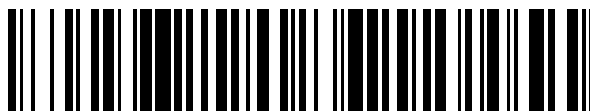


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 759 616**

51 Int. Cl.:

**H04W 64/00** (2009.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.12.2017** **E 17205534 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.09.2019** **EP 3331293**

54 Título: **Red informática inalámbrica y método para localizar un nodo en dicha red**

30 Prioridad:

**05.12.2016 FR 1670735**

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

**11.05.2020**

73 Titular/es:

**IDOSENS (100.0%)  
51, Chemin du Vieux Chêne  
38240 Meylan, FR**

72 Inventor/es:

**MIERMONT, SYLVAIN y  
DEPARIS, NICOLAS**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

**ES 2 759 616 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**

Red informática inalámbrica y método para localizar un nodo en dicha red

5 CAMPO TÉCNICO

La invención se refiere a una red informática inalámbrica y a un método para localizar un nodo en dicha red.

10 La presente invención se refiere al campo de las redes informáticas y de las telecomunicaciones inalámbricas, así como al campo de localización, en particular mediante ondas de radio, de objetos móviles.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

15 En el campo de las redes inalámbricas para objetos móviles, algunas redes se basan en el principio de una topología de malla. La "inteligencia", distribuida en la red, permite enrutar los paquetes intercambiados entre objetos móviles en función de las condiciones del tráfico, del fallo de algunos nodos de la red, etc., pero puede traer consigo inestabilidades y hacer que estas redes sean impredecibles en determinadas condiciones.

20 Otros tipos de redes son más jerárquicas, con una separación de las funciones entre los objetos móviles que desean conectarse a la red, y la infraestructura de red que debe estar conectada por enlaces estables, y en donde el administrador de la red realiza un control directo y predecible. Es el caso de las redes informáticas conocidas como "Wifi®" y las redes móviles de "telefonía" (actualmente consideradas como un flujo de datos entre otras).

25 En estas redes jerárquicas, cada objeto móvil está explícitamente asociado con uno de los puntos de acceso (o estación base) que constituye la infraestructura, y cada punto de acceso constituye una "célula" de la red. Esto permite que la red delegue toda la administración de bajo nivel de este objeto móvil a solamente uno de los puntos de acceso. Con el fin de permitir la movilidad, los protocolos de estas redes proporcionan procedimientos de transferencia intercelular. Sin embargo, estos procedimientos requieren la participación activa de los objetos móviles y, por lo tanto, un consumo de energía.

30 En caso de fallo de un punto de acceso, todos los objetos móviles, que le están conectados, pierden la capacidad de comunicarse hasta que se asocian explícitamente con un punto de acceso próximo. Este requisito de confiabilidad por lo general conduce al despliegue de puntos de acceso resistentes, pero complejos y costosos, y esto dificulta la densificación de las redes. Esto es aún más cierto cuando se deben utilizar diferentes frecuencias entre células próximas para limitar la interferencia entre los puntos de acceso, y la gestión óptima de la frecuencia se convierte en un problema muy complejo en el caso de una red densa.

35 En algunos tipos de redes, la localización de la infraestructura de objetos móviles permite ofrecer servicios con alto valor añadido. Cuando se conoce la localización precisa de cada punto de acceso, las técnicas de medida del tiempo de desplazamiento durante el intercambio de paquetes, la medida de potencia recibida de la señal de radio y el ángulo de llegada de la señal, permiten localizar un objeto móvil a partir de las medidas de al menos dos puntos de acceso.

40 Si se dispone de más medidas, dadas por más puntos de acceso, pueden aumentar la precisión de la localización. Sin embargo, dada las restricciones a la densificación descritas con anterioridad, la precisión sigue siendo por lo general limitada.

45 El documento de patente US2011/207477 (SIOMINA IANA) da a conocer un método para determinar la posición de un nodo midiendo la distancia de radio entre los elementos de la red inalámbrica y un nodo "objetivo". La patente de EE. UU. 2013/165150 (CHO CHAE HWAN) da a conocer un método para medir una posición por medio de un punto de acceso de posicionamiento. El documento WO2012/031253 (QULCOMM) da a conocer una red informática inalámbrica de conformidad con el preámbulo de la reivindicación 12. El documento US2017/212206, que es solamente parte de la técnica anterior para las reivindicaciones 12 y 13, da a conocer un método para determinar la posición de un nodo sobre la base de informaciones de posicionamientos proporcionadas por anclajes en respuesta a una solicitud enviada por dicho nodo.

50 La publicación: Thierry Lestable: "Location-enable (TM) IoT Network:" geo-LoRa-ting "your assets", 18 de septiembre de 2015, da a conocer una red informática inalámbrica de conformidad con el preámbulo de la reivindicación 1, así como un método para calcular la posición de un nodo "objetivo" sobre la base de medidas de distancia realizadas por puntos de acceso. Sin embargo, en estas redes de la técnica anterior, la precisión del cálculo de la posición del nodo "objetivo" no es óptima y la medida de distancia genera un consumo de energía significativo en dicho nodo.

55 La invención tiene como objetivo resolver los problemas técnicos mencionados con anterioridad. En particular, un objeto de la presente invención es mejorar la precisión de cálculo de la posición de un nodo "objetivo". Otro objeto de la invención es poder densificar, con menores costes, puntos que miden sus distancias al nodo "objetivo", mientras se preserva la batería de dicho nodo.

SUMARIO DE LA INVENCION

5 La solución propuesta por la invención es una red informática inalámbrica que comprende un servidor y al menos un nodo adaptado para comunicarse con dicho servidor, pasando los intercambios de datos entre dicho nodo y dicho servidor por intermedio de al menos un punto de acceso, cuyo nodo y cuyo punto de acceso están provistos de transeceptores de radio, estando dicho nodo adaptado para comunicarse con dicho punto de acceso, comprendiendo la red, además, al menos tres anclajes adaptados para comunicarse con el servidor, pasando los intercambios de datos entre dichos anclajes y dicho servidor por intermedio de al menos un punto de acceso, estando el servidor adaptado para enviar una orden al nodo. Esta red es adecuada por cuanto que:

- 10 - el servidor está adaptado para enviar sucesivamente una orden a al menos tres anclajes seleccionados cuyas posiciones se conocen,
- 15 - el nodo está adaptado para, siguiendo la orden transmitida por el servidor, colocarse, durante un tiempo determinado, en un modo que le permita enviar una respuesta a un mensaje de sondeo enviado por un anclaje para una medida de radio de distancia,
- 20 - cada anclaje está adaptado para, siguiendo la orden transmitida por el servidor, enviar un mensaje de sondeo al nodo y realizar la medida de radio de distancia entre dicho anclaje y dicho nodo sobre la base de dicha respuesta, y transmitir esta medida a dicho servidor.

25 Los anclajes pueden mejorar la precisión del cálculo de la posición del nodo mientras se densifican los puntos de medida a costes más bajos. Además, el nodo se coloca, bajo la orden del servidor, en un modo en donde responde las consultas de los anclajes solamente durante un período de tiempo limitado. El nodo puede permanecer inactivo el resto del tiempo y, de hecho, conservar su batería.

30 La red de área local inalámbrica de la invención está construida de conformidad con una topología en "árbol" con una clara separación funcional entre:

- 35 - los nodos (objetos móviles), indicado como N en las ilustraciones;
- la parte de la infraestructura utilizada para el intercambio de datos que consiste en uno o más puntos de acceso, denominado PA, y un único servidor de red, denominado S;
- subparte de la infraestructura dedicada a la localización constituida por anclajes, denominados como A.

