

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 729 189**

51 Int. Cl.:

H04W 84/18 (2009.01)

H04L 12/715 (2013.01)

H04W 40/32 (2009.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.05.2014 E 14305708 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.04.2019 EP 2945457**

54 Título: **Agrupación de sensores y agregación de datos en redes de sensores inalámbricos**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
30.10.2019

73 Titular/es:
**ALCATEL LUCENT (100.0%)
Site Nokia Paris Saclay, Route de Villejust
91620 Nozay, FR**

72 Inventor/es:
**FONSECA DOS SANTOS, ANDRÉ y
MOHAMMAD, TAUHIDUL ISLAM**

74 Agente/Representante:
VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 729 189 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

Agrupación de sensores y agregación de datos en redes de sensores inalámbricos

5 Las realizaciones de la presente divulgación se refieren a métodos, aparatos, y programas informáticos para redes de sensores inalámbricos que hacen uso de las correlaciones entre las mediciones de los diferentes nodos de sensor.

Antecedentes

10 Esta sección introduce aspectos que pueden ser útiles para facilitar una mejor comprensión de las realizaciones de la presente divulgación. En consecuencia, las declaraciones de esta sección deben leerse a esta luz y no deben entenderse como admisiones sobre lo que está en el estado de la técnica o lo que no está en el estado de la técnica.

15 El paradigma del “Internet de las cosas” (IoT) trae una nueva realidad de la conexión de una gran cantidad de dispositivos en una red inalámbrica o móvil. Las redes de sensores inalámbricos (WSN) pueden contener miles de nodos de sensor inalámbrico y en el futuro solo se espera que aumente. De hecho, se prevé que en un futuro próximo se desarrolle un factor de 10X a 100X máquinas/sensores por usuario. Los nodos de sensor pueden estar limitados en la capacidad de cómputo y las capacidades de detección y también pueden operar en un modo no supervisado. Una tarea importante de estos nodos es recopilar información o mediciones del entorno. Varias aplicaciones para tales máquinas pueden requerir cobertura nacional y fácil acceso a Internet. Por lo tanto, una etapa natural que se debe dar es incorporar dichos dispositivos en las redes móviles. A la luz de eso, el proyecto de asociación de 3ª generación (3GPP) ha puesto en marcha esfuerzos en la extensión de la evolución a largo plazo (LTE), por ejemplo, para soportar dicho modo de transmisión de máquina. Parece que un gran desafío a superar es la cantidad total de dispositivos que se conecten a la red inalámbrica. Es probable que esto genere sobrecargas en los canales de control y en los procedimientos de acceso aleatorio.

30 A diferencia de las comunicaciones de persona a persona (H2H), muchas de las señales que se transmiten desde los dispositivos móviles (MD) pueden resultar a partir de mediciones y monitorización. En consecuencia, muchas de esas señales tienen propiedades estocásticas y, por lo tanto, pueden predecirse empleando modelos de predicción adecuados. Un ejemplo sencillo sería la medición de las temperaturas al aire libre que pueden predecirse de acuerdo con la estación del año y la hora del día. En este caso, si un predictor común se usa simultáneamente en el lado de la red, por ejemplo, mediante un gestor de aplicaciones de máquina (MAM) o una estación base mejorada de máquina (MEBS), y mediante los MD que realizan la medición en sí; no es necesario que el MD transmita datos a la red si las mediciones se ajustan al valor previsto.

40 De manera similar a la previsibilidad del tiempo, diferentes MD de detección puede tener mediciones correlacionadas similares. El ejemplo simple de la medición de la temperatura a partir de sensores geográficamente cercanos puede usarse nuevamente. Las lecturas de los MD pueden estar correlacionadas temporal o espacialmente. Sin embargo, esas características no explotan completamente todas las correlaciones entre los MD.

45 Diversos esquemas de predicción basados en la similitud de detección para las redes de sensores inalámbricos se presentan en el documento de HEO TAEWOOK ET AL: “Adaptive dual prediction scheme based on sensing context similarity for wireless sensor networks”, CARTAS ELECTRONICAS, IEE STEVENAGE, GB, vol. 50, n.º 6, 13 de marzo de 2014, páginas 467-469, ZHIDAN LIU ET AL: “An energy-efficient data collection scheme for wireless sensor networks”, TECNOLOGÍA DE COMUNICACIÓN AVANZADA (ICACT), 2013 15ª CONFERENCIA INTERNACIONAL, IEEE, 27 de enero de 2013, páginas 60-65, DANIELA TULONE ET AL: “An energy-efficient querying framework in sensor networks for detecting node similarities”, PROCEDIMIENTOS DEL 9º SIMPOSIO INTERNACIONAL DE ACM SOBRE MODELADO DE ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS MÓVILES Y MÓVILES, MSWIM '06, 1 de enero de 2006, página 191, JUNPEI KAMIMURA ET AL: “Energy-Efficient Clustering Method for Data Gathering in Sensor Networks”, UNIVERSIDAD DE OSAKA, 10 de agosto de 2004, o QINGQUAN ZHANG ET AL: “Cooperative data reduction in wireless sensor network”, CONFERENCIA DE COMUNICACIONES MUNDIALES (GLOBECOM), IEEE 2012, IEEE, 3 de diciembre de 2012 (03-12-2012), páginas 628-633.

55 Por lo tanto, puede desearse mejorar el uso de las correlaciones de sensor en redes de sensores inalámbricos con el fin de disminuir las sobrecargas en los canales de comunicación entre los MD y los otros nodos de red.

Sumario

60 Esto se logra mediante métodos y aparatos de acuerdo con las reivindicaciones independientes.

65 Las realizaciones tienen por objetivo reducir las situaciones de sobrecarga en las redes inalámbricas reduciendo la cantidad de sensores activos y la cantidad de datos a transmitir. De hecho, un objetivo es reducir la redundancia en el despliegue de sensores inalámbricos y minimizar la cantidad efectiva de transmisiones. Esto puede lograrse a través de la explotación de algunas propiedades inherentes de las comunicaciones de tipo máquina. Otro objetivo es la prolongación de la duración de la batería de los sensores. Esto puede lograrse evitando la transmisión de enlace

ascendente redundante de los sensores.

De acuerdo con un primer aspecto de la presente divulgación, se proporciona un método para una red de sensores inalámbricos. La red de sensores inalámbricos comprende una pluralidad de nodos de sensor. Basándose en los valores de medición proporcionados por la pluralidad de nodos de sensor durante un período de formación, el método incluye determinar una pluralidad de grupos de nodos de sensor, en la que un grupo de nodos de sensor comprende una pluralidad de nodos de sensor que tienen unos valores de medición correlacionados. Opcionalmente, el método puede incluir además determinar, para los grupos de nodos de sensor, un modelo de predicción respectivo para predecir unos valores de medición futuros del grupo de nodos de sensor respectivo. El método incluye además recibir al menos un valor de medición actual de un grupo de nodos de sensor, si el valor de medición actual se desvía de un valor de medición previsto para el grupo de nodos de sensor en más que un umbral predeterminado.

En algunas realizaciones, el valor de medición actual no se proporciona a partir del grupo de nodos de sensor o un nodo de sensor representativo, si el valor de medición de la corriente se desvía de un valor de medida previsto para el grupo de nodos de sensor en menos que el umbral predeterminado.

En algunas realizaciones, se asignan diferentes nodos de sensor al mismo grupo de nodos de sensor si sus valores de medición respectivos caen dentro de un mismo intervalo de valores de medición de una pluralidad de posibles intervalos de valores de medición. Es decir, se asignan diferentes nodos de sensor al mismo grupo de nodos de sensor si sus respectivos valores de medición son o se comportan de manera similar en cierta medida. Por lo tanto, los valores de medición de los diferentes nodos de sensor no necesitan depender unos de otros, por ejemplo, debido a que los nodos de sensor están correlacionados espacialmente.

En algunas realizaciones, los diferentes nodos de sensor, que pueden estar localizados en lugares geográficamente diferentes y distantes, se asignan a un grupo de nodos de sensor independiente de sus respectivas localizaciones geográficas y/o aplicaciones. Por lo tanto, algunas realizaciones proponen un tipo de correlación entre los nodos de sensor, que también se conoce como "correlación semántica" en la secuela. La correlación semántica se refiere a la similitud de los valores detectados por los sensores en lugares geográficamente posiblemente distantes y que posiblemente tengan diferentes campos de aplicación. Por lo tanto, la correlación semántica es independiente de la localización conjunta espacial. Incluso los sensores lejanos o los sensores que infieren diferentes medidas físicas pueden producir o detectar valores que están correlacionados por alguna razón. Los sensores que detectan dichos valores semánticamente correlacionados pueden ponerse, por ejemplo, en el mismo grupo de nodos de sensor.

