



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 10 2007 046 366 A1 2008.04.17

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2007 046 366.0

(22) Anmeldetag: 27.09.2007

(43) Offenlegungstag: 17.04.2008

(51) Int Cl.⁸: **G01S 5/06** (2006.01)
A63B 71/06 (2006.01)

(66) Innere Priorität:
10 2006 048 389.8 12.10.2006

(71) Anmelder:
CAIROS technologies AG, 76307 Karlsbad, DE

(74) Vertreter:
Schoppe, Zimmermann, Stöckeler & Zinkler, 82049
Pullach

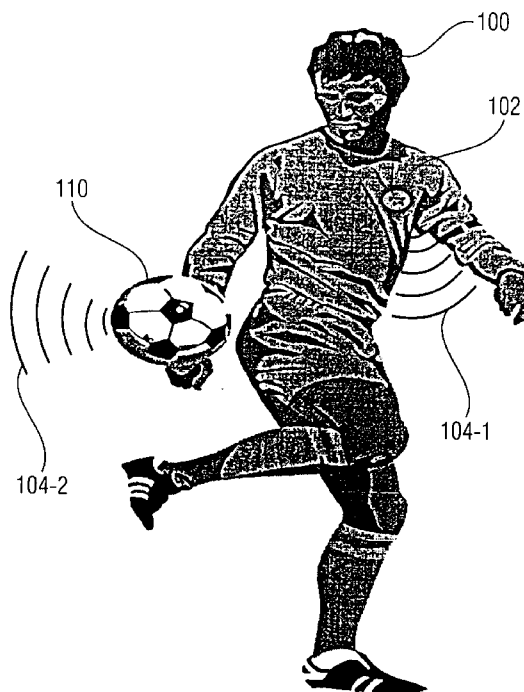
(72) Erfinder:
Englert, Walter, 88483 Burgrieden, DE; Bucher,
Tilman, Dipl.-Phys., 81929 München, DE

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Konzept zur Positionsmessung durch Phasenvergleich eines modulierten Signals**

(57) Zusammenfassung: Eine Vorrichtung zum Bestimmen einer Position eines Objekts mit einem Funksender, der ein Sendesignal aus einem Trägersignal und einem für das Objekt charakteristischen Modulationssignal senden kann, wobei das Sendesignal von wenigstens drei Antennen empfangbar ist, mit einer Einrichtung zum Erhalten von Phaseninformationen des von den wenigstens drei Antennen empfangenen Modulationssignals, für jede Antenne, und einer Einrichtung zum Bestimmen der Position des Funksenders basierend auf den Phaseninformationen.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Konzept zur Positionsmessung durch Phasenvergleich mehrerer Repliken eines modulierten Signals, wie es beispielsweise zur Bestimmung einer Position von Spielern oder Spielgeräten auf einem Spielfeld eingesetzt werden kann.

[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.

[0003] Eine Vielzahl von Aufgaben setzt eine Kenntnis von Position und Orientierung von Objekten voraus. So ist es beispielsweise im Bereich des Sports oftmals interessant, eine Kenntnis über eine Position und/oder Orientierung eines Spielers auf einem Spielfeld zu bekommen. Solche Informationen können benutzt werden, um Statistiken über den Spielverlauf zu erstellen, oder sie können bei entsprechender Genauigkeit dazu benutzt werden, einem Schiedsrichter Entscheidungshilfen in kritischen Situationen, wie beispielsweise Abseitsentscheidungen oder Torentscheidungen beim Fußball, zu geben.

[0004] Derzeitige Positionsmessverfahren basieren zumeist auf optischen 2-D- oder 3-D-Auswertesystemen. Solche Lokalisationsverfahren ziehen hohe Investitions- und Wartungskosten, Empfindlichkeit gegenüber Umweltbedingungen und einen großen Aufwand zur Anpassung der Auswertelgorithmen nach sich. Die Anforderungen an Systeme zur Positionsmessung von Objekten werden von diesen Verfahren in Bezug auf Wirtschaftlichkeit, Robustheit, Taktzeit und Objektunabhängigkeit für eine Vielzahl von Aufgaben nicht erfüllt.

[0005] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht somit darin, ein verbessertes Konzept zur Positionsmessung von Objekten zu schaffen.

[0006] Diese Aufgabe wird durch eine Vorrichtung mit Merkmalen gemäß Patentanspruch 1, ein System gemäß Patentanspruch 8, ein Verfahren gemäß Patentanspruch 11 und ein Computer-Programm gemäß Patentanspruch 12 gelöst.

[0007] Die Erkenntnis der vorliegenden Erfindung besteht darin, dass eine genaue und aufwandsarme Positionsbestimmung eines Objekts bzw. eines Spielgeräts mit einem an dem Objekt angebrachten Funksender dadurch erreicht werden kann, indem ein Messareal durch eine Mehrzahl von Empfangsantennen definiert wird, in deren Empfangsbereich sich das Objekt bzw. der an dem Objekt angebrachte Funksender befindet. Der Funksender sendet dabei ein für das Objekt charakteristisches, auf einen Träger aufmoduliertes Modulationssignal. Dabei ist das Modulationssignal ein periodisches bzw. harmonisches Signal. Die verschiedenen Empfangsantennen, deren Antennenpositionen bzw. -koordinaten bekannt sind, empfangen die von dem an dem Objekt angebrachten Funksender ausgesendeten Funksignale und führen sie einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Bestimmen der Position des Objekts zu. Erfindungsgemäß werden dort aus Phasenunterschieden zwischen den verschiedenen Empfangssignalen bzw. Modulationssignalen Laufzeiten, Laufzeitdifferenzen und Intensitäten bezüglich der einzelnen Empfangsantennen bestimmt. Aus diesen Informationen kann beispielsweise ein Rechner die Position bzw. den Ort des Objekts mit dem Funksender bestimmen.

