(19) Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 102 52 934 A1** 2004.05.13

(12) # Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **102 52 934.5**
(22) Anmeldetag: **14.11.2002**
(43) Offenlegungstag: **13.05.2004**

(51) Int Cl.[7]: **G01S 5/02**
A63B 71/00

(66) Innere Priorität:
102 50 243.9 28.10.2002
102 50 500.4 29.10.2002

(71) Anmelder:
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., 80686 München, DE

(74) Vertreter:
Patentanwälte Reinhardt & Pohlmann Partnerschaft, 75172 Pforzheim

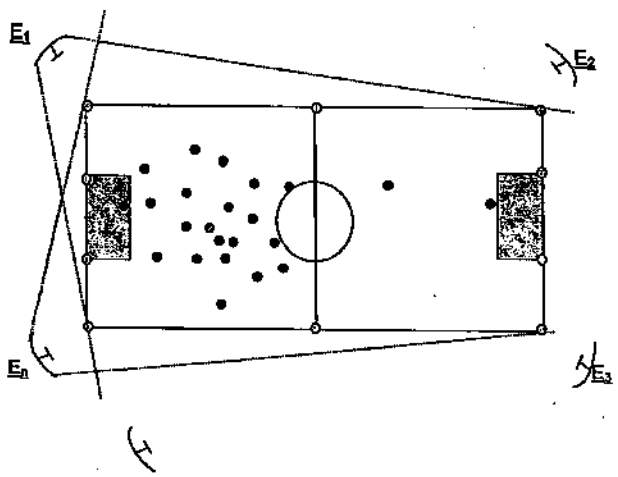
(72) Erfinder:
Couronné, Sylvia, 91058 Erlangen, DE; Bliesze, Marcus, 91058 Erlangen, DE; Hofmann, Günter, 96123 Litzendorf, DE; Eberlein, Ernst, 91091 Großenseebach, DE; Koehler, Stefan, 96472 Rödental, DE; Grün, Thomas von der, 91077 Kleinsendelbach, DE; Breilina, Marco, Dr., 91054 Erlangen, DE; Retkowski, Reiner, 91052 Erlangen, DE

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur kontinuierlichen Echtzeitverfolgung der Position von wenigstens einem mobilen Objekt sowie zugehörigen Sendern und Empfängern**

(57) Zusammenfassung: Ein Verfahren zur kontinuierlichen Echtzeitverfolgung der Position von wenigstens einem mobilen Objekt in einem dEfinierten mehrdimensionalen Raum weist wenigstens ein mobiles Sendermodul auf, das an wenigstens einem mobilen Objekt angebracht wird und dessen Signale von einem stationären Empfänger- und Signalverarbeitungsnetzwerk empfangen und zentral verarbeitet werden. Die vom Sendermodul emittierten Signale sind elektromagnetische, in einem Frequenzbandbereich im Zeitmultiplexverfahren ausgesandte Wellen. Dadurch, dass das Frequenzband als ein einziger Kanal zur Maximierung der Ortungsgenauigkeit genutzt wird und dass die Kommunikation zwischen Sendern (Sp, Sb) und Empfängern (E_1, ..., E_n) auf dem Prinzip des pseudo-zufälligeN Zeitmultiplex mit sendebursts von niedriger Kreuzkorrelation mit nicht synchronisierten PseudozufallSmustern basiert, wird ein Verfahren mit sehr hoher Ortsauflösung und einer zeitlichen Auflösung von wenigen Millisekunden für eine kontinuierliche Verfolgung der Position eines oder mehrerer mobiler Objekte zu jeder Zeit und an jedem Ort geschaffen. Ferner sollen zugehörige Sender und Empfänger zur Verfügung gestellt werden.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft Verfahren zur kontinuierlichen Echtzeitvertolgung der Position von wenigstens einem mobilen Objekt in einem definierten mehrdimensionalen Raum nach dem Oberbegriff des Anspruches 1 sowie zugehörige Sender und Empfänger zur Verwendung in diesem Verfahren nach dem Oberbegriff der Ansprüche 19 bzw. 21.

Stand der Technik

[0002] Seit geraumer Zeit besteht bei unterschiedlichen Interessengruppen das Anliegen, bewegte Objekte bzw. Personen in Ihrem Bewegungsablauf studieren bzw. diesen nachvollziehen zu können, was die exakte Angabe der Position des Objekts örtlich und zeitlich voraussetzt. Von besonderem Interesse sind hierbei unter anderem Spielbälle insbesondere in kommerzialisierten Sportarten, wie z.B. die im dreidimensionalen Raum hoch beschleunigten Fußbälle ebenso wie Tennis- oder Golfbälle. Die Fragestellung, wer das bespielte Objekt zuletzt berührt hat, wie es getroffen wurde und in welche Richtung es weiterbeschleunigt wurde, kann dabei abhängig von der Spielart für den Ausgang des Spiels entscheidend sein. Spielgeräte, die im Hochleistungssport eingesetzt werden wie z.B. Tennisbälle, Golfbälle, Fußbälle und dergleichen, lassen sich dabei inzwischen auf extrem hohe Geschwindigkeiten beschleunigen, so dass die Erfassung des Objekts während der Bewegung eine sehr differenzierte Technologie erfordert. Die bislang eingesetzten technischen Mittel – vonnriegend Kameras – genügen den oben dargestellten Erfordernissen nicht oder nur ungenügend; auch die bislang bekannten Verfahren zur Positionsbestimmung mittels unterschiedlicher Sender- und Empfängerkombinationen lassen noch einen großen Spielraum bezüglich der räumlichen Auflösung der Positionsangaben, bezüglich der Handhabbarkeit der benötigten Sender/Empfängerkomponenten und vor allem bezüglich der Auswertung der mittels Sender/Empfängersystem erhaltenen Daten, so dass eine schnellstmögliche Bewertung der aus diesen Daten erhaltenen Ergebnisse noch nicht möglich ist.

[0003] Als Navigations- oder Ortungssysteme sind bisher nachstehend genannte Technologien bekannt, die jedoch für die genannten Anwendungsbereiche nicht geeignet sind, da sie sich entweder für eine reflexions- und dämpfungsbehaftete Umgebung nicht eignen oder die Angabe der Position abhängig von den Empfangsbedingungen nicht genau genug für die genannten Anwendungen angegeben werden kann.

[0004] Es gehören hierzu:

– GPS ähnliche Systeme: Ein mobiler Empfänger empfängt gleichzeitig die Signale von mindestens 3 Sendern; aus den Differenzen der "Time-of-Arrival" (TOA) kann der Empfänger seine Position bestimmen. Für den o.g. genannten Anwendungsfall müsste jeder Empfänger mit einem Transmitter ausgerüstet werden, der fortlaufend die Position an einen Zentralrechner überträgt. Dazu wird die vollständige Navigationsberechnung in den mobilen Transceiver Modulen durchgeführt, was einer komplexen Signalverarbeitung mit hoher Rechenleistung und größtem Speicherbedarf entspricht. Ein solches System ist in US-A 5,438,518 offenbart. Um eine erhöhte Positionsgenauigkeit zu gewährleisten werden dazu Signalmerkmale über das zu betrachtende Feld digital zentral gespeichert und die Signalcharakteristik der empfangenen Signals mit den gespeicherten Informationen korreliert. Nachteilig ist hier die erhebliche und wohl kaum durchführbare Miniaturisierbarkeit des Systems. (s.a. DE 100 53 959 A1, WO 02/037134 A)

– Radarsysteme: Laufzeitmessung mit (aktiven) Transpondern bzw. Tags. Ein Sender am Rand des Spielfeldes sendet einen Impuls aus, der vom bewegten Objekt empfangen wird und der nach einer bestimmten Zeit ein Echo zurückwirft. Aus der Gesamtlaufzeit des Signals kann dann der Abstand zwischen Sender und bewegtem Objekt bestimmt werden. Siehe hierzu US-A 4,660,039. Die gleichzeitige Verfolgung mit hoher Zeitauflösung von vielen Objekten ist mit dieser Technologie sehr schwierig.

– Richtantennen: Die bewegten Objekte werden über Antennen mit sehr hohen Richtwirkungen verfolgt, wobei sie Signale aussenden, die auf die Empfangsantennen ausgerichtet sind. Wenn mindestens zwei Antennen verwendet werden, kann über die Winkel der Antennenausrichtung die Position bestimmt werden. Dieses Prinzip ist in US-A 5,513,854 für die Ortung von Athleten auf einem Spielfeld beschrieben. Das US-A 5,583,517 beschreibt ein auf dem selben Prinzip basierendes System, wobei der mobile Transmitter das Signal auf viele unterschiedliche Träger spreizt, die resultierenden Signale werden im Empfänger rekombiniert, um resistent gegenüber Mehrwegausbreitung zu sein. Nachteilig ist, dass eine geeignete Auflösung nur dann erzielt wird, wenn extrem hohe Frequenzen (→ Licht) verwendet werden.

– Optische Systeme: Die Objekte werden über mehrere Kameras verfolgt. Die Verfolgung selber kann automatisch über Bildverarbeitung (Mustererkennung) oder über elektromagnetische Technologie (Magnetische Sensoren) erfolgen. Über die Bildauswertung kann die Position errechnet werden. Problem: Optische Systeme können nur die Position bestimmen, wenn die Objekte nicht durch Hindernisse verdeckt sind. Die Ortung kann derzeit auch nicht automatisch und online ausgewertet werden.

