

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 957 269**

51 Int. Cl.:

H04W 84/18 (2009.01)

H04W 40/24 (2009.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.12.2018** **PCT/EP2018/083502**

87 Fecha y número de publicación internacional: **13.06.2019** **WO19110594**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.12.2018** **E 18808392 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.08.2023** **EP 3721656**

54 Título: **Método y conjunto que permite interactuar a terminales de usuario finales mediante una red multisalto inalámbrica de proximidad de comunicación de arquitectura dinámica**

30 Prioridad:

04.12.2017 FR 1761613

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

16.01.2024

73 Titular/es:

ECOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSEES (33.3%)

Descartes Cité 6 Avenue Blaise Pascal

77420 Champs-sur-Marne, FR;

UNIVERSITÉ GUSTAVE EIFFEL (33.3%) y

CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (C.N.R.S.) (33.3%)

72 Inventor/es:

RACHEDI, ABDERREZAK y

BADIS, HAKIM

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 2 957 269 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

Método y conjunto que permite interactuar a terminales de usuario finales mediante una red multisalto inalámbrica de proximidad de comunicación de arquitectura dinámica

La presente invención se refiere a un método y a un conjunto que permite interactuar a terminales de usuario finales mediante una red multisalto inalámbrica de proximidad de comunicación de arquitectura dinámica cuyos nodos son terminales de usuario estáticos o de escasa movilidad relativa.

Encuentran aplicación de forma ventajosa para interacciones en el ámbito de los servicios colaborativos, por ejemplo, aunque no de forma limitativa, en el ámbito viario (ayuda a la navegación, información sobre el tráfico, etc.).

Técnica anterior y campo técnico general

Tradicionalmente, las aplicaciones de tipo tiempo real, tales como, por ejemplo, a título ilustrativo, aunque no de forma limitativa, colaborativas, se alojan en recursos remotos (la "Cloud" (terminología anglosajona utilizada en lo sucesivo), dedicada o pública). Esto permite ofrecer un acceso fluido y sin fallos a recursos informáticos externos (capacidad de almacenamiento, potencia de procesamiento, etc.).

Estas aplicaciones de tipo tiempo real exigen un tiempo de respuesta limitado para evitar los retardos en la recepción y en la visualización de datos (posición, velocidad, etc.) en tiempo real. Este tiempo de respuesta comprende dos partes: el tiempo para que la Cloud reciba y procese la información y el tiempo para que los datos recorran la red entre el usuario y la Cloud, y esto de ida y vuelta.

Si bien existen medios para optimizar el tiempo de procesamiento en la Cloud, el tiempo de ida y vuelta sigue sin ser controlable ya que depende de diversos parámetros: la distancia entre la Cloud y el usuario final, el riesgo de congestiones de datos en las redes de transporte, la cobertura y la calidad de las redes de acceso de radio, ya sean celulares (3G/3G+/4G/5G) o WiFi (IEEE 802.11 n/ac/p), a las que el usuario esté conectado.

La invención propone un método y un sistema de comunicación que se inscriben en una estrategia de reducción del tiempo de ida y vuelta para el acceso a los servicios colaborativos, así como en una estrategia de reducción del coste de arquitectura para la red.

La invención descrita en la solicitud de patente FR3017017 se refiere a un método de comunicación entre un terminal de usuario alimentado por una batería y una estación base que permite una optimización de la gestión de la batería de dicho terminal de usuario.

Se observará además que, en las soluciones actuales, es necesario, para que los usuarios se beneficien del acceso a los servicios en la Cloud, que dispongan de una conexión de Internet, concretamente a través de las redes WiFi, 3G/4G/5G, etc. Tal conexión puede no obstante no estar disponible, sobre todo si el usuario se encuentra fuera de las zonas de cobertura de radio o en una zona sin nueva disponibilidad, por ejemplo cuando el terminal de acceso próximo ha alcanzado su número máximo de conexiones.

De igual modo, el usuario puede ser privado del acceso al servicio por una mala calidad del enlace de radio causada por interferencias, o también cuando su tarifa de comunicación celular se ha agotado.

Por otra parte, el coste asociado al consumo de datos al pasar por redes de acceso de pago puede ser también un impedimento.

Descripción general de la invención

Un objetivo de la invención es acercar al usuario final a la información y utilizar recursos locales ("Fog" según la terminología anglosajona utilizada en lo sucesivo) como complemento a los recursos remotos ("Cloud Computing") para reducir el tiempo de ida y vuelta y amortiguar los retardos en la recepción de los datos.

Otro objetivo de la invención es permitir a los clientes interactuar con la aplicación propuesta o las aplicaciones existentes solicitando lo menos posible las redes de acceso tradicionales (3G/3G+/4G/5G).

Otro objetivo adicional es permitir apoyarse en una comunidad colaborativa y participativa de usuarios (conductores, peatones, ciclistas, comerciantes, colectividad local, ...) para enriquecer la base de datos, afinar los cálculos y responder al carácter social.

En particular, según un aspecto, la invención propone un método de comunicación entre terminales capaces de llevar a cabo entre ellos comunicaciones inalámbricas de proximidad cuando estén a distancias que lo permitan, así como comunicarse individualmente con recursos remotos.

En este método, se utilizan los terminales que son estáticos o de escasa movilidad relativa para que formen conjuntamente los nodos de una red local de comunicación de arquitectura dinámica. Los distintos terminales situados a una distancia que permite el establecimiento de una comunicación inalámbrica de proximidad con al menos uno de los terminales de usuario estáticos o de escasa movilidad relativa, pueden interactuar entonces entre sí a través de esta red.

Por lo tanto, más concretamente, la invención propone un método de comunicación entre terminales de usuario finales y terminales de usuario estáticos o de escasa movilidad relativa entre sí,

estando adaptados estos terminales para establecer entre ellos, a través de un primer enlace de comunicación, que es un enlace de comunicación inalámbrica, comunicaciones inalámbricas de proximidad cuando estén a distancias que lo permitan, y además comunicarse individualmente, a través de un segundo enlace de comunicación, que es un enlace de comunicación celular, con al menos un servidor de recursos remoto, que es un servidor de control accesible a través de una red de tipo "Cloud Computing".

En este método,

- los terminales de usuario estáticos o de escasa movilidad relativa forman conjuntamente los nodos de una red de comunicación de proximidad multisalto de arquitectura dinámica e interactúan entre sí en esta red a través de su primer enlace de comunicación inalámbrica,

- interactuando estos terminales de usuario estáticos o de escasa movilidad relativa de la red de proximidad multisalto con al menos el servidor de control que supervisa la arquitectura de dicha red de proximidad multisalto,

- y siendo los otros terminales de usuario, los terminales de usuario finales y que se comunican con al menos uno de los terminales de usuario estáticos o de escasa movilidad relativa de la red a través del primer enlace de comunicación inalámbrica.

Este método, que comprende las etapas siguientes:

- cada terminal transmite a través del segundo enlace de comunicación celular al servidor o a los servidores de control información de control tal como una información de identificación y de posicionamiento, además de una información relativa a al menos un parámetro técnico,

- dependiendo de la información de control recibida, el servidor de control:

- selecciona los terminales estáticos o de escasa movilidad relativa de entre el conjunto de terminales, denominándose los otros terminales, terminales finales,

- determina un grafo cuyos nodos son terminales estáticos o de escasa movilidad relativa, estando dos nodos conectados por una arista si la distancia entre ellos es inferior a la distancia que les permite interactuar directamente entre sí a través de la red de proximidad multisalto dinámica,

- determina, en este grafo de nodos, un subgrafo de nodos dominantes, optimizándose la determinación de este subgrafo para minimizar el número de nodos y respetar una condición dada sobre al menos un parámetro técnico dado,

- selecciona, en el subgrafo de nodos dominantes, al menos un nodo pasarela capaz de establecer comunicación con la red de tipo Cloud Computing a través de su segundo enlace de comunicación celular,

- selecciona los nodos del grafo que no pertenecen a los nodos del subgrafo, como nodos que tienen únicamente la función de acceso/retransmisión a la red de proximidad multisalto dinámica para los terminales de usuario finales,

- transmite a través del segundo enlace de comunicación celular únicamente, de forma individual para cada uno de los distintos terminales estáticos o de escasa movilidad relativa, su estatus jerárquico: de nodo pasarela, de nodo dominante o de simple nodo de acceso/retransmisión que se les ha atribuido, para constituir la red de proximidad multisalto dinámica de comunicación durante un periodo en función de la configuración en curso de los terminales estáticos o de escasa movilidad relativa.

De forma ventajosa, una vez que se ha constituido la red de proximidad multisalto dinámica de comunicación, cuando un terminal de usuario final o un terminal de usuario estático o de escasa movilidad relativa emite una solicitud, este terminal emite:

- en un primer momento, a través de su primer enlace de comunicación inalámbrica, a la red de proximidad multisalto de comunicación, siendo los nodos dominantes aptos para gestionar dicha solicitud para responder al terminal que les interroga,

- en un segundo tiempo, sin respuesta satisfactoria de los nodos dominantes, al servidor de control,
o bien directamente a través de su segundo enlace de comunicación celular,

5 o bien mediante otro terminal que sea un nodo pasarela, en comunicación con el servidor de control, a través del segundo enlace de comunicación celular de este otro terminal.

10 El servidor de control puede subdividir el grafo en varias zonas geográficas de interés para las que se definen uno o varios parámetros técnicos, y calcula la red de proximidad multisalto dinámica de comunicación que presenta terminales estáticos o de escasa movilidad relativa en estas zonas geográficas de interés.

15 El servidor de control puede llevar a cabo su procesamiento sobre varios parámetros técnicos y define un orden de prioridad de estos parámetros técnicos. Concretamente, el servidor de control puede definir un orden de prioridad en cada zona geográfica de interés.

El o los parámetros técnicos transmitidos por un terminal al servidor de control pueden elegirse de entre la lista que sigue:

- grado de conectividad con los otros terminales (número de nodos vecinos directos);
- 20 - cobertura de radio (alcance de radio);
- calidad de conexión; (1) La calidad de conexión entre los terminales y la red de operador y 2) La calidad de conexión entre los terminales y la red de proximidad);
- 25 - capacidad de memoria para el almacenamiento de datos;
- nivel de energía de batería disponible;
- velocidad del terminal (velocidad del terminal con respecto al suelo (velocidad "clásica") y velocidad relativa con respecto a sus vecinos);
- 30 - calidad de la conexión del terminal a la red de proximidad multisalto dinámica;
- reputación electrónica u otra información de la persona titular del terminal característica de las redes sociales.

35 De igual modo, la condición técnica puede estar definida por:

- un umbral, concretamente cuando el parámetro técnico es la cobertura de radio; o
- 40 - de dos a cuatro clases de intervalos para un parámetro técnico, concretamente cuando el parámetro técnico es la capacidad de memoria para el almacenamiento de datos o el nivel de energía de batería disponible.

En concreto, la condición técnica puede estar definida para un umbral de cobertura de radio en una zona de interés. Concretamente:

- 45 - se consideran dos parámetros técnicos: el grado de conectividad y la cobertura de radio que tiene un orden de prioridad inferior al del grado de conectividad;
- se calcula el solapamiento de la cobertura de radio de los nodos con la o las zonas geográficas de interés, se conservan los nodos que tengan la mayor cobertura de radio en la o las zonas geográficas de interés como nodos dominantes, y se reinicializa la superficie de las zonas de interés ZI que se han de cubrir fuera de las coberturas de radio de los nodos dominantes determinados, para encontrar otros nodos dominantes adicionales si es necesario para cubrir la zona de interés ZI; una zona geográfica de interés (ZI) es una zona definida por la aplicación y que puede tener varias formas (círculo, cuadrado, polígono, etc.) con un tamaño fijo o distinto (el tamaño puede expresarse en función del alcance de radio).

55 Pueden alojarse datos en los nodos dominantes de la red de proximidad multisalto dinámica de comunicación, y que proceden de la red de tipo Cloud Computing, del servidor de control y/o de los terminales, pudiendo los nodos dominantes comunicarse y compartir entre ellos los datos.

60 El alcance en exteriores de las comunicaciones para el primer enlace de comunicación inalámbrica es por ejemplo inferior a 300 metros, y para el segundo enlace de comunicación celular, superior a 400 metros.

Los terminales están configurados, por ejemplo, con interfaces de comunicación Wifi y/o Bluetooth y/o Zigbee y/o V2X y/o C-V2X, DSRC para su primer enlace inalámbrico, y con interfaces de comunicación 2G y/o 3G y/o 4G y/o 65 LTE y/o 5G para su segundo enlace de comunicación celular, siendo el servidor de control conforme con el modelo SDN, presentando cada terminal una unidad de control correspondiente.

Quando el servidor de control detecta la llegada y/o la salida de terminales estáticos o de escasa movilidad relativa, puede reiniciar la determinación de los estatus de los nodos de la red constituidos por los terminales estáticos o de escasa movilidad relativa.

Para la determinación del subgrafo que incluye una o varias zonas geográficas de interés (ZI), el servidor de control puede llevar a cabo 4 etapas sucesivas:

- en una primera etapa, formar un Maximum Independent Set (MIS) en el grafo, y de forma independiente en la o las zonas geográficas de interés del subgrafo si el grafo incluye una o varias zonas geográficas de interés;

- en una segunda etapa, formar un Minimum Dominating Set (mDS):

- (i) calculando las puntuaciones del o de los parámetros técnicos para cada nodo del grafo, para obtener primeros nodos dominantes,

- cumpliendo estas puntuaciones la condición sobre el o los parámetros técnicos para los nodos dominantes, (la puntuación es un valor de un parámetro técnico en una métrica dada. Concretamente, en el caso de varios parámetros técnicos, esta métrica es una métrica mixta, dependiendo el valor (denominado puntuación) de los valores de los distintos parámetros técnicos; estos valores deben por ello sufrir una transformación para ser representados en el mismo dominio (por ejemplo, en el intervalo [0-1]). Además, estos parámetros técnicos no tienen el mismo grado de importancia/prioridad. Por lo tanto, cada parámetro técnico posee un coeficiente de ponderación que expresa esta importancia o diferencia en relación con los otros); una vez que estos nodos negros se fijan, su puntuación ya no tiene importancia, y se pasa a la determinación de otros nodos negros con el cálculo de la puntuación de estos últimos.

- (ii) actualizando las puntuaciones del o de los parámetros técnicos;

- (iii) determinando otros segundos nodos dominantes además de los primeros nodos dominantes, reiniciando la fase (i) y la fase (ii) hasta que la condición no se cumpla para los nodos restantes;

- en una tercera etapa, actualización de los nodos restantes en nodos dominados en el grafo completo para el que se han agrupado todas las zonas de interés; y actualización de las puntuaciones del o de los parámetros técnicos, y determinación de otros nodos dominantes a partir de los nodos dominados;

- en una cuarta etapa, interconectar los nodos dominantes entre sí para formar un Minimum Connected Dominating Set (mCDS).

El servidor de control puede eliminar previamente en la primera etapa los nodos que no respeten la clase de intervalo deseada para la condición técnica dada sobre el parámetro técnico dado, determinándose las clases de intervalo mediante un cálculo de puntuación del parámetro técnico. En concreto, el servidor de control transforma nodos dominados en nodos dominantes en la tercera fase tras la agrupación de todas las zonas de interés para formar el grafo completo.

En una realización posible del método propuesto, en concreto:

- un primer parámetro técnico puede ser prioritario en relación con al menos un segundo parámetro técnico;

y:

- en la segunda etapa, se atribuye al nodo cuya puntuación respete la clase de intervalo deseada (o un umbral dado) para el primer parámetro técnico, el estado de nodo dominante

y en caso de igualdad con uno o varios nodos cuya puntuación respete la clase de intervalo deseada (o el umbral),

el nodo que respete la clase de intervalo deseada para un segundo parámetro técnico (o que tenga la mayor puntuación),

y en caso de nueva igualdad con uno o varios nodos cuya puntuación respete la clase de intervalo deseada del segundo parámetro técnico,

el nodo que respete también la clase de intervalo deseada para un tercer parámetro técnico que sea menos prioritario que el segundo parámetro técnico, o uno de estos nodos si no hay tercer parámetro técnico,

- y a continuación, en la segunda etapa, se atribuye a los vecinos del nodo calificado de nodo dominante y que no sean nodos dominantes el estatus de nodos intermedios.

