el ejemplo descrito anteriormente, $R_2$ puede elegirse tal que $1 - R_2 \approx 0{,}6$. El valor $1 - R_2$ puede percibirse como la confianza en el estimador utilizado. Si $1 - R_2$ es muy reducido, es que hay una gran confianza en la capacidad del estimador para encontrar el parámetro buscado, por el contrario, si $1 - R_2$ es muy grande, entonces, la estimación es muy preventiva frente a los valores recibidos. Hace falta por tanto esperar muchos muestreos antes de ver los umbrales converger.

La invención puede implementarse como un programa de ordenador que comprende instrucciones para su ejecución. El programa de ordenador puede grabarse en un soporte de grabación legible por un procesador. La invención puede ejecutarse totalmente o parcialmente por un nodo maestro de un grupo de nodos de comunicaciones en el seno de la red. Un nodo corresponde un dispositivo que comprende medios para comunicarse con otros nodos vecinos, por ejemplo por medio de una conexión de comunicación de radio.

La referencia a un programa de ordenador que, cuando se ejecuta, efectúa una cualquiera de las funciones descritas anteriormente, no se limita a un programa de aplicación que se ejecuta en un ordenador central único. Por el contrario, los términos programa de ordenador y software son utilizados en este caso en un sentido general para hacer referencia a cualquier tipo de código informático (por ejemplo, un software de aplicación, un microsoftware, un microcódigo, o cualquier otra forma de instrucción de ordenador) que se puede utilizar para programar uno o varios procesadores para implementar aspectos de las técnicas descritas aquí. Los medios o recursos informáticos pueden, en especial, ser distribuidos ("*Cloud computing*"), posiblemente según tecnologías entre pares. El código de software puede ejecutarse sobre cualquier procesador apropiado (por ejemplo, un microprocesador) o núcleo de procesador o un conjunto de procesadores que están previstos en un dispositivo de cálculo único o repartido entre varios dispositivos de cálculo (por ejemplo tales que posiblemente sean accesibles en el entorno del dispositivo). El código ejecutable de

cada programa permite al dispositivo programable implementar los procesos según la invención, puede ser almacenado, por ejemplo, en el disco duro o en una memoria de sólo lectura. De manera general, el o los programas podrán ser cargados en uno de los medios de almacenamiento del dispositivo antes de ser ejecutados. La unidad central puede controlar y dirigir la ejecución de las instrucciones o porciones de código de software del o de los programas según la invención, instrucciones que son almacenadas en el disco duro o en la memoria de sólo lectura o bien en otros elementos de almacenamiento citados anteriormente.

De forma alternativa, la invención puede también implementarse por medio de un procesador que puede ser un procesador genérico, un procesador específico, un circuito integrado propio para una aplicación (conocido también bajo el nombre inglés de ASIC para "*Application-Specific Integrated Circuit*") o una red de puertas programables in situ (conocido también bajo el nombre inglés de FPGA para "*Field-Programmable Gate Array*"). Cada nodo de la red hallada así como el equipo externo asociado al nodo raíz puede utilizar, para implementar la invención, uno o varios circuitos electrónicos dedicados o un circuito de uso general. La técnica de la invención se puede realizar en una máquina de cálculo reprogramable (un procesador o un microcontrolador por ejemplo) ejecutando un programa que comprende una secuencia de instrucciones, o en una máquina de cálculo dedicado (por ejemplo un conjunto de puertas lógicas como un FPGA o un ASIC, o cualquier otro módulo material).

La invención se aplica a cualquier red de malla que comprende una pluralidad de nodos que son dispositivos de comunicación móviles o fijos, que pueden ser localizados, por ejemplo, en vehículos, teléfonos inteligentes o cualquier tipo de terminal.

La figura 15 representa, de forma esquemática, una red ad hoc que comprende una pluralidad de terminales de comunicación organizados en grupos. En cada grupo G al menos un terminal N_M asume el papel de nodo maestro y está configurado para implementar el procedimiento según la invención con el objetivo de asignar recursos de comunicación, por ejemplo recursos de frecuencia, al conjunto de terminales N_M, N_1,N_2,N_3,N_4 del grupo G.

A tal efecto, como se ilustra en la figura 16, el terminal N_M comprende los equipos necesarios para la implementación de la invención. Comprende, en especial, un dispositivo MES para medir, recibir y calcular una métrica de calidad de las conexiones de comunicación entre terminales del grupo. Por ejemplo, la métrica de calidad puede ser calculada a partir de las informaciones trasmitidas por cada terminal del grupo G en dirección del terminal N_M maestro. Estas informaciones pueden comprender medidas de la relación de señal con respecto al ruido en las conexiones de comunicación.

El terminal N_M comprende, del mismo modo, un calculador CALC o cualquier otro dispositivo equivalente para ejecutar la invención y un equipo de asignación ALLOC de recursos de radio que recibe en cada instante la configuración de asignación de recursos determinada por el calculador y la comunica a una entidad exterior a la red encargada del control de la asignación de recursos o la comunica directamente a los nodos del grupo G para que utilicen los recursos autorizados según la configuración determinada, para comunicarse entre sí.

**Referencias**

[1] L. Rose, S. M. Perlaza, C. J. Le Martret, M. Debbah, "*Self-organization in decentralized networks: a trial and error learning approach*", IEEE Transactions on Wireless communications, vol 13, no. 1, pp. 268-279, January 2014.

[2] L. Rose, S. M. Perlaza, C. J. Le Martret, and M. Debbah, "*Achieving pareto optimal equilibria in energy efficient clustered ad hoc networks,*" in 2013 IEEE International Conférence on communications (ICC), June 2013, pp. 1491-1495.

[3] C. Ramesh, M. Schmitt, and J. Lygeros, "*Distributed learning in the presence of disturbances,*" in 2016 European Control Conférence (ECC), June 2016, pp. 257-262.

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento de asignación de recursos de radio en el seno de una red de dispositivos (N_1,N_2,N_3,N-4,N_M) de comunicación organizados en grupos (G), comprendiendo el procedimiento las etapas siguientes ejecutadas de forma iterativa por al menos un dispositivo (N_M) de comunicación de cada grupo (G):

- Seleccionar (100) una nueva configuración de asignación a' de recursos de radio para aplicar a los dispositivos del grupo, con una probabilidad de sección dada, o aplicar una configuración de asignación $\bar{a}$ de referencia con una probabilidad complementaria a dicha probabilidad de selección,
- Medir (101) una métrica u' de calidad global de las conexiones de comunicación entre los dispositivos del grupo (G), estando dicho procedimiento

**caracterizado por** las etapas siguientes:

- Comparar (102) la métrica u' de calidad medida con una métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia, incluyendo la comparación la toma en cuenta de un intervalo [$\bar{u}$ - $\delta_-$, $\bar{u}$ - $\delta_+$] de tolerancia alrededor de la métrica de calidad de referencia, estando definido el intervalo de tolerancia por un umbral $\delta_-$ de tolerancia baja y un umbral $\delta_+$ de tolerancia alta,
- En función de dicha comparación, efectuar (103), en el seno de un diagrama de estados que tenga un número de estados predeterminado, una transición desde un estado de salida hacia un estado de llegada,
- En función del estado de llegada, actualizar o no la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia con la métrica u' de calidad medida y/o actualizar o no la configuración de asignación $\bar{a}$ de referencia con la nueva configuración de asignación a'.
- En función de dicha transición y de dicha comparación, actualizar (104) una memoria que contiene al menos una métrica de calidad medida de manera que los valores contenidos en la memoria sean estacionarios,
- Determinar un terminal inferior y un terminal superior de la distribución de las métricas de calidad de manera que un porcentaje dado de los valores esté comprendido entre el terminal inferior y el terminal superior,
- Determinar (105) el umbral $\delta_+$ de tolerancia alta a partir del terminal superior y el umbral $\delta_-$ de tolerancia baja a partir del terminal inferior.