40 El servidor de red proporciona la gestión de la red, incluida la gestión de bajo nivel (capa "2/enlace de datos" y la capa superior del modelo OSI). Los puntos de acceso proporcionan la interfaz de radio (capa "1/física" del modelo OSI) entre los nodos y el servidor, proporcionan algunos aspectos temporales del protocolo e informan al servidor de algunas características de las tramas de radio recibidas.

45 En una red de conformidad con la invención, el protocolo de enlace de datos es de tipo asíncrono ALOHA, de baja energía y largo alcance, donde las comunicaciones siempre son iniciadas por un nodo hacia el servidor de red, cada vez que una ventana temporal breve, durante la cual el servidor de red puede responder al nodo que acaba de emitir.

50 Desde el punto de vista de los nodos, la asociación es, por lo tanto, solamente con el servidor de red. Para el protocolo de intercambio de datos, los puntos de acceso son "transparentes". Por "transparencia" se entiende en el sentido de la invención el hecho de que el nodo y los anclajes (que son para la red solamente nodos con funciones especiales) se comunican con el servidor sin la necesidad de seleccionar explícitamente un punto de acceso que recibirá la trama enviada por dicho nodo. Esta es una característica de la comunicación entre el nodo y los anclajes, por un lado, y el servidor, por otro lado, que es independiente de la comunicación entre un nodo y un anclaje (formato de trama diferente). Dicho de otro modo, desde el momento en que un nodo está al alcance de al menos un punto de acceso, la comunicación entre este nodo y el servidor está asegurada. Para que ello funcione, el protocolo de enlace de datos de la red de la invención está diseñado para soportar una latencia entre los puntos de acceso y el servidor de red que puede alcanzar la centena de milisegundos.

60 Por lo tanto, la movilidad de los nodos es compatible sin requerir que se vuelvan a asociar con cada cambio de punto de acceso y, por lo tanto, limitando el consumo de energía de los nodos que pueden permanecer inactivos. Además, si un nodo está dentro del alcance de múltiples puntos de acceso, la redundancia de las rutas entre ese nodo y el servidor de red aumenta la solidez del enlace.

65 En comparación con las redes existentes, una red de conformidad con la invención permite utilizar puntos de acceso funcionalmente más simples y con menos restricciones de fiabilidad, lo que tiende a reducir su coste y a favorecer la

densificación, e incluso la sobredensificación, con el fin de garantizar una cobertura redundante de cada nodo por una multitud de puntos de acceso.

5 Para la localización, una red de conformidad con la invención utiliza elementos de infraestructura separados del punto o puntos de acceso: los anclajes. Estos anclajes son funcionalmente más simples que los puntos de acceso descritos con anterioridad y utilizan la misma red de datos de baja energía que los nodos.

10 La función de los anclajes es, a solicitud del servidor de red, realizar una medida de radio de distancia entre ellos y un nodo particular de la red. Al conocerse su posición exacta, el cruce de las medidas de varios anclajes permite calcular la posición de un nodo en particular.

Antes de la medida realizada por los anclajes, el servidor activará temporalmente el modo de "localización" del nodo en donde "escuche" el canal de radio y responda a las solicitudes de sondeo de los anclajes.

15 La medida de radio de distancia en la red inalámbrica de la invención puede basarse en una medida activa del tiempo de desplazamiento, con el anclaje funcionando como un sondeador (enviando un "ping") y el nodo funcionando como un reflector activo de señal (también denominado "reflector de radar activo"), respondiendo a la señal "ping" recibida mediante una señal "pong", con un tiempo de respuesta lo más constante posible. El anclaje mide con mucha precisión el tiempo transcurrido entre la emisión del "ping" y la recepción del "pong" y resta de este tiempo el tiempo de respuesta de un nodo (constante conocida del sistema). El tiempo restante es el retraso de ida y vuelta de la señal de radio. Considerando que una onda de radio se propaga a una velocidad muy cercana a la de la luz, es posible deducir la distancia entre el anclaje que envió el "ping" y el nodo de respuesta.

20 Con el fin de mejorar las medidas de posición en edificios de varios niveles, en presencia de pasarelas o extensiones radiales en un edificio de tipo almacén, cada anclaje y nodo de conformidad con la invención pueden estar provistos de un barómetro. Si se conoce la altitud de los anclajes, será posible deducir la posición vertical de un nodo comparando la presión atmosférica medida en el nodo y las presiones atmosféricas medidas por los anclajes próximos.

25 Otras características ventajosas de la invención se enumeran a continuación. Cada una de estas características puede considerarse sola o en combinación con las características sobresalientes definidas con anterioridad, y puede estar sujeta, cuando corresponda, a una o más solicitudes de patentes divisionales:

30 - Según una forma de realización preferida, a la recepción de la orden transmitida por el servidor, cada anclaje se adapta para enviar un mensaje de sondeo al nodo y luego cronometra el tiempo que tarda en llegar la respuesta de dicho nodo, calculando dicho anclaje localmente la distancia entre el mismo y dicho nodo, y luego transmite esta información al servidor.

35 - Según una forma de realización preferida, a la recepción de la orden transmitida por el servidor, el nodo se adapta para enviar una trama de validación a dicho servidor. Esta trama de validación puede contener una medida de la presión atmosférica en el nodo.

40 - Según una forma de realización, el servidor está adaptado para determinar una localización aproximada del nodo a partir de una lista de puntos de acceso que han recibido la trama de validación y el conocimiento de la posición de cada punto de acceso, estando dicho servidor adaptado para seleccionar los anclajes más próximos de dicho nodo.

45 - La red puede tener varios nodos y al menos dos puntos de acceso, presentando dicha red, además, al menos una de las siguientes características: - los puntos de acceso están conectados al servidor mediante enlaces informáticos TCP/IP cuyas latencias son inferiores a 300 milisegundos; - los nodos, los anclajes y los puntos de acceso están provistos de transceptores de radio que funcionan con la misma modulación y en la misma banda de frecuencia; - las zonas de cobertura de radio de los puntos de acceso se solapan al menos parcialmente; - los puntos de acceso actúan al nivel de la capa 1 de la red y son transparentes para la capa 2 de dicha red, de modo que la comunicación entre los nodos y el servidor, así como la comunicación entre los anclajes y el servidor, se realizan de manera transparente, sin la necesidad de abordar o asociarse explícitamente con uno o más puntos de acceso; - los datos se intercambian en ambas direcciones entre los nodos y el servidor; - los nodos se comunican con los puntos de acceso gracias a un protocolo de nivel 2, asíncrono, donde todos los intercambios son iniciados por un nodo y donde el servidor tiene un retraso mayor al doble de la latencia típica entre el servidor y los puntos acceso para transmitir una respuesta a un nodo por intermedio de un punto de acceso; - el servidor está adaptado para identificar tramas recibidas simultáneamente por varios puntos de acceso y para seleccionar, entre aquellos que han recibido una trama enviada por un nodo, un único punto de acceso por intermedio del cual enviar una trama de respuesta; - el servidor está adaptado para enviar una trama que contiene órdenes a cada anclaje en cualquier momento, por intermedio de un punto de acceso previamente conocido; - el servidor está adaptado para usar múltiples medidas de distancia con un nodo objetivo, realizadas por más de tres anclajes cuyas posiciones se conocen, para calcular la posición de dicho nodo objetivo.

5 - Según una forma de realización, la red comprende al menos una de las siguientes características: la comunicación entre los anclajes, el nodo y los puntos de acceso utiliza una modulación digital de espectro extendido LoRa®; - la comunicación entre los anclajes, el nodo y los puntos de acceso utiliza una banda de frecuencia "industrial, científica y médica" de 2,4 GHz a 2,4835 GHz; - la medida de la distancia entre el nodo y los anclajes se realiza mediante una medida de radio de tiempo de desplazamiento de una resolución de menos de 10 nanosegundos, con los anclajes en una función de sondeador/receptor, actuando el nodo como un reflector activo de radio.

