

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 664 770**

51 Int. Cl.:

H04L 12/24 (2006.01)

H04W 84/18 (2009.01)

H04W 8/18 (2009.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.02.2016 E 16155087 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.01.2018 EP 3057267**

54 Título: **Procedimiento para generar grupos dentro de una red de radio ad-hoc**

30 Prioridad:

13.02.2015 FR 1500297

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

23.04.2018

73 Titular/es:

**THALES (100.0%)
Tour Carpe Diem, Place des Corolles, Esplanade
Nord
92400 Courbevoie, FR**

72 Inventor/es:

**MASSIN, RAPHAËL y
LE MARTRET, CHRISTOPHE**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 664 770 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para generar grupos dentro de una red de radio ad-hoc

La invención se refiere a un procedimiento para generar grupos o, en anglosajón, clústeres, dentro de una red de radio ad hoc móvil que verifica restricciones de tamaño, por ejemplo, el diámetro de un clúster. El procedimiento se aplica, por ejemplo, para crear clústeres dentro de una red de radio donde los nodos pertenecen a un grupo organizativo. Se sitúa al nivel de la capa de enlace de datos o de la capa de red. El procedimiento se aplica independientemente del tamaño de la red y, es particularmente eficaz para redes de alta densidad, por ejemplo, una red con más de cien vecinos en un salto de alcance según la terminología usada en el ámbito de las redes de radio.

Una red de radio móvil ad hoc es una red de radio sin infraestructura donde los nodos de la red son a la vez terminales y relés. En el ámbito de la clusterización aplicada a las redes de radio ad hoc móviles, existen varios problemas técnicos, incluyendo los siguientes:

- La configuración de clústeres homogéneos en tamaño; los clústeres deben ser de tamaño suficiente pero no demasiado grandes para asegurar una buena gestión de las comunicaciones. Se busca evitar los clústeres singleton de tamaño 1;
- la velocidad de convergencia: los clústeres deben construirse rápidamente;
- la estabilidad de los clústeres: la estructura de los clústeres debe ser estable en situación estática y lo más estable posible en movilidad;
- la reagrupación en clústeres de nodos que tienen puntos comunes, por ejemplo, la pertenencia al mismo grupo operativo.

Se conocen muchos trabajos relacionados con el ámbito de los clústeres por la técnica anterior, por lo que se refiere a su formación, la gestión de la movilidad de los nodos dentro de una red, etc.

Por ejemplo, la patente CN 101360033 trata de la clusterización y tiene en cuenta tres métricas de nodo que son la movilidad de un nodo, el tamaño del clúster y la energía residual del nodo. Los nodos se agrupan juntos, después, se selecciona un líder de clúster. Las movibilidades entre clústeres se determinan por un estado vinculado a la combinación de las tres métricas citadas. La solicitud de patente US20070297374 describe un procedimiento de gestión de reagrupación de estaciones en una red de comunicación ad hoc. Para cada grupo se usa una función de conectividad basada en una matriz de conectividad representativa de la red usada. Si el resultado de la aplicación de la función es una matriz unitaria, los grupos de estaciones se consideran satisfactorios para el funcionamiento de la red. La patente WO 2007/099264 describe un procedimiento que minimiza la señalización intercambiada entre los nodos durante la etapa de elección de un líder de clúster. El procedimiento de clusterización consiste en seleccionar como líder de clúster el nodo conocido de mayor peso y conectar los nodos no líderes de clúster a este nodo líder de clúster. El tamaño de los clústeres se fija por el valor de un parámetro k que representa el número de saltos de radio máximo entre un nodo y su líder de clúster, es decir, que el diámetro de este clúster se limita a $2*k$.

La patente US 2002/0103893 trata de la fusión de clústeres basada en el tamaño de los clústeres que pueden potencialmente fusionarse. Esta fusión se decide por dos nodos de dos clústeres vecinos.

La enseñanza de la patente US 6 876 643 se refiere a una red de tipo Bluetooth y describe un procedimiento para construir una red en un número mínimo de clústeres de tamaño limitado, con el tamaño igual al número de nodos. Un nodo líder de clúster se define por clúster. La patente describe dos técnicas para acelerar la formación de la red: la transferencia de información durante la formación de la red usando bits de los mensajes usada por los procedimientos de descubrimiento de vecindad y el uso de parámetros específicos para separar los nodos entre ellos los que estarán en transmisión y los que estarán en recepción. El número de líder de clústeres se calcula dinámicamente, pero requiere el conocimiento del número de nodos en toda la red. Además, el procedimiento descrito requiere la presencia de un súper líder de clúster o súpermaestro que verifique que el número de clústeres es el deseado. La pertenencia de los nodos a un clúster solo tiene en cuenta el tamaño del clúster.

La publicación de T Ohta, S. Inoue and Y. Kakuda; "An Adaptive Multihop Clustering Scheme for Highly Mobile Ad Hoc Networks"; IEEE ISADS'03 propone un protocolo de clusterización dinámica que crea clústeres cuyo tamaño no excede un mínimo. Sin embargo, el protocolo no usa ninguna métrica particular para formar los clústeres, estos últimos tienen, por lo tanto, una forma aleatoria. Además, no se interesa en el contexto donde los nodos de la red se reparten en grupos operativos.

El documento de H. Wu, Z. Zhong, and L. Hanzo, titulado "A cluster-head selection and update algorithm for ad hoc networks", in Proc. IEEE GLOBECOM, diciembre 2010, páginas 1-5, propone un protocolo de clusterización dinámica que crea clústeres buscando usar la información de subred a la que pertenece cada nodo. La solución propuesta selecciona nodos CH para que sean no vecinos y conduce a la pertenencia de estos nodos CH no vecinos de todos los nodos no CH que son adyacentes a ellos. De este modo, el tamaño de los clústeres depende únicamente de la densidad de la red.

El documento de D. Camara, C. Bonnet and N. Nikaein, titulado "Topology management for group oriented networks", in Proc. IEEE PIMRC, Honolulu, Hawai, septiembre 2010, páginas 2739-2744 describe un procedimiento

que ensambla en clústeres los nodos de una misma comunidad de interés. El procedimiento usa nodos privilegiados (DCH) que son de manera predeterminada líderes de clúster CH. Cuando no hay presente ningún DCH en las cercanías de un nodo, este último puede devenir CH. En la solución propuesta, la pertenencia a una comunidad solo está predefinida para los nodos privilegiados DCH, los nodos no DCH pertenecen de oficio a la comunidad de interés del nodo privilegiado DCH más cercano. Una función de coste que rige la forma en la que los nodos se unen entre sí para formar clústeres cuyo tamaño es limitado. Esta función de coste, sin embargo, no tiene en cuenta las comunidades de interés.

Las soluciones descritas en la técnica anterior no tienen en cuenta de manera explícita la estructura en grupos y el tamaño de los clústeres.

