



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) **CH 721 093 A2**

Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-lichtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

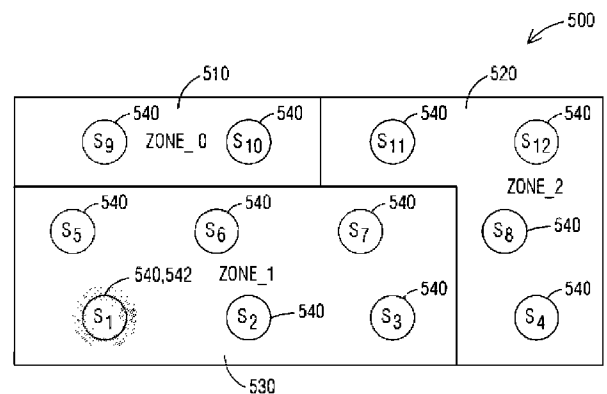
(51) Int. Cl.: **H04W 84/18** (2009.01)
H04W 4/02 (2018.01)
H04W 4/38 (2018.01)
H04L 12/28 (2006.01)
H04B 17/31 (2015.01)

(12) **PATENTANMELDUNG**

(21) Anmeldenummer:	000906/2024	(71) Anmelder:	Building Robotics, Inc., 3979 Freedom Circle, Suite #210 95054 Santa Clara, California (US)
(22) Anmeldedatum:	29.08.2024	(72) Erfinder:	Jun Gao, 95070 Saratoga, CA (US) Mustafa Mohamad, N2A 0K1 Kitchener, Ontario (CA) Mohammadali Khazen, M5A 3W7 Toronto, Ontario (CA)
(43) Anmeldung veröffentlicht:	14.03.2025	(74) Vertreter:	BOVARD AG, Patent- und Markenanwälte Optingenstrasse 16 3013 Bern (CH)
(30) Priorität:	30.08.2023 US 18/458,411		

(54) **System und Verfahren zur Überwachung eines Sensornetzwerk**

(57) Die Erfindung betrifft ein System und ein Verfahren zur Überwachung eines Sensornetzwerks. Das System umfasst mehrere Sensoren (540) und ein vorgeschaltetes Gerät, und die Sensoren (540) sind abwechselnd als sendende (542) und empfangende Sensoren gepaart. Die Sensoren (540) sammeln Signalstärkedaten für jedes Sensorpaar, die den von den Sensoren (540) gesendeten und empfangenen Signalen entsprechen. Die vorgelagerte Vorrichtung erzeugt einen aggregierten Fingerabdruck auf der Grundlage der Signalstärkedaten, erzeugt einen Zonen-Fingerabdruck für jede Zone (510, 520, 530) auf der Grundlage des aggregierten Fingerabdrucks und bestimmt eine kabellose Kommunikationsleistung des Sensornetzwerks auf der Grundlage der Zonen-Fingerabdrücke. Der aggregierte Fingerabdruck enthält einen Signalstärkewert für jedes Sensorpaar. Jeder Zonen-Fingerabdruck enthält den Signalstärkewert für jedes Sensorpaar der entsprechenden Zone (510, 520, 530). Eine Sensornetzkonfiguration wird für eine oder mehrere Zonen (510, 520, 530) auf der Grundlage der kabellosen Kommunikationsleistung des Sensornetzwerks geändert.



Beschreibung

Technischer Bereich der Erfindung

[0001] Diese Anwendung bezieht sich auf den Bereich der Verfolgungssysteme für Ressourcen eines Betriebs, sogenannte Asset-Tracking-Systeme, und insbesondere auf ein Sensorüberwachungssystem einer Gruppe von Hochfrequenz (RF)-Sensoren für das Asset-Tracking.

Stand der Technik

[0002] Gebäudemanagementsysteme umfassen eine Vielzahl von Geräten, die bei der Überwachung und Steuerung des Gebäudebetriebs helfen. Gebäudemanagementsysteme umfassen häufig ein oder mehrere Teilsysteme zur Umgebungs-kontrolle, z. B. Sicherheits-, Brandschutz-, Beleuchtungssowie Heizungs-, Lüftungs- und Klimatisierungssysteme (HVAC). Die Systeme können auch nicht-umweltbezogene Kontrollfunktionen für die Verwaltung oder die Bewohner eines Gebäudes bieten, wie z. B. die Verfolgung des Standorts eines Asset (einschließlich der Bewohner) innerhalb eines des Gebäudes.

[0003] Sensorüberwachungssysteme können Sensoren umfassen, die überall in einem Gebäude angebracht sind, um Aktivitäten in oder am Gebäude zu erkennen, wie z. B. die Erkennung der Belegung und die Verfolgung von Assets. Leider können diese Sensoren unsachgemäß installiert werden, ungenau dokumentiert werden oder anderweitig nicht gemäß den Spezifikationen funktionieren. So kann ein Techniker beispielsweise einen Sensor unsachgemäß installieren, die Standorte von zwei oder mehr Sensoren vertauschen oder einen Boden- oder Deckenplan, der die Sensorstandorte widerspiegeln soll, falsch beschriften. Die Sensoren können auch nicht präzise genug sein, da verschiedene Strukturen unterschiedliche Objekte und Bedingungen aufweisen können. Sensoren können mit der Zeit falsch ausgerichtet werden oder anderweitig nicht mehr richtig funktionieren. Nach der Installation oder wenn Probleme festgestellt werden, wird ein Techniker vor Ort geschickt, um visuelle Beobachtungen und manuelle Arbeiten durchzuführen, um Probleme zu identifizieren und zu beheben. Solche Versuche können zeitaufwändig und kostspielig sein und zu mittelmäßigen oder sogar fehlerhaften Ergebnissen führen. Die Erkennung von defekten Sensoren oder von Bedingungen, die außerhalb der Spezifikation liegen, stellt aufgrund der statistischen Natur von Sensorüberwachungssystemen ebenfalls eine Herausforderung dar. Die Leistung eines Systems könnte sich im Laufe der Zeit verschlechtern, falls eine kleine Anzahl von Sensoren nicht optimal arbeitet, ohne dass dies erkannt wird.

Zusammenfassung der Erfindung

[0004] Gemäß mindestens einer Ausführungsform der Offenlegung wird ein Sensorüberwachungssystem für die Verfolgung von Ressourcen eines Betriebs (Asset-Tracking-System) bereitgestellt.

[0005] Ein Aspekt ist ein System zur Überwachung eines Sensornetzwerks, das mehrere Sensoren und ein vorgeschaltetes Gerät umfasst, das mit den Sensoren kommuniziert. Sensorpaare der Sensoren umfassen einen Sender und einen Empfänger für jedes Sensorpaar. Jeder Sensor der mehreren Sensoren wird der Reihe nach als Sender zugewiesen. Die Sensoren sammeln Signalstärkedaten, die den von jedem Sender gesendeten und von jedem Empfänger empfangenen Signalen entsprechen für jedes Sensorpaar. Das vorgeschaltete Gerät erzeugt einen Gesamtfingerabdruck auf der Grundlage der Signalstärkedaten und einen Zonenfingerabdruck für jede Zone mehrerer Zonen auf der Grundlage des Gesamtfingerabdrucks und bestimmt eine Leistung einer kabellosen Kommunikation des Sensornetzwerks auf der Grundlage der Zonenfingerabdrücke der Zonen. Jeder Zonen-Fingerabdruck enthält den Signalstärkewert für jedes Paar aus Sender und Empfänger der entsprechenden Zone. Eine Sensornetzwerkconfiguration wird für eine oder mehrere Zonen auf der Grundlage der Leistung einer kabellosen Kommunikation des Sensornetzwerks verändert.

[0006] Ein System zur Überwachung eines Sensornetzwerks kann Informationen für ein Gebäudemanagementsystem oder andere Managementdienste, wie z. B. ein Umweltkontrollsystem einer Einrichtung, bereitstellen, um die Dienste solcher Systeme für Gebäudeeigentümer, Manager, Techniker und Bewohner zu verbessern. Zum Beispiel kann das System die Umgebungsbedingungen zumindest teilweise auf der Grundlage der Standorte von Kennzeichnungen, sogenannten Tags, verwalten, wie z. B. die Bedingungen, die ein Bewohner oder ein anderes mit einem Tag verbundenes Asset erlebt. Das Sensorüberwachungssystem umfasst eine Infrastruktur, z. B. Sensoren, einen Sensor-Hub, Gateways, um die Standorte eines oder mehrerer Tags innerhalb einer Struktur, z. B. eines Innenraums oder eines definierten Bereichs einer Einrichtung, zu bestimmen. Die Struktur kann verschiedene abgetrennte oder bezeichnete Bereiche der Struktur umfassen, wie z. B. Etagen, Räume, Flure oder definierte Freiflächen, die der Struktur zugewiesen sind. Jeder Bereich der Struktur kann Geräte der Infrastruktur enthalten, wie z. B. mehrere Sensoren.

[0007] Ein vorgeschaltetes Gerät, wie z. B. ein Sensor-Hub, kann mit einigen oder allen Sensoren innerhalb eines Bereichs der Einrichtung zusammen liegen, oder das vorgeschaltete Gerät kann von den Sensoren und/oder der Einrichtung entfernt angeordnet sein. Beispielsweise kann sich das vorgeschaltete Gerät in der Cloud befinden und direkt oder indirekt, zumindest teilweise über das Internet oder ein anderes Kommunikationsnetzwerk, mit den Sensoren kommunizieren. Das vorgeschaltete Gerät kommuniziert direkt oder indirekt mit den Sensoren, und die Verbindung zwischen dem vorgeschalteten Gerät und den Sensoren kann kabelgebundene, kabellose oder beide Verbindungen umfassen. Das Sensorüberwachungssystem kann kabelgebundene oder kabellose Gateways enthalten, die zwischen den Sensoren in der Anlage

positioniert sind und als Kommunikationstransponder zwischen dem vorgeschalteten Gerät und den Sensoren dienen können. Wie die Sensoren und das vorgeschaltete Gerät können auch die Gateways Daten verarbeiten, um die in dieser Offenlegung beschriebenen Techniken anzuwenden.

[0008] Die Sensoren der Infrastruktur können an festen Standorten in einem Gebiet positioniert oder gleichmäßig über ein Gebiet oder selektiv in ungleichmäßiger Weise verteilt sein, wie es für die Erkennung von Tags vorteilhafter ist. Die Sensoren sind so konfiguriert, dass sie Signale erkennen, die von einer oder mehreren Quellen gesendet werden, die mit den Positionen der Assets verbunden sind. Beispielsweise können Bewohner eines Gebäudes Tags zur Erkennung durch die Sensoren bei sich tragen, unter anderem, um die Verfolgung der Geräte der Infrastruktur zu erleichtern. Jedes Tag kann jede Art von transportablem Gerät sein, das zur kabellosen Kommunikation mit den Sensoren der Einrichtung in der Lage ist. Beispiele für Tags sind unter anderem Anhänger, Wearables, kabellose Kommunikationsgeräte, Tablets, tragbare Computergeräte und jede andere Art von transportablen Geräten, die einen Schaltkreis zur Übertragung eines Signals enthalten.

[0009] Die Sensoren des Systems sind in der Lage, über kabellose Kommunikation, wie z. B. Hochfrequenzsignale (RF), miteinander zu kommunizieren. Beispiele für kabellose Kommunikation sind unter anderem Bluetooth (einschließlich BLE), Ultrabreitband (UWB), Wi-Fi (einschließlich Wi-Fi Direct), Mobilfunk, Satellit, Mesh-Netzwerke, PAN, WPAN, WAN, Zigbee, Nahfeldkommunikation und andere Arten der Funkkommunikation und ihre Varianten. Für jeden gegebenen Sensor des Systems kann ein Sender an einem Senderstandort innerhalb der Struktur positioniert werden, und ein oder mehrere proximale Empfänger können an Empfängerstandorten innerhalb der Struktur proximal neben dem Sender positioniert werden. Ein oder mehrere distale Empfänger können an Empfängerstandorten innerhalb der Struktur proximal weiter entfernt vom Sender positioniert werden, wobei ein oder mehrere proximale Empfänger zumindest teilweise zwischen dem Sender und dem/den distalen Empfängern oder anderweitig näher am Sender relativ zu dem/den distalen Empfängern liegen. Jeder Sensor und sein Standort befinden sich innerhalb des Empfangsbereichs der kabellosen Signale, die von einem oder mehreren der anderen Sensoren gesendet werden. Alle Sensoren des Systems können Sender und/oder Empfänger sein, auch wenn ein bestimmter Sensor als Sender oder erster Sensor und bestimmte Sensoren als Empfänger oder zweite Sensoren beschrieben werden.

[0010] Für das Sensorüberwachungssystem kann der Sender ein oder mehrere kabellose Signale senden, die von einem oder mehreren Sensoren, z. B. den proximalen Empfängern, den distalen Empfängern oder beiden, erfasst oder empfangen werden können. Die empfangenden Sensoren, wie z. B. die proximalen oder distalen Empfänger, können ein gemessenes Funksignal („Funksignal“) und seinen entsprechenden Wert auf der Grundlage der empfangenen Funksignale bestimmen. Das gemessene Funksignal kann beispielsweise ein Empfangssignalstärkeindikator (Received Signal Strength Indicator, RSSI) oder ein gleichwertiger Wert sein, wenn ein Signal übertragen wird, oder statistische Merkmale, die auf mehreren, vom Sender empfangenen, Signalen basieren. Außerdem können ein erwartetes kabelloses Signal oder erwartete statistische Merkmale auf der Grundlage des Standorts des Senders und des Standorts des proximalen und/oder distalen Empfängers (d. h. des Standorts des Empfängers) bestimmt werden oder dem/den Empfängern, einem dem/den Empfängern vorgeschalteten Gerät (d. h. einem vorgeschalteten Gerät) oder beiden bekannt sein. So kann beispielsweise der Abstand zwischen dem Sender und dem Empfänger anhand des Standorts dieser Sensoren bestimmt werden. Der Abstand kann mit dem erwarteten Funksignal (RSSI usw.) oder den erwarteten statistischen Merkmalen korreliert werden. Die Standorte eines bestimmten Sensorpaares entsprechen einem erwarteten Funksignal dieser Sensoren. Beispiele für das vorgeschaltete Gerät sind unter anderem ein Sensor-Hub oder ein Gateway.

[0011] Statistische Merkmale, die auf vom Empfänger erfassten oder empfangenen oder anderweitig vom System gemessenen Signalen basieren, gelten als erfasste statistische Merkmale, und die vom System bestimmten statistischen Merkmale gelten als erwartete statistische Merkmale. Die erfassten und die erwarteten statistischen Merkmale unterscheiden sich dadurch, dass die erwarteten statistischen Merkmale unabhängig von den erfassten kabellosen Signalen bestimmt werden, die am zweiten Sensor vom ersten Sensor erfasst oder empfangen werden. Die Verfahren zur Bestimmung jedes erwarteten statistischen Merkmals können auf einem bekannten Abstand zwischen dem ersten und dem zweiten Standort, einem dem ersten und dem zweiten Sensor zugeordneten Grundriss oder einer dem ersten und dem zweiten Sensor zugeordneten vorbestimmten Nachschlagetabelle (Lookup-Tabelle) basieren, sind aber nicht darauf beschränkt.

[0012] In einer Ausführungsform der Erfindung bestimmt jeder Empfänger aus der Vielzahl der Empfängern den Signalstärkewert, einen Signalstärkesummenwert und einen Signalstärkequadratwert des empfangenen Signals. Dabei dienen die statistische Merkmale der Charakterisierung der Verteilung der empfangenen Funksignale. Empfangene statistische Merkmale und erwartete statistische Merkmale umfassen primäre statistische Merkmale und abgeleitete statistische Merkmale. Zu den primären statistischen Merkmalen gehören unter anderem die Anzahl der empfangenen kabellosen Signale, die Summe der empfangenen kabellosen Signale, die quadrierte Summe der empfangenen kabellosen Signale und eine Kombination der empfangenen Signale aus den kabellosen Signalen. Empfangene oder andere statistische Merkmale können an einem Empfänger oder zweiten Sensor, einem Gateway, dem Sensor-Hub, in der Cloud oder einer Kombination dieser Einheiten bestimmt werden.

[0013] In einer anderen Ausführungsform berechnet das vorgeschaltete Gerät ein Mittelwertmerkmal, ein Standardabweichungsmerkmal und ein Empfangsratenmerkmal für jedes Paar aus Sender und Empfänger auf der Grundlage der Signalstärkewerte der kabellosen Kommunikationsdaten, wobei die Empfangsrate auf der Grundlage einer Anzahl von Signalen berechnet wird, die zwischen dem entsprechenden Paar aus Sender und Empfänger übertragen werden.