10 - Según una forma de realización, los anclajes situados dentro del alcance de radio de un anclaje sondeador que transmite una señal de medida de distancia, y en el alcance de radio de un nodo objetivo que se comporta como un reflector activo de radio, están adaptados para realizar una medida complementaria con una resolución inferior a 10 nanosegundos, dada su posición, el tiempo entre la señal enviada por el anclaje sondeador y la respuesta de dicho nodo objetivo, correspondiendo este tiempo a la pseudo-distancia entre dicho nodo objetivo, el anclaje sondeador y el anclaje que realiza la medida complementaria.

15 - De conformidad con una forma de realización, la medida de radio de distancia entre el nodo y un anclaje se realiza mediante una medida de radio del tiempo de desplazamiento de la respuesta enviada por dicho nodo al mensaje de sondeo de dicho anclaje y/o mediante una medida de la potencia de radio de la respuesta enviada por dicho nodo al mensaje de sondeo de dicho anclaje.

20 Otro aspecto de la invención se refiere a un método para localizar un nodo en una red informática inalámbrica según la reivindicación 11.

25 Otro aspecto más de la invención se refiere a una forma de realización alternativa en donde la red informática inalámbrica está de conformidad con la reivindicación 12.

Según esta variante de forma de realización, un aspecto adicional de la invención se refiere a un método para localizar un nodo en una red informática inalámbrica según la reivindicación 13.

### 30 DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Otras ventajas y características de la invención se entenderán mejor con la lectura de la descripción de una forma de realización preferida dada a continuación, haciendo referencia a los dibujos adjuntos, realizados como ejemplos indicativos y no limitativos y en donde:

35 La Figura 1 representa una vista funcional de los diversos elementos que constituyen la red de área local inalámbrica de la invención.

40 La Figura 2 representa el curso de tiempo de un intercambio de datos entre un nodo y el servidor de la red.

La Figura 3 representa un caso simplificado de movilidad de nodos e ilustra la capacidad de la red de la invención para la itinerancia transparente.

45 La Figura 4 muestra el curso temporal de la medida de la posición de un nodo por la red.

La Figura 5 muestra el principio de multilateración por medida del tiempo de desplazamiento que sirve para determinar la posición de un nodo.

### 50 FORMAS DE REALIZACIÓN PREFERIDAS DE LA INVENCION

En la forma de realización siguiente, solamente se representa un número mínimo de cada uno de los elementos que constituyen la invención: un solo nodo, al menos uno y preferiblemente al menos dos puntos de acceso, al menos tres anclajes y un servidor. En un sistema normalmente puesto en práctica, el número de nodos sería significativamente mayor (de diez a varias decenas de miles), con hasta una centena de puntos de acceso y de una decena a un millar de anclajes.

La Figura 1 muestra todos los elementos de una red de radio inalámbrica de conformidad con la invención y el tipo de comunicación que pueden intercambiar.

60 El servidor (110) constituye el núcleo fundamental de la red, es un ordenador genérico que ejecuta un software o un conjunto de software específico para la red inalámbrica de la invención. Está conectado a una multitud de puntos de acceso (120) por medio de enlaces de datos de Internet/intranet (111) que por lo general son enlaces por cable (tipo Ethernet, ADSL, etc.), inalámbricos (tipo Wifi, GPRS móvil o LTE) o una combinación de ambos, utilizando protocolos TCP/IP. La latencia típica de un enlace es inferior a 100 milisegundos. Los puntos de acceso intercambian datos con el servidor utilizando protocolos de aplicación de tipo HTTP o MQTT. Dependiendo de la

topología de la localización en donde está instalada la red, especialmente cuando esta localización no es muy extensa, el servidor (110) puede estar conectado a un solo punto de acceso (120).

Los puntos de acceso (120) consisten cada uno en un microordenador incorporado en donde se ejecuta un sistema operativo fiable y que ahorra recursos (por lo general construido alrededor de un kernel de Linux) y una tarjeta electrónica que incluye una multitud de transceptores de radio compatibles con la capa física preferida de la invención: una modulación LoRa® en la banda de frecuencia de 2,4 GHz. Si es necesario, un experto en esta técnica podrá consultar el texto de referencia para la modulación LoRa® que constituye la nota de aplicación AN1200.22 de Semtech accesible desde el enlace: [http://www.semtech.com/images/ficha\\_tecnica/an1200.22.pdf](http://www.semtech.com/images/ficha_tecnica/an1200.22.pdf).

Estos puntos de acceso utilizan esta interfaz de radio LoRa de 2.4 GHz para establecer enlaces de radio (121) con los nodos (130) y los anclajes (140) que pertenecen a la red controlada por el servidor (110). Estos enlaces se utilizan para intercambiar datos de forma bidireccional. Dependiendo de la topología de la localización en donde está instalada la red, diferentes nodos (130) y anclajes (140) estarán al alcance de radio de uno o más puntos de acceso (120). Los puntos de acceso y los anclajes son fijos, pero como el entorno de radio no es estático, la "visibilidad" de cada anclaje por cada punto de acceso puede cambiar. Los nodos se consideran móviles y la "visibilidad" de cada nodo por cada punto de acceso puede cambiar significativamente.

Los nodos (130) son preferiblemente sistemas electrónicos sobre basados en un microcontrolador tipo ARM® Cortex M4 de muy bajo consumo, un transceptor de radio compatible con modulación LoRa de 2.4 GHz, una fuente de alimentación de batería alcalina AA, y un conjunto de sensores y/o accionadores dependiendo de la aplicación final del nodo.

La autonomía energética de estos nodos es importante porque una recarga regular de miles de nodos haría que el sistema sea insostenible, y porque estos nodos pueden instalarse en lugares donde el acceso es difícil o peligroso. Los nodos (130) se comunican por radio con los puntos de acceso (120) pero desde el punto de vista del protocolo de "enlace de datos", la asociación y el intercambio de datos son con el servidor (110).

La comunicación entre los anclajes (140), los nodos (130) y los puntos de acceso (120) utiliza preferentemente una banda de frecuencia "Industrial, Científica y Médica" de 2,4 GHz a 2,4835 GHz.

A solicitud del servidor (110), cada nodo (130) puede colocarse temporalmente en un modo de "reflector activo" o "localización" durante el cual responderá a las solicitudes de los anclajes (140) de una manera temporalmente determinista para que, para poder realizar medidas de radio remotas, preferiblemente midiendo el tiempo de desplazamiento de las ondas de radio de la respuesta transmitida por un nodo (130) al mensaje de sondeo del anclaje. Esta medida de radio de distancia también se puede llevar a cabo midiendo la potencia de radio de la respuesta transmitida por un nodo (130) al mensaje de sondeo del anclaje. La medida de radio de distancia todavía se puede realizar midiendo el tiempo de desplazamiento de las ondas de radio y midiendo la potencia de radio. En última instancia, la medida de radio de distancia se realiza mediante una medida del tiempo de desplazamiento de las ondas de radio y/o mediante una medida de la potencia de radio.

Los anclajes (140) son sistemas electrónicos normalmente muy similares a los nodos, pero alimentados en la red o, por ejemplo, por intermedio de un panel solar, porque su radio está mucho más a menudo a la 'escucha', con el fin de poder recibir órdenes del servidor (110) con una latencia mínima.

Bajo la orden del servidor (110), un anclaje (140) puede comunicarse con un nodo objetivo situado al alcance de radio según un protocolo de bajo nivel de medida de radio de distancia (141). Por lo general, no se intercambian datos entre los nodos y los anclajes. El servidor (110) utiliza estas medidas de distancia para calcular la posición del nodo objetivo.