En la siguiente descripción, se considera que dos clústeres son vecinos si al menos un miembro de uno de los dos clústeres es vecino en un salto de radio de un miembro del otro clúster. El tamaño de un clúster se define, por ejemplo, a partir del diámetro del subgráfico inducido por sus miembros. La expresión "red densa" o de alta densidad se refiere a las redes de radio para las que el número de nodos en el rango de radio de cualquier nodo es de media, al menos, igual a cien. Un grupo operativo de nodos se define en la presente invención como un conjunto de nodos que tienen funciones idénticas o similares, tales como un grupo de bomberos, de emergencia, etc. La descripción usará indiferentemente la palabra nodo o la palabra miembro para designar un nodo de un clúster.

La invención se refiere a un procedimiento para reagrupar de manera distribuida y dinámica nodos en una red de radio ad hoc móvil RM, comprendiendo cada nodo un procesador provisto de un algoritmo de clusterización y un módulo de comunicación, comunicándose los nodos entre ellos por medio de mensajes, constanding el procedimiento de al menos las siguientes etapas:

- definir a priori un conjunto de restricciones que verificar por los clústeres, de funcionamiento de la red, tales como restricciones en la topología de la red y/o en la calidad de los enlaces de comunicación, memorizándose estas restricciones en una tabla de datos, el procedimiento está caracterizado porque:
- se reagrupan los nodos de la red en clústeres,
- el procedimiento se ejecuta dentro de cada clúster, considerando un primer clúster local C_k , y un conjunto de nodos $\{u_i\}$ que pertenecen a ese clúster,
- al nivel del nodo maestro del clúster C_k , para cada uno de los clústeres C_i vecinos del clúster C_k , determinar si los clústeres $C_k \setminus \{u_i\}$ y $C_i \cup \{u_i\}$ verifican las restricciones de funcionamiento en los clústeres,
- al nivel del nodo maestro del clúster local C_k para cada uno de los clústeres vecinos C_i para los cuales, las restricciones sobre los clústeres se satisfacen, calcular la ganancia g inducida por la movilidad de los grupos de nodos $\{u_i\}$ del primer clúster C_k hacia el clúster C_i , definiéndose la ganancia g como la diferencia entre la suma de los costes de los clústeres C_i y C_k y la suma de los costes de los clústeres $C_k \setminus \{u_i\}$ y $C_i \cup \{u_i\}$,
- al nivel del nodo maestro del clúster local, retener el clúster que induce la ganancia g más elevada e
- intercambiar al menos un mensaje entre los dos clústeres con el fin de que el conjunto de los nodos $\{u_i\}$ abandone el clúster C_k para unirse al clúster C_i .

Cada uno de los nodos puede formar su propio clúster singleton.

Según una variante de realización, se realizan las restricciones sobre cada clúster asegurando que el gráfico inducido por el clúster posee ciertas prioridades tales como la conectividad, un número de nodos inferior a un umbral, un diámetro inferior a un umbral, una forma geométrica particular, por ejemplo, una estructura estelar cuyo centro es el líder de clúster o, una calidad suficiente de los enlaces de radio en el clúster anterior.

El procedimiento puede constar al menos de las etapas siguientes:

- una etapa de aprendizaje de la información de un clúster local C_k y clústeres vecinos,
- definir la lista de los conjuntos de miembros del clúster local C_k que están en el mismo grupo operativo, definir una lista de nodos M inicialmente vacía, inicializar un valor de ganancia g a cero,
- comprobar si la lista L de los conjuntos de miembros del clúster del mismo grupo operativo está vacía y, seleccionar aleatoriamente un conjunto grupo de nodos, clúster, $(\{u_i\}, C_i)$ contenido en una lista M que corresponde a los nodos que inducen una ganancia máxima y migrar los grupos de nodos $\{u_i\}$ del clúster local C_k al segundo clúster C_i ,
- si la lista L no está vacía, entonces se elimina de esta lista su primer elemento $\{u_i\}$,
- se comprueba si después de la partida del grupo de los nodos $\{u_i\}$ del clúster local C_k , este último satisface aún las restricciones sobre los clústeres,
 - si sí, entonces se considera N la lista de los clústeres vecinos del clúster local C_k y se va a una etapa siguiente de prueba en la lista de clústeres,
 - si no, entonces se vuelve a la etapa de prueba en la lista L ,
- si la lista de los clústeres vecinos no está vacía, se considera el primer elemento de N que corresponde al primer clúster vecino de la lista, se elimina el primer elemento de N , después se verifica si la unión del primer clúster vecino C_L con el grupo de nodos del clúster $\{u_i\}$ satisface bien las restricciones sobre los clústeres,
- si las restricciones sobre los clústeres no se satisfacen, entonces se vuelve a la etapa que considera la lista de

- los clústeres no vacía,
- si no, se calculará la ganancia $g(\{u_i\}, C_k, C_i)$,
 - si esta ganancia es estrictamente superior a un valor de ganancia g de referencia, entonces actualizar la referencia de ganancia g utilizando la ganancia $g(\{u_i\}, C_k, C_i)$ inducida por la movilidad del grupo de nodo hacia el clúster C_i , se actualiza la lista $M = \{ \{u_i\}, C_i \}$ y se vuelve a la etapa anterior de prueba que considera la lista de los clústeres no vacía,
 - si esta ganancia no es estrictamente superior a g , entonces se prueba si el valor de ganancia g es igual al valor $g(\{u_i\}, C_k, C_i)$, si sí, se añade $\{ \{u_i\}, C_i \}$ a M : $M = M \cup \{ \{u_i\}, C_i \}$ y se vuelve a la etapa que considera la lista de los clústeres no vacía,
 - si el valor de ganancia encontrado es estrictamente inferior a g , entonces se vuelve a la etapa que considera la lista de los clústeres no vacía.

El conjunto de los nodos considerados se forma, por ejemplo, de nodos reagrupados por funcionalidad.

El procedimiento puede constar de una fase de mantenimiento en la que cada clúster determina su dimensión y verifica si la lista de los nodos contenidos en el clúster forma un gráfico conexo. La dimensión que se verifica es, por ejemplo, el diámetro del clúster y, en el caso donde el diámetro del clúster es superior a un valor dado, el grupo de nodos que pertenecen al clúster se divide en varios grupos de nodos.

La división del grupo de nodos, por ejemplo, se realiza usando las etapas siguientes:

- reagrupar el nodo de mayor grado con todos sus vecinos,
- construir componentes conexos con los nodos restantes.

El procedimiento también puede constar de las siguientes etapas: durante una primera etapa se comprueba si el clúster C_k verifica las restricciones sobre los clústeres,

- si sí, se conserva el clúster en el estado,
- si el clúster no verifica las restricciones, entonces se ejecutan las siguientes etapas:

- ya sea L la lista de los conjuntos de miembros del clúster local C_k que están en el mismo grupo operativo,
- si la lista L está vacía, el procedimiento de mantenimiento termina,
- si la lista L contiene un elemento al menos, entonces se comprueba si el conjunto $\{u_i\}$ es conexo,

- si sí, se vuelve a la etapa de prueba de la lista L vacía,
- si no, entonces se divide el conjunto en varios componentes conexos $\{ \{u^1_i\}, \dots, \{u^m_i\} \}$ y se creará un nuevo clúster con cada uno de estos componentes conexos, después se vuelve a la etapa de prueba de la lista L vacía.