2. Procedimiento de asignación de recursos de radio según la reivindicación 1 en el cual la actualización (104) de la memoria comprende las etapas siguientes:

- Si se selecciona una nueva configuración de asignación de recursos de radio,
    - Si la métrica de calidad de referencia es actualizada, reinicializar la memoria con la métrica de calidad medida (A2),
    - Si no, no actualizar la memoria (A1),
- Si se aplica la configuración de asignación de referencia,
    - Si la métrica de calidad medida está comprendida en el intervalo de tolerancia, añadir la métrica de calidad medida a la memoria (A3),
    - Si no,
        - Si la métrica de calidad de referencia es actualizada, reinicializar la memoria con la métrica de calidad medida (A2),
        - Si no, no actualizar la memoria (A1).

3. Procedimiento de asignación de recursos de radio según una de las reivindicaciones anteriores en el cual la métrica u' de calidad de grupo es igual a la relación entre el número de conexiones de comunicación en estado de funcionar en el grupo y el número de conexiones de comunicación total en el grupo.

4. Procedimiento de asignación de recursos de radio según una de las reivindicaciones anteriores en el cual los recursos de radio son recursos de frecuencia.

5. Procedimiento de asignación de recursos de radio según una de las reivindicaciones anteriores, en el cual el diagrama de estados comprende un estado (C) satisfactorio y un estado (D) no satisfactorio.

6. Procedimiento de asignación de recursos de radio según la reivindicación 5, en el cual, cuando el estado de salida es el estado (C) satisfactorio y se selecciona una nueva configuración de asignación a' de recursos de radio:

- se efectúa una transición hacia el estado (C) satisfactorio con una probabilidad de transición que depende de la métrica u' de calidad medida y se actualiza la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia con la métrica u' de calidad medida y se actualiza la configuración de asignación $\bar{a}$ de referencia con la nueva configuración de asignación a',
- se efectúa una transición hacia el estado (D) no satisfactorio con una probabilidad complementaria a dicha probabilidad de transición.

7. Procedimiento de asignación de recursos de radio según una cualquiera de las reivindicaciones 5 o 6, en el cual, cuando el estado de salida es el estado (C) satisfactorio y se aplica al grupo la configuración de asignación $\bar{a}$ de recursos de radio de referencia:

- Si la métrica u' de calidad medida está comprendida en el intervalo [$\bar{u}$ - $\delta_-$, $\bar{u}$ - $\delta_+$] de tolerancia alrededor de la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia, se efectúa una transición hacia el estado (C) satisfactorio,

- Si la métrica u' de calidad medida no está comprendida en el intervalo [$\bar{u}$ - $\delta_-$, $\bar{u}$ - $\delta_+$] de tolerancia;

  - se efectúa una transición hacia el estado (C) satisfactorio con una probabilidad de transición que depende de la métrica u' de calidad medida y se actualiza la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia con la métrica u' de calidad medida,
  - se efectúa una transición hacia el estado (D) no satisfactorio con una probabilidad complementaria a dicha probabilidad de transición.

8. Procedimiento de asignación de recursos de radio según una de las reivindicaciones 5 a 7, en el cual, cuando el estado de salida es el estado (D) no satisfactorio, se selecciona una nueva configuración de asignación a' de recursos de radio y:

- se efectúa una transición hacia el estado (C) satisfactorio con una probabilidad de transición que depende de la métrica u' de calidad medida y se actualiza la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia con la métrica u' de calidad medida y se actualiza la configuración de asignación $\bar{a}$ de referencia con la nueva configuración de asignación a',

- se efectúa una transición hacia el estado (D) no satisfactorio con una probabilidad complementaria a dicha probabilidad de transición.

9. Procedimiento de asignación de recursos de radio según la reivindicación 5, en el cual el diagrama de estados comprende además al menos un primer estado (H) de transición y un segundo estado (W) de transición.

10. Procedimiento de asignación de recursos de radio según la reivindicación 9 en el cual, cuando el estado de salida es el estado (C) satisfactorio y se selecciona una nueva configuración de asignación a' de recursos de radio:

- Si la métrica u' de calidad medida es inferior o igual a la suma de la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia y del umbral $\delta_+$ de tolerancia alta, se efectúa una transición hacia el estado (C) satisfactorio sin actualizar ni la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia ni la configuración de asignación $\bar{a}$ de referencia,

- Si la métrica u' de calidad medida es superior a la suma de la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia y del umbral $\delta_+$ de tolerancia alta:

  - se efectúa una transición hacia el estado (C) satisfactorio con una probabilidad de transición dada y se actualiza la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia con la métrica u' de calidad medida y se actualiza la configuración de asignación $\bar{a}$ de referencia con la nueva configuración de asignación a',
  - se efectúa una transición hacia el estado (C) satisfactorio con una probabilidad complementaria a dicha probabilidad de transición sin actualizar ni la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia ni la configuración de asignación $\bar{a}$ de referencia.

11. Procedimiento de asignación de recursos de radio según una de las reivindicaciones 9 o 10, en el cual, cuando el estado de salida es el estado (C) satisfactorio y se aplica al grupo la configuración de asignación $\bar{a}$ de recursos de radio de referencia:

- Si la métrica u' de calidad medida está comprendida en el intervalo [$\bar{u}$ - $\delta_-$, $\bar{u}$ - $\delta_+$] de tolerancia alrededor de la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia, se efectúa una transición hacia el estado (C) satisfactorio sin actualizar la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia,

- Si la métrica u' de calidad medida es superior a la suma de la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia y del umbral $\delta_+$ de tolerancia alta, se efectúa una transición hacia el primer estado (H) de transición sin actualizar la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia,

- Si la métrica u' de calidad medida es inferior a la diferencia entre la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia y el umbral $\delta_-$ de tolerancia baja, se efectúa una transición hacia el segundo estado (W) de transición sin actualizar la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia.

12. Procedimiento de asignación de recursos de radio según una de las reivindicaciones 9 a 11, en el cual, cuando la etapa de salida es el primer estado (H) de transición, se aplica la configuración de asignación $\bar{a}$ de recursos de radio de referencia y:

- Si la métrica de calidad medida está comprendida en el intervalo [$\bar{u}$ - $\delta_-$, $\bar{u}$ - $\delta_+$] de tolerancia alrededor de la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia, se efectúa una transición hacia el estado (C) satisfactorio sin actualizar la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia,
- Si la métrica u' de calidad medida es superior a la suma de la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia y del umbral $\delta_+$ de tolerancia alta, se efectúa una transición hacia el estado (C) satisfactorio y se actualiza la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia con la métrica u' de calidad medida,
- Si la métrica u' de calidad medida es inferior a la diferencia entre la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia y el umbral $\delta_-$ de tolerancia baja, se efectúa una transición hacia el segundo estado (W) de transición sin actualizar la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia.

13. Procedimiento de asignación de recursos de radio según una de las reivindicaciones 9 a 12, en el cual, cuando el estado de salida es el segundo estado (W) de transición, se aplica la configuración de asignación $\bar{a}$ de recursos de radio de referencia y:

- Si la métrica u' de calidad medida está comprendida en el intervalo [$\bar{u}$ - $\delta_-$, $\bar{u}$ - $\delta_+$] de tolerancia alrededor de la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia, se efectúa una transición hacia el estado (C) satisfactorio sin actualizar la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia,
- Si la métrica de calidad medida es superior a la suma de la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia y del umbral $\delta_+$ de tolerancia alta, se efectúa una transición hacia el primer estado (H) de transición sin actualizar la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia,
- Si la métrica u' de calidad medida es inferior a la diferencia entre la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia y el umbral $\delta_-$ de tolerancia baja, se efectúa una transición hacia el estado (D) no satisfactorio sin actualizar la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia.

14. Procedimiento de asignación de recursos de radio según una de las reivindicaciones 9 a 13, en el cual, cuando el estado de salida es el estado (D) no satisfactorio, se selecciona una nueva configuración de asignación a' de recursos de radio y:

- Se efectúa una transición hacia el estado (C) satisfactorio con una probabilidad de transición dada y se actualiza la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia con la métrica u' de calidad medida y se actualiza la configuración de asignación $\bar{a}$ de referencia con la nueva configuración de asignación $\bar{a}$,
- Se efectúa una transición hacia el estado (D) no satisfactorio con una probabilidad complementaria a dicha probabilidad de transición sin actualizar la métrica $\bar{u}$ de calidad de referencia ni la configuración de asignación $\bar{a}$ de referencia.