El método encuentra concretamente aplicación en el caso en el que los terminales son vehículos que integran equipos de sistemas de comunicación que pueden ser de a bordo o no de a bordo, teléfonos portátiles u ordenadores.

Por terminales con escasa movilidad relativa, puede entenderse por ejemplo terminales que presentan velocidades entre sí inferiores o iguales a una velocidad de peatón / que permanecen en la zona de interés / y que permanecen siempre en conexión a través de la red de proximidad multisalto dinámica con los mismos terminales estáticos o de escasa movilidad relativa vecinos de la Fog, tales como vehículos parados.

La invención se refiere además a un conjunto que comprende terminales de usuario finales y terminales de usuario estáticos o de escasa movilidad relativa, estando adaptados estos terminales para establecer entre ellos comunicaciones inalámbricas de proximidad cuando estén a distancias que lo permitan a través de un primer enlace de comunicación inalámbrica, y también comunicarse individualmente con recursos remotos a través de un segundo enlace de comunicación celular,

en el que los terminales de usuario estáticos o de escasa movilidad relativa forman conjuntamente los nodos de una red de proximidad multisalto de comunicación de arquitectura dinámica,

comunicándose los otros terminales, denominados terminales de usuario finales, con al menos uno de los terminales de usuario estáticos o de escasa movilidad relativa de la red a través de un primer enlace de comunicación inalámbrica,

incluyendo también el conjunto al menos un servidor remoto de control de la arquitectura de dicha red, que a su vez está conectado a una red de tipo Cloud Computing, y con el cual interactúan los terminales de usuario estáticos o de escasa movilidad relativa de la red de proximidad multisalto,

los terminales de usuario finales comunican al servidor de control únicamente su información de control a través de un segundo enlace de comunicación celular, y se comunican con la red de proximidad multisalto dinámica de comunicación únicamente a través de su primer enlace de comunicación inalámbrica,

estando funcionalizados los terminales de usuario estáticos o de escasa movilidad relativa como sigue:

- terminales estáticos o de escasa movilidad relativa, denominados nodos dominantes, responden a las solicitudes de los terminales de usuario finales y alojan datos procedentes de la red de tipo Cloud Computing, del servidor de control y/o de los terminales,

- siendo solo una parte de estos terminales estáticos o de escasa movilidad relativa nodos dominantes pasarela que se comunican, a través del primer enlace de comunicación inalámbrica y/o del segundo enlace de comunicación celular, con el servidor de control;

- terminales estáticos o de escasa movilidad relativa denominados nodos de acceso/retransmisión a la red de proximidad multisalto.

Los terminales son por ejemplo vehículos, teléfonos portátiles u ordenadores. Son terminales estáticos o de escasa movilidad relativa los vehículos parados.

Presentación de las figuras

- las figuras 1a y 1b ilustran la arquitectura general de un sistema de comunicación según un modo de realización posible

- las figuras 2a y 2b ilustran los conceptos de CDS y MIS;

- las figuras 3a a 3c ilustran la fase 1 de un ejemplo de realización de un algoritmo según la invención (cálculo del MIS);

- las figuras 4a a 4d ilustran la fase 2 del mismo algoritmo (cálculo del mDS);

- la figura 5 ilustra un ejemplo de cálculo de puntuaciones para una zona de interés y una condición de cobertura de radio;

- las figuras 6a, 6b y 7a a 7c ilustran las fases 3a y 3b del mismo algoritmo;

- las figuras 8a, 8b ilustran otra variante de realización de estas etapas;

- las figuras 9a, 9b y 10a, 10b ilustran la cuarta fase del mismo algoritmo;

- las figuras 11 a 13a-13g ilustran otra realización con el mismo algoritmo;

- las figuras 14a, 14b y 14c proporcionan resultados de dimensiones de redes Fog obtenidos en función del número de nodos de salida (figura 14a), en función de las dimensiones de las zonas de interés que se han de cubrir (figura 14b) o en función del número de zonas de interés que se han de cubrir (figura 14c).

5 Descripción de uno o más modos de realización de la invención

Arquitectura general

En la figura 1a se ilustra la arquitectura general de un sistema de comunicación según un modo de realización posible.

Esta arquitectura general se compone de cuatro capas independientes:

- una capa 1 denominada "usuario final",
- una capa 2 que forma los nodos de la red virtual de proximidad multisalto de arquitectura dinámica,
- una capa 3 de acceso que incluye medios habituales de una red de comunicación, por ejemplo, tal como una red celular o una red WiFi,
- una capa 4 Cloud en la que hay un controlador 6.

Capa "usuario final"

La capa 1 "usuario final" está constituida por terminales que incluyen medios 5 de comunicación (teléfonos portátiles, ordenadores, paneles de a bordo conectados de un vehículo o cualquier otro medio de comunicación adaptado).

Estos terminales 5 de comunicación incluyen concretamente tres interfaces:

- una para la comunicación de los terminales entre sí cuando están cerca (alcance inferior o igual a 500 metros) (por ejemplo una interfaz WiFi (IEEE 802.11n/ac/p) y/o Bluetooth y/o Zigbee y/o V2X y/o C-V2X y/o DSRC, etc.),
- otra para la comunicación con recursos remotos (interfaz celular (3G/3G+/4G/LTE/5G) por ejemplo),
- una interfaz de geolocalización (posicionamiento por satélite, por ejemplo).

Los usuarios han descargado previamente en estos terminales 5 la aplicación correspondiente al servicio de información compartida al que desean tener acceso.

Esta aplicación es por ejemplo una aplicación de navegación y de información de tráfico comunitaria.

También son posibles otros tipos de servicios que utilizan un acceso a datos compartidos. En concreto, el servicio puede prever, de forma complementaria o independientemente de la aplicación de navegación y de información de tráfico, servicios de compartición de música, y de forma más general de compartición de datos diversos: información en plazas de aparcamiento disponibles, promociones en tiendas dadas, datos IdC (Internet de las cosas), etc.

Al instalar la aplicación y después de una fase de registro, el usuario pasa a ser un miembro de la comunidad. Puede entonces beneficiarse de servicios originales de la aplicación, a saber, por ejemplo, la navegación y el estado del tráfico. Pueden ponerse a su disposición otros servicios progresivamente según su contribución a la infraestructura de red y a la comunidad.

Red virtual de proximidad multisalto de arquitectura dinámica

La aplicación descargada en los terminales 5 determina en ellos, interrogando a la interfaz de localización, si están en movimiento o si, por el contrario, son estáticos o están en una situación de escasa movilidad relativa.

Estos terminales estáticos o de escasa movilidad relativa (vehículos parados, por ejemplo), indicados por 5A en la figura 1a, se utilizan para constituir la red virtual y formar una infraestructura de red temporal y oportunista.

Cuando es activado por la aplicación y esta detecta que se trata de un terminal estático o de escasa movilidad relativa, tal terminal 5A detecta en un primer momento, en la comunidad, a sus vecinos, que también son estáticos o de escasa movilidad relativa, utilizando el protocolo "Bonjour" en la interfaz WiFi.

A continuación envía un mensaje al controlador 6 de la capa 4, a través de la interfaz móvil o WiFi, indicándole su posición de geolocalización, así como distintos parámetros técnicos, por ejemplo: calidad de conexión WiFi y celular, capacidad de memoria para el almacenamiento de datos, lista de sus vecinos, grado de conectividad con los otros terminales, nivel de energía de batería disponible, velocidad del terminal, calidad de la conexión del terminal en la

red de proximidad multisalto dinámica (cuando se crea esta), reputación electrónica u otra información de la persona titular del terminal característica de redes sociales, etc.

5 El controlador 6, al recibir los mensajes de todos los usuarios de escasa movilidad relativa, construye una topología de red de usuarios.

Los nodos de esta red son los terminales móviles 5A.

10 Dos nodos 5A está conectados por una arista si la distancia entre ellos es inferior al radio de la cobertura que les permite interactuar directamente entre ellos,

En esta topología, el controlador 6 ejecuta el algoritmo que se describirá a continuación para determinar el papel de cada usuario.

15 Por lo tanto, de entre los terminales 5A:

- algunos (indicados con R en la figura 1b) desempeñarán el papel de retransmisores y forman la red de acceso WiFi a la Fog,

20 - otros (indicados con F en la figura 1b) desempeñarán el papel de nodo de la red de recursos locales (red Fog),

- otros más desempeñarán el papel de pasarela ("gateway" P en la figura 1b) asegurando la conexión de la Fog a las redes de acceso tradicional (celular, terminal WiFi público, Box de un usuario, ...) para alcanzar la Cloud. La figura 3 muestra un ejemplo de tal selección.

25 Los nodos F de la red Fog se seleccionan de forma inteligente en un número mínimo, pero suficiente para reducir las interferencias WiFi entre nodos de la red, ofrecer la mejor conexión en términos de flujo a los usuarios retransmisores, ofrecer un volumen de almacenamiento importante, garantizar la tolerancia a las averías y a la movilidad.

30 Cabe señalar que este problema es un problema de optimización combinatoria NP-Completo. El algoritmo permite de encontrar soluciones casi óptimas en un tiempo de cálculo aceptable casi lineal.

Para alcanzar este objetivo, el algoritmo modeliza el problema en forma de búsqueda de un conjunto dominante óptimo conexo.

35 Los nodos dominantes representan los nodos de la Fog, pero pueden ser también a la vez retransmisores R y/o pasarelas P.

Los nodos dominados representan los retransmisores R y/o pasarelas P.

40 Otro elemento muy importante en el algoritmo es que también tiene en cuenta la presencia (cuando esto sea posible) de nodos de la Fog cerca de los centros de interés, ya sean permanentes como las intersecciones, los semáforos, cruces viarios, etc., o temporales como salas de concierto, lugares de acogida para eventos deportivos, ...

45 Esto permite a los usuarios acceder a, y recuperar rápidamente, información en zonas sensibles y de elevada densidad sin congestionar el resto de la Fog.

Por su parte, los usuarios pasarela P aseguran el enlace entre los nodos F de la red Fog y la Cloud. Cuando la red Fog no posee los datos solicitados por los clientes, interroga a la Cloud a través de usuarios que posean una buena conexión de Internet a través de las redes tradicionales (3G/3G+/4G/5G, WiFi, etc.).

50 Los usuarios P encargados de esta misión de intermediario entre la Fog y la Cloud son designados por el algoritmo dependiendo de la calidad de sus enlaces a Internet. Solo se conservan los mejores enlaces.

55 Capa 3 - Medios de comunicación tradicionales

La capa 3 está constituida por elementos tradicionales de tecnologías inalámbricas de acceso a Internet (tecnología celular o WIFI).

60 Un usuario puede conectarse a través de las redes celulares 3G/3G+/4G/5G o a través de una conexión WiFi tras un terminal público, privado o comunitario. Dado que el WiFi presenta problemas de movilidad, la escasa movilidad relativa de los usuarios de la red virtual, incluidas las pasarelas, favorece las conexiones WiFi.

Capa 4 - Cloud y controlador 6

65

El controlador 6 es el núcleo de la arquitectura. Actúa como coordinador de los distintos equipos de usuarios y permite la programación de las operaciones de red.

5 El controlador 6 aloja, con este fin, un servidor con la capacidad de personalizar los distintos parámetros del subconjunto de terminales que forman la columna vertebral de la red virtual, tal como lo define el algoritmo de formación, y de seleccionar después los nodos retransmitidos. Es accesible a través de una red en la nube informática (o "Cloud Computing" en el presente texto). La agregación de los datos y el proceso de almacenamiento forman parte de la nube informática, con posibilidad de distribuir una parte de estos servicios en los nodos F de la red Fog virtual.

10 Estas operaciones se llevan a cabo a través de la tecnología SDN (software de red) que permite configurar sobre la marcha los equipos de los usuarios de forma transparente.

Al instalar la aplicación, el servidor 6 solicita autorizaciones a los clientes, quienes pueden redefinir en todo momento sus grados de colaboración.

15 El controlador 6 SDN de la capa 4 Cloud asegura la formación y el mantenimiento de la capa de red virtual.

La elección de la tecnología SDN reside en su capacidad de proporcionar una capa de abstracción de red y acelerar su despliegue.

20 Los equipos de los usuarios solo tienen que aplicar las reglas de procesamiento de datos introducidas por el controlador.

Por lo tanto, del lado de los usuarios, los equipos no requieren el establecimiento de protocolos de enrutamiento.

25 Los usuarios también necesitan la aplicación desplegada en la Cloud, que sirve de referencia global y ofrece una disponibilidad de datos en caso de ausencia en las Fog.

Ejemplo de realización

30 Censo, por el controlador SDN, de los usuarios con escasa movilidad relativa o estáticos y sus parámetros

Cada usuario de la comunidad que es estático, con escasa movilidad relativa, envía periódicamente al controlador SDN (a través de su conexión a Internet) su identificador, su posición GPS, y diversos parámetros técnicos como la velocidad, el grado de conectividad con los otros terminales, la cobertura de radio, la calidad de conexión del terminal a la red de proximidad multisalto dinámica (calidad de conexión WiFi, por ejemplo), su calidad de conexión celular (3G/4G/5G, etc.), su capacidad de almacenamiento, su nivel de energía de batería disponible, incluso la reputación electrónica u otra información de la persona titular del terminal característica de las redes sociales.

40 Construcción de una red virtual por el controlador SDN

Dependiendo de la información enviada por los usuarios de la comunidad, el controlador SDN construye primero un grafo de conexión donde cada nodo representa un usuario, y hay una arista entre dos usuarios si la distancia entre estos es inferior al radio de cobertura WiFi.

45 Sobre la base del grafo resultante, el servidor de control (controlador 6) pone en marcha el algoritmo descrito a continuación para determinar un subconjunto óptimo de nodos dominantes y conectados entre sí para formar la red de núcleo (FoG) ("Virtual Backbone" o nodos que forman la columna vertebral de la red, que corresponde a los nodos "negros" en lo sucesivo).

50 El resto de los nodos forma la red de acceso (retransmisor) (corresponde a los nodos "blancos" en lo sucesivo).

Uno o varios de estos nodos (dominantes o dominados son también seleccionados como pasarelas para asegurar la conectividad con la Cloud.

55 Información de la configuración de cada usuario

Tras haber determinado el papel de cada usuario, el controlador SDN informa a cada usuario de su papel (retransmisor F y/o nodo de Fog F y/o pasarela P y de su configuración (dirección IP, frecuencia utilizada, ...)

60 Un gestor de SDN instalado en los terminales 5 de los usuarios permite llevar a cabo la configuración.

Gestión de almacenamiento de datos en la Fog

Los datos alojados en los nodos F de Fog pueden proceder tanto de la Cloud como de los usuarios finales.

En el primer caso, la Cloud comparte explícitamente con la Fog datos relativos a la geolocalización de esta última. En otras palabras, la Cloud se repartirá en varias Fog. Evidentemente, esta operación está condicionada por la capacidad de almacenamiento de las Fog.

5 En el segundo caso, las solicitudes más frecuentemente solicitadas y las notificaciones de los clientes también se almacenan en la Fog.

En el primer caso, como en el segundo, se utiliza una tabla de hash distribuida (DHT) para geolocalizar los nodos de la Fog que posee los datos.

10 Mantenimiento de la red Fog

Para detectar cambios en la topología (grafo), los terminales deben enviar periódicamente sus posiciones así como sus parámetros al controlador 6 (véase la lista proporcionada ya anteriormente como ejemplo).

15 Cuando el controlador SDN 6 detecta la llegada y/o la salida de los terminales de escasa movilidad relativa, reinicia la reconstrucción de la Fog.

20 Ejemplos de servicios propuestos

Como ya se ha indicado, los servicios e información compartidos a los que pueden tener acceso los usuarios pueden ser de distintos tipos:

- ayuda a la navegación / geolocalización en tiempo real,
- información del tráfico / seguridad vial (señalización de incidentes en la vía y de la presencia de zonas de peligro, o también de la presencia de radares o de la policía en el arcén, etc.),
- intercambios de contenido multimedia,
- descarga de nuevas aplicaciones móviles,
- compartición de todo tipo de datos (música, plazas de aparcamiento disponibles, promociones en una tienda, IdC, ...)
- etc.