El cálculo de ganancia, por ejemplo, se efectúa usando una función de coste expresada de la siguiente manera:

$$c_1(C_k) = 1 - \frac{n_{k,l} \cdot (n_{k,l} + 1)}{n_l^g \cdot (n_l^g + 1)},$$

con l el grupo operativo cuyo número de miembros es el más elevado en el clúster k , $n_{k,l}$ el número de nodos del grupo l , y n_l^g el tamaño del grupo operativo número l .

Según otra variante, el cálculo de ganancia se efectúa usando una función de coste expresada de la siguiente manera:

$$c_2(C_k) = 1 - \frac{n_k \cdot (n_k + 1)}{n_{max} \cdot (n_{max} + 1)},$$

con n_k el número de miembros del clúster C_k , y n_{max} el tamaño máximo admisible de un clúster.

Los nodos se comunican entre ellos usando mensajes de tipo "Hello".

Otras características y ventajas de la presente invención resultarán más evidentes tras la lectura de la descripción que sigue junto con las figuras que representan:

- la figura 1, un ejemplo de red móvil ad hoc con varios grupos cuyos miembros se identifican,
- la figura 2, un diagrama de flujo que describe un ejemplo de sucesión de etapas por el algoritmo de clusterización,
- la figura 3, un ejemplo de algoritmo de mantenimiento,
- las figuras 4 y 5, un ejemplo numérico de implementación del procedimiento según la invención.

Con el fin de comprender mejor la invención, el ejemplo dado a continuación se describirá en el caso de una red de radio móvil ad hoc RM que comprende varios grupos $G_1, G_2, G_3, G_4, G_5, G_6$, cuyos miembros se identifican por gráficos diferentes, cuadrado, triángulo, redondo, rombo, estrella, triángulo inverso. En este ejemplo, cada nodo $E_i=1, 2, \dots, 30$, de la red pertenece a un solo grupo operativo G_i . Un nodo de la red se equipa con medios de comunicación radio, un transmisor/receptor 101/102, un procesador 103 adaptado para recopilar la información que le es necesaria mediante el intercambio de mensajes de señalización con sus vecinos. Cada nodo usa esta información para unirse dinámicamente a un clúster para maximizar una función de coste, a la vez que respeta las restricciones, tales como, por ejemplo, restricciones de conectividad, de diámetro y/o de tamaño. Una base 104 de datos permite a un nodo memorizar el estado de la red, el estado de los enlaces de conectividad con nodos vecinos, información relacionada con el clúster según procedimientos conocidos por el experto en la materia. Los mensajes usados por los nodos para dialogar e intercambiar información relacionada con el estado de la red son, por ejemplo, mensajes de tipo "Hello" que se conocen por el experto en la materia y no se detallarán.

El procedimiento se implementa en cada uno de los clústeres. Un primer procedimiento consiste en seleccionar un miembro de cada clúster y elegir ese miembro como líder de clúster, según lo procedimientos conocidos por el experto en la materia. Un ejemplo es seleccionar el miembro del clúster cuya dirección MAC es más baja. Un segundo enfoque es que el conjunto de los miembros del clúster se coordina directamente entre ellos usando mensajes, por ejemplo, de tipo "hello", que contiene la información requerida, tal como los miembros del clúster del transmisor, el estado de los enlaces en el interior del clúster, etc.

La función de coste implementada dentro de cada uno de los nodos de la red se define, en el caso de una red donde los nodos pertenecen a un mismo grupo, para alcanzar al menos uno de los dos siguientes objetivos:

- construir clústeres que comprenden un máximo de miembros que pertenecen a un mismo grupo,
- favorecer clústeres cuyo tamaño es máximo en relación con las restricciones de funcionamiento de la red preestablecidas.

En el caso de una red ad hoc móvil donde los nodos no se reagrupan necesariamente por grupo operativo, se tendrá en cuenta únicamente el segundo objetivo.

La función de coste, en particular, se ajusta en función del objetivo buscado teniendo en cuenta parámetros diversos, tales como: el tamaño de los clústeres, el número de miembros de los grupos en los clústeres, la calidad de los enlaces de radio, etc. Debido a la movilidad de los nodos de la red, los clústeres formados anteriormente pueden no satisfacer ya las restricciones de geometría, el procedimiento según la invención permitirá, en particular, abordar este problema.

En el ejemplo dado, cada nodo de la red pertenece a un solo grupo operativo según la definición dada previamente. El número total de grupos operativos es N_g . El procedimiento construirá clústeres conexos (término conocido por el experto en la materia). Estos clústeres pueden tener, por ejemplo, un número de miembros máximo n_{max} . Además, el diámetro del subgráfico inducido por sus miembros puede limitarse por el valor máximo d_{max} (definición según la teoría de los gráficos).

Cada nodo de un clúster debe mantener información relacionada con el clúster del que es miembro:

- los identificadores y los grupos operativos de los nodos del clúster,
- los enlaces radio entre los miembros del clúster.

Cada nodo mantendrá una tabla, por ejemplo, almacenada en la base de datos y que contiene la información siguiente relacionada con los clústeres vecinos $\{C_k\}$:

- los números $n_{k,l}$ de miembros de un clúster C_k por grupo operativo l ,
- el número n_k de miembros del clúster deducido de los números $n_{k,l}$,
- Opcionalmente, los enlaces de radio $l_{k,l}$ entre los miembros del clúster.

El procedimiento define una función de coste y un coste asociado a cada clúster. Un ejemplo de cálculo de coste tendrá en cuenta el número de los miembros del clúster por grupo operativo.

El objetivo del algoritmo de clusterización según la invención es, en particular, minimizar el coste asociado a cada clúster. Un primer ejemplo de cálculo de coste de un clúster C_k cuando los nodos del clúster pertenecen a un grupo organizativo se da por la siguiente función:

$$c_1(C_k) = 1 - \frac{n_{k,\ell} \cdot (n_{k,\ell} + 1)}{n_\ell^g \cdot (n_\ell^g + 1)},$$

con k el número que designa el clúster cuyo coste se calcula, l el grupo cuyo número de miembros o nodos es el más elevado en el clúster k , $n_{k,l}$ como se definió anteriormente y n_ℓ^g el tamaño del grupo operativo número l .

Un segundo ejemplo de cálculo de coste del clúster C_k , esta vez en ausencia de noción de grupo organizativo, se da por la siguiente función:

$$c_2(C_k) = 1 - \frac{n_k \cdot (n_k + 1)}{n_{max} \cdot (n_{max} + 1)},$$

con n_{max} y n_k definidos anteriormente.

5 En estos dos ejemplos, el coste de un clúster vacío es máximo e igual a 1.

El procedimiento según la invención constará de una primera fase de construcción de clústeres que ejecutan un algoritmo de clusterización y una segunda fase de mantenimiento de los clústeres. Antes de explicar las etapas del algoritmo, algunos recordatorios acerca de la noción de ganancia se dan en este contexto de la invención.

10 El algoritmo de clusterización tiene, en particular, por función efectuar una reagrupación distribuida y dinámica de los nodos de la red. La figura 2 ilustra un diagrama de flujo de las etapas ejecutadas por el algoritmo de clusterización.