La Figura 2 representa el desarrollo en el tiempo de un intercambio de datos entre un nodo (130) y el servidor (110), y hace posible ilustrar la función de los puntos de acceso (120) dependiendo de la itinerancia transparente característica de la red inalámbrica de la invención.

Cuando tiene datos para transmitir, el nodo (130) transmite una trama de radio (210) en una frecuencia de radio predeterminada con parámetros (tipo de modulación, velocidad de transmisión, formato de trama) fijados por el protocolo común para el sistema. Después de la transmisión de la trama, el nodo pasa al modo de espera (211) en el tiempo  $t_0$  durante un período  $\Delta$  normalmente igual a 2 segundos.

Cuando los puntos de acceso (120) PAX y PAY, ubicados dentro del alcance de radio del nodo, reciben la trama transmitida, cada uno registra con su reloj local en qué momento  $t_X$  y  $t_Y$  (220) la última muestra de la trama ha sido recibida. En una realización ventajosa, este reloj es monótono, funciona a 1 MHz, con una magnitud de 32 bits. Los relojes entre los puntos de acceso no están alineados y se reinician cada 4294 segundos aproximadamente.

Después de un posible análisis de la trama recibida, después de la compresión y la serialización, los dos puntos de acceso transmiten cada uno (221, 222) por intermedio del enlace de Internet/intranet, la trama recibida al servidor,

acompañada de metadatos: identificador de punto de acceso, frecuencia de radio en donde se recibió la trama, parámetros de modulación, nivel de potencia dBm de la señal de radio recibida (RSSI). El retraso del análisis y la transmisión es variable, y es probable que el servidor reciba copias de la misma trama recibida por múltiples puntos de acceso durante una ventana temporal (230) que puede abarcar varios cientos de milisegundos.

5 Después de eliminar el duplicado de la trama recibida, si el servidor no tiene datos para transmitir al nodo, deserializa y luego procesa los datos recibidos, y el intercambio se detiene en ese momento.

10 Si el servidor tiene datos para transmitir al nodo, o si los datos transmitidos por el nodo requieren una respuesta, el servidor marca una respuesta (231) y luego selecciona un punto de acceso entre aquellos que han recibido la trama transmitida por el nodo con el fin de transmitir la respuesta. Normalmente, el servidor selecciona el punto de acceso que ha recibido la trama con el mayor nivel de energía porque es el que tiene la mayor probabilidad de tener éxito en transmitir la respuesta de manera confiable. En la Figura 2, el servidor selecciona el punto de acceso PAX para transmitir la respuesta.

15 A continuación, el servidor transmite la trama que se enviará por intermedio del enlace de Internet/intranet indicando explícitamente en los metadatos que acompañan el mensaje del servidor al punto de acceso que la trama de respuesta debe transmitirse en el momento  $tX + \Delta$ .

20 El punto de acceso seleccionado recibe (223) la solicitud de respuesta del servidor, por lo general varios cientos de milisegundos antes de tener que transmitirla, por lo que tiene tiempo suficiente para analizar la solicitud del servidor y para prepararse para enviar la respuesta, incluso si los enlaces de Internet/intranet con el servidor se ven afectados por una latencia significativa (en comparación con lo que por lo general se encuentra en estas clases de redes) o si esta latencia sufre fluctuaciones significativas.

25 En el momento, el punto de acceso  $tX + \Delta$  PAX comienza a transmitir (224) la respuesta del servidor. Al mismo tiempo, el nodo sale del modo de espera (212) y configura su radio receptora a tiempo para recibir (213) de forma satisfactoria la respuesta del servidor a la trama transmitida originalmente por el nodo.

30 Este principio de transmisión no permite intercambios muy rápidos, pero maximiza la vida útil de la batería del nodo que no tiene una sincronización absoluta para mantener y solamente debería poder permanecer inactivo durante períodos cortos (por lo general 2 segundos) con precisión satisfactoria (mejor que 10 ms). Los tiempos de espera del nodo entre transmisiones sucesivas pueden ser largos (de varios minutos a varias horas) y pueden ser relativamente imprecisos si la aplicación final del nodo lo tolera.

35 Otra ventaja de este protocolo de intercambio de datos se ilustra en la Figura 3: permite la itinerancia sin intervención del nodo. Dos puntos de acceso (120) tienen dos zonas de cobertura de radio (310, 311) parcialmente superpuestas (312). Si un nodo (130) transmite cuando está en una zona (310 o 311) cubierta por un único punto de acceso, la trama ascendente transmitida será recibida por este único punto de acceso y la respuesta eventual del servidor llegará por este punto de acceso. Si el nodo se desplaza a lo largo de cualquier ruta (320) y está en la zona (312) cubierta por dos puntos de acceso en el momento de transmitir otra trama al servidor, el servidor recibe la trama transmitida por duplicado (redundancia que aumenta la fiabilidad de la transmisión) y puede optar por enviar una posible respuesta desde un punto de acceso u otro.

45 Como la velocidad de movimiento sigue siendo moderada, de modo que el nodo no está demasiado lejos del lugar donde se encuentra la trama "ascendente" en el momento en que llega la posible respuesta "descendente" del servidor, el sistema funciona. En ningún momento es necesario que el nodo interactúe directamente con los puntos de acceso para negociar una transición de uno a otro, ni es necesario que el nodo pase una cantidad significativa de tiempo escuchando la banda de radio para recibir tramas de baliza enviadas por puntos de acceso con el fin de saber si está entrando o saliendo de una zona de cobertura. Estas características contribuyen a la maximización de la duración de la batería en caso de movilidad de un nodo.

50 Además, de su capacidad para gestionar la movilidad, la red de transmisión inalámbrica de la invención permite que la solicitud ubique con precisión cada nodo utilizando los anclajes.

55 La Figura 4 representa el desarrollo temporal de la localización de un nodo (130) por el servidor (110). Para mantener la legibilidad de la figura, la función de los puntos de acceso no está representada. Se entiende que todos los intercambios de datos entre un nodo y el servidor pasan por al menos un punto de acceso, y del mismo modo para intercambios entre un anclaje y el servidor.

60 Cuando un nodo (130) transmite (410) datos al servidor (110) o cuando transmite de manera periódica una trama que no contiene datos para indicar su presencia, el servidor puede decidir a la recepción de la trama enviada por el nodo, que quiere saber la localización precisa de este nodo. A continuación, envía al nodo una trama de respuesta que contiene una orden (430) que pondrá el nodo en modo de "localización" durante un tiempo limitado, normalmente menos de 5 segundos para limitar el consumo de energía.

65

A la recepción de esta orden, el nodo comienza enviando (411) una trama de validación al servidor, luego entra al modo de "localización" durante el cual el nodo solamente escuchará las tramas de sondeo (o "pings") procedentes de los anclajes. La trama de validación enviada por el nodo al servidor por lo general contiene una medida de la presión atmosférica en el nodo medida por un barómetro digital con una resolución vertical típica de 15 a 30 cm.

Después de haber recibido la confirmación (431) de la activación del modo "localización" en el nodo, el servidor determina la localización aproximada del nodo a partir de la lista de puntos de acceso que han recibido las tramas enviadas por el nodo (430, 431) y del conocimiento de la posición de cada punto de acceso del sistema. Esta localización aproximada se determina, por ejemplo, mediante un análisis de la potencia de la señal que contiene la trama de validación enviada por el nodo al servidor. A partir de este conocimiento, el servidor selecciona preferiblemente un número limitado de anclajes (140) que tienen una alta probabilidad de estar cerca del nodo (anclajes  $A_i$ ,  $A_j$  y  $A_k$  en la figura). En el caso de que el número de anclajes (140) ya esté limitado, por ejemplo, al número de tres, el servidor los selecciona a todos.