[0008] Durch die unterschiedlichen Laufzeiten des Funksignals von dem zu lokalisierenden Objekt zu den jeweiligen Empfangsantennen ergibt sich eine Phasendifferenz zwischen den einzelnen von den Antennen empfangenen Signalen. Diese Phasendifferenzen können in Laufzeitdifferenzen und somit schließlich in Entfernungsdifferenzen des Objektes zu den einzelnen Antennen umgerechnet werden. Bei drei Empfangsantennen ergeben sich zwei Phasendifferenzen, aus denen mittels eines Gleichungssystems die Position des Objektes in einem zweidimensionalen Raum angegeben werden kann. Werden mehr als drei Empfangsantennen verwendet, so kann die Position des zu lokalisierenden Objektes auch im dreidimensionalen Raum berechnet werden.

[0009] Gemäß einem Ausführungsbeispiel schafft die vorliegende Erfindung dazu eine Vorrichtung zum Bestimmen einer Position eines Objekts mit einem Funksender, der ein Sendesignal aus einem Träger-signal und einem für das Objekt charakteristischen Modulationssignal senden kann, wobei das Sendesignal von wenigstens drei Antennen empfangbar ist, mit einer Einrichtung zum Erhalten von Phaseninformationen des von dem wenigstens drei Antennen empfangenen Modulationssignals für jede Antenne, und einer Einrichtung zum Bestimmen der Position des Funksenders basierend auf den Phaseninformationen.

[0010] Um eine Mehrzahl von Objekten unterscheiden zu können, sendet der Funksender an dem Objekt ein Modulationssignal mit einem Trägersignal mit

einer Trägerfrequenz f_c . Gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung kann das Träger-signal durch das Modulationssignal beispielsweise frequenzmoduliert (FM) oder amplitudenmoduliert (AM) sein. Eine Frequenz f_{mod} des Modulationssignals wird dabei vorteilhaft so gewählt, dass die entsprechende Wellenlänge λ_{mod} des Modulationssignals in etwa die Größenordnung eines zu überprüfenden räumlichen Bereichs hat. Ist der zu überprüfende Bereich beispielsweise ein Spielfeld, insbesondere ein Fußballfeld, so kann mit einer Wellenlänge λ_{mod} , die in etwa der Länge des zu überwachenden Bereichs, also der Länge oder Diagonale des Fußballfelds, entspricht, jede Position auf dem Spielfeld auf eine Phase bzw. einen Phasenunterschied zwischen von den Empfangsantennen empfangenen Repliken des Modulationssignals von 0 bis 2π bzw. 0° bis 360° abgebildet werden.

[0011] Um hinreichend genaue Messwertresultate bzw. Positionsangaben zu ermöglichen, sind die Empfangsantennen gemäß Ausführungsbeispielen jeweils mit gleichlangen Kabeln, oder mit Kabeln mit zumindest berechenbarer Länge mit einer erfindungsgemäßen Vorrichtung gekoppelt. Durch eine gleiche Kabellänge soll verhindert werden, dass zusätzliche Signallaufzeiten durch unterschiedlich lange Kabel das Ergebnis zur Positionsangabe negativ beeinflussen.

[0012] Eine Phasenmessung bzw. eine Phasendifferenzmessung eines von einer Empfangsantenne empfangenen Modulationssignals lässt sich technisch sehr genau realisieren. Bei einer Modulationsfrequenz von beispielsweise $f_{\text{mod}} = 2$ MHz und einer Messrate von beispielsweise 2.000 Positionen pro Sekunde, kann zur Positionsbestimmung beispielsweise über 1.000 Phasenmessungen gemittelt werden.

[0013] Aus einem niederfrequenten Modulationssignal mit einer dem Ortsbestimmungsbereich entsprechenden Wellenlänge λ_{mod} resultiert auch eine entsprechend geringe Bandbreite. Um existierende Systeme in einem bestimmten Frequenzband, wie beispielsweise ein WLAN-System im 2,4-GHz-Frequenzband, nicht zu stören, ist eine möglichst geringe Bandbreite des Modulationssignals vorteilhaft.

[0014] Ein Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht somit, darin, dass über eine Betrachtung von Phasenunterschieden von empfangenen Funksignalen eine einfache und genaue Positionsbestimmung eines mit einem Funksender ausgestatteten Objektes möglich ist.

[0015] Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht darin, dass die Positionsbestimmung aufwandsarm realisiert werden kann. Es sind keine komplizierten Auswertalgorithmen notwendig, so-

wie keine aufwändigen Maßnahmen zur Synchronisation von Funksendern und Empfangseinheiten.