La pérdida ligada a la partida de un grupo de nodos $\{u_i\}$ de un clúster C_k es igual a $c(C_k \setminus \{u_i\}) - c(C_k)$ y la ganancia ligada a la llegada de un grupo de nodos $\{u_i\}$ en un clúster C_i es igual a $c(C_i) - c(C_i \cup \{u_i\})$. La ganancia neta $g(\{u_i\}, C_k, C_i)$ ligada al desplazamiento de un grupo de nodos $\{u_i\}$ desde un primer clúster C_k hacia un segundo clúster C_i vale entonces:

15
$$g(\{u_i\}, C_k, C_i) = [c(C_i) - c(C_i \cup \{u_i\})] - [c(C_k \setminus \{u_i\}) - c(C_k)].$$

De manera regular los nodos de un clúster C_k evalúan la oportunidad para los conjuntos de nodos $\{u_i\}$ miembros del clúster C_k miembros del mismo grupo operativo para dejar el clúster C_k para unirse a un clúster vecino C_i . El clúster C_k debe continuar satisfaciendo las restricciones definidas en los clústeres en el caso donde los nodos $\{u_i\}$ los dejarían.

20 Además de la llegada de los nodos $\{u_i\}$ en el clúster C_i no debe conducir a la "no satisfacción" de las restricciones definidas en los clústeres.

Para los grupos de nodos $\{u_i\}$ y los clústeres C_i que satisfacen las condiciones predefinidas, es el grupo de nodos $\{u_i\}$ y el clúster C_i que conduce a la mejor ganancia $g(\{u_i\}, C_k, C_i) > 0$ que se retiene. En caso de igualdad entre varios pares (grupo de nodos, clústeres), $(\{u_i\}, C_i)$, uno de entre ellos se selecciona aleatoriamente. Si un grupo de nodos $\{u_i\}$ se ha seleccionado para dejar el primer clúster C_k y unirse al segundo clúster C_i , entonces, un cambio de mensajes entre los dos clústeres permite aplicar la modificación decidida de este modo según unos principios conocidos por el experto en la materia.

25 En la figura 2, la primera etapa 200 es una etapa de aprendizaje de información de un clúster local C_k y de los clústeres vecinos. Se define 201 la lista L de los conjuntos de miembros del clúster local C_k que están en el mismo grupo operativo. Ya sea M un conjunto que contiene los nodos del clúster local C_k que no satisface las restricciones definidas inicialmente. M está inicialmente vacía, 202. Se inicializa también la ganancia g a cero.

Se comprueba si la lista L está vacía, 203. Si la lista está vacía, se selecciona 204 aleatoriamente un conjunto de nodos del mismo grupo del clúster C_k , $(\{u_i\}, C_i)$ de M y se hacen migrar los grupos de nodos $\{u_i\}$ del clúster local C_k al clúster C_i

35 Si la lista L no está vacía, existen miembros del clúster local C_k que están en un mismo grupo operativo y que aún no han sido evaluados por el algoritmo, entonces se va a 211, considerar el primer elemento $\{u_i\}$ de la lista L y eliminar este primer elemento de la lista L.

Se comprueba, 212, si después de la partida del grupo de nodos $\{u_i\}$ del clúster local C_k , este último satisface aún las restricciones sobre los clústeres. Si sí, entonces, 213, se considera N la lista de los clústeres vecinos del clúster local C_k y se va a la etapa 220. Si no, entonces se vuelve a la etapa 203. La prueba sobre las restricciones puede constar de la verificación de que el diámetro del clúster obtenido después de la partida del grupo $\{u_i\}$ permanece inferior a un valor máximo de diámetro predefinido y/o que la partida del grupo de nodos $\{u_i\}$ no representa el clúster no conexo.

40 Si la lista de los clústeres vecinos no está vacía, 220, se considera el primer elemento de N que corresponde al primer clúster vecino de la lista, se toma 221 el primer elemento de N, después se verifica 222 si la unión del primer clúster vecino C_i con el grupo de nodos del clúster $\{u_i\}$ satisface bien las restricciones sobre los clústeres. Si las restricciones sobre los clústeres no se satisfacen, entonces se vuelve a la etapa 220, si no, se calculará 223, la ganancia $g(\{u_i\}, C_k, C_i)$. Si esta ganancia es estrictamente superior a un valor de ganancia g de referencia, 224, entonces se va a, 225, actualizar como referencia de ganancia g la ganancia $g(\{u_i\}, C_k, C_i)$ inducida por la movilidad del grupo de nodos hacia el clúster C_i y se va a actualizar la lista $M = \{\{u_i\}, C_i\}$, después se vuelve 228 a la etapa 220.

50 Si esta ganancia no es estrictamente superior a g, entonces, 226 se comprueba si el valor de ganancia g es igual al valor $g(\{u_i\}, C_k, C_i)$, si sí, se añade $\{\{u_i\}, C_i\}$ a M: $M = M \cup \{\{u_i\}, C_i\}$, 227 después se vuelve 228 a la etapa 220. Si el valor de ganancia encontrado es estrictamente inferior a g, entonces se vuelve 228 a la etapa 220.

5 El procedimiento realiza las restricciones sobre cada clúster asegurando, por ejemplo, que el gráfico inducido por el clúster posee ciertas propiedades conocidas por el experto en la materia, por ejemplo, un número de nodos inferior a un valor umbral n_{max} , un diámetro inferior a un valor mínimo, una forma geográfica dada, una geometría estrellada cuyo centro es el líder de clúster. La calidad de los enlaces de radio en el interior del clúster también se puede verificar, en relación con un valor de calidad suficiente fijado.

El procedimiento puede constar de una fase de mantenimiento de los clústeres que se ejecuta por los nodos de los clústeres.

10 Debido a la movilidad espacial de los nodos, en un momento, la o las restricciones definidas (por ejemplo, la conectividad o el diámetro) puede no satisfacerse. Para verificarlo, por ejemplo, periódicamente, cada clúster verifica si la lista de sus miembros forma todavía un gráfico conexo. Un clúster para el que los miembros no forman un gráfico conexo, considerará uno por uno los conjuntos de sus miembros que forman parte del mismo grupo operativo. Cada uno de estos conjuntos se divide en tantos nuevos clústeres como subcomponentes conexos. Además, si uno de estos conjuntos o si uno de estos componentes conexos de nuevo formados no satisface la restricción de diámetro, entonces este grupo de nodos se divide en tantos clústeres como subcomponentes que satisfacen la restricción de diámetro. Cuando la restricción de diámetro vale 2, por ejemplo, una manera de dividir un grupo de nodos de un grupo de clústeres que no satisface esta restricción es utilizar la heurística siguiente: (1) reagrupar el nodo de mayor grado con todos sus vecinos y (2) construir componentes conexos con los nodos restantes. Siempre que la verificación de las restricciones se realice lo suficientemente frecuente, esta heurística permite alcanzar grupos de nodos que satisfacen una o las dos condiciones de conexión y de diámetro.

20 La figura 3 ilustra un ejemplo de diagrama de flujo de las etapas implementadas por la fase de mantenimiento, considerando la restricción de conectividad. También sería posible implementar cualquier procedimiento de mantenimiento conocido por el experto en la materia que presenta como característica verificar que los clústeres verifican las restricciones y que está adaptado para dividir uno o varios clústeres que no verifican estas restricciones en tantos clústeres como sea necesario.