[0014] Zu den abgeleiteten statistischen Merkmalen gehören unter anderem Mittelwert, Standardabweichung, Modus, Median, Minimal- und Maximalwert des empfangenen Funksignals. Die abgeleiteten statistischen Merkmale können aus den primären statistischen Merkmalen abgeleitet oder berechnet werden. Bei einigen Ausführungsformen kann die Unterteilung in primäre und abgeleitete statistische Merkmale als künstlich angesehen werden, um vor allem die Bandbreite zu verringern. So können beispielsweise primäre statistische Merkmale an einem oder mehreren Sensoren berechnet und an ein vorgeschaltetes Gerät übertragen werden, und abgeleitete statistische Merkmale können auf der Grundlage der primären statistischen Merkmale berechnet werden, um die statistische Verteilung der Funksignale zu beschreiben. Sind Bedenken hinsichtlich der Bandbreite minimal, können die empfangenen kabellosen Signale von mehreren Sensoren an das/die vorgelagerte(n) Gerät(e) übertragen werden, so dass die gesamte oder ein erheblicher Teil der statistischen Analyse am vorgeschalteten Gerät durchgeführt werden kann.

[0015] Empfangene kabellose Signale oder ein auf den empfangenen kabellosen Signalen basierendes Signal können dem vorgelagerten Gerät (z. B. dem Sensor-Hub und/oder Gateway) zur Verfügung gestellt werden, um das oder die primäre(n) und/oder abgeleitete(n) statistische(n) Merkmal(e) zu bestimmen. Beispielsweise können primäre statistische Merkmale an einem empfangenden Sensor bestimmt werden und abgeleitete statistische Merkmale können an dem vorgeschalteten Gerät bestimmt werden.

[0016] Vorzugsweise filtert das vorgelagerte Gerät das Mittelwertmerkmal und das Standardabweichungsmerkmal auf der Grundlage des Empfangsratenmerkmals. Die Aufteilung und Koordinierung von statistischen Merkmalen kann genutzt werden, um den Netzwerkverkehr zu minimieren und die Wahrscheinlichkeit von Übertragungsfehlern zu verringern.

[0017] In einer weiteren bevorzugten Art und Weise, weist das vorgeschaltete Gerät einem bestimmten Mittelwertmerkmal oder Standardabweichungsmerkmal einen Nullwert zu, der darauf beruht, dass das entsprechende Empfangsratenmerkmal unter einem Schwellenwert liegt.

[0018] In einer weiteren Ausführungsform bestimmt das vorgeschaltete Gerät einen Abstand zwischen jedem Zonenpaar aus der Vielzahl der Zonen, und die Sensornetzkonfiguration wird abhängig davon, dass der Abstand zwischen einem bestimmten Zonenpaar einen Abstandsschwellenwert nicht erreicht, geändert.

[0019] In einer vorteilhaften Weise vergleicht das vorgeschaltete Gerät eine erste Leistung des Sensornetzwerks, die mit einer Einsatzperiode verbunden ist, mit einer zweiten Leistung des Sensornetzwerks, die mit einer Wartungsperiode verbunden ist, und die Sensornetzwerkkonfiguration wird abhängig davon, dass eine Differenz zwischen der ersten und der zweiten Leistung einen Leistungsschwellenwert überschreitet, geändert.

[0020] Das vorgeschaltete Gerät kann ein Hindernis zwischen den Sensoren erkennen, wie z. B. ein bauliches Objekt, ein bewegliches Objekt oder ein lebendes Objekt. Beispiele für ein strukturelles Objekt sind eine Wand, eine Trennwand oder ein Überhang; Beispiele für ein bewegliches Objekt sind Möbel, Geräte oder persönliche Gegenstände; und Beispiele für lebende Objekte sind Menschen, Käfer und andere Tiere. Bei einer weiteren Ausführungsform können die vorgeschalteten Geräte oder andere feststellen, dass ein oder mehrere Sensoren in der Umgebung nicht richtig funktionieren, nicht kalibriert sind oder anderweitig abnormale Signale senden oder empfangen. Diese Sensoren müssen zurückgesetzt, neu kalibriert, gewartet oder ersetzt werden, um die Integrität des Systems zu erhalten.

[0021] Das Sensorüberwachungssystem kann Hindernisse innerhalb der Struktur identifizieren, wie z. B. die oben beschriebenen strukturellen Objekte, beweglichen Objekte und lebenden Objekte. Durch die Feststellung, dass eine Differenz zwischen dem gemessenen Funksignal und dem erwarteten Funksignal und/oder ihren entsprechenden Werten einen vorbestimmten Schwellenwert überschreitet, kann das vorgeschaltete Gerät feststellen, dass ein Hindernis zwischen dem Sender und dem Empfänger (wie dem proximalen Empfänger oder dem distalen Empfänger) besteht. Zum Beispiel kann ein erstes Hindernis zwischen dem Sender und dem Empfänger bestehen, ein zweites Hindernis kann sich zwischen dem Sender und dem Empfänger befinden und die Signalwertdifferenz kann das/die Hindernis(se) anzeigen, und die vorgelagerte Einrichtung kann die entsprechende Reaktion ergreifen.

[0022] Das Sensorüberwachungssystem kann ein oder mehrere Hindernisse innerhalb des Bauwerks erwarten, insbesondere wenn dies durch einen Boden- oder Deckenplan angezeigt wird. Durch Feststellung, dass eine Differenz zwischen dem gemessenen Funksignal und dem erwarteten Funksignal einen vorbestimmten Schwellenwert überschreitet, kann das vorgeschaltete Gerät feststellen, dass es widersprüchlich ist, dass das Hindernis zwischen dem Sender und dem Empfänger (wie dem proximalen Empfänger oder dem distalen Empfänger) in einer Situation existiert, in der das Hindernis existieren sollte.

[0023] Ebenso vorteilhaft ist es, wenn das vorgeschaltete Gerät eine erste Leistung des Sensornetzwerks, die mit einer Errichtungsperiode verbunden ist, mit einer zweiten Leistung des Sensornetzwerks, die mit einer Wartungsperiode verbunden ist, vergleicht und ein Analyseprozessor, der die Leistung einer kabellosen Kommunikation des Sensornetzwerks bestimmt, aktualisiert wird.

[0024] Ein Sensor kann Signalunterschiede zwischen dem gemessenen Funksignal und dem erwarteten Funksignal, wie oben erläutert, aufweisen, die Schwellenwerte überschreiten oder anderweitig als abnormal eingestuft werden, wenn mehrere Sensoren senden, während der Sensor empfängt. Dies kann anzeigen, dass die Empfangsfähigkeit des Sensors im Vergleich zur Spezifikation abnormal ist. Wenn ein Sensor sendet, können andere Sensoren Signalunterschiede aufweisen, die Schwellenwerte überschreiten oder anderweitig als abnormal eingestuft werden. Dieses Verhalten kann

anzeigen, dass die Sendefähigkeit abnormal ist. In diesen Fällen können die vorgeschalteten Geräte ebenfalls geeignete Maßnahmen ergreifen.

[0025] In einer anderen Ausführungsform erzeugt das vorgeschaltete Gerät einen Sensor-Fingerabdruck für jeden Sensor der Vielzahl von Sensoren auf der Grundlage des Aggregatfingerabdrucks und/oder des Zonenfingerabdrucks.

[0026] Vorteilhafterweise bestimmt das vorgeschaltete Gerät, ob sich eine Empfangscharakteristik von mindestens einem Sensor der Vielzahl von Sensoren basierend auf der Vielzahl von Sensor-Fingerabdrücken geändert hat, und die Sensor-netzkonfiguration wird, abhängig davon ob für die eine oder mehrere Zonen der Vielzahl von Zonen der Abstand zwischen einem bestimmten Paar von Sensoren einen Abstandsschwellenwert nicht erfüllt, geändert.

[0027] Ein weiterer Aspekt ist ein Verfahren zur Überwachung eines Sensornetzwerks. Es werden Signalstärkedaten für Sensorpaare aus mehreren Sensoren gesammelt. Jedes Sensorpaar besteht aus einem Sender und einem Empfänger. Jeder Sensor wird der Reihe nach als Sender zugewiesen. Die Signalstärkedaten für jedes Sensorpaar entsprechen den Signalen, die von jedem Sender gesendet und von jedem Empfänger empfangen werden. Auf der Grundlage der Signalstärkedaten wird von einem weiteren Gerät, das mit den Sensoren kommuniziert, ein aggregierter Fingerabdruck erstellt. Für jede Zone mehrerer Zonen wird auf der Grundlage des Gesamtfingerabdrucks ein Zonen-Fingerabdruck erstellt. Jeder Zonen-Fingerabdruck enthält den Signalstärkewert für jedes Paar aus Sender und Empfänger der entsprechenden Zone. Die Leistung einer kabellosen Kommunikation des Sensornetzwerks wird auf der Grundlage der Zonen-Fingerabdrücke der Zonen bestimmt. Basierend auf der Leistung einer kabellosen Kommunikation des Sensornetzwerks wird eine Sensornetzwerkkonfiguration für eine oder mehrere Zonen geändert.

[0028] Gemäß einer Ausführungsform umfasst das Verfahren zur Überwachung eines Sensornetzwerks ferner die Bestimmung des Signalstärkewerts, eines Signalstärkesummenwerts und eines Signalstärkequadratwerts des empfangenen Signals.

[0029] Gemäß einer anderen Ausführungsform umfasst die Erzeugung des Gesamtfingerabdrucks die Berechnung eines Mittelwertmerkmals, eines Standardabweichungsmerkmals und eines Empfangsratenmerkmals für jedes Paar aus Sender und Empfänger auf der Grundlage der Signalstärkewerte der kabellosen Kommunikationsdaten, wobei die Empfangsrate auf der Grundlage einer Anzahl von Signalen berechnet wird, die zwischen dem entsprechenden Paar aus Sender und Empfänger übertragen werden.

[0030] Der Gesamtfingerabdruck kann durch Berechnung eines Mittelwertmerkmals, eines Standardabweichungsmerkmals und eines Empfangsratenmerkmals für jedes Paar aus Sender und Empfänger auf der Grundlage der Signalstärkewerte der kabellosen Kommunikationsdaten erzeugt werden. Das Mittelwertmerkmal, das Standardabweichungsmerkmal und das Empfangsratenmerkmal für jedes Sensorpaar können auf der Grundlage des RSSI-Summenwerts, des RSSI-Quadratsummenwerts und des RSSI-Zählwerts bestimmt werden. Die Empfangsrate wird anhand der Anzahl der Signalen berechnet, die zwischen dem entsprechenden Paar aus Sender und Empfänger übertragen werden. Die Empfangsrate kann berechnet werden, indem der RSSI-Zählwert durch eine MAX_NUM_TX geteilt wird, die die konstante Anzahl von Signalen ist, die jeder Sender aussendet.

[0031] Zonen-Fingerabdrücke können erzeugt werden, indem der Gesamtfingerabdruck entsprechend der Sensorposition relativ zu den Zonengrenzen aufgeteilt wird. In einer Variante enthält jeder Zonen-Fingerabdruck die Signalstärkedaten jedes Paares aus Sender und Empfänger, die sich innerhalb der Zone befinden. In einer anderen Variante enthält jeder Zonen-Fingerabdruck die Signalstärkedaten von Sendern, die sich innerhalb der Zone befinden und von allen anderen Sensoren empfangen werden. In einer weiteren Variante enthält jeder Zonen-Fingerabdruck die Signalstärkedaten der innerhalb der Zone befindlichen Empfänger. Die Zonen-Fingerabdrücke werden für jedes der drei statistischen Merkmale aufgeteilt, nämlich Mittelwertmerkmal, Standardabweichungsmerkmal und Empfangsratenmerkmal.

[0032] In einer bevorzugten Weise beinhaltet die Erzeugung des Zonen-Fingerabdrucks das Filtern des Mittelwertmerkmals und des Standardabweichungsmerkmals auf der Grundlage des Empfangsratenmerkmals.

[0033] In einer ebenfalls bevorzugten Weise beinhaltet das Filtern des Mittelwertmerkmals und des Standardabweichungsmerkmals die Zuweisung eines Nullwerts zu einem bestimmten Mittelwertmerkmal oder Standardabweichungsmerkmal auf der Grundlage des entsprechenden Empfangsratenmerkmals, insofern dieses unter einem Schwellenwert liegt. Beispielsweise können das Mittelwertmerkmal und das Standardabweichungsmerkmal gefiltert werden, indem einem bestimmten Mittelwertmerkmal oder Standardabweichungsmerkmal ein Nullwert zugewiesen wird, der darauf beruht, dass das entsprechende Empfangsratenmerkmal unter einem Schwellenwert liegt. Das Empfangsratenmerkmal kann verwendet werden, um eine Filterung der Merkmale Mittelwert und Standardabweichung durchzuführen. Wenn die Empfangsrate für einen Eintrag unter einem bestimmten Schwellenwert liegt, können die Daten als statistisch unbedeutend betrachtet und ihnen ein Nullwert zugeordnet werden.

[0034] In einer Ausführungsform umfasst das Verfahren zum Überwachen eines Sensornetzwerks das Bestimmen der Leistung einer kabellosen Kommunikation des Sensornetzwerks beinhaltet die Bestimmung eines Abstands zwischen jedem Paar von Zonen der Vielzahl von Zonen, und das Ändern der Sensornetzwerkkonfiguration für eine oder mehrere Zonen der Vielzahl von Zonen beinhaltet die Änderung einer Sensornetzwerkkonfiguration abhängig davon, dass der Abstand zwischen einem bestimmten Paar von Zonen einen Abstandsschwellenwert nicht erfüllt.

[0035] In einer weiteren Ausführungsform umfasst das Verfahren zum Überwachen eines Sensornetzwerks das Bestimmen der Leistung einer kabellosen Kommunikation des Sensornetzwerks, einschließlich des Vergleichens einer ersten Leistung des Sensornetzwerks, die mit einer Errichtungsperiode verbunden ist, mit einer zweiten Leistung des Sensornetzwerks, die mit einer Wartungsperiode verbunden ist, und das Ändern der Sensornetzwerkconfiguration für eine oder mehrere Zonen der Vielzahl von Zonen, beinhaltet das Ändern einer Sensornetzwerkconfiguration abhängig davon, dass ein Unterschied zwischen der ersten und der zweiten Leistung eine Leistungsschwelle überschreitet.

[0036] In vorteilhafter Weise umfasst die Leistung einer kabellosen Kommunikation des Sensornetzwerks den Vergleich einer ersten Leistung des Sensornetzwerks, die mit einer Einsatzperiode verbunden ist, mit einer zweiten Leistung des Sensornetzwerks, die mit einer Wartungsperiode verbunden ist, und die Sensornetzwerkconfiguration für eine oder mehrere Zonen der Vielzahl von Zonen umfasst die Aktualisierung eines Analyseprozessors, der bestimmt, dass die Leistung einer kabellosen Kommunikation des Sensornetzwerks geändert wird. Dabei kann die Leistung einer kabellosen Kommunikation des Sensornetzwerks durch den Vergleich einer ersten Leistung des Sensornetzwerks, die mit einer Einsatzperiode verbunden ist, mit einer zweiten Leistung des Sensornetzwerks, die mit einer Wartungsperiode verbunden ist, bestimmt werden. Bei einigen Ausführungsformen kann die Sensornetzwerkconfiguration für eine oder mehrere Zonen geändert werden, indem eine Sensornetzwerkconfiguration abhängig davon, dass eine Differenz zwischen der ersten und der zweiten Leistung einen Leistungsschwellenwert überschreitet, geändert wird. Bei einigen Ausführungsformen kann die Sensornetzwerkconfiguration für eine oder mehrere Zonen durch Aktualisieren eines Analyseprozessors geändert werden, der die Leistung einer kabellosen Kommunikation des Sensornetzwerks bestimmt.

[0037] Eine weitere Ausführungsform des Verfahrens zur Überwachung eines Sensornetzwerks umfasst die Erzeugung eines Sensor-Fingerabdrucks für jeden Sensor der Vielzahl von Sensoren auf der Grundlage des Aggregat-Fingerabdrucks und/oder des Zonen-Fingerabdrucks. Das Verfahren kann einen Sensor-Fingerabdruck für jeden Sensor auf der Grundlage des Aggregat-Fingerabdrucks oder des Zonen-Fingerabdrucks erzeugen. Beispielsweise kann das Verfahren auf der Grundlage der Sensor-Fingerabdrücke feststellen, ob sich eine Empfangscharakteristik von mindestens einem Sensor geändert hat. Die Sensornetzwerkconfiguration für die eine oder mehrere Zonen kann geändert werden, indem die Sensornetzwerkconfiguration für die Zonen iabhängig davon geändert wird, dass der Abstand zwischen einem bestimmten Paar von Sensoren einen Abstandsschwellenwert nicht erreicht. Der Gesamtfingerabdruck erfasst die Eigenschaften, wie ein bestimmter Sensor Signale von anderen Sensoren im Netzwerk empfängt.