[0016] Bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend Bezug nehmend auf die beiliegenden Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

[0017] **Fig. 1** einen Spieler und einem Fußball mit jeweils einem Funksender, um eine Bestimmung der jeweiligen Positionen zu ermöglichen;

[0018] **Fig. 2** ein mit einem Modulationssignal moduliertes Trägersignal gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

[0019] **Fig. 3** Funksender gemäß einem Ausführungsbeispiel;

[0020] **Fig. 4** ein Flussdiagramm zur Veranschaulichung eines Verfahrens zum Bestimmen einer Position eines Objekts mit einem Funksender gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

[0021] **Fig. 5** eine Vorrichtung zum Bestimmen einer Position eines Objekts mit einem Funksender gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

[0022] **Fig. 6** einen Funksender in Reichweite von zwei Empfangsantennen;

[0023] **Fig. 7** eine Darstellung zweier zueinander phasenverschobener Modulationssignale;

[0024] **Fig. 8** eine schematische Darstellung eines Fußballfeldes mit Empfangsantennen in Eckbereichen des Fußballfeldes als Anwendungsbeispiel der vorliegenden Erfindung; und

[0025] **Fig. 9** eine schematische Darstellung von verschiedenen auf einen Träger aufmodulierte Modulationssignale.

[0026] Bezüglich der nachfolgenden Beschreibung sollte beachtet werden, dass bei den unterschiedlichen Ausführungsbeispielen gleich oder gleich wirkende Funktionselemente gleiche Bezugszeichen aufweisen und somit die Beschreibungen dieser Funktionselemente in den verschiedenen in den nachfolgend dargestellten Ausführungsbeispielen untereinander austauschbar sind.

[0027] **Fig. 1** zeigt einen Fußballspieler **100** mit einem Funksender **102**, welcher für den Fußballspieler **100** charakteristische Funksignale **104-1** aussendet. **Fig. 1** zeigt ferner einen Fußball **110**, in dem ebenfalls ein Funksender angebracht ist, um für den Ball **110** charakteristische Funksignale **104-2** auszusenden.

den.

[0028] Ein an dem Spieler **100** oder an bzw. in dem Ball **110** angebrachter Funksender **102** ist ausgebildet, um Funksignale **104** mit einem Trägersignal mit einer Trägerfrequenz f_c auszusenden, wobei das Trägersignal durch ein den Spieler **100** bzw. den Ball **110** charakterisierendes Modulationssignal moduliert ist. Der Funksender **102** sendet also ein für einen Spieler **100** oder Ball **110** charakteristisches aufmoduliertes Signal über eine Trägerfrequenz f_c . Gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung kann es sich bei der Modulation des Trägersignals durch das Modulationssignal beispielsweise um eine Amplitudenmodulation handeln, sowie es beispielhaft in **Fig. 2** gezeigt ist.

[0029] **Fig. 2** zeigt ein durch ein Modulationssignal **200** moduliertes Trägersignal **210**, wobei das Modulationssignal **200** ein periodisches bzw. harmonisches Signal ist und eine Wellenlänge λ_{mod} aufweist.

[0030] Die Wellenlänge λ_{mod} bzw. eine daraus resultierende Frequenz f_{mod} des Modulationssignals **200** wird gemäß bevorzugten Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung derart gewählt, dass die Wellenlänge λ_{mod} des Modulationssignals in etwa eine Größenordnung eines Positionsbestimmungsbereichs aufweist, in dem die Position des Objekts, an dem der Funksender **102** angebracht ist, bestimmt werden soll. Ist der Positionsbestimmungsbereich beispielsweise ein Spielfeld, insbesondere ein Fußballfeld, so kann mit einer Wellenlänge λ_{mod} , die in etwa einer Abmessung, wie z.B. einer Diagonale des Positionsbestimmungsbereichs, also des Fußballfeldes, entspricht, jede Position auf dem Spielfeld auf eine Phase bzw. einen Phasenunterschied zwischen von den Empfangsantennen empfangenen Repliken des Modulationssignals von 0 bis 2π bzw. 0° bis 360° abgebildet werden, wie es im Nachfolgenden noch näher erläutert wird.

[0031] **Fig. 3** zeigt eine schematische Darstellung eines Funksenders **102**. Der Funksender **102** weist eine Einrichtung **300** zum Kombinieren des Modulationssignals **200** und des Trägersignals **210** zu einem Sendesignal **104** auf.

[0032] Dabei kann, wie im Vorhergehenden bereits beschrieben wurde, die Einrichtung **300** ausgebildet sein, um das Modulationssignal **200** und das Trägersignal **210** gemäß einer Amplitudenmodulation zu dem Sendesignal **104** zu kombinieren. Dazu kann die Einrichtung **300** ein Mischer sein, um das Modulationssignal **200** mit der Modulationsfrequenz f_{mod} und das Trägersignal **210** mit der Trägerfrequenz f_c zu einem Sendesignal **104** mit einer Frequenz $f_c \pm f_{mod}$ zu kombinieren.

[0033] Gemäß weiteren Ausführungsformen kann

die Einrichtung **300** ausgebildet sein, um das Modulationssignal **200** und das Trägersignal **210** gemäß einer Winkelmodulation, wie z.B. einer Frequenzmodulation oder Phasenmodulation, zu dem Sendesignal **104** zu kombinieren. Das heißt, die Einrichtung **300** wirkt als Frequenzmodulator.

