

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 810 925**

51 Int. Cl.:

G01S 5/02 (2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.08.2017 PCT/EP2017/069482**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.02.2018 WO18024750**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.08.2017 E 17748459 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.05.2020 EP 3494403**

54 Título: **Procedimiento y sistema de geolocalización para el cálculo directo de elementos de desplazamiento**

30 Prioridad:

02.08.2016 FR 1601190

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

09.03.2021

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**LEMER, ALAIN y
YWANNE, FRÉDÉRIQUE**

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 810 925 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 y sistema de geolocalización para el cálculo directo de elementos de desplazamiento

5 La invención se refiere a un procedimiento y a un sistema que permiten la geolocalización de uno o de varios objetos a partir de medidas de distancia obtenidas por una función de medida de distancias entre nodos conocida bajo el término anglosajón “*ranging*” y de posiciones de anclas imprecisas, para el cálculo directo de elementos de desplazamiento. El procedimiento permite por tanto determinar la posición de un objeto sobre un mapa, sobre un plano, en una referencia dada con la ayuda de sus coordenadas geográficas, latitud/longitud u otras coordenadas.

10 La determinación de la posición de un objeto del cual se conocen las distancias a otros objetos de posiciones conocidas es un tema clásico en el campo de la localización. En general, se utilizan estaciones de detección cuya posición es perfectamente conocida o “anclas”. En este caso, la incertidumbre del resultado de la posición reside principalmente en la precisión de las medidas de las distancias denominadas más adelante “*ranging*”.

15 Otro enfoque posible consiste en determinar el posicionamiento relativo de los nodos de una red de estaciones, sobre la única base de información es de distancias relativas entre todos o parte de estos nodos. El conocimiento preciso de un número limitado de informaciones a priori de las posiciones sobre ciertos nodos permite por tanto determinar la posición absoluta del conjunto de los nodos de la red. Sin embargo, deben superarse varios obstáculos, por ejemplo:

- El conjunto de las medidas de distancias entre los nodos no es forzosamente accesible, debido al alcance de los módulos de *ranging*,
- Las medidas de distancias están necesariamente contaminadas de errores que hacen que la resolución geométrica sea potencialmente sobredeterminada,
- 20 • Las informaciones necesarias para el posicionamiento absoluto pueden distribuirse sobre las coordenadas de varios nodos,
- Finalmente, las informaciones necesarias para el posicionamiento absoluto pueden, del mismo modo, estar contaminadas de errores, potencialmente más importantes que los asociados al *ranging*.

25 Este último punto es particularmente importante en la práctica, en especial en navegación colaborativa. De hecho, la información de posicionamiento absoluto de ciertos nodos es a menudo obtenida por receptores del sistema de posicionamiento por satélite conocidos bajo la abreviatura GNSS comerciales (*Global Navigation Satellite System*), cuyo error de posicionamiento puede, en condiciones de recepción difíciles, exceder ampliamente los errores de las medidas de distancia (*ranging*) entre nodos. Ignorar esta situación puede por tanto conducir a errores de posicionamiento de los nodos libres, incluso a rechazar medidas de *ranging* válidas, pero incompatibles con las distancias calculadas a partir de las posiciones absolutas supuestas sin errores.

30 Uno de los problemas técnicos planteado es encontrar una solución eficaz de cálculo de las posiciones de nodos, con el fin de que una métrica de las separaciones entre las medidas de *ranging* y las distancias entre nodos de la solución sean mínimas y teniendo en cuenta la incertidumbre asociada a los errores de *ranging* y a los errores de posicionamiento absoluto.

35 La técnica anterior describe principalmente dos enfoques para tratar este problema.

Un primer enfoque consiste en reconstruir una geometría relativa de los nodos de una red a partir de informaciones de *ranging* y, posiblemente, de informaciones angulares entre nodos, por ejemplo por geometría en el seno de un nodo. Estos métodos son generalmente reagrupados bajo el término de “localización sin ancla” o en anglosajón “*Anchor Free Localization*”. En este enfoque, que utiliza únicamente las medidas de *ranging*, todas las posiciones de los nodos son libres, a priori, y los métodos buscan ajustar las mismas de manera que el error cuadrático medio entre las distancias calculadas entre nodos y las medidas de *ranging* sean mínimos. Se han propuesto algoritmos muy numerosos, desde el simple algoritmo de tipo muelle de masa, o “*mass-spring*” a técnicas de optimización más complejas, por ejemplo, la resolución de mínimos cuadrados por Newton-Raphson, el filtrado particular, etc. Lo esencial de las variantes de este enfoque se fija en evitar la convergencia hacia un mínimo local sin, sin embargo, garantizarlo.

45 Un segundo enfoque contempla reconstruir la posición absoluta de los nodos de la red a partir de informaciones de *ranging* a través del conocimiento a priori de la posición de ciertos entre sí, denominados “anclas”. Se trata igualmente de minimizar la separación cuadrática media entre la distancia entre las posiciones de los nodos y las medidas de *ranging*, siendo ciertas posiciones a priori fijas y conocidas. El problema es por tanto un problema de minimización de una función de coordenadas de nodos libres, por ejemplo a través de un algoritmo de tipo de mayor pendiente o en anglosajón “*steepest descent*”. El artículo “*Anchor-Based Three-Dimensional Localization Using Range Measurements*”, Wang, Yue y otros, ilustra este enfoque que no garantiza sin embargo el logro de un óptimo global. Trabajos más teóricos proponen métodos de optimización global.

55 Un tercer enfoque utiliza fuentes o anclas externas de posiciones no conocidas. El problema es conocido bajo el término “auto calibración” en el cual se busca localizar de forma conjunta las fuentes y los sensores que las detectan. Se utilizan diferencias de tiempo de llegada o TDOA, lo que da una información menos rica que una medida directa de *ranging*, asimilable a un tiempo de llegada o TOA (abreviado anglosajón de “*Time Of Arrival*”), y

que no aprovecha informaciones a priori sobre las posiciones de las fuentes. El artículo "Calibration-Free TDOA Self-Localization, Wendeborg Johannes y otros, in Journal of Location Based Services, May 2013" ilustra una implementación posible de este enfoque a través de varios algoritmos clásicos, de tipo *mass-spring*, de gradiente descendente, de Gauss-Newton...) o más específicos "algoritmo de *Cone alignment*"), siendo conocidos estos algoritmos por el experto en la materia.

Uno de los inconvenientes de la técnica anterior es que se supone:

- O bien que todas las posiciones de los sensores son libres, sólo entregando una geometría del conjunto de los nodos potencialmente precisa, pero de coordenadas relativas de los nodos entre sí,
- O bien que la determinación de la posición absoluta de los nodos se basa en el conocimiento externo de la posición de ciertos entre sí cuya exactitud se supone perfecta.

A priori, la técnica anterior no trata de la integración conjunta de la incertidumbre sobre la posición de anclas y, de la posible reconsideración de estas posiciones.

El artículo "Effective error control of iterative localization for wireless sensor networks" Wu, Xiaoping y otros, describe un procedimiento de control de error para prevenir errores de propagación y de acumulación en un procedimiento de localización considerando los errores de posición de nodos y los errores de medida.