[0038] Eine weitere Ausführungsform des Verfahrens zum Überwachen eines Sensornetzwerks umfasst die Bestimmung, ob sich eine Empfangscharakteristik von mindestens einem Sensor der Vielzahl von Sensoren auf der Grundlage der Vielzahl von Sensor-Fingerabdrücken geändert hat, wobei das Ändern der Sensornetzwerkconfiguration für die eine oder mehrere Zonen der Vielzahl von Zonen das Ändern der Sensornetzwerkconfiguration für die eine oder mehrere Zonen der Vielzahl von Zonen abhängig davon, dass der Abstand zwischen einem bestimmten Paar von Sensoren einen Abstandsschwellenwert nicht erfüllt, umfasst.

[0039] Beispielsweise kann das Verfahren feststellen, ob sich eine Empfangseigenschaft von mindestens einem Sensor auf der Grundlage der Sensor-Fingerabdrücke geändert hat. Die Sensornetzwerkconfiguration für die eine oder mehrere Zonen kann geändert werden, indem die Sensornetzwerkconfiguration für die Zonen abhängig davon geändert wird, dass der Abstand zwischen einem bestimmten Paar von Sensoren einen Abstandsschwellenwert nicht erreicht. Der Gesamtfingerabdruck erfasst die Eigenschaften, wie ein bestimmter Sensor Signale von anderen Sensoren im Netzwerk empfängt.

[0040] Der Sensor-Fingerabdruck kann im Laufe der Zeit mit sich selbst oder mit anderen Sensoren verglichen werden. Durch die Bestimmung des Unterschieds zwischen dem Sensor-Fingerabdruck eines Sensors zum Zeitpunkt der Installation und seinem Sensor-Fingerabdruck zum Zeitpunkt der Wartung kann das System feststellen, ob sich die Empfangseigenschaften des Sensors geändert haben. Eine signifikante Änderung kann auf eine Verschlechterung der Sensorleistung oder eine Änderung der Sensorumgebung/des Standortes hinweisen. Das System kann eine Ähnlichkeit zwischen jedem Sensorpaar bei einem Basisereignis (baseline event) und dem Zustand des Netzwerks bei einem nachfolgenden Ereignis aufzeichnen, um die Konsistenz des Netzwerks zu messen. Das System kann auch einzelne Sensoren beobachten und die Ähnlichkeit ihrer Fingerabdrücke mit denen aller anderen Sensoren überprüfen, um besondere Sensoren zu identifizieren.

[0041] Die oben beschriebenen Merkmale und Vorteile und andere werden für den Fachmann anhand der folgenden detaillierten Beschreibung und der beigefügten Zeichnungen leichter erkennbar. Obwohl es wünschenswert wäre, eines oder mehrere dieser oder anderer vorteilhafter Merkmale bereitzustellen, erstrecken sich die hier offengelegten Lehren auf diejenigen Ausführungsformen, die in den Anwendungsbereich der beigefügten Ansprüche fallen, unabhängig davon, ob sie einen oder mehrere der oben genannten Vorteile erreichen.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

[0042] Zum besseren Verständnis der vorliegenden Offenbarung und ihrer Vorteile wird nun auf die folgenden Beschreibungen in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen verwiesen, in denen gleiche Nummern gleiche Objekte bezeichnen.

Figur 1 ist eine Übersicht eines Sensornetzwerk-Überwachungssystem (sensor network monitoring, SNM) in einer Beispielimplementierung, die zur Anwendung der hier beschriebenen Techniken geeignet ist.

Figur 2 ist ein Blockdiagramm von Beispielpunkten eines Sensors aus Figur 1.

Figur 3 ist ein Blockdiagramm von Beispielpunkten eines vorgeschalteten Geräts aus Figur 1.

Figur 4 ist ein Flussdiagramm eines Produktionsvorgangs in einer Beispielimplementierung des SNM-Systems von Figur 1.

FIGs. 5A und 5B zeigen Beispielgrundrisse, die den Datenerfassungsvorgang von Figur 4 veranschaulichen.

Figur 6 ist eine Darstellung einer beispielhaften Datensatzerstellung für den Datenerfassungsvorgang von Figur 4.

FIGs. 7A, 7B und 7C sind Darstellungen von Beispielen zonenspezifischer Fingerabdruckdaten durch den Datenerfassungsvorgang von Figur 4.

Figur 8 ist eine Darstellung eines Leistungsüberwachungsvorgangs, bei dem Fingerabdruckdaten zwischen zwei verschiedenen Zeiträumen verglichen werden, z. B. bei der Bereitstellung und nach der Bereitstellung.

Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung

[0043] Verschiedene Technologien, die sich auf Systeme und Methoden beziehen, die die Überwachung von Sensornetzwerken erleichtern, werden nun unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben, in denen gleiche Referenznummern gleiche Elemente in der gesamten Offenbarung darstellen. Die im Folgenden beschriebenen Zeichnungen und die verschiedenen Ausführungsformen, die zur Beschreibung der Grundsätze der vorliegenden Offenbarung in dieser Patentschrift verwendet werden, dienen lediglich der Veranschaulichung und sollten in keiner Weise als Einschränkung des Umfangs der Offenbarung verstanden werden. Der Fachmann wird verstehen, dass die Grundsätze der vorliegenden Offenbarung in jeder geeignet gestalteten Vorrichtung umgesetzt werden können. Es versteht sich, dass Funktionen, die als von bestimmten Systemelementen ausgeführt beschrieben werden, von mehreren Elementen ausgeführt werden können. Ebenso kann zum Beispiel ein Element so konfiguriert sein, dass es eine Funktionalität ausführt, die als von mehreren Elementen ausgeführt beschrieben wird. Die zahlreichen innovativen Lehren der vorliegenden Anwendung werden unter Bezugnahme auf beispielhafte, nicht einschränkende Ausführungsformen beschrieben.

[0044] Das Sensornetzwerk-Überwachungssystem umfasst eine Reihe von statistikbasierten Sensornetzwerk-Überwachungstechniken (SNM), die auch als RSSI RF-LOSS-Techniken bekannt sind und diese Funktionen bieten. Die Techniken überprüfen zunächst die Zonenzuordnung jedes eingesetzten Sensors auf der Grundlage seines am Einsatzort erfassten Standorts. Die Leistung der Sensoren, wie z. B. Tx- und Rx-Effizienz und Empfangsrate, wird ebenfalls getestet und überprüft. Anschließend wird der Fingerabdruck jeder Zone anhand der RFLOSS-Daten erstellt. Das Sensornetzwerk-Überwachungssystem hat eine Vielzahl von Anwendungen, wie zum Beispiel ein Echtzeit-Ortungssystem (Real-time Location System, RTLS). Nach der Bereitstellung werden diese Techniken bei Bedarf eingesetzt, wenn die Leistung des RTLS-Systems nachlässt oder regelmässig, um die Integrität des RTLS-Systems aufrechtzuerhalten.

[0045] Das Sensorüberwachungssystem eines Bauwerks, z. B. eines Gebäudes, kann über Geräte verfügen, die im gesamten Bauwerk positioniert sind. Jedes Gerät kann einer bestimmten Stelle der Struktur zugewiesen werden und einen Hochfrequenzsensor (RF-Sensor) enthalten. Die RF-Sensoren können miteinander kommunizieren und den Funksignalwegverlust von einem Sensor zum anderen messen. Der Funksignalwegverlust wird von einem Sensor oder einem vorgeschalteten Gerät ermittelt, und es können eine oder mehrere Maßnahmen ergriffen werden, um die RF-Verlustdifferenz auszugleichen und/oder Probleme zu beheben, die durch die Differenz angezeigt werden.

[0046] Funksignale werden auf dem Weg von einem Sender zu einem Empfänger auf unvorhersehbare Weise gedämpft, was zu einem Funksignalwegverlust des Funksignals führt. Der Funksignalwegverlust verringert die Leistungsdichte einer elektromagnetischen Welle, während sie sich durch eine Umgebung ausbreitet. Der Funksignalwegverlust kann durch die Ausbreitung durch den freien Raum, atmosphärische Bedingungen und zwischengeschaltete Objekte sowie durch Reflexion an umliegenden Objekten entstehen. Im freien Raum zum Beispiel nimmt die Intensität von Signalen ab, wenn sie sich vom Sender weg ausbreiten. Eine Struktur wie ein Gebäude, Wände, Möbel, Geräte, Menschen und andere Hindernisse können die Funksignale reflektieren oder absorbieren, oder beides. Wenn eine Gruppe von Sensoren in einer bestimmten Umgebung eingesetzt wird, misst das Sensorüberwachungssystem die Funksignalwegverluste aller Sensoren und behandelt alle aus diesen Messungen abgeleiteten Probleme.

[0047] Bezugnehmend auf Figur 1 kann ein Sensorüberwachungssystem 100 zum Asset-Tracking Informationen an ein Gebäudemanagementsystem oder andere Managementdienste, wie z. B. ein Umweltkontrollsystem 102 einer Einrichtung, liefern, um die Dienste solcher Systeme für Gebäudeeigentümer, Manager, Techniker und Bewohner zu verbessern. Zum Beispiel kann das System 100 die Umgebungsbedingungen zumindest teilweise auf der Grundlage der Standorte von Tags 104 verwalten, wie z. B. die Bedingungen, die ein Bewohner oder ein anderes mit dem Tag verbundenes Objekt erlebt. Das Sensorüberwachungssystem 100 umfasst eine Infrastruktur 110, 112, 114, um die Standorte eines oder mehrerer Tags

104 innerhalb einer Struktur, z. B. eines Innenraums oder eines definierten Bereichs einer Einrichtung, zu bestimmen. Die Struktur kann verschiedene abgetrennte oder bezeichnete Bereiche 106, 108 der Struktur umfassen, wie z. B. Etagen, Räume, Flure oder definierte Freiflächen, die der Struktur zugewiesen sind. Jeder Bereich 106, 108 der Struktur kann Geräte der Infrastruktur enthalten, wie z. B. mehrere Sensoren 110.

[0048] Bei einigen Ausführungsformen kann ein vorgeschaltetes Gerät, z. B. ein Sensor-Hub 112, zusammen mit einigen oder allen Sensoren in einem Bereich 106, 108 der Einrichtung untergebracht sein. Bei anderen Ausführungsformen kann der Sensor-Hub von den Sensoren und/oder der Anlage entfernt sein. So kann sich der Sensor-Hub 112 beispielsweise in der Cloud befinden und direkt oder indirekt, zumindest teilweise über das Internet oder ein anderes Kommunikationsnetzwerk, mit den Sensoren 110 kommunizieren. Der Sensor-Hub 112 kommuniziert direkt oder indirekt mit den Sensoren 110, und die Verbindung zwischen dem Sensor-Hub 112 und den Sensoren kann kabelgebundene, kabellose oder beide Verbindungen umfassen. Einige Ausführungsformen des Sensorüberwachungssystems 100 können kabelgebundene oder kabellose Gateways 114 enthalten, die zwischen den Sensoren 110 in der Einrichtung positioniert sind. Die Gateways können als Kommunikationstransponder zwischen dem Sensor-Hub 112 und den Sensoren dienen. Ähnlich wie die Sensoren 110 und der Sensor-Hub 112 können auch die Gateways 114 Daten verarbeiten, um die hier beschriebenen Techniken anzuwenden.

[0049] Die Sensoren 110 der Infrastruktur können an festen Stellen im gesamten Bereich 106, 108 positioniert werden. Die Sensoren 110 können gleichmäßig über jeden Bereich 106, 108 verteilt sein oder selektiv in ungleichmäßiger Weise verteilt werden, wie es für die Erkennung von Signalen vorteilhaft ist. Die Sensoren 110 sind so konfiguriert, dass sie Signale erkennen, die von einer oder mehreren Quellen gesendet werden, die mit den Positionen der Assets verbunden sind. Beispielsweise können Bewohner eines Gebäudes Tags 104 zur Erkennung durch die Sensoren 110 bei sich tragen, unter anderem, um die Verfolgung der Geräte der Infrastruktur zu erleichtern. Jedes Tag 104 kann jede Art von transportablem Gerät sein, das zur kabellosen Kommunikation mit den Sensoren 110 der Einrichtung in der Lage ist. Beispiele für Tags 104 sind unter anderem Anhänger, Wearables, kabellose Kommunikationsgeräte, Tablets, tragbare Computergeräte und jede andere Art von transportablen Geräten, die einen Schaltkreis zur Übertragung eines Signals enthalten.

[0050] Wie in Figur 1 dargestellt, umfasst das Sensorüberwachungssystem 100 mehrere Sensoren 110, die in der Lage sind, über kabellose Kommunikation, wie z. B. Hochfrequenzsignale (RF), miteinander zu kommunizieren. Beispiele für kabellose Kommunikation sind unter anderem Bluetooth (einschließlich BLE), Ultrabreitband (UWB), Wi-Fi (einschließlich Wi-Fi Direct), Mobilfunk, Satellit, Mesh-Netzwerke, PAN, WPAN, WAN, Zigbee, Nahfeldkommunikation und andere Arten von Funkkommunikation und deren Varianten. Für jeden gegebenen Sensor 110 des Systems 100 kann ein Sender 116 an einem Senderstandort innerhalb der Struktur positioniert sein, und ein oder mehrere proximale Empfänger 118, 120, 122, 124, 126, 128, 130 können an Empfängerstandorten innerhalb der Struktur proximal neben dem Sender positioniert sein. Bei einigen Ausführungsformen können ein oder mehrere distale Empfänger 132, 134 an Empfängerstandorten innerhalb der Struktur proximal weiter entfernt vom Sender 116 positioniert sein, wobei ein oder mehrere proximale Empfänger 118, 120, 122, 124, 126, 128, 130 zumindest teilweise zwischen dem Sender- und dem/den distalen Empfänger(n) oder anderweitig näher am Sender relativ zu dem/den distalen Empfänger(n) liegen. Jeder Sensor und sein Standort befindet sich im Empfangsbereich der kabellosen Signale, die von einem oder mehreren der anderen Sensoren gesendet werden. Obwohl ein bestimmter Sensor als ein Sender oder erster Sensor und bestimmte Sensoren als Empfänger oder zweite Sensoren beschrieben werden, können alle Sensoren des Systems 100 Sender oder Empfänger sein.

[0051] Für das Sensorüberwachungssystem 100 kann der Sender 116 ein oder mehrere kabellose Signale senden, die von einem oder mehreren Sensoren 110, wie den proximalen Empfängern 118-130, den distalen Empfängern 132-134 oder beiden, erfasst oder empfangen werden können. Die Empfänger, wie z. B. die proximalen oder distalen Empfänger 118-134, können ein gemessenes Funksignal („Funksignal“) und seinen entsprechenden Wert auf der Grundlage der empfangenen Funksignale bestimmen. Das gemessene Funksignal kann beispielsweise ein Empfangssignalstärkeindikator (RSSI) oder ein gleichwertiger Wert sein, wenn ein Signal übertragen wird, oder statistische Merkmale, die auf mehreren vom Sender empfangenen Signalen basieren. Außerdem können ein erwartetes kabelloses Signal oder erwartete statistische Merkmale auf der Grundlage des Standorts des Senders 116 und des Standorts der proximalen und/oder distalen Empfänger 118-134 bestimmt werden oder den Empfängern 118-134, einem dem Empfänger vorgeschalteten Gerät (d. h. einem vorgeschalteten Gerät) oder beiden bekannt sein. Beispielsweise kann der Abstand zwischen Sender 116 und Empfängern 118-134 anhand des Standorts dieser Sensoren bestimmt werden. Der Abstand kann mit dem erwarteten Funksignal (RSSI usw.) oder den erwarteten statistischen Merkmalen korreliert werden. Die Standorte eines bestimmten Sensorpaares entsprechen einem erwarteten Funksignal dieser Sensoren. Beispiele für das vorgeschaltete Gerät sind u. a. der Sensor-Hub 112 oder das Gateway 114.

[0052] Bei Ausführungsformen mit statistischen Merkmalen werden die statistischen Merkmale, die auf den vom Empfänger 118-134 erfassten oder empfangenen oder anderweitig vom System 100 gemessenen Signalen beruhen, als erfasste statistische Merkmale und die vom System 100 ermittelten statistischen Merkmale als erwartete statistische Merkmale betrachtet. Die erfassten und erwarteten statistischen Merkmale unterscheiden sich dadurch, dass die erwarteten statistischen Merkmale unabhängig von den erfassten kabellosen Signalen bestimmt werden, die am zweiten Sensor 118-134 vom ersten Sensor 116 erfasst oder empfangen werden. Die Methoden zur Bestimmung jedes erwarteten statistischen Merkmals können auf einem bekannten Abstand zwischen dem ersten und dem zweiten Standort, einem dem

ersten und dem zweiten Sensor zugeordneten Grundriss oder einer dem ersten und dem zweiten Sensor zugeordneten vorbestimmten Nachschlagetabelle (lookup table) basieren, sind aber nicht darauf beschränkt.