– Feldstärke-Messungen anhand von Barken o.a.: Auf dem Spielfeld sind sehr viele Empfänger (oder Sender) verteilt ("Barken"). Die Feldstärke des Signals entspricht dem Abstand zwischen den Bar-

ken und dem bewegten Objekt. Aus den Feldstärken kann dann die Position berechnet werden. Nachteilig ist, dass für eine hohe Auflösung sehr viele Barken installiert werden müssen.

– Aus der DE 100 54 282 A1 ist ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zum Bestimmen der Position, Orientierung und/oder Verformung eines Objektes bekannt, bei dem ein oder mehrere Signalgeber am Objekt angeordnet sind, die elektromagnetische Signale aussenden. Die Ansteuerung der Signalgeber ist derart gestaltet, dass die einzelnen Signale voneinander unterscheidbar sind. Sie werden auf wenigstens einen zweidimensional auflösenden Lagedetektor (PSD) projiziert, dort in zweidimensionale Lagekoordinaten umgewandelt und dann in Informationen zu Position, Orientierung und/oder Verformung des Objekts überführt. Das System ist recht aufwändig und arbeitet im Wesentlichen dennoch nur zweidimensional.

Aufgabenstellung

[0005] Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren zur kontinuierlichen Echtzeitverfolgung der Position von wenigstens einem mobilen Objekt in einem definierten dreidimensionalen Raum mit sehr hoher Ortsauflösung und einer zeitlichen Auflösung von wenigen Millisekunden zu einer kontinuierlichen Verfolgung der Position eines oder mehrerer mobiler Objekte und/oder Personen zu jeder Zeit und an jedem Ort zu schaffen. Ferner sollen zugehörige Sender und Empfänger zur Verfügung gestellt werden.

[0006] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren zur kontinuierlichen Echtzeitverfolgung mit den Merkmalen des Anspruches 1 sowie zugehörige Sender und Empfänger mit den Merkmalen der Ansprüche 19 bzw. 21 gelöst.

[0007] Die Nutzung des Frequenzbandes als einziger Kanal ermöglicht eine höhere Übertragungsrate und damit Abtastrate zur Erhöhung der Ortsauflösung und zeitlichen Auflösung, die erforderlich ist, um auch Objekte mit Geschwindigkeiten von z.B. bis zu 150 km/h zu erfassen. Dennoch sollen die Komponenten des in der Endung enthaltenen Systems robust, kompakt und geschickt handhabbar, von möglichst geringer Größe und außerdem widerstandsfähig gegen mechanische z.B. Stöße oder chemische Belastung wie z.B. auch Körperschweiß sein. Ein Ziel ist auch, diese Komponente in einem Ball zu integrieren. Um dies zu erreichen, erfolgt die Kommunikation zwischen Sendern und Empfängern ($E_1,...,E_n$) auf dem Prinzip des pseudo-zufälligem Zeitmultiplex mit Sendebursts (B) von niedriger Kreuzkonelation mit nicht synchronisierten Pseudozufallsmustern. Insbesondere die nicht synchronisierte Kommunikation erlaubt einen robusteren Aufbau insbesondere der am stärksten belasteten Sender. Das zufällige Zeitmultiplex und die Zufallsmuster erhöhen in ihrer Kombination deutlich die Ortungsgenauigkeit zur Vermeidung der Mehrwegübertragung. Werden aber mehrere Sender, z.B. bei einem Fußballspiel etwa 100 Sender erforderlich, um Spieler und Ball zu erfassen, lassen sich die dann anfallenden Datenmengen nur auf diesem Wege mit der entsprechenden Genauigkeit erfassen und übertragen.

[0008] Es handelt sich damit um ein drahtloses funkbasiertes System, das aus mobilen Sender-Modulen besteht, die an den mobilen Objekten des zu analysierenden Systems angebracht werden und deren Signale von einem festen Empfänger- und Signalverarbeitungsnetzwerk empfangen und zentral verarbeitet werden.

[0009] Von besonderer Bedeutung ist hierbei, dass die Kommunikation zwischen Sendern und Empfängern über den Mechanismus des pseudo-zufälligen Zeitmultiplex mit Sendebursts niedriger Kreuzkorrelation mit nicht synchronisierten Pseudozufallsmustern realisiert wird, die z.B. als eine Kombination der Zugriffsmechanismen Zeitmultiplex und Codemultiplex verstanden werden kann (Anspruch 10). Beim Zeitmultiplex (TDMA) (s.a. US-A 6,204,813) senden die Sender der bewegten Objekte im Zeitmultiplex, so dass jeder Sender auch einen Empfänger enthalten muss, der dem Sender einen Synchronisationsimpuls zur Verfügung stellt, von dem dann der Zeitpunkt des Sendebursts abgeleitet wird. Beim Codemultiplex (CDMA) werden für die Sender orthogonale Spreizsequenzen verwendet, so dass die Sender nicht synchronisiert werden müssen. Bei unterschiedlich entfernten Sendern wird jedoch das Signal des weiter entfernten Senders durch das des näheren überdeckt.

[0010] Die Anwendung nicht synchronisierter Pseudozufallsmuster vereinfacht die Gestaltung der Sender, da ein Empfänger für das Aufnehmen eines Synchronimpuls nicht benötigt wird. Allerdings ergibt sich durch das Unterlassen der Synchronisierung eine Verschiebung der Zufallsmuster gegeneinander, was das Einhalten der Bedingung erschwert, dass möglichst wenige Sender zeitgleich aktiv sein sollen; d. h. das Auffinden geeigneter Zufallsfolgen wird erschwert. Dieses Problem wird jedoch gelöst durch die Verwendung von Sequenzen mit niedriger Kreuzkorrelation, welche die Trennung der Signale durch die Erkennungssequenz des Senders ermöglichen, die einem gewissen Teil des Sendebursts entspricht, falls es tatsächlich vorkommt, dass mindestens zwei Sender gleichzeitig ein Signal absetzen. Durch die hohe Impulsrate kann das System ohne weiteres auf einzelne Werte verzichten, wenn diese nicht detektiert werden können..

[0011] Die Genauigkeit kann weiter erhöht werden, wenn eine Synchronisation der Pseudozufallsmuster über ein Empfangsmodul im Sender nach Anspruch 14 integriert wird, um bei vielen Sendern die Wahrscheinlichkeit der Überlagerung zu reduzieren.

[0012] Bei einer Ausgestaltung nach Anspruch 15 werden sämtliche Senderempfangsdaten erfasst und gespeichert. Aufgrund der gespeicherten Daten ist

damit bedarfsweise auch eine Nachbearbeitung möglich, um gegebenenfalls genauere Algorithmen entsprechend auf bestimmte z.B. entscheidungserhebliche Situationen anzuwenden.

[0013] Weitere Vorteile ergeben sich aus dem Unteransprüchen

Ausführungsbeispiel

[0014] Im Folgenden wird die Erfindung anhand der beigefügten Figuren näher erläutert. Es zeigen:

[0015] **Fig.** 1 eine schematische Draufsicht auf ein Spielfeld mit Empfängern und Sendern,

[0016] **Fig.** 2 den Suchbereich für die Abtastung eines Sendebursts,

[0017] **Fig.** 3 ein Empfängernetzwerk,

[0018] **Fig.** 4 eine Sendereihenfolge verschiedener Sender,

[0019] **Fig.** 5 eine Darstellung der Anordnung der Empfänger,

[0020] **Fig.** 6 die die Sender und Empfänger verknüpfenden Netzwerke,

[0021] **Fig.** 7 eine schematische Darstellung der Sendebursterzeugung,

[0022] **Fig.** 8 eine schematische Darstellung eines Empfängers.

Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele

[0023] In den Figuren wird ein Verfahren zur kontinuierlichen Echtzeitverfolgung der Position von wenigstens einem mobilen Objekt in einem definierten mehrdimensionalen, hier dreidimensionalen Raum erläutert. Als mobiles Objekt sind in **Fig.** 1 ein Spielobjekt, hier ein Fußball, gekennzeichnet durch seinen Sender Sb, sowie ein Spieler, gekennzeichnet durch seinen Sender Sp, dargestellt. Wenngleich im Folgenden das Verfahren anhand eines Fußballs und der Spieler eines Fußballspiels als mobile Objekte erläutert wird, so ist darauf hinzuweisen, dass gleichwohl auch andere Anwendungsgebiete denkbar sind, in denen es um die Erfassung sich bewegender Objekte mit hoher Ortungsgenauigkeit und zeitlicher Auflösung, also um die Erfassung hoch dynamische Bewegungsabläufe geht. Eine Beschränkung auf den Einsatzbereich im Sport erfolgt durch die folgende Erläuterung nicht.

[0024] Das wenigstens eine mobile Objekt kann zunächst einmal der Sender Sb im Fußball sein, wenn es allein darum geht, die Bewegung des Fußballs zu erfassen. Zur Auswertung von Spielabläufen oder zu Studien der Spielerbewegung ist es jedoch auch sinnvoll, wenn ergänzend die Spieler selbst zu mobilen Objekten werden, bei denen z.B. in den Schienbeinschonern Sender Sp angeordnet sind, um die Bewegung und Bewegungsrichtung der Spieler erfassen zu können. Damit liegen unmittelbar statistisch auswertbare Daten z.B. über Laufwege der Spieler oder Geschwindigkeit von Spieler und Ball vor. Es lässt sich z.B. berechnen, wie dicht der Ball das Tor verfehlt hat. Auf der Basis dieser Daten lassen sich sogar neue Videospielformen entwickeln. Ferner ergeben sich Hilfestellungen zur Optimierung von Spieltaktiken und Trainingskonzepten. Da die Daten auch spielerspezifisch vorliegen können objektive Leistungsdatenbanken oder ein persönliches Trainingskonzept erstellt werden. Aber auch das Spielgerät kann bezüglich seiner Eigenschaften näher betrachtet und optimiert werden.