[0034] **Fig. 4** zeigt ein Flussdiagramm zur Veranschaulichung eines Verfahrens zum Bestimmen einer Position eines Objekts mit einem Funksender **110**, der ein Sendesignal **104** aus einem Trägersignal **210** und einem für das Objekt charakteristischen Modulationssignal **200** senden kann, wobei das Sendesignal **104** von wenigstens drei Antennen empfangbar ist, gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

[0035] In einem ersten Schritt S1 werden Phaseninformationen aus dem von den wenigstens drei Antennen empfangenen Sendesignal **104** für das Modulationssignals **200** für jede Antenne erhalten.

[0036] In einem zweiten Schritt S2 wird, basierend auf den Phaseninformationen aus Schritt S1, die Position des Funksenders **102** an dem zu lokalisierenden Objekts bestimmt.

[0037] Das in **Fig. 4** dargestellte Verfahren gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung soll im Nachfolgenden anhand der in **Fig. 5** gezeigten Vorrichtung zum Bestimmen einer Position eines Objekts mit einem Funksender näher erläutert werden.

[0038] **Fig. 5** zeigt eine Vorrichtung **500** zum Bestimmen einer Position eines Objekts mit einem Funksender **102**, der ein Sendesignal **104** aus einem Trägersignal **210** und einem für das Objekt charakteristischen Modulationssignal **200** senden kann, wobei das Sendesignal **104** von wenigstens drei Antennen empfangbar ist, gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

[0039] Die Vorrichtung **500** weist eine Einrichtung **510** zum Erhalten von Phaseninformationen des von den wenigstens drei Antennen empfangenen Modulationssignals **200** für jede Antenne auf. Die Einrichtung **510** zum Erhalten von den Phaseninformationen ist eingangsseitig mit einer Mehrzahl von N Antennen, insbesondere Empfangsantennen **520-1** bis **520-N** gekoppelt.

[0040] Dabei beträgt die Anzahl N der Antennen **520-1** bis **520-N** wenigstens drei. Ausgangsseitig ist die Einrichtung **510** mit einer Einrichtung **530** zum Bestimmen der Position des Funksenders **102** basierend auf den Phaseninformationen gekoppelt.

[0041] Die Antennen **520-1** bis **520-N**, deren Positionen bzw. Koordinaten bekannt sind, empfangen

zeitverschobene Repliken, des Sendesignals **104** des Senders **102** und führen sie beispielsweise über Lichtwellenleiter oder Koaxialkabel einem in [Fig. 5](#) nicht explizit dargestellten Empfänger zur Aufbereitung bzw. Regeneration des Modulationssignals **200** zu. Der Empfänger kann sich beispielsweise in der Einrichtung **510** zum Erhalten der Phaseninformationen befinden.

[0042] Der Empfänger zum Empfangen des von dem Sender **102** gesendeten Sendesignals **104** weist dazu beispielsweise einen Mischer auf, um das aus Trägersignal **210** und Modulationssignal **200** bestehende Sendesignal **104** mit einem Signal entsprechend dem Trägersignal zu mischen, um pro Empfangszweig jeweils ein Replik des Modulationssignals **200** zu erhalten. Gemäß Ausführungsbeispielen liegt die Frequenz f_c des Trägersignals **210** in einem Frequenzbereich von 2,2 GHz bis 2,6 GHz. Vorzugsweise liegt die Trägerfrequenz f_c bei 2,4 GHz.

[0043] Für eine Positionsbestimmung im dreidimensionalen Raum mittels Auswertung von Phasendifferenzen, sind im Allgemeinen $N=4$ Empfangsantennen notwendig. Mittels vier von den Empfangsantennen empfangenen Repliken des Sendesignals **104** mit jeweils unterschiedlichen Phasenlagen und unterschiedlichen Laufzeiten können $(N-1) = 3$ unterschiedliche relative Phasenlagen $\Delta\varphi_1 - \Delta\varphi_3$ bzw. Laufzeitdifferenzen $\Delta\tau_1 - \Delta\tau_3$ bezogen auf eines der vier Empfangssignale und damit die drei Ortskoordinaten (x_0, y_0, z_0) des zu lokalisierenden Senders **102** im dreidimensionalen Raum ermittelt werden. Für eine zweidimensionale Positionsbestimmung mittels Phasenunterschieden genügen im Allgemeinen drei Antennen.

[0044] Die Bestimmung der Phasenunterschiede $\Delta\varphi_n$ ($n=1, \dots, N-1$) der von den Antennen **520-1**–**520-N** empfangenen Repliken des durch den Empfänger von dem Trägersignal **210** getrennten Modulationssignals **200** übernimmt gemäß Ausführungsbeispielen die Einrichtung **510** zum Erhalten der Phaseninformationen $\Delta\varphi_n$ ($n=1, \dots, N-1$) durch Bilden einer Differenz einer ersten Phaseninformation eines ersten Modulationssignals einer ersten Antenne und einer zweiten Phaseninformation eines zweiten Informationssignals einer zweiten Antenne.