Algoritmo de construcción de la red virtual - Aspectos generales

40 Se señalará que ya se conoce, concretamente por

- Cheng y col., 2004, CHENG, Xiuzhen, DING, Min, y CHEN, Dechang. An approximation algorithm for connected dominating set in ad hoc networks. In Proc. of International Workshop on Theoretical Aspects of Wireless Ad Hoc, Sensor, and Peer-to-Peer Networks (TAWN). 2004.

45 • (Theoleyre y Valois, 2006) THEOLEYRE, Fabrice y VALOIS, Fabrice. Auto-organisation de réseaux ad hoc: concepts et impacts. 2006.

algoritmos de construcción de redes *ad hoc* cuyo tamaño se desea sea mínimo.

50 Estos algoritmos no tienen en cuenta en modo alguno la movilidad u otros parámetros técnicos como el flujo, la batería, la cobertura de una zona de interés, la capacidad de almacenamiento, la reputación electrónica, etc. Difícilmente podrían utilizarse en el caso de redes de terminales y en aplicaciones como las previstas en la medida en que cada terminal propio ejecuta el algoritmo, lo que reduce enormemente el flujo y la batería.

55 El algoritmo de selección de nodos de la red virtual que se describe a continuación tiene la ventaja de poder tener en cuenta las zonas de interés.

60 Selecciona los nodos dominantes que servirán de nodos para la red virtual sobre la base de una función objetivo con varias condiciones sobre los parámetros técnicos definidos por la aplicación.

La función objetivo es la minimización del número de nodos.

65 Una condición necesaria viene dada por el hecho de formar un CDS, es decir, un subconjunto conexo de vértices de grafos constituidos por nodos dominantes de modo que todos los otros nodos tengan al menos un vecino dominante.

Pueden considerarse condiciones adicionales sobre los parámetros técnicos del algoritmo según las aplicaciones. Pueden ser, por ejemplo, las siguientes:

- los nodos seleccionados deben cubrir un umbral mínimo de la superficie de las zonas de interés;
- los nodos seleccionados deben tener un umbral mínimo de nivel de batería;
- los nodos seleccionados deben tener un umbral mínimo de capacidad de almacenamiento;
- los nodos seleccionados deben tener un umbral mínimo de flujo;
- y, de forma más general, todas deben ser optimizadas por el grupo de nodos seleccionados y relativas a uno o varios parámetros técnicos de los terminales (normalmente, pueden calcularse puntuaciones sobre estos parámetros y compararse con umbrales).

La puntuación es un valor de una métrica mixta que agrupa uno o varios parámetros técnicos; con el fin de mezclar los parámetros técnicos en un solo valor (denominado puntuación), deben sufrir una transformación para estar representados en el mismo dominio (por ejemplo, en el intervalo 0-1). Además, estos parámetros técnicos no tienen el mismo grado de importancia/prioridad. Por lo tanto, cada parámetro técnico posee un coeficiente que expresa esta importancia o diferencia con respecto a los otros).

La puntuación es el valor del o de los parámetros técnicos que evoluciona durante la ejecución del algoritmo. Se utiliza en la determinación de los nodos dominantes denominados negros; una vez que se fijan estos nodos negros, su puntuación ya no tiene importancia, se pasa a la determinación de otros nodos negros con el cálculo de la puntuación de estos últimos.

En caso de uso de varios parámetros técnicos, se define un orden de prioridad entre los mismos. Los nodos se seleccionan para optimizar el parámetro más prioritario y cumplir las condiciones sobre los otros parámetros. En caso de que varios nodos candidatos tengan los mismos valores de un parámetro técnico, la selección se hará por el parámetro técnico siguiente en cuanto a prioridad, y así sucesivamente... Por otra parte, los parámetros técnicos (salvo la cobertura geográfica) pueden clasificarse, gracias a los cálculos de puntuación, por segmento de intervalos para maximizar la elección y evitar seleccionar todos los nodos como nodos dominantes.

Ejemplos de clases:

- Batería: 3 niveles: M (para "Medium"), H (para "High"), L (para "Low")
- Reputaciones de redes sociales: 3 niveles: M (para "Medium"), H (para "High"), L (para "Low").

El algoritmo tiene en cuenta de forma ventajosa zonas de interés.

Terminología

A continuación, en la memoria, se utilizará la terminología siguiente

◦ CDS o "Connected Dominating Set" según la terminología anglosajona: Subconjunto conectado de vértices del grafo que constituye los nodos denominados dominantes, de modo que los otros nodos del grafo (denominados no dominantes) tengan al menos un vecino dominante; esto es lo que ilustra la figura 2a, con vértices constituidos por nodos negros;

◦ IS o "Independent Set" según la terminología anglosajona: un IS es un subconjunto de nodos que no son vecinos en el grafo;

◦ MIS o "Maximum Independent Set" es el subconjunto IS que tiene más nodos. El MIS se utiliza en las redes *ad hoc* para la construcción de los CDS; se ilustra en la figura 2b mediante los nodos negros.

Convenciones de colores

Los nodos de la red están asociados a códigos de colores que asocian los distintos nodos a distintos estatus.

Por convención,

- los nodos dominantes se asociarán al color negro,
- los nodos dominados se asociarán al color blanco,
- los nodos asociados a etapas intermedias se denominarán de color gris (relleno del nodo con puntos en las figuras)

- los nodos MIS ("Maximal Independent Set", es decir, el subconjunto de nodos del grafo que no son vecinos en el grafo y que tiene más nodos) se denominarán de color rojo (nodos sombreados horizontalmente en las figuras),

- el algoritmo utiliza también nodos denominados amarillos (nodos sombreados verticalmente en las figuras).

· Fase 1:

En la figura 3a y en las figuras siguientes se ha ilustrado una configuración de grafo inicial que incluye dos nodos (referencias 1 a 10) que representan terminales estáticos o de escasa movilidad.

Por convención, los nodos de un grafo de partida son todos considerados como "dominados" (nodos de color blanco).

En una primera variante de realización, se eliminan todos los nodos que posean una puntuación que no respete una de las condiciones.

De igual modo, si se requiere la condición adicional de cobertura de zonas de interés (ZI), se divide el grafo en subgrafos según la pertenencia de los nodos a las ZI.

En la figura 3a se han identificado dos zonas de interés, una ZI1 de la que forman parte los nodos 3 y 5, y otra ZI2 de la que forman parte los nodos 9 y 10.

Como se ilustra en la figura 3b, esto da lugar a dos subgrafos: el que constituye los dos nodos 3 y 5 conectados entre sí, y el que constituye los nodos que no están ni en ZI1 ni en ZI2 y que están conectados también entre sí (nodos 1,2, 4 y 6 a 8).

Por su parte, los nodos 9 y 10 son independientes y no forman parte de ningún subgrafo identificable.

Para cada subgrafo, el controlador calcula el MIS del mismo de la forma siguiente:

- colorear el nodo que tenga el identificador más pequeño de rojo;

- colorear sus vecinos a un salto de gris y a sus vecinos a dos saltos de amarillo (nodo 4 en la figura 3b);

- después, mientras queden nodos amarillos:

- colorear el nodo amarillo que tenga el identificador más pequeño de rojo;

- colorear sus vecinos blancos/amarillos a un salto de gris y a sus vecinos blancos a dos saltos de amarillo.

Como resultado de la fase 1, los nodos son de color rojo o gris (figura 3b). Los nodos en rojo forman el MIS.

· Fase 2:

En el estado inicial, todos los nodos son de color rojo o gris.

Para cada subgrafo, el controlador 6 realiza el procesamiento siguiente:

a) Calcular para cada nodo la puntuación de cada parámetro técnico, así como el peso de dicho nodo; el peso de un nodo es en particular igual a la suma del número de sus vecinos de color rojo (a los que está conectado en el grafo o subgrafo) y del número de sus vecinos de color negro (a los que está conectado en el grafo o subgrafo) a la que se resta 1; el peso es una métrica compuesta y está basada en los valores de los parámetros técnicos, que son: el grado de conectividad de los nodos rojos y el número de componentes de los nodos dominantes (nodos negros).

Esta métrica permite diferenciar los nodos cuando tienen el mismo valor de puntuación.

Se observará que tal peso fue presentado en el artículo de Cheng y col. (2004) al que podrá remitirse de forma ventajosa.

b) Eliminar todos los nodos con una puntuación que no respete una de las condiciones;

c) Mientras queden nodos de color gris/rojo con todas las puntuaciones superiores a los umbrales requeridos:

1) Colorear el nodo que tenga la puntuación más alta de la condición más prioritaria (romper la igualdad mediante las puntuaciones siguientes según el orden, luego el peso y a continuación el identificador) de negro;

2) Colorear sus vecinos que no sean negros de blanco.

En el ejemplo ilustrado en la figura 4a, se busca maximizar la métrica de cobertura en cada subgrafo, debiendo cubrir los nodos de cada ZI, por ejemplo, más de 70 % de las zonas de interés.

La puntuación de cobertura se indica en la figura con la variable S.

El nodo 3 tiene inicialmente una puntuación del 80 % y un peso de -1, mientras que el nodo 5 tiene una puntuación del 40 % y un peso de 0.

El nodo 3 cambia por tanto a negro, mientras que el nodo 5 se colorea de blanco.

De igual modo, los nodos 9 y 10 tienen inicialmente la misma puntuación S para la condición de cobertura (60 %) y el mismo peso P (de valor -1). Uno de los dos se elige para cambiar a negro (el del identificador más grande).

De igual modo, las puntuaciones de los nodos del subgrafo de la derecha son todas iguales a 0 % (ya que no están en las zonas de interés), mientras que los pesos de los nodos 6, 7 y 8 son iguales a 0, y los de los nodos 1 y 4 son iguales a -1. Por su parte, el peso del nodo 2 es igual a 1. El nodo 2 está, por tanto, coloreado de negro, los nodos 1 y 4 están coloreados de blanco y, por su parte, los nodos 6, 7 y 8 siguen siendo de color gris.

Finalizado este primer procesamiento, los estatus son los indicados en la figura 4b.

Se observará que solo el 5 % de la zona de interés ZI1 podrían estar también cubiertos por el nodo 5, estando el resto o bien no cubierto por los nodos 3 o 5 o bien ya cubierto por el nodo 3.

El nodo 5 tiene entonces un peso igual a 0.

Por su parte, el nodo 10 podría cubrir todavía el 30 % complementario de la zona ZI2. Su peso es igual a -1.

Los nodos 6 a 8 tienen un peso igual a 0, mientras que los nodos 1 y 4 tienen un peso igual a -1, y el nodo 2 tiene un peso igual a 1.

Para poder alcanzar el 70 % de la cobertura de la zona ZI2, el nodo 10 se cambia a un estatus que corresponde al color negro (nodo dominante) (figura 4c).

Los otros nodos permanecen inalterados dado que la condición en la zona ZI1 ya se respeta y dado que los otros nodos no intervienen en el respeto de la condición de cobertura de las zonas de interés.

Como ejemplo y de forma no limitativa, puede hacerse un cálculo de puntuación considerando las zonas de interés como circulares y la cobertura de radio de los nodos como circular; puede estudiarse así el solapamiento de los círculos y deducirse los nodos dominantes.

A continuación, se lleva a cabo la reinicialización de la cobertura de radio de las zonas de interés ZI para determinar otros nodos dominantes adicionales si es necesario para asegurar el umbral de cobertura de radio para la zona de interés ZI.

En el ejemplo ilustrado en la figura 5, la zona de interés ZI se representa mediante un círculo de radio R_k , mientras que el círculo C de radio R_i representa la cobertura de radio alrededor del nodo i. La distancia entre los centros de los dos círculos se ha indicado con d. El área de la lente asimétrica de intersección entre los dos círculos viene dada por

$$\begin{aligned} \text{Área}(i, k) = & R_k^2 \sin^{-1} \left(\frac{a}{2R_k} \right) - \sqrt{s_k(s_k - a)(s_k - R_k)^2} + \\ & R_i^2 \sin^{-1} \left(\frac{a}{2R_i} \right) - \sqrt{s_i(s_i - a)(s_i - R_i)^2}, \end{aligned} \quad (1)$$

con

$$\begin{aligned} a = & \frac{1}{d} \sqrt{(-d + R_k + R_i)(d - R_k + R_i)(d + R_k - R_i)} \\ & \times \sqrt{(d + R_k + R_i)} \\ s_k = & \frac{a + 2R_k}{2} \end{aligned}$$

$$s_i = \frac{a + 2R_i}{2}$$

La puntuación^k_i asignada al nodo i en la zona de interés ZI viene dada por la fórmula siguiente:

5

$$\text{puntuación}_i^k = \frac{\text{Área}(i, k)}{\text{Área}(k)}. \quad (2)$$

10

Cuando un nodo i que tenga la puntuación más alta en la zona de interés ZI k es seleccionado como dominante, las puntuaciones de todos los nodos j no dominantes en la misma zona de interés se actualizan por zona de solapamiento común de tres círculos (i,j,k). Más concretamente, para un nodo j no dominante en la zona de interés ZI k, su puntuación actualizada viene dada según la fórmula siguiente:

$$\text{puntuación}_j^k = \text{puntuación}_j^k - \frac{\text{Área}(i, j, k)}{\text{Área}(k)}. \quad (3)$$

15

· Fase 3.a:

Finalizado el procesamiento de la fase 2, el controlador 6 agrupa los subgrafos anteriores en un solo grafo.

20

Para cualquier nodo gris/rojo que se convierta en vecino de un nodo negro, colorea el nodo de blanco.

En el ejemplo ilustrado en las figuras 6a y 6b, el nodo 6 se convierte en blanco (estatus de nodo dominado).

· Fase 3.b:

25

En esta fase, el controlador 6 crea los subgrafos con los nodos grises restantes.

Es esto lo que ilustran las figuras 7a a 7c, en las que los nodos 7 y 8 están aislados en un nuevo subgrafo.

30

Si procede, colorea el nodo rojo/blanco vecino de uno de los nodos grises restantes, y el más próximo a un componente negro, de negro; colorea también sus vecinos de blanco.

Además, para cada subgrafo, realiza las etapas siguientes:

35

a) colorear el nodo gris que tenga más vecinos grises de negro;

b) colorear a sus vecinos de blanco;

c) mientras queden nodos grises:

40

1) colorear el nodo blanco que tenga más vecinos grises de negro;

2) colorear a sus vecinos de blanco.

45

En la figura 7c, el nodo 7 que presenta el identificador menos alto se cambia a estatus de dominante y se colorea de negro, mientras que el nodo 8 se cambia a estatus dominado y se colorea de blanco.

50

En una variante, puede llevarse a cabo directamente en el grafo de partida el procesamiento de las etapas (a), (b), (c). Esto es lo que ilustran las figuras 8a y 8b, en las que el nodo 1 que incluye los dos vecinos grises 7 y 8 se cambia al estatus de dominante (es coloreado de negro), mientras que los nodos 7 y 8 asumen el estatus de dominado (son coloreados de blanco).

· Fase 3.c:

55

En esta fase, el controlador 6 realiza las etapas siguientes:

a) restaurar el grafo completo;

b) para cada nodo rojo restante:

1) colorear este nodo de negro si tiene un vecino negro después de la etapa 3.b.

5 • Fase 4:

Mientras queden nodos blancos:

10 a) colorear uno a dos nodos blancos (el mínimo posible), siempre que no respeten las condiciones, de negro para conectar los componentes negros.

Esto es lo que ilustran las figuras 9a, 9b y 10a, 10b para las cuales el nodo 1 y los nodos 4 y 6 cambian al estatus de dominante (son coloreados de negro).

15 Al final del procesamiento, queda una red nuclear de nodos dominantes qui se utilizan entonces como columna vertebral para la red virtual de comunicación de proximidad multisalto de arquitectura dinámica.

Se ilustra otro ejemplo a partir de la figura 11 con el caso de una condición sobre el nivel de carga de la batería.

20 En el ejemplo ilustrado, el grafo incluye 10 nodos que están o bien a un nivel de carga bajo (nodos 4, 7 y 9 al nivel L), o bien a un nivel de carga medio (nodos 1, 2, 5, 6, 8), o bien a un nivel de carga alto (nodos 3 y 10 al nivel H).

25 La condición es formar una red con los niveles de carga de batería superior al nivel medio M. Las figuras 12a a 12d muestran las distintas etapas de formación del MIS. Los nodos 1, 4, 9 y 10 cambian a rojo al final de esta primera fase, mientras que los otros nodos son grises.