[0025] Dies hat zur Konsequenz, dass ein umfangreiches Netzwerk erforderlich ist, dass z.B. aus 8 Empfängern E, E_1–E_n besteht und die Laufzeitdaten von bis zu 100 Sendern S, Sb, Sp, S1- S6 umfasst. Ferner sind Referenzsender R_1 bis R_n erforderlich, um z.B. die Infrastruktur zu kalibrieren. Da sich das mobile Objekt, hier z.B. der Fußball, mit Geschwindigkeiten bis zu 150 km/h bewegen kann, ist zumindest für den Ballsender eine hohe Wiederholrate eines Sendeburst von 0,5 ms erforderlich, was bei einer Bewegung des Falls mit 150 km/h einer Ortsauflösung von 2 cm entspricht. Dieser Sendeburst enthält sämtliche für die Identifikation und Ortung des Senders erforderlichen Daten, worauf noch eingegangen wird. Das System wird damit bei hoher Genauigkeit echtzeitfähig, so dass eine kontinuierliche, zeitnahe Datenlieferung z.B. zur Unterstützung des Schiedsrichters und für Fernsehbilder erst möglich wird. Die endgültige Entscheidung bleibt aber dem Schiedsrichter überlassen.

[0026] Vorzugsweise erfolgt die Übertragung der Daten im Frequenzbandbereich von 2,4 GHz, wobei vorzugsweise die Bandbreite von 80 MHz als einziger Kanal zur Maximierung der Ortungsgenauigkeit genutzt wird. Hierzu wird an dem mobilen Objekt ein mobiles Sendermodul angebracht, dessen Signale von einem stationären Empfänger- und Signalverarbeitungsnetzwerk empfangen und zentral verarbeitet werden. Die von dem Sendemodul emittierten Signale sind elektromagnetische, im Zeitmultiplexverfahren ausgesandte Wellen. Zur Erhöhung der Übertragungsmöglichkeiten und der Ortungsgenauigkeit erfolgt die Kommunikation zwischen Sendern S, Sp, Sb und Empfängern E_1–E_n auf dem Prinzip des pseudo-zufälligen Zeitmultiplex mit Sendebursts B von niedriger Kreuzkorrelation mit nichtsynchronisierten Pseudozufallsmustern. Die Ortungsgenauigkeit kann auch dadurch verbessert werden, dass die relevanten Rohdaten gespeichert werden und angepasst in Navigationsalgorithmen eingesetzt werden. Durch die Speicherung ist es z.B. möglich, iterativ die Genauigkeit zu verbessern oder die Daten von besonderem Interesse, z.B. einem Torschuss mit aufwendigeren Algorithmen zu analysieren.

[0027] Um eine hohe Ortsauflösung entsprechend einer hohen Genauigkeit der Laufzeitmessung zu erhalten, wird ein Signal mit möglichst hoher Bandbreite verwendet. Da die verfügbare Bandbreite aber begrenzt ist, müssen sich die Sender das verfügbare Spektrum nach dem Codemultiplex- und Zeitmultiplex-Prinzip teilen. Da die Empfangszeit vorzugsweise

nicht synchronisiert ist, senden die Sender zu zufälligen Zeitpunkten. Zufällige Überlagerungen werden in Kauf genommen, wie dies insbesondere **Fig.** 4 verdeutlicht. Gemäß Detail X senden die Sender S2, S3 gleichzeitig, während sie gemäß Detail Y zeitversetzt senden. Derartige Überlagerungen können mehrfach vorkommen, sind jedoch auf Grund der entsprechenden Abtastrate zugunsten der erhöhten Robustheit der Sender als auch ihres kompakten Aufbaus akzeptabel.

[0028] Jeder Sender sendet zu einem Sendezeitpunkt nur einen kurzen Sendeburst B, der von den Empfängern E_1–E_n erfasst wird. Ortsfeste Referenzsender R_1 bis R_n dienen als Positionsreferenzen zur Fehlerminimierung und zur Kalibrierung des Systems. Diese senden ebenso wie der wenigstens eine mobile Sender des beweglichen Objekts einen Identifizierungscode und Signale aus, die zur Ermittlung ihrer Laufzeit von Empfänger detektiert werden. Die Referenzsignale werden über eine Signalfrequenz SF2 von im Ausführungsbeispiel 250 MHz synchronisiert. Ferner sind die Empfänger gemäß **Fig.** 6 ebenfalls über eine Signalfrequenz SF1 von im Ausführungsbeispiel 25 MHz gemäß **Fig.** 6 miteinander synchronisiert. Die Empfänger, die damit gemäß **Fig.** 3 in einem Empfängernetzwerk **12** angeordnet sind, erhalten damit über die Taktleitung **13** eine erste Information, über die Leitung **14** eine Zeitmarke und über die Leitung **15** ihre Energieversorgung. Die auf Grund dieser Informationen erfassten Daten werden mit den detektierten Signalen über die Datenleitung **17** an den Datenport **16** einer Zentralrecheneinheit CPU übermittelt, so dass sich aus den ermittelten Signalen die Position des mobilen Objekts bestimmen lässt.

[0029] Es werden wenigstens vier Empfänger benötigt, um in einem dreidimensionalen Raum ein Objekt zu orten. Laufzeitdifferenzen werden an den jeweiligen Empfängern erfasst. Die geometrische Lösung der Positionsbestimmung lässt sich über die Lösung eines hyperbolischen Gleichungssystems bestimmen.

[0030] Die Referenzsignale werden über Kabel, vorzugsweise Glasfaserkabel verteilt. Die mobilen Sendermodule der Sender S, Sp, Sb emittieren zeitbegrenzte Sendesignale als Sendebursts B. Die Sendeburst B werden unter Anwendung nicht synchronisierter Pseudozufallsmuster gesendet, die eine Kombination der Zugriffsmechanismen Zeitmultiplex und Codemultiplex sind, um dadurch die vorhandene Bandbreite möglichst voll umfänglich zu nutzen. Zur Verringerung von Überlagerungen werden Pseudozufallsmuster verwendet, die vorzugsweise Primzahlenfolgen sind. Die kleineren Primzahlen werden dabei den sich schneller bewegenden Sendern, also im Ausführungsbeispiel dem Sender Sb im Ball zugeordnet, während die höheren Primzahlen den sich langsamer bewegenden Sendern Sp zugeordnet sind.

[0031] Die Trennung zweier zufällig gleichzeitig ankommender Signale erfolgt durch den Empfänger, der hierzu nicht erfasste Einzelwerte toleriert. Dies ist auf Grund der hohen Impulsrate möglich. Die nicht synchronisierten Sendebursts können ergänzend durch ein Empfangsmodul im den Sendern synchronisiert werden. Die am HF-Frontend empfangenen analogen Empfangssignale werden in einer Auswerteeinheit digitalisiert und die Empfangszeitpunkte der Signale vom jeweiligen Sender zur Referenzzeit bestimmt. Für die Aufarbeitung der empfangenen Signale, die Auftrennung des empfangenen Signals in mehrere Signalquellen (Unterscheidung der Sender) und die Charakterisierung für jedes Sendesignal des momentanen Bewegungsablaufs wird eine Software mit einer bestimmten Methodik verwendet, die über mehrere Algorithmen mit variablen Parametern verfügt. Diese werden interaktiv je nach Situation angepasst und kombiniert.

[0032] Zur Gewährung der Echtzeitübertragung verfügt der Sender und Empfänger über eine Hardware, mit der der Triggerzeitpunkt zur Datenaufzeichnung exakt erfasst werden kann. Ferner ist eine Auswerteeinheit mit einer digitalen Hardware zur Aufbereitung eines Synchronisationssignals vorgesehen, das über entsprechende Schnittstellen eingespeist wird.

[0033] Bevor das System in seinen normalen Betriebsmodus übergeht, werden wichtige Daten in der Konfigurationsphase gewonnen. Dies ist zur Kalibrierung des Systems nötig, um z.B. die Laufzeit im Glasfasernetzwerk zu berücksichtigen. Hierbei wird auch ein Systemcheck durchgeführt, um evtl. Probleme in Teilen wie den Empfängern zu erkennen. Nach dieser Phase erfolgt die Synchronisation mittels der Korrelationsfunktion auf die Sender. Grundsätzlich senden die Sender zeitlich äquidistante Datenpakete, so dass eine Zuordnung möglich ist. Die Synchronisationsroutine muss für den jeweiligen Sender also einmal ein Datenpaket „gefunden" haben und kann dann den nächsten Sendezeitpunkt mit einer bestimmten Genauigkeit vorhersagen, da das Sendemuster ja bekannt ist. Dementsprechend wird die Triggerlogik angesteuert, um die digitalisierten Daten im Speicher wieder finden zu können. Anhand der Position im Speicher und der in der Korrelationsroutine ermittelten Abweichung vom Sollzeitpunkt ermittelt die Routine unter Laufzeitberechnung die Entfernungsdaten gemäß **Fig.** 2 ausgehend vom erwarteten Sendezeitpunkt t_0. Es ergibt sich damit ein Suchbereich s, innerhalb dem das nächste Signal auftauchen muss.