[0045] Um den Sender **102** möglichst einfach zu halten, wird das Trägersignal **210** von dem modulierenden Signal **200** mittels Amplituden- oder Frequenzmodulation moduliert. Dabei ist das Modulationssignal **200** ein periodisches bzw. harmonisches Signal mit einer für ein Objekt, an dem der Sender **102** angebracht ist, charakteristischen Modulationsfrequenz f_{mod} . Gemäß bevorzugten Ausführungsbeispielen ist die Frequenz f_{mod} des Modulationssignals derart eingestellt, dass eine Wellenlänge λ_{mod} des Modulationssignals **200** eine Größenordnung eines

Positionsbestimmungsbereichs, in dem die Position des Objekts mit dem Funksender **102** bestimmt werden soll, aufweist. Ist der Positionsbestimmungsbereich beispielsweise ein Fußballfeld, welches für Ge- wöhnlich eine Abmessung von 105 m \times 68 m (m =Meter) aufweist, so ergibt sich eine vorteilhafte Wellenlänge λ_{mod} des Modulationssignals von $\lambda_{\text{mod}} = 125$ m, was der Länge einer Diagonalen des Fußballfeldes entspricht. Sind vier Antennen **500-1** bis **500-4** beispielsweise in den Eckbereichen des Fußballfeldes, z.B. in den Eckfahnen implementiert, so ergibt sich für jede Position eines Fußballs oder Spielers mit Sender **102** eine relative Phasenlage bzw. Phasendifferenz $\Delta\varphi_n$ ($n=1, \dots, N-1$) zwischen jeweils zwei Empfangssignalen von 0 bis 2π bzw. 0° bis 360° . Bei einer Wellenlänge $\lambda_{\text{mod}} = 125$ m ergibt sich mit $f = c/\lambda$ eine Modulationsfrequenz f_{mod} von ca. 2,4 MHz. Dabei ist c die Lichtgeschwindigkeit. Gemäß Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung weist das Modulationssignal **200** eine Modulationssignalfrequenz f_{mod} in einem Bereich von 1 MHz bis 3 MHz auf.

[0046] Für den Anwendungsbereich „Positionsbestimmung auf einem Fußballfeld“ ergäben sich bei Modulationsfrequenzen größer als 2,4 MHz für bestimmte Positionen auf dem Fußballfeld Mehrdeutigkeiten bzgl. der Position. Dies ist darauf zurückzuführen, dass es bei Wellenlängen λ_{mod} kleiner als beispielsweise die Diagonale des Fußballfeldes bei hinreichend weit von einer Antenne entfernten Funksendern **102** zu einem Überlauf der Empfangsphase bzgl. der Sendephase des Modulationssignals **200** kommt. Das bedeutet, dass bei einer Entfernung d_{max} des Senders **102** von einer Antenne **520-n**, die größer als die Wellenlänge λ_{mod} ist, die Empfangsphase an von 360° auf 0° „umspringt“ und somit eine wesentlich kürzere Entfernung des Senders **102** von der Antenne **520-n** geschätzt wird. Bei einer Verwendung von hinreichend vielen Antennen, insbesondere bei der Verwendung redundanter Antennen, d.h. mehr Antennen als zur Positionsbestimmung unbedingt notwendig sind, können diese Mehrdeutigkeiten jedoch aufgelöst werden. Somit sind auch Frequenzen f_{mod} des Modulationssignals **200** denkbar, bei denen die Wellenlänge λ_{mod} des Modulationssignals **200** kleiner wird als der Positionsbestimmungsbereich.

[0047] Wie im Vorhergehenden bereits beschrieben wurde, können über die Empfangsantennen **500-1** bis **500-N** Funksignale des zu lokalisierenden Senders **102** empfangen werden. Durch unterschiedliche Entfernungen bzw. Abstände d_n ($n=1, \dots, N$) der einzelnen Antennen **520-1** bis **520-N** zu dem Sender **102** weisen die verschiedenen Empfangssignale $r_1(t)$ bis $r_N(t)$ unterschiedliche Laufzeiten τ_1 bis τ_N und damit unterschiedliche Phasenlagen zueinander auf. Dieser Zusammenhang ist schematisch in [Fig. 6](#) und [Fig. 7](#) gezeigt.

[0048] **Fig. 6** zeigt einen Sender **102** mit einem ersten Abstand d_1 zu einer ersten Antenne **520-1** und mit einem zweiten Abstand d_2 zu einer zweiten Antenne **520-2**.

[0049] Aufgrund der größeren Entfernung des Funksenders **102** zu der zweiten Antenne **520-2**, braucht ein von dem Sender **102** ausgesendetes Funksignal **104** eine längere Laufzeit zu der zweiten Antenne **520-2** als zu der ersten Antenne **520-1**. Demnach weisen die, über die beiden Antennen **520-1**, **520-2** empfangenen, Repliken des Sendesignals bzw. des von dem Trägersignal **210** getrennten Modulationssignals **200** unterschiedliche Phasenlagen zueinander auf, wie es schematisch in **Fig. 7** gezeigt ist.

[0050] **Fig. 7** zeigt ein über die erste Antenne **520-1** empfangenes Modulationssignal **200-1** und ein über die zweite Antenne **520-2** empfangenes Modulationssignal **200-2**. Durch die größere Laufzeit des Sendesignals vom Sender **102** zur zweiten Antenne **520-2** ist das zweite Modulationssignal **200-2** gegenüber dem ersten Modulationssignal **200-1** um eine Phasendifferenz $\Delta\phi$ verschoben. Die Phasendifferenz $\Delta\phi$ ergibt sich aus $\Delta\phi = 2\pi f_{\text{mod}}(t_2 - t_1)$.