25 Durante una primera etapa, 300 se comprueba si el clúster C_k se conecta. Si sí, 310, se conserva el clúster en el estado. También es posible verificar que el diámetro del clúster obtenido verifica siempre otras restricciones en los clústeres.

En el caso donde el clúster no está conectado, entonces el algoritmo de mantenimiento ejecutará las etapas descritas anteriormente.

30 Ya sea L la lista de los conjuntos de miembros del clúster local C_k que están en el mismo grupo operativo.

Se comprueba si la lista L está vacía 321, si sí, el procedimiento de mantenimiento se termina 323.

35 En el caso donde la lista L contiene un elemento al menos, entonces 322 se va a eliminar de la lista el primer elemento $\{u_i\}$. Se comprueba 324, si el conjunto $\{u_i\}$ es conexo. Si sí, se vuelve a la etapa 321 de prueba. Si no, entonces se divide el conjunto 325 en varios componentes conexos $\{\{u^1_i\}, \dots, \{u^m_i\}\}$ y se creará un nuevo clúster con cada uno de estos componentes conexos, después se vuelve a la etapa 321 de prueba.

Los nodos de los clústeres se intercambian mensajes en un formato "Hello", por ejemplo, para prevenir cambios y actualizar las bases de datos.

La red de la figura 1 se compone de treinta nodos distribuidos en seis grupos operativos de igual tamaño $n_i^g = 5$.

40 Se supone que inicialmente cada nodo forma su propio clúster singleton. Primeramente, cada nodo u buscará unirse a otro nodo v vecino. La ganancia asociada si v es del mismo grupo o igual a:

$$g(\{u\}, \{u\}, \{v\}) = [c(\{v\}) - c(\{u, v\})] - [c(\emptyset) - c(\{u\})].$$

O $c(\{u\}) = c(\{v\})$ y $c(\emptyset) = 1$, por lo tanto:

$$g(\{u\}, \{u\}, \{v\}) = 2 \cdot c(\{u\}) - c(\{u, v\}) - 1,$$

$$g(\{u\}, \{u\}, \{v\}) = 2 \cdot \left\{ 1 - \frac{1 * 2}{5 * 6} \right\} - \left\{ 1 - \frac{2 * 3}{5 * 6} \right\} - 1.$$

$$g(\{u\}, \{u\}, \{v\}) = 2 \cdot \left\{ 1 - \frac{1}{15} \right\} - \left\{ 1 - \frac{1}{5} \right\} - 1,$$

$$g(\{u\}, \{u\}, \{v\}) = \frac{1}{15}.$$

Cada nodo buscará formar un clúster de dos miembros con uno de sus nodos vecinos miembros del mismo grupo operativo.

5 La secuencia exacta de las formaciones de clúster depende del procedimiento de acceso al canal de radio. Para ilustra un funcionamiento posible de la invención miremos en detalle lo que puede pasar al nivel de los nodos de la red:

- los nodos 1 y 19 deciden individualmente unirse al nodo del mismo grupo 13 (escondido tras el nodo 16 en la figura),
- los nodos 2, 8, 14 y 20 deciden individualmente unirse al nodo del mismo grupo 26,
- 10 • el nodo 3 decide ir a unirse al nodo del mismo grupo 21,
- los nodos 4 y 16 deciden individualmente unirse al nodo del mismo grupo 22,
- el nodo 5 decide ir a unirse al nodo del mismo grupo 17,
- el nodo 6 decide ir a unirse al nodo del mismo grupo 30,
- el nodo 25 decide ir a unirse al nodo del mismo grupo 7,
- 15 • el nodo 15 decide unirse al nodo del mismo grupo 9,
- el nodo 12 decide ir a unirse al nodo del mismo grupo 24,
- el nodo 23 decide ir a unirse al nodo del mismo grupo 29,
- los nodos 11, 10, 18, 27 y 28 permanecen en su propio clúster.

20 Estas moviidades entre los clústeres se ilustran por la figura 4. Se forman quince clústeres: {1, 19, 13}, {2, 4, 8, 20, 26}, {3, 21}, {4, 16, 22}, {5, 17}, {6,30}, {7,25}, {9, 15}, {10}, {11}, {12, 24}, {18}, {23,29}, {27}, {28}.

$$c(C_k) = 1 - \frac{n_{k,r} \cdot (n_{k,r} + 1)}{n_r^g \cdot (n_r^g + 1)}.$$

Consideremos la función de coste Miremos ahora en detalle un seguimiento posible del funcionamiento de la invención, en lo que se refiere al clúster {5, 17}, cuyos dos miembros son del mismo grupo. La parte ligada a la salida del clúster de estos dos miembros se escribe:

$$c(\emptyset) - c(\{5,17\}) = 1 - \left\{ 1 - \frac{1}{5} \right\} = \frac{1}{5}.$$

25 El clúster {5, 17} tiene cuatro clústeres vecinos. La ganancia ligada a la fusión del clúster {5, 17} con {11} (todos del mismo grupo) es:

$$g(\{5,17\}, \{5,17\}, \{11\}) = [c(\{11\}) - c(\{5,11,17\})] - \frac{1}{5},$$

$$g(\{5,17\}, \{5,17\}, \{11\}) = \left[\left\{ 1 - \frac{1 * 2}{5 * 6} \right\} - \left\{ 1 - \frac{3 * 4}{5 * 6} \right\} \right] - \frac{1}{5},$$

$$g(\{5,17\}, \{5,17\}, \{11\}) = \frac{14}{15} - \frac{3}{5} - \frac{1}{5} = \frac{2}{15}.$$

La ganancia ligada a la fusión del clúster {5, 17} con {23,19} (todos del mismo grupo) es:

$$g(\{5,17\}, \{5,17\}, \{23,29\}) = [c(\{23,29\}) - c(\{5,17,23,29\})] - \frac{1}{5},$$

$$g(\{5,17\}, \{5,17\}, \{23,29\}) = \left[\left\{ 1 - \frac{2 * 3}{5 * 6} \right\} - \left\{ 1 - \frac{4 * 5}{5 * 6} \right\} \right] - \frac{1}{5},$$

$$g(\{5,17\}, \{5,17\}, \{11\}) = \frac{4}{5} - \frac{1}{3} - \frac{1}{5} = \frac{4}{15}.$$

La ganancia ligada a la fusión del clúster {5, 17} con {28} (de grupos diferentes) es:

$$g(\{5,17\}, \{5,17\}, \{28\}) = [c(\{28\}) - c(\{5,17,28\})] - \frac{1}{5},$$

$$g(\{5,17\}, \{5,17\}, \{28\}) = \left[\left\{ 1 - \frac{1 * 2}{5 * 6} \right\} - \left\{ 1 - \frac{2 * 3}{5 * 6} \right\} \right] - \frac{1}{5},$$

$$g(\{5,17\}, \{5,17\}, \{28\}) = \frac{14}{15} - \frac{4}{5} - \frac{1}{5} = -\frac{1}{15}.$$

