



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) **CH 721 086 A2**

(19)

Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer 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)
H04B 17/27 (2015.01)
G06N 20/00 (2019.01)

(12) **PATENTANMELDUNG**

(21) Anmeldenummer: 000907/2024

(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

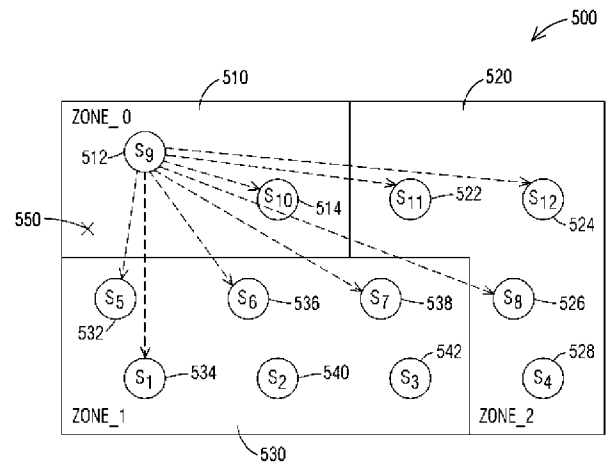
(30) Priorität: 30.08.2023 US 18/458,528

(74) Vertreter:
BOVARD AG,
Patent- und Markenanwälte Optingenstrasse 16
3013 Bern (CH)

(54) **ECHTZEIT-ORTUNGSSYSTEM UND -VERFAHREN MIT SENSOR-ZU-SENSOR-DATENERFASSUNG**

(57) Die Erfindung betrifft ein Echtzeit-Ortungssystem, umfassend Sensoren (512, 514, 522, 524, 526, 528, 532, 534, 536, 538, 540, 542) und ein vorgeschaltetes Gerät, das mit den Sensoren kommuniziert. Sensorpaare der Sensoren umfassen einen Sender (512) und einen Empfänger (514, 522, 524, 526, 528, 532, 534, 536, 538, 540, 542). Jeder Sensor (512, 522, 524, 526, 528, 532, 534, 536, 538, 540, 542) fungiert der Reihe nach als Sender (512), während alle anderen Sensoren als Empfänger (514, 522, 524, 526, 528, 532, 534, 536, 538, 540, 542) fungieren und Daten zur Signalstärke sammeln. Das vorgelagerte Gerät bestimmt einen etikettierten Datensatz auf der Grundlage der Signalstärkedaten für die Sensorpaare und der mit den Signalstärkedaten verbundenen Zonetiketten. Das RTLS ML-Modell wird auf der Grundlage des markierten Datensatzes trainiert.

Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren für ein Echtzeit-Ortungssystem.



Beschreibung

Technisches Gebiet der Erfindung

[0001] Diese Anwendung bezieht sich auf den Bereich der Verfolgungssysteme für Ressourcen eines Betriebs, sogenannte Asset-Tracking-Systeme, und insbesondere auf ein Echtzeit-Ortungssystem einer Gruppe von Radiofrequenz (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 Umgebungskontrolle, wie z. B. Sicherheits-, Brandschutz-, Beleuchtungs-, Heizungs-, Lüftungs- und Klimatisierungssysteme (HVAC). Die Systeme können auch nicht-umweltbezogene Kontrollfunktionen für die Verwaltung und die Bewohner eines Gebäudes bereitstellen, wie z. B. die Verfolgung des Standorts von Ressourcen (einschließlich der Bewohner), den Assets, in Innenräumen.

[0003] Eine Echtzeit-Ortungssystem (Real-time Location System, RTLS) Infrastruktur, die in einem Gebäude oder einem einzelnen Stockwerk installiert ist, besteht in der Regel aus Sensoren, die in Deckenhöhe oder auf Schreibtischhöhe oder beidem in einem Bereich mit mehreren Zonen mit unterschiedlicher Größe, Deckenhöhe, Möbeln oder anderen unterschiedlichen räumlichen Merkmalen installiert sind. Das RTLS kann auch in mehrstöckigen Gebäuden installiert werden. Das RTLS-System verfolgt Bluetooth-Kennzeichnungen, sogenannte Tags, die an den Assets angebracht sind. Wenn ein Tag ein Signal aussendet, empfangen die im Gebäude installierten Sensoren das Signal. Die Eigenschaften des von den Sensoren empfangenen Signals (auch bekannt als Sensoraktivierungsmuster) werden verwendet, um die Tags innerhalb des Gebäudegrundrisses zu lokalisieren.

[0004] Der Betrieb eines RTLS-Systems besteht aus zwei Phasen: einer Offline- und einer Online-Phase. In der Offline-Phase wird ein Modell für maschinelles Lernen (ML) trainiert, um die Charakteristik des Received Signal Strength Indicator (RSSI), einem Indikator für die Empfangsfeldstärke eines Signals, für jede Zone zu erkennen. Eine Zone ist ein beliebig begrenzter Bereich in einem Grundriss, z. B. ein Raum. Die Trainingsdaten werden gesammelt, indem Tags innerhalb jeder Zone bewegt werden, während die RSSI-Werte an den Sensoren aufgezeichnet und die Daten mit dem Zonennamen gekennzeichnet werden. Während der Online-Phase wird das trainierte Modell verwendet, um aus dem RSSI-Signal eines Tags den wahrscheinlichsten Standort des Tags innerhalb einer Zone zu ermitteln.

[0005] Die Datenerfassung in der Offline-Phase wird im Allgemeinen manuell von einer Person durchgeführt. Dies kann kostspielig in Form des Arbeitsaufwands sein und ist logistisch schwierig zu organisieren, da es laufende Betriebsvorgänge eines Kunden stören könnte. Ferner kann eine Sicherheitsfreigabe durch den Kunden erforderlich sein um der jeweiligen Person Zugang zu gewähren.

Zusammenfassung der Erfindung

[0006] Gemäß mindestens einer Ausführungsform der Offenlegung wird ein Echtzeit-Ortungssystem (Real-time Location System, RTLS) für die Verfolgung von Ressourcen eines Betriebs, ein Asset-Tracking-System, bereitgestellt. Das RTLS nutzt Techniken des maschinellen Lernens, um Tags eines Asset in einer Einrichtung zu lokalisieren. Der Ansatz beschreibt eine automatisierte Datenerfassungsmethode, die keine physische Person erfordert, um ein RTLS ML-Modell zu trainieren.

[0007] Ein Aspekt ist ein Echtzeit-Ortungssystem mit Sensorpaaren aus mehreren Sensoren und einem vorgeschalteten Gerät, die mit den Sensoren kommuniziert. Die Sensorpaare umfassen einen Sender und einen Empfänger für jedes Sensorpaar. Jeder Sensor fungiert der Reihe nach als Sender, während alle anderen Sensoren als Empfänger bezeichnet werden und Daten zur Signalstärke an jedem Empfänger gesammelt werden. Am Ende dieses Prozesses verfügt das System über Signalstärkedaten für jedes Sensorpaar im Sensornetzwerk. Das vorgelagerte Gerät bestimmt auf der Grundlage der Signalstärkedaten für die Sensorpaare und der den Signalstärkedaten zugeordneten Zonenetiketten einen gekennzeichneten Datensatz. Das vorgelagerte Gerät erweitert die Signalstärkedaten der Sensorpaare, um zu simulieren, dass Tags Signale an Sensoren von verschiedenen Orten innerhalb der Zone senden, um einen gekennzeichneten Datensatz zu erzeugen. Das RTLS ML-Modell wird auf der Grundlage des gekennzeichneten Datensatzes trainiert.

[0008] Der hier beschriebene Ansatz zur Datenerfassung nutzt die Sensor-zu-Sensor-Kommunikation anstelle der mobilen Tag-zu-Sensor-Kommunikation, um Trainingsdaten für das RTLS ML-Modell zu erzeugen. Das Verhältnis von RSSI zur Distanz wird verwendet, um die Signalstärke von Signalen, die von einem Sender an einer festen Position an einen Empfänger gesendet werden, zu erweitern. Diese Erweiterung wird verwendet, um Signale zu simulieren, die von einem Tag an verschiedenen Positionen innerhalb einer bestimmten Zone gesendet werden.

[0009] Die Sensoraktivierung wird anhand der empfangenen Signalstärke der Kommunikation zwischen den Sensoren gemessen, z. B. anhand von RSSI-Werten. Eine Kennzeichnung identifiziert eine Zone, die mit dem Standort eines Tags verbunden ist. Gekennzeichnete Daten, die die Signalstärkedaten und die Zonenbezeichnungen umfassen, werden zum Trainieren eines ML-Modells verwendet.

[0010] Ein erfindungsgemäßes Echtzeit-Ortungssystem (RTLS) kann dazu dienen, den Standort eines oder mehrerer Objekte in einer Einrichtung zu identifizieren. Das RTLS kann ein Sensorverwaltungssystem umfassen, das Informationen an ein Gebäudemanagementsystem oder andere Verwaltungsdienste, wie z. B. ein Umweltkontrollsystem einer Einrichtung, liefert, um die Dienste dieser Systeme für Gebäudeeigentümer, Manager, Techniker und Bewohner zu verbessern. Das RTLS kann das Gebäudemanagementsystem dabei unterstützen, die Umgebungsbedingungen, beispielsweise die Bedingungen, die ein Bewohner oder ein anderes, mit dem Tag verbundenes, Asset erlebt, zumindest teilweise basierend auf den Standorten der Tags verwalten. Das RTLS beinhaltet eine Infrastruktur, um die Standorte von einem oder mehreren Tags innerhalb einer Struktur, wie z.B. einem Innenraum oder einem definierten Bereich 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.

[0011] Ein Sensor-Knotenpunkt (Sensor-Hub) kann zusammen mit einigen oder allen Sensoren in einem Bereich der Einrichtung platziert werden. Bei anderen Ausführungsformen kann der Sensor-Hub von den Sensoren und/oder der Anlage entfernt sein. So kann sich der Sensor-Hub beispielsweise in der Cloud befinden und direkt oder indirekt, zumindest teilweise über das Internet oder ein anderes Kommunikationsnetzwerk, mit den Sensoren kommunizieren. Der Sensor-Hub kommuniziert direkt oder indirekt mit den Sensoren, wobei die Verbindung zwischen dem Sensor-Hub und den Sensoren kabelgebundene, kabellose oder beide Verbindungsarten umfassen kann. Einige Ausführungsformen des RTLS können kabelgebundene oder kabellose Übergabestellen, sogenannte Gateways, enthalten, die zwischen den Sensoren in der Einrichtung positioniert sind. Die Gateways können als Kommunikationstransponder zwischen dem Sensor-Hub und den Sensoren dienen. Ähnlich wie die Sensoren und der Sensor-Hub können auch die Gateways Daten verarbeiten, um die hier beschriebenen Techniken anzuwenden.

[0012] Die Sensoren der Infrastruktur können an festen Stellen im gesamten Bereich positioniert werden. Die Sensoren können gleichmäßig über einen Bereich verteilt sein oder selektiv in ungleichmäßiger Weise verteilt werden, je nachdem, wie es für die Erkennung von Tags vorzuziehen ist. Die Sensoren sind so konfiguriert, dass sie Signale erkennen, die von einer oder mehreren Quellen gesendet werden, die mit den Positionen der Assets verknüpft sind. Beispielsweise können Bewohner eines Gebäudes oder Mitarbeiter eines Betriebs die Tags zur Erkennung durch die Sensoren bei sich tragen, unter anderem, um die Verfolgung der Geräte der Infrastruktur zu erleichtern. Jedes der Tags kann jede Art von transportablem Gerät sein, das zur kabellosen Kommunikation mit den Sensoren der Einrichtung in der Lage ist. Beispiele für solche Tags sind unter anderem Anhänger, Wearables, kabellose Kommunikationsgeräte, Tablets, tragbare Computer und jede andere Art von transportablen Geräten, die einen Schaltkreis zur Übertragung eines Signals enthalten.