A continuación, el servidor envía sucesivamente a cada anclaje seleccionado una orden (432) que activa una o más medidas sucesivas de distancia con el nodo. Los anclajes (140) escuchan de forma continua las tramas procedentes del servidor enviadas por los puntos de acceso, por lo que no es necesario esperar a que cada anclaje envíe una trama al servidor para poder enviar una orden en respuesta. El servidor conoce el punto de acceso que se utilizará para transmitir una trama a cada anclaje por intermedio de las tramas transmitidas por los anclajes a la instalación del sistema. Mientras los anclajes y los puntos de acceso no se desplacen, y el entorno que afecta la propagación de radio no cambie sustancialmente, este conocimiento sigue siendo válido.

A la recepción de la orden, el anclaje  $A_i$  envía un mensaje de sondeo (o "ping", 420) al nodo y luego cronometra con una precisión superior a nanosegundos el tiempo que se espera para llegue la respuesta (o "pong", 421) del nodo. El anclaje calcula localmente la distancia entre dicho anclaje y el nodo, mide la presión atmosférica  $p_i$  y luego transmite esta información al servidor (433). Los anclajes  $A_j$  y  $A_k$  proceden de manera similar.

Después de recibir información de al menos 3 anclajes, el servidor puede realizar un cálculo iterativo (440) para determinar la posición  $[x_n, y_n, z_n]$  del nodo en el espacio que tiene la mayor probabilidad de devolver los datos observados  $[d_i, p_i]$ ,  $[d_j, p_j]$ ,  $[d_k, p_k]$ , conociendo el valor de  $p_n$  como la presión devuelta por el nodo y las coordenadas  $[x, y, z]$  de cada anclaje en una referencia geométrica local arbitraria.

La Figura 5 muestra una vista simplificada (porque es en dos dimensiones en lugar de tres) del problema matemático a resolver por el servidor. Las medidas de distancias  $d_i$ ,  $d_j$  o  $d_k$  se ven afectadas por una incertidumbre de medida  $\Delta d$ , y por un sesgo debido al hecho de que el camino más corto para las ondas de radio puede ser más largo (pero nunca más corto) que una línea recta en el espacio. Es un problema probabilístico que puede resolverse mediante un método de búsqueda iterativa, tal como los mínimos cuadrados.

El uso de más de 3 anclajes facilita la eliminación de valores atípicos y aumenta la precisión de la solución matemática. En un entorno favorable, sin obstáculos entre los anclajes y el nodo, la precisión de la medida de la posición suele ser del orden de magnitud del metro en las tres dimensiones. En un entorno perturbado, con obstáculos absorbentes y superficies que reflejan ondas de radio, la precisión puede degradarse a un nivel decamétrico.

En una puesta en práctica mejorada del sistema de la invención, los anclajes que no emiten la señal de sondeo (por ejemplo, los anclajes  $A_j$  y  $A_k$  en el momento en que  $A_i$  realiza una medida de distancia) pueden, simplemente escuchando el canal de radio en donde se realiza la medida de la distancia, cronometrar el retardo, considerado desde su posición, entre el "ping" de sondeo y el "pong" del nodo objetivo. Esta medida proporciona información de pseudo-distancia, dependiendo de la posición del anclaje sondeador, el anclaje que realiza esta medida complementaria y de la posición del nodo objetivo. Al combinar  $N$  medidas de distancia y  $M$  medidas de pseudo-distancia (con  $M$  normalmente de 2 a 5 veces mayor que  $N$ ), el servidor puede aumentar la precisión de la localización del nodo objetivo, o para un objetivo de precisión dado, disminuir el número de medidas de distancia activas (por lo tanto, el consumo del nodo).

Según una forma de realización alternativa, son los nodos (130) los que realizan las medidas de distancia con los anclajes (140). A este respecto, y de manera simétrica a la forma de realización descrita con anterioridad, cada anclaje (140) está adaptado para, siguiendo una orden transmitida por el servidor (110), colocarse, durante un tiempo predeterminado, en un modo de "localización" que le permite enviar una respuesta a un mensaje de sondeo enviado por el nodo (130) para una medida de radio de distancia. Y siguiendo una orden (430) transmitida por el servidor (S, 110) al nodo (N, 130), este último realiza la medida de radio de distancia entre dicho nodo y cada anclaje colocado en modo de "localización". Esta medida luego se transmite al servidor.

Las formas de realización descritas en los párrafos anteriores ilustran una de varias formas de poner en práctica la invención. Se pueden hacer varias modificaciones funcionalmente equivalentes a la forma de realización tal como se da a conocer con anterioridad sin apartarse del alcance de la invención como se define por las reivindicaciones siguientes.



**REIVINDICACIONES**

- 5 **1.** Una red informática inalámbrica que comprende un servidor (S, 110) y al menos un nodo (N, 130) adaptado para comunicarse con dicho servidor, pasando los intercambios de datos entre dicho nodo y dicho servidor por intermedio de al menos un punto de acceso (PA, 120), cuyo nodo y cuyo punto de acceso están provistos de transceptores de radio, estando dicho nodo adaptado para comunicarse con dicho punto de acceso, comprendiendo la red, además, al menos tres anclajes (A, 140) adaptados para comunicarse con el servidor (S, 110), pasando los intercambios de datos entre dichos anclajes y dicho servidor por intermedio de al menos un punto de acceso (PA, 120), cuyo servidor (S, 110) está adaptado para enviar una orden (430) al nodo (N, 130),
- 10 caracterizada porque
- el servidor (S, 110) está adaptado para enviar sucesivamente a al menos tres anclajes seleccionados, cuyas posiciones son conocidas, una orden (432),
- 15 el nodo (N, 130) está adaptado para, después de que la orden (430), sea transmitida por el servidor (S, 110), para colocarse, durante un tiempo predeterminado, en un modo que le permita enviar una respuesta con un mensaje de sondeo emitido por un anclaje (A, 140) para una medida de radio de distancia,
- 20 cada anclaje (A, 140) está adaptado para, después de que la orden (432) sea transmitida por el servidor (S, 110), enviar un mensaje de sondeo (420) al nodo (N, 130) y efectuar la medida de radio de distancia entre dicho anclaje y dicho nodo (N, 130) sobre la base de dicha respuesta, y transmitir esta medida a dicho servidor.
- 25 **2.** Red según la reivindicación 1, en donde, a la recepción de la orden transmitida por el servidor (S, 110), cada anclaje (A, 140) está adaptado para enviar un mensaje de sondeo (420) al nodo (N, 130) y luego cronometrar el tiempo que tarda en llegar la respuesta (421) de dicho nodo, calculando dicho anclaje localmente la distancia (d<sub>i</sub>) entre sí mismo y dicho nodo, y luego transmite esta información al servidor (S, 110).
- 30 **3.** Red según una de las reivindicaciones anteriores, en donde, a la recepción de la orden transmitida por el servidor (S, 110), el nodo (N, 130) está adaptado para enviar una trama de validación (411) a dicho servidor.
- 4.** Red según la reivindicación 3, en donde la trama de validación (411) contiene una medida de la presión atmosférica a nivel del nodo (N, 130).
- 35 **5.** Red según una de las reivindicaciones 3 o 4, en donde el servidor (S, 110) está adaptado para determinar una localización aproximada del nodo (N, 130) a partir de una lista de puntos de acceso (PA, 120) que ha recibido la trama de validación (411) y el conocimiento de la posición de cada punto de acceso, estando dicho servidor adaptado para seleccionar los anclajes (A, 140) que están más próximos de dicho nodo.
- 40 **6.** Red según una de las reivindicaciones anteriores, que comprende varios nodos (N, 130) y al menos dos puntos de acceso (PA, 120), cuya red también comprende, además, al menos una de las siguientes características:
- los puntos de acceso (PA, 120) están conectados al servidor (S, 110) mediante enlaces informáticos TCP/IP cuyas latencias son inferiores a 300 milisegundos,
  - 45 - los nodos (N, 130), los anclajes (A, 140) y los puntos de acceso (PA, 120) están provistos de transceptores de radio que funcionan con la misma modulación y en la misma banda de frecuencia,
  - las zonas de cobertura de radio de los puntos de acceso (AP, 120) se superponen al menos parcialmente,
  - 50 - los puntos de acceso (PA, 120) actúan en la capa 1 de la red y son transparentes para la capa 2 de dicha red, de modo que la comunicación entre los nodos (N, 130) y el servidor (S, 110), así como la comunicación entre los anclajes (A, 140) y el servidor (S, 110), se realizan de forma transparente, sin la necesidad de dirigir, o de asociarse explícitamente, con uno o más puntos de acceso (PA, 120),
  - 55 - los datos se intercambian en ambas direcciones entre los nodos (N, 130) y el servidor (S, 110),
  - los nodos (N, 130) se comunican con los puntos de acceso (PA, 120) por medio de un protocolo asíncrono de nivel 2, donde todos los intercambios son iniciados por un nodo y donde el servidor (S, 110) tiene un retraso superior al doble de la latencia típica entre el servidor y los puntos de acceso para transmitir una respuesta a un nodo (N, 130) por intermedio de un punto de acceso (PA, 120),
  - 60 - el servidor (S, 110) está adaptado para identificar tramas recibidas de manera simultánea por varios puntos de acceso (PA, 120) y para seleccionar, entre aquellos que han recibido una trama transmitida por un nodo (N, 130), un punto de acceso único por el cual enviar una trama de respuesta,
  - 65