En algunas realizaciones, determinar el modelo de predicción para un grupo de nodos de sensor incluye proporcionar dicho modelo de predicción también a al menos un nodo de sensor de dicho grupo de nodos de sensor. De esta manera, un predictor de valor de medición puede ejecutarse en una entidad de red, tal como un gestor de aplicaciones de máquina (MAM) o una estación base mejorada de máquina (MEBS), así como en al menos un nodo de sensor que representa un grupo de nodos de sensor.

En algunas realizaciones, determinar un modelo de predicción incluye determinar un modelo de predicción autorregresivo (AR) para predecir los valores de medición correspondientes a un grupo de nodos de sensor.

En algunas realizaciones, el modelo de predicción predice una medición en el tiempo t de acuerdo con $P(t) = \eta + \alpha (v_{i-1} - \eta) + \beta (v_{i-2} - \eta) + \gamma (v_{i-3} - \eta)$, en la que $\alpha, \beta, \gamma \in \mathbb{R}$ son coeficientes específicos de grupo de nodos de sensor, y η indica un valor medio específico de grupo de nodos de sensor de los valores de medición del período de formación. Por lo tanto, el modelo de AR puede ser de orden 3 de acuerdo con algunas realizaciones.

En algunas realizaciones, se selecciona un nodo de sensor que representa el grupo de nodos de sensor para transmitir su valor de medición actual a un nodo de red antes de que el nodo de red reciba el al menos un valor de medición actual. Esto puede ser un medio eficaz para reducir el tráfico de datos en la red. Solo un nodo de sensor que representa su grupo completo de nodos de sensor asociado se comunica con la red.

En algunas realizaciones, seleccionar el nodo de sensor que representa el grupo de nodos de sensor incluye seleccionar, del grupo de nodos de sensor, el nodo de sensor que tiene la máxima energía disponible residual. En otras realizaciones, seleccionar el nodo de sensor que representa el grupo de nodos de sensor incluye seleccionar, del grupo de nodos de sensor, el nodo de sensor que experimenta el nivel de señal recibido más fuerte.

En algunas realizaciones, seleccionar el nodo de sensor que representa el grupo de nodos de sensor comprende poner los nodos de sensor restantes del grupo de nodos de sensor en modo de reposo. De nuevo, esto puede reducir el tráfico de datos y ahorrar energía de los nodos de sensor restantes. En algunas realizaciones, un nodo de sensor en modo de reposo realiza una medición después de un intervalo de tiempo predeterminado para verificar si su última medición cae dentro de un intervalo de valores de medición asociado al grupo de nodos de sensor. Para este fin, la medición puede comunicarse a un nodo de red asociado, por ejemplo, un gestor de aplicaciones de máquina (MAM) o una estación base mejorada de máquina (MEBS). A continuación, este nodo de red puede realizar

la verificación de si la medición aún cae dentro de un intervalo de valores de medición asociado al grupo de nodos de sensor actual.

5 En algunas realizaciones, un nodo de sensor está asignado a otro grupo de nodos de sensor asociado a un intervalo de valores de medición que cubre la última medición del nodo de sensor, si la última medición del nodo de sensor no cae dentro del intervalo de valores de medición asociado al grupo de nodos de sensor. De esta manera, pueden tenerse en cuenta los cambios relacionados con los nodos de sensor.

10 De acuerdo con un aspecto adicional de la presente divulgación, se proporciona un aparato para una red de sensores inalámbricos, comprendiendo la red de sensores inalámbricos una pluralidad de nodos de sensor. El aparato comprende una circuitería de procesamiento que está configurada para determinar, basándose en los valores de medición proporcionados por la pluralidad de los nodos de sensor durante un período de formación, una pluralidad de grupos de nodos de sensor, comprendiendo un grupo de nodos de sensor una pluralidad de nodos de sensor con unos valores de medición correlacionados. Opcionalmente, la circuitería de procesamiento puede configurarse además para determinar, para cada grupo de nodos de sensor, un modelo de predicción para predecir los valores de medición futuros del grupo de nodos de sensor. El aparato también comprende una circuitería de recepción que está configurada para recibir un valor de medición actual de un grupo de nodos de sensor o de un nodo de sensor representativo, si el valor de medición actual se desvía de un valor de medición previsto para el grupo de nodos de sensor en más que un umbral predeterminado.

20 De acuerdo con un aspecto adicional más de la presente divulgación, se proporciona un nodo de sensor inalámbrico que está configurado para medir una cantidad física y para proporcionar unos valores de medición de dicha cantidad física a un nodo de red. Además, el nodo de sensor inalámbrico está configurado para recibir, desde el nodo de red, un modelo de predicción o sus parámetros para predecir los valores de medición futuros del nodo de sensor inalámbrico.

25 De acuerdo con un aspecto adicional, la presente divulgación también proporciona una red de sensores inalámbricos que comprende un aparato para una red de sensores inalámbricos, por ejemplo una entidad gestor de aplicaciones de máquina (MAM) o una estación base, y una pluralidad de nodos de sensor inalámbrico de acuerdo con las realizaciones.

30 Algunas realizaciones comprenden una circuitería digital instalada dentro del aparato. Una circuitería de control digital de este tipo, por ejemplo, un procesador de señal digital (DSP), una matriz de puertas programables en campo (FPGA), un circuito integrado específico de aplicación (ASIC), o un procesador de fin general puede estar acoplado a la circuitería de memoria y necesita configurarse en consecuencia con el hardware y/o el software. Por lo tanto, de acuerdo con un aspecto adicional más de la presente divulgación, se proporciona un almacenamiento legible por máquina que incluye unas instrucciones legibles por máquina (por ejemplo, un programa informático), que cuando se ejecutan, implementan las realizaciones del método para una red de sensores inalámbricos.

35 Algunas realizaciones explotan la correlación entre los sensores basados en los valores que detectan de su respectivo medio ambiente. Esta correlación puede basarse en la proximidad geográfica (correlación espacial) de los nodos o también en otras razones. Sin embargo, no es necesario que la correlación se base en la proximidad espacial. La expresión "correlación semántica" se usa para referirse a la similitud de los valores detectados por los sensores en lugares posiblemente distantes geográficamente. Por lo tanto, una idea de las realizaciones es explotar una "correlación semántica" entre las lecturas de nodo de sensor inalámbrico con el fin de gestionar las transmisiones de los nodos. La correlación semántica es la correlación entre los valores de lectura de los nodos de sensor que están correlacionados, independientemente de si están geográficamente cerca o si miden el mismo objetivo (por ejemplo, temperatura o humedad).

40 Por lo tanto, de acuerdo con realizaciones, un MAM en la red o una estación base con capacidades de inspección de aplicaciones pueden inspeccionar los valores de lectura de los nodos de sensor (MDS) y deducir la correlación entre los mismos. Teniendo esta correlación, la red es capaz de gestionar la transmisión de los sensores optimizando la programación y/o definiendo los nodos maestros y esclavos.

45 De acuerdo con realizaciones, la red de sensores inalámbricos es independiente de las localizaciones de los sensores y su aplicación. Puede usarse cualquier algoritmo de aprendizaje para estimar las correlaciones y la red no requiere información previa ni en las implementaciones de sensor ni sobre la propia aplicación. Las correlaciones entre los MD pueden explotarse completamente minimizando aún más los intentos sin esfuerzo de transmisión redundante.

60 **Breve descripción de las figuras**

Algunas realizaciones de ejemplo de aparatos y/o métodos se describirán a continuación por medio de un ejemplo solamente, y haciendo referencia a las figuras adjuntas, en las que

65

la figura 1: ilustra una realización de una red de sensores inalámbricos;

la figura 2: muestra un diagrama de flujo de un método para una red de sensores inalámbricos de acuerdo con una realización; y

la figura 3: muestra un diagrama de bloques de un aparato para una red de sensores inalámbricos de acuerdo con una realización.

Descripción de realizaciones

A continuación, se describirán más completamente diversas realizaciones de ejemplo haciendo referencia a los dibujos adjuntos en los que se ilustran algunas realizaciones de ejemplo.