La figura 1 ilustra los problemas no resueltos por la técnica anterior. En este ejemplo, las coordenadas de los anclas asociadas a los nodos M_1 y M_2 se supone que son accesibles de manera ideal, es decir sin error, por ejemplo gracias a estudios topográficos, mientras que las coordenadas del ancla M_3 están en la práctica contaminadas por un error d_3 , por ejemplo medido por un sistema GNSS, posicionando el ancla M_3 en el punto M'_3 . Otra hipótesis de esta ilustración es que la precisión de *ranging* es perfecta, en la práctica muy inferior a d_3 . Las medidas de *ranging* son representadas por flechas en la figura 1. Las técnicas de la técnica anterior estiman de forma incorrecta la posición del nodo libre en M'_4 , distribuyendo la posición real del nodo libre M_4 los errores de *ranging* asociados a este nodo, lo que resulta en un mínimo de error cuadrático medio residual importante. Además, la posición del nodo M_3 no se reconsidera y permanece errónea.

El procedimiento según la invención va, en especial, a aprovechar el conjunto de incertidumbres de las medidas de *ranging* y de las posiciones de anclas, lo que permite, en especial, modificar la posición de los anclas, con el fin de resultar en un error cuadrático mínimo sobre las medidas de *ranging*. El resultado de la implementación del procedimiento según la invención permitirá la obtención precisa de la posición de un objeto en un espacio dado.

La invención se refiere a un procedimiento para determinar la posición de uno o varios objetos susceptibles de desplazarse en una red, estando dotado cada objeto de una capacidad de medida de distancia a otros nodos de la red, siendo conocida al menos una parte de las coordenadas de un objeto, caracterizado porque comprende al menos las etapas siguientes:

- Definir un conjunto de puntos A_i o anclas y las incertidumbres asociadas a sus coordenadas, describiendo las coordenadas de los anclas y la incertidumbre sobre las coordenadas informaciones sobre la posición de los objetos y la incertidumbre sobre estas informaciones,
- Generar un conjunto que contiene las posiciones estimadas de los objetos y definir una posición inicial de los puntos,
- Medir un conjunto de distancia entre al menos dos objetos M_i, M_j , con incertidumbres asociadas, y ejecutar las etapas siguientes:

- Etapa 1, para cada objeto M_i , calcular el desplazamiento $\vec{\delta}_{\rightarrow i} = \sum_{j \in R_i} \vec{\delta}_{j \rightarrow i}$ correspondiente a la suma vectorial de los desplazamientos de medida o *ranging* sobre el conjunto de medidas de *ranging* disponibles hacia el objeto M_i e inducidas sobre este objeto M_i por la totalidad de otros objetos que disponen de una medida de *ranging* a partir de dicho objeto M_i , debidos a la medida r_{ij} de *ranging* relativa entre M_i y M_j y su incertidumbre

$\sigma_{r_{ij}}$ con $R_i = \{r_{ij}\}$ el conjunto de medidas de *ranging* disponibles hacia M_i , y $\vec{\delta}_{\rightarrow i} = \sum_{j \in R_i} \vec{\delta}_{j \rightarrow i}$ donde

$$\vec{\delta}_{j \rightarrow i} = \varphi(\Delta_{ij}, \sigma_{r_{ij}}) \frac{\vec{M}_j M_i}{\|M_j M_i\|}$$

- Etapa 2, para cada objeto M_i que posee una coordenada de anclaje en un ancla A_i virtual asociado, calcular un valor de desplazamiento de retorno $\vec{\alpha}_{\rightarrow i}$ hacia este ancla con $\vec{\alpha}_{\rightarrow i} = \Psi(A_i \vec{M}_i + \vec{\delta}_{\rightarrow i}, \vec{\sigma}_{A_i})$, Ψ una función de desplazamiento,
- Etapa 3, a cada objeto M_i aplicar un desplazamiento igual a la suma del desplazamiento del *ranging* $\vec{\delta}_{\rightarrow i}$ y de la corrección $\vec{\alpha}_{\rightarrow i}$ de anclaje calculados anteriormente, $\vec{OM}_i(l+1) = \vec{OM}_i(l) + \vec{\delta}_{\rightarrow i} + \vec{\alpha}_{\rightarrow i}$,

$$\Delta_{tot}^2 = \sum_{i=0}^{N-1} \Delta_i^2 \quad \Delta_i^2 = \sum_{j \neq i} \Delta_{ij}^2$$

- Etapa 4, calcular el cuadrado del término de error Δ es un término de error entre la estimación de la distancia $d(M_i, M_j)$ después del desplazamiento del objeto en la etapa 3 y la medida de la distancia r_{ij} proporcionada por dispositivos de *ranging* sobre el conjunto de nodos, comparar esta cantidad a un criterio de corte definido por adelantado por un operador, si

- 5 $\Delta_{tot}^2 \leq \Delta_{fin}^2$, o bien $\max(|\Delta_{ij}|) < \text{separaciónMáx}$, si esta prueba se cumple, ir a la etapa 6,
- Si no, Etapa 5, comprobar si se alcanza un número máximo de iteraciones, si $l < l_{\text{máx}}$ entonces iterar $l = l + 1$ e ir a la etapa 1, si no ir a la etapa 6,
 - Etapa 6, fin de las iteraciones, definir la posición de los objetos correspondiente a la mejor estimación de la posición real de los objetos obtenida para cada objeto.

10 Las coordenadas pueden obtenerse por un medio externo de geolocalización cuya precisión es conocida.

Un ancla y su vector de incertidumbre son, por ejemplo, definidos de la manera siguiente:

- Si una medida m_i^k externa se supone conocida, por un dispositivo de geolocalización, tal como por ejemplo un sensor GNSS o un informe topográfico, sobre la coordenada k del objeto M_i con una incertidumbre σ_{Ai}^k , entonces la k-ésima coordenada del ancla A_i es igual a m_i^k y la k-ésima coordenada del vector $\vec{\sigma}_{Ai}$ de incertidumbre es igual a σ_{Ai}^k ,
 - En el caso contrario, la k-ésima coordenada del ancla A_i está fijada a un valor arbitrario (por ejemplo, 0) y la k-ésima coordenada del vector $\vec{\sigma}_{Ai}$ de incertidumbre está fijada en un valor arbitrario negativo.
- 15

Es posible utilizar una función de desplazamiento proporcional a una función intermedia definida de la manera siguiente:

$$f(\varepsilon, \sigma) = \begin{cases} 1 - e^{-\frac{\varepsilon^2}{2\sigma^2}}, & \text{si } \sigma > 0 \text{ (coordanada anclada)} \\ 1, & \text{si } \sigma = 0 \text{ (coordanada anclada fija)} \\ 0, & \text{si } \sigma < 0 \text{ (coordanada libre)} \end{cases}$$

20

donde ε representa la separación en la posición de equilibrio.

Según otra variante de realización, se utiliza una función de desplazamiento proporcional a una función intermedia definida de la manera siguiente

$$f(\varepsilon, \sigma) = \begin{cases} \beta, & \text{si } \beta \in [0,1], \text{ si } \sigma > 0 \text{ (coordanada anclada)} \\ 1, & \text{si } \sigma = 0 \text{ (coordanada anclada fija)} \\ 0, & \text{si } \sigma < 0 \text{ (coordanada libre)} \end{cases}$$

25 Un coeficiente de convergencia utilizado para la función de desplazamiento es, por ejemplo, un parámetro de convergencia comprendido entre 0 y 0,5.

Las coordenadas de los anclas A_i son, por ejemplo, definidas de la manera siguiente:

- iguales a medidas conocidas a priori con una incertidumbre positiva o nula (la misma se refiere en la coordenada correspondiente del vector $\vec{\sigma}_{Ai}$), las coordenadas son coordenadas de anclaje,
 - en ausencia de medidas, la coordenada correspondiente será inutilizada, las coordenadas son libres.
- 30

Según una variante de realización, se define una posición inicial de los puntos $\{M_i(0)\}_{i=0..N-1}$, de la manera siguiente:

- de manera arbitraria determinista,
 - de manera aleatoria, utilizando un sorteo de los valores de coordenadas de los nodos,
 - utilizando las posiciones estimadas resultantes de una aplicación anterior del procedimiento,
 - utilizando la solución de los métodos de resolución sub óptima tales como la pseudolinealización (PSL),
- 35

- utilizando datos de anclaje disponibles para A_i , estas coordenadas son preferiblemente utilizadas para las coordenadas iniciales correspondientes de M_i .