- el servidor (S, 110) está adaptado para enviar una trama que contiene órdenes a cada anclaje (A, 140) sin importar en qué momento, por intermedio de un punto de acceso (PA, 120) conocido a priori,
  - el servidor (S, 110) está adaptado para usar múltiples medidas de distancia con un nodo objetivo (N, 130), realizadas por más de tres anclajes (A, 140) cuyas posiciones se conocen, para calcular la posición de dicho nodo objetivo.
- 5
7. Red según una de las reivindicaciones anteriores, que comprende al menos una de las siguientes características:
- 10
- la comunicación entre los anclajes (A, 140), el nodo (N, 130) y los puntos de acceso (PA, 120) utiliza una modulación digital de espectro extendido LoRa@,
  - la comunicación entre los anclajes (A, 140), el nodo (N, 130) y los puntos de acceso (PA, 120) utiliza una banda de frecuencia "Industrial, Científica y Médica" de 2.4 GHz a 2.4835 GHz,
  - la medida de la distancia entre el nodo (N, 130) y los anclajes (A, 140) se mide mediante una medida de tiempo de radio de una resolución de menos de 10 nanosegundos, con los anclajes (A, 140) en una función de sondeador/receptor, actuando el nodo (N, 130) como un reflector activo de radio.
- 15
- 20
8. Red según la reivindicación 7, en donde los anclajes (A, 140) ubicados dentro del alcance de radio de un anclaje sondeador que transmite una señal de medida de distancia y en el alcance de radio de un nodo objetivo (N, 130) que actúa como reflector activo de radio, que están adaptados para realizar una medida complementaria con una resolución inferior a 10 nanosegundos, dada su posición, el tiempo entre la señal transmitida por el anclaje sondeador y la respuesta de dicho nodo objetivo, correspondiendo este tiempo a la pseudo-distancia entre dicho nodo objetivo, el anclaje sondeador y el anclaje que realiza la medida complementaria.
- 25
9. Red según una de las reivindicaciones anteriores, en donde la medida de radio de distancia entre el nodo (N, 130) y un anclaje (A, 140) se realiza mediante una medida de radio del tiempo de desplazamiento de la respuesta transmitida por dicho nodo al mensaje de sondeo de dicho anclaje.
- 30
10. Red según una de las reivindicaciones 3 a 8, en donde la medida de radio de distancia entre el nodo (N, 130) y un anclaje (A, 140) se realiza midiendo la potencia de radio de la respuesta transmitida por dicho nodo al mensaje de sondeo de dicho anclaje.
- 35
11. Método para ubicar un nodo en una red informática inalámbrica, comprendiendo la red un servidor (S, 110) y al menos un nodo (N, 130) adaptado para comunicarse con dicho servidor, pasando los intercambios de datos entre dicho nodo y dicho servidor por al menos un punto de acceso (PA, 120), cuyo nodo y cuyo punto de acceso están provistos de transceptores de radio, estando dicho nodo adaptado para comunicarse con dicho punto de acceso, comprendiendo dicho método una etapa que consiste en instalar en la red al menos tres anclajes (A, 140) adaptados para comunicarse con el servidor (S, 110), pasando los intercambios de datos entre dichos anclajes y dicho servidor por al menos un punto de acceso (PA, 120) comprendiendo dicho método una etapa que consiste en enviar, desde el servidor (S, 110), una orden (430) al nodo (N, 130),
- 40
- 45 caracterizado porque el método comprende, además, las etapas siguientes:
- enviar sucesivamente, desde el servidor (S, 110), una orden (432) a al menos tres anclajes seleccionados cuyas posiciones se conocen,
  - después de que se transmita la orden (430) por el servidor (S, 110) al nodo (N, 130), colocar dicho nodo, durante un tiempo determinado, en un modo que le permite enviar una respuesta a un mensaje de sondeo transmitido por un anclaje (A, 140), para una medida de radio de distancia,
  - después de que se transmita la orden (432) por el servidor (S, 110) a un anclaje (A, 140), enviar, desde dicho anclaje (A, 140), un mensaje de sondeo (420) al nodo (N, 130); y realizar una medida de radio de distancia entre dicho anclaje y el nodo (N, 130) sobre la base de dicha respuesta, y transmitir esta medida a dicho servidor.
- 50
- 55
12. Una red informática inalámbrica que comprende un servidor (S, 110) y al menos un nodo (N, 130) adaptado para comunicarse con dicho servidor, pasando los intercambios de datos entre dicho nodo y dicho servidor por intermedio de al menos un punto de acceso (PA, 120) conectado a dicho servidor por enlaces informáticos, cuyo nodo y cuyo punto de acceso están provistos de transceptores de radio, estando dicho nodo adaptado para comunicarse con dicho punto de acceso, comprendiendo la red, además, al menos tres anclajes (A, 140) adaptados para comunicarse con el servidor (S, 110), pasando los intercambios de datos entre dichos anclajes y dicho servidor por intermedio de al menos un punto de acceso (PA, 120), estando el servidor (S, 110) adaptado para enviar una orden a un anclaje (A, 140), adaptándose dicho anclaje para seguir dicha orden, para colocarse, durante un tiempo determinado, en un modo de "localización",
- 60
- 65

caracterizada porque

- 5 - el servidor (S, 110) está adaptado para enviar una orden a cada anclaje (A, 140) cuyas posiciones se conocen y enviar una orden al nodo (N, 130),
- 10 - cada anclaje (A, 140) está adaptado para, siguiendo la orden transmitida por el servidor (S, 110), para colocarse, durante un tiempo determinado, en un modo de "localización" que le permite emitir una respuesta a un mensaje de sondeo transmitido por el nodo (N, 130) para una medida de radio de distancia,
- 15 - el nodo (N, 130) está adaptado para, siguiendo la orden transmitida por el servidor (S, 110) a dicho nodo, enviar un mensaje de sondeo a cada anclaje (A, 140) y realizar, en función de dicha respuesta transmitida por un anclaje (A, 140) colocado en modo de "localización", la medida de radio de distancia entre dicho nodo y dicho anclaje (A, 140), y transmitir esta medida a dicho servidor.