En una segunda fase (figuras 13a a 13g), el controlador 6 calcula el mDS a partir de los niveles de batería y del peso de los nodos. El resultado es la estructura mDS ilustrada en la figura 13g.

30 Dado que, finalizada esta fase, ningún nodo tiene un estatus de gris, no se han llevado a cabo las fases 3 y 4.

Los nodos negros constituyen una red de nodos dominantes que se utilizan entonces como columna vertebral para la red virtual de comunicación de proximidad multisalto de arquitectura dinámica.

35 Por supuesto, podrían asociarse diversas condiciones para la determinación de la red Fog, por ejemplo, la cobertura de más de 70 % de cada zona de interés y un nivel de carga de batería para cada nodo superior al nivel medio o, de forma más general, cualquier otra condición que pudiera considerarse útil.

Para llevar a cabo el método descrito anteriormente, las condiciones pueden jerarquizarse por zonas de interés.

40 Las figuras 14a, 14b y 14c proporcionan resultados de dimensiones de redes Fog obtenidos en función del número de nodos de partida (figura 14a), en función de las dimensiones de las zonas de interés que se han de cubrir (figura 14b) o también en función del número de zonas de interés que se han de cubrir (figura 14c).

45 Los resultados obtenidos en el caso del método propuesto (curvas B) y en el caso del algoritmo Cheng (curvas C) son similares si solo interesa el número de nodos de partida (figura 14a); el método propuesto permite, no obstante, una ganancia en cuanto a nodos utilizados para la constitución de la red CDS debido a las variantes de la etapa 3b ilustradas en las figuras 8a y 8b y de la de la fase 1, en la que se eliminan todos los nodos que posean una puntuación que no respete una de las condiciones.

50 Esta ganancia es tanto más sorprendente cuanto que el hecho de considerar más parámetros técnicos que Cheng llevaría *a priori* a constituir más nodos para la red, algo que está más que compensado por las variantes propuestas por los inventores.

55 Esta ganancia es mayor cuanto más grandes (figura 14b) o numerosas (figura 14c) sean las zonas de interés.

REIVINDICACIONES

1. Método de comunicación entre terminales (5) de usuario finales y terminales (5A) de usuario estáticos o de escasa movilidad relativa entre sí,

estando adaptados estos terminales (5, 5A) para establecer entre sí, a través de un primer enlace de comunicación, que es un enlace de comunicación inalámbrica, comunicaciones inalámbricas de proximidad cuando estén a distancias que lo permitan, y además comunicarse individualmente, a través de un segundo enlace de comunicación, que es un enlace de comunicación celular, con al menos un servidor de recursos remoto que es un servidor de control accesible a través de una red de tipo "Cloud Computing", en donde:

-los terminales (5A) de usuario estáticos o de escasa movilidad relativa forman conjuntamente los nodos de una red de comunicación de proximidad multsalto de arquitectura dinámica e interactúan entre sí en esta red a través de su primer enlace de comunicación inalámbrica, interactuando estos terminales (5A) de usuario estáticos o de escasa movilidad relativa de la red de proximidad multsalto con al menos el servidor (6) de control que supervisa la arquitectura de dicha red de proximidad multsalto, -y siendo los otros terminales de usuario los terminales (5) de usuario finales y que se comunican con al menos uno de los terminales (5A) de usuario estáticos o de escasa movilidad relativa de la red mediante el primer enlace de comunicación inalámbrica,

método que comprende las etapas siguientes:

-cada terminal (5, 5A) transmite a través del segundo enlace de comunicación celular al servidor o a los servidores (6) de control información de control tal como una información de identificación y de posicionamiento, además de una información relativa a al menos un parámetro técnico,

caracterizado por que, dependiendo de la información de control recibida, el servidor (6) de control:

- selecciona los terminales estáticos (5A) o de escasa movilidad relativa de entre el conjunto de terminales, denominándose los otros terminales, terminales finales (5),
- determina un grafo cuyos nodos son los terminales estáticos (5A) o de escasa movilidad relativa, estando dos nodos conectados por una arista si la distancia entre ellos es inferior a la distancia que les permite interactuar directamente entre sí a través de la red de proximidad multsalto dinámica,
- determina en este grafo de nodos un subgrafo de nodos dominantes (F), optimizándose la determinación de este subgrafo para minimizar el número de nodos y respetar una condición dada sobre al menos un parámetro técnico dado,
- selecciona, en el subgrafo de nodos dominantes (F), al menos un nodo pasarela (P) capaz de establecer comunicación con la red de tipo "Cloud Computing" a través de su segundo enlace de comunicación celular,
- selecciona los nodos del grafo (R) que no pertenecen a los nodos del subgrafo, como nodos que tienen únicamente la función de acceso/retransmisión a la red de proximidad multsalto dinámica para los terminales (5) de usuario finales,
- transmite a través del segundo enlace de comunicación celular únicamente, de forma individual para cada uno de los distintos terminales estáticos (5A) o de escasa movilidad relativa, su estatus jerárquico: de nodo pasarela (P), de nodo dominante (F) o de simple nodo de acceso/retransmisión (R) que se les ha atribuido, para constituir la red de proximidad multsalto dinámica de comunicación durante un periodo en función de la configuración en curso de los terminales estáticos (5A) o de escasa movilidad relativa.

2. Método según la reivindicación 1 en donde, una vez que se ha constituido la red de proximidad multsalto dinámica de comunicación, cuando un terminal (5) de usuario final o un terminal (5A) de usuario estático o de escasa movilidad relativa emite una solicitud, este terminal (5, 5A) emite:

- en un primer momento, a través de su primer enlace de comunicación inalámbrica, a la red de proximidad multsalto de comunicación, siendo los nodos dominantes (F) aptos para gestionar dicha solicitud para responder al terminal que les interroga,
- en un segundo momento, sin respuesta satisfactoria de los nodos dominantes (F), al servidor (6) de control, o bien directamente a través de su segundo enlace de comunicación celular,

o bien mediante otro terminal que sea un nodo pasarela, en comunicación con el servidor (6) de control, a través del segundo enlace de comunicación celular de este otro terminal.

- 5 3. Método según una de las reivindicaciones 1 a 2, en donde el servidor (6) de control subdivide el grafo en varias zonas geográficas de interés (ZI, ZI1, ZI2) para las cuales se definen uno o varios parámetros técnicos, y calcula la red de proximidad multisalto dinámica de comunicación que presente terminales estáticos (5A) o de escasa movilidad relativa en estas zonas geográficas de interés (ZI, ZI1, ZI2).
- 10 4. Método según una de las reivindicaciones 1 a 3, en donde el servidor (6) de control tiene en cuenta varios parámetros técnicos y define un orden de prioridad de estos parámetros técnicos.
- 5 15 5. Método según la reivindicación anterior 3 y la reivindicación 4, en donde el servidor (6) de control define un orden de prioridad en cada zona geográfica de interés (ZI, ZI1, ZI2).
- 15 6. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en donde el o los parámetros técnicos transmitidos por un terminal al servidor (6) de control se seleccionan de entre la lista que sigue:
 - 20 -grado de conectividad con los otros terminales;
 - cobertura de radio;
 - calidad de conexión;
 - capacidad de memoria para el almacenamiento de datos;
 - nivel de energía de batería disponible;
 - velocidad del terminal;
 - 25 -calidad de la conexión del terminal a la red de proximidad multisalto dinámica;
 - reputación electrónica u otra información de la persona titular del terminal característica de las redes sociales.
7. Método según una de las reivindicaciones 1 a 6, en el que la condición técnica está definida por:
 - 30 -un umbral, concretamente cuando el parámetro técnico es la cobertura de radio; o
 - de dos a cuatro clases de intervalos para un parámetro técnico, concretamente cuando el parámetro técnico es la capacidad de memoria para el almacenamiento de datos o el nivel de energía de batería disponible.
- 35 8. Método según la reivindicación 7, en donde la condición técnica está definida para un umbral de cobertura de radio en una zona de interés (ZI, ZI1, ZI2) y en el que
 - 40 -se consideran dos parámetros técnicos: el grado de conectividad y la cobertura de radio que tiene un orden de prioridad inferior al del grado de conectividad;
 - se calcula el solapamiento de la cobertura de radio de los nodos con la o las zonas geográficas de interés (ZI, ZI1, ZI2), se conservan los nodos que tengan la mayor cobertura de radio en la o las zonas geográficas de interés (ZI, ZI1, ZI2) como nodos dominantes (F), y se reinicializa la superficie de las zonas de interés ZI que se han de cubrir fuera de las coberturas de radio de los nodos dominantes (F) determinados, para encontrar otros nodos dominantes (F) adicionales si es necesario
 - 45 para cubrir la zona de interés (ZI, ZI1, ZI2).
9. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en donde se alojan datos en los nodos dominantes (F) de la red de proximidad multisalto dinámica de comunicación, y que proceden de la red de tipo Cloud Computing, del servidor (6) de control y/o de los terminales, pudiendo los nodos dominantes (F) comunicarse y compartir datos entre sí.
- 50 10. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en donde el alcance en exteriores de las comunicaciones para el primer enlace de comunicación inalámbrica es inferior a 300 metros, y para el segundo enlace de comunicación celular, superior a 400 metros.
- 55 11. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en donde los terminales se configuran con interfaces de comunicación Wifi y/o Bluetooth y/o Zigbee y/o V2X y/o C-V2X, DSRC para su primer enlace inalámbrico, y además con interfaces de comunicación 2G y/o 3G y/o 4G y/o LTE y/o 5G para su segundo enlace de comunicación celular, siendo el servidor (6) de control conforme al modelo SDN, presentando cada terminal una unidad de control correspondiente.
- 60 12. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en donde, cuando el servidor (6) de control detecta la llegada y/o la salida de terminales estáticos (5A) o de escasa movilidad relativa, reinicia la determinación de los estatus de los nodos de red constituidos por los terminales estáticos (5A) o de escasa movilidad relativa.
- 65

13. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en donde, para la determinación del subgrafo que incluye una o varias zonas geográficas de interés (ZI, ZI1, ZI2), el servidor (6) de control lleva a cabo 4 etapas sucesivas:

5 -en una primera etapa, formar un Maximum Independent Set, MIS, en el grafo, y de forma independiente en la o las zonas geográficas de interés (ZI, ZI1, ZI2) del subgrafo si el grafo incluye una o varias zonas geográficas de interés (ZI, ZI1, ZI2);
 -en una segunda etapa, formar un Minimum Dominating Set, mDS:

10 -(i) calculando las puntuaciones del o de los parámetros técnicos para cada nodo del grafo, para obtener primeros nodos dominantes (F),
 cumpliendo estas puntuaciones la condición sobre el o los parámetros técnicos para los nodos dominantes (F),

15 -(ii) actualizando las puntuaciones del o de los parámetros técnicos,
 -(iii) determinando otros segundos nodos dominantes (F) además de los primeros nodos dominantes (F), reiniciando la fase (i) y la fase (ii) hasta que la condición no se cumpla para los nodos restantes;

20 -en una tercera etapa, actualización de los nodos restantes en nodos dominados en el grafo completo para el que se han agrupado todas las zonas de interés (ZI, ZI1, ZI2); y actualización de las puntuaciones del o de los parámetros técnicos, y determinación de otros nodos dominantes (F) a partir de los nodos dominados;

 -en una cuarta etapa, interconectar los nodos dominantes (F) entre sí para formar un Minimum Connected Dominating Set, mCDS.

- 25 14. Método según la reivindicación anterior, en donde el servidor (6) de control elimina previamente en la primera etapa los nodos que no respetan la clase de intervalo deseada para la condición técnica dada sobre el parámetro técnico dado.

- 30 15. Método según la reivindicación anterior, en donde el servidor (6) de control transforma los nodos dominados en nodos dominantes (F) en la tercera fase tras la agrupación de todas las zonas de interés (ZI, ZI1, ZI2) para formar el grafo completo.

- 35 16. Conjunto que comprende terminales (5) de usuario finales, terminales (5A) de usuario estáticos o de escasa movilidad relativa, y al menos un servidor de recursos remoto que es un servidor de control accesible a través de una red de tipo "Cloud Computing",

40 estando configurados estos terminales (5, 5A) para establecer entre ellos, a través de un primer enlace de comunicación, que es un enlace de comunicación inalámbrica, comunicaciones inalámbricas de proximidad cuando estén a distancias que lo permitan, y además comunicarse individualmente, a través de un segundo enlace de comunicación, que es un enlace de comunicación celular, con el servidor de control, en donde:

45 -los terminales (5A) de usuario estáticos o de escasa movilidad relativa forman conjuntamente los nodos de una red de comunicación de proximidad multisalto de arquitectura dinámica e interactúan entre sí en esta red a través de su primer enlace de comunicación inalámbrica,

50 interactuando estos terminales (5A) de usuario estáticos o de escasa movilidad relativa de la red de proximidad multisalto con al menos el servidor (6) de control que supervisa la arquitectura de dicha red de proximidad multisalto,

 -y siendo los otros terminales de usuario los terminales (5) de usuario finales y que se comunican con al menos uno de los terminales (5A) de usuario estáticos o de escasa movilidad relativa de la red mediante el primer enlace de comunicación inalámbrica,

55 -estando cada terminal (5, 5A) configurado para transmitir a través del segundo enlace de comunicación celular al servidor o a los servidores (6) de control información de control tal como una información de identificación y de posicionamiento, además de una información relativa a al menos un parámetro técnico,

60 **caracterizado por que** el servidor (6) de control está configurado para, dependiendo de la información de control recibida:

65 •seleccionar los terminales estáticos (5A) o de escasa movilidad relativa de entre el conjunto de terminales, denominándose los otros terminales, terminales finales (5),
 •determinar un grafo cuyos nodos son terminales estáticos (5A) o de escasa movilidad relativa, estando dos nodos conectados por una arista si la distancia entre ellos es inferior

a la distancia que les permite interactuar directamente entre sí a través de la red de proximidad multisalto dinámica,

5 •determinar en este grafo de nodos un subgrafo de nodos dominantes (F), optimizándose la determinación de este subgrafo para minimizar el número de nodos y respetar una condición dada sobre al menos un parámetro técnico dado,

•seleccionar, en el subgrafo de nodos dominantes (F), al menos un nodo pasarela (P) capaz de establecer comunicación con la red de tipo Cloud Computing a través de su segundo enlace de comunicación celular,

10 •seleccionar los nodos del grafo (R) que no pertenecen a los nodos del subgrafo, como nodos que tienen únicamente la función de acceso/retransmisión a la red de proximidad multisalto dinámica para los terminales (5) de usuario finales,

•transmitir a través del segundo enlace de comunicación celular únicamente, de forma individual, para cada uno de los distintos terminales estáticos (5A) o de escasa movilidad relativa, su estatus jerárquico: de nodo pasarela (P), de nodo dominante (F) o de simple

15 nodo de acceso/retransmisión (R) que se les ha atribuido, para constituir la red de proximidad multisalto dinámica de comunicación durante un periodo en función de la configuración en curso de los terminales estáticos (5A) o de escasa movilidad relativa.