En consecuencia, aunque las realizaciones de ejemplo son capaces de diversas modificaciones y formas alternativas, las realizaciones de la misma se muestran a modo de ejemplo en los dibujos y se describirán en detalle en el presente documento. Sin embargo, debería entenderse que no hay intención de limitar las realizaciones de ejemplo a las formas específicas desveladas, sino que, por el contrario, las realizaciones de ejemplo deben cubrir todas las modificaciones, equivalentes y alternativas que caen dentro del alcance de las reivindicaciones. Los números similares se refieren a elementos similares a lo largo de la descripción de las figuras. Se entenderá que, aunque los términos primero, segundo, etc., pueden usarse en el presente documento para describir diversos elementos, estos elementos no deberían limitarse por estos términos. Estos términos solo se usan para distinguir un elemento de otro. Por ejemplo, un primer elemento podría denominarse un segundo elemento y, de manera similar, un segundo elemento podría denominarse un primer elemento, sin alejarse del alcance de las realizaciones de ejemplo. Como se usa en el presente documento, el término "y/o" incluye cualquiera y todas las combinaciones de uno o más de los elementos enumerados asociados.

Se entenderá que cuando se hace referencia a un elemento como que está "conectado" o "acoplado" a otro elemento, puede estar conectado o acoplado directamente al otro elemento o pueden estar presentes unos elementos intermedios. En contraste, cuando se hace referencia a un elemento como que está "directamente conectado" o "directamente acoplado" a otro elemento, no hay elementos intermedios presentes. Otras palabras usadas para describir la relación entre elementos deberían interpretarse de manera similar (por ejemplo, "entre" frente a "directamente entre", "adyacente" frente a "directamente adyacente", etc.).

La terminología usada en el presente documento es para el fin de describir solamente las realizaciones específicas y no se pretende que sea limitativa de las realizaciones de ejemplo. Tal como se usa en el presente documento, las formas singulares "un", "una" "el" y "la" pretenden incluir también las formas plurales, a menos que el contexto indique claramente lo contrario. Se entenderá además que los términos "comprende", "que comprende", "incluye" y/o "que incluye" cuando se usan en el presente documento, especifican la presencia de las características, números enteros, etapas, operaciones, elementos y/o componentes indicados, pero no excluyen la presencia o adición de otras una o más características, enteros, etapas, operaciones, elementos, componentes y/o grupos de los mismos.

Debería observarse también que en algunas implementaciones alternativas, las funciones/acciones observadas puede producirse fuera del orden observado en las figuras. Por ejemplo, dos figuras que se muestran en sucesión pueden, de hecho, ejecutarse de manera sustancialmente concurrente o, a veces, ejecutarse en el orden inverso, dependiendo de la funcionalidad/acciones involucradas.

A menos que se defina lo contrario, todos los términos (incluidos los términos técnicos y científicos) usados en el presente documento tienen el mismo significado que entiende comúnmente un experto en la materia a la que pertenecen las realizaciones de ejemplo. Se entenderá además que los términos, por ejemplo, aquellos definidos en los diccionarios comúnmente usados, deberían interpretarse como que tienen un significado que es consistente con su significado en el contexto de la técnica relevante y no se interpretarán en un sentido idealizado o demasiado formal a menos que se defina expresamente así en el presente documento.

Las partes de las realizaciones de ejemplo y una descripción detallada correspondiente se presentan en términos de software, o algoritmos y representaciones simbólicas de operaciones de bits de datos dentro de una memoria informática. Estas descripciones y representaciones son aquellas por las que los expertos en la materia transmiten efectivamente la sustancia de su trabajo a otros expertos en la materia. Un algoritmo, como se usa el término en este caso, y como se usa en general, se concibe como una secuencia autoconsistente de etapas que conducen a un resultado deseado. Las etapas son aquellas que requieren manipulaciones físicas de las cantidades físicas. Por lo general, aunque no necesariamente, estas cantidades toman la forma de señales ópticas, eléctricas o magnéticas que pueden almacenarse, transferirse, combinarse, compararse y manipularse de otra manera. En ocasiones se ha mostrado conveniente, principalmente por razones de uso común, referirse a estas señales como bits, valores, elementos, símbolos, caracteres, términos, números o similares.

En la siguiente descripción, las realizaciones ilustrativas se describirán haciendo referencia a acciones y representaciones simbólicas de las operaciones (por ejemplo, en la forma de diagramas de flujo) que pueden

implementarse como módulos de programa o procesos funcionales que incluyen rutinas, programas, objetivos, componentes, estructuras de datos, etc., que realizan tareas específicas o implementan tipos de datos abstractos específicos y pueden implementarse usando el hardware existente en los elementos de red o nodos de control existentes. Dicho hardware existente puede incluir una o más unidades de procesamiento central (CPU), procesadores de señal digital (DSP), circuitos integrados específicos de aplicación, matrices de puertas programables en campo (FPGA), ordenadores o similares.

A menos que se indique específicamente lo contrario, o como es aparente a partir de la exposición, términos tales como “procesamiento” o “computación” o “cálculo” o “determinación” o “visualización” o similares, se refieren a la acción y los procesos de un sistema informático, o dispositivo informático electrónico similar, que manipula y transforma los datos representados como cantidades físicas y electrónicas dentro de los registros y memorias del sistema informático en otros datos representados de manera similar como cantidades físicas dentro de las memorias o registros del sistema informático u otro almacenamiento de información, transmisión o dispositivos de visualización.

Como se desvela en el presente documento, las expresiones “medio de almacenamiento”, “unidad de almacenamiento” o “medio de almacenamiento legible por ordenador” pueden representar uno o más dispositivos para almacenar datos, incluyendo la memoria de solo lectura (ROM), la memoria de acceso aleatorio (RAM), una RAM magnética, una memoria de núcleo, medios de almacenamiento en disco magnético, medios de almacenamiento óptico, dispositivos de memoria flash y/u otros medios legibles por máquina tangibles para almacenar información. La expresión “medio legible por ordenador” puede incluir, pero no se limita a, dispositivos de almacenamiento fijo o portátil, dispositivos de almacenamiento óptico y diversos otros medios capaces de almacenar, contener o transportar instrucciones y/o datos.

Además, las realizaciones de ejemplo pueden implementarse mediante hardware, software, firmware, middleware, microcódigo, lenguajes de descripción de hardware, o cualquier combinación de los mismos. Cuando se implementa en software, firmware, middleware o microcódigo, el código de programa o los segmentos de código para realizar las tareas necesarias pueden almacenarse en un medio legible por ordenador o por máquina, tal como un medio de almacenamiento legible por ordenador. Cuando se implementa en el software, un procesador o procesadores realizarán las tareas necesarias.

Un segmento de código puede representar un procedimiento, función, subprograma, programa, rutina, subrutina, módulo, paquete de software, clase, o cualquier combinación de instrucciones, estructuras de datos o sentencias de programa. Un segmento de código puede acoplarse a otro segmento de código o a un circuito de hardware pasando y/o recibiendo información, datos, argumentos, parámetros o contenidos de memoria. La información, los argumentos, los parámetros, los datos, etc. pueden pasarse, reenviarse o transmitirse a través de cualquier medio adecuado, incluyendo la compartición de memoria, el paso de mensajes, el paso de testigo, la transmisión de red, etc.

Una realización de ejemplo de una red de sensores inalámbricos 10 se ilustra esquemáticamente en la **figura 1**.

La red de sensores inalámbricos 10 comprende una pluralidad de nodos de sensor inalámbrico 11-1 a 11-10, que pueden distribuirse en localizaciones geográficas distantes. En algunas realizaciones, los nodos de sensor inalámbrico 11- n ($n \in \mathbb{N}$) pueden estar limitados en potencia de cálculo y en las capacidades de detección y también pueden operar en un modo no supervisado. Un nodo de sensor inalámbrico 11- n puede entenderse como un convertidor que mide una cantidad física (por ejemplo, temperatura, presión, etc.) y la convierte en una señal que puede leerse por un observador o por un instrumento electrónico. Un nodo de sensor 11- n puede comprender una circuitería de transceptor móvil para comunicarse con una estación base 12 asociada. En algunas realizaciones, un nodo de sensor 11- n puede estar acoplado a un teléfono inteligente, un teléfono móvil, un equipo de usuario, un ordenador portátil, un ordenador portable, un ordenador personal, un asistente digital personal (PDA), una memoria extraíble de bus serie universal (USB), un automóvil, etc. Un transceptor móvil también puede denominarse como equipo de usuario (UE) o móvil en línea con la terminología 3GPP.