15. Programa de ordenador que comprende instrucciones para la ejecución del procedimiento de asignación de recursos de radio según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, cuando el programa se ejecuta por un p rocesador.

16. Soporte de grabación legible por un procesador sobre el cual se graba un programa que comprende instrucciones para la ejecución del procedimiento de asignación de recursos de radio según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14, cuando el programa se ejecuta por un procesador.

17. Dispositivo (N_M) de comunicación adecuado para comunicar con una pluralidad de otros dispositivos (N_1,N_2,N_3,N_4) de comunicación en el seno de una red organizada en grupos (G), comprendiendo el dispositivo de comunicación medios configurados para implementar el procedimiento de asignación de recursos de radio según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14.

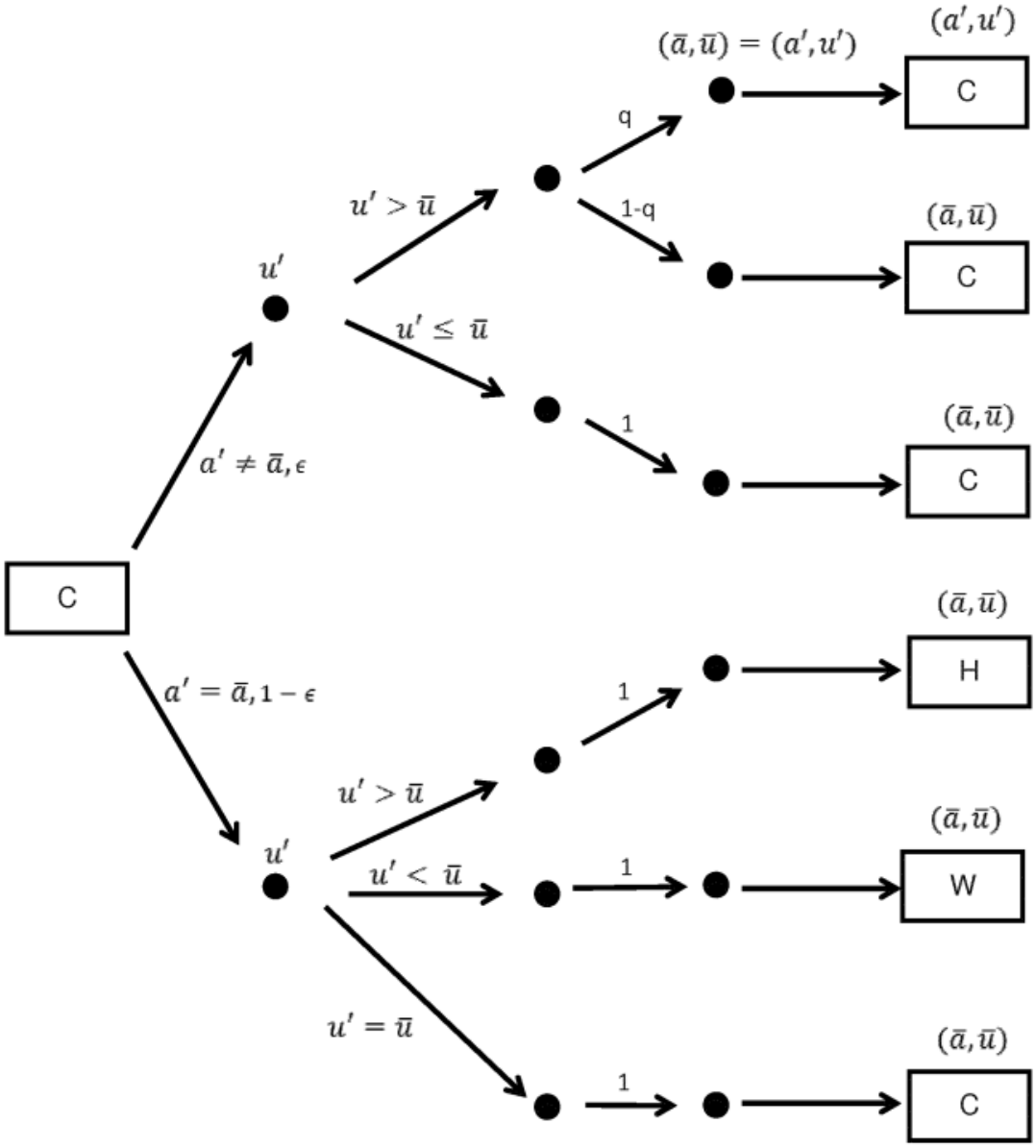
C
$a' \neq \bar{a}, \epsilon$
$a' = \bar{a}, 1-\epsilon$
$u'$
$u'$
$u' > \bar{u}$
$u' \leq \bar{u}$
$u' > \bar{u}$
$u' < \bar{u}$
$u' = \bar{u}$
q
1-q
1
1
1
1
$(\bar{a}, \bar{u}) = (a', u')$
$(a', u')$
C
$(\bar{a}, \bar{u})$
C
$(\bar{a}, \bar{u})$
C
$(\bar{a}, \bar{u})$
H
$(\bar{a}, \bar{u})$
W
$(\bar{a}, \bar{u})$
C

FIG.1

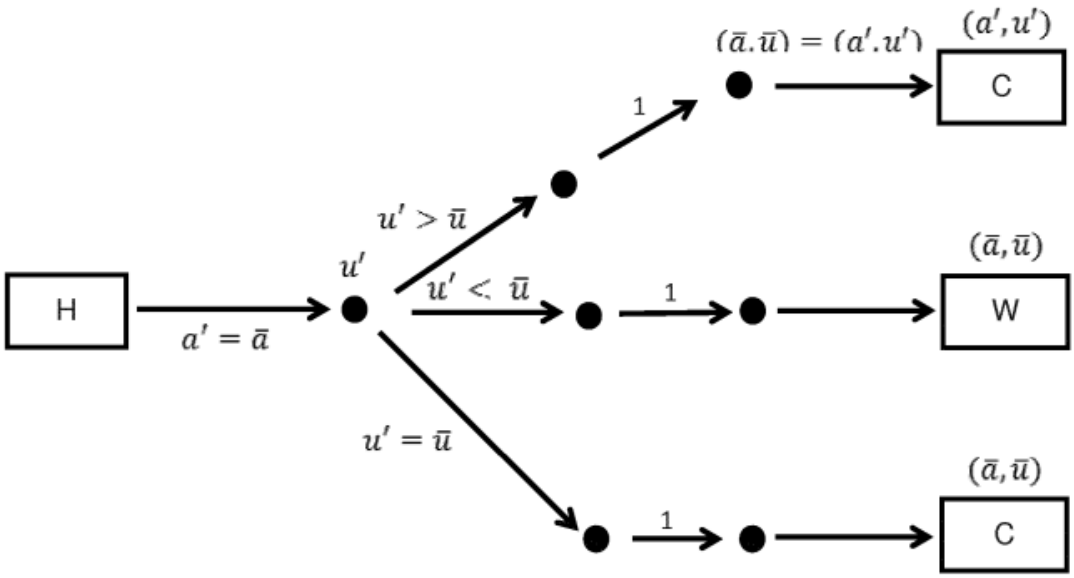
H
$a' = \bar{a}$
$u'$
$u' > \bar{u}$
$u' < \bar{u}$
$u' = \bar{u}$
1
1
1
$(\bar{a}.\bar{u}) = (a'.u')$
$(a', u')$
C
$(\bar{a}, \bar{u})$
W
$(\bar{a}, \bar{u})$
C