[0013] Ein erfindungsgemäßes RTLS kann mehrere Sensoren umfassen, die in der Lage sind, über kabellose Kommunikation, wie z. B. Hochfrequenzsignale (radio frequency, 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 RTLS kann ein Sender an einem Senderstandort innerhalb der Struktur positioniert werden, und ein oder mehrere nahe Empfänger können an Empfängerstandorten innerhalb der Struktur nahe dem Sender positioniert werden. Bei einigen Ausführungsformen können ein oder mehrere entfernte Empfänger an Empfängerstandorten innerhalb der Struktur weiter entfernt vom Sender positioniert werden, wobei ein oder mehrere nahe Empfänger zumindest teilweise zwischen dem Sender und dem/den entfernten Empfänger(n) oder anderweitig näher am Sender relativ zu dem/den entfernten Empfänger(n) liegen. Jeder Sensor und sein Standort befindet sich innerhalb des Empfangsbereichs 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 RTLS Sender und/oder Empfänger sein.

[0014] Für das RTLS kann der Sender ein oder mehrere kabellose Signale senden, die von einem oder mehreren Sensoren, z. B. den nahen Empfängern, den entfernten Empfängern oder beiden, erfasst oder empfangen werden können. Die Empfänger, wie z. B. die nahen oder entfernten Empfänger, können ein gemessenes Funksignal („Funksignal“) und seinen entsprechenden Wert auf der Grundlage der empfangenen Funksignale bestimmen. Das gemessene Funksignal kann beispielsweise ein Received Signal Strength Indicator (RSSI) oder ein vergleichbarer Wert sein, wenn ein Signal übertragen wird, oder statistische Merkmale, die auf mehreren empfangenen Signalen von dem Sender basieren. Außerdem können ein erwartetes kabelloses Signal oder erwartete statistische Merkmale auf der Grundlage des Standorts des Senders und des Standorts des nahen und/oder entfernten Empfängers bestimmt werden oder den Empfängern, einem dem Empfänger vorgeschalteten Gerät oder beiden bekannt sein. So kann beispielsweise ein 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 in Bezug gebracht werden. Die Standorte eines bestimmten Sensorpaares entsprechen einem erwarteten Funksignal dieser Sensoren. Beispiele für das vorgeschaltete Gerät sind unter anderem der Sensor-Hub oder das Gateway. Die statistischen Merkmale, die auf den vom Empfänger erfassten oder empfangenen oder anderweitig vom RTLS gemessenen Signalen basieren, gelten als erfasste statistische Merkmale, und die vom RTLS ermittelten 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 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 basieren, sind aber nicht darauf beschränkt.

[0015] Mit statistischen Merkmalen wird versucht, die Verteilung der empfangenen Funksignale zu charakterisieren. 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 vorgelagert durchgeführt werden kann.

[0016] 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, einem Gateway, dem Sensor-Hub, in der Cloud oder einer Kombination dieser Einheiten bestimmt werden.

[0017] Das vorgeschaltete Gerät kann ferner so konfiguriert sein, dass es feststellt, dass eine Differenz zwischen dem gemessenen kabellosen Signal („kabelloses Signal“) und dem erwarteten kabellosen Signal und/oder ihnen entsprechenden Werten einen vorbestimmten Schwellenwert überschreitet, und spezifische Maßnahmen ergreift. Zu den Maßnahmen gehören unter anderem die Benachrichtigung eines Geräts, die Übertragung von Signalen zwischen Sensoren oder die Durchführung von Folgemaßnahmen zur Bestimmung der Differenz zwischen den Signalwerten. Beispielsweise kann das vorgeschaltete Gerät ein mobiles Gerät eines Technikers oder ein Kontrollzentrum eines Gebäudemanagementsystems benachrichtigen, um die Sensoren zu untersuchen, die mit der abnormalen Signalwertdifferenz assoziiert sind. Das vorgelagerte Gerät kann auch eine weitere Kommunikation zwischen den Sensoren initiieren, die über die zuvor übermittelten kabellosen Signale vom Sender zum Empfänger hinausgeht. Beispielsweise kann der Sender kabellose Signale an andere Sensoren (einen nahen oder entfernten Empfänger) senden, die mit der Signalwertdifferenz verbunden sind, oder umgekehrt. Dabei kann das System feststellen, ob sich einer der beiden Sensoren an einer erwarteten Stelle relativ zum anderen Sensor befindet, ob er einer in einem Boden- oder Deckenplan angegebenen Stelle entspricht oder ob er 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. Das vorgelagerte 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. In einer weiteren Ausführungsform können die vorgeschalteten Geräte einen oder mehrere Sensoren in der Umgebung identifizieren, die eine Fehlfunktion aufweisen, nicht mehr 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.

[0018] Das RTLS 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 ihnen entsprechenden Werten einen vorgegebenen Schwellenwert überschreitet, kann das vorgeschaltete Gerät feststellen, dass zwischen dem Sender und dem Empfänger (wie dem nahen Empfänger oder dem entfernten Empfänger) ein Hindernis besteht. Zum Beispiel kann ein erstes Hindernis zwischen dem Sender und dem Empfänger bestehen. Ein zweites Hindernis kann zwischen dem Sender und dem Empfänger vorhanden sein. Die Signalwertdifferenz kann diese Behinderung(en) anzeigen, und das vorgeschaltete Gerät kann entsprechend reagieren.

[0019] Das RTLS kann ein oder mehrere Hindernisse innerhalb der Struktur erwarten, insbesondere wenn dies durch einen Boden- oder Deckenplan angezeigt wird. Bei 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 nahen Empfänger oder dem entfernten Empfänger) vorhanden ist, obwohl es vorhanden sein sollte. So kann beispielsweise ein erstes Hindernis zwischen dem Sender und dem Empfänger bestehen, ein zweites Hindernis kann zwischen dem Sender und dem Empfänger bestehen, oder beides. Die Signalwertdifferenz kann das Fehlen eines Hindernisses bzw. der Hindernisse anzeigen (d. h. das Vorhandensein des Hindernisses nicht anzeigen), was z. B. durch eine falsche Platzierung der Sensoren oder eine falsche Positionierung eines Sensors auf einem Boden- oder Deckenplan verursacht werden kann. Daraufhin können die vorgeschalteten Geräte geeignete Maßnahmen ergreifen.

[0020] Ein Sensor kann, wie beschrieben, Signalunterschiede zwischen dem gemessenen Funksignal und dem erwarteten Funksignal aufweisen, die die Schwellenwerte überschreiten oder anderweitig als abnormal eingestuft werden, wenn mehrere Sensoren senden, während der Sensor empfängt. Dies könnte darauf hindeuten, dass die Empfangsfähigkeit des Sensors im Vergleich zur Spezifikation abnormal ist. Wenn ein Sensor sendet, können andere Sensoren Signalunterschiede aufweisen, die die Schwellenwerte überschreiten oder anderweitig als abnormal eingestuft werden. Dieses Verhalten kann darauf hindeuten, dass die Sendefähigkeit abnormal ist. In diesen Fällen können die vorgelagerten Geräte ebenfalls geeignete Maßnahmen ergreifen.

[0021] In einer Ausführungsform enthält der gekennzeichnete Datensatz bestimmte Signalstärkedaten für jedes Sensorpaar und eine Zonenbezeichnung, die den bestimmten Signalstärkedaten für jedes Sensorpaar entspricht.

[0022] Gemäß einer anderen Ausführungsform bestimmt jeder Empfänger einer Vielzahl an Empfängern den Signalstärkewert, einen Signalstärkesummenwert und einen Signalstärkequadratwert des empfangenen Signals. Empfangene kabellose Signale oder ein auf den empfangenen kabellosen Signalen basierendes Signal können dem vorgelagerten Gerät (wie 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 Empfänger und abgeleitete statistische Merkmale an dem vorgelagerten Gerät bestimmt werden. Die Aufteilung und Koordinierung von statistischen Merkmalen kann genutzt werden, um den Netzwerkverkehr zu minimieren und die Gefahr von Übertragungsfehlern zu verringern.

[0023] In einer weiteren Ausführungsform modifiziert das vorgelagerte Gerät die Signalstärkedaten, um eine Tag-Position zu simulieren, die auf einer Signalstärkestatistik oder einem Signalstärke-Distanz-Modell basiert.

[0024] In einer bevorzugten Art und Weise simuliert das vorgeschaltete Gerät einen Signalstärkewert an einem bestimmten Sensor aus der Vielzahl der Sensoren auf der Grundlage eines Signalstärkewerts eines dem bestimmten Sensor am nächsten liegenden Sensors.

[0025] In vorteilhafter Weise ist das RTLS-Modell ein neuronales Netzwerk geeignet zum maschinellen Lernen, um eine mit den Signalstärkedaten verbundene Zone zu identifizieren.

[0026] In ebenso vorteilhafter Weise bestimmt die vorgelagerte Vorrichtung einen Standort eines Tags durch das trainierte RTLS-Modell auf der Grundlage von Signalstärkedaten, die von einem Tag und mindestens einem Sensor der Vielzahl von Sensoren gesammelt wurden, um einen Standort des Tags zu bestimmen.

[0027] Gemäß einer anderen Ausführungsform wird das RTLS ML-Modell so trainiert, dass es für jede Zone einen latenten Zonen-Fingerabdruck auf der Grundlage des gekennzeichneten Datensatzes lernt.

[0028] Ein weiterer Aspekt ist ein Verfahren für ein Echtzeit-Ortungssystem. Es werden Signalstärkedaten für Sensorpaare aus mehreren Sensoren gesammelt. Jedes Sensorpaar besteht aus einem Sender und einem Empfänger. Jeder Sensor fungiert der Reihe nach als Sender, alle anderen Sensoren werden als Empfänger bezeichnet und sammeln Signalstärkedaten für Signale, die von jedem Sender gesendet werden. Auf der Grundlage der Signalstärkedaten für die Sensorpaare und der mit den Signalstärkedaten verbundenen Zonenbezeichnungen wird ein gekennzeichnete Datensatz ermittelt. Das RTLS ML-Modell wird auf der Grundlage des gekennzeichneten Datensatzes trainiert.

[0029] Ein ML-Modell eines RTLS kann mit Signalstärkewerten trainiert werden, die auf Signalen basieren, die zwischen Sensoren und nicht zwischen einem Tag und einem Sensor gesendet werden. Das ML-Modell kann einen latenten Zonen-Fingerabdruck aus der Zuordnung von Signalstärkedaten zu Zonenbezeichnungen lernen. Das ML-Modell kodiert oder erlernt einen Fingerabdruck für jede Zone. Um die Daten eines Tags genau darzustellen, wird die Beziehung zwischen Signalstärke und Distanz verwendet, um das Signal von Sensor zu Sensor so zu erweitern, dass der Eindruck entsteht, es stamme von einem Tag an verschiedenen Positionen innerhalb der Zone.