Un nodo de sensor inalámbrico 11- n puede servirse por o asociarse a una estación base respectiva 12, que está al alcance de la interfaz aérea del nodo de sensor. Una estación base 12 puede localizarse en la parte fija o estacionaria de la red 10. Una estación base 12 puede corresponder a un cabezal de radio remoto, un punto de transmisión, un punto de acceso, una macro célula, una célula pequeña, una micro célula una femto célula, una célula metropolitana, etc. Una estación base puede ser una interfaz inalámbrica de una red cableada, que permite la transmisión de señales de radio a un UE. Dicha señal de radio puede cumplir con señales de radio como, por ejemplo, las estandarizadas por 3GPP o, en general, en línea con uno o más de los sistemas enumerados anteriormente. Por lo tanto, un transceptor de estación base puede corresponder a un NodoB, un eNodoB, una estación de transceptor base (BTS), un punto de acceso, un cabezal de radio remoto, un punto de transmisión, etc., que pueden subdividirse en una unidad remota y una unidad central. Las estaciones base 12 pueden comunicarse entre sí o con otras entidades de la red por medio de una interfaz entre estaciones base, tal como, por ejemplo la interfaz X2.

En algunas realizaciones, una estación base 12 puede servir a sus nodos de sensor asociados 11-*n* en una determinada región geográfica, que también puede hacerse referencia como una célula. Por lo tanto, la red de sensores inalámbricos 10 puede implementarse como una red de células distribuida en áreas terrestres llamadas células, cada una servida por al menos un transceptor de localización fija, conocida como sitio de célula o estación base. El término célula se refiere a un área de cobertura de servicios de radio proporcionados por una estación base, por ejemplo, un NodoB (NB), un eNodoB (eNB), un cabezal de radio remoto, un punto de transmisión, etc. Una estación base puede operar una o más células en una o más capas de frecuencia, en algunas realizaciones, una célula puede corresponder a un sector. Por ejemplo, los sectores pueden lograrse usando antenas sectoriales, que proporcionan una característica para cubrir una sección angular alrededor de una unidad remota o un transceptor de estación base. En algunas realizaciones, una estación base puede, por ejemplo, operar tres o seis células que cubren sectores de 120° (en el caso de tres células), 60° (en el caso de seis células) respectivamente. Un transceptor de estación base puede operar múltiples antenas sectorizadas. A continuación, una célula puede representar un transceptor de estación base correspondiente que genera la célula o, de la misma manera, un transceptor de estación base puede representar una célula que genera el transceptor de estación base. Una célula se identifica mediante un identificador de célula único.

En general, la red de células puede, por ejemplo, corresponder a una de las redes de comunicaciones móviles estandarizadas del proyecto de asociación de tercera generación (3GPP), donde se usa el término red de células sinónimo de la red de comunicación móvil. La red de células puede corresponder, por ejemplo, a una evolución a largo plazo (LTE), a una LTE-Avanzada (LTE-A), a un acceso de paquetes de alta velocidad (HSPA), a un sistema de telecomunicación móvil universal (UMTS) o a una red de acceso de radio Terrestre UMTS (UTRAN), a una UTRAN evolucionada (e-UTRAN), un sistema global para comunicaciones móviles (GSM) o velocidades de datos mejoradas para la red de evolución GSM (EDGE), a una red de acceso de radio GSM/EDGE (GERAN), o a redes de comunicación móviles con diferentes estándares, por ejemplo, una red mundial de interoperabilidad para acceso de microondas (WiMAX) IEEE 802.16 o una red de área local inalámbrica (WLAN) IEEE 802.11, en general una red de acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal (OFDMA), una red de acceso múltiple por división de tiempo (TDMA), una red de acceso múltiple por división de código (CDMA), una red de CDMA de banda ancha (WCDMA), una red de acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA), una red de acceso múltiple por división espacial (SDMA) u otras redes móviles presentes y futuras.

Una distancia entre los diferentes nodos de sensor ilustrados esquemáticamente 11-*n* puede ser lo suficientemente grande que ninguna o al menos ninguna correlación espacial significativa entre los nodos de sensor o de sus lecturas pueda asumirse. Por ejemplo, los nodos de sensor indicados con los signos de referencia 11-2 y 11-6 en la figura 1 pueden asociarse a estaciones o células base 12 diferentes y distantes (lejanas), respectivamente. Lo mismo puede mantenerse, por ejemplo, para los nodos de sensor 11-1 y 11-7. Las diferentes células y, por lo tanto, los nodos de sensor, por ejemplo, 11-2 y 11-6, pueden estar separadas a decenas, cientos o miles de metros o incluso kilómetros de distancia entre sí, de tal manera que no haya una correlación espacial entre las mismas, aunque pertenezcan a la misma red de sensores inalámbricos 10. A pesar de las grandes distancias entre los nodos de sensor 11-*n*, sus lecturas pueden estar más o menos correlacionadas. Los entornos de los nodos de sensor 11-*n* diferentes y distantes y, por lo tanto, sus mediciones pueden estar correlacionados positiva o negativamente. Por ejemplo, considérese un caso de invernaderos donde diferentes invernaderos tienen diferentes tipos de plantas localizadas en los mismos y las plantas requieren diferentes temperaturas para sus condiciones de vida y crecimiento adecuados. Por lo tanto, dos invernaderos con ajustes de temperatura similares tendrán variaciones similares a pesar del hecho de que pueden estar geográficamente alejados.

La **figura 2** ilustra un diagrama de flujo de un procedimiento de ejemplo 20 para la red de sensores inalámbricos 10 que comprende la pluralidad de nodos de sensor 11-*n*. El método 20 se basa en los valores de medición proporcionados por la pluralidad de nodos de sensor 11-*n* durante un período de formación. Este período de formación puede ser un período de formación inicial para aprender los parámetros de modelo de un modelo de predicción.

Una acción 21 del método 20 incluye determinar una pluralidad de grupos de nodos de sensor (correlacionados). De este modo, un grupo de nodos de sensor correlacionados comprende una pluralidad de nodos de sensor que tienen valores de medición correlacionados. De acuerdo con las realizaciones, los valores de medición correlacionados pueden ser valores de medición semánticamente correlacionados, lo que significa que diferentes nodos de sensor de la pluralidad de nodos de sensor 11-*n* pueden asignarse a un grupo de nodos de sensor correlacionados independientemente de sus respectivas localizaciones geográficas y/o aplicaciones. En la figura 1, los nodos de sensor 11-1, 11-6 y 11-7 pueden haberse asignado al mismo grupo de nodos de sensor 14-1, por ejemplo, aunque pueden estar separados unos de otros. Opcionalmente, el método 20 puede incluir además una acción 22 para determinar, para cada uno de los grupos de nodos de sensor, un modelo de predicción respectivo para predecir los valores de medición futuros del grupo de nodos de sensor respectivo. Esto puede incluir determinar los parámetros de modelo para el modelo o proceso de predicción. De acuerdo con las realizaciones, el método 20 incluye además una acción 23 de recibir al menos un valor de medición actual de un grupo de nodos de sensor, si dicho valor de medición actual se desvía de un valor de medición previsto (por medio del modelo de predicción) para el grupo de nodos de sensor en más que un umbral predeterminado. Por ejemplo, el umbral predeterminado podría ser 5 %, 10 % o 20 % de un valor de medición previsto respectivo, dependiendo de los requisitos de precisión. Para decirlo de

otra manera, el valor de medición actual puede no proporcionarse por el grupo de nodos de sensor o un nodo de sensor que representa dicho grupo, si el valor de medición actual se desvía de un valor de medición previsto para el grupo de nodos de sensor en menos que el umbral predeterminado.

5 En algunas realizaciones, las acciones del método 20 pueden ejecutarse o realizarse por una entidad de red dedicada, tal como una entidad de gestor de aplicaciones de máquina (MAM) 13, o una estación base 12 con capacidades de inspección de aplicaciones. Por lo tanto, dicho MAM 13 o estación base 12 puede considerarse como una realización de ejemplo de un aparato para la red de sensores inalámbricos 10. En la **figura 3** se muestra un diagrama de bloques esquemático de un aparato 30 de este tipo.

10 De acuerdo con las realizaciones, el aparato 30 comprende una circuitería de procesamiento 31 configurada u operable para determinar, basándose en los valores de medición proporcionados por la pluralidad de nodos de sensor 11- n durante un período de formación, una pluralidad de grupos de nodos de sensor, comprendiendo un grupo de nodos de sensor una pluralidad de nodos de sensor con valores de medición correlacionados, por ejemplo, unos valores de medición semánticamente correlacionados. Opcionalmente, la circuitería de procesamiento 31 puede configurarse además para determinar, para cada grupo de nodos de sensor correlacionados, un modelo de predicción para predecir los valores de medición futuros del grupo de nodos de sensor. En algunas realizaciones, la circuitería de procesamiento 31 puede comprender una circuitería de filtro y/o una red neuronal para predecir los valores de medición futuros. Por lo tanto, determinar el modelo de predicción puede incluir determinar los coeficientes de filtro y/o los parámetros de red neuronal.