FIG.2

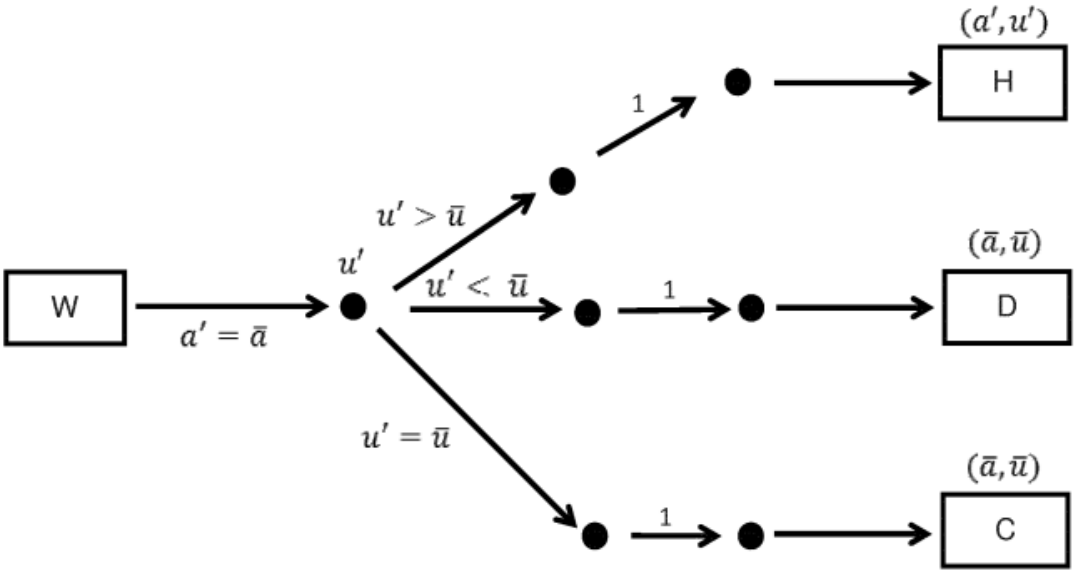
W
$a' = \bar{a}$
$u'$
$u' > \bar{u}$
$u' < \bar{u}$
$u' = \bar{u}$
1
1
1
$(a', u')$
H
$(\bar{a}, \bar{u})$
D
$(\bar{a}, \bar{u})$
C

FIG.3

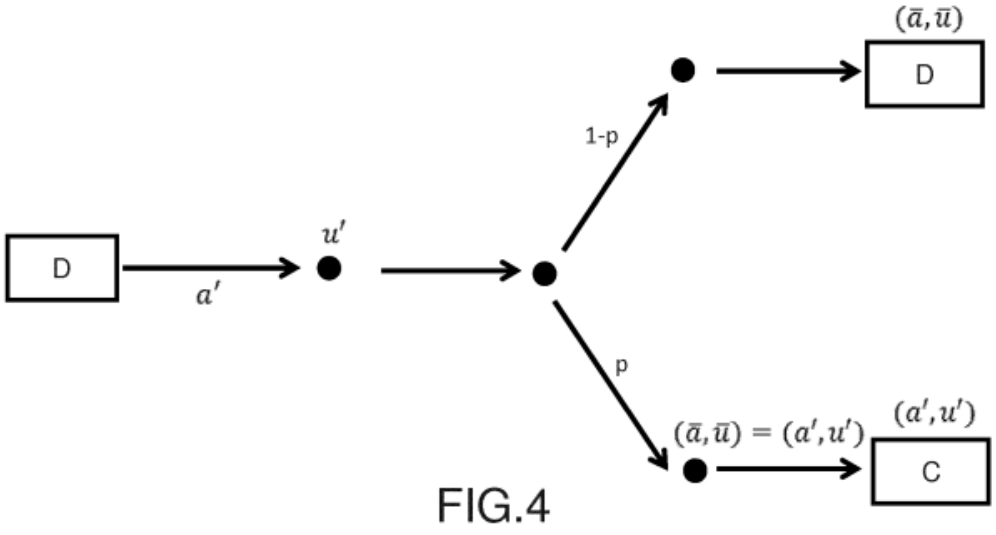
$(\bar{a},\bar{u})$
D
1-p
$u'$
D
$a'$
p
$(\bar{a},\bar{u}) = (a',u')$
$(a',u')$
C

FIG.4

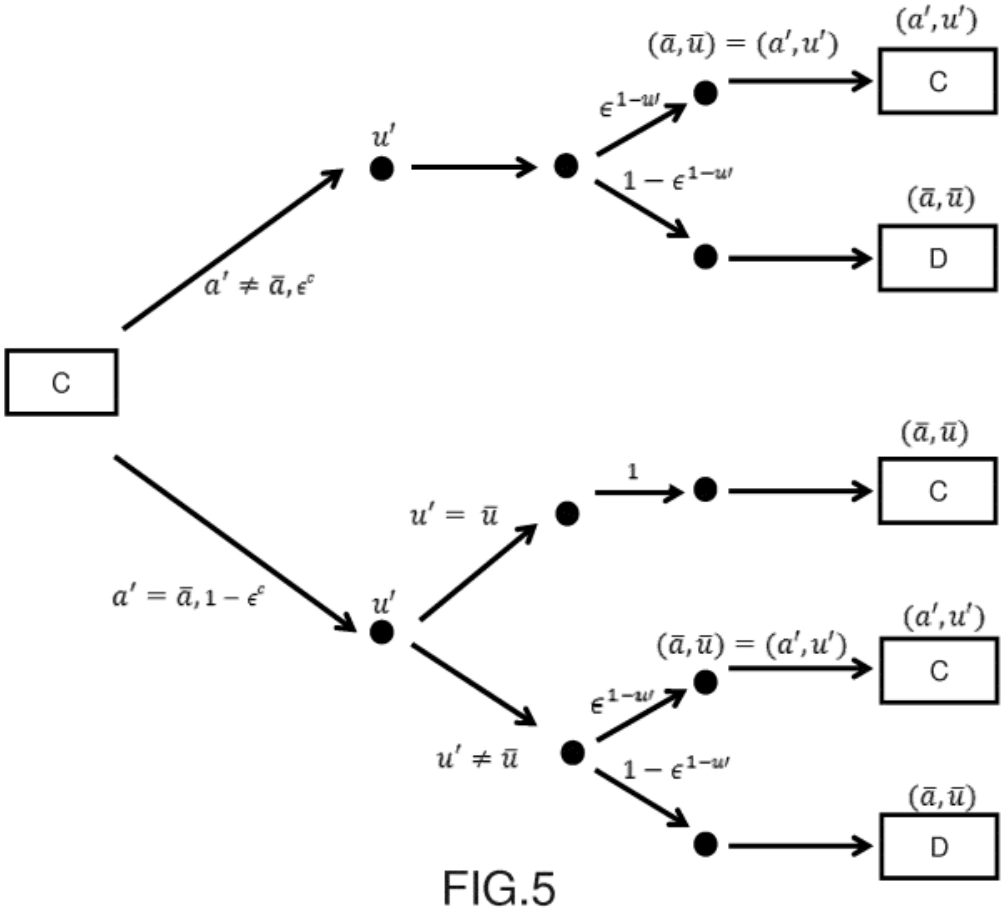
$(\bar{a},\bar{u}) = (a',u')$
$(a',u')$
C
$\epsilon^{1-u'}$
$u'$
$1-\epsilon^{1-u'}$
$(\bar{a},\bar{u})$
D
$a' \neq \bar{a}, \epsilon^c$
C
$(\bar{a},\bar{u})$
1
$u' = \bar{u}$
C
$a' = \bar{a}, 1-\epsilon^c$
$u'$
$(\bar{a},\bar{u}) = (a',u')$
$(a',u')$
C
$\epsilon^{1-u'}$
$u' \neq \bar{u}$
$1-\epsilon^{1-u'}$
$(\bar{a},\bar{u})$
D