[0051] Eine Phasemessung bzw. eine Phasendifferenzmessung lässt sich technisch sehr genau realisieren. Bei einer Modulationsfrequenz f_{mod} von beispielsweise 2 MHz und einer Messrate von beispielsweise 2.000 Positionen pro Sekunde kann z. B. über 1.000 Phasemessungen gemittelt werden, um einen Phasenwert bzw. einen Phasendifferenzwert zu erhalten. Gemäß Ausführungsbeispielen ist die Einrichtung **510** zum Erhalten der Phaseninformation also ausgebildet, um eine Genauigkeit der Phaseninformation durch eine Mittelung einer Mehrzahl von Phaseninformationen zu erhöhen. Ist die Phasendifferenz $\Delta\phi$ derart ermittelt worden, so kann die Differenz Δd zwischen den beiden Entfernungen d_1 und d_2 gemäß $\Delta d = \Delta\phi / (2\pi f_{\text{mod}})c$ bestimmt werden, wobei c für die Lichtgeschwindigkeit steht.

[0052] Nach entsprechender Phasen- bzw. Phasendifferenzmessung liefert die Einrichtung **510** zum Erhalten der Phaseninformationen Phasendifferenzen $\Delta\phi_1$ bis $\Delta\phi_{N-1}$ zu der Einrichtung **530** zum Bestimmen der Position des Funksenders **102** basierend auf den Phaseninformationen $\Delta\phi_1$ bis $\Delta\phi_{N-1}$.

[0053] Zur Bestimmung der Positionen von Spielern oder des Spielballs bei einem Ballspiel auf einem Spielfeld wird im Allgemeinen eine zweidimensionale Positionsbestimmung ausreichend sein. Für eine zweidimensionale Positionsbestimmung mittels Phasendifferenzen werden wenigstens drei Empfangsantennen benötigt. Befindet sich der zu lokalisierende Spieler oder Ball an den zu bestimmenden Koordinaten (x_0, y_0) , die erste Antenne **520-1** an den Ko-

ordinaten (x_1, y_1) , die zweite Antenne **520-2** an den Koordinaten (x_2, y_2) und die dritte Antenne **520-3** an den Koordinaten (x_3, y_3) , so lässt sich die Position (x_0, y_0) mittels des folgenden Gleichungssystems bestimmen

$$\begin{aligned}(x_0 - x_1)^2 + (y_0 - y_1)^2 &= d_1^2 \\(x_0 - x_2)^2 + (y_0 - y_2)^2 &= d_2^2 \\(x_0 - x_3)^2 + (y_0 - y_3)^2 &= d_2^2.\end{aligned}$$

[0054] Dabei bezeichnet d_1 die Entfernung des Spielers bzw. des an dem Spieler angebrachten Senders **102** zu der ersten Antenne **520-1**, d_2 bezeichnet die Entfernung des Spielers zu der zweiten Antenne **520-2** und d_3 bezeichnet die Entfernung des Spielers zu der dritten Antenne **520-3**. Bezeichnet man ferner $(d_2 - d_1)$ mit Δd_{12} und $(d_3 - d_1)$ als Δd_{13} , so kann obiges Gleichungssystem umgeformt werden zu

$$\begin{aligned}(x_0 - x_1)^2 + (y_0 - y_1)^2 &= d_1^2 \\(x_0 - x_2)^2 + (y_0 - y_2)^2 &= (d_1 + \Delta d_{12})^2 \\(x_0 - x_3)^2 + (y_0 - y_3)^2 &= (d_1 + \Delta d_{13})^2.\end{aligned}$$

[0055] Obiges Gleichungssystem weist nun lediglich drei Unbekannte nämlich x_0 , y_0 und d_1 auf, die mittels der drei Gleichungen bestimmt werden können. Die Werte für Δd_{12} und Δd_{13} können, wie oben bereits beschrieben wurde, anhand der Phasendifferenzen der von den drei Antennen empfangenen Modulationssignalrepliken mittels $\Delta d = \Delta\phi / (2\pi f_{\text{mod}})c$ bestimmt werden.

[0056] Soll zusätzlich zu den Spielerpositionen auf einem Spielfeld beispielsweise auch eine Flugkurve eines Balls **110** dreidimensional bestimmt werden, so sind vier Antennen notwendig. Dazu zeigt **Fig. 8** ein Fußballfeld **800** als Positionsbestimmungsbereich mit vier Antennen **520-n** ($n=1,2,3,4$), die jeweils in einem Eckbereich des Fußballfelds **800** angebracht sind.

[0057] Gemäß Ausführungsbeispielen können die Antennen auch jeweils an unterschiedlichen Torpfosten zweier unterschiedlicher Tore angebracht sein. Andere, beliebige Positionen für die Antennen innerhalb Fußballstadions sind natürlich genauso denkbar.