[0053] Statistische Merkmale dienen der Charakterisierung der Verteilung der empfangenen Funksignale. Empfangene statistische Merkmale und erwartete statistische Merkmale umfassen primäre statistische Merkmale und abgeleitete statistische Merkmale. Zu den primären statistischen Merkmalen gehören unter anderem die Anzahl der empfangenen kabellosen Signale, die Summe der empfangenen kabellosen Signale, die quadrierte Summe der empfangenen kabellosen Signale und eine Kombination der empfangenen Signale aus den kabellosen Signalen. Zu den abgeleiteten statistischen Merkmalen gehören unter anderem Mittelwert, Standardabweichung, Modus, Median, Minimum und Maximum des empfangenen Funksignals. Die abgeleiteten statistischen Merkmale können aus den primären statistischen Merkmalen abgeleitet oder berechnet werden. Bei einigen Ausführungsformen kann die Unterteilung in primäre und abgeleitete statistische Merkmale als künstlich angesehen werden, um vor allem die Bandbreite zu verringern. So können beispielsweise primäre statistische Merkmale an einem oder mehreren Sensoren berechnet und an ein vorgeschaltetes Gerät übertragen werden, und abgeleitete statistische Merkmale können auf der Grundlage der primären statistischen Merkmale berechnet werden, um die statistische Verteilung der Funksignale zu beschreiben. Sind Bedenken hinsichtlich der Bandbreite minimal, können die empfangenen kabellosen Signale von mehreren Sensoren an das/die vorgelagerte(n) Gerät(e) übertragen werden, so dass die gesamte oder ein erheblicher Teil der statistischen Analyse am vorgeschalteten Gerät durchgeführt werden kann.

[0054] Statistische Merkmale können an einem Empfänger und/oder einem vorgeschalteten Gerät bestimmt werden. Insbesondere können empfangene oder andere statistische Merkmale an einem Empfänger oder zweiten Sensor 118-134, einem Gateway 114, dem Sensor-Hub 112, in der Cloud oder einer Kombination dieser Einheiten bestimmt werden. Darüber hinaus können die empfangenen Funksignale oder ein auf den empfangenen Funksignalen basierendes Signal dem vorgeschalteten Gerät (wie dem Sensor-Hub 112 und/oder dem Gateway 114) zur Verfügung gestellt werden, um das/die primäre(n) und/oder abgeleitete(n) statistische(n) Merkmal(e) zu bestimmen. Beispielsweise können primäre statistische Merkmale an einem Empfänger bestimmt werden und abgeleitete statistische Merkmale können an dem vorgeschalteten Gerät bestimmt werden. Die Aufteilung und Koordinierung von statistischen Merkmalen kann genutzt werden, um den Netzwerkverkehr zu minimieren und das Risiko von Übertragungsfehlern zu verringern.

[0055] Die vorgeschalteten Geräte 112, 114 können so konfiguriert sein, dass sie feststellen, dass eine Differenz zwischen dem gemessenen kabellosen Signal und dem erwarteten kabellosen Signal und/oder ihren entsprechenden Werten vorbestimmte Schwellenwerte überschreitet, und spezifische Maßnahmen ergreifen. Zu den Maßnahmen gehören unter anderem die Benachrichtigung weiterer Geräte, die Übertragung von Signalen zwischen Sensoren oder die Durchführung von Folgemaßnahmen zur Bestimmung der Differenz zwischen den Signalwerten. In einer Ausführungsform kann das vorgeschaltete Gerät 112, 114 ein mobiles Gerät eines Technikers oder ein Kontrollzentrum eines Gebäudemanagementsystems benachrichtigen, um die Sensoren zu untersuchen, die mit der abnormalen Signalwertdifferenz verbunden sind. Bei einer anderen Ausführungsform kann das vorgeschaltete Gerät 112, 114 weitere Kommunikationen zwischen den Sensoren 116-134 initiieren, die über die zuvor übermittelten kabellosen Signale des Senders an den Empfänger hinausgehen. Zum Beispiel kann der Sender 116 kabellose Signale an andere Sensoren (einen proximalen oder distalen Empfänger 118-134) senden, die mit der Signalwertdifferenz verbunden sind, oder andersherum. Somit kann das System feststellen, ob sich einer der Sensoren an einer erwarteten Position relativ zu einem anderen Sensor befindet oder diese einer durch einen Boden- oder Deckenplan angegebenen Position entspricht oder der Sensor anderweitig wie erwartet funktioniert. Ein Nicht-RF-Signal, wie z. B. ein Licht- oder Audiosignal, kann für die weitere Kommunikation verwendet werden, um etwaige Unzulänglichkeiten des zuvor zwischen den Sensoren übermittelten RF-Signals auszugleichen. Bei einer weiteren Ausführungsform kann das vorgeschaltete Gerät 112, 114 ein Hindernis zwischen den Sensoren 116-134 erkennen, wie z. B. ein strukturelles Objekt, ein bewegliches Objekt oder ein lebendes Objekt. Beispiele für ein strukturelles Objekt sind eine Wand, eine Trennwand oder ein Überhang; Beispiele für ein bewegliches Objekt sind Möbel, Geräte oder persönliche Gegenstände; und Beispiele für lebende Objekte sind Menschen, Käfer und andere Tiere. Bei einer weiteren Ausführungsform können die vorgeschalteten Geräte 112, 114 oder andere feststellen, dass ein oder mehrere Sensoren in der Umgebung 106, 108 nicht richtig funktionieren, nicht kalibriert sind oder anderweitig abnormale Signale senden oder empfangen. Diese Sensoren müssen zurückgesetzt, neu kalibriert, gewartet oder ersetzt werden, um die Integrität des Systems zu erhalten.

[0056] Das Sensorüberwachungssystem 100 kann Hindernisse innerhalb der Struktur identifizieren, wie z. B. die oben beschriebenen strukturellen Objekte, beweglichen Objekte und lebenden Objekte. Durch die Feststellung, dass eine Differenz zwischen dem gemessenen kabellosen Signal und dem erwarteten kabellosen Signal und/oder ihren entsprechenden Werten einen vorbestimmten Schwellenwert überschreitet, kann die vorgeschaltete Gerät 112, 114 feststellen, dass ein Hindernis zwischen dem Sender 116 und dem Empfänger (wie dem proximalen Empfänger 118-130 oder dem distalen Empfänger 132-134) besteht. Wie in Figur 1 dargestellt, kann beispielsweise ein erstes Hindernis 136 zwischen dem Sender 116 und dem Empfänger 122 vorhanden sein. Ein zweites Hindernis 138 kann ebenso zwischen dem Sender 116 und dem Empfänger 130 vorhanden sein. Die Signalwertdifferenz kann das/die Hindernis(e) 136, 138 anzeigen, und das vorgeschaltete Gerät 112, 114 kann die entsprechende Reaktion ergreifen.

[0057] Das Sensorüberwachungssystem 100 kann ein oder mehrere Hindernisse innerhalb des Bauwerks erwarten, insbesondere wenn dies durch einen Boden- oder Deckenplan angezeigt wird. Durch die Feststellung, dass eine Differenz zwischen dem gemessenen kabellosen Signal und dem erwarteten kabellosen Signal einen vorbestimmten Schwellenwert

überschreitet, kann die vorgeschaltete Vorrichtung 112, 114 feststellen, dass es widersprüchlich ist, dass das Hindernis zwischen dem Sender 116 und einem Empfänger (wie dem proximalen Empfänger 118-130 oder dem distalen Empfänger 132-134) besteht, obwohl das Hindernis bestehen sollte. Wie in Figur 1 dargestellt, kann beispielsweise ein erstes Hindernis 136 zwischen dem Sender 116 und dem Empfänger 122 vorhanden sein oder es kann ein zweites Hindernis 138 zwischen dem Sender 116 und dem Empfänger 130 vorhanden sein oder beides. Die Signalwertdifferenz kann das Fehlen des Hindernisses/der Hindernisse 136, 138 anzeigen (d. h. das Vorhandensein des Hindernisses nicht anzeigen), was z. B. durch eine falsche Platzierung der Sensoren oder eine falsche Zuordnung eines Sensors zu einem Boden- oder Deckenplan verursacht werden kann. Daraufhin können die vorgeschalteten Geräte 112, 114 geeignete Maßnahmen ergreifen.

[0058] Ein Sensor kann wie beschrieben Signalunterschiede zwischen einem gemessenen Funksignal und einem erwarteten Funksignal aufweisen, die Schwellenwerte überschreiten oder anderweitig als abnormal eingestuft werden, wenn mehrere Sensoren senden, während der Sensor empfängt. Dies kann darauf hinweisen, dass die Empfangsfähigkeit des Sensors im Vergleich zur Spezifikation abnormal ist. Wenn ein Sensor sendet, können andere Sensoren Signalunterschiede aufweisen, die Schwellenwerte überschreiten oder anderweitig als abnormal eingestuft werden. Dieses Verhalten kann darauf hindeuten, dass die Sendefähigkeit abnormal ist. In diesen Fällen können die vorgeschalteten Geräte 112, 114 ebenfalls geeignete Maßnahmen ergreifen.

[0059] Figur 2 zeigt beispielhafte Gerätekomponenten 200 eines Sensors, wie z. B. eines Sensors 110 des Sensorüberwachungssystems 100, zur Verfolgung von Tags. Die Gerätekomponenten 200 des Sensors umfassen einen Kommunikationsbus 202 zur direkten oder indirekten Verbindung mit anderen Gerätekomponenten. Zu den anderen Gerätekomponenten gehören eine oder mehrere Kommunikationskomponenten 204, die über ein kabelgebundenes oder kabelloses Netzwerk mit anderen Einheiten kommunizieren, ein oder mehrere Prozessoren 206 und eine oder mehrere Speicherkomponenten 208.

[0060] Die Kommunikationskomponente 204 des Sensors ist konfiguriert, um mit der Kommunikationskomponente eines anderen Sensors zu kommunizieren und eine Signalübertragung von einem Tag oder einem anderen Sensor zu empfangen. Die Kommunikationskomponente 204 kann eine kabellose Technologie für die Kommunikation verwenden, wie z. B. Hochfrequenz (RF), Infrarot, Mikrowellen, Lichtwellen und akustische Kommunikation. Die RF-Kommunikation umfasst unter anderem Bluetooth (einschließlich BLE), Ultrabreitband (UWB), Wi-Fi (einschließlich Wi-Fi Direct), Zigbee, Mobilfunk, Satellit, Mesh-Netzwerke, PAN, WPAN, WAN, Nahfeldkommunikation und andere Arten der Hochfrequenzkommunikation und deren Varianten. Bei einigen Ausführungsformen kann die Kommunikationskomponente 204 der Gerätekomponenten 200 auch eine kabelgebundene Technologie zur Kommunikation verwenden, z. B. die Übertragung von Daten über eine physische Leitung, z. B. ein elektrisches Medium oder optisches Fasermedium. Jeder Sensor kann mehr als eine Kommunikationskomponente 204 enthalten. So kann ein Sensor beispielsweise eine Kommunikationskomponente für den Empfang der Signale von einem Tag, eine Kommunikationskomponente für die RF-Kommunikation mit einem anderen Sensor und eine Kommunikationskomponente für die Nicht-RF-Kommunikation mit dem anderen Sensor umfassen.

[0061] Der Prozessor 206 kann Befehle (Code) ausführen und Daten verarbeiten, die von anderen Komponenten der Gerätekomponenten 200 erfasst oder empfangen werden, wie z. B. Informationen, die von der Kommunikationskomponente 204 empfangen oder in der Speicherkomponente 208 gespeichert werden. Der mit dem Sensorüberwachungssystem 100 verbundene und in der Speicherkomponente 208 gespeicherte Code kann Betriebssysteme, Anwendungen, Module, Treiber und dergleichen umfassen, ist aber nicht darauf beschränkt. Ein Betriebssystem umfasst ausführbaren Code, der die Grundfunktionen des Sensors steuert, wie z. B. die Interaktion zwischen den verschiedenen Komponenten der Gerätekomponenten 200, die Kommunikation mit externen Geräten über die Kommunikationskomponente 204 und das Speichern und Abrufen von Code und Daten in und aus der Speicherkomponente 208.

[0062] Jede Anwendung enthält ausführbaren Code, um spezifische Funktionen für den Prozessor 206 und/oder andere Komponenten des Sensors bereitzustellen. Beispiele für Anwendungen, die vom Prozessor 206 ausgeführt werden können, umfassen unter anderem ein Kommunikationsmodul 210 zur Durchführung von Kommunikationsvorgängen mit anderen Sensoren, zum Empfang der Übertragung von Tags und zur Übertragung von gesammelten und/oder berechneten Daten an ein oder mehrere vorgeschaltete Geräte sowie ein Betriebsmodul 212 zur Durchführung allgemeiner und spezifischer Vorgänge am Sensor. Bei einigen Ausführungsformen kann das Betriebsmodul 212 eine Differenz zwischen dem gemessenen kabellosen Signal und dem erwarteten kabellosen Signal (oder ihren entsprechenden statistischen Merkmalen und erwarteten statistischen Merkmalswerten) bestimmen. Das Betriebsmodul 212 jedes Empfängers kann auch einen Signalstärkewert, einen Signalstärkesummenwert und einen Signalstärkequadratwert eines empfangenen Signals bestimmen.

[0063] Bei den in der Speicherkomponente 208 gespeicherten Daten handelt es sich um Informationen, die von einem Betriebssystem oder einer Anwendung zur Ausführung von Funktionen des Sensors referenziert oder manipuliert werden können. Beispiele für Daten, die mit dem Sensorüberwachungssystem 100 verbunden und in der Speicherkomponente 208 gespeichert sind, können unter anderem Datenwerte 214 wie erwartete Funksignale und gemessene Funksignale sowie Schwellenwerte 216 wie der vorbestimmte Schwellenwert, der mit der Differenz zwischen den gemessenen und erwarteten Funksignalen zu vergleichen ist, umfassen. Die statistischen Datenwerte 218 können unter anderem die Anzahl der empfangenen RF-Signale, die Summe der empfangenen RF-Signale, die Summe der quadrierten RF-Empfangssignale und möglicherweise das einzelne Empfangssignal umfassen.

[0064] Die Gerätekomponenten 200 eines jeden Sensors 110 können eine oder mehrere Eingabekomponenten 220 und eine oder mehrere Ausgabekomponenten 222 umfassen. Die Eingabekomponenten 220 und Ausgabekomponenten 222 der Gerätekomponenten 200 können eine oder mehrere visuelle, akustische, mechanische oder andere Komponenten umfassen. Bei einigen Ausführungsformen können die Eingabe- und Ausgabekomponenten 220, 222 jedes Sensors 110 eine Benutzerschnittstelle 224 zur Interaktion mit einem umfassen. Die Benutzerschnittstelle 224 kann Hardware und Software enthalten, um einem Benutzer das gewünschte Benutzererlebnis zu bieten. Beispiele für Eingabekomponenten 220 umfassen unter anderem einen Lichtsensor 226 (z. B. einen passiven Infrarotsensor), einen Audiosensor 228 (z. B. ein Mikrofon), einen Bewegungssensor 230, einen Atmosphärensensoren 232 (z. B. Temperatur, Feuchtigkeit, Druck usw.) und eine Kombination von Sensortechnologien. Beispiele für Ausgabekomponenten 220 sind u. a. Anzeigen 234, visuelle Indikatoren 236, Audio-Lautsprecher 238, mechanische Aktoren 240 und eine Kombination von Ausgabetechnologien.

[0065] Figur 2 dient zur Veranschaulichung von Beispielen für die Gerätekomponenten 200 eines Sensors 110. Es ist nicht beabsichtigt, ein vollständiges Auflistung der verschiedenen Komponenten, die von der Vorrichtung verwendet werden, darzustellen. Daher kann der Sensor 110 verschiedene andere Komponenten enthalten, die in Figur 2 nicht dargestellt sind, oder eine Kombination von zwei oder mehr Komponenten oder eine Aufteilung einer bestimmten Komponente in zwei oder mehr separate Komponenten, die noch in den Anwendungsbereich der vorliegenden Erfindung fallen.