La ganancia ligada a la fusión del clúster {5, 17} con {9,15} (de grupos diferentes) es:

$$g(\{5,17\}, \{5,17\}, \{9,15\}) = [c(\{9,15\}) - c(\{5,9,15,17\})] - \frac{1}{5},$$

$$g(\{5,17\}, \{5,17\}, \{9,15\}) = \left[\left\{ 1 - \frac{2 * 3}{5 * 6} \right\} - \left\{ 1 - \frac{2 * 3}{5 * 6} \right\} \right] - \frac{1}{5},$$

$$g(\{5,17\}, \{5,17\}, \{9,15\}) = -\frac{1}{5}.$$

5

La ganancia ligada a la fusión del clúster {5, 17} con {2, 4, 8, 20, 26} (de grupos diferentes) es:

$$\begin{aligned} g(\{5,17\}, \{5,17\}, \{2, 4, 8, 20, 26\}) \\ = [c(\{2, 4, 8, 20, 26\}) - c(\{2, 4, 8, 11, 17, 20, 26\})] - \frac{1}{5}, \end{aligned}$$

$$g(\{5,17\}, \{5,17\}, \{2, 4, 8, 20, 26\}) = \left[\left\{ 1 - \frac{5 * 6}{5 * 6} \right\} - \left\{ 1 - \frac{5 * 6}{5 * 6} \right\} \right] - \frac{1}{5},$$

$$g(\{5,17\}, \{5,17\}, \{2, 4, 8, 20, 26\}) = -\frac{1}{5}.$$

El clúster {5,17} elige fusionarse con el clúster {23, 19}, ya que es esta acción la que ocasiona la ganancia más elevada.

10 La movilidad entre clústeres de los nodos {5, 17} se ilustra en la figura 5.

La invención no necesita la presencia de líder de clúster. Ofrece una convergencia rápida para la construcción de clústeres y solicita un bajo número de interacciones en redes densas, por ejemplo, menos de diez interacciones en las redes que constan de 1000 nodos con una densidad de aproximadamente 150 vecinos en 1 salto.

- 5 Además, solo necesita muy pocos parámetros para funcionar. Por ejemplo, el primer ejemplo de función de coste $c_1(C_k)$, ningún parámetro de configuración se requiere ($n_{k,l}$ es una variable medida durante la ejecución del procedimiento y $n_{k,l}$ está ligado a la estructura en grupos de la red). En el segundo ejemplo de función de coste $c_2(C_k)$, solo el parámetro de configuración que indica el tamaño máximo n_{max} de un clúster se requiere (n_k es una variable medida durante la ejecución del procedimiento).

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para reagrupar de manera distribuida y dinámica nodos en una red de radio ad hoc móvil RM, comprendiendo cada nodo un procesador (103) provisto de un algoritmo de clusterización y un módulo de comunicación (101, 102), comunicándose los nodos entre ellos por medio de mensajes, constando al menos de las siguientes etapas:

- 5 • definir a priori un conjunto de restricciones de funcionamiento de la red que se verificará para los clústeres, tales como restricciones en la topología de la red y/o en la calidad de los enlaces de comunicación, memorizándose estas restricciones dentro de una tabla de datos,
- 10 • reagrupar los nodos de la red en clústeres,
- el procedimiento se ejecuta dentro de cada clúster, considerando un clúster local C_k , (201) y un conjunto de nodos $\{u_i\}$ que pertenecen a ese clúster,

el procedimiento **caracterizado porque**

- 15 • al nivel del nodo maestro del clúster C_k , para cada uno de los clústeres C_i vecinos del clúster C_k , determinar si los clústeres $C_k \setminus \{u_i\}$ y $C_i \cup \{u_i\}$ verifican las restricciones de funcionamiento en los clústeres,
- al nivel del nodo maestro del clúster local C_k , para cada uno de los clústeres vecinos C_i para los cuales, las restricciones sobre los clústeres se satisfacen, calcular la ganancia g inducida por la movilidad de los grupos de nodos $\{u_i\}$ del primer clúster C_k hacia el clúster C_i definiéndose la ganancia g como la diferencia entre la suma de los costes de los clústeres C_i y C_k y la suma de los costes de los clústeres $C_k \setminus \{u_i\}$ y $C_i \cup \{u_i\}$,
- 20 • al nivel del nodo maestro del clúster local C_k , retener el clúster que induce la ganancia g más elevada, e
- intercambiar al menos un mensaje entre los dos clústeres con el fin de que el conjunto de los nodos $\{u_i\}$ abandone el clúster C_k para unirse al clúster C_i .

2. Procedimiento según la reivindicación 1 **caracterizado porque** cada nodo forma su propio clúster singleton.

3. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 o 2 **caracterizado porque** se verifican las restricciones en los clústeres verificando al menos uno de los siguientes parámetros: la conectividad de los nodos, el diámetro del clúster en relación con un valor d_{max} , el tamaño del clúster, el número de nodos de un clúster en relación con un valor n_{max} dado, la estructura en estrella de un clúster centrada en el líder de clúster, la calidad de los enlaces de radio dentro de un clúster.

4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3 **caracterizado porque** consta de al menos las siguientes etapas:

- 30 • una etapa (200) de aprendizaje de la información de un clúster local C_k y clústeres vecinos, comprendiendo un clúster un conjunto de miembros o nodos,
- definir (201) la lista L de los conjuntos de miembros del clúster local C_k que están en un mismo grupo operativo con funciones idénticas, definir una lista M de nodos inicialmente vacía (202), inicializar un valor de ganancia g a cero,
- 35 • comprobar si la lista L de los conjuntos de miembros del clúster del mismo grupo operativo está vacía (203) y, seleccionar (204) aleatoriamente un conjunto grupo de nodos, clúster, $(\{u_i\}, C_i)$ contenido en una lista M que corresponde a los nodos que inducen una ganancia máxima y migrar el grupo de nodos $\{u_i\}$ del clúster local C_k al segundo clúster C_i ,
- si la lista L no está vacía, entonces se considera (211) un primer elemento $\{u_i\}$ de la lista L,
- 40 • se comprueba (212) si después de la partida del grupo de los nodos $\{u_i\}$ del clúster local C_k , este último satisface aún las restricciones sobre los clústeres,
 - si sí, entonces (213) se considera N la lista de los clústeres vecinos del clúster local C_k y se va a una etapa (220) siguiente de prueba en la lista de los clústeres,
 - si no, entonces se vuelve a la etapa (203),
- 45 • si la lista de los clústeres vecinos no está vacía (220), se considera el primer elemento de N que corresponde al primer clúster vecino de la lista, se toma (221) el primer elemento de N, después se verifica (222) si la unión del primer clúster vecino C_i con el grupo de nodos del clúster $\{u_i\}$ satisface bien las restricciones sobre los clústeres,
- si las restricciones sobre los clústeres no se satisfacen, entonces se vuelve a la etapa (220),
- si no, se calculará (223) la ganancia $g(\{u_i\}, C_k, C_i)$,
- 50 • si esta ganancia es estrictamente superior a un valor de ganancia g de referencia, 224, entonces actualizar (225) la referencia de ganancia g utilizando la ganancia $g(\{u_i\}, C_k, C_i)$ inducida por la movilidad del grupo de nodo hacia el clúster C_i , se actualiza la lista $M = \{ \{u_i\}, C_i \}$ y se vuelve (228) a la etapa (220),
- si esta ganancia no es estrictamente superior a g , entonces, (226) se comprueba si el valor de ganancia g es igual al valor $g(\{u_i\}, C_k, C_i)$, si sí, se añade $\{ \{u_i\}, C_i \}$ a M: $M = M \cup \{ \{u_i\}, C_i \}$, (227) y se vuelve (228) a la etapa (220),
- 55 • si el valor de ganancia encontrado es estrictamente inferior a g , entonces se vuelve (228) a la etapa (220).