[0058] Auf dem Fußballfeld **800** befindet sich ein Ball **110**, ein erster Spieler **100-1** und ein zweiter Spieler **100-2**. Der Ball **110**, der erste Spieler **100-1** und der zweite Spieler **100-2** weisen jeweils einen Funksender **102-1**, **102-2** und **102-3** auf, wobei die Funksender ausgebildet sind, um jeweils ein für den Ball **110**, für den ersten Spieler **100-1** und für den zweiten Spieler **100-2** charakteristisches Sendesignal zu senden. Dabei setzen sich die charakteristischen Sendesignale **104-1**, **104-2**, **104-3** jeweils aus einem Trägersignal **210** mit der Trägerfrequenz f_c und charakteristischen Modulationssignalen **200-1**,

200-2, 200-3 mit Modulationsfrequenzen $f_{\text{mod},1}$, $f_{\text{mod},2}$, $f_{\text{mod},3}$ zusammen. Ein schematisch dargestelltes Spektrum für das in [Fig. 8](#) dargestellte Szenario ist in [Fig. 9](#) gezeigt.

[0059] [Fig. 9](#) zeigt ein Trägersignal **210** mit einer Frequenz f_c , auf das Modulationssignale **200-1, 200-2, 200-3** mit unterschiedlichen Modulationsfrequenzen $f_{\text{mod},1}$, $f_{\text{mod},2}$, $f_{\text{mod},3}$ aufmoduliert sind. Dabei entspricht die Modulationsfrequenz $f_{\text{mod},1}$ beispielsweise dem Modulationssignal des Balls **110**, die Modulationsfrequenz $f_{\text{mod},2}$ dem Spieler **100-1** und das Modulationssignal mit der Frequenz $f_{\text{mod},3}$ dem Spieler **100-2**. Das in [Fig. 9](#) gezeigte schematische Spektrum ergibt sich im Falle einer Amplitudenmodulation.

[0060] Die unterschiedlichen, dem Ball **110** und den Spielern **100-1, 100-2** zuordenbaren Modulationssignale **200-1, 200-2, 200-3** können in der Vorrichtung **500** mit geeigneten Empfängern, beispielsweise Amplituden-Demodulatoren oder Frequenz-Demodulatoren, und geeigneten Filtern für die unterschiedlichen Frequenzen $f_c \pm f_{\text{mod},1}$, $f_c \pm f_{\text{mod},2}$, $f_c \pm f_{\text{mod},3}$ separiert werden. Dazu sind die Antennen **520-1** bis **520-4** mit Kabeln **810-1** bis **810-4** mit der Vorrichtung **500** gekoppelt. Die Kabel **810-1** bis **810-4** sind vorzugsweise gleich lang, oder weisen zumindest eine berechenbare Länge auf. Die gleiche Länge der Kabel **810-n** von den Antennen **520-n** ($n=1, \dots, 4$) zu der Vorrichtung **500** ist vorteilhaft, um durch Signallaufzeiten durch die Kabel **810-1** bis **810-4** keine zusätzlichen unterschiedlichen Phasenverschiebungen zwischen den einzelnen Empfangszweigen zu erhalten.

[0061] Aufgrund der von den beweglichen Objekten **110, 100-1, 100-2** gesendeten und von den Antennen **520-n** ($n=1, \dots, 4$) empfangenen Signalen, können deren Positionen dem Fußballfeld **800** berechnet werden, wie es im Vorhergehenden bereits beschrieben wurde. In dem in [Fig. 8](#) gezeigten Szenario ist es durch die vier Antennen **520-n** ($n=1, \dots, 4$) sogar möglich, die Positionen dreidimensional zu bestimmen. Das heißt, auch dreidimensionale Flugbahnen des Balls **110** können beispielsweise bestimmt werden.

[0062] Wie im Vorhergehenden bereits beschrieben wurde, werden die Frequenzen $f_{\text{mod},1}$, $f_{\text{mod},2}$, $f_{\text{mod},3}$ der Modulationssignale **200-1, 200-2, 200-3** dabei vorteilhaft so gewählt, dass die entsprechenden Wellenlängen $\lambda_{\text{mod},1}$, $\lambda_{\text{mod},2}$, $\lambda_{\text{mod},3}$ der Modulationssignale in etwa die Größenordnung des zu überprüfenden Bereichs haben. Ist der zu überprüfende Bereich, wie im vorliegenden Fall, ein Fußballfeld und sind die Antennen **520-n** in den Eckbereichen des Fußballfelds angebracht, so ergeben sich vorteilhafte Modulationsfrequenzen $f_{\text{mod},x}$ in einem Bereich kleiner 2,4 MHz. Dadurch kann mit einer Wellenlänge, die in etwa die Länge des zu überwachenden Bereichs, also des Fußballfelds **800** hat, jede Position auf dem Spielfeld auf eine Phase bzw. einen Phasenunterschied $\Delta\phi_n$

($n=1, \dots, N-1$) zwischen von den N Empfangsantennen empfangenen Repliken der Modulationssignale von 0° bis 360° abgebildet werden. Bei einer wesentlich höheren Frequenz des aufmodulierten Signals wäre eine Zuordnung einer Position auf dem Spielfeld zu einer gemessenen Phase bzw. Phasendifferenz mehrdeutig. Durch eine hinreichend hohe Anzahl von Antennen kann aber auch diese Mehrdeutigkeit aufgelöst werden.