[0066] Figur 3 zeigt beispielhafte Gerätekomponenten 300 eines vorgeschalteten Geräts, wie z. B. den Sensor-Hub 112 oder das Gateway 114 des Sensorüberwachungssystems 100, für das Asset-Tracking von Tags. Die Gerätekomponenten 300 des vorgeschalteten Geräts 112, 114 umfassen einen Kommunikationsbus 302, um andere Gerätekomponenten direkt oder indirekt miteinander zu verbinden. Zu den anderen Gerätekomponenten gehören eine oder mehrere Kommunikationskomponenten 304, die über ein kabelgebundenes oder kabelloses Netzwerk mit anderen Einheiten kommunizieren, ein oder mehrere Prozessoren 306 und eine oder mehrere Speicherkomponenten 308. Die Kommunikationskomponente 304 ist so konfiguriert, dass sie mit mehreren Sensoren 110 kommuniziert, entweder direkt oder über ein oder mehrere andere vorgeschaltete Geräte. Die Kommunikationskomponente 304 kann eine kabellose Technologie, kabelgebundene Technologie oder eine Kombination dieser Technologien für die Kommunikation mit anderen Geräten verwenden, ähnlich wie die unter Bezugnahme auf Figur 2 beschriebenen Sensoren.

[0067] Der Prozessor 306 kann Code ausführen und Daten verarbeiten, die von anderen Komponenten der Gerätekomponenten 300 erfasst oder empfangen werden, wie z. B. Informationen, die von der Kommunikationskomponente 304 empfangen oder in der Speicherkomponente 308 gespeichert werden. Der mit dem Sensorüberwachungssystem 100 verbundene und in der Speicherkomponente 308 gespeicherte Code kann unter anderem Betriebssysteme, Anwendungen, Module, Treiber und dergleichen umfassen. Ein Betriebssystem umfasst ausführbaren Code, der die grundlegenden Funktionen des vorgeschalteten Geräts 112, 114 steuert, wie z. B. die Interaktion zwischen den verschiedenen Komponenten der Gerätekomponenten 300, die Kommunikation mit externen Geräten über die Kommunikationskomponente 304 und das Speichern und Abrufen von Code und Daten in und aus der Speicherkomponente 308.

[0068] Jede Anwendung enthält ausführbaren Code zur Bereitstellung spezifischer Funktionen für den Prozessor 306 und/oder andere Komponenten des vorgeschalteten Geräts 112, 114e. Beispiele für Anwendungen, die vom Prozessor 306 ausgeführt werden können, umfassen unter anderem ein Kommunikationsmodul 310, das direkt oder indirekt Kommunikationsvorgänge mit den Sensoren 110 durchführt, und ein Betriebsmodul 312, das Berechnungen auf Basis der gesammelten Daten durchführt und eine Leistung einer kabellosen Kommunikation des Sensornetzwerks bestimmt. Die Kommunikationsoperationen können den Empfang von gesammelten Daten oder berechneten Daten oder beidem von den Sensoren, die Übertragung von berechneten Ergebnissen an die Sensoren und die Anweisung an den Sensor, allgemeine und spezifische Operationen durchzuführen, die vom Betriebsmodell 312 bestimmt werden, umfassen. Bei einigen Ausführungsformen kann das Betriebsmodul 312 eine Differenz zwischen dem gemessenen kabellosen Signal und dem erwarteten kabellosen Signal (z. B. statistische Merkmale) bestimmen, oder darüber hinaus bestimmen, ob die Differenz einen vorbestimmten Schwellenwert überschreitet.

[0069] Bei den in der Speicherkomponente 308 gespeicherten Daten handelt es sich um Informationen, die von einem Betriebssystem oder einer Anwendung zur Ausführung von Funktionen des vorgeschalteten Geräts 112, 114 referenziert und manipuliert werden können. Beispiele für Daten, die mit dem Sensorüberwachungssystem 100 verbunden sind und in der Speicherkomponente 308 gespeichert werden, können unter anderem Datenwerte 314 wie erwartete kabellose Signale und gemessene kabellose Signale und Schwellenwerte 316 wie der vorbestimmte Schwellenwert, der mit der Differenz zwischen den gemessenen und erwarteten kabellosen Signalen zu vergleichen ist, umfassen. Der Datenwert 314 kann auch Informationen enthalten, die zur Bestimmung der erwarteten kabellosen Signale verwendet werden, wie z. B. einen Decken- oder Bodenplan eines Bereichs der Struktur, Standorte der Sensoren 110 und Abstände zwischen Sensorpaaren.

[0070] Der Datenwert 314 kann auch, aber nicht nur, die statistischen Werte umfassen, wie die Anzahl der empfangenen RF-Signale, die Summe aller empfangenen RF-Signale, die Summe der quadrierten RF-Signale und, wenn möglich, die einzelnen empfangenen RF-Signale.

[0071] Die Gerätekomponenten 300 jedes vorgeschalteten Geräts 112, 114 können eine oder mehrere Eingabe- und Ausgabekomponenten, d. h. I/O-Schnittstellen 318, umfassen. Die I/O-Schnittstellen 318 der Gerätekomponenten 300 können eine oder mehrere visuelle, akustische, mechanische oder andere Komponenten umfassen. Bei einigen Ausführungsfor-

men können die I/O-Schnittstellen 318 jedes vorgeschalteten Geräts 112, 114 eine Benutzerschnittstelle 320 zur Interaktion mit einem Benutzer enthalten. Die Benutzerschnittstelle 320 kann eine Kombination aus Hardware und Software enthalten, um dem Benutzer das gewünschte Benutzererlebnis zu bieten. Beispielsweise kann die Benutzerschnittstelle 320 eine oder mehrere Eingabekomponenten enthalten, die es dem Benutzer ermöglichen, Informationen einzugeben, wie z. B. mechanische Tasten oder Audioeingaben, und eine oder mehrere Ausgabekomponenten, die dem Benutzer Informationen liefern, wie z. B. eine visuelle oder akustische Anzeige, die einen Betriebsstatus des vorgeschalteten Geräts 112, 114 anzeigt.

[0072] Figur 3 dient nur zur Veranschaulichung, um Beispiele für die Gerätekomponenten 300 eines vorgeschalteten Geräts 112, 114 darzustellen, und ist nicht als vollständige Auflistung der verschiedenen Komponenten, die das Gerät verwenden kann, gedacht. Daher können vorgeschaltete Geräte 112, 114 verschiedene andere Komponenten enthalten, die in Figur 3 nicht dargestellt sind, oder eine Kombination von zwei oder mehr Komponenten oder eine Aufteilung einer bestimmten Komponente in zwei oder mehr separate Komponenten umfassen und dennoch in den Anwendungsbereich der vorliegenden Erfindung fallen.

[0073] Abbildung 4 zeigt ein Flussdiagramm, das einen beispielhaften Prozess oder Systembetrieb 400 des Sensorüberwachungssystems 100 darstellt. Der Prozess 400 überwacht den Zustand eines Sensornetzwerks im Laufe der Zeit, um sicherzustellen, dass ein maschineller Lernprozess (ML-Prozess) wie ursprünglich eingesetzt optimal funktioniert. Der Prozess 400 dient auch der Vorhersage, wie der ML-Prozess in einer bestimmten Umgebung funktionieren wird. Wenn sich die Umgebung im Laufe der Zeit ändert, erkennt der Prozess 400 die Änderungen und steuert die nachfolgenden Maßnahmen, wie z. B. das erneute Sammeln von Daten aus der Umgebung, die Neuzonierung der Umgebung, das Hinzufügen weiterer Sensoren usw.

[0074] Der Prozess 400 eines Sensorüberwachungssystems zur Überwachung eines Sensornetzwerks umfasst einen Sammel-Teilprozess 410 und einen Analyse-Teilprozess 430. Für den Sammel-Teilprozess 410 werden Signalstärkedaten für Sensorpaare von mehreren Sensoren gesammelt (412, 414). Jedes Sensorpaar besteht aus einem Sender und einem Empfänger, und jeder Sensor wird der Reihe nach als Sender zugewiesen. Jeder Sensor dient der Reihe nach als Sender und sendet (412) ein Signal aus. So wird jeder Sensor einmal als Sender eingesetzt. Die anderen nicht sendenden Sensoren empfangen (414) vom Sender ein Signal in Folge der Signalübertragung (412). Die Signalstärkedaten für jedes Sensorpaar entsprechen den Signalen, die von jedem Sender gesendet und von jedem Empfänger empfangen wurden. Bei einigen Ausführungsformen kann jeder Empfänger den Signalstärkewert, einen Signalstärkesummenwert und einen Signalstärkequadratwert des empfangenen Signals bestimmen (416). In jedem Fall melden die Empfänger Daten an das vorgeschaltete Gerät (418), unabhängig davon, ob es sich um die empfangenen Messdaten oder um die aus den Messdaten ermittelten Daten handelt. Der Sammel-Teilprozess wird fortgesetzt, bis jeder Sensor die Möglichkeit hat, ein oder mehrere Signale zu senden, und die anderen Sensoren die Möglichkeit haben, die Signale zu empfangen (420).

[0075] Für den Sammel-Teilprozess 410 sendet beispielsweise ein Sensor im Netzwerk eine Anzahl von RF-Signalen mit einem vorgegebenen Leistungspegel aus. Alle anderen Sensoren im Netzwerk empfangen und zeichnen die Anzahl, die Summe und die quadrierte Summe der empfangenen RF-Signale auf. Die Sensoren, die die RF-Übertragungen empfangen, melden dem System ein Datenpaket, das den RF-Verlust von Sensor zu Sensor darstellt. Der Sammel-Teilprozess 410 wird mit dem nächsten Sensor im Netzwerk wiederholt, bis alle Sensoren im RTLS die Möglichkeit haben, zu senden, zu empfangen und zu berichten. Der Sammel-Teilprozess 410 kann mehrfach wiederholt werden, um die Robustheit der Ergebnisse zu erhöhen.

[0076] Für den Analyse-Teilprozess 430 des Prozesses 400 erzeugt der Prozess Fingerabdrücke, bestimmt die Leistung und nimmt Anpassungen am Sensornetzwerk vor. Der Analyse-Teilprozess 430 erzeugt (432) den Gesamtfingerabdruck auf der Grundlage der Signalstärkedaten durch ein weiteres Gerät, das mit den Sensoren kommuniziert. Für jedes Sensorpaar erfasst ein Datensatz einen RSSI-Summenwert, einen RSSI-Quadratsummenwert und einen RSSI-Zählwert. Der RSSI-Summenwert ist die Summe aller empfangenen RSSI-Werte. Der RSSI-Quadratsummenwert ist die Summe der Quadrate aller empfangenen RSSI-Signale. Der RSSI-Zählwert ist die Anzahl der empfangenen RSSI-Signale.

[0077] Bei einigen Ausführungsformen wird der Gesamtfingerabdruck durch Berechnung (434) eines Mittelwertmerkmals, eines Standardabweichungsmerkmals und eines Empfangsratenmerkmals für jedes Paar aus Sender und Empfänger auf der Grundlage der Signalstärkewerte der kabellosen Kommunikationsdaten erzeugt. Das Mittelwertmerkmal, das Standardabweichungsmerkmal und das Empfangsratenmerkmal für jedes Sensorpaar können basierend auf dem RSSI-Summenwert, dem RSSI-Quadratsummenwert und dem RSSI-Zählwert bestimmt werden. Die Empfangsrate wird anhand der Anzahl der Signale berechnet, die zwischen dem entsprechenden Paar aus Sender und Empfänger übertragen werden. Die Empfangsrate kann berechnet werden, indem der RSSI-Zählwert durch eine MAX_NUM_TX geteilt wird, die die konstante Anzahl von Signalen ist, die jeder Sensor aussendet.

[0078] Der Analyse-Teilprozess 430 erzeugt (436) den Zonen-Fingerabdruck für jede Zone auf der Grundlage des Gesamtfingerabdrucks. Die Zonen-Fingerabdrücke können beispielsweise durch Aufteilung des Gesamtfingerabdrucks entsprechend der Sensorposition relativ zu den Zonengrenzen erzeugt werden. In einer Variante enthält jeder Zonen-Fingerabdruck die Signalstärkedaten jedes Paares aus Sender und Empfänger, die sich innerhalb der Zone befinden. In einer anderen Variante enthält jeder Zonen-Fingerabdruck die Signalstärkedaten von Sensoren, die sich innerhalb der Zone befinden und von allen anderen Sensoren empfangen werden. In einer weiteren Variante enthält jeder Zonen-Fingerab-

druck die Signalstärkedaten der innerhalb der Zone befindlichen Empfänger. Die Zonen-Fingerabdrücke werden für jedes der drei statistischen Merkmale aufgeteilt, nämlich Mittelwertmerkmal, Standardabweichungsmerkmal und Empfangsratenmerkmal.

[0079] Bei einigen Ausführungsformen umfasst der Prozess 400 zur Bestimmung des Zonen-Fingerabdrucks das Filtern (438) des Mittelwertmerkmals und des Standardabweichungsmerkmals auf der Grundlage des Empfangsratenmerkmals. Beispielsweise können das Mittelwertmerkmal und das Standardabweichungsmerkmal gefiltert werden, indem einem bestimmten Mittelwertmerkmal oder Standardabweichungsmerkmal ein Nullwert zugewiesen wird, insofern das entsprechende Empfangsratenmerkmal unter einem Schwellenwert liegt. Das Empfangsratenmerkmal kann verwendet werden, um die Filterung (438) des Mittelwertmerkmals und/oder Standardabweichungsmerkmal durchzuführen. Wenn die Empfangsratenrate für einen Eintrag unter einem bestimmten Schwellenwert liegt, können die Daten als statistisch unbedeutend betrachtet und ihnen ein Nullwert zugeordnet werden.

[0080] Bei einigen Ausführungsformen kann der Analyse-Teilprozess 430 des Prozesses 400 einen Sensor-Fingerabdruck für jeden Sensor auf der Grundlage des Gesamtfingerabdrucks oder des Zonen-Fingerabdrucks erzeugen (440). Zum Beispiel kann der Prozess 400 bestimmen, ob sich eine Empfangscharakteristik von mindestens einem Sensor basierend auf den Sensor-Fingerabdrücken geändert hat. Die Sensornetzwerkconfiguration für die eine oder mehrere Zonen kann geändert werden, indem die Sensornetzwerkconfiguration für die Zonen abhängig davon geändert wird, dass der Abstand zwischen einem bestimmten Paar von Sensoren einen Abstandsschwellenwert nicht erreicht. Der Gesamtfingerabdruck erfasst die Eigenschaften, wie ein bestimmter Sensor Signale von anderen Sensoren im Netzwerk empfängt.

[0081] Der Fingerabdruck eines Sensors kann im Laufe der Zeit mit sich selbst oder mit anderen Sensoren verglichen werden. Durch die Bestimmung des Unterschieds zwischen dem Fingerabdruck eines Sensors zum Zeitpunkt der Installation und seinem Fingerabdruck zum Zeitpunkt der Wartung kann das System feststellen, ob sich die Empfangseigenschaften des Sensors geändert haben. Eine signifikante Änderung kann auf eine Verschlechterung der Sensorleistung oder eine Änderung der Sensorumgebung/des Standortes hinweisen. Das System kann eine Ähnlichkeit zwischen jedem Sensorpaar bei einem Basisereignis (baseline event) und dem Zustand des Netzwerks bei einem nachfolgenden Ereignis aufzeichnen, um die Konsistenz des Netzwerks zu messen. Das System kann auch einzelne Sensoren beobachten und die Ähnlichkeit ihrer Fingerabdrücke mit denen aller anderen Sensoren überprüfen, um besondere Sensoren zu identifizieren.

[0082] Der Analyse-Teilprozess 430 des Prozesses 400 bestimmt (442) eine Leistung einer kabellosen Kommunikation des Sensornetzwerks auf der Grundlage oder in Abhängigkeit von der Bestimmung der Zonen-Fingerabdrücke der Zonen. Der Analyse-Teilprozess 430 des Prozesses 400 ändert (448) die Sensornetzwerkconfiguration für eine oder mehrere Zonen basierend auf der kabellosen Kommunikationsleistung des Sensornetzwerks.

[0083] Bei einigen Ausführungsformen kann die Leistung einer kabellosen Kommunikation des Sensornetzwerks durch Bestimmung (444) eines Abstands zwischen jedem Zonenpaar der mehreren Zonen ermittelt werden. Infolgedessen kann die Sensornetzwerkconfiguration für eine oder mehrere Zonen geändert werden (448), insofern der Abstand zwischen einem bestimmten Zonenpaar einen Abstandsschwellenwert nicht erreicht.