[0030] Jeder Sensor dient nacheinander als Sender und sendet ein Signal aus. Auf diese Weise wird jeder Sensor abwechselnd zum Sender. Die anderen, nicht sendenden, Sensoren empfangen vom Sender als Ergebnis der Signalübertragung. Die Signalstärkedaten für jedes Sensorpaar korrespondieren zu den von jedem Sender gesendeten und von jedem Empfänger empfangenen Signalen. Bei einigen Ausführungsformen kann jeder Empfänger den Signalstärkewert, einen Signalstärkesummenwert und einen Signalstärkequadratwert des empfangenen Signals bestimmen. In jedem Fall melden die Empfänger Daten an das vorgeschaltete Gerät, unabhängig davon, ob es sich um die empfangenen Messdaten oder um die aus den empfangenen Messdaten errechneten Daten handelt. Der Teilprozess der Datenerfassung wird so lange fortgesetzt, bis jeder Sensor die Möglichkeit hat, ein oder mehrere Signale zu senden, und die anderen Sensoren die Möglichkeit haben, das oder die Signale zu empfangen.

[0031] Zum Beispiel sendet ein Sensor im Netz eine Anzahl von RF-Signalen mit einem vorbestimmten Leistungspegel aus. Alle anderen Sensoren im Netzwerk empfangen und zeichnen die Anzahl, die Summe und die quadrierte Summe der empfangenen RF-Signale auf. Dieser Vorgang wird mit dem nächsten Sensor im Netzwerk wiederholt, bis alle Sensoren im RTLS die Möglichkeit haben, zu senden, zu empfangen und zu berichten. Dieses Verfahren kann mehrfach wiederholt werden, um die Robustheit der Ergebnisse zu erhöhen.

[0032] Nach einer Ausführungsform enthält gekennzeichnete Datensatz besondere Signalstärkedaten für jedes Sensorpaar und eine Zonenbezeichnung, die auf die jeweiligen Signalstärkedaten für jedes Sensorpaar bezogen sind.

[0033] In einer Ausführungsform umfasst das Verfahren die Bestimmung des Signalstärkewerts, eines Signalstärkesummenwerts und eines Signalstärkequadratwerts der empfangenen Signale.

[0034] Das Verfahren kann einen RSSI-Summenwert, einen RSSI-Quadratsummenwert und einen RSSI-Zählwert basierend auf den Signalstärkewerten berechnen. 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.

[0035] Die Signalstärkestatistiken können von Sensorpaaren erstellt werden, d. h. von einem Sensor, der mit einem anderen Sensor kommuniziert. Die Statistiken können für verschiedene Zwecke verwendet werden, z. B. zur Überprüfung des Zustands des Sensornetzwerks, bevor die Daten zum Trainieren des ML-Modells verwendet werden. Die Signalstärkestatistiken werden durch Berechnung eines Mittelwertmerkmals, eines Standardabweichungsmerkmals und eines Empfangsratenmerkmals für jedes Paar aus Sender und Empfänger auf der Grundlage der Signalstärkewerte der kabellos übertragenen Daten erstellt. 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 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.

[0036] Die Bestimmung der Signalstärkestatistik kann das Filtern des Mittelwertmerkmals und des Standardabweichungsmerkmals auf der Grundlage des Empfangsratenmerkmals umfassen. Beispielsweise können das Mittelwertmerkmal und das Standardabweichungsmerkmal gefiltert werden, indem einem bestimmten Mittelwertmerkmal oder Standardabweichungsmerkmal ein Nullwert zugewiesen wird, wenn das entsprechende Empfangsratenmerkmal unter einem Schwellenwert liegt. Das Empfangsratenmerkmal kann verwendet werden, um eine Filterung des Mittelwertmerkmals und des Standardabweichungsmerkmals 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.

[0037] In einer weiteren Ausführungsform umfasst das Verfahren das Modifizieren der Signalstärkedaten, um eine Tag-Position zu simulieren, die auf einer Signalstärkestatistik oder einem Signalstärke-Distanz-Modell basiert.

[0038] In einer bevorzugten Art und Weise umfasst das Verfahren die Simulation eines Signalstärkewertes an einem bestimmten Sensor der Vielzahl von Sensoren auf der Grundlage eines Signalstärkewertes eines dem bestimmten Sensor am nächsten liegenden Sensors.

[0039] In vorteilhafter Weise ist das RTLS-Modell ein neuronales Netzwerk geeignet zum maschinellen Lernen, um zu den Signalstärkedaten assoziierten Zone zu identifizieren. Dabei kann überwacht Lernen verwendet werden, um den maschinellen Lernprozess so zu trainieren, dass er zwischen Zonen auf der Grundlage des RSSI-Fingerprints unterscheidet.

[0040] Gemäß einer anderen Ausführungsform umfasst das Verfahren die Bestimmung eines Standorts eines Tags durch das trainierte RTLS-Modell auf der Grundlage von Signalstärkedaten, die von einem Tag und mindestens einem Sensor der Vielzahl von Sensoren gesammelt wurden, um einen Standort des Tags zu bestimmen.

[0041] Gemäß einer weiteren Ausführungsform umfasst das Training des RTLS-Modells das Trainieren des RTLS-ML-Modells zum Erlernen eines latenten Zonen-Fingerabdrucks für jede Zone auf der Grundlage des gekennzeichneten Datensatzes.

[0042] 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

[0043] Zum besseren Verständnis der vorliegenden Offenbarung und ihrer Vorteile wird auf die folgenden Beschreibungen in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen verwiesen, in denen gleiche Nummern gleiche Objekte bezeichnen.

Figur 1 ist eine schematische Darstellung eines RTLS in einer Beispielimplementierung, die zur Anwendung der hier beschriebenen Techniken geeignet ist.

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

Figur 3 ist ein Blockdiagramm von Beispielkomponenten eines vorgeschalteten Geräts von Figur 1.

Figur 4 ist ein Flussdiagramm der Trainings- und Inferenzpipeline des RTLS, das zur Anwendung der Techniken von Figur 1 betreibbar ist.

Figur 5 ist eine Illustration eines Grundrisses, der einen Beispieldatenerfassungsvorgang der Trainingsinferenzpipeline von Figur 4 darstellt.

Figur 6 ist ein Flussdiagramm, das einen Datensammelvorgang der Trainingsinferenzpipeline von Figur 4 in einer Beispielimplementierung darstellt, die zur Anwendung der hierin beschriebenen Techniken betrieben werden kann.

Figur 7 ist eine Darstellung eines gekennzeichneten Datensatzes, der für den Trainingsprozess des RTLS ML bestimmt wurde.

Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung

[0044] Verschiedene Technologien, die sich auf Systeme und Methoden beziehen, die das Training und den Betrieb eines maschinellen Lernmodells für ein Echtzeit-Ortungssystem (RTLS) erlauben, werden im Folgenden unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben, wobei 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 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. Funktionen, die als von bestimmten Systemelementen ausgeführt beschrieben werden, können ebenso von mehreren Elementen ausgeführt werden. 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 Anmeldung werden unter Bezugnahme auf beispielhafte, nicht einschränkende Ausführungsformen beschrieben.

[0045] Gemäß mindestens einer Ausführungsform wird ein Echtzeit-Ortungssystem (Real-time Location System, RTLS) für die Verfolgung von Ressourcen eines Betriebs, ein Asset-Tracking-System, bereitgestellt. Das RTLS nutzt Techniken des maschinellen Lernens, um Tags eines Asset in einer Einrichtung zu lokalisieren. Herkömmliche RTLS-Systeme erfordern eine physische Person, die sich mit Hilfe von kabellosen Tags durch jede Zone bewegt und dabei die von den Sensoren empfangenen Daten aufzeichnet, was wertvolle Zeit und Ressourcen erfordert. In einigen Fällen können diese konventionellen Systeme logistisch schwierig zu organisieren sein, da die Datenerfassung während der Betriebszeiten eines Kundenstandorts und/oder in Begleitung eines Kunden aufgrund von Sicherheitsbedenken erfolgen muss. Der hier beschriebene Ansatz zur Datenerfassung nutzt die Sensor-zu-Sensor-Kommunikation anstelle der mobilen Tag-zu-Sensor-Kommunikation, um Trainingsdaten für das RTLS ML-Modell zu generieren. Das Verhältnis von RSSI zur Distanz wird verwendet, um die Signalstärke von Signalen zu erweitern, die von einem Sender an einer festen Position an einen Empfänger gesendet werden. Diese Erweiterung wird verwendet, um Signale zu simulieren, die von einem Tag an verschiedenen Positionen innerhalb einer bestimmten Zone gesendet wird.

[0046] Die Sensoraktivierung wird anhand der empfangenen Signalstärke der Kommunikation zwischen den Sensoren gemessen, z. B. anhand von RSSI-Werten. Eine Kennzeichnung identifiziert eine Zone, die mit dem Standort eines Tags verbunden ist. Gekennzeichnete Daten, die die Signalstärkedaten und die Zonenbezeichnungen umfassen, werden zum Trainieren eines ML-Modells verwendet.

[0047] In Fig. 1 ist ein Echtzeit-Ortungssystem (RTLS) 100 zur Identifizierung des Standorts eines oder mehrerer Objekte in einer Einrichtung dargestellt. In einigen Ausführungsformen kann das RTLS 100 ein Sensorverwaltungssystem umfassen, das Informationen an ein Gebäudemanagementsystem oder andere Verwaltungsdienste, wie z. B. ein Umweltkontrollsystem 102 einer Einrichtung, liefert, um die Dienste dieser Systeme für Gebäudeeigentümer, Manager, Techniker und Bewohner zu verbessern. Das RTLS 100 kann das Gebäudemanagementsystem dabei unterstützen, die Umgebungsbedingungen, beispielsweise die Bedingungen, die ein Bewohner oder ein anderes, mit dem Tag verbundenes, Asset erlebt, die zumindest teilweise basierend auf den Standorten der Tags 104 zu verwalten. Das RTLS 100 beinhaltet eine Infrastruktur 110, 112, 114, um die Standorte von einem oder mehreren Tags 104 innerhalb einer Struktur, wie z.B. einem Innenraum oder einem definierten Bereich 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 Sensor-Knotenpunkt (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 Einrichtung 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, wobei die Verbindung zwischen dem Sensor-Hub 112 und den Sensoren kabelgebundene, kabellose oder beide Verbindungsarten umfassen kann. Einige Ausführungsformen des RTLS 100 können kabelgebundene oder kabellose Übergabestellen, sogenannte 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 einen Bereich 106, 108 verteilt sein oder selektiv in ungleichmäßiger Weise verteilt werden, je nachdem, wie es für die Erkennung von Tags vorzuziehen 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 verknüpft sind. Beispielsweise können Bewohner eines Gebäudes oder Mitarbeiter in einem Betrieb die Tags 104 zur Erkennung durch die Sensoren 110 bei sich tragen, unter anderem, um die Verfolgung der Geräte der Infrastruktur zu erleichtern. Jedes der Tags 104 kann jede Art von transportablem Gerät sein, das zur kabellosen Kommunikation mit den Sensoren 110 der Einrichtung in der Lage ist. Beispiele für solche Tags 104 sind unter anderem Anhänger, Wearables, kabellose Kommunikationsgeräte, Tablets, tragbare Computergeräte und jede andere Art von transportablen Geräten, die Schaltkreise zur Übertragung eines Signals enthalten.