5. Procedimiento según la reivindicación 1 **caracterizado porque** el conjunto de los nodos se forma de nodos reagrupados por funcionalidad.

6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores **caracterizado porque** consta de una fase de mantenimiento en la que cada clúster determina su dimensión y verifica si la lista de los nodos contenidos en el clúster forma un gráfico conexo.

7. Procedimiento según la reivindicación 6 **caracterizado porque** la dimensión verificada es el diámetro del clúster y, en el caso donde el diámetro del clúster es superior a un valor dado, el grupo de nodos que pertenecen al clúster se divide en varios grupos de nodos.

8. Procedimiento según la reivindicación 7 **caracterizado porque** se divide el grupo de nodos usando las siguientes etapas:

- reagrupar el nodo de mayor grado con todos sus vecinos,
- construir componentes conexos con los nodos restantes.

9. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8 **caracterizado porque** consta de al menos las siguientes etapas:

15 durante una primera etapa (300) se comprueba si el clúster C_k verifica las restricciones sobre los clústeres,

- si sí (310), se conserva el clúster en el estado,
- si el clúster no verifica las restricciones, entonces se ejecutan las siguientes etapas:

• ya sea L la lista de los conjuntos de miembros del clúster local C_k que están en el mismo grupo operativo, (320),

20 • si la lista L está vacía, el procedimiento de mantenimiento termina (323),

• si la lista L contiene un elemento al menos, entonces se comprueba (324) si el conjunto $\{u_i\}$ es conexo,

• si sí, se vuelve a la etapa de prueba la lista L está vacía (321),

• si no, entonces se divide el conjunto (325) en varios componentes conexos $\{\{u^1_i\}, \dots, \{u^m_i\}\}$ y se creará un nuevo clúster con cada uno de estos componentes conexos, después se vuelve a la etapa de prueba la lista L está vacía (321).

25

10. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores **caracterizado porque** el cálculo de ganancia inducido se efectúa usando una función de coste expresada de la siguiente manera:

$$c_1(C_k) = 1 - \frac{n_{k,l} \cdot (n_{k,l} + 1)}{n_l^g \cdot (n_l^g + 1)},$$

30 con l el grupo operativo cuyo número de miembros es el más elevado en el clúster k , $n_{k,l}$ el número de nodos del grupo l , y n_l^g el tamaño del grupo operativo número l .

11. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 9 **caracterizado porque** el cálculo de ganancia inducido se efectúa usando una función de coste expresada de la siguiente manera:

$$c_2(C_k) = 1 - \frac{n_k \cdot (n_k + 1)}{n_{max} \cdot (n_{max} + 1)},$$

con n_k el número de miembros del clúster C_k , y n_{max} el tamaño máximo admisible de un clúster.

35 12. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores **caracterizado porque** los nodos se comunican entre sí usando mensajes de tipo "Hello".