Para la implementación del procedimiento, es posible designar un objeto como maestro adaptado para ejecutar las etapas del procedimiento según la invención.

- 5 Según otra variante de realización, cada objeto se adapta para ejecutar las etapas del procedimiento según la invención.

El objeto cuya posiciones buscada es, por ejemplo, un nodo en una red de comunicación.

- 10 La invención se refiere también a un dispositivo que permite determinar la posición de uno o varios objetos susceptibles de desplazarse en una red, estando dotado el objeto de un dispositivo de medidas de distancia entre nodos y de un medio de comunicación con los otros nodos, comunicando los otros nodos entre sí por un enlace de radiofrecuencia, caracterizado porque comprende al menos un procesador adaptado para ejecutar las etapas del procedimiento según la invención y un dispositivo de medida de la posición de los nodos.

Otras características y ventajas de la presente invención aparecerán mejor de la lectura de la descripción siguiente, de ejemplos de realización, adjuntados a las figuras que representan:

- 15
- La figura 1, una ilustración de los problemas de la técnica anterior,
 - La figura 2, un esquema de la red de comunicación,
 - La figura 3, un organigrama con las etapas principales del procedimiento según la invención, y
 - Las figuras 4, 5, 6 y 7, una ilustración de las etapas del procedimiento según la invención.

- 20 Con el fin de hacer comprender mejor el procedimiento según la invención, el ejemplo siguiente es dado en el caso de un sistema 1 de comunicación que comprende varios nodos M_i . Cada nodo M_i (M_1, M_2, M_3) comprende, por ejemplo, un medio 10 de comunicación, un procesador 12 adaptado para ejecutar las etapas del procedimiento según la invención, y una batería 13 o dispositivo de alimentación. Los nodos M_i se comunican entre sí, por ejemplo, por un enlace de radiofrecuencia, inalámbrico o por otros medios conocidos por el experto en la técnica.

- 25 El sistema comprende también un dispositivo para determinar la posición absoluta de todos o parte de los nodos, por tanto, todos o parte de los nodos pueden por ejemplo estar equipados de un receptor 11, el cual, conectado con un dispositivo 20 de satélite, permite al nodo equipado del receptor 11 ser geolocalizado. Este dispositivo puede ser un sistema de Localización GPS (*Global Positioning System*), un sistema GNSS (*Global Navigation Satellite System*), un medio de topografía, etc., en la figura 2, el nodo M_2 está equipado de un receptor, mientras que el nodo M_3 no lo está.

- 30 Comprende también un dispositivo de medida de distancia o dispositivo 21 de *ranging* colocalizado por ejemplo sobre un nodo M_i o sobre cada uno de los nodos M_i del sistema. Por ejemplo, el dispositivo se puede presentar en forma de un mapa electrónico portado por el nodo. Según otra variante de realización, esta podría ser una funcionalidad del sistema de comunicación a nivel de un nodo que mide los tiempos tomados por la onda de radio para transitar entre los nodos.

- 35 En esta red, para la implementación del procedimiento, ciertos de estos nodos serán de posición conocida y asimilados a anclas.

En el procedimiento según la invención, el principio consiste, en especial, en asimilar el conjunto de los nodos de la red a un cuerpo elásticamente deformable, estando conectados los nodos entre sí por resortes virtuales cuya distancia a la posición de equilibrio se define:

- 40
- Por la diferencia entre su interdistancia euclidiana, y
 - por una medida de *ranging* obtenida gracias a un dispositivo externo.

El procedimiento va a calcular, explícitamente, los desplazamientos de los nodos compatibles de las incertidumbres sobre la distancia entre los nodos (las medidas de *ranging*) y estas sobre la posición absoluta de los nodos supuestos conocidos o anclas.

- 45 Las figuras 5 a 7, detalladas posteriormente en la descripción, ilustran el desplazamiento iterativo de los nodos de una solución candidata (posición estimada de los nodos) hacia una posición que minimiza el criterio global de error poniendo, en especial en juego:

- El cálculo de vectores que conectan pares de nodos de la solución asociada a cada medida de *ranging*,

- La evaluación de una medida de error entre la distancia entre nodos de la solución y la misma medida por el dispositivo de *ranging*, por ejemplo, la diferencia entre la norma de estos vectores y la medida de *ranging* asociada,
- la sola memorización de la posición de los nodos que proviene de las etapas del procedimiento según la invención, de las coordenadas de anclajes medidas y de sus incertidumbres asociadas.

$$\overrightarrow{OM_i} = \begin{cases} x_i \\ y_i \\ z_i \end{cases} \text{ en tres dimensiones (3D) y } \overrightarrow{OM_i} = \begin{cases} x_i \\ y_i \end{cases} \text{ en dos dimensiones (2D),}$$

Sea un conjunto de N nodos de M_i posiciones: las coordenadas se eligen en una referencia cartesiana, siendo O el punto de origen elegido en esta referencia.

La distancia entre dos nodos M_i, M_j , $d(M_i, M_j)$ se define por $d(M_i, M_j) = |\overrightarrow{M_i M_j}|$. El conjunto de posiciones de los N nodos en un instante dado t, $P_i(t) = \{M_i(t)\}_{i=0..N-1}$ se denomina "geometría actual". r_{ij} es una medida de distancia (*ranging*) obtenida entre el nodo M_i , y el nodo M_j , por un dispositivo de medida dedicado (módulo de *ranging* situado por ejemplo a nivel del nodo) y conocido con una incertidumbre σ_{ij} , correspondiente a una separación tipo sobre la medida.

Se denominará "ancla o "medida de anclaje" A_i^k , a una información de posición absoluta sobre la $k^{\text{ésima}}$ coordenada del nodo M_j , obtenida con una incertidumbre $\sigma_{A_i^k}$. Esta información puede obtenerse por medios diversos tales como informes topográficos o receptores GNSS. La información sobre la posición de un ancla varía en función del instante de medida. Es una función entregada por ejemplo en tiempo real por un dispositivo GPS. En aras de la simplicidad de la escritura, el tiempo no se indica en la descripción de la invención, un experto en la técnica no tendrá dificultad en integrarlo.

Todas las coordenadas de un ancla pueden ser conocidas a priori, o en parte solamente, por ejemplo, cuando la posición del nodo se determina por examen de un mapa: si el nodo está situado en una carretera, se puede saber que el nodo está en una latitud dada sin conocer la longitud.

El procedimiento según la invención se basa, en especial, en el cálculo directo de elementos de desplazamiento de la posición de los nodos en cada iteración del procedimiento, teniendo en cuenta la incertidumbre relativa entre las medidas de *ranging* σ_{rij} , y la incertidumbre $\sigma_{A_i^k}$ sobre la posición de anclajes eventuales.

Según una variante de realización, y con el fin de no particularizar el papel de los nodos asociados a un ancla efectivo y permitir la generalización del procedimiento a anclajes parciales, es decir, al menos una coordenada del nodo es restringida por una medida externa, un ancla A_i virtual y un vector $\overrightarrow{\sigma_{A_i}}$ de incertidumbre se asocian a cada nodo M_i .