[0050] Wie in Figur 1 dargestellt, umfasst das RTLS 100 mehrere Sensoren 110, die in der Lage sind, über kabellose Kommunikation, wie z. B. Hochfrequenzsignale (radio frequency, 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 110 des RTLS 100 kann ein Sender 116 an einem Senderstandort innerhalb der Struktur positioniert sein, und ein oder mehrere nahe Empfänger 118, 120, 122, 124, 126, 128, 130 können an Empfängerstandorten innerhalb der Struktur nahe dem Sender positioniert sein. Bei einigen Ausführungsformen können ein oder mehrere entfernte Empfänger 132, 134 an Empfängerstandorten innerhalb der Struktur weiter entfernt vom Sender 116 positioniert sein, wobei ein oder mehrere entfernte Empfänger 118, 120, 122, 124, 126, 128, 130 zumindest teilweise zwischen dem Sender- und dem/den entfernten Empfänger(n) oder anderweitig näher am Sender relativ zu dem/den entfernten 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 Sender oder erster Sensor und bestimmte Sensoren als Empfänger oder zweite Sensoren beschrieben werden, können alle Sensoren des RTLS 100 Sender und/oder Empfänger sein.

[0051] Beim RTLS 100 kann der Sender 116 ein oder mehrere kabellose Signale senden, die von einem oder mehreren Sensoren 110, wie den nahen Empfängern 118-130, den entfernten Empfängern 132-134 oder beiden, erfasst oder empfangen werden können. Die Empfänger, wie z. B. die nahen oder entfernten 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 Received Signal Strength Indicator (RSSI) oder ein vergleichbarer Wert sein, wenn ein Signal übertragen wird, oder statistische Merkmale, die auf mehreren empfangenen Signalen von dem Sender basieren. Außerdem können ein erwartetes kabelloses Signal oder erwartete statistische Merkmale auf der Grundlage des Standorts des Senders 116 und des Standorts der nahen und/oder entfernten Empfänger 118-134 bestimmt werden oder den Empfängern 118-134, einem dem Empfänger vorgeschalteten Gerät oder beiden bekannt sein. Beispielsweise kann ein Abstand zwischen dem Sender 116 und den Empfängern 118-134 anhand des Standorts dieser Sensoren bestimmt werden. Der Abstand kann mit dem erwarteten Funksignal (RSSI usw.) oder den erwarteten statistischen Merkmalen in Bezug gebracht 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] Die statistischen Merkmale, die auf den vom Empfänger 118-134 erfassten oder empfangenen oder anderweitig vom RTLS 100 gemessenen Signalen basieren, gelten als erfasste statistische Merkmale, und die vom RTLS 100 ermittelten 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 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 basieren, sind aber nicht darauf beschränkt.

[0053] Mit statistischen Merkmalen wird versucht, die Verteilung der empfangenen Funksignale zu charakterisieren. 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 vorgelagert 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 primäre und/oder abgeleitete statistische Merkmal oder die primären und/oder abgeleiteten statistischen Merkmale 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 („kabelloses Signal“) und dem erwarteten kabellosen Signal und/oder ihnen entsprechenden Werten einen vorbestimmten Schwellenwert überschreitet, und spezifische Maßnahmen ergreifen. Zu den Maßnahmen gehören unter anderem die Benachrichtigung eines Geräts, die Übertragung von Signalen zwischen Sensoren oder die Durchführung von Folgemaßnahmen zur Bestimmung der Differenz zwischen den Signalwerten. In einer Ausführungsform kann das vorgelagerte Gerät 112, 114 ein mobiles Gerät eines Technikers oder ein Kontrollzentrum eines Gebäudemanagementsystems benachrichtigen, um die Sensoren zu untersuchen, die mit der abnormalen Signalwertdifferenz assoziiert 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 nahen oder entfernten Empfänger 118-134) senden, die mit der Signalwertdifferenz verbunden sind, oder umgekehrt. Dabei kann das System feststellen, ob sich einer der Sensoren an einem erwarteten Ort relativ zu dem anderen Sensor befindet, einem durch einen Boden- oder Deckenplan angegebenen Ort entspricht oder 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 die stromaufwärts gelegene Vorrichtung 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 einen oder mehrere Sensoren in der Umgebung 106, 108 identifizieren, die eine Fehlfunktion aufweisen, nicht mehr 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 RTLS 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 ihnen entsprechenden Werten einen vorbestimmten Schwellenwert überschreitet, kann das vorgeschaltete Gerät 112, 114 feststellen, dass ein Hindernis zwischen dem Sender 116 und dem Empfänger (wie dem nahen Empfänger 118-130 oder dem entfernten 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 zwischen dem Sender 116 und dem Empfänger 130 vorhanden sein. Die Signalwertdifferenz kann das/die Hindernis(se) 136, 138 anzeigen, und das vorgeschaltete Gerät 112, 114 kann entsprechend reagieren.

[0057] Das RTLS 100 kann ein oder mehrere Hindernisse innerhalb des Gebäudes erwarten, insbesondere wenn dies durch einen Boden- oder Deckenplan angezeigt wird. Bei Feststellung, dass eine Differenz zwischen dem gemessenen Funksignal und dem erwarteten Funksignal einen vorbestimmten Schwellenwert überschreitet, kann das vorgeschaltete Gerät 112, 114 feststellen, dass es widersprüchlich ist, dass das Hindernis zwischen dem Sender 116 und dem Empfänger (wie dem nahen Empfänger 118-130 oder dem entfernten Empfänger 132-134) vorhanden ist, obwohl es vorhanden sein sollte. 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 zwischen dem Sender 116 und dem Empfänger 130 oder es können beide Hindernisse vorhanden sein. Die Signalwertdifferenz kann das Fehlen des Hindernisses/der Hindernisse 136, 138 anzeigen (d. h. das Vorhandensein des/der Hindernisse(s) nicht anzeigen), was z. B. durch eine falsche Platzierung der Sensoren oder eine falsche Positionierung eines Sensors auf einem Boden- oder Deckenplan verursacht werden kann. Daraufhin können die vorgeschalteten Geräte 112, 114 geeignete Maßnahmen ergreifen.

[0058] Ein Sensor kann Signalunterschiede zwischen dem gemessenen Funksignal und dem erwarteten Funksignal aufweisen, die die Schwellenwerte überschreiten oder anderweitig als abnormal eingestuft werden, wenn mehrere Sensoren senden, während der Sensor empfängt. Dies könnte darauf hindeuten, dass die Empfangsfähigkeit des Sensors im Vergleich zur Spezifikation abnormal ist. Wenn ein Sensor sendet, können andere Sensoren Signalunterschiede aufweisen,

die 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] Fig. 2 zeigt beispielhaft die Gerätekomponenten 200 eines Sensors, wie z.B. einen Sensor 110 des RTLS 100, für das Asset-Tracking 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 Geräten kommuniziert, ein oder mehrere Prozessoren 206 und eine oder mehrere Speicherkomponenten 208.

[0060] Die Kommunikationskomponente 204 des Sensors ist so konfiguriert, dass sie mit der Kommunikationskomponente eines anderen Sensors kommuniziert und ein Signal von einem Tag oder einem anderen Sensor empfängt. 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 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 HF-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 werden oder in der Speicherkomponente 208 gespeichert sind. Der mit dem RTLS 100 assoziierte und in der Speicherkomponente 208 gespeicherte Code kann Betriebssysteme, Anwendungen, Module, Treiber und Ähnliches umfassen, ist aber nicht darauf beschränkt. Ein Betriebssystem umfasst ausführbaren Code, der die grundlegenden Funktionen des Sensors steuert, z. B. die Interaktion zwischen den verschiedenen Komponenten der Gerätekomponenten 200, die Kommunikation mit externen Geräten über die Kommunikationskomponente 204 sowie die Speicherung und den Abruf 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 Signale 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 Sensorfunktionen referenziert oder manipuliert werden können. Beispiele für Daten, die mit dem RTLS 100 in Verbindung stehen und in der Speicherkomponente 208 gespeichert sind, können unter anderem Datenwerte 214 wie erwartete Funksignale und gemessene Funksignale sowie Datenschwellenwerte 216 wie der vorgegebene 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 HF-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 Benutzer umfassen. Die Benutzerschnittstelle 224 kann Hardware und Software enthalten, um dem 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. ein Sensor zur Erfassung von Temperatur, Feuchtigkeit, Druck usw.) und eine Kombination von Sensortechnologien. Beispiele für Ausgabekomponenten 220 sind u. a. Anzeigen 234, optische Indikatoren 236, Lautsprecher 238, mechanische Aktoren 240 und eine Kombination von Ausgabetechnologien.

[0065] Figur 2 dient der Veranschaulichung von Beispielen für die Gerätekomponenten 200 eines Sensors 110. Es ist nicht beabsichtigt, ein vollständiges Abbild 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 Umfang der vorliegenden Erfindung fallen.

[0066] Figur 3 zeigt beispielhafte Gerätekomponenten 300 eines vorgeschalteten Geräts, z. B. des Sensor-Hubs 112 oder des Gateways 114, zur Unterstützung des RTLS. Die Gerätekomponenten 300 des vorgeschalteten Geräts 112, 114 umfassen einen Kommunikationsbus 302 zur direkten oder indirekten Verbindung mit anderen Gerätekomponenten. 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 kabellose Technologie, kabelgebundene Technologie oder eine Kombination dieser Technologien für die Kommunikation mit anderen Geräten verwenden, ähnlich wie die oben 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 beispielsweise Informationen, die von der Kommunikationskomponente 304 empfangen werden oder in der Speicherkomponente 308 gespeichert sind. Der mit dem RTLS 100 verbundene und in der Speicherkomponente 308 gespeicherte Code kann unter anderem Betriebssysteme, Anwendungen, Module, Treiber und Ähnliches 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 die Speicherung und den Abruf von Code und Daten in und aus der Speicherkomponente 308.

[0068] Jede Anwendung enthält ausführbaren Code, um spezifische Funktionen für den Prozessor 306 oder andere Komponenten des vorgeschalteten Geräts 112, 114 oder beides bereitzustellen. Beispiele für Anwendungen, die vom Prozessor 306 ausgeführt werden können, sind unter anderem ein Datenerweiterungsmodul 310 und ein Trainings-/Inferenzmodul 312. Das Datenerweiterungsmodul 310 erweitert den Sensor-zu-Sensor-Datensatz, um den gekennzeichneten Datensatz zu erzeugen. Das Trainings-/Inferenzmodul 312 trainiert ein RTLS-Modell und/oder den Standort eines Tags durch das trainierte RTLS-Modell. Das ML-Modell 314 resultiert aus dem Trainingsvorgang und erzeugt RTLS-Ausgaben auf der Grundlage des gekennzeichneten Datensatzes.

[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. Daten, die mit dem RTLS 100 verbunden sind und in der Speicherkomponente 308 gespeichert werden, können Trainings-/Inferenzdaten 316 umfassen, sind aber nicht darauf beschränkt. Die Trainings-/Inferenzdaten 316 umfassen einen oder mehrere gekennzeichnete Datensätze und/oder einen oder mehrere Standorte von Tags, die vom Trainings-/Inferenzmodul 312 bestimmt wurden. Die Speicherkomponente enthält auch das ML-Modell 314, das das Ergebnis der Ausführung des Trainingsvorgangs 312 auf dem gekennzeichneten Datensatz 316 ist.