[0034] Algebraische Verfahren zur Lösung der Navigationsgleichungen weisen den Nachteil auf, dass sie abhängig von Infrastruktur, Geometrie und Qualität der einzelnen Messungen an den Empfängern sehr wechselhafte und in vielen Fällen unzureichende Positionsgenauigkeiten liefern. Deshalb werden algebraische Algorithmen nur zur Initialisierung und zur Überwachung anderer Algorithmen eingesetzt. Durch Verwendung mittelnder Verfahren kann in Anhängigkeit der Häufigkeit der Positionsberechnungen eine erhebliche Verbesserung erzielt werden. Des weiteren kann durch die Berücksichtigung von Quali-

tätsinformationen der stochastisch charakteristischen Messung eine zusätzliche Optimierung der Positionsgenauigkeit erreicht werden. Im konkreten Ausführungsbeispiel kommt der KALMAN-Filter zum Einsatz, der die beiden aufgezeigten Verbesserungen kombiniert und durch geeignete Prädiktionsmodelle der Bewegung zusätzlich die Berücksichtigung der aktuellen Situation erlaubt (situation awareness).

[0035] In Sonderfällen hochdynamischer Situationen des zu trackenden Objektes, z.B. wenn der Ball vom Tor abprallt, entstehen gesondert zu lösende Problemstellungen. Zur Lösung dieser Problemstellung ist es notwendig, zusätzliche Algorithmen zur Erfassung hochdynamischer Fälle einzuführen. Hierfür wird ein Vergleich der Bewegungssituation vor und nach einer zu überprüfenden Position durchgeführt. Durch Ermittlung der Unterschiede in beiden Bewegungsphasen (vorher, nachher) kann auf die Dynamik der Situation geschlossen werden. Ein entsprechende Nachverarbeitung dieser Situation in der umgedrehten Zeitachse kann hiermit durchgeführt werden.

[0036] Zur weiteren Verbesserung der Positionsgenauigkeiten werden Verfahren zur Kurvenglättung der einzelnen Raumkoordinaten eingesetzt. Zum einen werden Algorithmen verwendet, die unter Tolerierung einer bestimmten zeitlichen Verzögerung noch in den Echtzeitrahmen des Systems passen. Hier wird eine bereichsweise Kurvenglättung durchgeführt. Im Falle eines vorher detektierten dynamischen Falls wird das Verfahren situationsbedingt adaptiert. Eine Kurvenglättung wird in diesem Fall nicht über diesen dynamischen Zeitpunkt hinweg durchgeführt, sondern durch beidseitiges Annähern an diesen Zeitpunkt. Die noch fehlenden, nicht geglätteten Bereiche können durch geeignete Interpolationsalgorithmen logischer oder mathematischer Natur gefüllt werden. Eine wesentliche Verbesserung der Positionsgenauigkeit im dynamischen Fall ist die Folge.

[0037] Soweit zur Optimierung dieser Algorithmen erforderlich, wird eine Kombination zwischen den zu glättenden Raumkoordinaten eingeführt, welche die Erhöhung der Detektionssicherheit von dynamischen Fällen nach sich zieht.

[0038] Bedarfsweise können Verfahren zur Nachbearbeitung zum Einsatz kommen, die keine zeitliche Rechenzeiteinschränkung unterliegen und auch ausgelagert angewendet werden können. Diese liefern im Vergleich zu den echtzeittähigen Algorithmen eine zusätzlich erhöhte Positionsgenauigkeit, da größere Bereiche zur Kurvenglättung herangezogen werden können. Auch in diesen Fällen wird sichergestellt, dass die detektierten dynamischen Fälle geeignet berücksichtigt werden.

[0039] Im Empfänger werden die Daten damit wie folgt verarbeitet:

Während der Akquisitionsphase wird die Sendezeitpunktfolge synchronisiert. Dazu werden Algorithmen mit reduzierter Zeitauflösung eingesetzt. Ziel ist lediglich, die Zeitpunkte der zukünftigen Sendezeitpunkte zu schätzen.

[0040] Im Tracking-Modus werden die Sendebursts fortlaufend mit höherer Genauigkeit erfasst und die momentane Position berechnet. Es werden nur im geschätzten bzw. vorher berechneten Sende- bzw. Eingangszeitpunkt die eingehenden Signale ausgewertet. Außerdem wird die Schätzung des nächsten Sendezeitpunktes nachgeführt.

[0041] Optional können im Zoom-Modus gespeicherte Daten noch mit zusätzlichen Algorithmen verarbeitet werden. Im Zoom-Modus können z.B. auch Daten in umgekehrter zeitlicher Reihenfolge verarbeitet werden, um sich z.B. von beiden Seiten an eine Diskontinuität (z.B. Ball prallt an Torpfosten ab) heranzutasten.

[0042] Der Empfänger erfasst daher die Daten mit hoher Abtastfrequenz und speichert sie zwischen. Entsprechend den geschätzten Sendezeitpunkten werden nun die relevanten Daten weiter verarbeitet und optional auch weiterhin gespeichert, um sie z.B. in Algorithmen des Zoom-Modus zur Verfügung zu stellen.

[0043] Die Genauigkeit kann durch Datennachbearbeitung und die Einbindung von externen Sensoren wie z.B. Beschleunigungssensoren im Ball oder von Bilddaten gesteigert werden. Das System liefert z.B. im Sekundentakt die Positionsdaten aller sich im Betrieb befindlichen Sender.

[0044] Beispielhaft wurde als Übertragungsbereich das 2,4 GHz-Band vorgeschlagen, grundsätzlich können jedoch auch andere Bänder in niedrigeren Bandbereichen eingesetzt werden, um den Stromverbrauch niedrig zu halten. Denkbar ist aber auch der Einsatz im höheren Frequenzbereich z.B. 5,8 GHz, 9,4 GHz, 24 GHz bei niedrigeren Reichweiten und höherer Entfernungsauflösung. Da die Empfänger die von den Sendern ausgesandten Signale detektieren und deren Laufzeitdifferenz ermitteln, müssen sie sehr genau untereinander synchronisiert sein, was mit einem hochstabilen Referenzsignal über die Taktleitung **13** und im Ausführungsbeispiel Glasfaserkabel erreicht werden kann. Die empfangenen Daten liefern die Empfänger E_1–E_n über ein Datennetzwerk an eine Zentralrecheneinheit CPU, die daraus die Position der einzelnen Sender errechnet. Diese Daten bestehen aus der Laufzeit sowie der Qualitätsbewertung der empfangenen Signale. Ein Rückkanal zwischen mobilen Sendern S, Sp, Sb und stationären Empfängern E_1–E_n ist für die Lokalisierung selbst nicht unbedingt nötig, erlaubt jedoch eine Verbesserung der Positionsbestimmung, würde aber andererseits eine Erhöhung der Systemkomplexität und somit der Kosten bedingen.

[0045] Durch die Übertragung auf dem Prinzip der pseudo-zufälligen Zeitmultiplex mit orthogonalen Sendeburst und nicht synchronisiertem Pseudozufallsmuster wird es möglich, dass der Empfänger die Signale deutlich trennen kann. Senden tatsächlich zwei Sender gleichzeitig ein Signal ab, so erscheint der „ungewünschte Sender" als Rauschen. Zumin-

dest ergeben sich Störabstände, die eine Detektion des Signals noch problemlos möglich machen.

[0046] Dieses Konzept hat den Vorteil, dass die Sender nur für kurze Zeit aktiv sind, so dass nur geringe Stromverbräuche anfallen. Die Sender müssen nicht synchronisiert sein, so dass ein senderseitiges Empfangsmodul entfallen kann, wodurch der Sender wesentlich vereinfacht und robuster wird. Durch die Pseudozufallsfolgen in Form der Primzahlen überlagern sich während einer Sendeperiode nicht immer die gleichen Sender, so dass die ungünstige Situation, dass sich ein weit entfernter Sender ständig mit einem nahen Sender überlagert, grundsätzlich vermeiden lässt. Damit kann das „near-far"-Problem statistisch eliminiert werden. Die Kollisionswahrscheinlichkeit der Sendebursts B wird verringert.

[0047] Das Sendesignal kann mit der Formel

$$s(t) = g(t)\, e^{j(2\pi f \cdot t)}$$

beschrieben werden, wobei g(t) das Basisbandsignal beschreibt und f die Trägerfrequenz.

[0048] Das Empfangssignal für die verschiedenen Empfänger kann mit

$$e_v(t) = h(t)\cdot(g(t-\tau)\, e^{j2\pi f\cdot(t-\tau))})$$

beschrieben werden, wobei h(t) die Verzerrungen durch den Übertragungskanal (Dämpfung, Frequenzgang,...) und τ die Laufzeit zwischen Sender und Empfänger beschreibt.

[0049] Für die Bestimmung der Laufzeit τ können folgende Methoden betrachtet werden:

- Es wird nur das Basisbandsignal g(t) verwendet.
- Die Trägerphase wird mit ausgewertet.

[0050] Wenn die Trägerphase mit ausgewertet werden soll, ergibt sich folgende Situation: Für das betrachtete ISM Band ist die Trägerfrequenz ca. 2,4GHz. Damit ergibt sich eine Periodendauer von 0,4ns. Eine Trägerphasenauswertung würde also eine Mehrdeutigkeit von 0,4ns besitzen. Eine Trägerphasenauswertung kann also nur dann zur Steigerung der Genauigkeit einbezogen werden, wenn über andere Methoden eine Genauigkeit von besser als 0,4ns erzielt wird.

[0051] Das Basisbandsignal im Empfänger kann mit der Gleichung

$$e_v(t)= h(t)\cdot(g(t-\tau)\, e^{j(2\pi\Delta f\cdot t + \phi v)})$$

beschrieben werden. Δf beschreibt hierbei den Frequenzoffset, wenn nichtsynchronisierte Oszillatoren in den Sendern verwendet werden. ϕ_v ist der Phasenoffset zwischen den Oszillatoren.