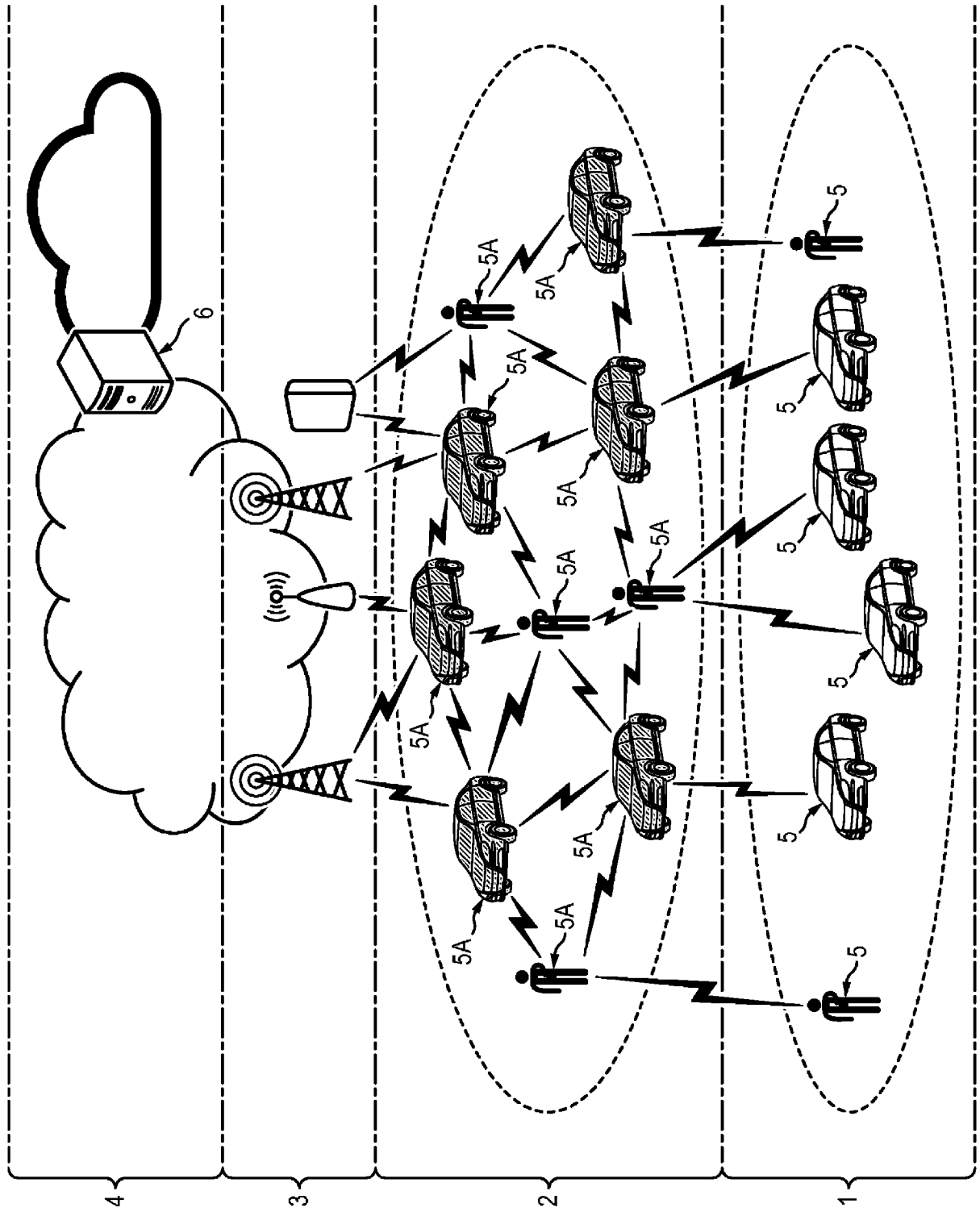


Figura 1a

Figura 1b

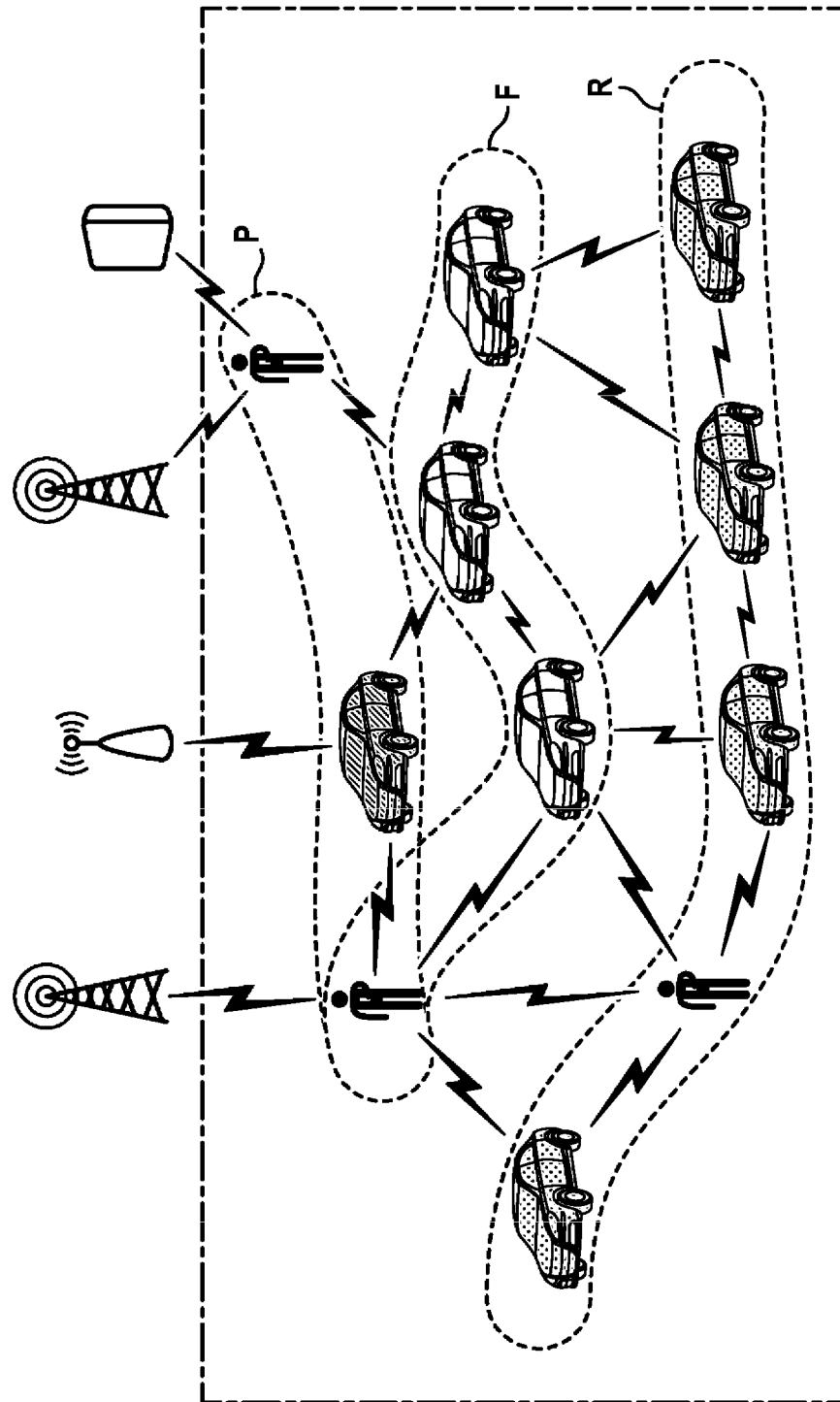


Figura 2b

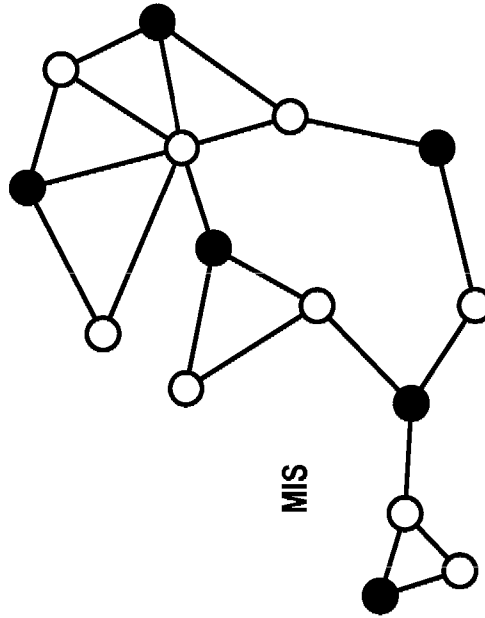


Figura 2a

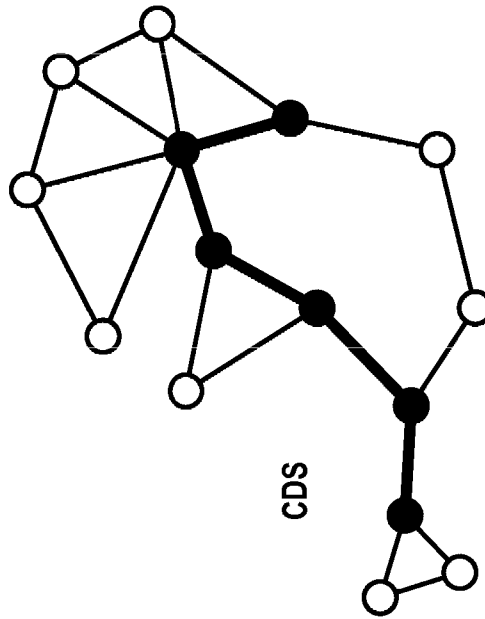


Figura 3c

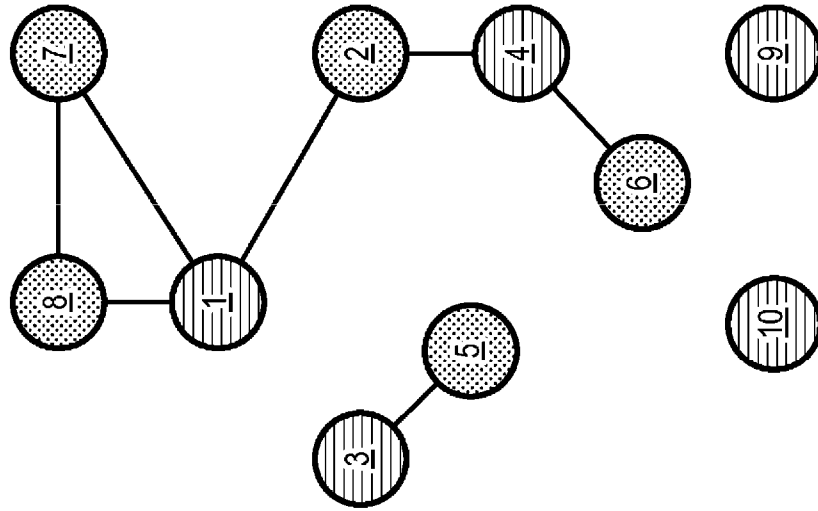


Figura 3b

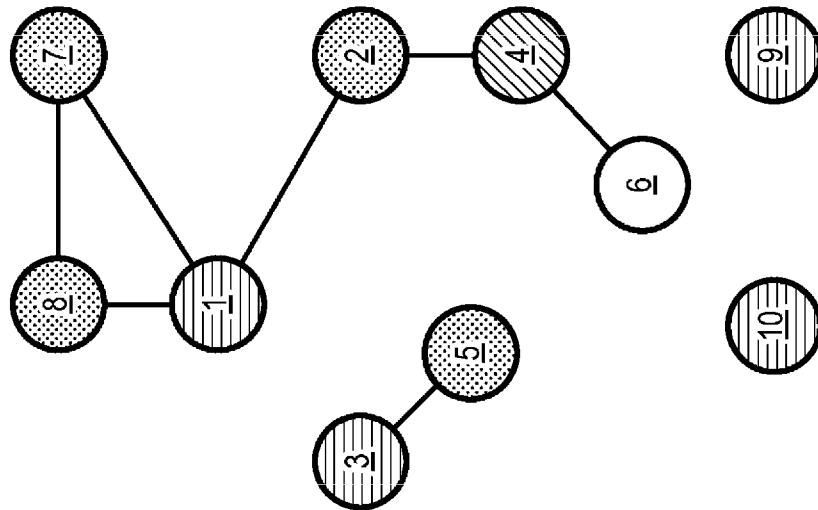
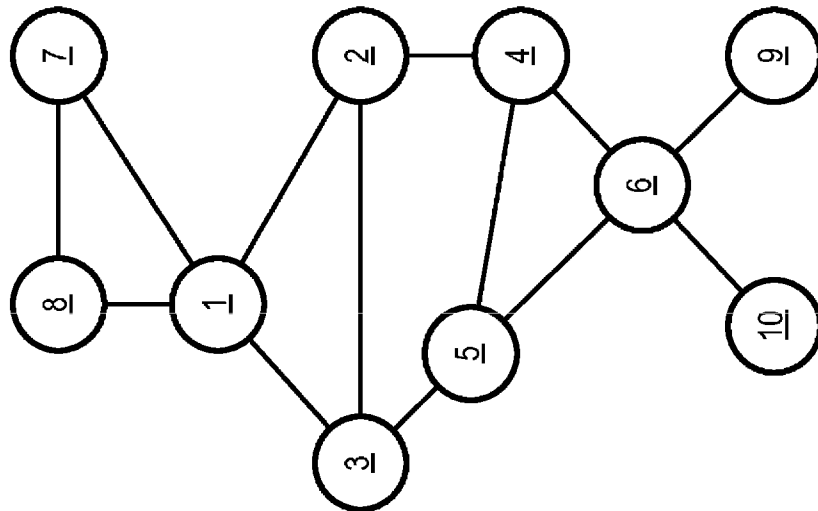