13. Método para ubicar un nodo en una red informática inalámbrica, comprendiendo la red un servidor (S, 110) y al menos un nodo (N, 130) adaptado para comunicarse con dicho servidor, pasando los intercambios de datos entre dicho nodo y dicho servidor por al menos un punto de acceso (PA, 120), cuyo nodo y cuyo punto de acceso están provistos de transceptores de radio, estando dicho nodo adaptado para comunicarse con dicho punto de acceso, comprendiendo la red, además, al menos tres anclajes (A, 140) adaptados para comunicarse con el servidor (S, 110), pasando los intercambios de datos entre dichos anclajes y dicho servidor por intermedio de al menos un punto de acceso (PA, 120), comprendiendo dicho método una etapa que consiste en enviar, desde el servidor (S, 110), una orden (430) a un anclaje (A, 140), y una etapa que consiste en, después de dicha orden, colocar dicho anclaje, durante un tiempo determinado, en un modo "localización",

25 caracterizado porque el método comprende las etapas siguientes:

- 30 - enviar, desde el servidor (S, 110), una orden a cada anclaje (A, 140) cuyas posiciones se conocen, y enviar, desde dicho servidor (S, 110), una orden al nodo (N, 130),
- 35 - después de que se transmita la orden por el servidor (S, 110) a cada anclaje (A, 140), colocar cada uno de dichos anclajes, durante un tiempo determinado, en un modo de "localización" que le permite emitir una respuesta a un mensaje de sondeo transmitido por el nodo (N, 130) para una medida de radio de distancia,
- después de que se transmita la orden por el servidor (S, 110) al nodo (N, 130), enviar, desde dicho nodo (N, 130), un mensaje de sondeo a cada anclaje (A, 140) y realizar, sobre la base de dicha respuesta transmitida por un anclaje (A, 140) colocado en modo de "localización", la medida de radio de distancia entre dicho nodo y dicho anclaje (A, 140), y transmitir esta medida a dicho servidor.