[0070] 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 Ausführungsformen 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.

[0071] Es versteht sich von selbst, dass Figur 3 nur zur Veranschaulichung dient, um Beispiele für die Gerätekomponenten 300 eines vorgeschalteten Geräts 112, 114 darzustellen, und nicht als vollständiges Abbild der verschiedenen Komponenten gedacht ist, die das Gerät verwenden kann. Daher können vorgeschaltete Geräte 112, 114 verschiedene andere Komponenten enthalten, die in Figur 3 nicht dargestellt sind, sie können eine Kombination von zwei oder mehr Komponenten oder eine Aufteilung einer bestimmten Komponente in zwei oder mehr getrennte Komponenten enthalten und dennoch in den Umfang der vorliegenden Erfindung fallen.

[0072] In Fig. 4 ist ein Flussdiagramm der Trainings- und Inferenzpipeline 400 des RTLS 100 dargestellt. Das RTLS 100 umfasst eine Komponente für maschinelles Lernen (ML), wie z. B. einen Analyseprozessor 410, der durch eingehende Daten 420, insbesondere einen Trainingsdatensatz, trainiert wird und nach dem Training mit den eingehenden Daten 420, insbesondere einem Betriebsdatensatz, arbeitet. Wie in der Inferenzpipeline 400 dargestellt, umfasst das System den Analyseprozessor 410, der einen gekennzeichneten Datensatz 430 bestimmt.

[0073] Wenn es sich bei den eingehenden Daten 420 um den Trainingsdatensatz handelt, wird der gekennzeichnete Datensatz 430 mit den Grundwahrheitsdaten („ground truth“-Daten) 440 verglichen und zum Training des Analyseprozessors 410 verwendet. Beispielsweise wird der Trainingsdatensatz der eingehenden Daten 420 dem Analyseprozessor 410 zugeführt, um den Prozessor beim Lernen zu unterstützen, wie eine bestimmte Zone 450, die zu den eingehenden Daten kor-

reliert, zu identifizieren ist. Bei einigen Ausführungsformen ist der Analyseprozessor 410 ein maschinelles Lernmodell für Echtzeit-Ortungsdienste. Zum Beispiel kann der Analyseprozessor 410 ein neuronales Netzwerk mit langem Kurzzeitspeicher („Long Short-Term Memory Neural Network“, LSTM NN) sein, das in den Bereichen der künstlichen Intelligenz und des maschinellen Lernens verwendet wird. Überwachtes Lernen wird für den Analyseprozessor 410 verwendet, da dem Analyseprozessor 410 die Grundwahrheit 440 zur Verfügung gestellt wird. Die Grundwahrheit ist mit einer Kennzeichnung verbunden, die durch das maschinelle Lernmodell erzeugt wird.

[0074] Handelt es sich bei den eingehenden Daten 420 um den Betriebsdatensatz, identifiziert der gekennzeichnete Datensatz 430 die Standorte der Tags während des Betriebs. Zum Beispiel identifiziert der Analyseprozessor 410 eine bestimmte Zone 460 auf der Grundlage des Betriebsdatensatzes der eingehenden Daten 420. Für den Produktionsteil der Inferenzpipeline 400 ist der Analyseprozessor 410 trainiert und ist in der Lage, die Zone 460 eines Tags auf der Grundlage der RSSI-Werte des Sensors zu bestimmen. Das trainierte Modell des Analyseprozessors 410 wird verwendet, um Rückschlüsse auf Echtzeit-Daten zu ziehen und so den Standort des Tags zu bestimmen. Das Modell lernt aus seinen Fehlern und ist schließlich in der Lage, die Kennzeichnung, d.h. die Zone 460, vorherzusagen.

[0075] Bei einigen Ausführungsformen können sich der Analyseprozessor 410 und seine Komponenten in der Cloud befinden. Sensoren können Daten als Datensatz über ein Gateway, das die Daten an die Cloud sendet, an die Cloud senden. Der Datensatz wird verwendet, um das maschinelle Lernmodell des Analyseprozessors 410 in der Cloud zu trainieren. Das trainierte Modell kann in der Cloud bereitgestellt werden, und das Modell kann Sensordaten empfangen und auf der Grundlage der empfangenen Sensordaten mit eine Zone ausgeben.

[0076] In Figur 5 ist ein Grundriss 500 dargestellt, der ein Beispiel für einen Datensammelvorgang der Trainingsinferenzpipeline zeigt. Mehrere Zonen 510, 520, 530 werden in einem vorgegebenen Grundriss 500 identifiziert. Einige oder alle Sensoren 512-514, 522-528, 532-542 werden in den Zonen 510, 520, 530 installiert und in Betrieb genommen, je nachdem, wie viele Sensoren pro Zone benötigt oder gewünscht werden. Danach wird ein gekennzeichneteter Datensatz erzeugt, um die maschinelle Lernkomponente des Analyseprozessors 410 zu trainieren. Signalstärkedaten für Sensorpaare aus mehreren Sensoren 512-514, 522-528, 532-542 werden gesammelt, wobei jedes Sensorpaar einen Sender und einen Empfänger umfasst. Jeder Sensor der mehreren Sensoren 512-514, 522-528, 532-542 fungiert der Reihe nach als Sender, und die Signalstärkedaten für jedes Sensorpaar entsprechen den von jedem Sender gesendeten und von jedem Empfänger empfangenen Signalen.

[0077] Die Erfassung von Signalstärkedaten kann anhand des folgenden Beispiels dargestellt werden, bei dem ein Sender 512 ein Signal an erreichbare Sensoren 514, 522, 524, 526, 532, 534, 536, 538 sendet. Wie oben erwähnt, kann jeder Sensor abwechselnd der Sender sein. Jeder Sensor, der das gesendete Signal empfängt, kann einen Signalstärkewert messen und eine RSSI-Statistik (Mittelwert, Sigma, Empfangsrate) auf der Grundlage des Signalstärkewerts erstellen, wie zuvor beschrieben. Die Signalstärkewerte und/oder die RSSI-Statistiken werden an ein oder mehrere vorgeschaltete Geräte weitergeleitet. Die Statistiken können verwendet werden, um den Zustand des Sensornetzwerks zu überprüfen, bevor die Daten zum Trainieren des ML-Modells verwendet werden.

[0078] Das vorgeschaltete Gerät erzeugt einen erweiterten gekennzeichneten Datensatz, um das RTLS ML-Modell zu trainieren. Im Gegensatz zu konventionellen Systemen, bei denen Modelle für maschinelles Lernen mit Hilfe eines Tags trainiert werden, das Signale an die Sensoren sendet, werden erfindungsgemäss Sensoren verwendet, um anderen Sensoren Signale zu senden. Um Daten von einem Sensor zu verwenden, um Daten von einem Tag genau zu repräsentieren, verwendet das vorgeschaltete Gerät eine RSSI-Distanz-Beziehung, um den RSSI des Sensor-zu-Sensor-Signals zu erweitern. Als Ergebnis simulieren die erweiterten Signalstärkewerte Daten von einem Tag an verschiedenen Positionen innerhalb der Zone. Beispielsweise können die Signalstärkewerte erweitert werden, um verschiedene Tag-Positionen in einer ersten Zone 510 (Zone_0) zu simulieren, wie beispielsweise die Position 550. Ein RSSI-Distanz-Modell wird verwendet, um einen RSSI zu simulierten Tag-Positionen zu erzeugen. In einigen Ausführungsformen kann die RSSI-Distanz-Beziehung wie folgt dargestellt werden:

$$\text{Entfernung} = 10^{\frac{((\text{Gemessene Leistung} - \text{RSSI}) / (10 * N))}{1}} \quad (1)$$

[0079] Da der erste Sensor 512 sein eigenes Signal nicht erfassen kann, kann der erste RSSI-Wert am ersten Sensor durch einen zweiten RSSI-Wert eines Sensors 514 innerhalb derselben Zone, die dem ersten Sensor 512 am nächsten liegt, simuliert werden.

[0080] Das RTLS 100 bestimmt einen gekennzeichneten Datensatz, um das RTLS-Modell des RTLS zu trainieren. Insbesondere fügt der Analyseprozessor ein Zonenlabel hinzu, um den gekennzeichneten Datensatz zu erzeugen.

[0081] Figur 6 zeigt ein Flussdiagramm, das einen beispielhaften Prozess oder Systembetrieb 600 des RTLS 100 darstellt. Ein ML-Modell eines RTLS 100 kann mit Signalstärkewerten trainiert werden, die auf Signalen basieren, die zwischen Sensoren und nicht zwischen einem Tag und einem Sensor gesendet werden. Das ML-Modell kann einen latenten Zonen-Fingerabdruck aus der Zuordnung von Signalstärkedaten zu Zonenbezeichnungen lernen. Das ML-Modell kodiert oder erlernt einen Fingerabdruck für jede Zone. Um die Daten eines Tags genau darzustellen, wird die Beziehung zwischen Signalstärke und Distanz verwendet, um das Signal von Sensor zu Sensor so zu erweitern, dass der Eindruck entsteht, es stamme von einem Tag an verschiedenen Positionen innerhalb der Zone.

[0082] Die Operation 600 eines RTLS umfasst einen Sammel-Teilprozess 610 und einen Analyse-Teilprozess 630 zur Erzeugung von Trainingsdaten für die Trainingsinferenzpipeline. Insbesondere bestimmt der Analyse-Teilprozess 630 einen gekennzeichneten Datensatz auf der Grundlage der Signalstärkedaten für die Sensorpaare und der mit den Signalstärkedaten verbundenen Zonenbezeichnungen. Für den Sammel-Teilprozess 610 werden Signalstärkedaten für Sensorpaare mit mehreren Sensoren gesammelt (612, 614). Jedes Sensorpaar umfasst einen Sender und einen Empfänger, und jeder Sensor fungiert der Reihe nach als Sender. Jeder Sensor dient der Reihe nach als Sender und sendet (612) ein Signal aus. So wird jeder Sensor einmal als Sender eingesetzt. Die anderen, nicht sendenden, Sensoren empfangen (614) vom Sender die Signalübertragung. Die Signalstärkedaten für jedes Sensorpaar korrespondieren zu 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 (616). In jedem Fall melden die Empfänger Daten an das vorgeschaltete Gerät (618), unabhängig davon, ob es sich um die empfangenen Messdaten oder um die aus den Messdaten ermittelten Daten handelt. Der Sammel-Teilprozess der 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 (620).

[0083] Zum Beispiel sendet ein Sensor im Netzwerk für den Sammel-Teilprozess 610 eine Anzahl von RF-Signalen mit einem vorbestimmten Leistungspegel aus. Alle anderen Sensoren im Netzwerk empfangen und zeichnen die Anzahl, die Summe und die quadrierte Summe der empfangenen RF-Signale auf. Der Sammel-Teilprozess 610 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 610 der Erfassung kann mehrfach wiederholt werden, um die Zuverlässigkeit der Ergebnisse zu erhöhen.

[0084] Für jedes Sensorpaar umfasst ein Datensatz die Signalstärkewerte und kann, bei einigen Ausführungsformen, einen RSSI-Summenwert, einen RSSI-Quadratsummenwert und einen RSSI-Zählwert umfassen, welche auf der Grundlage der Signalstärkewerte berechenbar sind. 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.