[0052] Die Laufzeit τ kann über Korrelation $e_v(t)$ mit dem bekannten Sendesignal g(t) bestimmt werden. Die Genauigkeit dieser Korrelation ist ein Schlüsselparameter für die Positionsgenauigkeit. Die Genauigkeit der Korrelation wird bestimmt durch die Eigenschaften der Autokorrelierten des Signals, den Methoden, die für die Berechnung der Korrelation verwendet werden und den Störeinflüssen.

[0053] Ein grundsätzlich die Genauigkeit störendes Problem könnte die Mehrwegeausbreitung und/oder die Körperdämpfung sein, die sich durch Signale ergeben kann, die nicht unmittel bar oder nach Reflektion an deren Gegenständen dem Empfänger zugeleitet werden. Daher muss in den Empfängern E_1–E_n steht das frühest ein eintreffende Signale für die Entfernungsberechnung verwendet werden, auch wenn es evtl. nicht das stärkste ist. Dies wird im konkreten Ausführungsbeispiel dadurch erleichtert, dass in den Empfängem die zeitlichen Sendeburst-Abstände aller Sender bekannt sind und somit auch in etwa der Zeitpunkt bekannt ist, zu dem die Sendesignale im Empfänger „erwartet" werden.

[0054] Ein Sendeburst B dauert 25 µs, wobei 5 µs als Guardperiod für das Ein- und das Ausschalten der Sendeendstufe eingeplant sind. Die Sender-ID-Sequenz dauert 15 µs und beinhaltet 750 Bit. Die restlichen 5 µs tragen 250 Bit Informationen als Daten. Somit ergibt sich eine Datenrate von 50 Megabit pro Sekunde. Bei der beispielhaft zur Verfügung stehenden Gesamtbandbreite von 80 MHz im ISM-Band bei 2,4 GHz ergibt sich somit für die HF-Übertragung der Bitsequenzen ein roll-off Faktor von a = 0,6 in der Basisbandfilterung. Für den Ball ist eine Burstwiederholfrequenz von 0,5 ms geplant, während die Spielersender eine Wiederholfrequenz von 4 ms aufweisen. Daraus ergibt sich eine Zeitausnutzung von 67,5 %. Dies ermöglicht neben einer asynchronen, durch Zufallsfolgen betriebenen Sendersteuerung ggf. auch eine durch einen HF-Rückkanal synchronisierte Sendersteuerung mit den angesprochenen Nachteilen. Im Ergebnis ergibt sich eine resultierende minimale Ortsauflösung pro Sendeburst bei einem Ball von bis zu 20 mm und beim Spielersender bis zu 44 mm.

[0055] **Fig.** 7 zeigt ein Blockschaltbild des Sendermoduls. Das Modul besteht aus einer Ablaufsteuerung **80**, einer Sendedatenerzeugung **81** und einer Sendebursterzeugung **82**. Die Ablaufsteuerung **80** kontrolliert die zeitlichen Abläufe in der Schaltung. Sie bekommt den Systemtakt von der Sendebursterzeugung **82** geliefert und triggert ihrerseits sowohl die Sendedatenerzeugung **81** als auch die Sendebursterzeugung **82**. Die Sendedaten werden in der Sendedatenerzeugung **81** generiert, wobei auch Sensordaten mit verarbeitet werden können. Die Daten werden dann in der Sendebursterzeugung **82** auf einen Hochfrequenzträger aufmoduliert. Hierauf erfolgt die Abstrahlung des Sendeburst über die Antenne **83**.

[0056] Die Sendedatenerzeugung **81** besteht aus der Datenburstformung **81a**, dem Sender-ID-Block **81b** und der Sensordatenaufbereitung **81c**. Die Datenburstformung **81a** verarbeitet die von der Sensordatenaufbereitung **81c** gelieferten Sensordaten mit der Sendeerkennung aus dem Sender-ID-Block **81b**, welche eine für jeden Sender spezifische Bitfolge darstellt. Es entsteht der Datenburst, welcher an die

Sendebursterzeugung **82** weitergeleitet wird. Die Sensordaten stammen im Falle des Ballsenders von einem Beschleunigungssensor und können beim Spielersender z.B. medizinische Daten beinhalten. Die Sendebursterzeugung **82** beinhaltet den Referenzoszillator **82a**, die Hochfrequenzerzeugung, den Modulator **82b** sowie die Endstufe **82c**. Die Sendedaten werden zunächst über Datenfilter **82d** gefiltert, um die Bandbreite zu verringern, um sie daraufhin auf den Hochfrequenzträger aufmodulieren zu können. Nach der BPSK-Modulation wird das Signal verstärkt und anschließend im Bandpassfilter **82e** gefiltert, um Nebenaussendungen zu unterdrücken. Über die Antenne **83** wird der Sendeburst schließlich abgestrahlt. Die Ablaufsteuerung **80** kontrolliert die zeitliche Generierung der Datenburst und die Einschaltung der Endstufe **82c** entsprechend des Zeitmultiplexverfahrens.

[0057] **Fig.** 8 zeigt die funktionalen Blöcke eines Empfängers. Über die Antenne **90** empfangene Hochfrequenzsignale werden auf eine Zwischenfrequenz umgesetzt und dort mit Hilfe eines A/D-Umsetzers digitalisiert. Die digitale Verarbeitung gewinnt daraus die zeitlichen Abstände der empfangenen Sendesignale der einzelnen Sender in Bezug auf die Synchronimpulse, die vom Empfangsblock **91** an alle Komponenten im Empfänger verteilt werden. Außerdem werden die so generierten "rohen Laufzeitdaten" noch mit einem Qualitätsmerkmal versehen, dass die Empfangsfeldstärke bzw. Gültigkeit des entsprechenden Messwertes beinhaltet, bevor sie an den Zentralrechner weitergeleitet werden. Die empfangenen Radiosignale werden mit einem rauscharmen Verstärker verstärkt, bevor sie bandpassgefiltert werden. Nach abermaliger Verstärkung und Filterung erfolgt die Mischung in den Zwischenfrequenzbereich. Da die Digitalisierung durch Unterabtastung erfolgt, muss hier nochmals eine Filterung durchgeführt werden, bevor eine variable Verstärkung für einen konstanten Pegel am A/D-Umsetzer sorgt. Die beiden Synchronisationssignale werden dann an die digitale Signalverarbeitung als Takte weitergeleitet, wobei der 20 MHz-Takt SF2 auch als Abtastfrequenz an den A/D-Umsetzer **92** geliefert wird.

[0058] Angesichts der hohen Bandbreite wird mit einer Abtastrate von etwa 200 MHz gearbeitet. Im Baseband-Teil **92** der jeweiligen Empfänger werden die gelieferten Abtastwerte zuerst in einem Speicher mit Ringpufferstruktur gespeichert. Um sich auf die Sendesignale zu synchronisieren, werden zuerst die bekannten Sendeperioden im Empfangssignal gesucht und dann die Korrelation mit dem Sendemuster an prädizierten Stellen im Speicher durchgeführt. Dies führt zu einer genauen Bestimmung des Empfangszeitpunktes. Für Ball und Spieler sind die für die Korrelation notwendigen Recheneinheiten mehrmals parallel vorhanden. Diese bekommen vom Zentralrechner die zu suchenden Sendemuster mitgeteilt. Es ist dabei sicherzustellen, dass auch bei ungünstigster Konstellation noch alle Signale ausgewertet werden können. Aus den Korrelationseinheiten entsteht für die jeweiligen ausgewerteten Sendersignale der Empfangszeitpunkt mit einer Qualitätsmarke – zur Bewertung der Qualität des Messwertes –, die über den Steuer PC und über die Datennetzwerkinfrastruktur an der Zentralrechner CPU übertragen wird.

[0059] Im Hauptrechner CPU laufen alle Messwerte der Empfänger (Sender-Empfangszeitpunkt-Qualitätsmarke) zusammen. Sie werden mit Hilfe der Senderidentifikationsnummern sortiert und gruppiert, um dann für jeden Sender die Berechnung der Position mit den entsprechenden Algorithmen durchzuführen. Die ermittelten Koordinaten sind dann über eine definierte Schnittstelle abrufbar und können dann weiter ausgewertet werden.

[0060] Da die Positionsbestimmung aus einer sehr genauen Laufzeitdifferenzmessung der Sendesignale zu den Empfängern vorgenommen wird, sind zwei Referenzsignale erforderlich, die zentral an einer Stelle am System, z.B. beim Zentralrechner CPU erzeugt werden und an alle Empfänger sowie an den Zentralrechner verteilt werden. Die Frequenzen der beiden benötigten Frequenzsignale können z.B. m Bereich von 15 – 25 MHz sowie 150 – 250 MHz liegen. Die Signale werden als Rechtecksignale ausgeführt, um eindeutige Zeitmarken zu erhalten, und über die Leitung **14** den Empfängern zugeführt.

[0061] Die Referenzsender R_1–R_n arbeiten mit Trigger- und Taktsignalen, die vom Signalnetzwerk eingespeist werden. Die Empfänger sind vorzugsweise Geradeausempfänger, die mit dem Synchronisationsfrequenzen arbeiten. Der Empfänger kann aber auch als Einfach-Superhet-Empfänger ausgebildet sein. Dabei wird eine Zwischenfrequenz benutzt, die dann in einer zweiten Mischerstufe auf die Ausgangsfrequenz gemischt und nur noch tiefpassgefiltert werden muss. Der Vorteil dieser Ausgestaltung ist die völlig freie Wahl der Ausgangsfrequenz. Bei vorgegebener Bandbreite von 80 MHz bedingt dies eine theoretische Abtastrate von 160 MHz. Effektiv wird die Bandbreite aber durch den analogen Vorfilter mit charakteristischer Übertragungsfunktion bestimmt.