Figura 3a



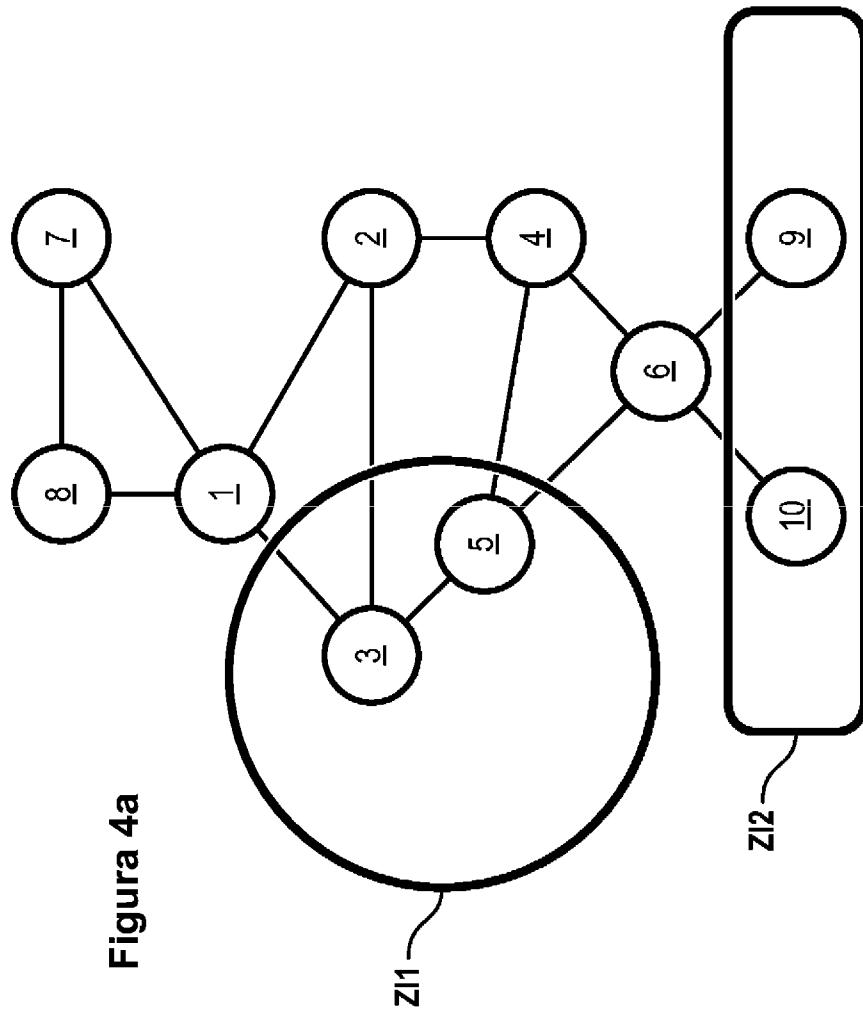


Figura 4b

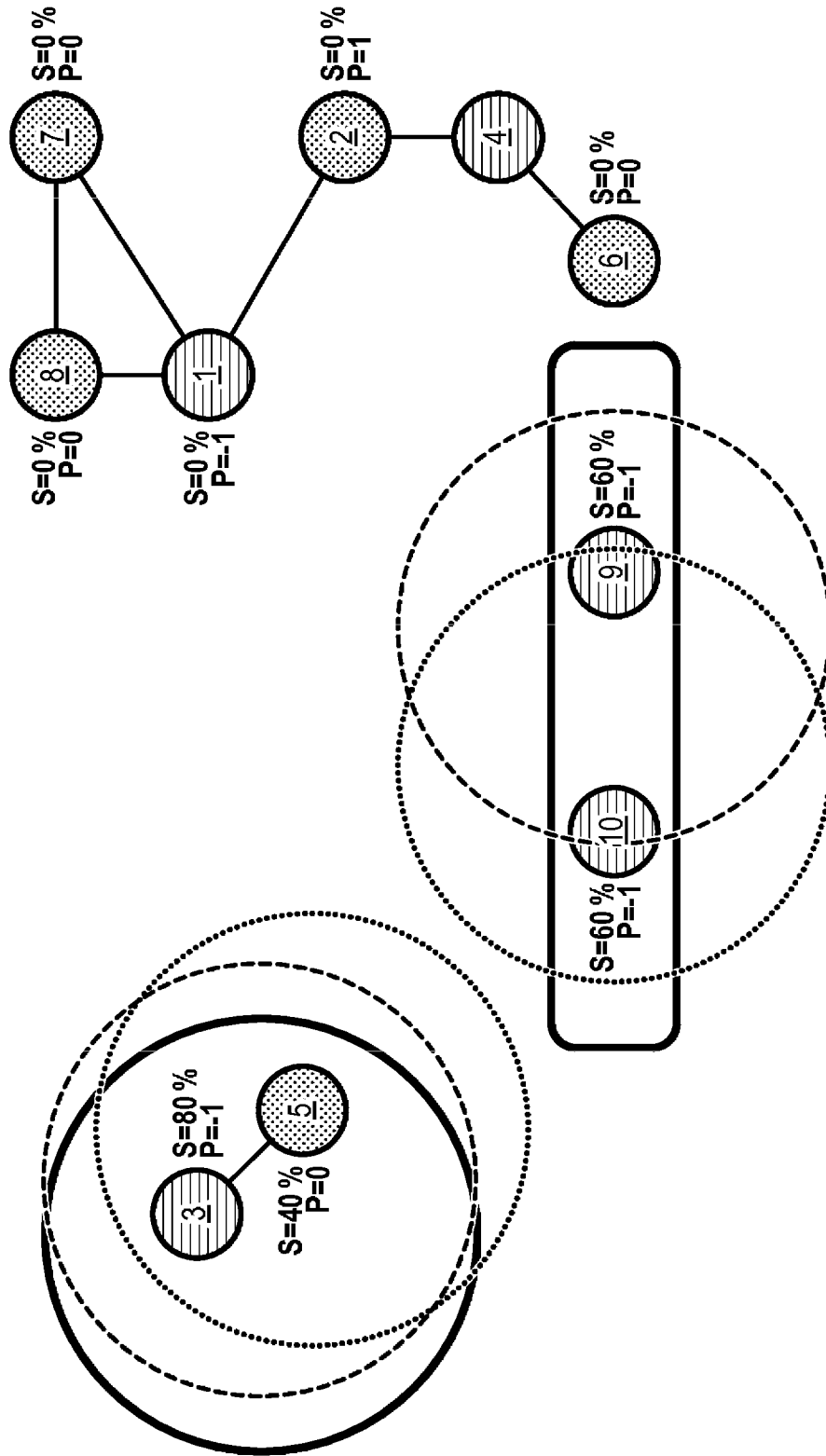


Figura 4c

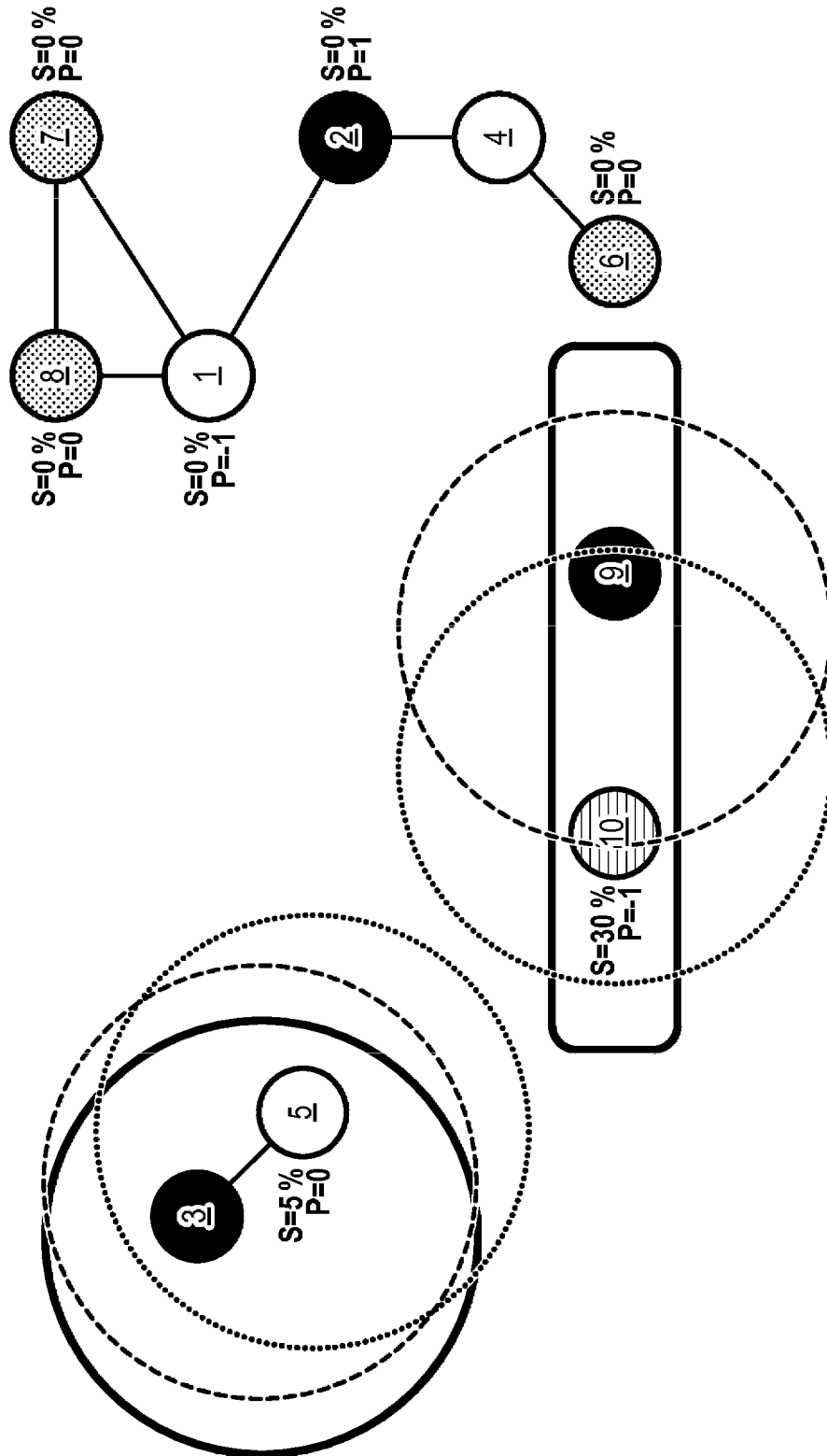


Figura 4d

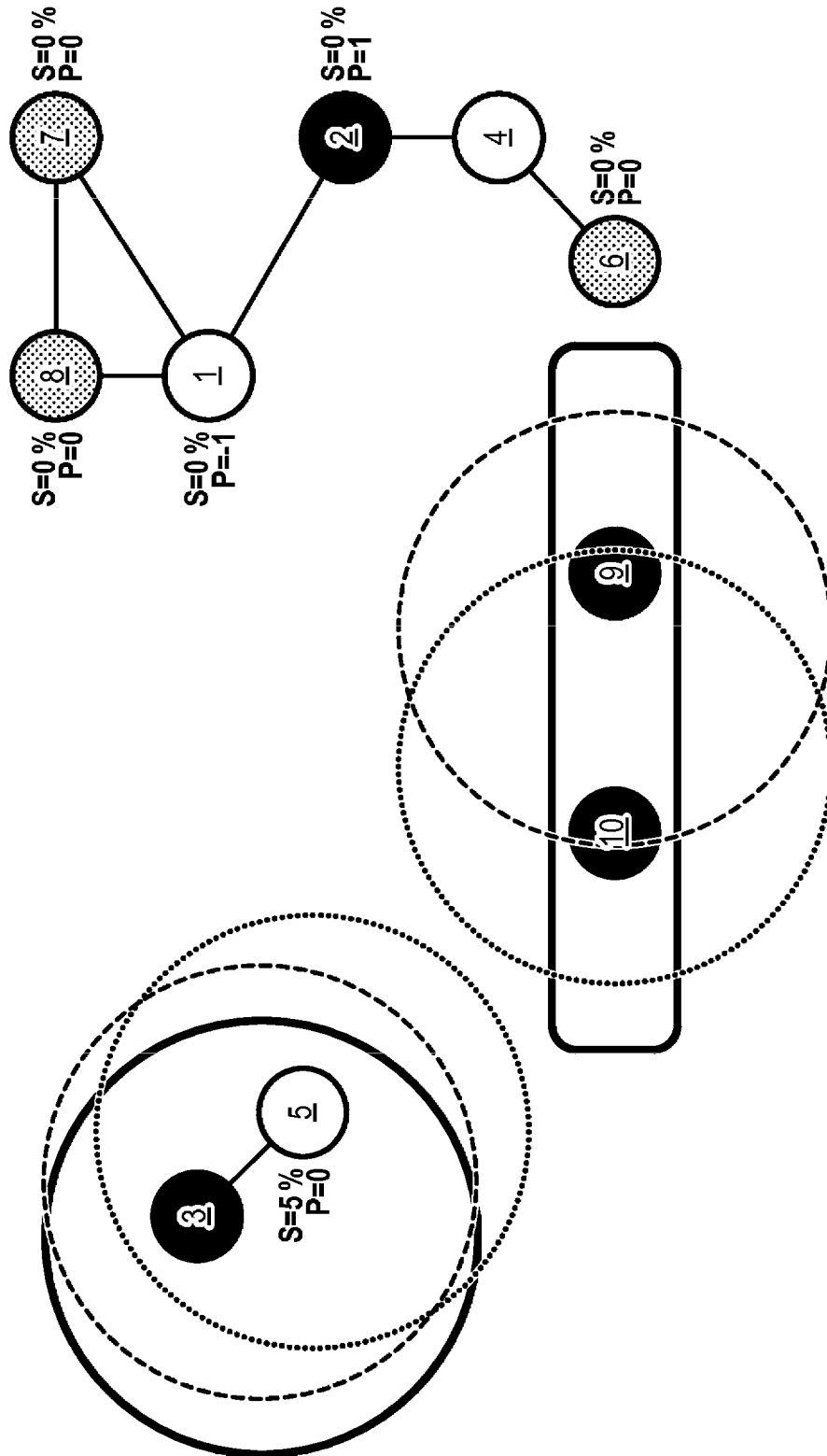


Figura 5

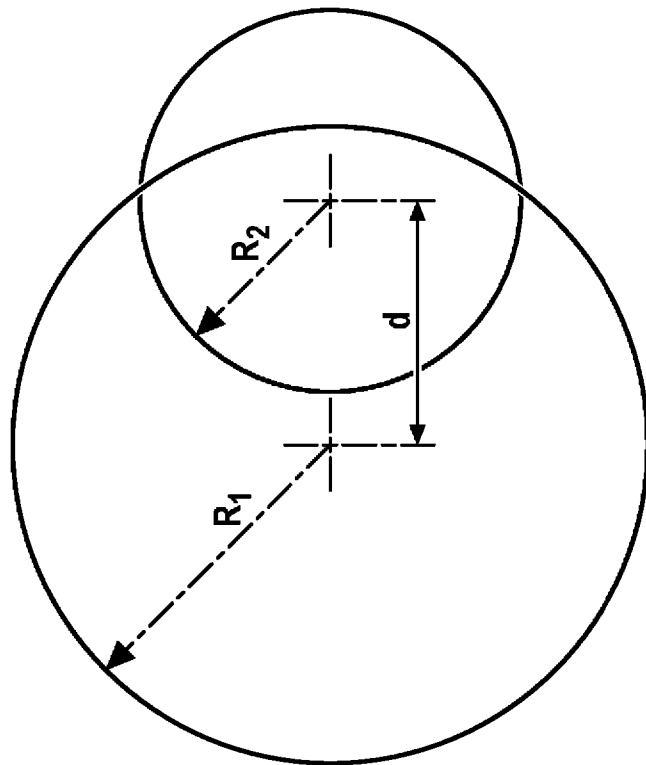


Figura 6b

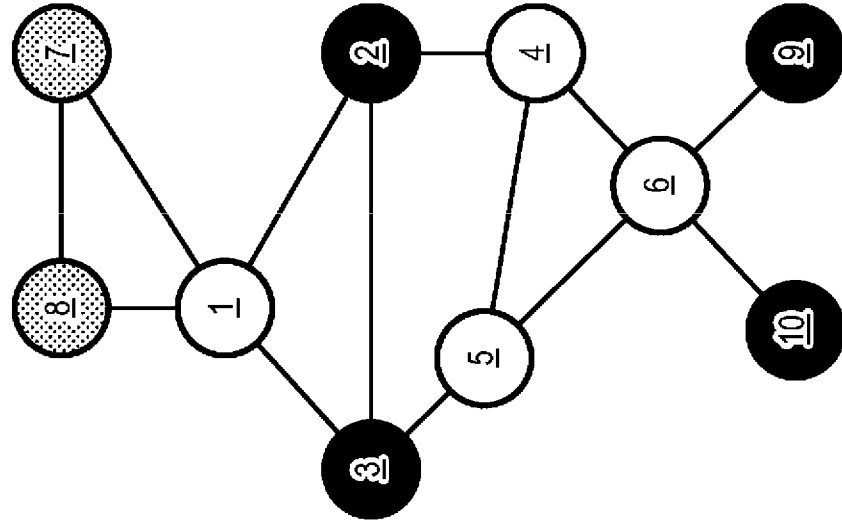


Figura 6a

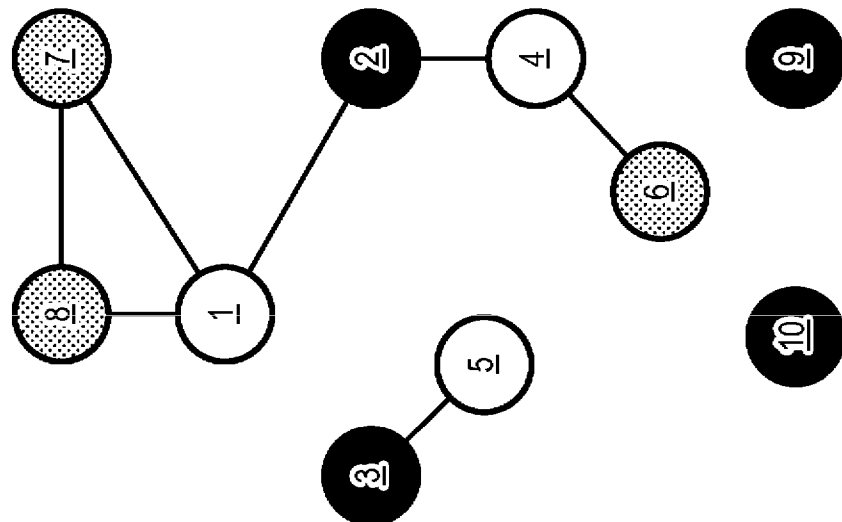


Figura 7c

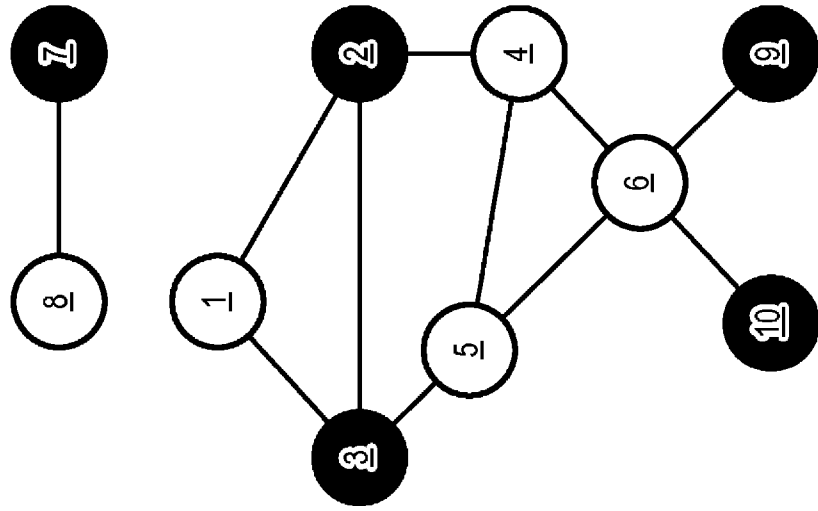