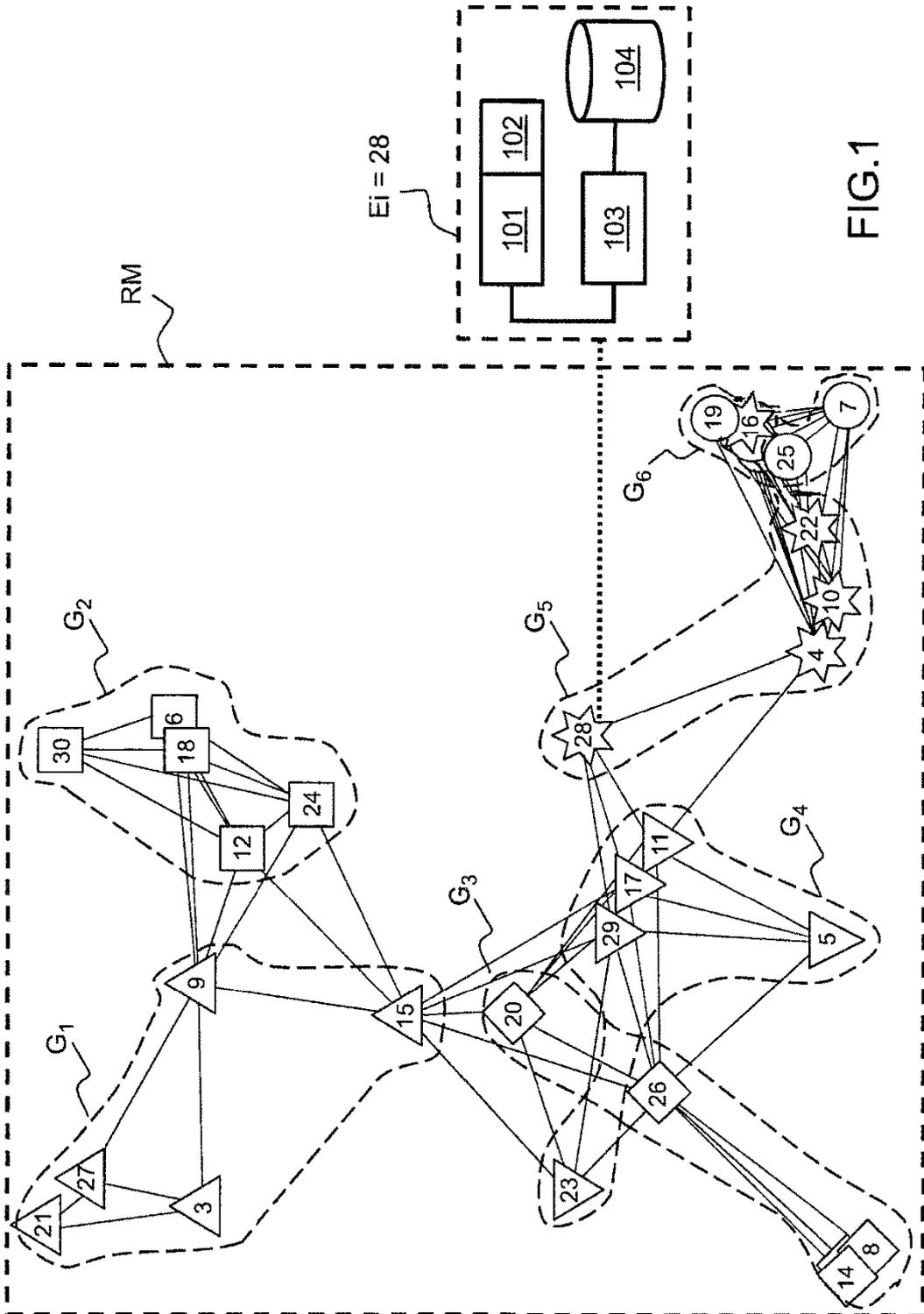


FIG.1

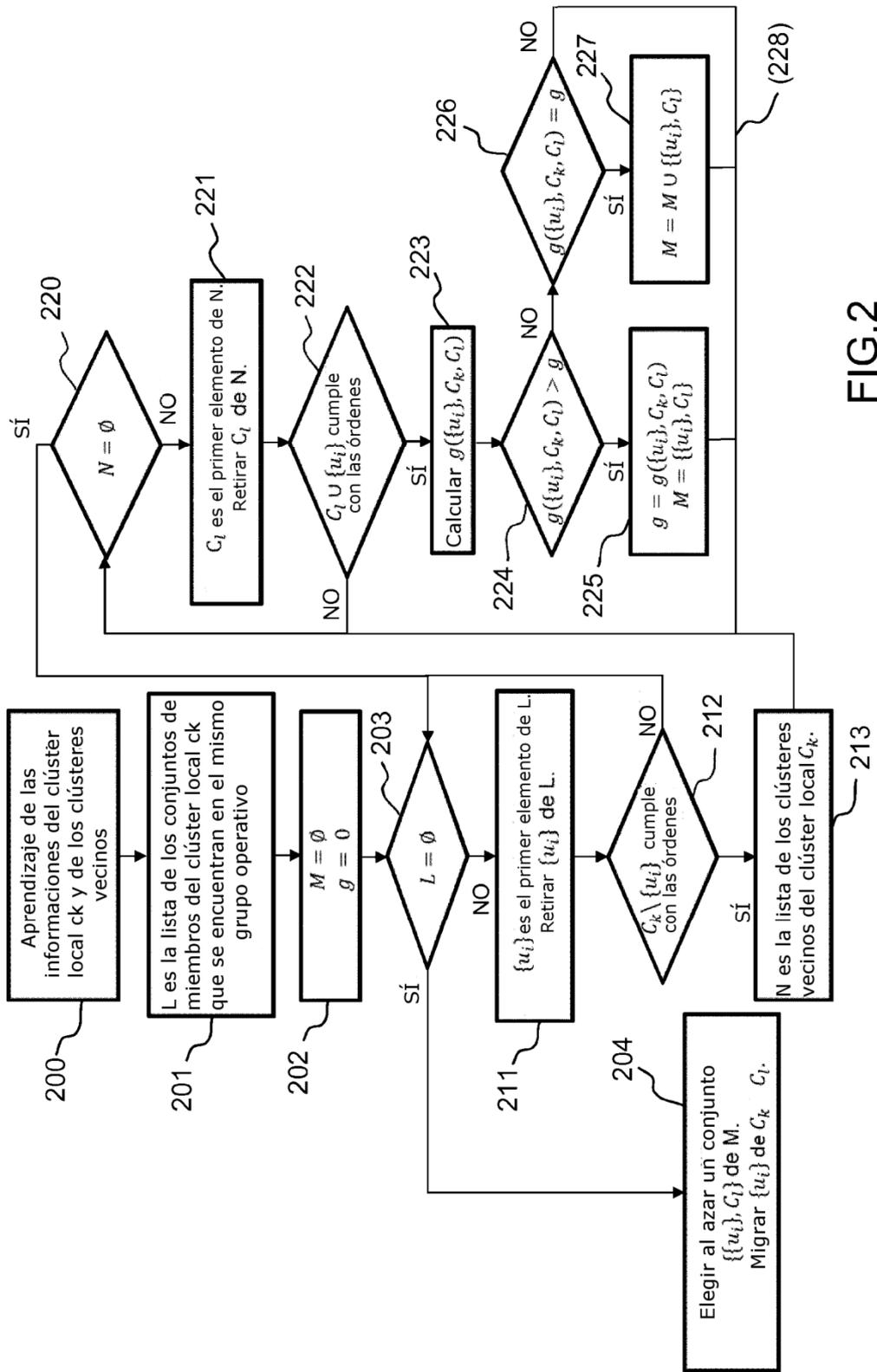


FIG. 2

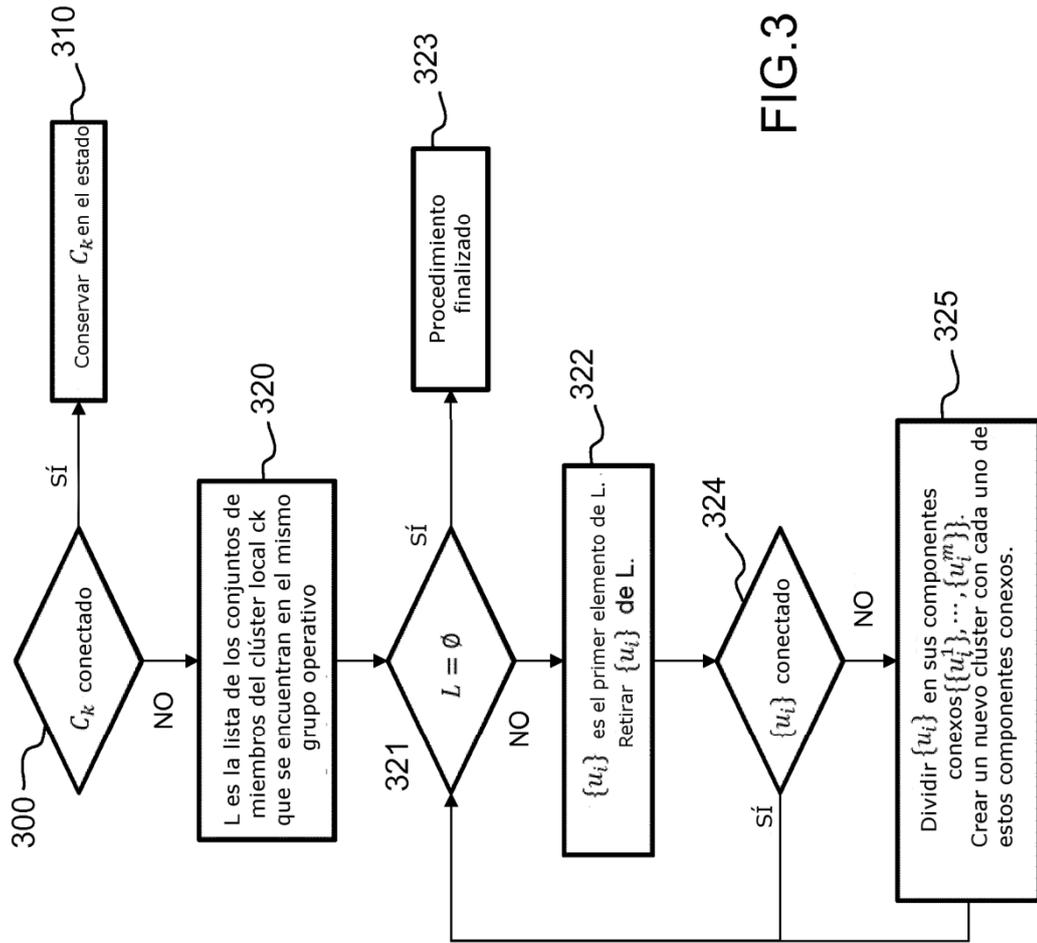


FIG.3