El ancla virtual y el vector de incertidumbre se definen como sigue por sus coordenadas de índice k:

- Si una medida m_i^k externa se supone conocida (medida directa de las coordenadas por un dispositivo de geolocalización tal como, por ejemplo, un sensor GNSS o un informe topográfico) sobre la coordenada k del nodo M_i con $\sigma_{A_i^k}$ la incertidumbre (por ejemplo, la separación tipo de medidas sobre m_i^k), por tanto la $k^{\text{ésima}}$ coordenada del ancla A_i es igual a m_i^k y la $k^{\text{ésima}}$ coordenada del vector $\overrightarrow{\sigma_{A_i}}$ de incertidumbre es igual a $\sigma_{A_i^k}$. Esta $k^{\text{ésima}}$ coordenada del nodo será denominada "anclada";
- En el caso contrario, la $k^{\text{ésima}}$ coordenada del ancla A_i es fijada a un valor arbitrario (por ejemplo, 0), y la $k^{\text{ésima}}$ coordenada del vector $\overrightarrow{\sigma_{A_i}}$ de incertidumbre fijada a un valor unitario negativo (por ejemplo, -1). Esta coordenada del nodo será denominada "libre".

En cada iteración del procedimiento, se calcula para cada nodo M_i :

- la suma vectorial de desplazamientos de *ranging* $\overrightarrow{\delta_{j \rightarrow i}}$ aplicables al nodo M_i únicamente debidos a las separaciones con respecto a las medidas de *ranging*) relativas al nodo M_i . Este desplazamiento se calcula como la suma sobre el conjunto de medidas de *ranging* R_i de los desplazamientos $\overrightarrow{\delta_{j \rightarrow i}}$ debidos a la medida d *ranging* r_{ij} relativo entre M_i y M_j y a su incertidumbre σ_{rij} ,

El vector que une los dos puntos M_i y M_j se define como sigue $\vec{\delta}_{j \rightarrow i} = \sum_{j \in R_i} \vec{\delta}_{j \rightarrow i}$ donde

$$\vec{\delta}_{j \rightarrow i} = \varphi(\Delta_{ij}, \sigma_{r_{ij}}) \frac{\overrightarrow{M_j M_i}}{\| \overrightarrow{M_j M_i} \|}$$

con Δ_{ij} las coordenadas de $M_j M_i$, φ es una función de desplazamiento dada y $R_i = \{r_{ij}\}$ el conjunto de medidas de *ranging* disponibles hacia M_i .

5 Si todas o parte de las coordenadas de M_i están "ancladas", se calculan desplazamiento de retorno hacia el ancla $\vec{\alpha}_{\rightarrow i}$ o corrección de anclaje. Para limitar la aparición de posibles fenómenos de oscilación, el cálculo de esta corrección de anclajes se efectúa sobre la posición de M_i , trasladada de la corrección de *ranging* asociada.

La corrección de anclaje es $\vec{\alpha}_{\rightarrow i} = \Psi(\overrightarrow{A_i M_i} + \vec{\delta}_{\rightarrow i}, \vec{\sigma}_{A_i})$, con Ψ una función de desplazamiento.

La elección de las funciones de desplazamiento φ y Ψ es libre con la condición de que conduzca a un desplazamiento hacia un punto de equilibrio ($r_{ij} = \| \overrightarrow{M_j M_i} \|$) para φ y ($\overrightarrow{A_i M_i} = \vec{0}$) para Ψ .

10 Estas funciones son, por ejemplo, seleccionadas para reflejar un cierto grado de conocimiento sobre las distribuciones de probabilidades asociadas a las medidas. Se dan ejemplos de función de desplazamiento a continuación.

Para distribuciones gaussianas, los desplazamientos son proporcionales a una función intermedia:

$$f(\varepsilon, \sigma) = \begin{cases} 1 - e^{-\frac{\varepsilon^2}{2\sigma^2}}, & \text{si } \sigma > 0 \text{ (coordenada anclada)} \\ 1, & \text{si } \sigma = 0 \text{ (coordenada anclada fija)} \\ 0, & \text{si } \sigma < 0 \text{ (coordenada libre)} \end{cases}$$

15 donde ε representa la separación en la posición de equilibrio.

- Si esta separación ε es reducida delante de σ , la probabilidad de que la medida se aproxime al equilibrio es elevada: esta función será próxima a 0 y el desplazamiento correctivo será reducido,
- Si esta separación ε es grande por delante de σ , la probabilidad de que la medida se aproxime al equilibrio es reducida: esta función será próxima a 1 y el desplazamiento correctivo será grande.

20 Sin información particular sobre la ley de probabilidad de los errores, la función intermedia se define como sigue:

$$f(\varepsilon, \sigma) = \begin{cases} \beta, & \text{si } \beta \in [0,1], \text{ si } \sigma > 0 \text{ (coordenada anclada)} \\ 1, & \text{si } \sigma = 0 \text{ (coordenada anclada fija)} \\ 0, & \text{si } \sigma < 0 \text{ (coordenada libre)} \end{cases}$$

- El desplazamiento correspondiente a una fracción constante de la separación al equilibrio.

Algunos casos particulares son dados a título ilustrativo:

- 25
- Si $\sigma=0$, la coordenada es perfectamente conocida (medida conocida con una precisión infinita, en la práctica muy inferior a la precisión de posicionamiento buscada, como en el caso de un informe topográfico): el desplazamiento será tal que lleva a la coordenada exactamente al valor de medida;
 - Si $\sigma<0$, la coordenada es libre (artificio de notación que indica que la coordenada no está anclada). No se aplica ningún desplazamiento de retorno (en la práctica, no es necesario ningún cálculo para estas coordenadas).

A través de la definición de esta función intermedia, las funciones φ y Ψ se pueden escribir:

30

$$\varphi(\Delta, \sigma) = \mu \Delta f(\Delta, \sigma)$$

- El parámetro μ es un parámetro de convergencia comprendido estrictamente entre 0 y 0,5. Cuanto más reducido es este parámetro, más adecuado será el procedimiento para converger en presencia de un gran número de nodos y de posiciones iniciales alejadas de la solución óptima, pero más

reducida la velocidad de convergencia será. Según una variante de realización, el parámetro de convergencia es tomado como $\mu=1/N$.

$$\Psi(\vec{\Delta}, \vec{\sigma}) = \begin{cases} -\Delta_1 f(\Delta_1, \sigma_1) \\ -\Delta_2 f(\Delta_2, \sigma_2) \\ -\Delta_3 f(\Delta_3, \sigma_3) \text{ (cas 3D)} \end{cases},$$

5 función de desplazamiento,

con Δ_i la primera coordenada del punto M_i y σ_i la incertidumbre correspondiente.

En ausencia de medidas de anclajes, $\Psi(\vec{\Delta}, \vec{\sigma})=0$, el procedimiento converge por tanto hacia una solución diferenciada, es decir una geometría de nodos en la que las posiciones relativas de los nodos de la solución son compatibles con las medidas de *ranging* disponibles (es decir, la geometría real puede ser deducida a través de operaciones de traslación, rotación y simetría de conjunto).