FIG.5

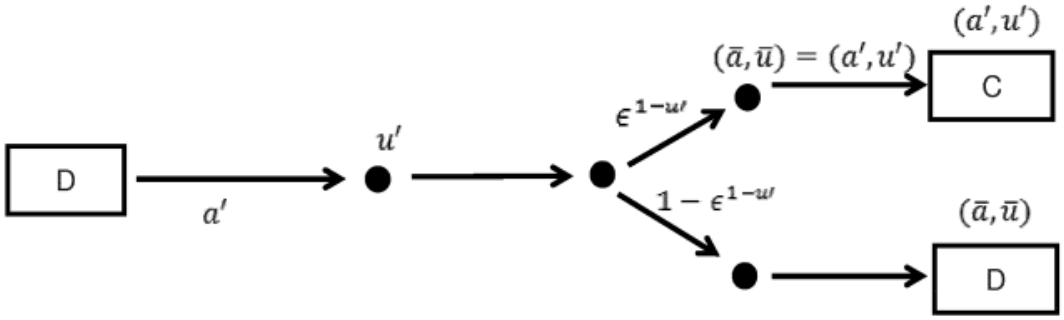
D
$a'$
$u'$
$\epsilon^{1-u'}$
$1-\epsilon^{1-u'}$
$(\bar{a},\bar{u})=(a',u')$
$(a',u')$
C
$(\bar{a},\bar{u})$
D

FIG.6

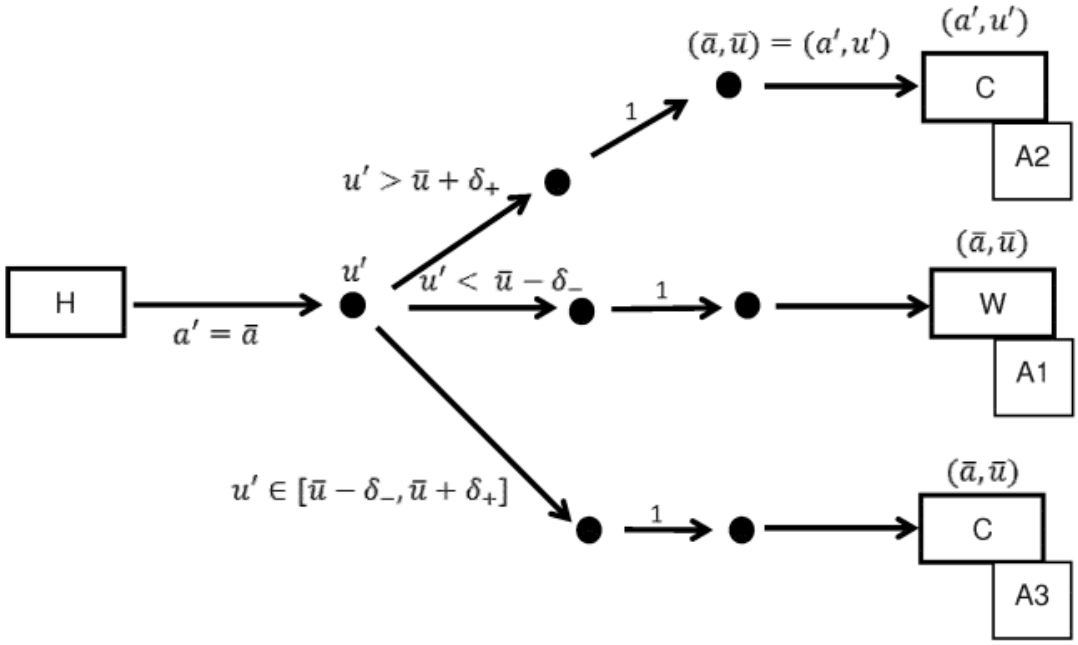
H
$a'=\bar{a}$
$u'$
$u'>\bar{u}+\delta_+$
$u'<\bar{u}-\delta_-$
$u'\in[\bar{u}-\delta_-,\bar{u}+\delta_+]$
1
1
1
$(\bar{a},\bar{u})=(a',u')$
$(a',u')$
C
A2
$(\bar{a},\bar{u})$
W
A1
$(\bar{a},\bar{u})$
C
A3

FIG.8

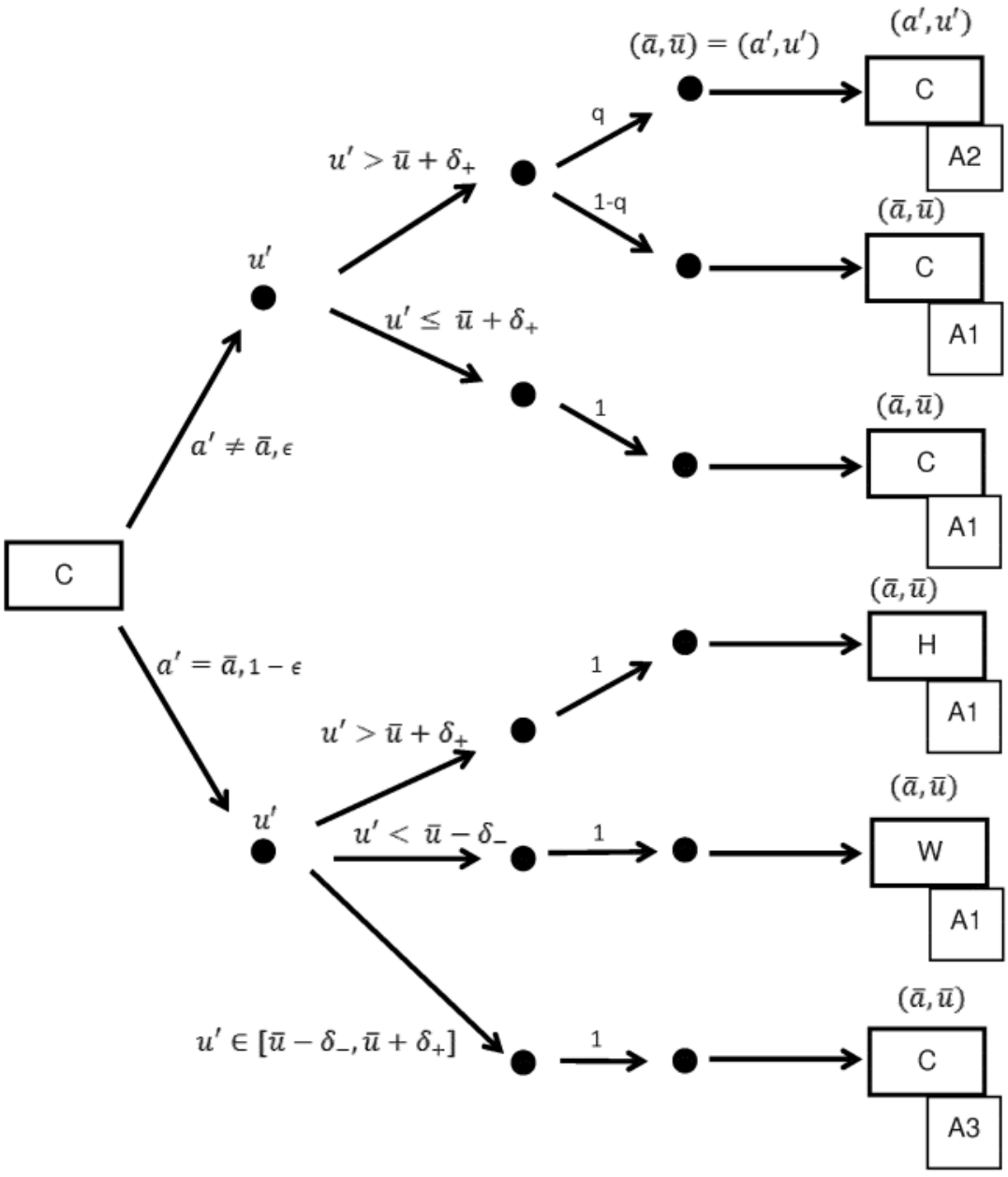
C
$a' \neq \bar{a}, \epsilon$
$a' = \bar{a}, 1-\epsilon$
$u'$
$u'$
$u' > \bar{u} + \delta_+$
$u' \leq \bar{u} + \delta_+$
$u' > \bar{u} + \delta_+$
$u' < \bar{u} - \delta_-$
$u' \in [\bar{u} - \delta_-, \bar{u} + \delta_+]$
q
1-q
1
1
1
1
$(\bar{a}, \bar{u}) = (a', u')$
$(a', u')$
C
A2
$(\bar{a}, \bar{u})$
C
A1
$(\bar{a}, \bar{u})$
C
A1
$(\bar{a}, \bar{u})$
H
A1
$(\bar{a}, \bar{u})$
W
A1
$(\bar{a}, \bar{u})$
C
A3