[0084] Bei einigen Ausführungsformen kann die Leistung einer kabellosen Kommunikation des Sensornetzwerks bestimmt werden (442), indem eine erste Leistung des Sensornetzwerks, die mit einer Errichtungsperiode verbunden ist, mit einer zweiten Leistung des Sensornetzwerks, die mit einer Wartungsperiode verbunden ist, verglichen wird (446). Bei einigen Ausführungsformen kann die Sensornetzwerkconfiguration für eine oder mehrere Zonen geändert werden (448), indem eine Sensornetzwerkconfiguration abhängig davon, dass eine Differenz zwischen der ersten und der zweiten Leistung eine Leistungsschwelle überschreitet, geändert wird (450). Bei einigen Ausführungsformen kann die Sensornetzwerkconfiguration für eine oder mehrere Zonen geändert werden (448), indem ein Analyseprozessor, der die Leistung einer kabellosen Kommunikation des Sensornetzwerks bestimmt, aktualisiert wird (452).

[0085] Unter Bezugnahme auf Figur 5A und 5B sind beispielhafte Grundrisse 500, 502 dargestellt, die den Datenerfassungsbetrieb in einem Gebäudebereich mit mehreren Zonen veranschaulichen. In dem gezeigten Beispiel umfasst der Grundriss 800 mehrere Zonen 510, 520, 530. Jeder Sensor 540 sendet Signale aus, und alle anderen Sensoren empfangen und zeichnen die empfangenen Signale auf. Zum Beispiel kann ein erster Sensor 542 ein oder mehrere Signale zu einem bestimmten Zeitpunkt senden, während andere Sensoren als der erste Sensor das/die Signal(e) empfangen und aufzeichnen können, und dann kann ein zweiter Sensor 544 eine oder mehrere Signale nach dem ersten Sensor 542 senden. Bei einigen bevorzugten Ausführungsformen zeichnen die anderen Sensoren drei Größen auf, nämlich eine Anzahl, eine Summe und eine quadrierte Summe der empfangenen Signale. Die drei Größen können anschließend verwendet werden, um den Mittelwert, die Standardabweichung und die Empfangsratenrate für jeden Empfänger zu berechnen. Alle Sensoren 540 durchlaufen den Sendeprozess in sequenzieller Reihenfolge, und der Sendeprozess kann für die Sensoren in derselben oder ähnlicher sequenzieller Reihenfolge wiederholt werden. Bei dieser sequenziellen Datenerfassung ist es nicht erforderlich, dass sich ein automatisiertes Gerät oder ein Gerät mit menschlicher Unterstützung auf einer Etage bewegt, um die Datenerfassung durchzuführen. Die Sensoren 540 werden in den Sende-Modus versetzt, um die Datenerfassung durchzuführen.

[0086] In Figur 6 ist ein Beispieldatensatz 600 für den beispielhaften Datenerfassungsvorgang dargestellt. Dieser Sensornetzwerk-Überwachungsprozess für die Datensatzerstellung umfasst einen RSSI-Datensatz 610, einen Datensammelort (DCL)-Datensatz 620 und einen Zonendatensatz 630. Die Werte werden für jedes Sensorpaar aggregiert, d. h. für jedes

Paar aus Sender und Empfänger. Bei einigen Ausführungsformen enthält der RSSI-Datensatz 610 Summen, quadrierte Summen und die Anzahl der empfangenen Signale. In einigen Ausführungsformen können der Mittelwert, die Standardabweichung und die Empfangsrate auf der Grundlage der Summen, der quadrierten Summen und der Anzahl der empfangenen Signale bestimmt werden.

[0087] Unter Bezugnahme auf Figur 7A, 7B und 7C zeigen beispielhaft zonenspezifische Fingerabdruckdaten aus dem Datenerfassungsvorgang. Fig. 7A stellt insbesondere eine Gesamtdatentabelle 710 für den von verschiedenen Sensoren des Systems erfassten Mittelwert dar. Eine ähnliche Aufteilung wird auf die Standardabweichung und die Komponenten der Empfangsrate der Sensor-zu-Sensor-Daten angewendet. Die Gesamtdatentabelle 710 enthält Signalstärkewerte (z. B. RSSI-Werte) für jeden Sensor der verschiedenen Sensoren. Beispielsweise identifizieren die Zeilen 712 der aggregierten Datentabelle 710 die Signalstärkewerte basierend auf dem Sender und die Spalten 714 die Signalstärkewerte basierend auf den Empfängern. Da ein Sender seine eigenen Daten nicht empfängt, kann ein Nullwert wie „NaN“ anzeigen, dass der Sender und Empfänger ein und derselbe sind.

[0088] Auf der Grundlage der Signalstärkedaten wird von einem weiteren Gerät, das mit den mehreren Sensoren kommuniziert, ein Gesamtfingerabdruck erstellt. Anschließend wird für jede Zone ein Zonen-Fingerabdruck auf der Grundlage des Gesamtfingerabdrucks erstellt. Jeder Zonen-Fingerabdruck enthält den Signalstärkewert für jedes Paar aus Sender und Empfänger der entsprechenden Zone. Dementsprechend ist jede Gesamtdatentabelle nach Zonen unterteilt. Bei einigen Ausführungsformen sind die Zonen-Fingerabdrücke die Zeilen der Datentabelle, wobei sich der Sensor innerhalb der Zone befindet. Für Zone 0 befinden sich beispielsweise Sensor 9 und Sensor 10 in der Zone, und daher ist der Zonen-Fingerabdruck Teil der Zonendatentabelle 720, in der sich diese beiden Sensoren befinden und Signale abgeben. Die Signalstärkewerte 722 für eine bestimmte Zone der Zonendatentabelle 720 basieren auf den Signalstärkewerten 716 für die bestimmte Zone der Gesamtdatentabelle 710. Bei einigen Ausführungsformen kann jede Gesamtdatentabelle so unterteilt sein, dass die Empfänger innerhalb einer bestimmten Zone die Daten für den Zonen-Fingerabdruck darstellen. Zum Beispiel können für Zone 0 die Spalten mit den Bezeichnungen Sensor 9 und Sensor 10 den Zonen-Fingerabdruck darstellen.

[0089] Bei einigen Ausführungsformen enthält jeder Zonen-Fingerabdruck die Signalstärkedaten jedes Paares aus Sender und Empfänger, die sich innerhalb der Zone befinden. Bei einigen Ausführungsformen umfasst jeder Zonen-Fingerabdruck die Signalstärkedaten von Sensoren, die sich innerhalb der Zone befinden und welche von allen anderen Sensoren empfangen werden. Bei einigen Ausführungsformen umfasst jeder Zonen-Fingerabdruck die Signalstärkedaten der innerhalb der Zone befindlichen Empfänger. Die Zonen-Fingerabdrücke werden für jedes der drei statistischen Merkmale aufgeteilt, nämlich Mittelwertmerkmal, Standardabweichungsmerkmal und Empfangsratenmerkmal.

[0090] Jeder Zonen-Fingerabdruck 730 repräsentiert eine andere Zone des Grundriss, und die verschiedenen Zonen-Fingerabdrücke können die gleiche oder eine unterschiedliche Anzahl von Sensoren im Verhältnis zueinander enthalten. Jeder Zonen-Fingerabdruck enthält Mittelwerte 732, Standardabweichungswerte 734 und Empfangsratenwerte 736. Auch die Mittelwerte 732 für jeden Zonen-Fingerabdruck 730 umfassen einen Mittelwert für jedes mit der entsprechenden Zone verbundene Sensorpaar. Ebenso enthalten die Standardabweichungswerte 734 für jeden Zonen-Fingerabdruck 730 einen Standardabweichungswert für jedes der entsprechenden Zone zugeordnete Sensorpaar, und die Empfangsratenwerte 736 für jeden Zonen-Fingerabdruck 730 enthalten einen Empfangsratenwert für jedes der entsprechenden Zone zugeordnete Sensorpaar.

[0091] Figur 8 zeigt einen Vorgang zur Leistungsüberwachung 800, bei dem Fingerabdruckdaten zwischen zwei verschiedenen Zeiträumen verglichen werden. So kann das System beispielsweise den zum Zeitpunkt der Bereitstellung ermittelten Fingerabdruck mit einem Fingerabdruck vergleichen, der zu einem bestimmten Zeitpunkt nach der Bereitstellung berechnet wurde. Auf der Grundlage des Vergleichs kann das System alle signifikanten Änderungen erkennen, die sich auf die Systemleistung auswirken können. Das Beispiel der Leistungsüberwachung 800 veranschaulicht einen Fingerabdruck-Vergleich, der zur Überwachung des Zustands des Sensornetzwerks verwendet wird, z. B. zur Überwachung der Konsistenz der RSSI-Daten. Beispielsweise kann der zum Zeitpunkt der Bereitstellung berechnete Fingerabdruck mit dem zu einem bestimmten Zeitpunkt nach der Bereitstellung berechneten Fingerabdruck verglichen werden, um wesentliche Änderungen zu erkennen, die sich auf die Leistung des Systems auswirken können. Ein Beispiel für ein betroffenes System ist ein vorab trainiertes maschinelles Lernmodell, das davon ausgeht, dass sich die Eigenschaften des Sensornetzwerks im Laufe der Zeit nicht wesentlich ändern. Der Analyseprozessor erkennt eine Abweichung im Fingerabdruck. Die Leistung einer kabellosen Kommunikation des Sensornetzwerks kann auf der Grundlage der Zonen-Fingerabdrücke der Zonen bestimmt werden. Infolgedessen kann die Sensornetzwerkkonfiguration für eine oder mehrere Zonen auf der Grundlage der Leistung einer kabellosen Kommunikation des Sensornetzwerks geändert werden.

[0092] Fachleute werden erkennen, dass der Einfachheit und Klarheit halber die vollständige Struktur und Funktionsweise aller Datenverarbeitungssysteme, die für die Verwendung im Rahmen der vorliegenden Offenbarung geeignet sind, hier nicht dargestellt oder beschrieben werden. Auch sollte keines der verschiedenen hier beschriebenen Merkmale oder Verfahren als wesentlich für irgendeine oder alle Ausführungsformen angesehen werden, außer wie hier beschrieben. Verschiedene Merkmale können weggelassen oder in verschiedenen Ausführungsformen dupliziert werden. Verschiedene beschriebene Prozesse können weggelassen, wiederholt, nacheinander, gleichzeitig oder in einer anderen Reihenfolge durchgeführt werden. Verschiedene hierin beschriebene Merkmale und Verfahren können in noch anderen Ausführungsformen kombiniert werden, als in den Ansprüchen beschrieben .

[0093] Es ist wichtig anzumerken, dass die Offenbarung zwar eine Beschreibung im Zusammenhang mit einem voll funktionsfähigen System enthält, jedoch zumindest Teile des Mechanismus der vorliegenden Offenbarung in Form von Befehlen, die in einem maschinenverwendbaren, computerverwendbaren oder computerlesbaren Medium enthalten sind, in einer Vielzahl von Formen verbreitet werden können. Die vorliegende Offenbarung gilt gleichermaßen unabhängig von der besonderen Art des Befehls oder des signaltragenden Mediums oder des Speichermediums, das für die Ausführung verwendet wird. Beispiele für maschinenverwendbare/lesbare oder computerverwendbare/lesbare Medien umfassen nichtflüchtige, fest codierte Medien wie Festwertspeicher (ROMs) oder löschbare, elektrisch programmierbare Festwertspeicher (EEPROMs) und vom Benutzer beschreibbare Medien wie Disketten, Festplattenlaufwerke und Compact-Disk-Festwertspeicher (CD-ROMs) oder Digital Versatile Disks (DVDs).

[0094] Obwohl ein Ausführungsbeispiel der vorliegenden Offenbarung im Detail beschrieben wurde, wird der Fachmann verstehen, dass verschiedene Änderungen, Ersetzungen, Variationen und Verbesserungen, die hierin offenbart werden, vorgenommen werden können, ohne vom Geist und Umfang der Offenbarung in ihrer weitesten Form abzuweichen.

Patentansprüche

1. System (100) zur Überwachung eines Sensornetzwerks, umfassend
 Sensorpaare aus einer Vielzahl von Sensoren, die einen Sender (116, 542) und einen Empfänger (118-134) für jedes Sensorpaar enthalten, wobei jeder Sensor (110, 540) der Vielzahl von Sensoren der Reihe nach als Sender (116, 542) fungiert, wobei die Vielzahl von Sensoren Signalstärkedaten für jedes Sensorpaar sammelt, die Signalen entsprechen, die von jedem Sender (116, 542) gesendet und von jedem Empfänger (118-134) empfangen werden; und
 ein vorgeschaltetes Gerät (112), das mit der Vielzahl von Sensoren kommuniziert, wobei das vorgeschaltete Gerät (112) einen Gesamtfingerabdruck auf der Grundlage der Signalstärkedaten erzeugt, einen Zonenfingerabdruck für jede Zone einer Vielzahl von Zonen (510, 520, 530) auf der Grundlage des Gesamtfingerabdrucks erzeugt und eine Leistung der kabellosen Kommunikation des Sensornetzwerks auf der Grundlage der Zonenfingerabdrücke der Vielzahl von Zonen (510, 520, 530) bestimmt, wobei jeder Zonenfingerabdruck den Signalstärkewert für jedes Paar aus Sender und Empfänger der entsprechenden Zone enthält, und
 wobei eine Sensornetzwerkkonfiguration für eine oder mehrere Zonen der Vielzahl von Zonen (510, 520, 530) auf der Grundlage der Leistung der kabellosen Kommunikation des Sensornetzwerks geändert wird.
2. System (100) nach Anspruch 1, wobei jeder Empfänger der Vielzahl von Empfängern den Signalstärkewert, einen Signalstärkesummenwert und einen Signalstärkequadratwert der empfangenen Signale bestimmt.
3. Das System (100) wie in Anspruch 1 oder 2 beschrieben, wobei das vorgeschaltete Gerät (112) ein Mittelwertmerkmal, ein Standardabweichungsmerkmal und ein Empfangsratenmerkmal für jedes Paar aus Sender (116, 542) und Empfänger (118-134) auf der Grundlage der Signalstärkewerte der kabellosen Kommunikationsdaten berechnet, wobei die Empfangsrate auf der Grundlage einer Anzahl von Signalen berechnet wird, die zwischen dem entsprechenden Paar aus Sender (116, 542) und Empfänger (118-134) kommuniziert werden.
4. System (100) nach Anspruch 1, 2 oder 3, wobei das vorgeschaltete Gerät (112) das Mittelwertmerkmal und das Standardabweichungsmerkmal auf der Grundlage des Empfangsratenmerkmals filtert.
5. System (100) nach Anspruch 4, wobei das vorgeschaltete Gerät (112) einem bestimmten Mittelwertmerkmal oder Standardabweichungsmerkmal einen Nullwert zuweist, der darauf beruht, dass das entsprechende Empfangsratenmerkmal unter einem Schwellwert liegt.
6. Das System (100), nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei:
 das vorgeschaltete Gerät (112) einen Abstand zwischen jedem Paar von Zonen der Vielzahl von Zonen (510, 520, 530) bestimmt; und
 die Sensornetzwerkkonfiguration geändert wird, insofern der Abstand zwischen einem bestimmten Paar von Zonen einen Abstandsschwellenwert nicht erfüllt.
7. Das System (100), nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei:
 das vorgeschaltete Gerät (112) eine erste Leistung des Sensornetzwerks, die mit einer Einsatzperiode verbunden ist, mit einer zweiten Leistung des Sensornetzwerks, die mit einer Wartungsperiode verbunden ist, vergleicht; und
 die Sensornetzwerkkonfiguration geändert wird, insofern ein Unterschied zwischen der ersten und der zweiten Leistung einen Leistungsschwellenwert überschreitet.
8. Das System (100), nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei:
 das vorgeschaltete Gerät (112) eine erste Leistung des Sensornetzwerks, die mit einer Einsatzperiode verbunden ist, mit einer zweiten Leistung des Sensornetzwerks, die mit einer Wartungsperiode verbunden ist, vergleicht; und
 ein Analyseprozessor, der die Leistung der kabellosen Kommunikation des Sensornetzwerks bestimmt, aktualisiert wird.