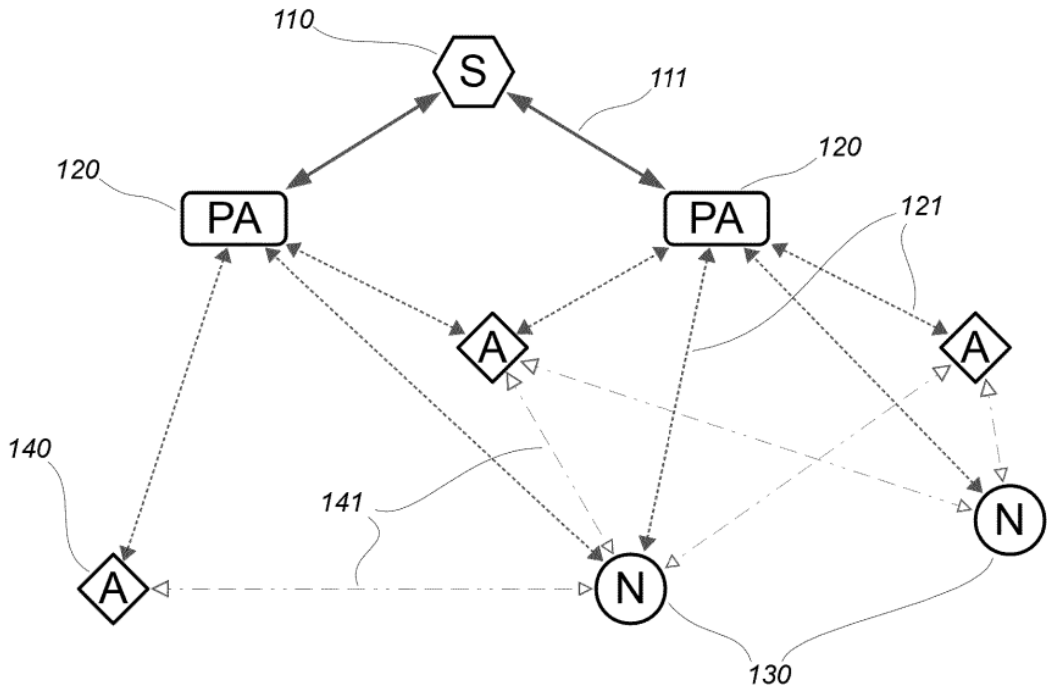


FIG. 1

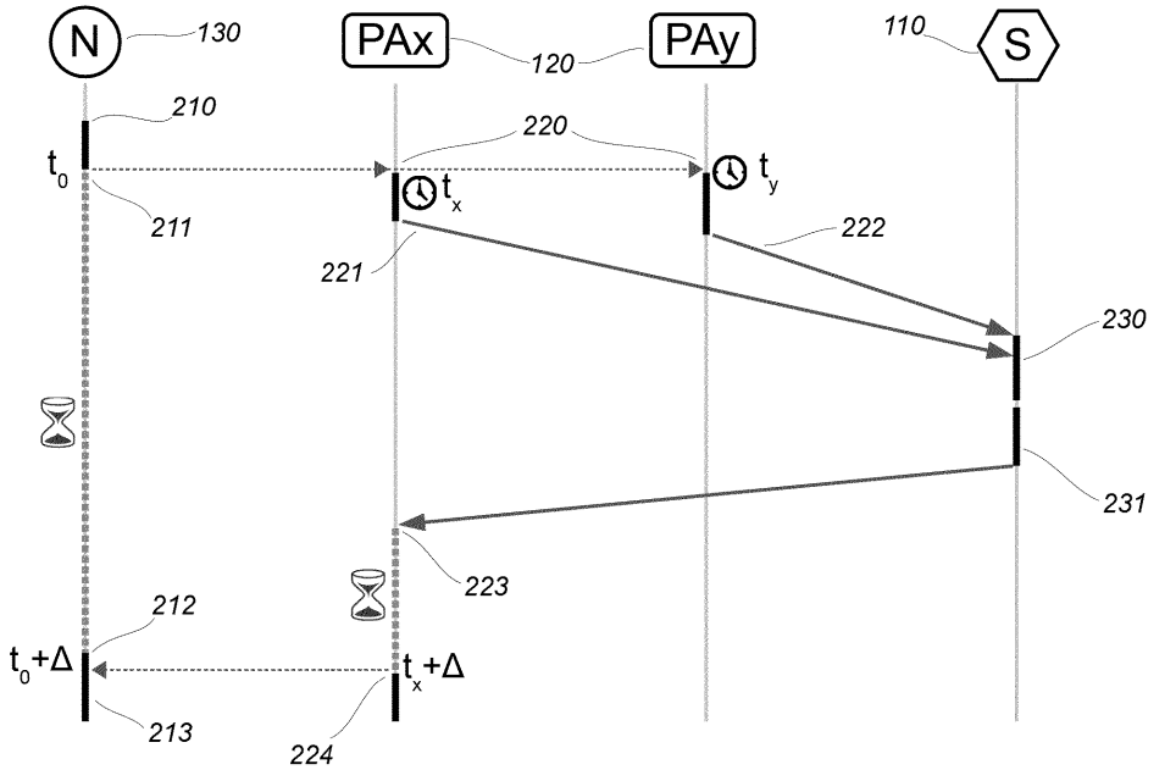


FIG. 2

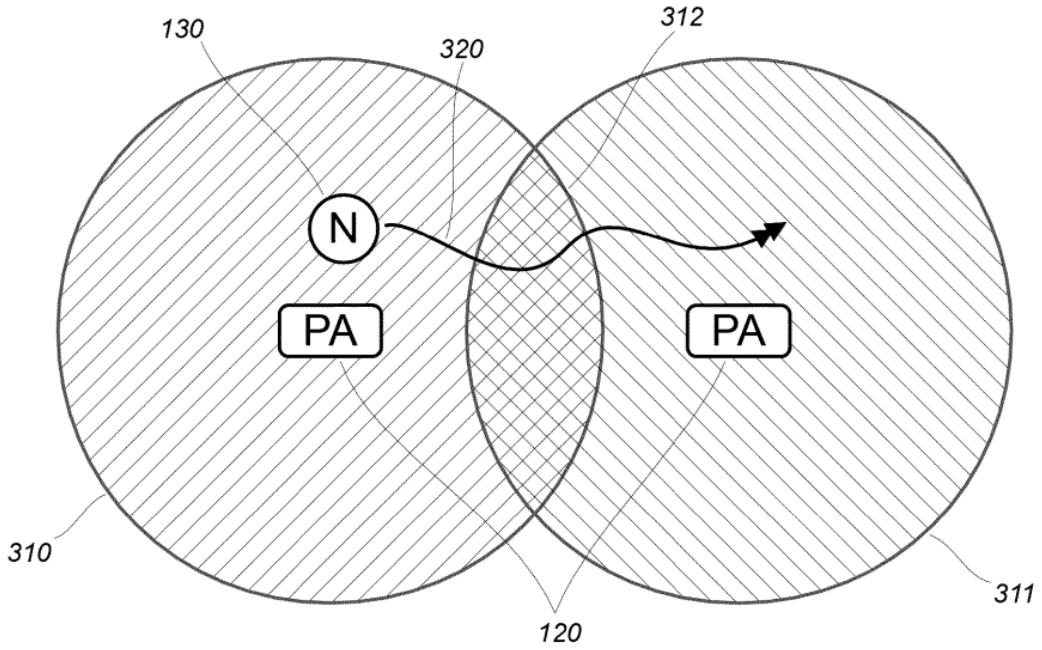


FIG. 3

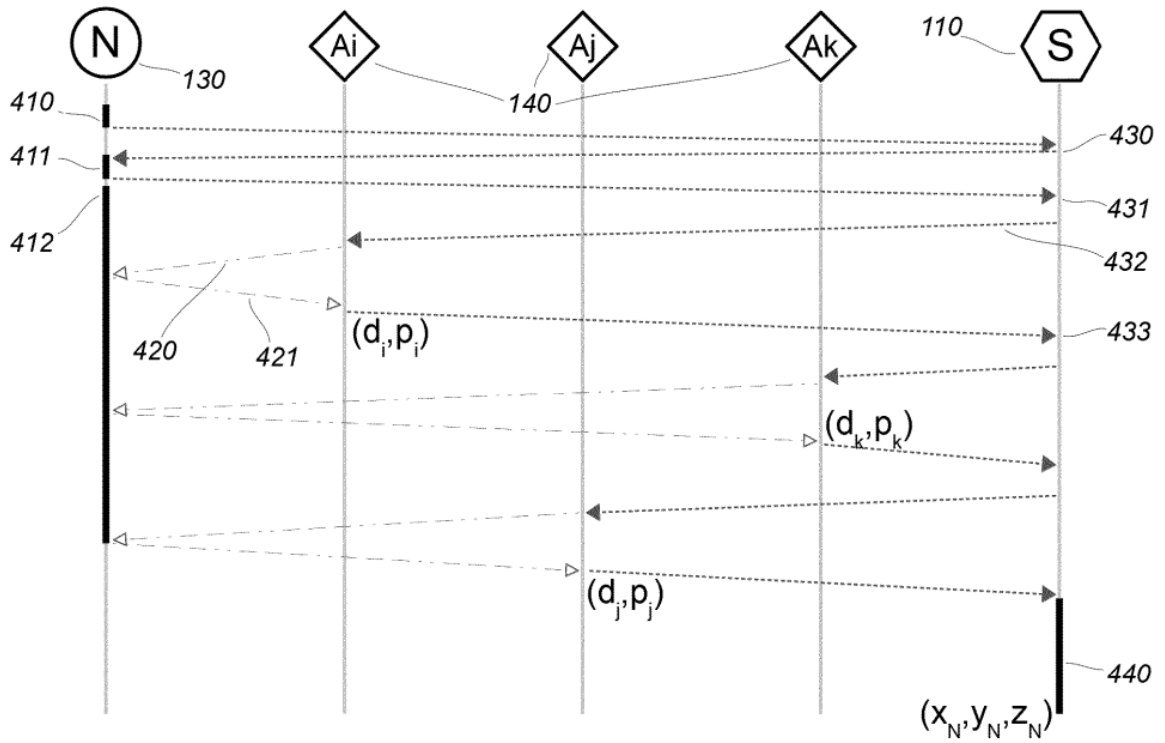


FIG. 4

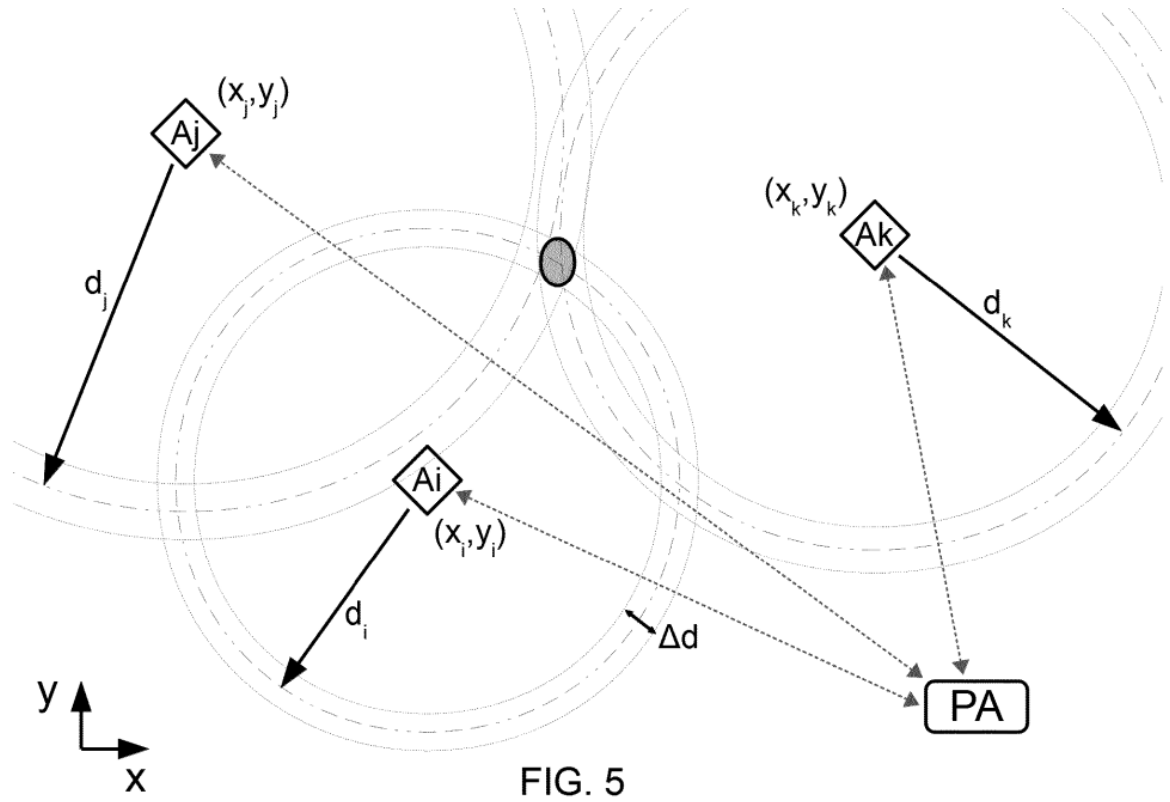


FIG. 5