FIG.7

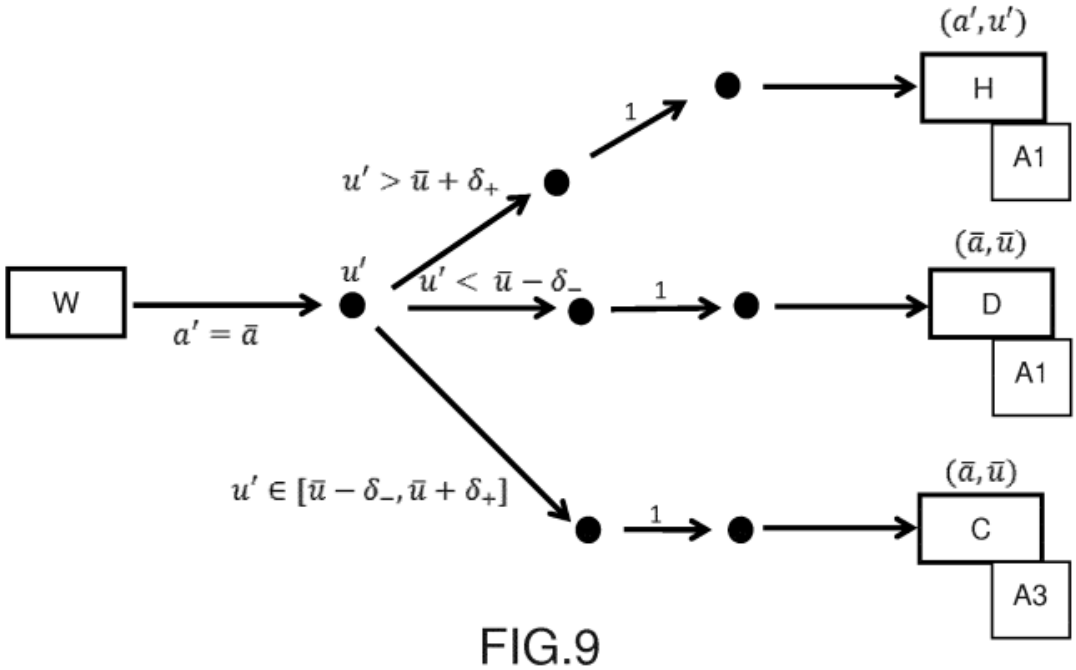
$(a', u')$
H
A1
1
$u' > \bar{u} + \delta_+$
$u'$
$u' < \bar{u} - \delta_-$
W
$a' = \bar{a}$
1
$(\bar{a}, \bar{u})$
D
A1
$u' \in [\bar{u} - \delta_-, \bar{u} + \delta_+]$
1
$(\bar{a}, \bar{u})$
C
A3

FIG.9

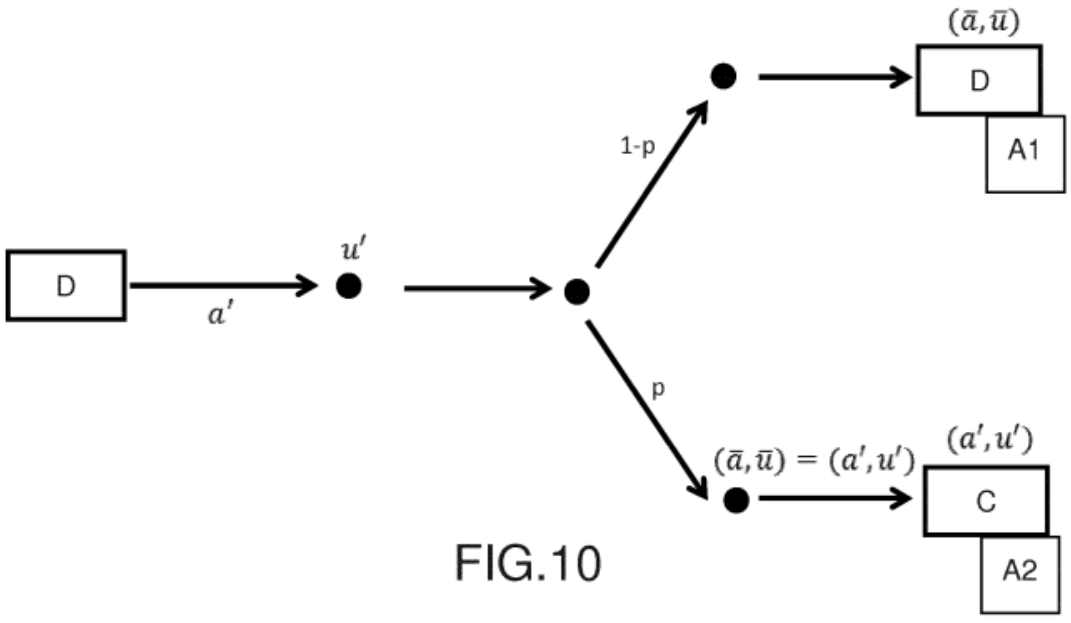
$(\bar{a}, \bar{u})$
D
A1
1-p
$u'$
D
$a'$
p
$(\bar{a}, \bar{u}) = (a', u')$
$(a', u')$
C
A2

FIG.10

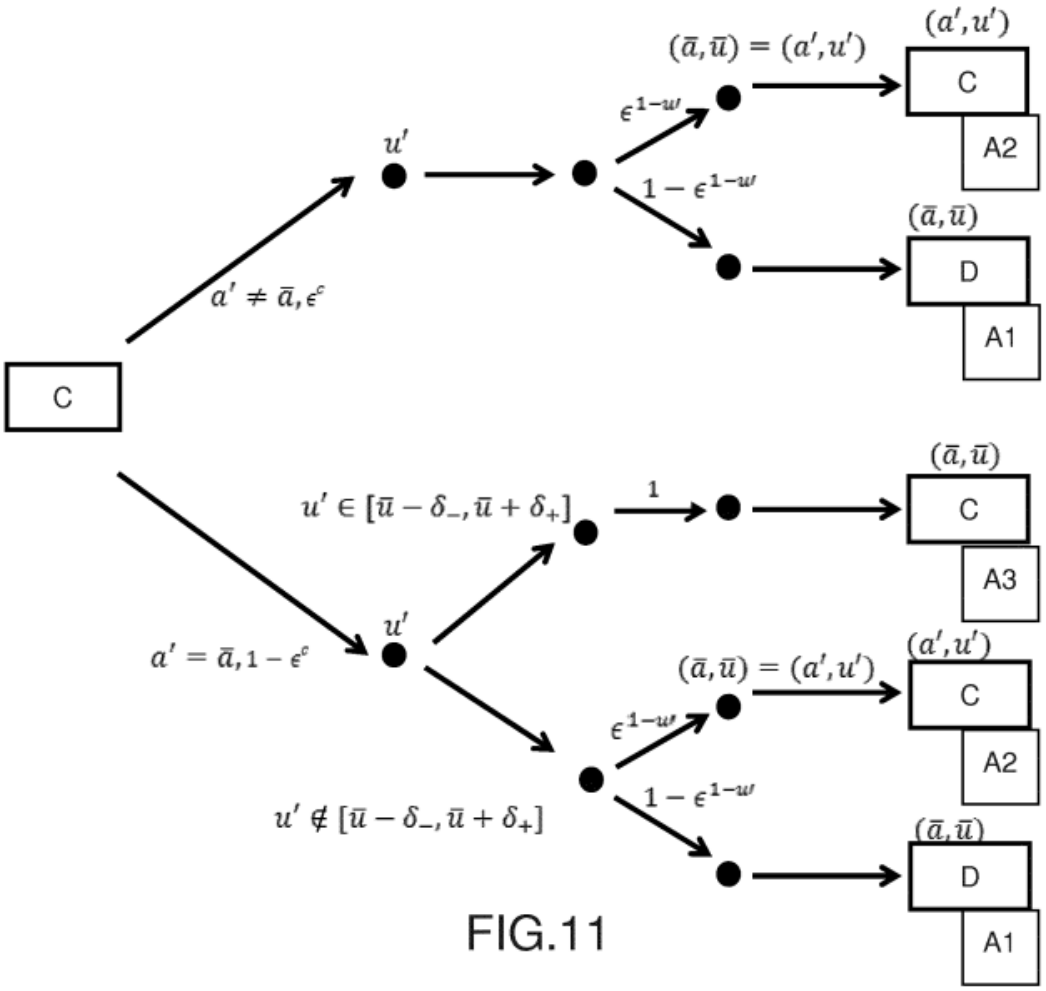
C
$a' \neq \bar{a}, \epsilon^c$
$u'$
$\epsilon^{1-u'}$
$1-\epsilon^{1-u'}$
$(\bar{a},\bar{u}) = (a',u')$
$(a',u')$
C
A2
$(\bar{a},\bar{u})$
D
A1
$a' = \bar{a}, 1-\epsilon^c$
$u' \in [\bar{u}-\delta_-, \bar{u}+\delta_+]$
$u' \notin [\bar{u}-\delta_-, \bar{u}+\delta_+]$
1
$(\bar{a},\bar{u})$
C
A3
$(\bar{a},\bar{u}) = (a',u')$
$(a',u')$
C
A2
$(\bar{a},\bar{u})$
D
A1