15 Además, el aparato 30 comprende una circuitería de recepción 32 que está configurada o puede operarse para recibir un valor de medición actual de un grupo de nodos de sensor o un nodo de sensor representativo del mismo. El valor de medición actual solo se transmite desde el grupo de nodos de sensor o el nodo de sensor representativo del mismo, si el valor de medición actual se desvía de un valor de medición previsto para el grupo de nodos de sensor en más que un umbral predeterminado. La circuitería de recepción 32, que puede estar acoplada a un dispositivo de antena, puede comprender componentes típicos de receptor y/o transmisor, tal como uno o más elementos del grupo de uno o más amplificadores de ruido bajo (LNA), uno o más amplificadores de potencia (PA), uno o más filtros o circuitería de filtro, uno o más diplexores, uno o más duplexores, uno o más convertidores de analógico a digital (A/D), uno o más convertidores de digital a analógico (D/A), uno o más moduladores o demoduladores, uno o más mezcladores, una o más antenas, etc.

20 La correlación espacial y temporal entre los datos de red de sensores ha sido un tema de especial interés para los investigadores de la comunicación de datos. Sin embargo, las realizaciones de ejemplo optan por examinar los datos de red de sensores desde una perspectiva diferente. En particular, las realizaciones de ejemplo intentan enfocarse en el problema de que los datos de red de sensores pueden estar relacionados entre sí, incluso si no están correlacionados espacialmente. Para decirlo de otra manera, incluso si dos redes de sensores (o partes de las mismas) no están localizadas una cerca de la otra, a menudo pueden medir fenómenos físicos iguales o similares con valores similares. Este tipo de correlación se conoce como correlación semántica. Por ejemplo, considérese el caso de los invernaderos donde diferentes invernaderos tienen diferentes tipos de plantas localizadas en los mismos y las plantas requieren diferentes temperaturas para sus condiciones de vida y un crecimiento adecuados. Por lo tanto, dos invernaderos con ajustes de temperatura similares tendrán variaciones similares a pesar del hecho de que pueden estar geográficamente alejados. En las realizaciones, los nodos de sensor correlacionados no necesitan estar geográficamente próximos unos de otros.

25 Ahora se describe un algoritmo o proceso de ejemplo para explotar la correlación semántica entre datos de red de sensores.

30 Supóngase que la red de sensores 10 de la figura 1 comprende n nodos de sensor 11- n . Los n nodos de sensor 11- n pueden detectar el mismo fenómeno físico o cantidad en un intervalo de $1 \dots q$. Por ejemplo, la cantidad física puede ser temperatura, presión, humedad, revolución (frecuencia de rotación), etc. El intervalo de valores de medición de $1 \dots q$ puede dividirse en p intervalos de valores de medición discretos o disjuntos $\mathbf{D} = \mathbf{d}_1, \mathbf{d}_2, \mathbf{d}_3, \dots, \mathbf{d}_p$.

35 El tiempo de vida de la red 10 puede dividirse en dos periodos de tiempo: un periodo de formación y un periodo de predicción. El período de formación puede durar los primeros intervalos de tiempo de formación $T_{\text{formación}}$ y después de este puede comenzar el período de predicción. Durante el período de formación, los sensores 11 pueden enviar sus lecturas o valores de medición a la entidad de red, tal como un MAM 13 o una estación base 12. Basándose en esto, la entidad de red puede generar un modelo de predicción y un conjunto de regiones correlacionadas semánticamente $\mathbf{R} = \mathbf{R}_1, \mathbf{R}_2, \mathbf{R}_3, \dots, \mathbf{R}_m$. Los nodos de sensor correlacionados semánticamente 11 pueden ponerse en una de las regiones correlacionadas en función de sus valores comparados con el conjunto de intervalos discretos \mathbf{D} . Puede usarse un valor umbral δ para la tolerancia mientras se comparan los valores de medición con los intervalos discretos $\mathbf{d}_1, \mathbf{d}_2, \mathbf{d}_3, \dots, \mathbf{d}_p$. En otras palabras, diferentes nodos de sensor 11 pueden asignarse al mismo grupo de nodos de sensor correlacionados $\mathbf{R}_1, \mathbf{R}_2, \mathbf{R}_3, \dots, \mathbf{R}_m$ del conjunto \mathbf{R} , si sus respectivos valores de medición enviados caen dentro de un mismo intervalo de valores de medición $\mathbf{d}_1, \mathbf{d}_2, \mathbf{d}_3, \dots, \mathbf{d}_p$ del conjunto de intervalos \mathbf{D} . Obsérvese que, en las realizaciones, los diferentes nodos de sensor 11 pueden asignarse a un grupo de nodos de sensor $\mathbf{R}_1, \mathbf{R}_2, \mathbf{R}_3, \dots, \mathbf{R}_m$ independientemente de sus respectivas localizaciones geográficas. En cambio, la

correlación semántica de las lecturas respectivas puede ser decisiva para la asociación de los nodos de sensor 11 a los respectivos grupos de nodos de sensor $R_1, R_2, R_3, \dots, R_m$. Nuevamente, la correlación semántica indica una medida de cuánto están vinculados entre sí los *valores de medición* de los diferentes nodos de sensor.

5 En una región correlacionada o grupo de nodos de sensor $R_1, R_2, R_3, \dots, R_m$, el nodo de sensor de dicho grupo o región que tiene la máxima energía residual puede estar activo y puede actuar como un nodo representativo de ese grupo de nodos de sensor. Este nodo representativo puede transmitir sus lecturas en nombre de todo el grupo de nodos de sensor. Las lecturas del nodo representativo pueden recibirse por la entidad de red en la acción 23 del método 20, si dichas lecturas se desvían de los valores o lecturas de medición previstas para el grupo de nodos de sensor representado por el nodo representativo en más que un umbral predeterminado.

10 Antes de transmitir y recibir el al menos un valor de medición actual (acto 23), un nodo de sensor que representa el grupo de nodos de sensor $R_1, R_2, R_3, \dots, R_m$ puede seleccionarse para transmitir su valor de medición actual al nodo de red, tal como el MAM 13 o una estación base 12, en nombre de su grupo de nodos de sensor correlacionados. En algunas realizaciones, seleccionar el nodo de sensor que representa a su grupo de nodos de sensor $R_1, R_2, R_3, \dots, R_m$ puede comprender seleccionar, del grupo de nodos de sensor respectivo, el nodo de sensor que tiene la máxima energía residual disponible. Por ejemplo, la energía residual puede depender de la condición de carga de una batería. Alternativa o adicionalmente, seleccionar el nodo de sensor que representa su grupo de nodos de sensor $R_1, R_2, R_3, \dots, R_m$ puede comprender seleccionar, del grupo de nodos de sensor respectivo, el nodo de sensor que experimenta el nivel de señal recibido más fuerte desde su estación base asociada. Esto puede indicar que el nodo de sensor experimenta buenas condiciones de canal de comunicación. Por lo tanto, la comunicación del nodo con la red 10 puede ser más confiable y/o más conservadora de energía.

15 Otros sensores de una región correlacionada o grupo de nodos de sensor $R_1, R_2, R_3, \dots, R_m$ pueden ponerse, mientras tanto, en el modo de reposo ya que no necesitan transmitir. Es decir, seleccionar el nodo de sensor que representa el grupo de nodos de sensor también puede incluir poner los nodos de sensor restantes del grupo de nodos de sensor respectivo en el modo de reposo. De este modo, la expresión “modo de reposo” puede referirse a un modo de baja potencia para un nodo de sensor inalámbrico 11 que no actúa como el nodo representativo. En algunas realizaciones, el nodo representativo de un grupo puede no necesitar transmitir nada, si el valor de medición previsto por el modelo de predicción respectivo del grupo se encuentra dentro de un margen de error predefinido ϵ .