Figura 7b

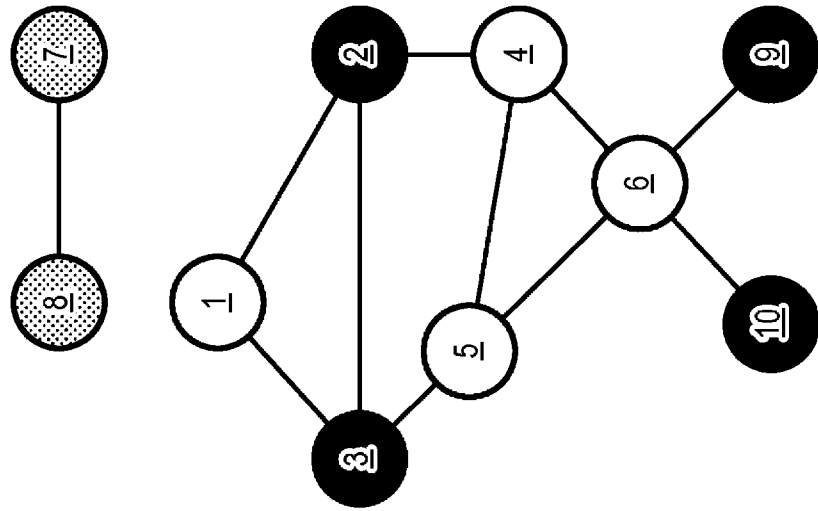


Figura 7a

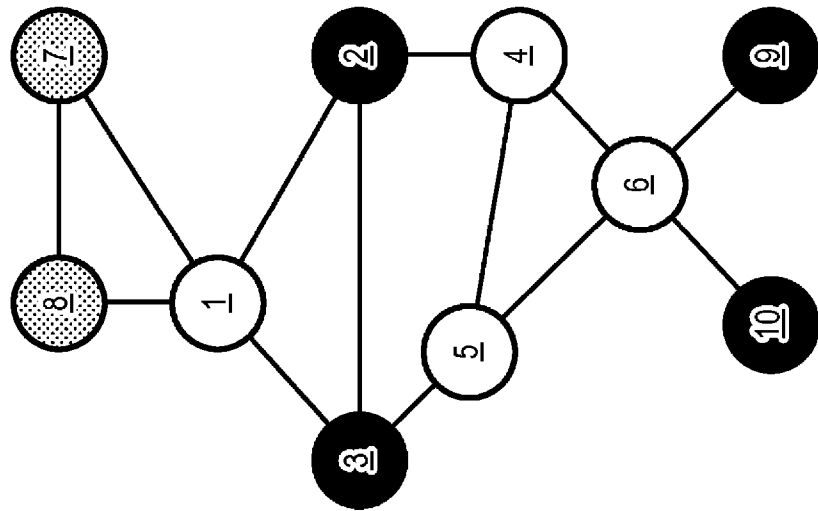


Figura 8b

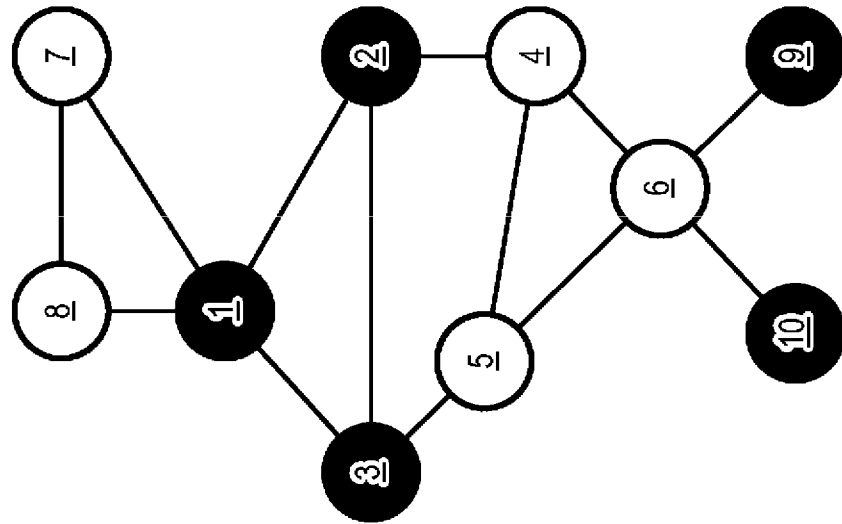


Figura 8a

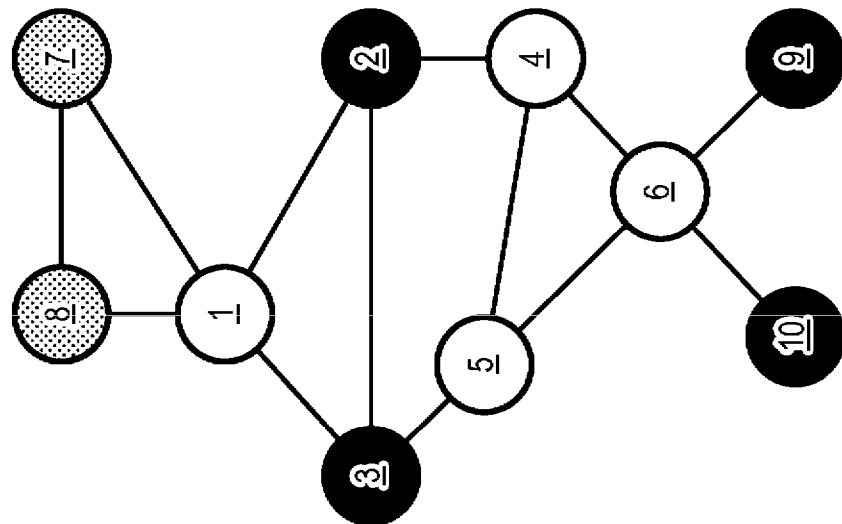


Figura 9b

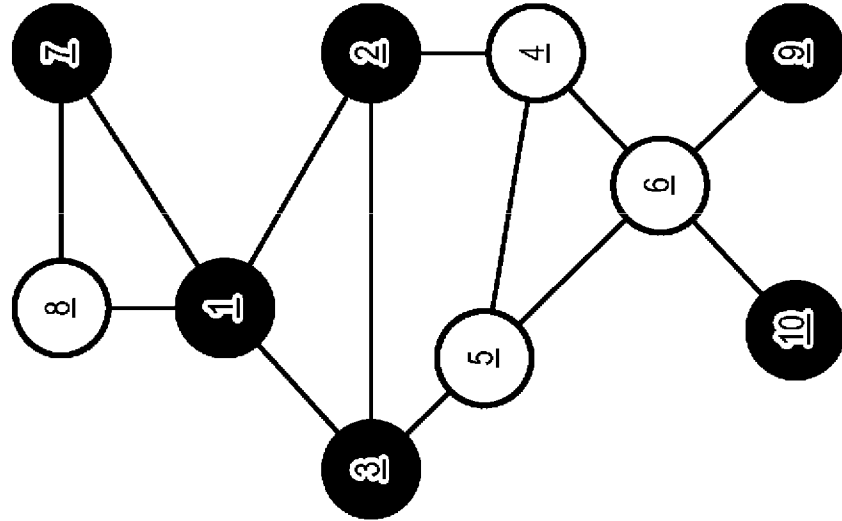


Figura 9a

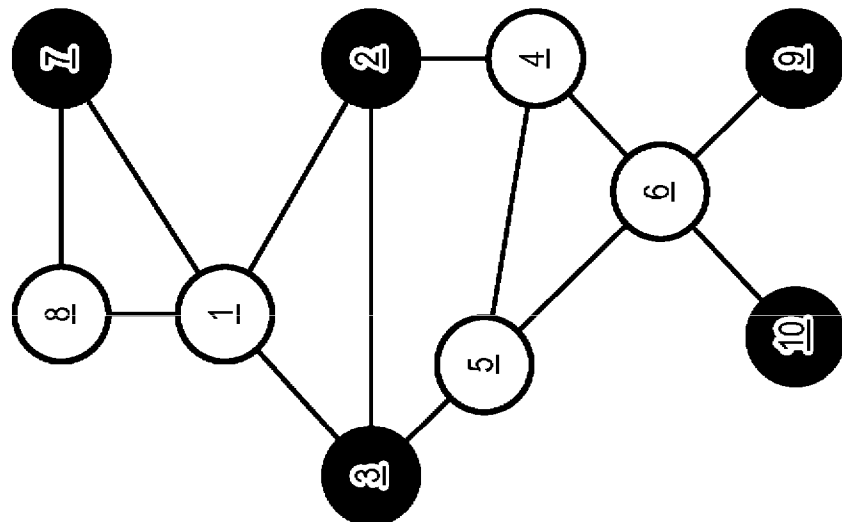


Figura 10b

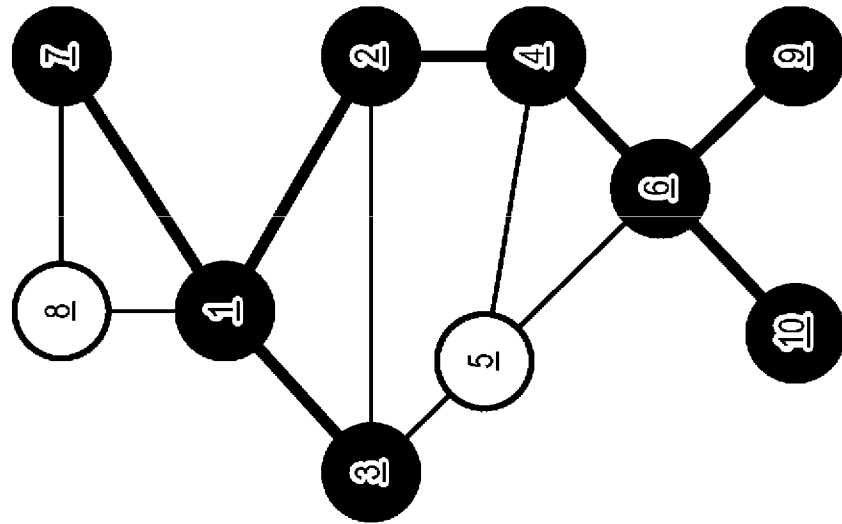


Figura 10a

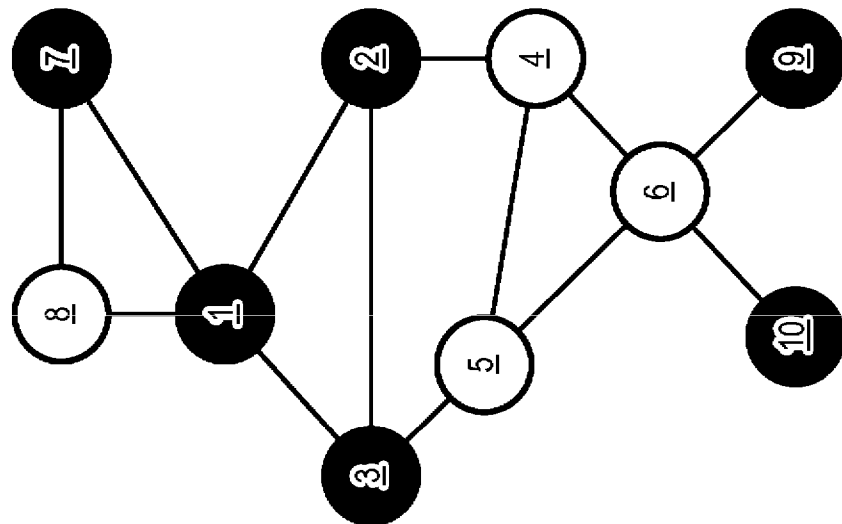