FIG.11

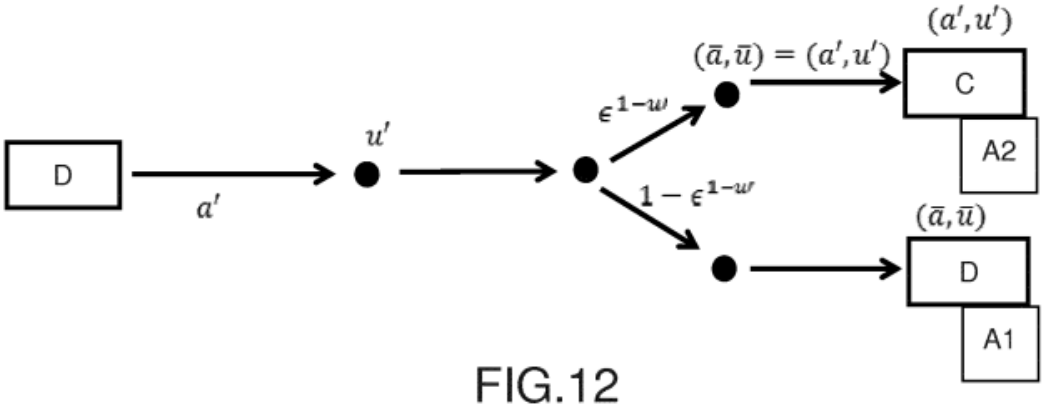
D
$a'$
$u'$
$\epsilon^{1-u'}$
$1-\epsilon^{1-u'}$
$(\bar{a},\bar{u}) = (a',u')$
$(a',u')$
C
A2
$(\bar{a},\bar{u})$
D
A1

FIG.12

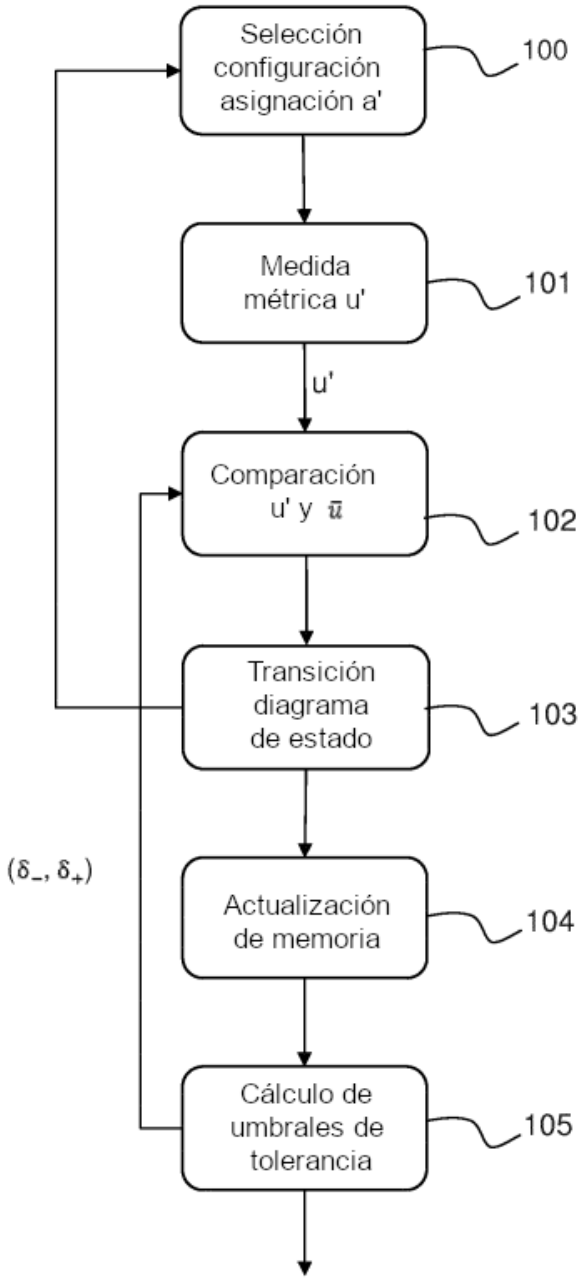
Selección configuración asignación a'
100
Medida métrica u'
101
u'
Comparación u' y $\bar{u}$
102
Transición diagrama de estado
103
$(\delta_-, \delta_+)$
Actualización de memoria
104
Cálculo de umbrales de tolerancia
105

FIG.13

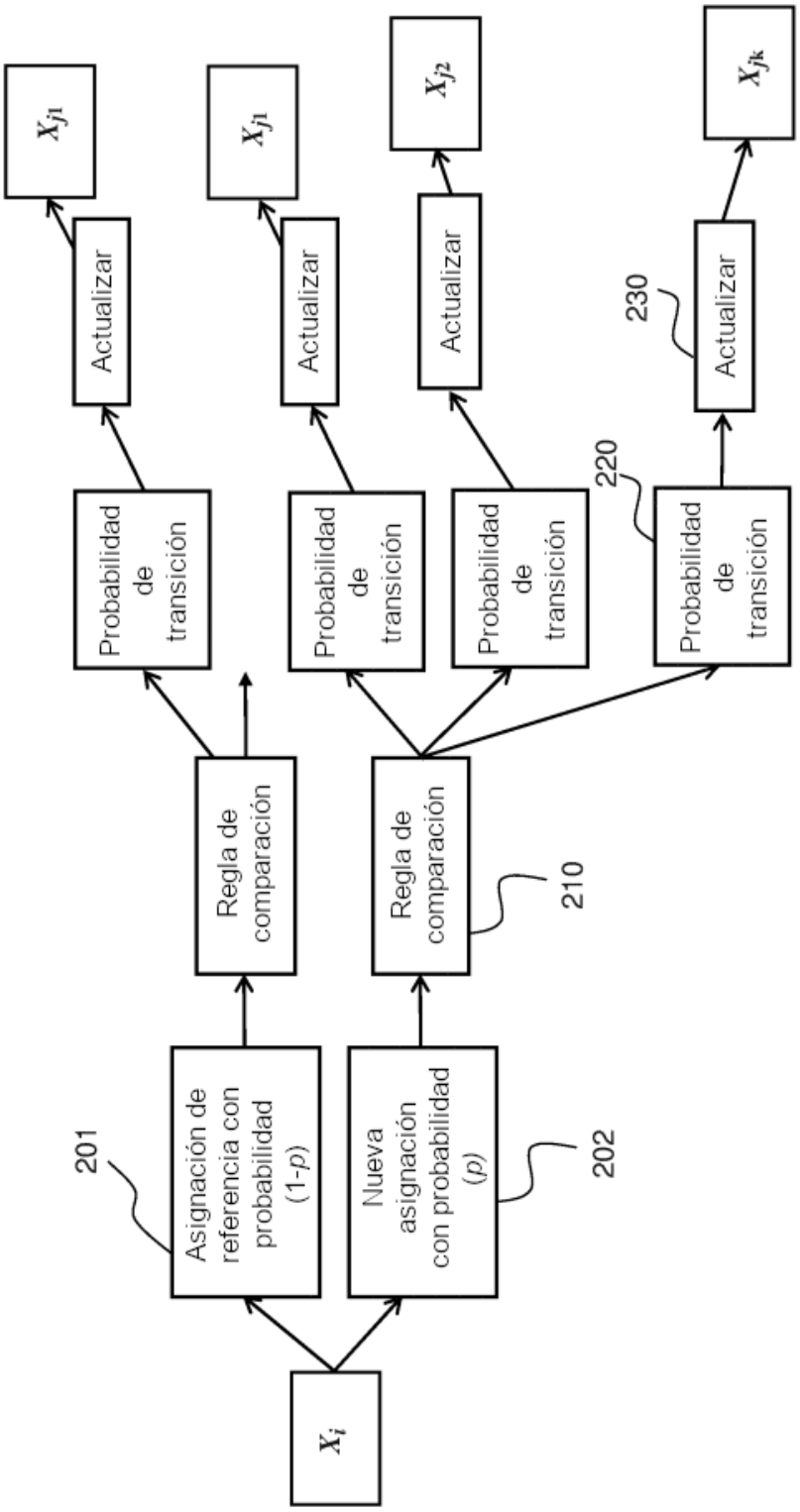
$X_i$
Asignación de referencia con probabilidad (1-$p$)
Nueva asignación con probabilidad ($p$)
201
202
Regla de comparación
Regla de comparación
210
Probabilidad de transición
Probabilidad de transición
Probabilidad de transición
Probabilidad de transición
220
Actualizar
Actualizar
Actualizar
Actualizar
230
$X_{j1}$
$X_{j1}$
$X_{j2}$
$X_{jk}$