20 Después de la duración de tiempo predefinido $T_{completo}$ un nodo de sensor 11 siguiente que tiene la energía residual más alta y/o que experimenta el nivel de señal recibida más fuerte puede seleccionarse como un nodo representativo siguiente del grupo o región correlacionado. Esto puede ser ventajoso para evitar que el mismo nodo de sensor (representativo) agote su energía. Los nodos de sensor 11 en modo de reposo pueden detectar su entorno o cantidad física cada unidad de tiempo T_{reposo} (por ejemplo, segundos, horas, días, etc.) para asegurarse de que el valor de medición actual sigue siendo válido para la región correlacionada $R_1, R_2, R_3, \dots, R_m$ a la que pertenecen. En otras palabras, un nodo de sensor en modo de reposo puede realizar una medición después de un intervalo de tiempo predeterminado para verificar si su última medición aún cae dentro de un intervalo de valores de medición asociado a su grupo de nodos de sensor. Si el valor de medición aún satisface la región correlacionada o el intervalo asociado $d_1, d_2, d_3, \dots, d_p$, entonces el nodo de sensor puede ponerse en reposo durante otras unidades de tiempo T_{reposo} . De lo contrario, el nodo de sensor respectivo puede encontrar una región correlacionada adecuada que coincida con el intervalo discreto correspondiente en el conjunto de intervalos discretos D . Por lo tanto, si la última medición del nodo de sensor no cae dentro del intervalo de valores de medición $d_1, d_2, d_3, \dots, d_p$ asociado al grupo de nodos de sensor $R_1, R_2, R_3, \dots, R_m$, el nodo de sensor puede asignarse a otro grupo de nodos de sensor asociado a un intervalo de valores de medición que cubra la última medición del nodo de sensor. Esta asignación puede realizarse, por ejemplo, por el MAM 13 o una estación base 12.

25 Obsérvese que la información sobre qué nodo de sensor estará transmitiendo y cuál se pone en reposo puede transmitirse, por ejemplo, a través de un canal de control de enlace descendente.

El proceso de ejemplo propuesto para explotar la correlación semántica entre los nodos de sensor se resume en el algoritmo 1 a continuación:

Algoritmo 1 Correlación semántica de explotación

- 1: Divide los valores esperados de las lecturas de sensor en un conjunto de p intervalos discretos $D = d_1, d_2, d_3, \dots, d_p$.
 - 2: Inicialmente, todos los n nodos de sensor $S = s_1, s_2, s_3, \dots, s_n$ enviarán sus lecturas a la estación base durante un período de tiempo de formación de $T_{formación}$.
 - 3: Basándose en esto, la estación base generará un modelo de predicción usando `ComputePredictionModel()` y un conjunto de regiones correlacionadas semánticamente $R = R_1, R_2, R_3, \dots, R_m$ en función de un umbral δ en comparación con el conjunto de intervalos discretos D . En este caso, $m \leq p$.
-

55

(continuación)

Algoritmo 1 Correlación semántica de explotación

- 4: En una región correlacionada, un nodo de sensor que tenga la señal recibida más fuerte (RSS) desde la estación base (BS) puede estar activo y transmitir en nombre de la región. Este nodo también se llama nodo *representativo*. Otros sensores en la región pueden pasar al modo de reposo. El nodo *representativo* puede elegir no transmitir nada si el valor previsto se encuentra dentro del margen de error ε .
- 5: Después de una duración de tiempo predefinido T_{completo} , se seleccionará como el nodo *representativo* el siguiente nodo que tenga el RSS más alto o con la mayor energía residual. Esto es para evitar que el *nodo representativo* agote su energía.
- 6: Los nodos en el modo de reposo detectan el entorno después de cada duración de T_{reposo} para asegurarse de que el modelo de predicción aún refleje con precisión el escenario. Si es *Sí*, pasa a reposo durante otro tiempo T_{reposo} . De lo contrario, encuentra un intervalo apropiado en \mathbf{D} y pertenece a una nueva región correlacionada.
- 7:

Algoritmo 2 ComputePredictionModel()

- 1: V es una cola vacía donde se mantendrán N datos de formación durante el período de tiempo $T_{\text{formación}}$. Así, $V \leftarrow 0$.
- 2: for $i = 1$ to n do
- 3: Leer v_i y poner v_i en la cola V .
- 4: end for
- 5: Esperar durante T_{ruido} unidades de tiempo.
- 6: $(\alpha, \beta, \gamma) \leftarrow \text{computeCoefficients}()$.
- 7: $b(t_{\text{ruido}}) \leftarrow \text{computeVariance}()$.

5 Las realizaciones permiten el ahorro de energía basándose en predecir los valores de medición futuros de los sensores 11. Por lo tanto, todos los sensores en la misma región correlacionada no necesitan enviar información a la estación base y la energía gastada en la comunicación con la estación base puede ahorrarse. Algunas realizaciones pueden basarse en un modelo de predicción que se usa por la entidad de red (por ejemplo, el MAM 13 o una estación base 12) y también el nodo de sensor representativo. Es decir, determinar el modelo de predicción para un grupo de nodos de sensor puede comprender proporcionar dicho modelo de predicción o sus parámetros también al menos a un nodo de sensor 11 de dicho grupo de nodos de sensor, por ejemplo al nodo de sensor representativo. El nodo de sensor representativo puede configurarse para medir una cantidad física y para proporcionar valores de medición de dicha cantidad física a un nodo de red (por ejemplo, el MAM 13 o una estación base 12). El nodo de sensor representativo puede configurarse para recibir, desde el nodo de red (durante o después del período de formación), el modelo de predicción o sus parámetros para predecir los valores de medición futuros del nodo de sensor inalámbrico. El nodo de sensor representativo puede configurarse para comparar sus valores de medición reales con los valores de medición previstos (durante el período de predicción). El nodo de sensor representativo puede configurarse para transmitir su valor de medición actual al nodo de red, solo si dicho valor de medición actual se desvía de un valor de medición previsto (por medio del modelo de predicción) en más que un umbral predeterminado.

25 Obsérvese que en las realizaciones, en principio, cualquier predicción o algoritmo de aprendizaje pueden usarse para deducir la correlación entre las diferentes lecturas de nodo de sensor. Por ejemplo, el modelo de predicción puede ser un modelo de predicción lineal. La predicción lineal es una operación matemática donde se estiman los valores futuros de una señal de tiempo discreta como una función lineal de muestras anteriores, en este caso los valores de medición. En algunas realizaciones, el modelo de predicción puede ser un modelo autorregresivo (AR) que es una representación de un tipo de proceso aleatorio. Como tal, puede describir ciertos procesos que varían con el tiempo en la naturaleza, la economía, etc. El modelo autorregresivo especifica que la variable de salida depende linealmente de sus propios valores anteriores. Un modelo AR puede verse como la salida de un filtro de respuesta de impulsos infinitos de todos los polos cuya entrada es ruido blanco. Es un caso especial del modelo más general de media móvil de regresión automática (ARMA) de series temporales.

35 Un modelo de predicción de ejemplo puede requerir un período de tiempo $T_{\text{formación}}$ para la formación. Sin embargo, una ventana de predicción puede mantenerse muy pequeña para ignorar las tendencias y los componentes estacionales. Una serie de tiempo se descompone, en general, en un componente de tendencia que crece lentamente a medida que avanza el tiempo, un componente estacional con cierta periodicidad y un componente estacionario. Sin embargo, los dos primeros componentes aumentan la complejidad del aprendizaje y predicen el modelo en gran medida. Por lo tanto, las realizaciones proponen ignorar los dos primeros componentes manteniendo la ventana de predicción pequeña, por ejemplo, solo a tres. Una realización de ejemplo implementa un modelo autorregresivo AR(p) con una ventana de predicción $p = 3$. Para ser más específico, puede darse una predicción en el tiempo $t > t-1$ de acuerdo con $P(t) = \eta + \alpha (v_{i-1} - \eta) + \beta (v_{i-2} - \eta) + \gamma (v_{i-3} - \eta)$. En este caso, $\alpha, \beta, \gamma \in \mathbb{R}$ y η indica una media no cero de los valores de medición de formación. También se calcula la desviación estándar del ruido blanco en la forma de $b(T_{\text{ruido}})$. Estos cinco parámetros describen de manera única el

modelo AR(3) para un conjunto dado de datos de medición de aprendizaje $v_1, v_2, v_3, \dots, v_n$. Los parámetros calculados pueden usarse por el nodo de red (por ejemplo, el MAM 13 o una estación base 12) y por un nodo de sensor representativo respectivo para predecir los valores de mediciones futuras.