Figura 11

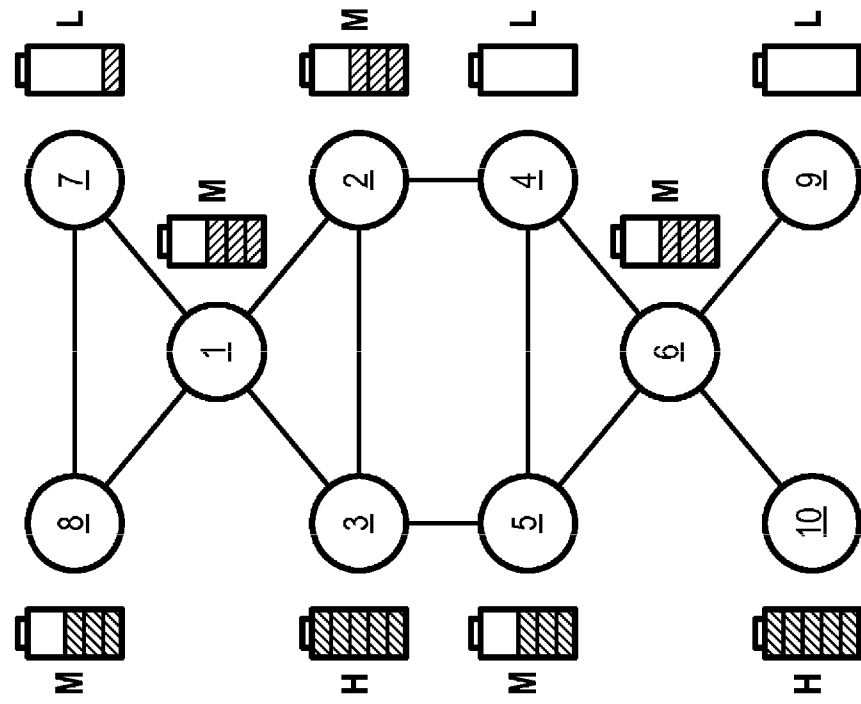


Figura 12

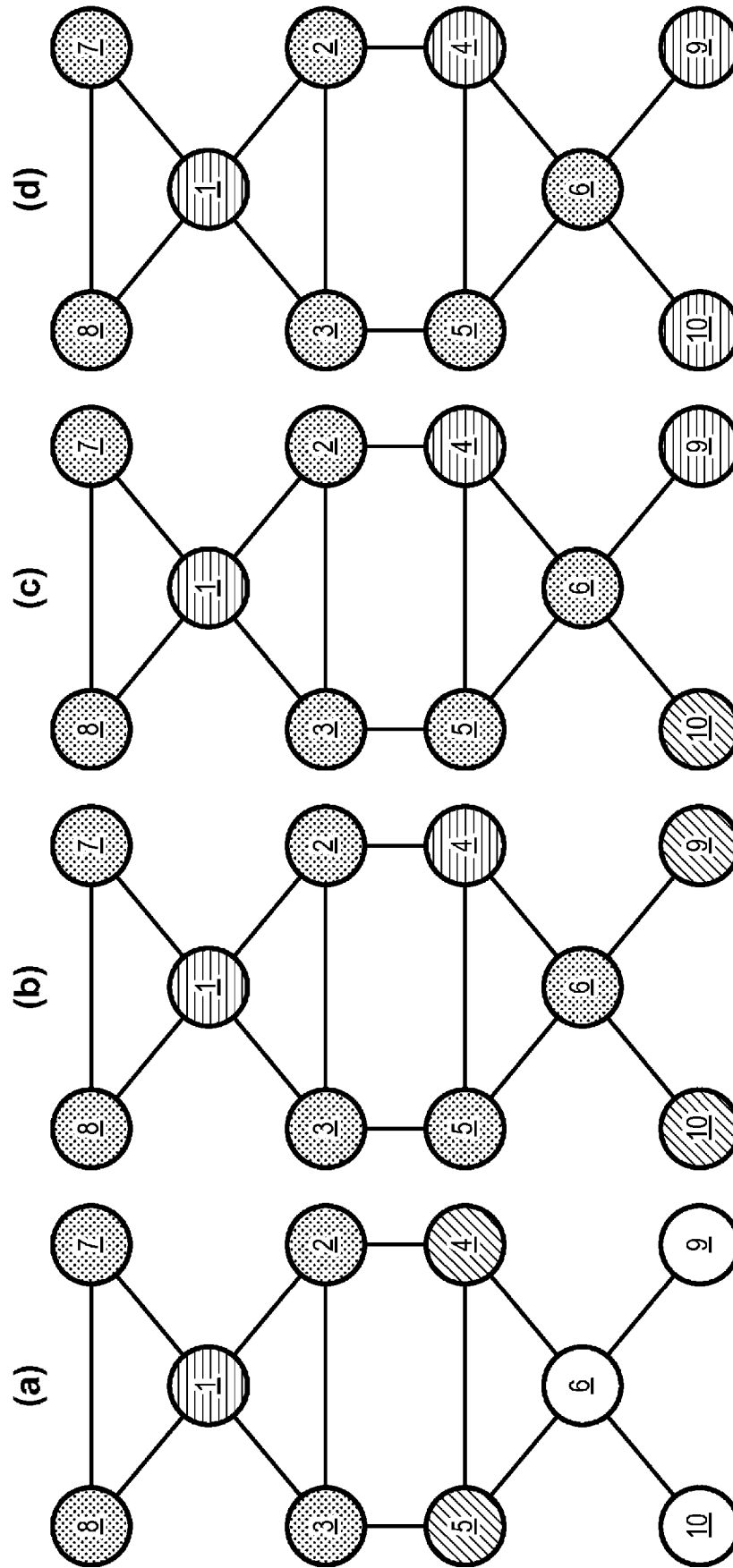


Figura 13

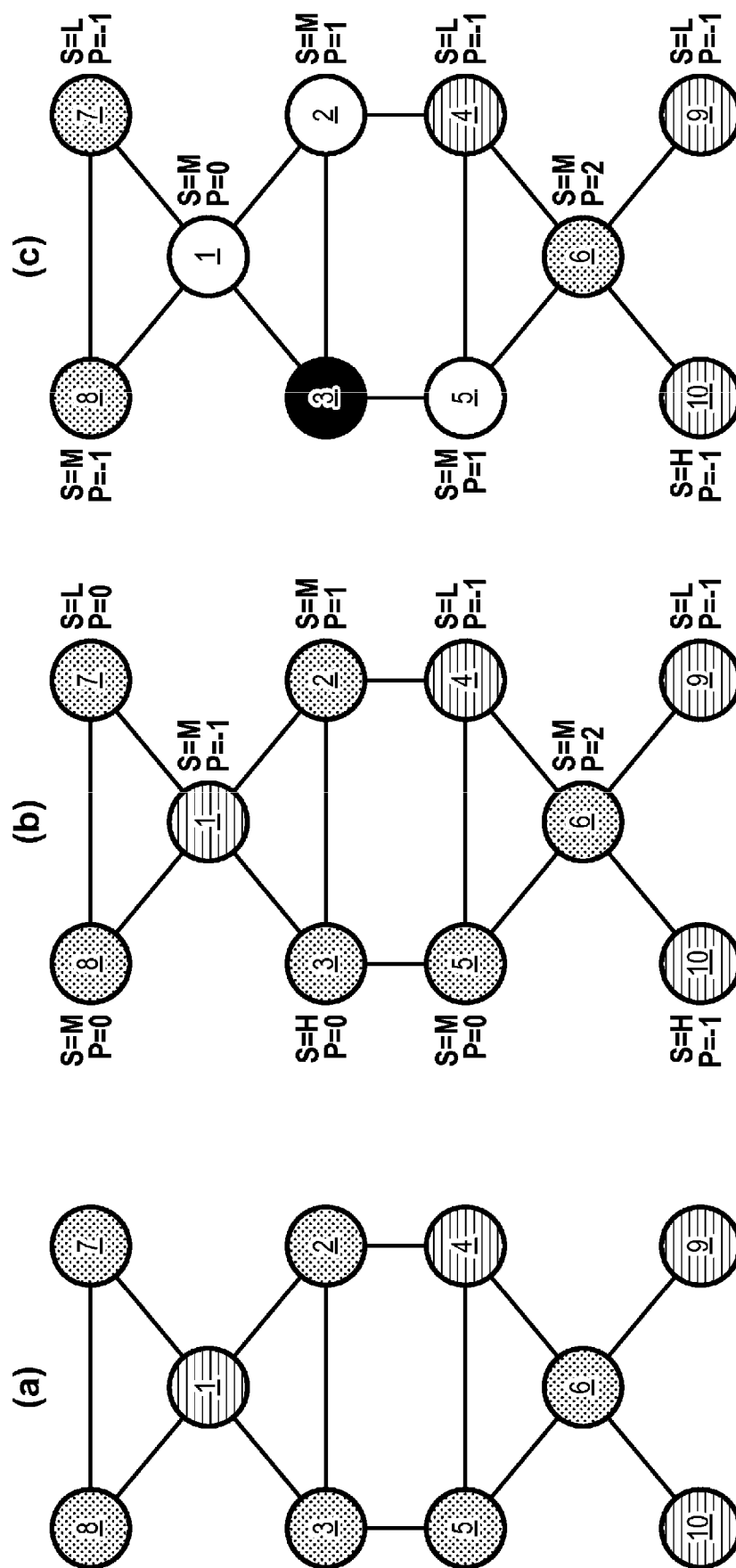


FIG. 13 (continuación)

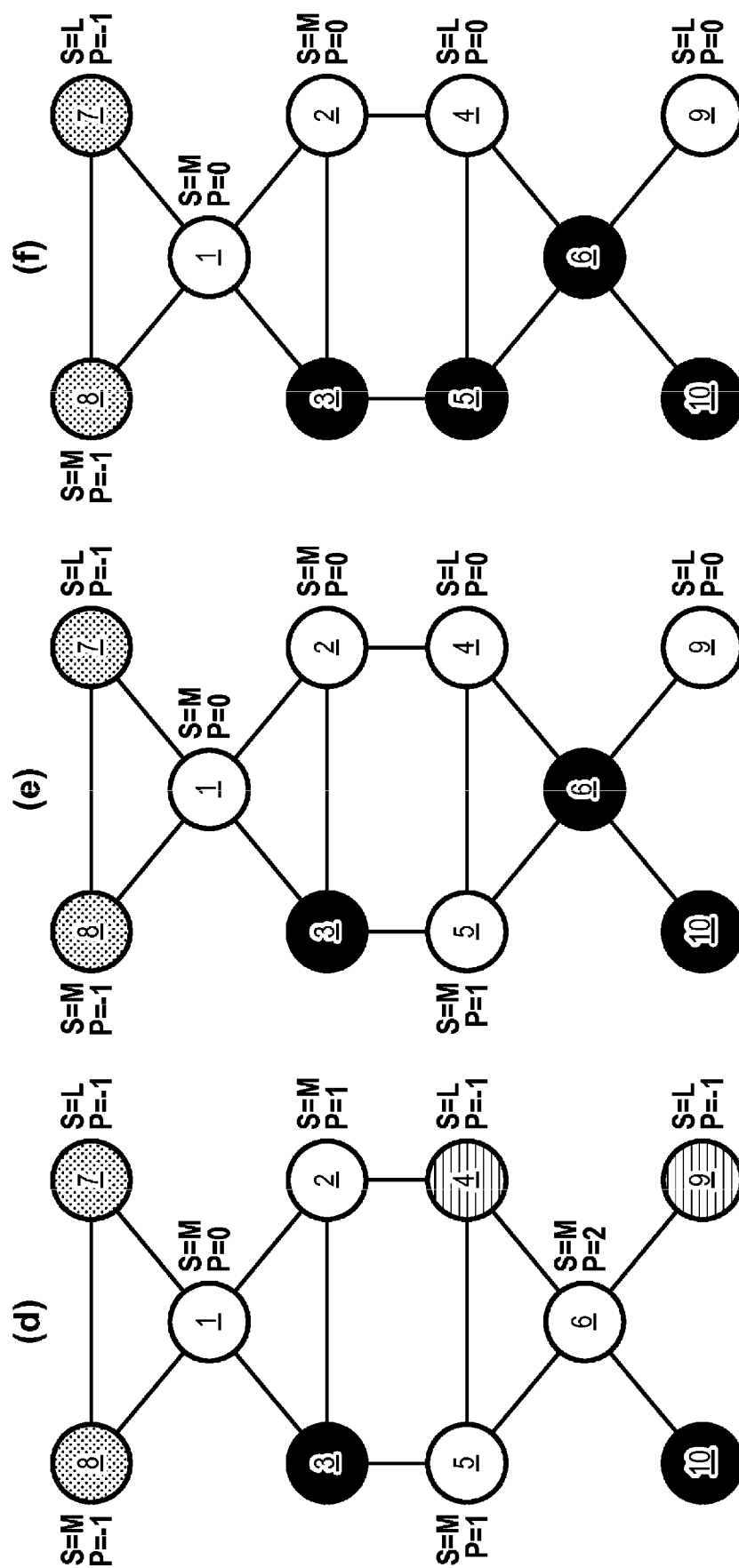


FIG. 13 (continuación)

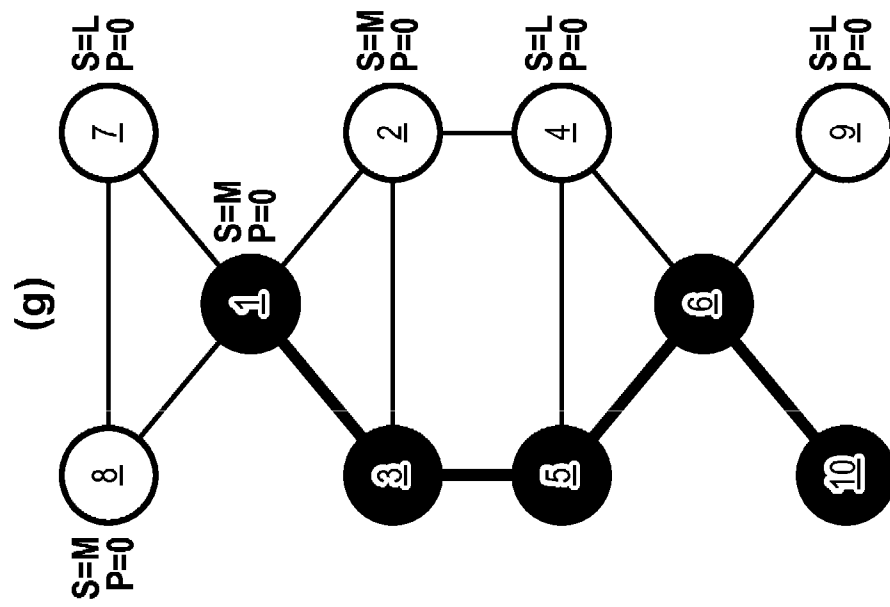


Figura 14a

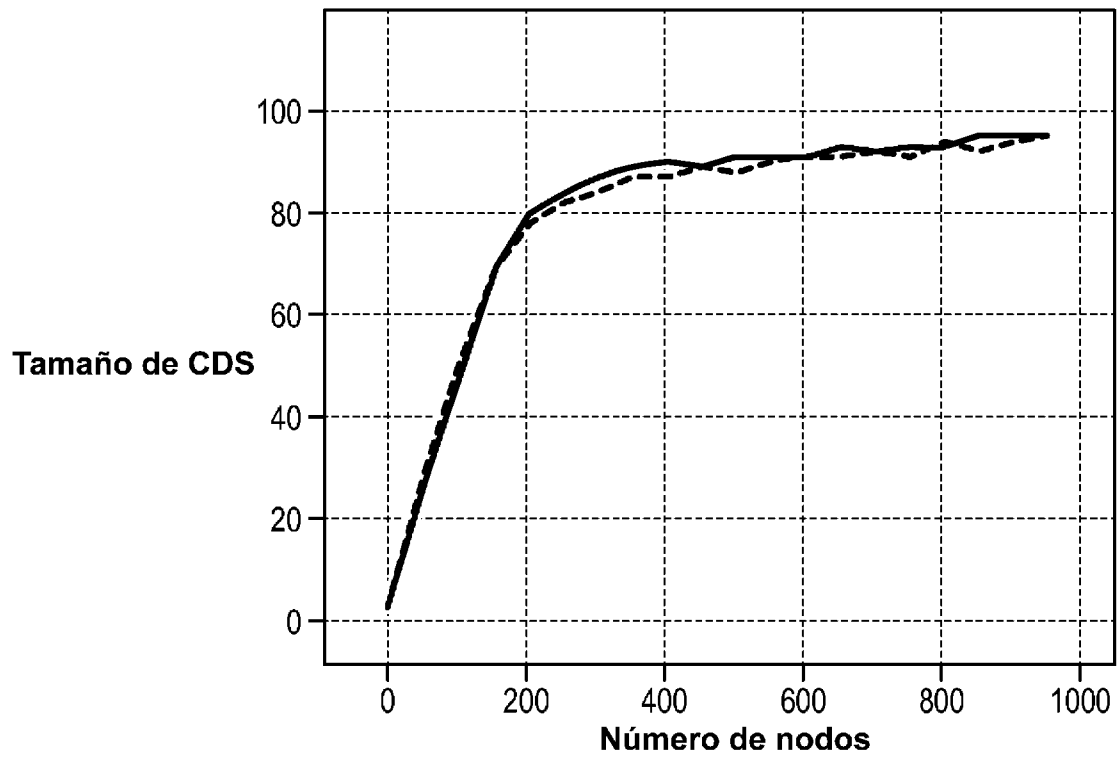


Figura 14b

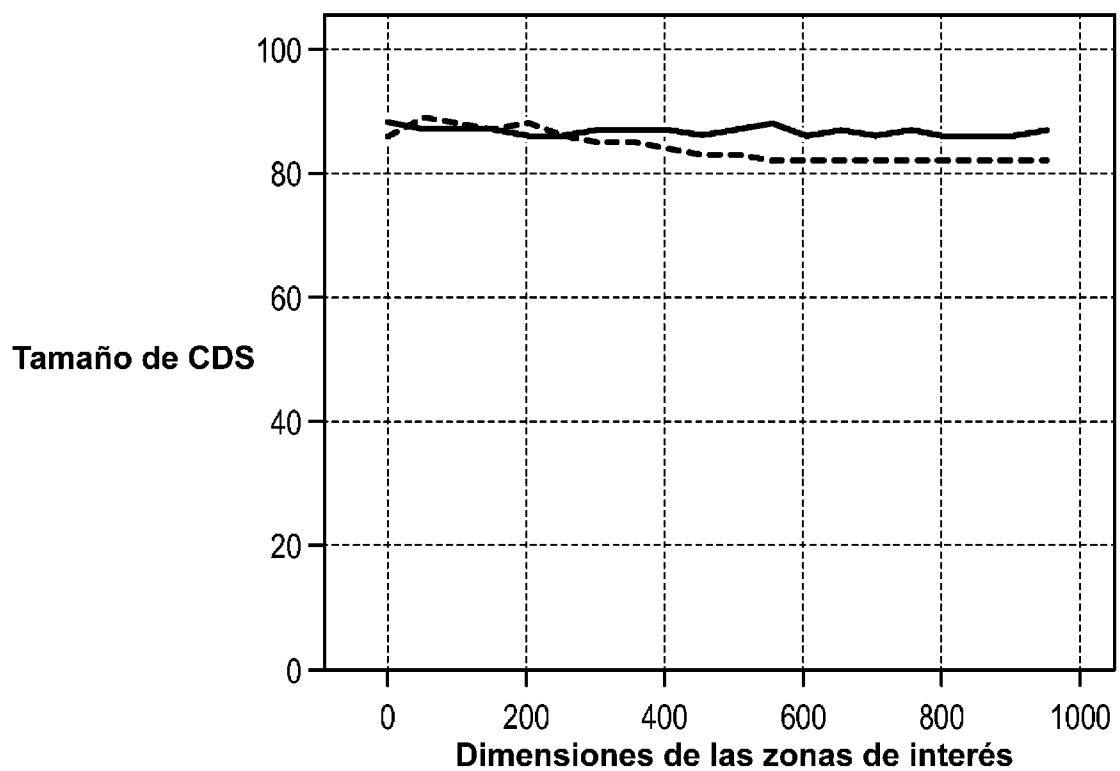


Figura 14c