9. Das System (100), nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das vorgeschaltete Gerät (112) einen Sensor-Fingerabdruck für jeden Sensor der Vielzahl von Sensoren auf der Grundlage des Aggregat-Fingerabdrucks oder des Zonen-Fingerabdrucks erzeugt.
10. System (100) nach Anspruch 9, wobei:
das vorgeschaltete Gerät bestimmt, ob sich eine Empfangscharakteristik von mindestens einem Sensor (110, 540) der Vielzahl von Sensoren basierend auf der Vielzahl von Sensor-Fingerabdrücken geändert hat, und die Sensornetzwerkconfiguration für die eine oder mehrere Zonen der Vielzahl geändert wird, insofern der Abstand zwischen einem bestimmten Paar von Sensoren einen Abstandsschwellenwert nicht erfüllt.
11. Verfahren (400) zur Überwachung eines Sensornetzwerks, umfassend:
Sammeln (412, 414) von Signalstärkedaten für Sensorpaare einer Vielzahl von Sensoren, wobei jedes Sensorpaar einen Sender (116, 542) und einen Empfänger (118-134) enthält, wobei jeder Sensor (110, 540) der Vielzahl von Sensoren der Reihe nach als Sender (116, 542) fungiert, wobei die Signalstärkedaten für jedes Sensorpaar Signalen entsprechen, die von jedem Sender gesendet und von jedem Empfänger empfangen werden;
Erzeugen eines Gesamtfingerabdrucks (432) basierend auf den Signalstärkedaten;
Erzeugen eines Zonen-Fingerabdrucks (436) für jede Zone einer Vielzahl von Zonen auf der Grundlage des Gesamtfingerabdrucks, wobei jeder Zonen-Fingerabdruck den Signalstärkewert für jedes Paar aus Sender und Empfänger der entsprechenden Zone enthält; und
Bestimmen einer Leistung einer kabellosen Kommunikation des Sensornetzwerks (442) basierend auf den Zonen-Fingerabdrücken der Vielzahl von Zonen,
wobei eine Sensornetzwerkconfiguration für eine oder mehrere Zonen (510, 520, 530) basierend auf der Leistung einer kabellosen Kommunikation des Sensornetzwerks geändert wird (448).
12. Das Verfahren (400) nach Anspruch 11, wobei das Verfahren (400) ferner die Bestimmung des Signalstärkewerts, eines Signalstärkesummenwerts und eines Signalstärkequadratwerts der empfangenen Signale umfasst.
13. Verfahren (400) nach Anspruch 11 oder 12, wobei das Erzeugen des Gesamtfingerabdrucks (432) das Berechnen eines Mittelwertmerkmals, eines Standardabweichungsmerkmals und eines Empfangsratenmerkmals (434) für jedes Paar aus Sender und Empfänger auf der Grundlage der Signalstärkewerte der kabellosen Kommunikationsdaten umfasst, wobei die Empfangsrate auf der Grundlage einer Anzahl von Signalen berechnet wird, die zwischen dem entsprechenden Paar aus Sender und Empfänger kommuniziert werden.
14. Verfahren (400) nach Anspruch 11, 12 oder 13, wobei das Erzeugen des Zonenfingerabdrucks (436) das Filtern des Mittelwertmerkmals und des Standardabweichungsmerkmals auf der Grundlage des Empfangsratenmerkmals (438) umfasst.
15. Verfahren (400) nach Anspruch 14, wobei das Filtern des Mittelwertmerkmals und des Standardabweichungsmerkmals (438) das Zuweisen eines Nullwerts zu einem bestimmten Mittelwertmerkmal oder Standardabweichungsmerkmal auf der Grundlage des entsprechenden Empfangsratenmerkmals umfasst, insofern das Empfangsratenmerkmal unter einem Schwellwert liegt.
16. Verfahren (400) nach einem der Ansprüche 11 bis 15, wobei:
das Bestimmen der Leistung einer kabellosen Kommunikation des Sensornetzwerks (442) das Bestimmen eines Abstands (444) zwischen jedem Paar von Zonen der Vielzahl von Zonen (510, 520, 530) umfasst; und
das Ändern der Sensornetzwerkconfiguration (448) für eine oder mehrere Zonen der Vielzahl von Zonen (510, 520, 530) das Ändern einer Sensornetzwerkconfiguration abhängig davon, dass der Abstand zwischen einem bestimmten Paar von Zonen einen Abstandsschwellenwert nicht erfüllt, umfasst.
17. Verfahren (400) nach einem der Ansprüche 11 bis 16, wobei:
das Bestimmen der Leistung einer kabellosen Kommunikation des Sensornetzwerks (442) das Vergleichen einer ersten Leistung des Sensornetzwerks, die mit einer Einsatzperiode verbunden ist, mit einer zweiten Leistung des Sensornetzwerks, die mit einer Wartungsperiode (446) verbunden ist, umfasst; und
das Ändern der Sensornetzwerkconfiguration (448) für eine oder mehrere Zonen der Vielzahl von Zonen (510, 520, 530) das Ändern einer Sensornetzwerkconfiguration abhängig davon, dass ein Unterschied zwischen der ersten und der zweiten Leistung eine Leistungsschwelle überschreitet, umfasst.
18. Verfahren (400) nach einem der Ansprüche 11 bis 17, wobei:
das Bestimmen der Leistung einer kabellosen Kommunikation des Sensornetzwerks (442) das Vergleichen einer ersten Leistung des Sensornetzwerks, die mit einer Errichtungsperiode verbunden ist, mit einer zweiten Leistung des Sensornetzwerks, die mit einer Wartungsperiode (446) verbunden ist, umfasst; und
das Ändern der Sensornetzwerkconfiguration (448) für eine oder mehrere Zonen der Vielzahl von Zonen (510, 520, 530) das Aktualisieren eines Analyseprozessors umfasst, der die Leistung einer kabellosen Kommunikation des Sensornetzwerks bestimmt.
19. Das Verfahren (400), nach einem der Ansprüche 11 bis 18, wobei das Verfahren (400) zudem das Erzeugen eines Sensor-Fingerabdrucks (440) für jeden Sensor der Vielzahl von Sensoren auf der Grundlage des Aggregat-Fingerabdrucks oder des Zonen-Fingerabdrucks umfasst.

20. Das Verfahren (400), nach Anspruch 19, wobei das Verfahren (400) zudem das Bestimmen, ob sich eine Empfangscharakteristik von mindestens einem Sensor (110, 540) der Vielzahl von Sensoren basierend auf der Vielzahl von Sensor-Fingerabdrücken geändert hat umfasst, wobei das Ändern der Sensornetzwerkconfiguration für eine oder mehrere Zonen der Vielzahl von Zonen (510, 520, 530) das Ändern der Sensornetzwerkconfiguration für die eine oder mehrere Zonen der Vielzahl von Zonen (510, 520, 530) abhängig davon, dass der Abstand zwischen einem bestimmten Paar von Sensoren einen Abstandsschwellenwert nicht erfüllt, umfasst.