[0085] Für den Analyse-Teilprozess 630 des Vorgangs 600 erstellt der Teilprozess Statistiken und Kennzeichnungen. Der Analyse-Teilprozess 630 erzeugt (632) die Signalstärkestatistiken von Sensorpaaren, d. h. von einem Sensor, der mit einem anderen Sensor kommuniziert. Die Statistiken können für verschiedene Zwecke verwendet werden, z. B. zur Überprüfung des Zustands des Sensornetzwerks vor der Verwendung der Daten zum Trainieren des ML-Modells. Bei einigen Ausführungsformen werden die Signalstärkestatistiken durch Berechnen (634) eines Mittelwertmerkmals, eines Standardabweichungsmerkmals und eines Empfangsratenmerkmals für jedes Paar aus Sender und Empfänger auf der Grundlage der Signalstärkewerte der kabellos übertragenen Daten erstellt. 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 von 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 Signale ist, die jeder Bakensensor aussendet.

[0086] Bei einigen Ausführungsformen umfasst die Bestimmung (632) der Signalstärkestatistik das Filtern (638) 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, der darauf beruht, dass das entsprechende Empfangsratenmerkmal unter einem Schwellenwert liegt. Das Empfangsratenmerkmal kann verwendet werden, um die Filterung (638) des Mittelwertmerkmals und des Standardabweichungsmerkmals 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.

[0087] Bei einigen Ausführungsformen bestimmt der Analyse-Teilprozess 630 des Vorgangs 600 einen Vorgang des vorgelagerten Geräts, um die Signalstärkedaten zu modifizieren (640), um eine Tag-Position zu simulieren. Die Position des Tags kann auf der Grundlage einer Signalstärkestatistik, eines Signalstärke-Distanz-Modells oder beidem simuliert werden. Bei einigen Ausführungsformen kann das vorgeschaltete Gerät einen Signalstärkewert an einem bestimmten Sensor auf der Grundlage eines Signalstärkewerts eines dem bestimmten Sensor am nächsten liegenden Sensors simulieren (646).

[0088] Der Analyse-Teilprozess 630 des Vorgangs 600 bestimmt (648) einen oder mehrere gekennzeichnete Datensätze, die Signalstärkedaten der Sensor-zu-Sensor-Kommunikation und Zonenbezeichnungen enthalten können. Das ML-Modell des RTLS 100 kann unter Verwendung des gelabelten Datensatzes für das Echtzeit-Ortungssystem trainiert werden (650). In einigen Ausführungsformen kann das vorgeschaltete Gerät den Standort eines Tags durch das trainierte RTLS-Modell des Echtzeit-Ortungssystems auf der Grundlage der von einem Tag an einem oder mehreren Sensoren erfassten Signalstärkedaten bestimmen, um den Standort des Tags zu ermitteln.

[0089] Figur 7 zeigt einen gekennzeichneten Datensatz 700 für den Trainingsprozess des RTLS ML-Modells. Der gekennzeichnete Datensatz 700 enthält die von den Empfängern erfassten unverarbeiteten oder verarbeiteten Signalstärkedaten

710. Jedem Signal, das von den Empfängern empfangen wird, werden Zonenbezeichnungen 720 hinzugefügt und zugeordnet. Der gekennzeichnete Datensatz wird zum Trainieren der maschinellen Lernkomponente des RTLS verwendet. Überwachtes Lernen wird verwendet, um den maschinellen Lernprozess des Analyseprozessors 510 zu trainieren, um zwischen Zonen auf der Grundlage des RSSI-Fingerabdrucks zu unterscheiden. Bei der in Figur 7 dargestellten Ausführungsform werden die gekennzeichneten Daten mit der für jeden Datenpunkt identifizierten Zone dargestellt.

[0090] Der Einfachheit und Klarheit halber werden die vollständige Struktur und Funktionsweise aller Datenverarbeitungssysteme, die für die Verwendung im Rahmen der vorliegenden Offenbarung geeignet sind, hier nicht dargestellt oder beschrieben. 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, in verschiedenen Ausführungsformen, weggelassen oder 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, wie in den Ansprüchen beschrieben werden kann.

[0091] Diese Offenbarung enthält eine Beschreibung im Zusammenhang mit einem voll funktionsfähigen System, jedoch ist offensichtlich, dass 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 löschrare, elektrisch programmierbare Festwertspeicher (EEPROMs) und vom Benutzer beschreibbare Medien wie Disketten, Festplattenlaufwerke und Compact-Disk-Festwertspeicher (CD-ROMs) oder Digital Versatile Disks (DVDs).

[0092] 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. Echtzeit-Ortungssystem (RTLS, 100), das eine Sensor-zu-Sensor-Datenerfassung verwendet, umfassend:
 - Sensorpaare für eine Vielzahl von Sensoren, die einen Sender (116, 512) und einen Empfänger (118-134, 514, 522-528, 532-542) für jedes Sensorpaar enthalten, wobei jeder Sensor (116-134, 512-514, 522-528, 532-542) der Vielzahl von Sensoren der Reihe nach als Sender (116, 512) fungiert, und wobei alle anderen Sensoren (118-134, 514, 522-528, 532-542) der Vielzahl von Sensoren als Empfänger (118-134, 514, 522-528, 532-542) fungieren und Signalstärkedaten für Signale, die von jedem Sender gesendet werden, sammeln;
 - ein vorgeschaltetes Gerät (112), das mit der Vielzahl von Sensoren kommuniziert, wobei das vorgeschaltete Gerät (112) einen gekennzeichneten Datensatz auf der Grundlage der Signalstärkedaten für die Sensorpaare der Vielzahl von Sensoren und Zonenbezeichnungen bestimmt, die mit den Signalstärkedaten verbunden sind; und
 - ein RTLS ML-Modell, das auf der Grundlage eines gekennzeichneten Datensatzes trainiert wird.
2. Echtzeit-Ortungssystem (100) nach Anspruch 1, wobei der gekennzeichnete Datensatz besondere Signalstärkedaten für jedes Sensorpaar und eine Zonenbezeichnung enthält, die zu den besonderen Signalstärkedaten für jedes Sensorpaar in Bezug steht.
3. Echtzeit-Ortungssystem (100) nach Anspruch 1 oder 2, wobei jeder Empfänger (116, 512) der Vielzahl von Empfängern den Signalstärkewert, einen Signalstärkesummenwert und einen Signalstärkequadratwert des empfangenen Signals bestimmt.
4. Das Echtzeit-Ortungssystem (100) nach Anspruch 1, 2 oder 3, wobei das vorgeschaltete Gerät (112) die Signalstärkedaten modifiziert, um eine Tag-Position zu simulieren, die auf mindestens einer Signalstärkestatistik oder einem Signalstärke-Distanz-Modell basiert.
5. Das Echtzeit-Ortungssystem (100), nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das vorgeschaltete Gerät (112) einen Signalstärkewert an einem bestimmten Sensor der Vielzahl von Sensoren auf der Grundlage eines Signalstärkewerts eines dem bestimmten Sensor am nächsten liegenden Sensors simuliert.
6. Das Echtzeit-Ortungssystem (100), nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das RTLS-Modell ein neuronales Netzwerk geeignet zum maschinellen Lernen ist, um eine Zone (510, 520, 530) zu identifizieren, die mit den Signalstärkedaten assoziiert ist
7. Das Echtzeit-Ortungssystem (100), nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das vorgeschaltete Gerät (112) einen Standort eines Tags durch das trainierte RTLS-Modell auf der Grundlage von Signalstärkedaten bestimmt, die von einem Tag und mindestens einem Sensor (116-134, 512-514, 522-528, 532-542) der Vielzahl von Sensoren gesammelt werden, um einen Standort des Tags zu bestimmen.

8. Das Echtzeit-Ortungssystem (100), nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das RTLS ML-Modell trainiert ist, um einen latenten Zonen-Fingerabdruck für jede Zone (510, 520, 530) basierend auf dem gekennzeichneten Datensatz zu erlernen.
9. Verfahren (600) für ein Echtzeit-Ortungssystem unter Verwendung einer Sensor-zu-Sensor-Datenerfassung, umfassend:
Sammeln von Signalstärkedaten für Sensorpaare einer Vielzahl von Sensoren, wobei jedes Sensorpaar einen Sender (116, 512) und einen Empfänger (118-134, 514, 522-528, 532-542) enthält, wobei jeder Sensor (116-134, 512-514, 522-528, 532-542) der Vielzahl von Sensoren als Sender (116, 512) fungiert, wobei alle anderen Sensoren (116-134, 512-514, 522-528, 532-542) der Vielzahl von Sensoren als Empfänger (118-134, 514, 522-528, 532-542) fungieren, und Sammeln von Signalstärkedaten für Signale, die von jedem Sender gesendet werden;
Bestimmen eines gekennzeichneten Datensatzes auf der Grundlage der Signalstärkedaten für die Sensorpaare der Vielzahl von Sensoren, wobei der gekennzeichnete Datensatz Zonenbezeichnungen enthält, die mit den Signalstärkedaten assoziiert sind; und
Trainieren eines RTLS ML-Modells, um einen latenten Zonen-Fingerabdruck für jede Zone auf der Grundlage des gekennzeichneten Datensatzes zu lernen.
10. Verfahren (600) nach Anspruch 9, wobei der gekennzeichnete Datensatz bestimmte Signalstärkedaten für jedes Sensorpaar und eine Zonenmarkierung enthält, die den bestimmten Signalstärkedaten für jedes Sensorpaar zugewiesen ist.
11. Das Verfahren (600) nach Anspruch 9 oder 10 umfasst ferner die Bestimmung des Signalstärkewerts, eines Signalstärkesummenwerts und eines Signalstärkequadratwerts des empfangenen Signals.
12. Verfahren (600) nach Anspruch 9, 10 oder 11, wobei das Verfahren ferner das Modifizieren der Signalstärkedaten umfasst, um eine Tag-Position auf der Grundlage einer Signalstärkestatistik und/oder eines Signalstärke-Distanz-Modells zu simulieren.
13. Verfahren (600) nach einem der Ansprüche 9 bis 12, wobei ferner ein Signalstärkewert an einem bestimmten Sensor der Vielzahl von Sensoren auf der Grundlage eines Signalstärkewerts eines dem bestimmten Sensor am nächsten liegenden Sensors simuliert wird.
14. Verfahren (600) nach einem der Ansprüche 9 bis 13, wobei das RTLS-Modell ein neuronales Netzwerk geeignet zum maschinellen Lernen ist, um eine mit den Signalstärkedaten assoziierte Zone zu identifizieren.
15. Das Verfahren (600), wie in einem der Ansprüche 9 bis 14 beschrieben, umfasst ferner die Bestimmung eines Standorts eines Tags durch das trainierte RTLS-Modell auf der Grundlage von Signalstärkedaten, die von einem Tag und mindestens einem Sensor der Vielzahl von Sensoren gesammelt wurden, um einen Standort des Tags zu bestimmen.
16. Verfahren (600) nach einem der Ansprüche 9 bis 15, wobei das Trainieren des RTLS-Modells das Trainieren des RTLS-ML-Modells zum Erlernen eines latenten Zonen-Fingerabdrucks für jede Zone auf der Grundlage des gekennzeichneten Datensatzes umfasst.