Bezugszeichenliste

B	Sendeburst
E_1– E_n	Empfänger (Kalibrierung; Dekodierung, Synchronisation)
s	Suchbereich
S, S1–S6	Sender
Sb	Sender in mobilem Zielobjekt; z. B. Ball
Sp	Sender in mobilen Objekten; z. B. Spieler
SF1, SF2	Synchronfrequenz
R_1–R_n	Referenzsender
10	Spielfeld
11	16m-Raum
12	Empfängernetzwerk
13	Taktleitung
14	Zeitmarke
15	Power
16	Daten-Port
17	Datenleitung
80	Ablaufsteuerung
81	Sendedatenerzeugung
81a	Datenburstformung
81b	Sender-ID-Block
81c	Sensordatenaufbereitung
82	Sendebursterzeugung
82a	Oszillator
82b	Modulator
82c	Endstufe
82d	Datenfilter
82e	Filter
83	Antenne
90	Antenne
91	Frequenzempfänger in E
92	A/D-Umsetzer

Patentansprüche

1. Verfahren zur kontinuierlichen Echtzeitverfolgung der Position von wenigstens einem mobilen Objekt in einem definierten mehrdimensionalen Raum, mit wenigstens einem mobilen Sendermodul, das an wenigstens einem mobilen Objekt des zu analysierenden Systems angebracht wird und dessen Signale von einem stationären Empfänger- und Signalverarbeitungsnetzwerk empfangen und zentral verarbeitet werden, wobei die von dem wenigstens einen Sendermodul emittierten Signale elektromagnetische, in einem Frequenzbandbereich im Zeitmultiplexverfahren ausgesandte Wellen sind, dadurch gekennzeichnet, dass das verfügbare Frequenzband als ein einziger Kanal zur Maximierung der Ortungsgenauigkeit genutzt wird, und dass die Kommunikation zwischen Sendern (S, Sp, Sb) und Empfängern (E_1,...,E_n) auf dem Prinzip des pseudo-zufälligem Zeitmultiplex mit nicht synchronisierten Pseudozufallsmustern basiert ist, und dass die Sendesignale unterschiedlicher Sendebursts (B) mit niedriger Kreuzkorrelation charakterisiert sind.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Empfänger (E_1,...,E_n) in Kenntnis des pseudo-zufälligem Zeitmultiplex und der bekannten Pseudozufallsmuster den Zeitpunkt des nächsten Sendebursts (B) eines bestimmten Senders (S, Sp, Sb) abschätzen.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass nur die Signale ausgewertet werden, die zum vorherbestimmten Zeitpunkt des nächsten Sendebursts (B) auftreten.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorausberechnung des nächsten Sendebursts eines bestimmten Senders (S, Sp, Sb) kontinuierlich nachgeführt wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Sendermodule so miniaturisiert sind, dass sie auch in einem Ball einsetzbar sind.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Frequenzband bei etwa 2,4 GHz liegt.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Frequenzband eine Bandbreite von 80 MHz hat.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ortsfeste Referenzsender (R_1,...,R_n) als Positionsreferenzen zur Fehlerminimierung und zur Kalibrierung des Systems eingesetzt werden, die ebenso wie der wenigstens eine mobile Sender (S, Sp, Sb) des wenigstens einen zu analysierenden beweglichen Objekts einen Identifizierungscode in einer Folge aussenden und deren Signale zur Ermittelung ihrer Ankunftszeit an den jeweiligen Empfängern von den Empfängern (R_1,...,R_n) detektiert werden.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Referenzsender über Kabel, vorzugsweise Glasfaserkabel synchronisiert werden..

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüchen, dadurch gekennzeichnet, dass die Sendebursts (B) unter Anwendung nicht synchronisierter Pseudozufallsmuster gesendet werden, die eine Kombination der Zugriffsmechanismen Zeitmultiplex und Codemultiplex sind.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüchen, dadurch gekennzeichnet, dass die Pseudozufallsmuster Primzahlenfolgen sind.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei den

Sendebursts (B) die Trennung von wenigstens zwei zufällig gleichzeitig ankommenden Signalen verschiedener Herkunft durch den Empfänger erfolgt.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Sendebursts (B) mit einer so hohen Impulsrate gesendet werden, so dass nicht erfasste einzelne Werte toleriert werden.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die von dem mindestens einen mobilen Sendermodul der Sender (S, Sp, Sb) nicht synchronisierten Sendebursts (B) durch ein Empfangsmodul im Sender (S, Sp, Sb) synchronisierbar sind, um bei vielen Sendern die Wahrscheinlichkeit der Überlappungen zu reduzieren.

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die am HF-Frontend empfangenen analogen Empfangssignale in einer Auswerteeinheit digitalisiert werden und die Empfangszeitpunkte der Signale zum jeweiligen Sender (S, Sp, Sb) bestimmt und gespeichert werden.

16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass für die Aufarbeitung der empfangenen und gespeicherten Signale je nach Situation unterschiedliche Algorithmen eingesetzt werden können.

17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass für die Bearbeitung der empfangenen Signale das Signal in sich ggf. überlappende Abschnitte zerlegt wird und für die einzelnen Abschnitte der jeweils beste Algorithmus oder mehrere Algorithmen gleichzeitig angewendet werden.

18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass für die Bearbeitung einzelner Abschnitte auch eine umgedrehte Zeitachse anwendbar ist, so dass z.B. Diskontinuitäten in hochdynamischen Vorgängen von zwei Seiten angenähert werden.

19. Vorrichtung zum Senden von elektromagnetischen Wellen, die am bewegten Objekt fixierbar oder als Referenzsender (R_1,...,R_n) ausgestaltet ist, zur Verwendung in einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass die in einem Frequenzbandbereich im Zeitmultiplexvertahren ausgesandte elektromagnetischen Wellen Sendebursts (B) sind.

20. Vorrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass der Referenzsender (R_1,...,R_n) mit Trigger- und Taktsignalen arbeitet, die von einem Signalnetzwerk eingespeist werden.

21. Empfänger (E_1,...,E_n) zur Verwendung in einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 18, ausgebildet als Geradeausempfänger, dadurch gekennzeichnet, dass er mit Synchronisationsfrequenzen arbeitet.

22. Empfänger nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass der Empfänger (E_1,...,E_n) als Einfach-Superhet-Empfänger ausgebildet ist.

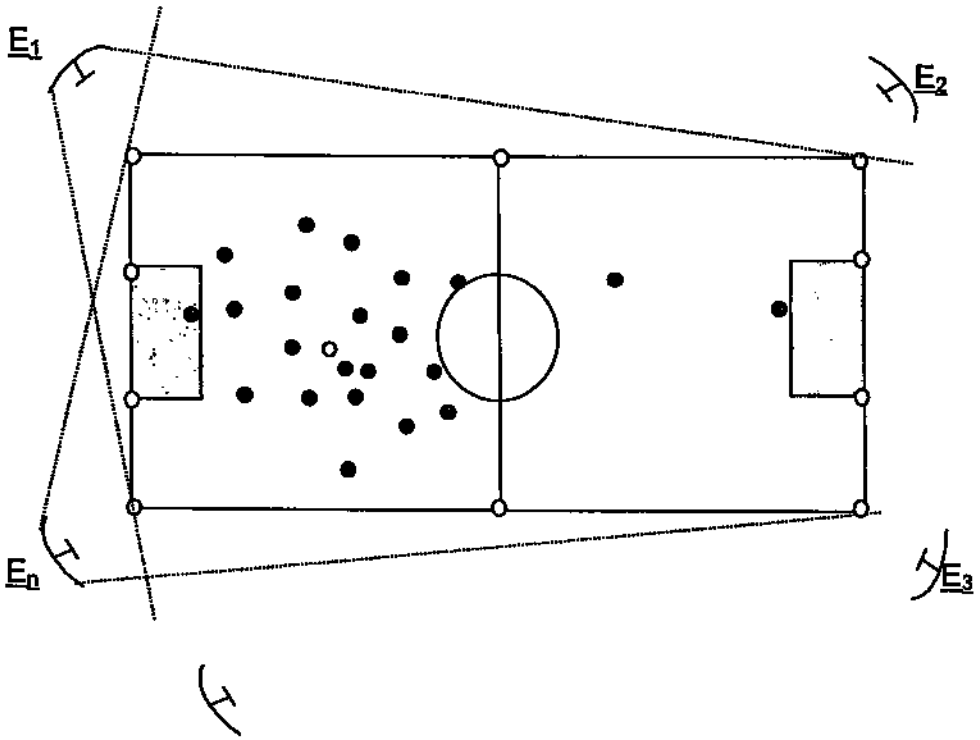
23. Empfänger nach einem der Ansprüche 21 oder 22, dadurch gekennzeichnet, dass er eine Auswerteeinheit zur Gewährung der Echtzeitübertragung mit einer Hardware aufweist, mit der Triggerzeitpunkt zur Datenaufzeichnung exakt erfasst wird.