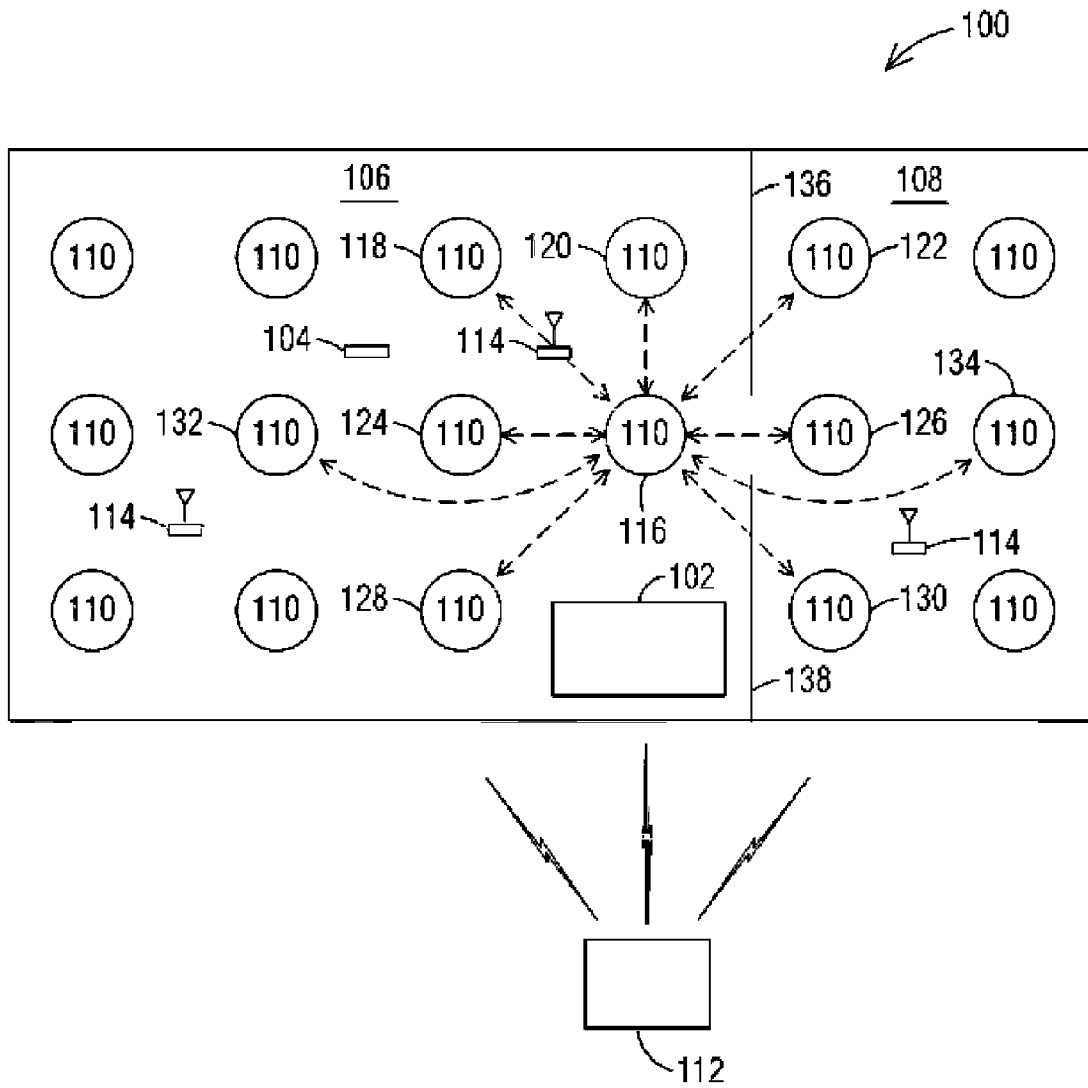


Fig. 1

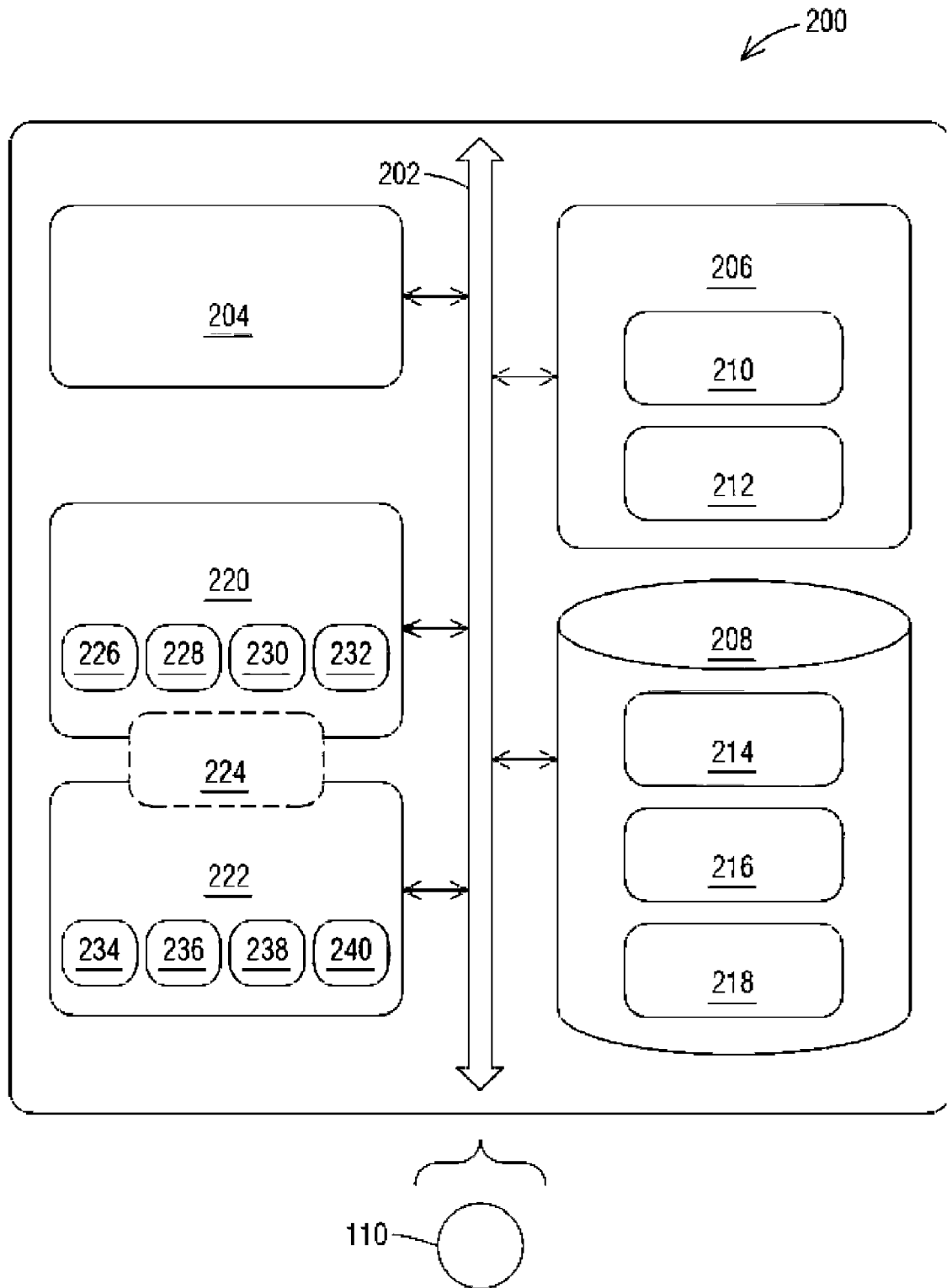


Fig. 2

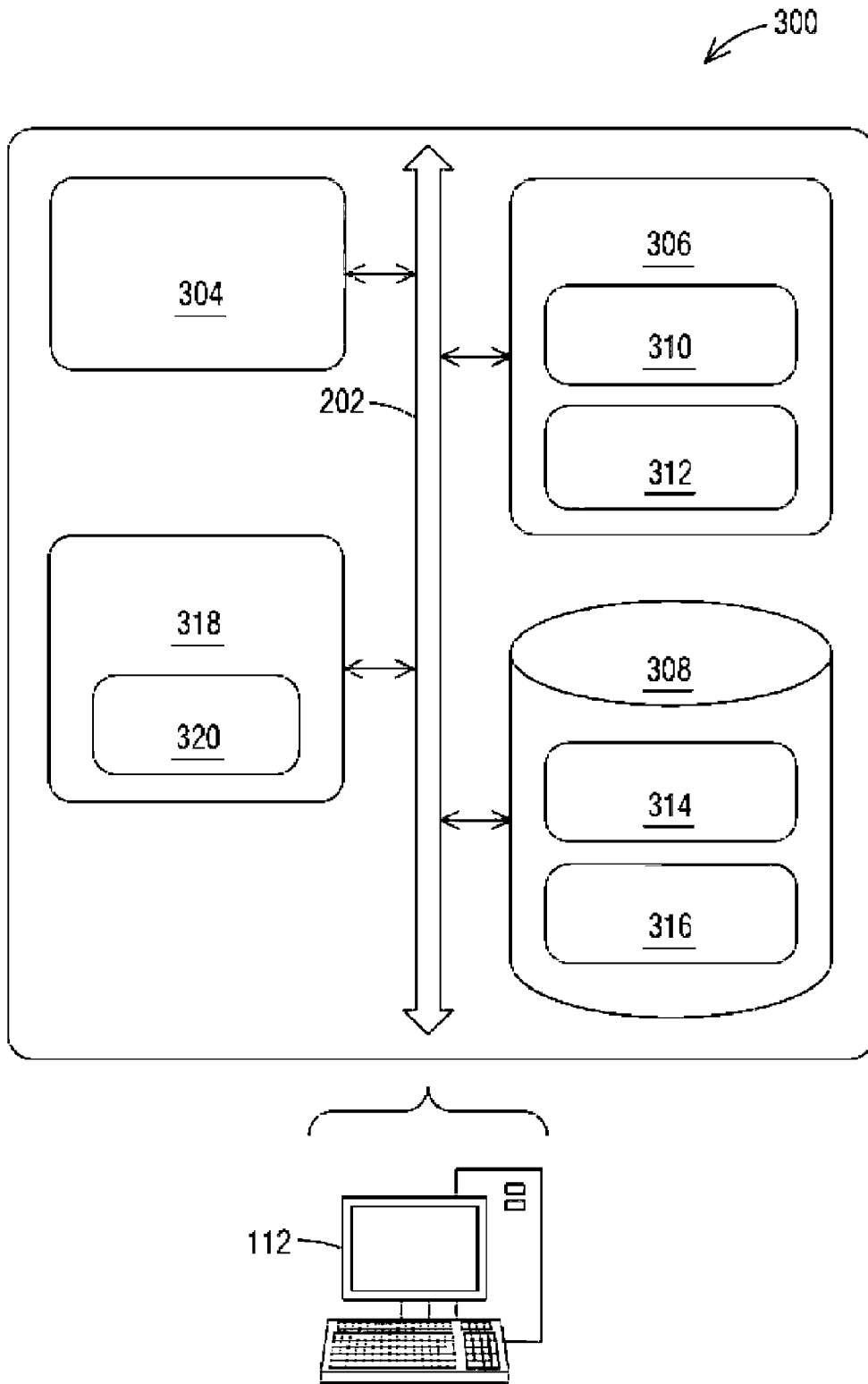


Fig. 3

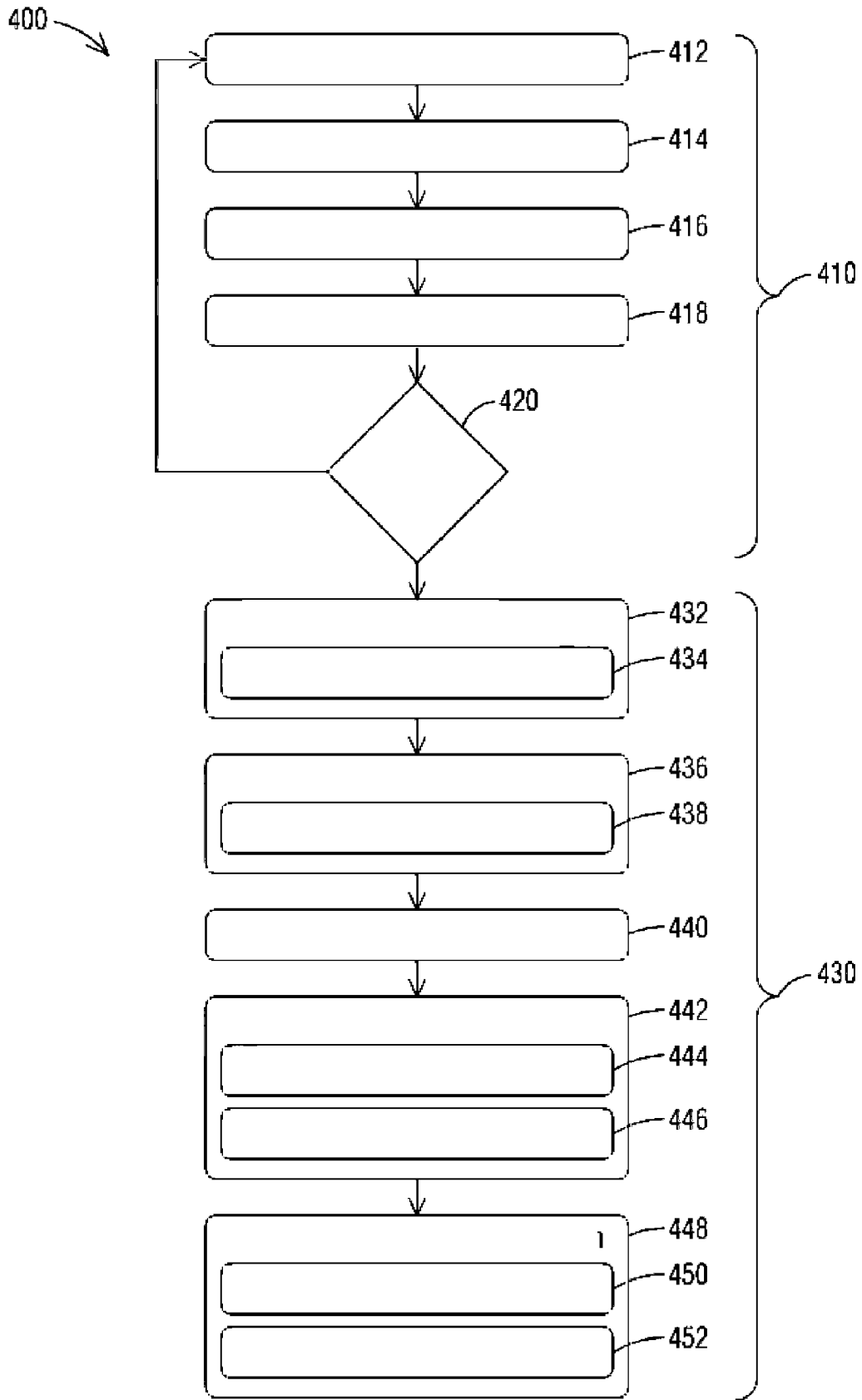


Fig. 4

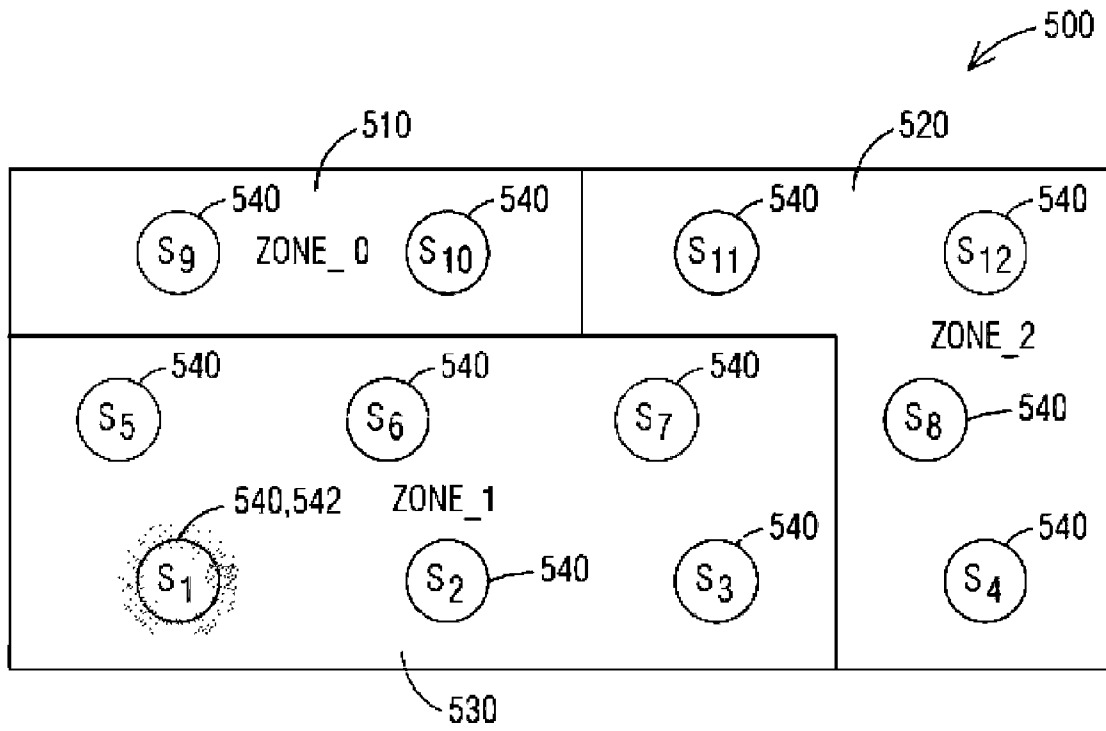


Fig. 5A

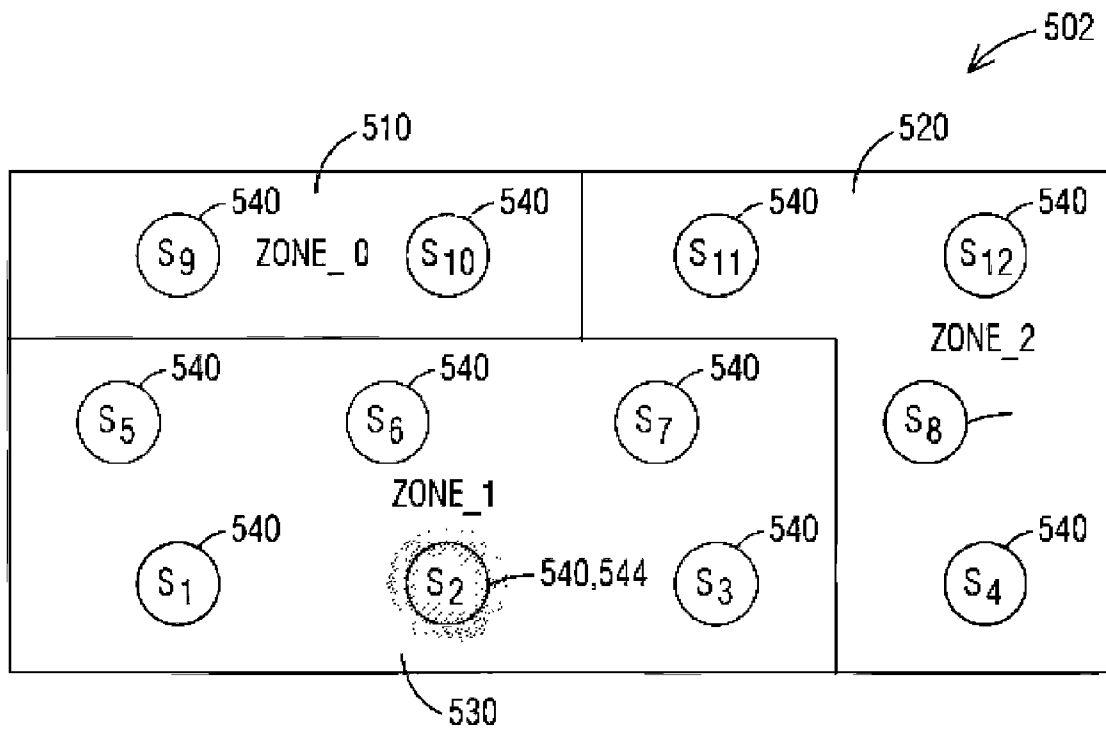


Fig. 5B

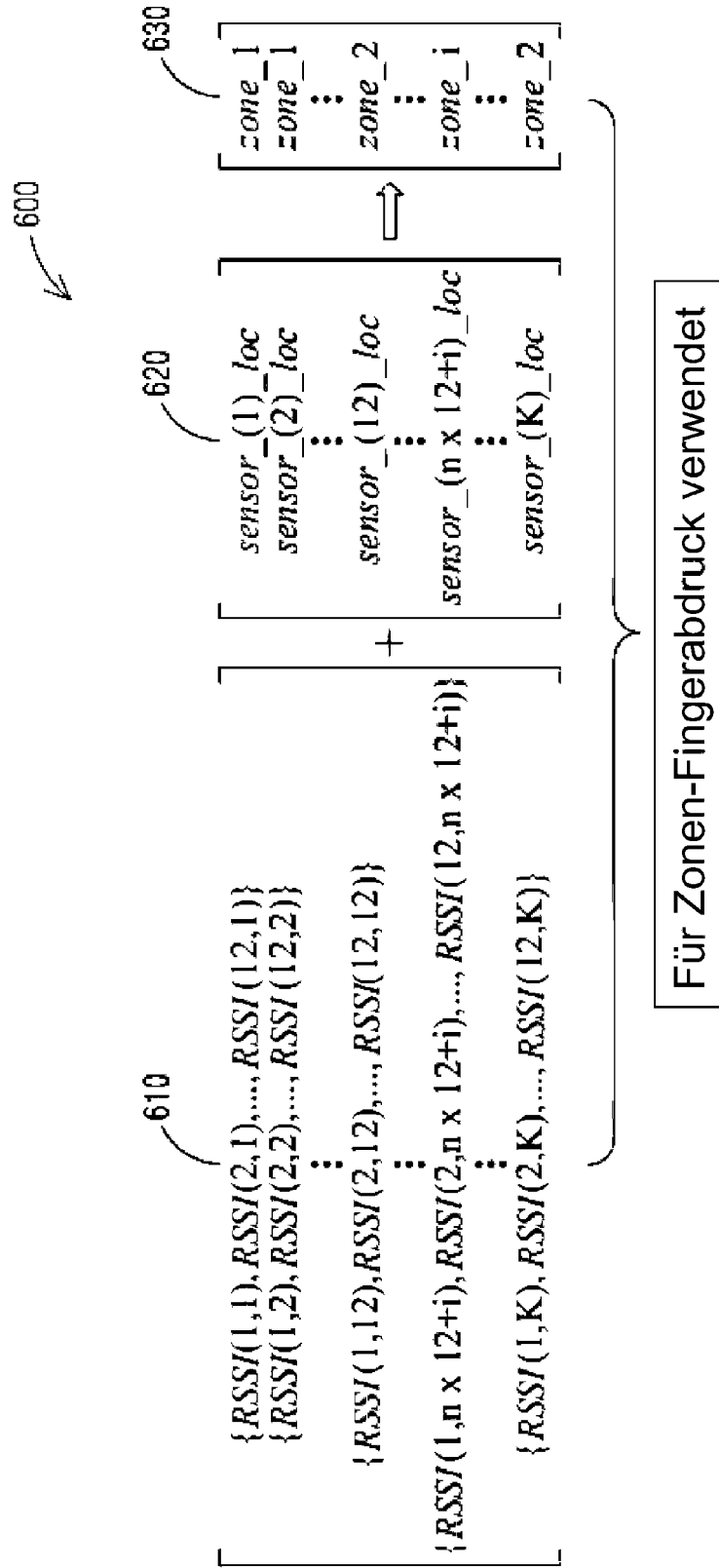


Fig. 6

	Empfänger			
Sender	Sensor 1	Sensor 2	...	Sensor 12
Sensor 1	NaN	-65	...	-99
Sensor 2	-65	NaN	...	-90
...
Sensor 9	-77.22	-80.34	...	-85
Sensor 10	-70.33	-84.64	...	-80

710

712

716

714

Fig. 7A

	Empfänger			
Sender	Sensor 1	Sensor 2	...	Sensor 12
Sensor 9	-77.22	-80.34	...	-85
Sensor 10	-70.33	-84.64	...	-80

720

722

724

Fig. 7B

	Empfänger			
Sender	Sensor 1	Sensor 2	...	Sensor 12
Sensor 9	-77.22	-80.34	...	-85
Sensor 10	-70.33	-84.64	...	-80

730

732

	Empfänger			
Sender	Sensor 1	Sensor 2	...	Sensor 12
Sensor 9	4.50	3.22	...	8.30
Sensor 10	5.03	3.74	...	7.09

734

	Empfänger			
Sender	Sensor 1	Sensor 2	...	Sensor 12
Sensor 9	66.5%	62.4%	...	27.33%
Sensor 10	47.6%	40.33%	...	32.24%

736

Fig. 7C

RSSI: Mittelwert Grundriss Fingerabdruck

$$\begin{bmatrix} \mu_{RSSI}^{1,1} & \mu_{RSSI}^{1,2} & \dots & \mu_{RSSI}^{1,12} \\ \mu_{RSSI}^{2,1} & \mu_{RSSI}^{2,2} & \dots & \mu_{RSSI}^{2,12} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_{RSSI}^{12,1} & \mu_{RSSI}^{12,2} & \dots & \mu_{RSSI}^{12,12} \end{bmatrix}$$

f_{μ}^{z1}

800 ↙

RSSI: Sigma Grundriss Fingerabdruck

$$\begin{bmatrix} \sigma_{RSSI}^{1,1} & \sigma_{RSSI}^{1,2} & \dots & \sigma_{RSSI}^{1,12} \\ \sigma_{RSSI}^{2,1} & \sigma_{RSSI}^{2,2} & \dots & \sigma_{RSSI}^{2,12} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{RSSI}^{12,1} & \sigma_{RSSI}^{12,2} & \dots & \sigma_{RSSI}^{12,12} \end{bmatrix}$$

f_{σ}^{z1}

RSSI: Empfangsrate Grundriss Fingerabdruck

$$\begin{bmatrix} \gamma_{RSSI}^{1,1} & \gamma_{RSSI}^{1,2} & \dots & \gamma_{RSSI}^{1,12} \\ \gamma_{RSSI}^{2,1} & \gamma_{RSSI}^{2,2} & \dots & \gamma_{RSSI}^{2,12} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \gamma_{RSSI}^{12,1} & \gamma_{RSSI}^{12,2} & \dots & \gamma_{RSSI}^{12,12} \end{bmatrix}$$

f_{γ}^{z1}

$$D^{t1,t2} = \alpha * D_{\mu}(f_{\mu}^{t1}, f_{\mu}^{t2}) + \beta * D_{\sigma}(f_{\sigma}^{t1}, f_{\sigma}^{t2}) + \zeta * D_{\gamma}(f_{\gamma}^{t1}, f_{\gamma}^{t2})$$

wobei

$D^{t1,t2}$ Fingerabdruck Distanz zwischen t1 und t2

α, β, ζ : Individuelle Gewichtung der Fingerabdrücke, $\alpha + \beta + \zeta = 1$

Fig. 8