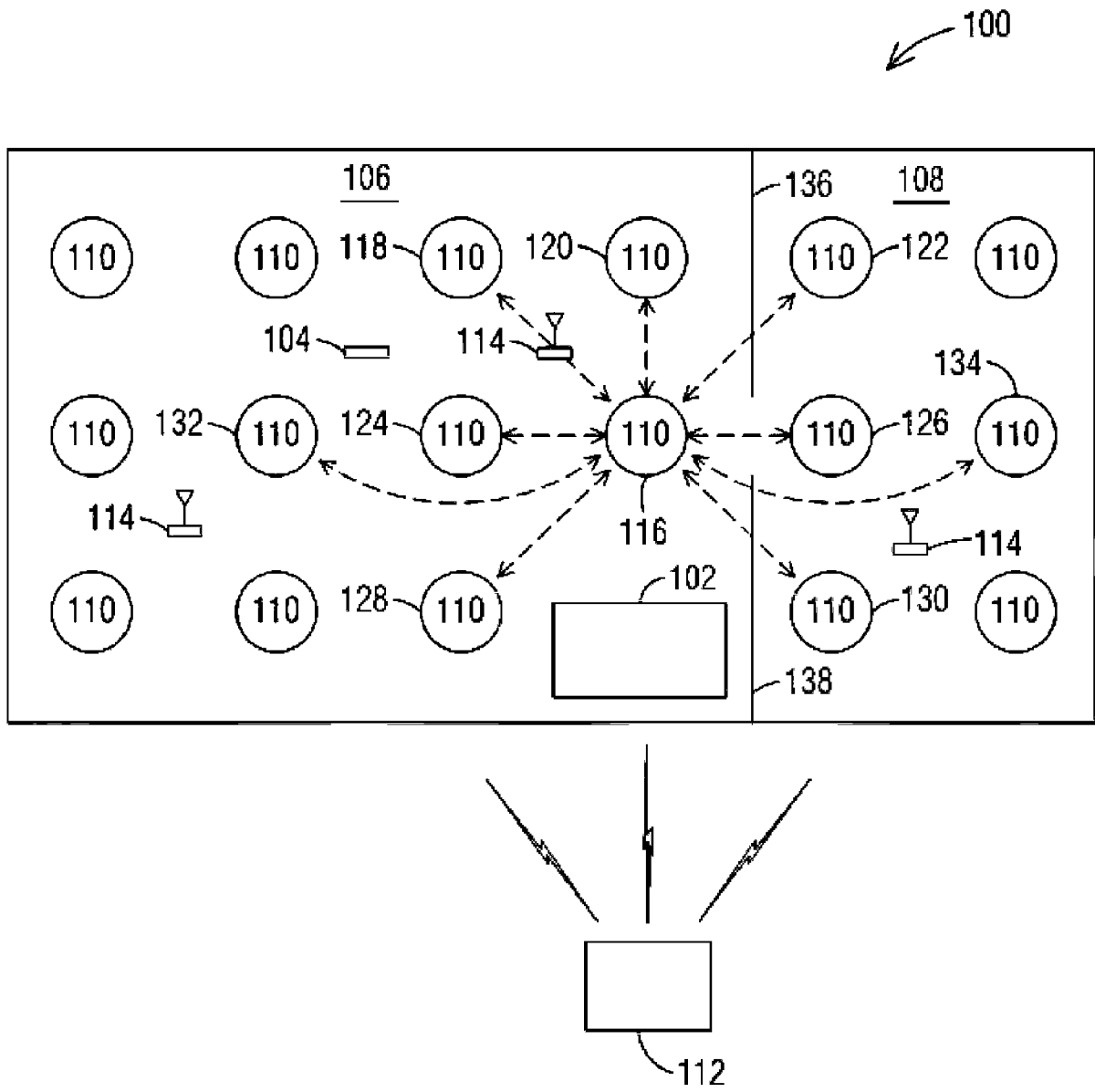


Fig. 1

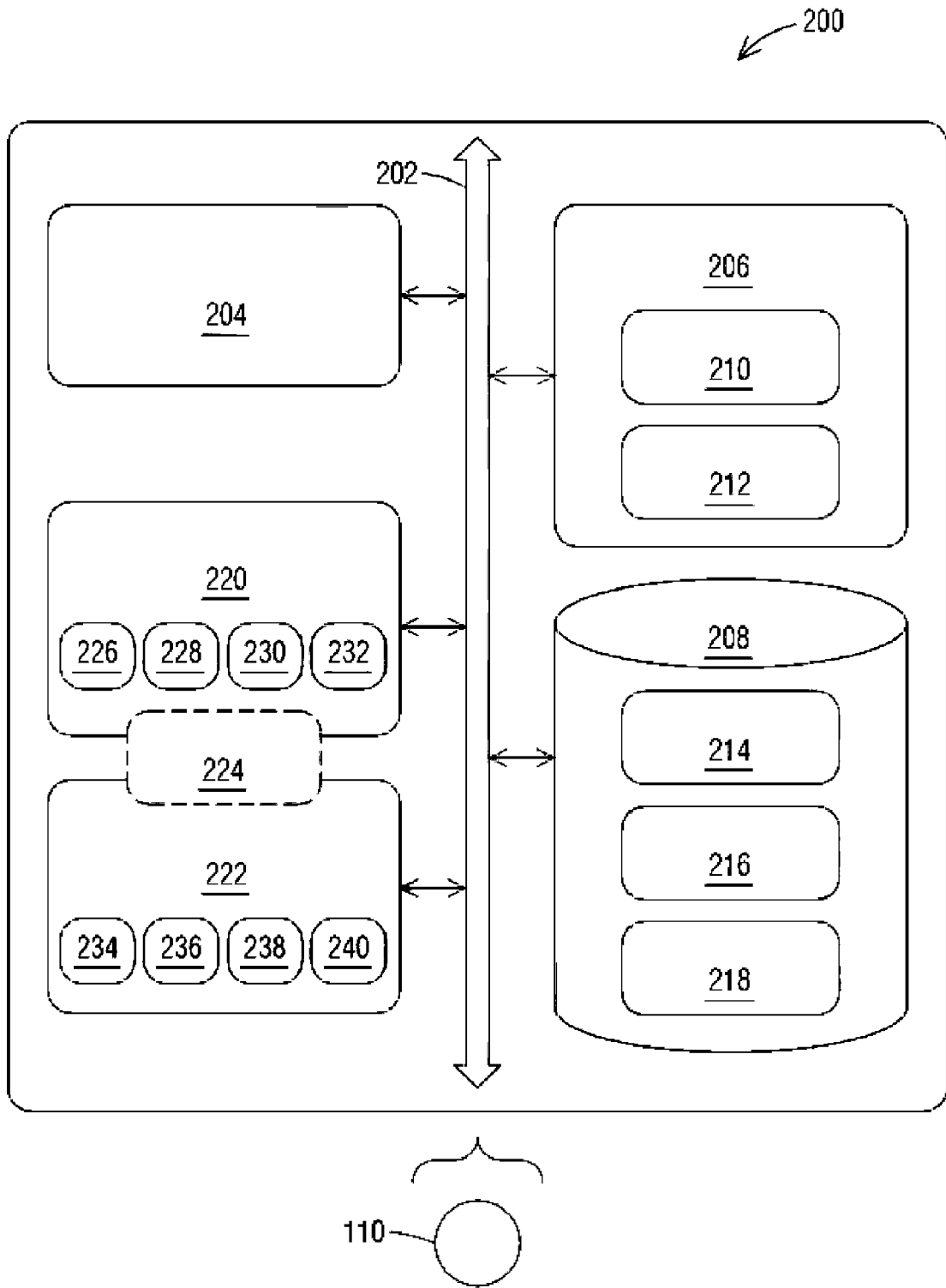


Fig. 2

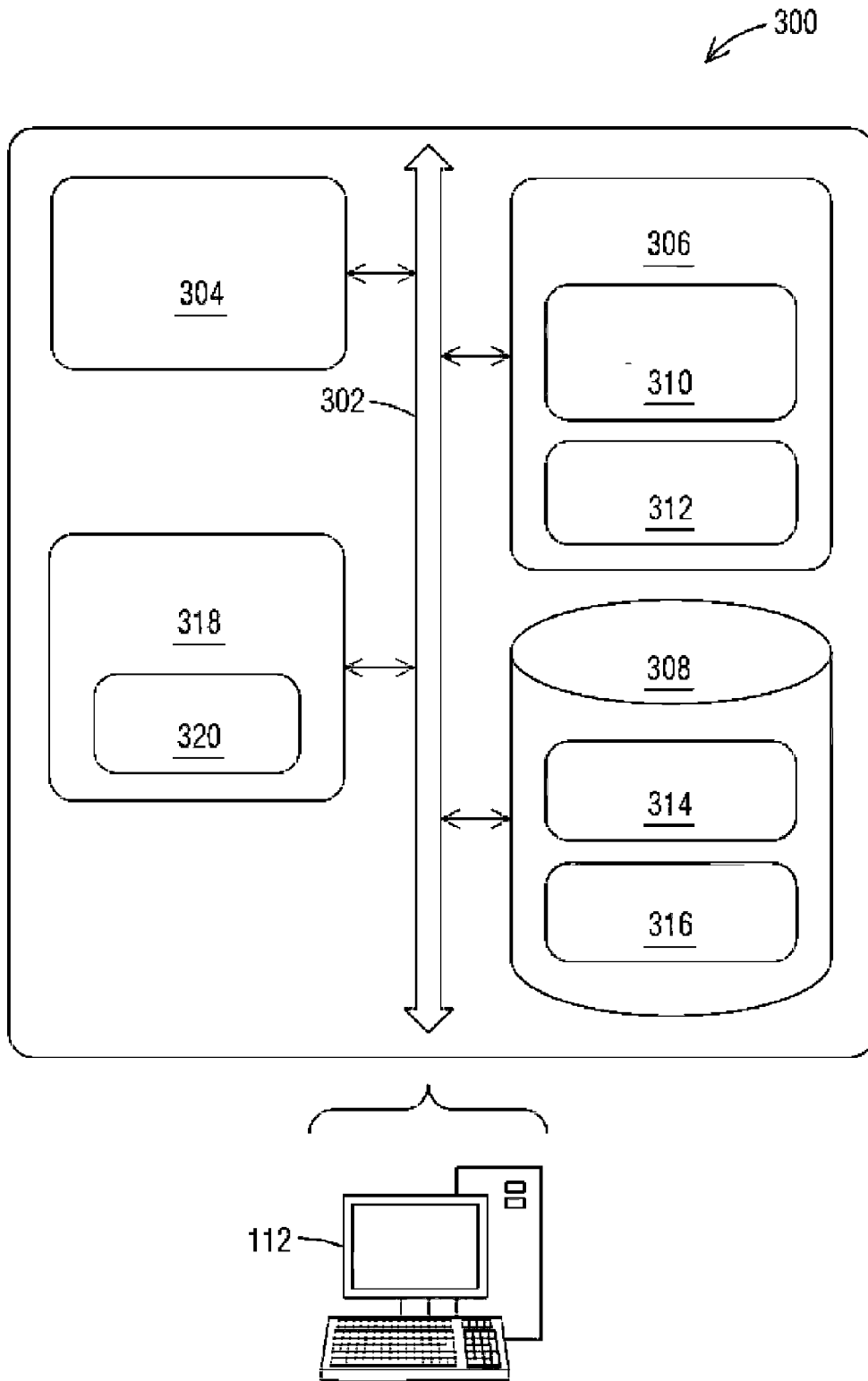


Fig. 3

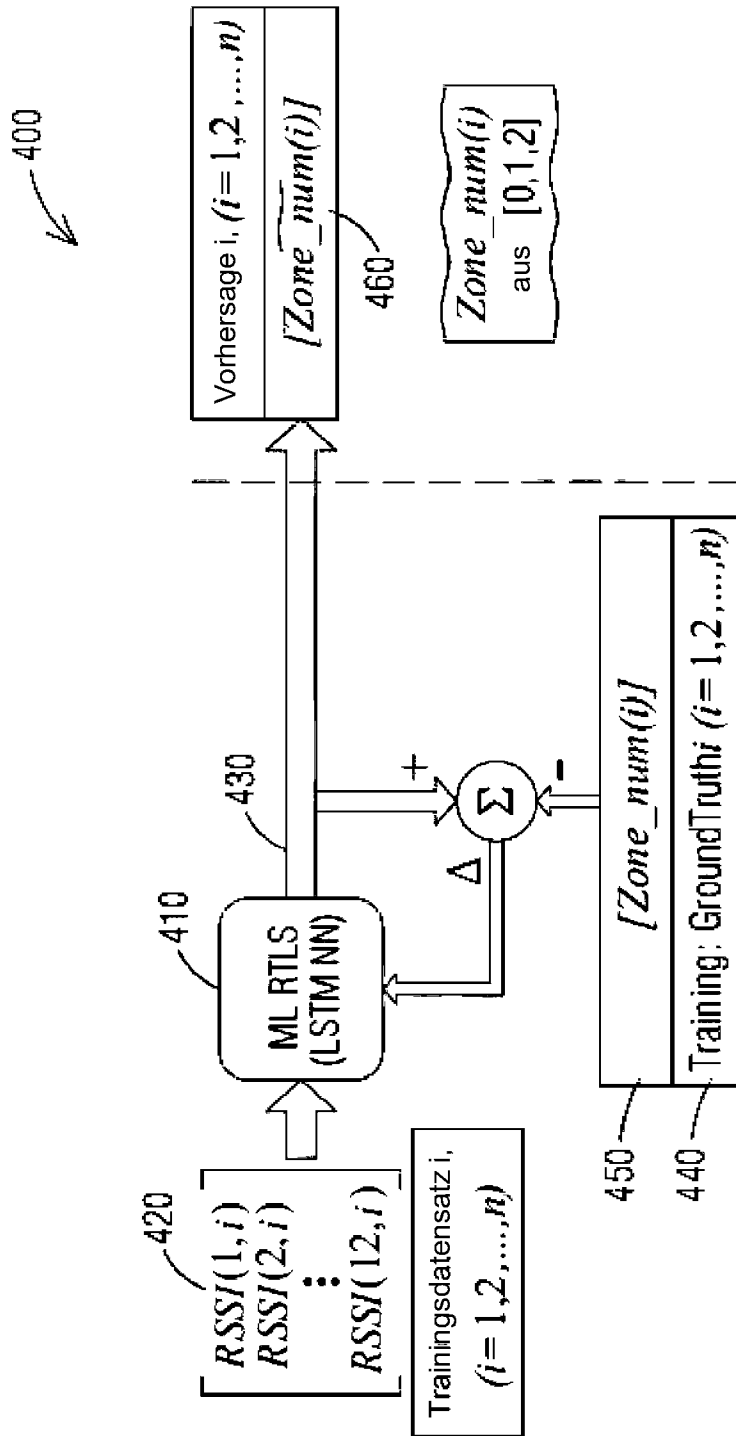


Fig. 4

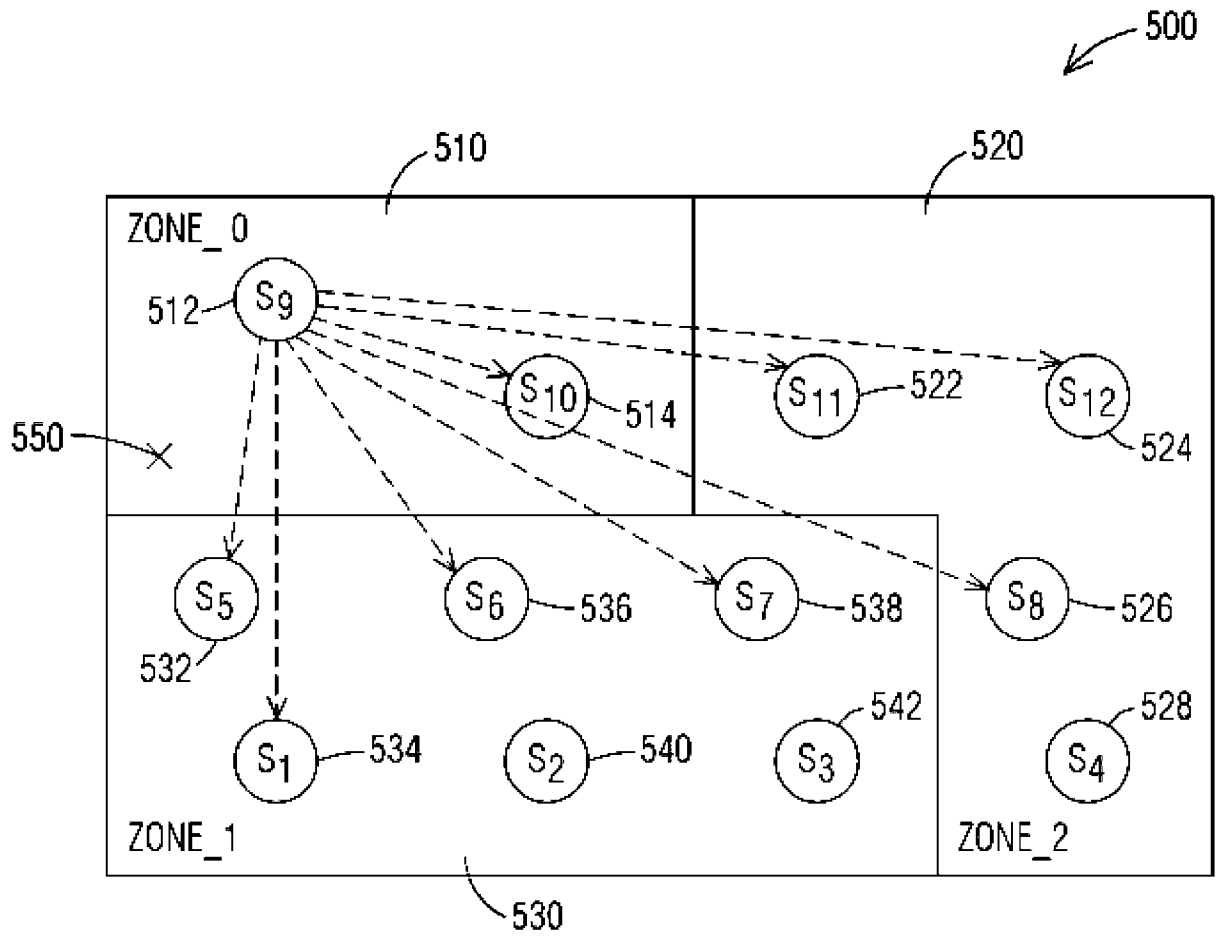


Fig. 5