24. Empfänger nach einem der Ansprüche 21 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswerteeinheit über eine digitale Hardware zur Aufbereitung des Synchronisationssignals und über entsprechende Schnittstellen zur Einspeisung externer Takt- bzw. Triggersignale verfügt.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig.1



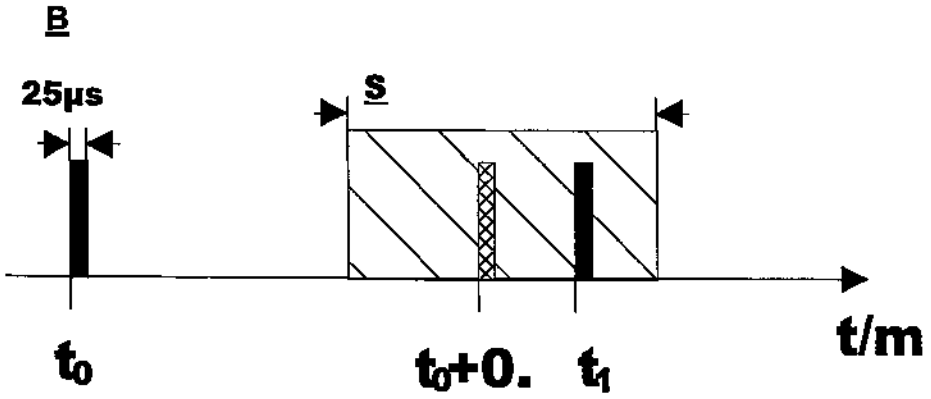

B
25µs
S
t/m
t_0
t_0+0.
t_1

Fig. 2

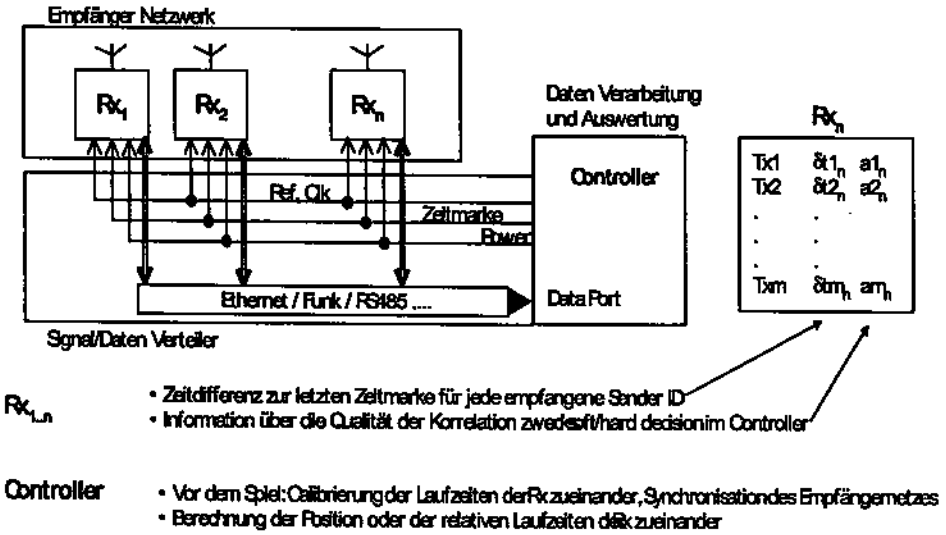

Empfänger Netzwerk
Rx_1
Rx_2
Rx_n
Daten Verarbeitung und Auswertung
Controller
Ref. Clk
Zeitmarke
Power
Ethernet / Funk / RS485 ....
Data Port
Signal/Daten Verteiler
Rx_n
Tx1 $\delta t1_n$ $a1_n$
Tx2 $\delta t2_n$ $a2_n$
Txm δtm_n am_n
$Rx_{1..n}$
• Zeitdifferenz zur letzten Zeitmarke für jede empfangene Sender ID
• Information über die Qualität der Korrelation zwecks soft/hard decision im Controller
Controller
• Vor dem Spiel: Calibrierung der Laufzeiten der Rx zueinander, Synchronisation des Empfängernetzes
• Berechnung der Position oder der relativen Laufzeiten der Rx zueinander

Fig. 3

Fig. 4

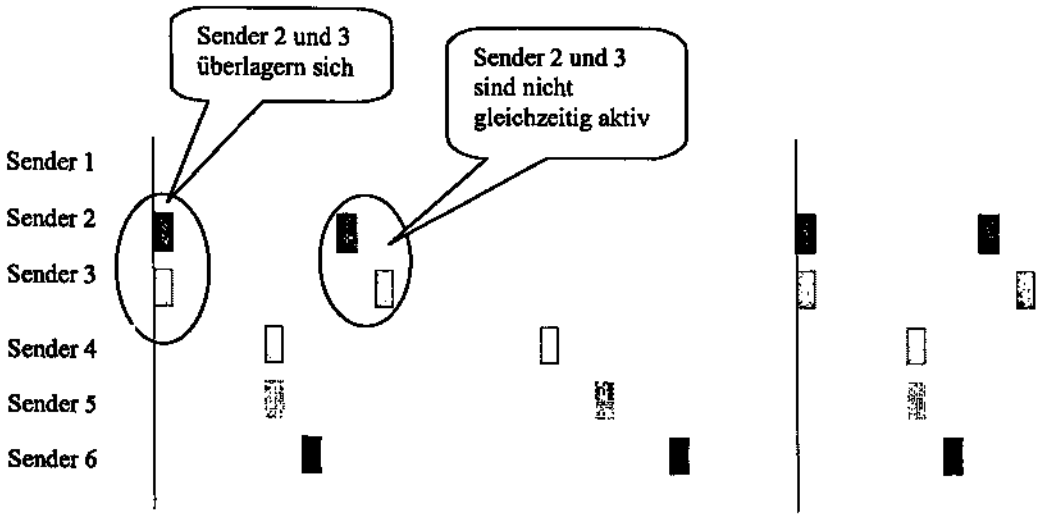

Sender 2 und 3 überlagern sich
Sender 2 und 3 sind nicht gleichzeitig aktiv
Sender 1
Sender 2
Sender 3
Sender 4
Sender 5
Sender 6