5 La función *computeCoefficients()* del algoritmo 2 mencionado anteriormente puede calcular los coeficientes α, β, γ , por ejemplo mediante una técnica de regresión de mínimos cuadrados. También calcula el valor de η . Después de calcular estos cuatro valores, el algoritmo 2 calcula la varianza después de T_{ruido} unidades de tiempo invocando la función *computeVariance()*. Esto puede realizarse calculando el error de predicción $e_i = P_i - v_i$ para $i = 1, 2, \dots, N$ y también la media de los errores de predicción \bar{e} . Por lo tanto, la varianza puede calcularse como,

10 $b(T_{ruido}) = (\sum_{i=1}^N (e_i - \bar{e})^2 / N - 1)^{-1/2}$. Sin embargo, en este algoritmo de ejemplo no se ha usado la varianza para ningún cálculo posterior. Obsérvese de nuevo que, en otras realizaciones, puede usarse principalmente cualquier algoritmo de predicción o aprendizaje para deducir la correlación entre las diferentes lecturas de nodo de sensor.

15 Las realizaciones permiten explotar de manera eficaz las correlaciones entre las máquinas en una red con el fin de ahorrar intentos de transmisión. Esto puede resultar en un soporte de más dispositivos por célula y reduce el consumo de energía de los dispositivos. Las realizaciones son independientes de la localización y aplicación de las máquinas. Además, las realizaciones pueden explotarse completamente y el tipo de correlación entre sensores.

20 La descripción y los dibujos ilustran simplemente los principios de la invención. Además, todos los ejemplos que se citan en el presente documento están destinados principalmente a fines pedagógicos para ayudar al lector a comprender los principios de la invención y los conceptos aportados por el y los inventores para fomentar la técnica, y deben interpretarse como sin limitación a tales ejemplos y condiciones específicamente mencionadas.

25 Los bloques funcionales se entenderán como bloques funcionales que comprenden una circuitería que está adaptada para realizar una función determinada, respectivamente. Por lo tanto, un "módulo o entidad para algo" también puede entenderse como un "módulo o entidad que se adapta o es adecuado para algo". Por lo tanto, un módulo o entidad que se adapta para realizar una determinada función no implica que tales medios estén necesariamente realizando dicha función (en un momento dado).

30 Las funciones de los diversos elementos mostrados en las figuras, incluyendo los bloques funcionales, pueden proporcionarse a través del uso de hardware dedicado, tal como "un procesador", "un controlador", etc., así como hardware capaz de ejecutar software en asociación con el software adecuado. Además, cualquier entidad descrita en el presente documento como un bloque funcional, puede corresponder o implementarse como "uno o más módulos", "uno o más dispositivos", "una o más unidades", etc. Cuando las proporciona un procesador, las funciones pueden proporcionarse por un solo procesador dedicado, por un solo procesador compartido o por una pluralidad de procesadores individuales, algunos de los cuales pueden compartirse. Por otra parte, el uso explícito del término "procesador" o "controlador" no debe interpretarse como una referencia exclusiva al hardware capaz de ejecutar un software, y puede incluir implícitamente, sin limitación, hardware de un procesador de señal digital (DSP), un procesador de red, un circuito integrado específico de aplicación (ASIC), una matriz de puertas programables en campo (FPGA), una memoria de solo lectura (ROM) para almacenar software, una memoria de acceso aleatorio (RAM) y un almacenamiento no volátil. También puede incluirse otro hardware, convencional y/o personalizado.

45 Además debe observarse que los métodos desvelados en la memoria descriptiva o en las reivindicaciones pueden implementarse por un dispositivo que tenga medios para realizar cada una de las etapas respectivas de estos métodos.

50 Además, debe entenderse que la divulgación de las múltiples etapas o funciones desveladas en la memoria descriptiva o en las reivindicaciones no debe interpretarse como que está dentro del orden específico. Por lo tanto, la divulgación de las múltiples etapas o funciones no las limitará a un orden específico a menos que dichas etapas o funciones no sean intercambiables por razones técnicas. Además, en algunas realizaciones, una sola etapa puede incluir o puede dividirse en diversas etapas secundarias. Dichas etapas secundarias pueden incluirse y formar parte de la divulgación de esta única etapa a menos que se excluya explícitamente.

REIVINDICACIONES

1. Método (20) realizado por un nodo central (12, 13) de una red de sensores inalámbricos (10) que comprende una pluralidad de nodos de sensor (11), comprendiendo el método:

5 basándose en los valores de medición proporcionados por la pluralidad de nodos de sensor (11) durante un período de formación,
determinar (21) una pluralidad de grupos de nodos de sensor (14), comprendiendo un grupo de nodos de sensor una pluralidad de nodos de sensor que tienen valores de medición correlacionados, en donde se asignan
10 diferentes nodos de sensor (11) al mismo grupo de nodos de sensor (14) independientemente de sus localizaciones geográficas y/o aplicaciones respectivas, si sus valores de medición respectivos caen dentro de un mismo intervalo de valores de medición;
determinar (22), para los grupos de nodos de sensor (14), un modelo de predicción respectivo para predecir los valores de medición futuros del grupo de nodos de sensor respectivo (14) y proporcionar el modelo de predicción
15 respectivo a un nodo de sensor (11) del grupo de nodos de sensor respectivo; y
recibir (23) al menos un valor de medición actual de un grupo de nodos de sensor (14), si el valor de medición actual se desvía de un valor de medición previsto para el grupo de nodos de sensor (14) en más que un umbral predeterminado,
20 en donde el valor de medición actual no se proporciona desde el grupo de nodos de sensor (14), si el valor de medición actual se desvía de un valor de medición previsto para el grupo de nodos de sensor en menos que el umbral predeterminado.

2. El método (20) de la reivindicación 1, en el que determinar (22) un modelo de predicción comprende determinar un modelo de predicción autorregresivo.

25 3. El método (20) de la reivindicación 1, en el que el modelo de predicción $P^{(t)}$ predice una medición en el tiempo t de acuerdo con

$$P(t) = \eta + \alpha (v_{i-1} - \eta) + \beta (v_{i-2} - \eta) + \gamma (v_{i-3} - \eta),$$

30 en la que $\alpha, \beta, \gamma \in \mathbb{R}$ son unos coeficientes específicos de grupo de nodos de sensor, v_i son datos de medición de aprendizaje y η indica un valor medio específico de grupo de nodos de sensor de los valores de medición del período de formación.

4. El método (20) de la reivindicación 1, en el que antes de recibir el al menos un valor de medición actual, se selecciona un nodo de sensor (11) que representa el grupo de nodos de sensor (14) para transmitir su valor de medición actual a un nodo de red (12; 13).

5. El método (20) de la reivindicación 4, en el que seleccionar el nodo de sensor (11) que representa el grupo de nodos de sensor comprende seleccionar, del grupo de nodos de sensor, el nodo de sensor que tiene la máxima energía residual disponible.

40 6. El método (20) de la reivindicación 4, en el que seleccionar el nodo de sensor (11) que representa el grupo de nodos de sensor (14) comprende seleccionar, del grupo de nodos de sensor, el nodo de sensor que experimenta el nivel de señal recibido más fuerte.

45 7. El método (20) de la reivindicación 4, en el que seleccionar el nodo de sensor (11) que representa el grupo de nodos de sensor (14) comprende poner los nodos de sensor restantes del grupo de nodos de sensor en modo de reposo.

50 8. El método (20) de la reivindicación 7, en el que un nodo de sensor (11) en modo de reposo realiza una medición después de un intervalo de tiempo predeterminado para verificar si su última medición cae dentro de un intervalo de valores de medición asociado al grupo de nodos de sensor (14).

9. El método (20) de la reivindicación 8, que comprende:
si la última medición del nodo de sensor no cae dentro del intervalo de valores de medición asociado al grupo de nodos de sensor (14), asignar el nodo de sensor (11) a otro grupo de nodos de sensor asociado a un intervalo de valores de medición que cubra la última medición del nodo de sensor.

60 10. Nodo central (12; 13; 30) para una red de sensores inalámbricos (10), comprendiendo la red de sensores inalámbricos una pluralidad de nodos de sensor (11), comprendiendo el nodo central una circuitería de procesamiento (31) configurada para
determinar, basándose en los valores de medición proporcionados por la pluralidad de nodos de sensor (11) durante un período de formación, una pluralidad de grupos de nodos de sensor (14), comprendiendo un grupo de nodos de sensor (14) una pluralidad de nodos de sensor con valores de medición correlacionados, en donde se asignan

- diferentes nodos de sensor (11) al mismo grupo de nodos de sensor (14) independientemente de sus localizaciones geográficas y/o aplicaciones respectivas, si sus valores de medición respectivos caen dentro de un mismo intervalo de valores de medición;
- 5 determinar (22), para los grupos de nodos de sensor (14), un modelo de predicción respectivo para predecir valores de medición futuros del grupo de nodos de sensor respectivo (14);
- proporcionar el modelo de predicción respectivo a un nodo de sensor (11) del grupo de nodos de sensor respectivo;
- y
- 10 una circuitería de recepción (32) configurada para recibir un valor de medición actual de un grupo de nodos de sensor (14), si el valor de medición actual se desvía de un valor de medición previsto para el grupo de nodos de sensor (14) en más que un umbral predeterminado, en donde el valor de medición actual no se recibe del grupo de nodos de sensor (14), si el valor de medición actual se desvía de un valor de medición previsto para el grupo de nodos de sensor en menos que el umbral predeterminado.