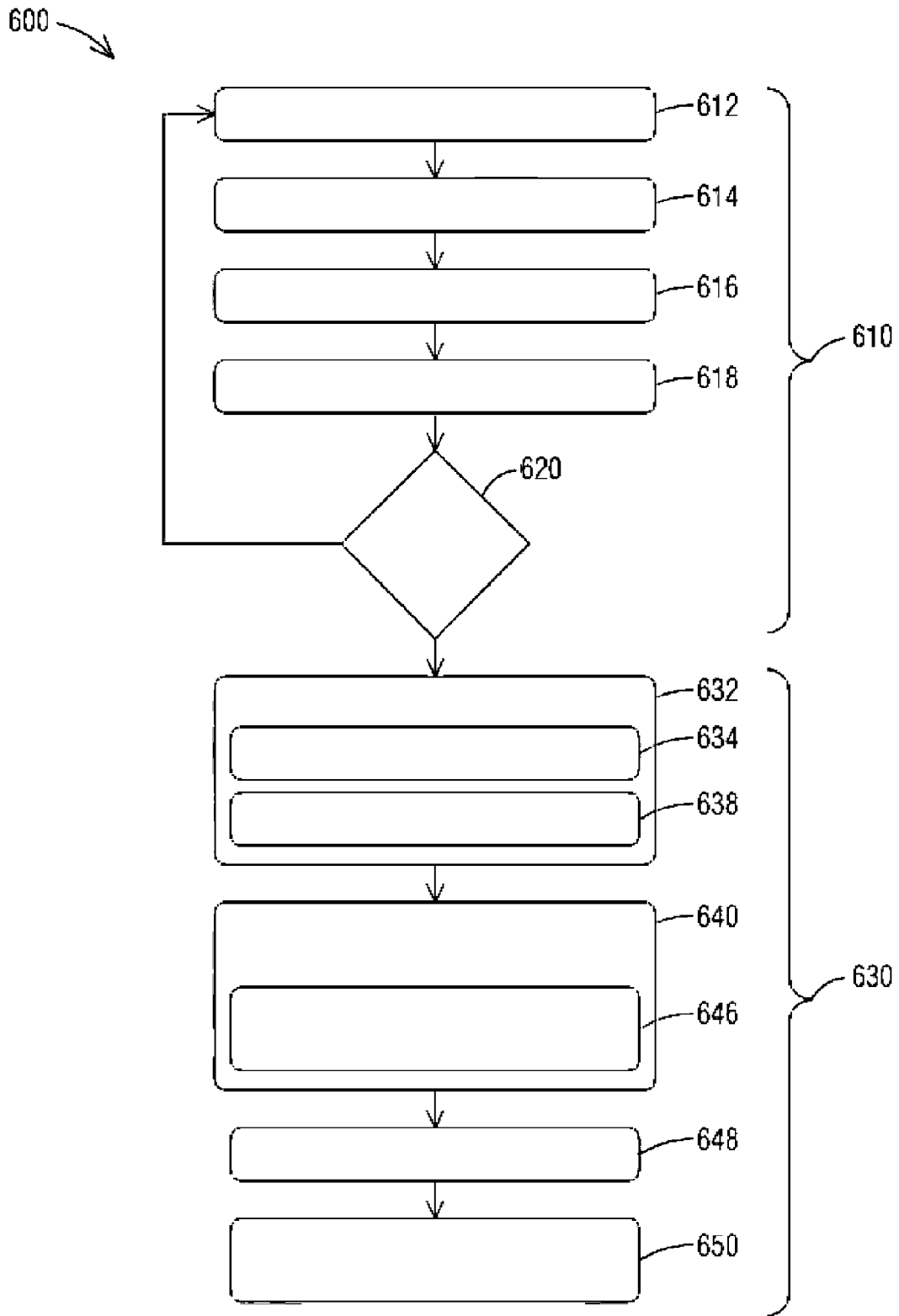


Fig. 6

700 ↙

	Empfänger			
Zone	Sensor 1	Sensor 2	...	Sensor 12
Zone_0	-65	-60	...	-99
Zone_0	-65	-55	...	-90
...
Zone_1	-55	-50	...	-80
Zone_1	-47	-52	...	-81
...
Zone_2	-77	-80	...	-85
Zone_2	-70	-84	...	-80

Fig. 7