Fig. 5

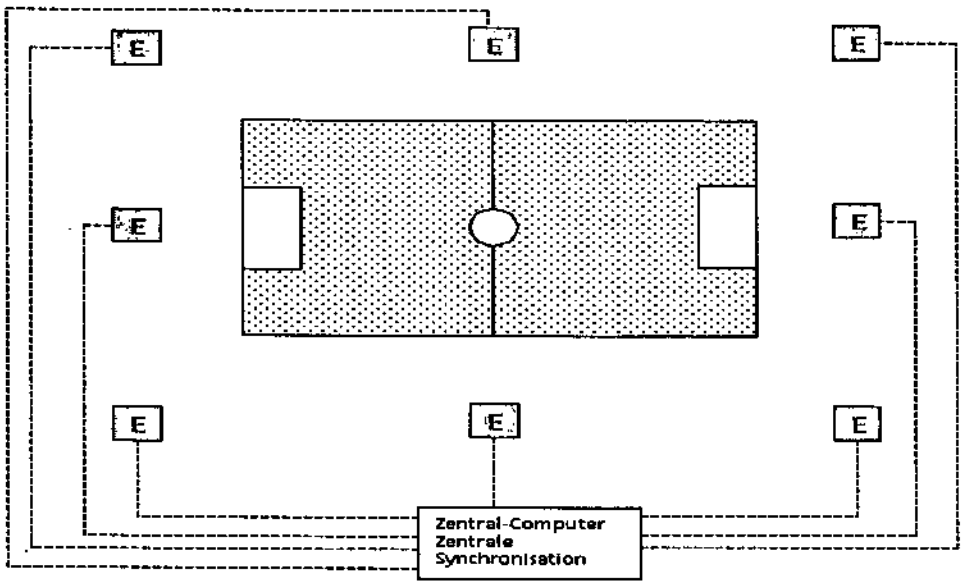

E
Zentral-Computer
Zentrale
Synchronisation

Fig. 6

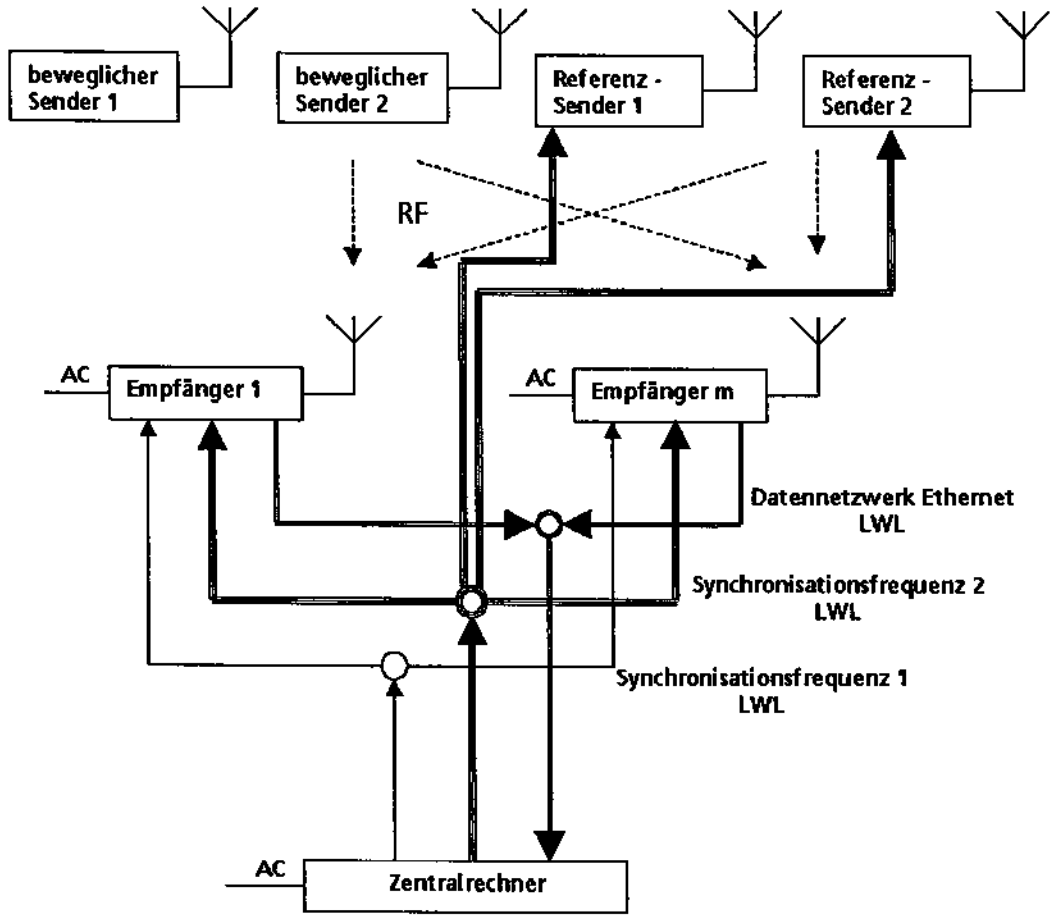
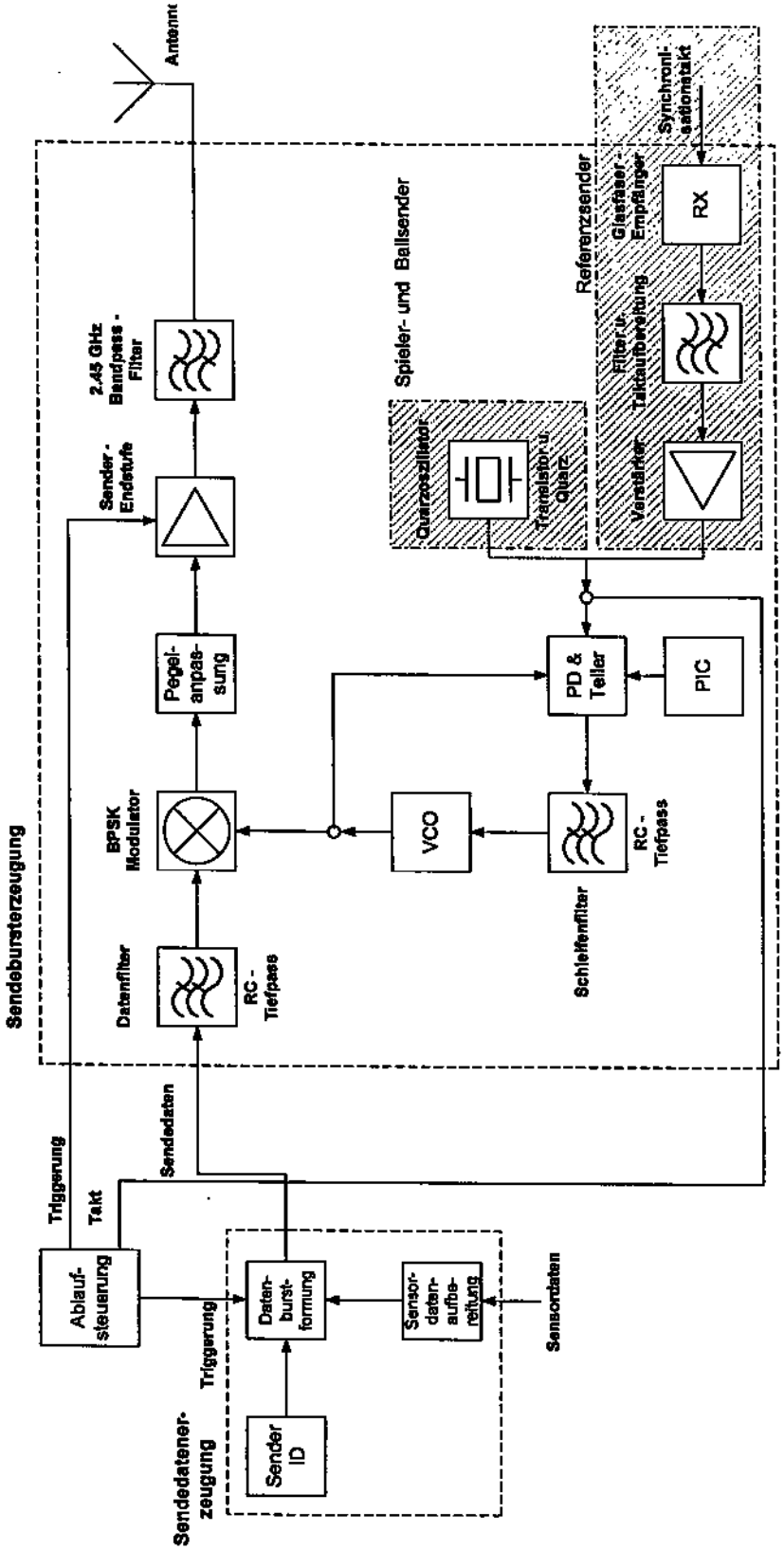

beweglicher Sender 1
beweglicher Sender 2
Referenz - Sender 1
Referenz - Sender 2
RF
AC
Empfänger 1
AC
Empfänger m
Datennetzwerk Ethernet LWL
Synchronisationsfrequenz 2 LWL
Synchronisationsfrequenz 1 LWL
AC
Zentralrechner

Fig. 7


Antenne
Sendeburstерzeugung
2.45 GHz Bandpass - Filter
Sender - Endstufe
Pegel-anpas-sung
BPSK Modulator
Datenfilter
RC - Tiefpass
Spieler- und Ballsender
Quarzoszillator
Transistor u. Quarz
Referenzsender
Glasfaser - Empfänger
Synchroni-sationstakt
RX
Filter u. Taktaufbereitung
Verstärker
PD & Teiler
PIC
VCO
RC - Tiefpass
Schleifenfilter
Triggerung
Takt
Sendedaten
Ablauf-steuerung
Triggerung
Daten-burst-formung
Sensor-daten-aufbe-reitung
Sensordaten
Sendedatener-zeugung
Sender ID

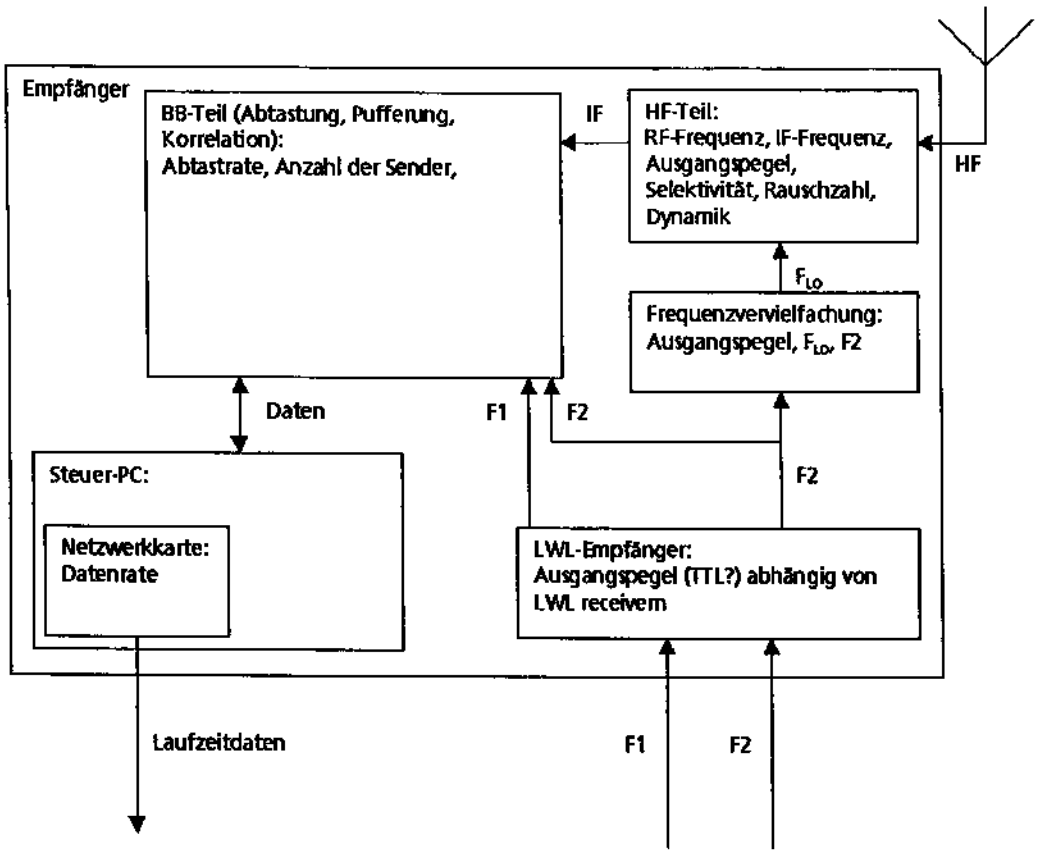

Empfänger
BB-Teil (Abtastung, Pufferung, Korrelation):
Abtastrate, Anzahl der Sender,
IF
HF-Teil:
RF-Frequenz, IF-Frequenz, Ausgangspegel, Selektivität, Rauschzahl, Dynamik
HF
F_{LO}
Frequenzvervielfachung:
Ausgangspegel, F_{LO}, F2
Daten
F1
F2
F2
Steuer-PC:
Netzwerkkarte:
Datenrate
LWL-Empfänger:
Ausgangspegel (TTL?) abhängig von LWL receivern
Laufzeitdaten
F1
F2

Fig. 8