La búsqueda de una solución, es decir, de la posición real de los nodos, para un juego de *ranging* dado entre N nodos es iterativa. La misma supone, en especial:

- Crear un conjunto de N puntos denominados anclajes virtuales $\{A_i\}_{i=0..N-1}$ y de N vectores $\{\vec{\sigma}_{A_i}\}_{i=0..N-1}$ de incertidumbre asociados a estos anclajes;

15 Las coordenadas de estos puntos A_i de anclaje son:

- iguales a medidas conocidas a priori con una incertidumbre positiva o nula (la misma se refiere en la coordenada correspondiente del vector $\vec{\sigma}_{A_i}$), se hablará de coordenadas de anclaje,
- en ausencia de medidas, la coordenada correspondiente será inutilizada (valor arbitrario, por ejemplo, 0). Esta ausencia de información se memoriza (por ejemplo, poniendo el valor negativo -1 en la coordenada correspondiente del vector $\vec{\sigma}_{A_i}$). Se hablará por tanto de coordenadas libres;

- Crear un conjunto de N puntos $\{M_i\}_{i=0..N-1}$ que contendrán las posiciones estimadas de los nodos de la red por el procedimiento;
- Definir una posición "inicial" de los puntos $\{M_i\}_{i=0..N-1}$ que puede ser fijada:
 - de manera arbitraria determinista,
 - de manera aleatoria, utilizando un sorteo de los valores de coordenadas de los nodos,
 - utilizando las posiciones estimadas resultantes de una aplicación anterior del procedimiento,
 - utilizando la solución de los métodos de resolución subóptimos tales como la pseudolinealización (PSL),
 - utilizando datos de anclaje disponibles para A_i , estas coordenadas son preferiblemente utilizadas para las coordenadas iniciales correspondientes de M_i .
- Disponer un conjunto E de Q medidas de *ranging* entre dos nodos i y j: $E=\{r_{ij}\}_{q \in [0, Q-1]}$ con $(i, j) \in [0, N-1]^2$ y las incertidumbres asociadas $\{\sigma_{rij}\}_{q \in [0, Q-1]}$;
- Definir las funciones de desplazamiento φ y ψ .

El formalismo de anclajes virtuales no es esencial para la implementación del procedimiento según la invención, pero simplifica la descripción. De hecho es posible calcular las correcciones de anclaje describiendo un bucle de cálculo sobre las únicas coordenadas de anclaje y sus incertidumbres, lo que reduce tanto los cálculos como los almacenamientos inútiles para las coordenadas libres.

El procedimiento comprende por ejemplo las etapas siguientes, reiteradas, ilustradas en la figura 3:

Para $l=0$ a $l_{m\acute{a}x}$, con el valor de $l_{m\acute{a}x}$ elegido para limitar el tiempo pasado en caso de ausencia de convergencia de las etapas;

40 Etapa 1, 301, para cada nodo M_i , calcular el desplazamiento de *ranging* $\vec{\delta}_{\rightarrow i} = \sum_{j \in R_i} \vec{\delta}_{j \rightarrow i}$ donde $\vec{\delta}_{j \rightarrow i} = \varphi(\Delta_{ij}, \sigma_{rij}) \frac{M_j M_i}{\|M_j M_i\|}$ induce sobre este nodo M_i por la totalidad de los otros nodos disponiendo de una medida de *ranging* a partir del nodo M_i .

Etapa 2, 302, para cada nodo M_i , que posee una coordenada de anclaje en el ancla A_i virtual asociado, calcular una corrección $\vec{\alpha}_{\rightarrow i}$ de anclaje, es decir, el desplazamiento de retorno hacia este ancla, por la fórmula $\vec{\alpha}_{\rightarrow i} = \Psi(A_i \vec{M}_i + \vec{\delta}_{\rightarrow i}, \sigma_{A_i})$, es decir el desplazamiento de retorno función del vector $A_i \vec{M}_i$ y de un desplazamiento de ranging $\vec{\delta}_{\rightarrow i}$,

5 Etapa 3, 303, en cada nodo M_i , aplicar un desplazamiento igual a la suma del desplazamiento del ranging $\vec{\delta}_{\rightarrow i}$ y de la corrección $\vec{\alpha}_{\rightarrow i}$ de anclaje calculados anteriormente. $\vec{OM}_i(l+1) = \vec{OM}_i(l) + \vec{\delta}_{\rightarrow i} + \vec{\alpha}_{\rightarrow i}$,

Etapa 4, 304, calcular $\Delta_{tot}^2 = \sum_{i=0}^{N-1} \Delta_i^2$ donde $\Delta_i^2 = \sum_{j \neq i} \Delta_{ij}^2$ = con $\Delta_{ij} = r_{ij} - d(M_i, M_j)$, donde Δ se interpreta como un término de error entre estimación de la distancia r_{ij} y medida de distancia proporcionada por los dispositivos de ranging, comparar esta cantidad con un criterio de corte definido por adelantado por un operador, por ejemplo,

10 si $\Delta_{tot}^2 \leq \Delta_{fin}^2$, o bien $\max(|\Delta_{ij}|) < \text{separaciónMáx}$, si esta prueba se cumple, ir a la etapa 6,

Etapa 5, 305, si no, si el criterio de corte no es verificado, se va a comprobar si se alcanza un número máximo de iteración, si $l < l_{máx}$ entonces iterar $l = l + 1$ e ir a la etapa 1, si no ir a la etapa 6,

Etapa 6, 306, fin de las iteraciones. En este estado, las posiciones de los nodos M_i corresponden a la mejor estimación de la posición real obtenida por la implementación de las etapas.

15 Se señala que si $l = l_{máx}$, el procedimiento no converge hacia una solución que respeten las restricciones de error impuestas deseadas: esto indica al usuario que la posición estimada de los nodos puede que no sea satisfactoria.

En este caso, las cantidades Δ_{tot}^2 y $\max(|\Delta_{ij}|)$ proporcionan una medida de esta separación de los objetivos de precisiones Δ_{fin}^2 (error cuadrático total) y separaciónMáx (error elemental máximo en un par de nodos).

20 Las figuras 4 a 7 esquematizan el resultado de las etapas del procedimiento según la invención, respectivamente, para la primera iteración, la segunda iteración, la trigésima iteración y las posiciones finales en las que la incertidumbre sobre la posición del punto M_3 de coordenadas (0, 100) es netamente superior a las de los otros puntos M_1, M_2 y M_4 .

25 En estas figuras, se representan cuatro nodos M_1, M_2, M_3 y M_4 en una referencia cartesiana graduada en metros. Los puntos M_1 y M_2 están anclados con una precisión elevada (por ejemplo a través de un estudio topográfico de 10 cm de precisión), el punto M_3 está anclado pero su posición inicial es incorrectamente medida con un error de 20 m (por ejemplo, gracias a un medio GNSS de incertidumbre de 15 m de separación tipo) y el punto M_4 no está anclado (ningún medio local de medida de posición absoluta). Todos los nodos están equipados de un dispositivo de ranging local que permite medir la distancia a los otros nodos, con una incertidumbre de 50 cm de separación tipo. Estos valores sólo son ilustrativos del procedimiento.

30 Las posiciones reales de los nodos se materializan por estrellas, las posiciones de la solución inicial se representan por círculos y las posiciones estimadas de los nodos por el procedimiento según la invención con la ayuda de cuadrados para la iteración actual. Las flechas en trazo de puntos tienen una longitud igual a las medidas de ranging entre nodos, y las flechas en trazo continuo corresponden a los desplazamientos aplicados durante las etapas del procedimiento.

35 En la figura 4 se representa el punto M_1 de posición estimado P_1 , el punto M_2 de posición estimado P_2 , el punto M_3 de posición estimado P_3 , así como una posición relativa a la posición inicial, teniendo el punto M_4 una posición 401 estimada, una posición 402 correspondiente a la solución inicial y una posición 403 real.

40 La figura 5 muestra que después de la segunda iteración, la posición estimada para el punto M_4 se desplaza en 501, después en la figura 6, en el punto 601 después de la trigésima iteración y en la figura 7, el fin de las etapas en el punto 701. Esta ilustración muestra que el punto M_4 al cual no está anclada ninguna coordenada, ha sido desplazado de iteración en iteración de una posición de inicialización alejada de coordenadas (50, -50) hacia la posición buscada de coordenadas (50, 50). En el mismo tiempo, el punto M_3 aunque anclado pero con una incertidumbre importante, se ve llevado hacia su posición real por la implementación de procedimiento. Los puntos M_1 y M_2 apenas se mueven, debido a la gran precisión de su anclaje.