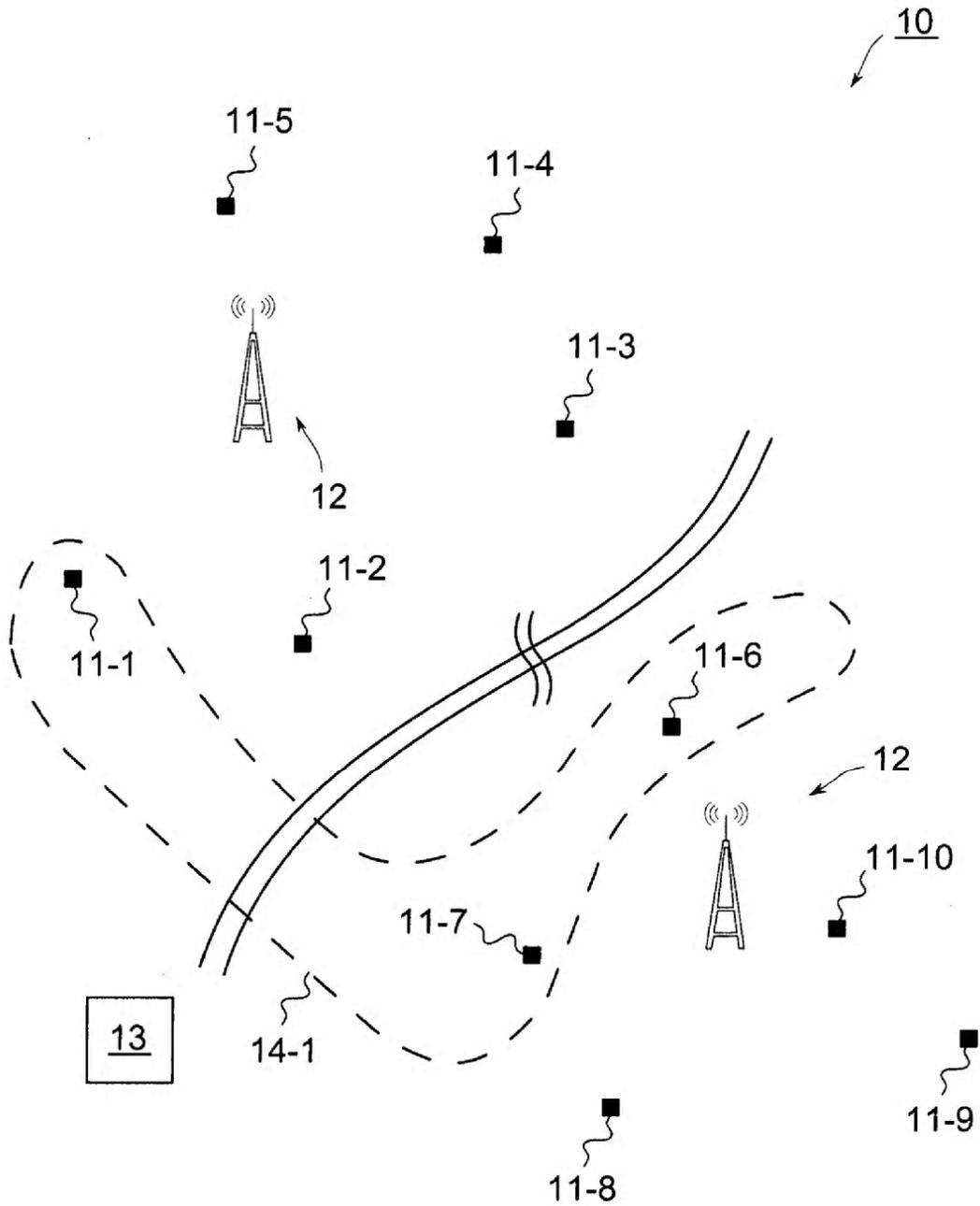


Fig. 1

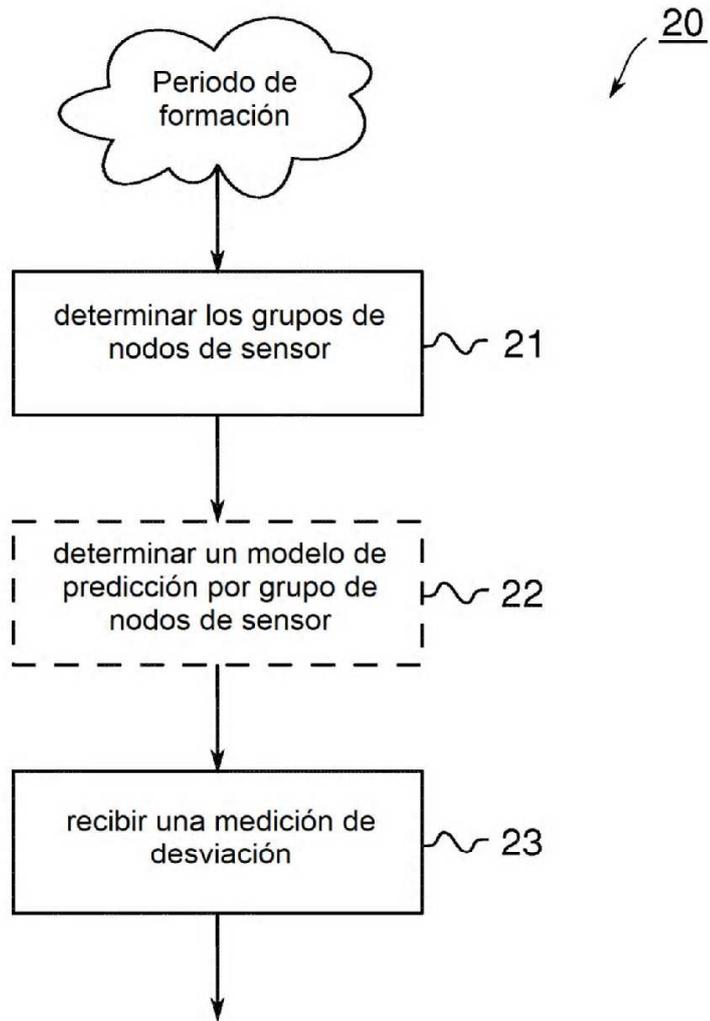


Fig. 2

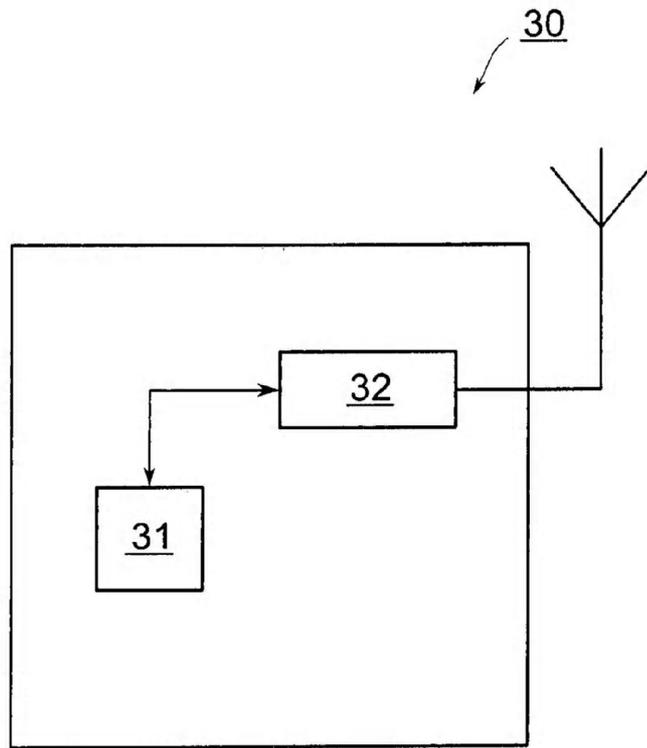


Fig. 3