FIG.14

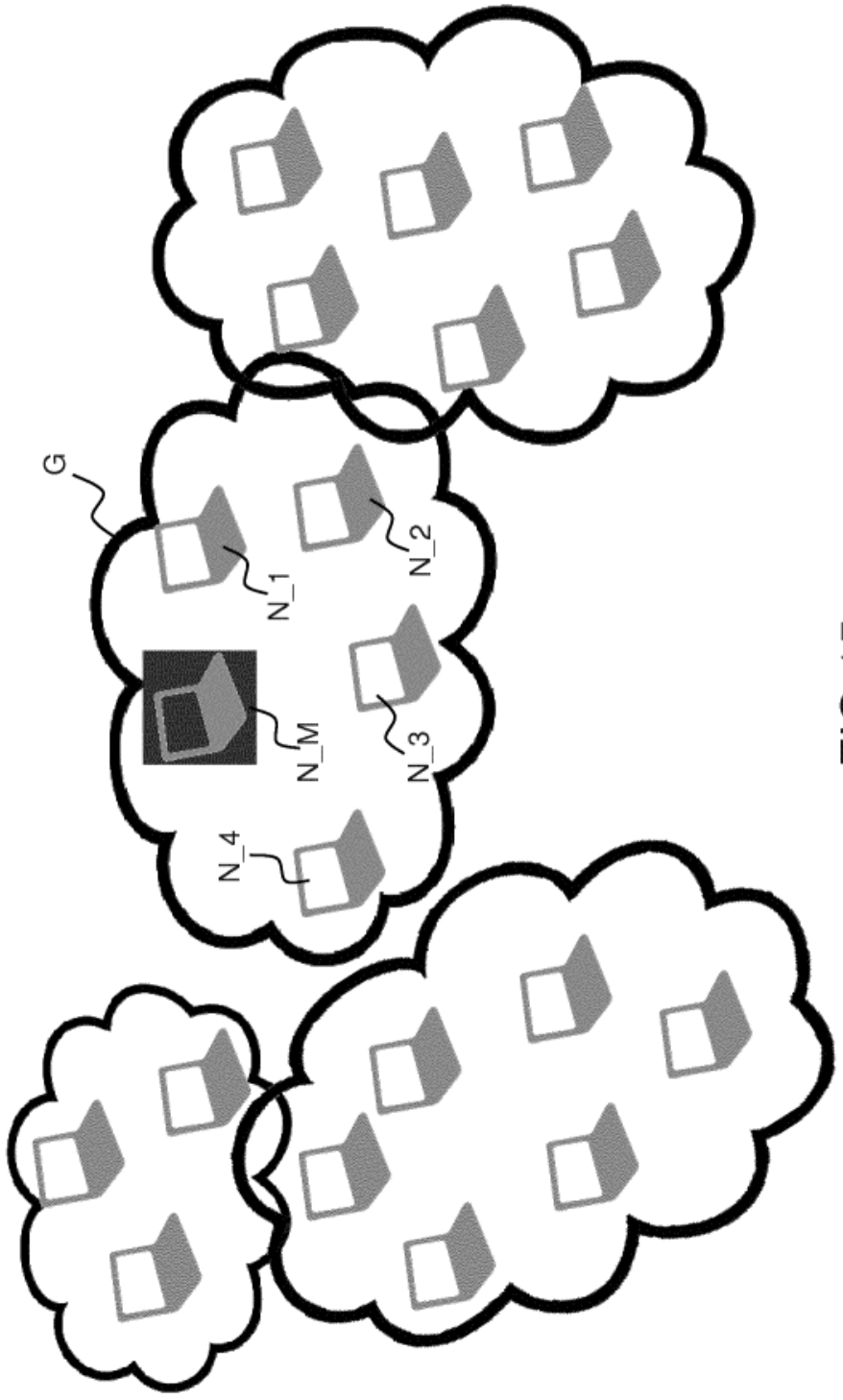


FIG.15

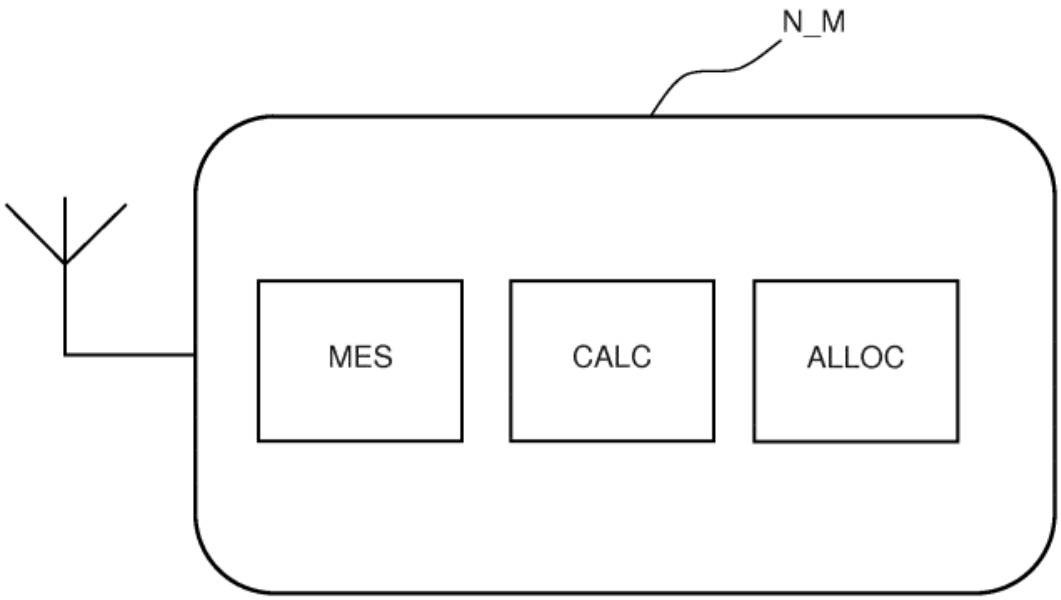


FIG.16