45 El procedimiento según la invención permite el cálculo de una solución para un juego de medidas de ranging y posiblemente de posiciones ancladas dadas. Puede ser aplicado de nuevo:

- Tras la recepción de nuevas medidas de *ranging* (o bien en cada nueva medida, o bien después de la recepción de un lote de medidas para reducir las demandas de medios de cálculo);
- Tras la recepción de un nuevo juego de restricciones de anclaje (por ejemplo, informaciones sobre las coordenadas de ciertos nodos, que provienen por ejemplo de receptores GNSS, o de informes topográficos);
- 5 • Según la aplicación contemplada, una nueva aplicación del procedimiento puede utilizar, como solución inicial, la solución calculada anteriormente, en particular si la cinemática de los nodos implica desplazamientos limitados con respecto a la cadencia de refresco de las medidas de *ranging*. La reutilización de una solución calculada anteriormente como inicialización de una nueva aplicación del procedimiento en un instante posterior limita los riesgos de no convergencia y permite reducir considerablemente el número de iteraciones para converger hacia
- 10 la nueva estimación de la posición de los nodos.

Las etapas del procedimiento según la invención se aplican por ejemplo en un sistema descentralizado, en el cual todos los nodos implicados comprenden un procesador adaptado para ejecutar las etapas, intercambiando los nodos las informaciones gracias a un medio de comunicación.

15 El procedimiento se aplica también en un sistema centralizado en el que un nodo de red es por ejemplo designado nodo central.*

El procedimiento según la invención ofrece una simplicidad de los cálculos tanto en términos de memoria, como de potencia de cálculo. Los únicos cálculos necesarios para el funcionamiento del procedimiento son la determinación de los vectores formados por los pares de nodos de la red para los cuales está disponible una medida de *ranging*. Además, la introducción de restricciones tales como la fijación de todas o parte de las coordenadas de anclas, asociada a la incertidumbre de estas coordenadas, se expresa muy simplemente modificando, con respecto a estas incertidumbres, la función no lineal de cálculo de desplazamiento hacia una posición de equilibrio (pudiendo ser tabulada esta última para limitar las demandas de recursos de cálculo).

20

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para determinar la posición de uno o varios objetos susceptibles de desplazarse en una red, estando dotados uno o varios objetos de una capacidad de medida de distancia a los otros objetos de la red, al menos una parte de las coordenadas de un objeto es conocida, **caracterizado porque** comprende al menos las etapas siguientes:

- 5 • Definir un conjunto de puntos A_i o anclas y las incertidumbres asociadas a sus coordenadas, describiendo las coordenadas de anclas y la incertidumbre sobre las coordenadas informaciones sobre la posición de los objetos y la incertidumbre sobre estas informaciones,
- Generar un conjunto que contiene las posiciones estimadas de los objetos y definir una posición inicial de los puntos,
- 10 • Medir un conjunto de distancias entre al menos dos objetos M_i, M_j , con incertidumbres asociadas y ejecutar las etapas siguientes:

$$\vec{\delta}_{\rightarrow i} = \sum_{j \in R_i} \vec{\delta}_{j \rightarrow i}$$

- 15 • Etapa 1, para cada objeto M_i , calcular el desplazamiento correspondiente a la suma vectorial de los desplazamientos de medida o *ranging* sobre el conjunto de medidas de *ranging* disponibles hacia el objeto M_i e inducidas sobre este objeto M_i por la totalidad de otros objetos que disponen de una medida de *ranging* a partir de dicho objeto M_i , debidos a la medida r_{ij} de *ranging* relativa entre M_i y M_j y su incertidumbre σ_{rij} con $R_i = \{r_{ij}\}$ el conjunto de medidas de *ranging* disponibles hacia M_i ,

$$\vec{\delta}_{\rightarrow i} = \sum_{j \in R_i} \vec{\delta}_{j \rightarrow i} \quad \vec{\delta}_{j \rightarrow i} = \varphi(\Delta_{ij}, \sigma_{rij}) \frac{M_j M_i}{\|M_j M_i\|}$$

y donde Δ_{ij} las coordenadas de $M_j M_i$, φ es una función de desplazamiento dada,

- 20 • Etapa 2, (302), para cada objeto M_i que posee una coordenada de anclaje en un ancla A_i virtual asociado, calcular un valor de desplazamiento de retorno $\vec{\alpha}_{\rightarrow i}$ hacia este ancla con $\vec{\alpha}_{\rightarrow i} = \Psi(A_i M_i + \vec{\delta}_{\rightarrow i}, \sigma_{A_i})$, Ψ una función de desplazamiento,
- Etapa 3, (303), a cada objeto M_i aplicar un desplazamiento igual a la suma del desplazamiento del *ranging* $\vec{\delta}_{\rightarrow i}$ y de la corrección $\vec{\alpha}_{\rightarrow i}$ de anclaje calculados anteriormente,

$$\Delta_{tot}^2 = \sum_{i=0}^{N-1} \Delta_i^2 \quad \Delta_i^2 = \sum_{j \neq i} \Delta_{ij}^2$$

- 25 • Etapa 4, (304), calcular el cuadrado del término de error donde $\Delta_{ij} = r_{ij} - d(M_i, M_j)$, Δ es un término de error entre la estimación de la distancia $d(M_i, M_j)$ después del desplazamiento del objeto en la etapa 3 y la medida de la distancia r_{ij} proporcionada por los dispositivos de *ranging* sobre el conjunto de nodos, comparar esta cantidad con un criterio de corte definido por

$$\Delta_{tot}^2 \leq \Delta_{fin}^2,$$

- 30 adelantado por un operador, si o bien $\max(|\Delta_{ij}|) < \text{separaciónMáx}$, si esta prueba se cumple, ir a la etapa 6,
- Si no, Etapa 5, (305), comprobar si se alcanza un número máximo de iteraciones, si $l < l_{máx}$ entonces iterar $l = l + 1$ e ir a la etapa 1, si no ir a la etapa 6,
- Etapa 6, (306), fin de las iteraciones, definir la posición de objetos correspondiente a la mejor estimación de la posición real de los objetos obtenida para cada objeto.

35 2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** se define un ancla y su vector de incertidumbre de la manera siguiente:

- Si una medida m_i^k externa se supone conocida sobre la coordenada k del objeto M_i con una incertidumbre $\sigma_{A_i}^k$, entonces la k ésima coordenada del ancla A_i es igual a m_i^k y la k ésima coordenada del vector $\vec{\sigma}_{A_i}$ de incertidumbre es igual a $\sigma_{A_i}^k$.
- 40 • en el caso contrario, la k ésima coordenada del ancla A_i es fijada a un valor arbitrario y la k ésima coordenada del vector $\vec{\sigma}_{A_i}$ de incertidumbre fijada a un valor unitario negativo.

3. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado porque** se utiliza una función de desplazamiento proporcional a una función intermedia definida de la manera siguiente:

$$f(\varepsilon, \sigma) = \begin{cases} 1 - e^{-\frac{\varepsilon^2}{2\sigma^2}}, & \text{si } \sigma > 0 \text{ (coordanada anclada)} \\ 1, & \text{si } \sigma = 0 \text{ (coordenada anclada fija)} \\ 0, & \text{si } \sigma < 0 \text{ (coordenada libre)} \end{cases}$$

donde ε representa la separación en la posición de equilibrio.

4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado porque** se utiliza una función de desplazamiento proporcional a una función intermedia definida de la manera siguiente:

$$f(\varepsilon, \sigma) = \begin{cases} \beta, & \text{si } \beta \in [0,1], \text{ si } \sigma > 0 \text{ (coordanada anclada)} \\ 1, & \text{si } \sigma = 0 \text{ (coordenada anclada fija)} \\ 0, & \text{si } \sigma < 0 \text{ (coordenada libre)} \end{cases}$$

5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 3 o 4, **caracterizado porque** se tiene en cuenta en una función de desplazamiento de un parámetro de convergencia comprendido entre 0 y 0,5 como coeficiente.

6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** las coordenadas de anclas A_i son definidas de la manera siguiente:

- 10
- iguales a medidas conocidas a priori con una incertidumbre positiva o nula (la misma se refiere en la coordenada correspondiente del vector $\vec{\sigma}_{A_i}$), las coordenadas son coordenadas de anclaje,
 - en ausencia de medidas, la coordenada correspondiente será inutilizada, las coordenadas son libres.

7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** se define una posición inicial de los puntos $\{M_i(0)\}_{i=0..N-1}$, de la manera siguiente:

- 15
- de manera arbitraria determinista,
 - de manera aleatoria, utilizando un sorteo de los valores de coordenadas de los nodos,
 - utilizando las posiciones estimadas resultantes de una aplicación anterior del procedimiento,
 - utilizando la solución de los métodos de resolución sub óptima tales como la pseudolinealización (PSL),
- 20
- utilizando datos de anclaje disponibles para A_i , estas coordenadas son preferiblemente utilizadas para las coordenadas iniciales correspondientes de M_i .

8. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores **caracterizado porque** un objeto está diseñado como maestro y por qué dicho objeto está adaptado para ejecutar las etapas del procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7 y para centralizar los resultados.

25 9. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** cada objeto de la red se adapta a ejecutar las etapas del procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7 y a centralizar los resultados.

10. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores **caracterizado porque** el objeto cuya posición es buscada es un nodo en una red de comunicación.

30 11. Dispositivo que permite determinar la posición de uno o varios objetos susceptibles de desplazarse en una red, estando dotados uno o varios objetos de un dispositivo (21) de medidas de distancia entre nodos, comunicando los nodos entre sí gracias a un medio (10) de comunicación, **caracterizado porque** comprende al menos un procesador (12) adaptado para ejecutar las etapas del procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 10, un dispositivo de medida (11, 20) de la posición de los nodos.

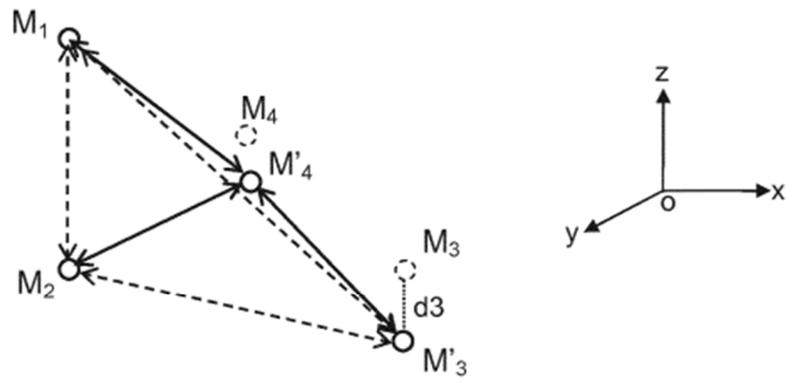


FIG.1

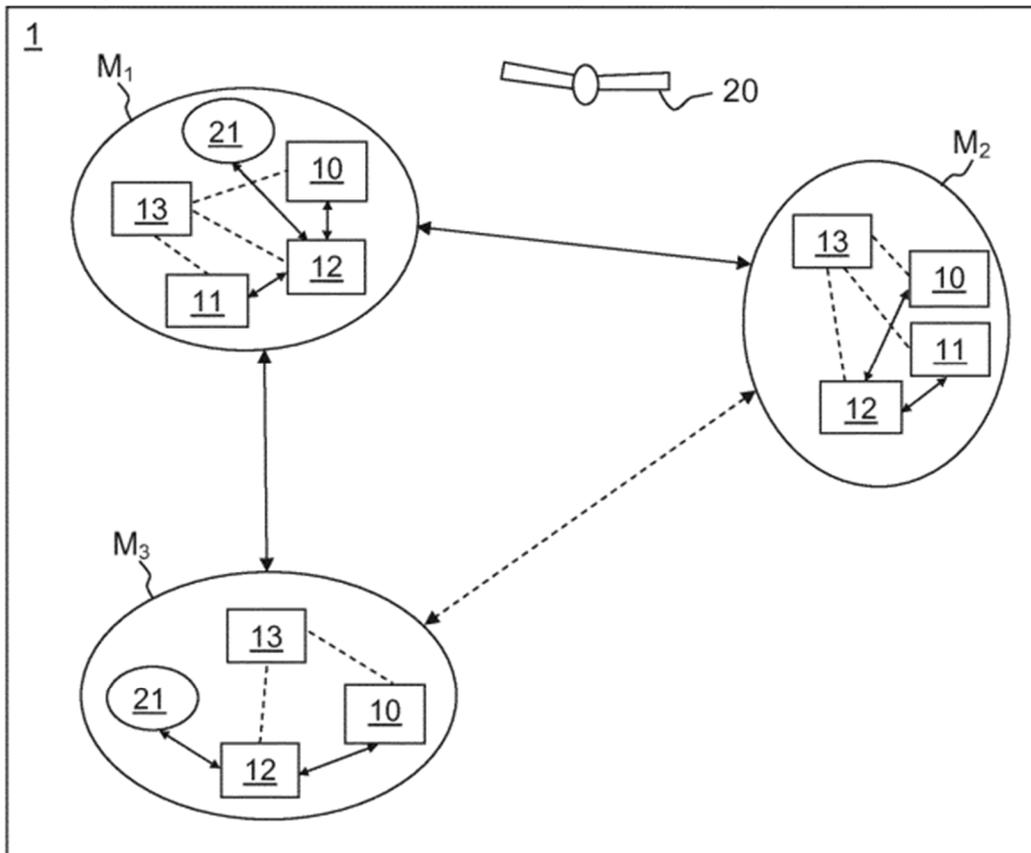


FIG.2

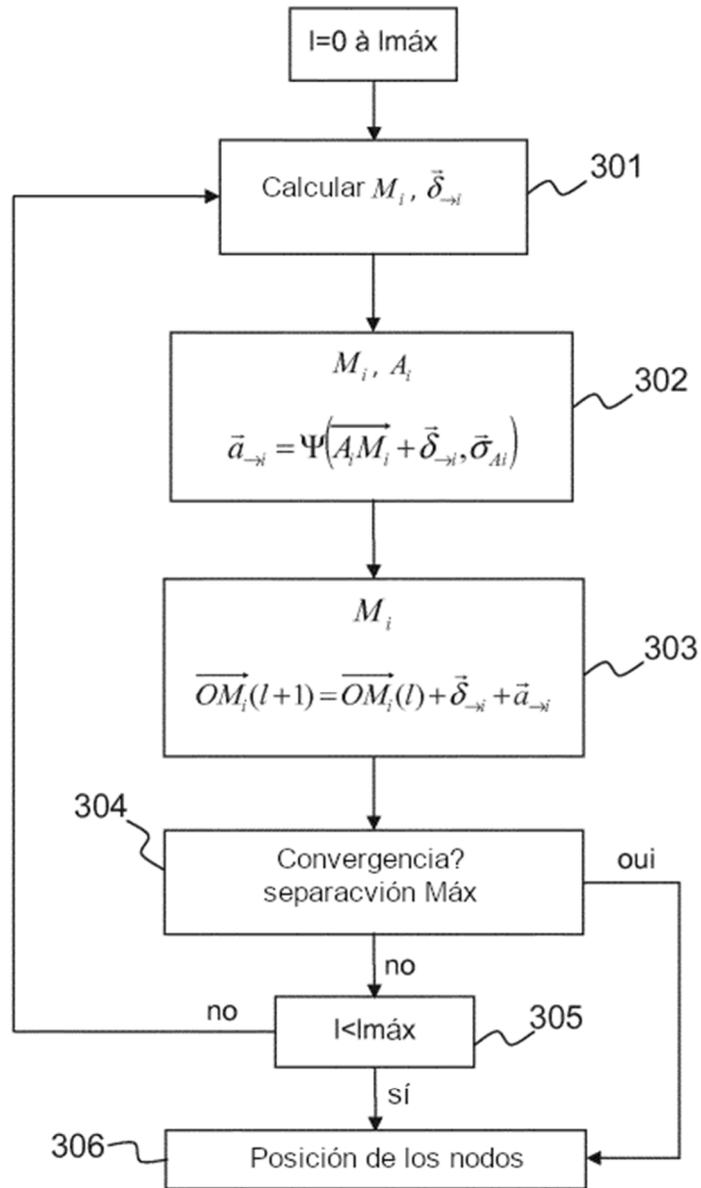


FIG.3

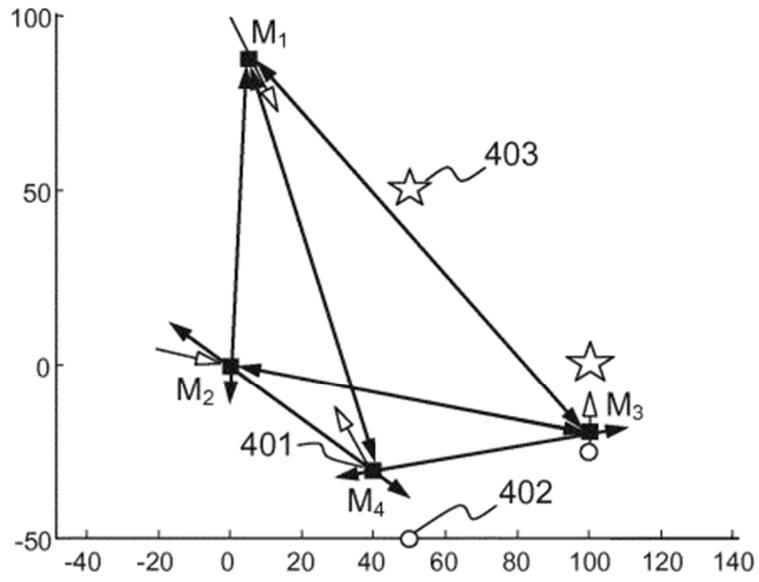


FIG. 4

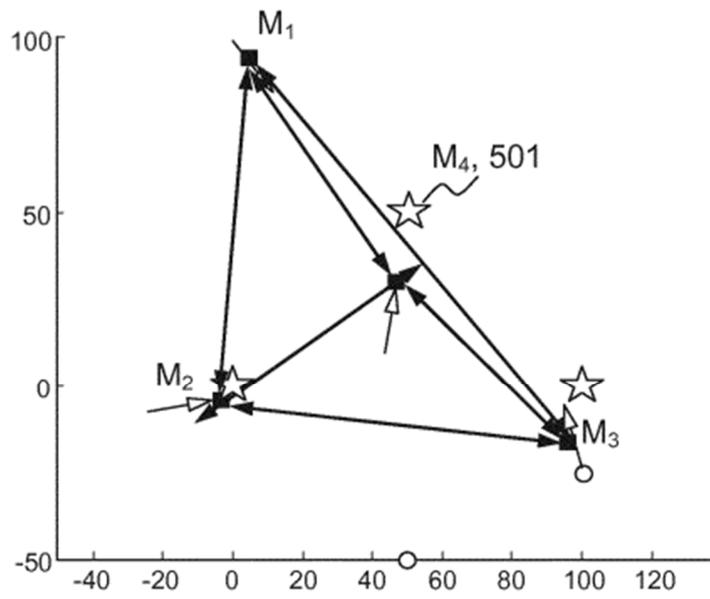


FIG. 5

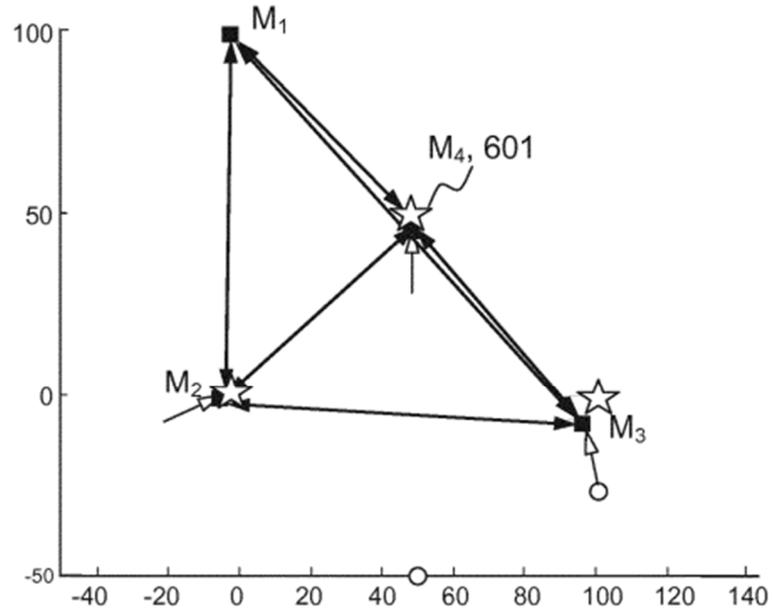


FIG. 6

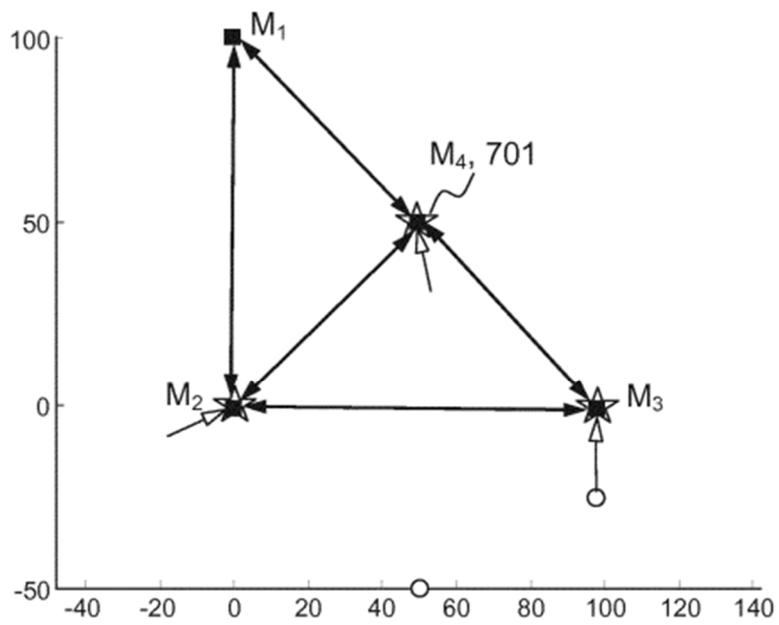


FIG. 7