[0063] Des Weiteren resultiert aus einem niederfrequenten Modulationssignal **200** auch eine entsprechend geringe Bandbreite. Um existierende Systeme in einem bestimmten Frequenzband, wie beispielsweise ein WLAN-System im 2,4-GHz-Frequenzband, nicht zu stören, ist eine möglichst geringe Bandbreite des Modulationssignals vorteilhaft.

[0064] Bei der Überwachung eines Spielfelds **800** ist eine extrem hohe Genauigkeit der Positionsbestimmung, wie beispielsweise bei einer Torentscheidung, nicht so wichtig. Lässt sich beispielsweise eine Phase bzw. eine Phasendifferenz auf 1° genau bestimmen, so ergibt sich bei einer Wellenlänge $\lambda_{\text{mod}} = 125 \text{ m}$ eine Auflösung von $\Delta d = 125 \text{ m} / 360^\circ = 0,35 \text{ m}^\circ$. Eine Auflösung dieser Größenordnung ist für die Analyse eines Spielverlaufs und von Bewegungen von Spielern auf dem Spielfeld absolut ausreichend. Gemäß Ausführungsbeispielen beträgt eine Genauigkeit der Phaseninformationen bzw. eine Phasendifferenz einen Wert kleiner als 1° .

[0065] Konkrete Anwendungsbeispiele der vorliegenden Erfindung liegen, wie bereits angedeutet, in der Verfolgung von Spielern und Spielbällen in einem Ballspiel, um beispielsweise Aussagen über einen Spielverlauf treffen zu können.

[0066] Natürlich sich auch andere Anwendungsbeispiele des erfindungsgemäßen Konzepts denkbar, wo ein Auffinden von Objekten, insbesondere beweglichen Objekten, in einem vorbestimmten Bereich notwendig oder vorteilhaft ist.

[0067] Schließlich ist darauf hinzuweisen, dass die vorliegende Erfindung nicht auf die jeweiligen Bauteile der Vorrichtungen oder die erläuterte Vorgehensweise beschränkt ist, da diese Bauteile und Verfahren variieren können. Die hier verwendeten Begriffe sind lediglich dafür bestimmt, besondere Ausführungsformen zu beschreiben und werden nicht einschränkend verwendet. Wenn in der Beschreibung und in den Ansprüchen die Einzahl oder unbestimmte Artikel verwendet werden, beziehen sich diese auch auf die Mehrzahl dieser Elemente, so lange nicht der Gesamtzusammenhang eindeutig etwas anderes deutlich macht. Dasselbe gilt in umgekehrter Richtung.

[0068] Insbesondere wird darauf hingewiesen, dass

abhängig von den Gegebenheiten das erfindungsgemäße Schema auch in Software implementiert sein kann. Die Implementierung auch auf einem digitalen Speichermedium, insbesondere einer Diskette oder einer CD mit elektronisch auslesbaren Steuersignalen erfolgen, die so mit einem programmierbaren Computersystem und/oder Mikrocontroller zusammenwirken können, dass das entsprechende Verfahren ausgeführt wird. Allgemein besteht die Erfindung somit auch in einem Computerprogrammprodukt mit auf einem maschinenlesbaren Träger gespeicherten Programmcode zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens, wenn das Computerprogrammprodukt auf einem Rechner und/oder Mikrocontroller abläuft. In anderen Worten ausgedrückt, kann die Erfindung somit als ein Computerprogramm mit einem Programmcode zur Durchführung des Verfahrens realisiert werden, wenn das Computerprogramm auf einem Computer und/oder Mikrocontroller abläuft.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Bestimmen einer Position eines Objekts (100; 110) mit einem Funksender (102), der ein Sendesignal (104) aus einem Trägersignal (210) und einem für das Objekt charakteristischen Modulationssignal (200) senden kann, wobei das Sendesignal von wenigstens drei Antennen (520) empfangbar ist, mit folgenden Merkmalen: einer Einrichtung (510) zum Erhalten von Phaseninformationen ($\Delta\phi$) des von den wenigstens drei Antennen (520) empfangenen Modulationssignals (200), für jede Antenne; und einer Einrichtung (530) zum Bestimmen der Position des Funksenders (102) basierend auf den Phaseninformationen ($\Delta\phi$).
2. Vorrichtung gemäß Anspruch 1, wobei eine Frequenz (f_c) des Trägersignals (210) in einem Frequenzbereich von 2,2 GHz bis 2,6 GHz liegt.
3. Vorrichtung gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei eine Frequenz (f_{mod}) des Modulationssignals (200) derart eingestellt ist, dass eine Wellenlänge (λ_{mod}) des Modulationssignals (200) eine Größenordnung eines Positionsbestimmungsbereichs aufweist, indem die Position des Objekts (100; 110) bestimmt werden soll.
4. Vorrichtung gemäß Anspruch 3, wobei die Frequenz (f_{mod}) des Modulationssignals (200) in einem Bereich von 1 MHz bis 3 MHz liegt.
5. Vorrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Einrichtung (510) zum Erhalten der Phaseninformation ausgebildet ist, um eine Genauigkeit der Phaseninformation durch eine Mittelung einer Mehrzahl von Phaseninformationen zu erhöhen.
6. Vorrichtung gemäß Anspruch 5, bei der eine Genauigkeit der Phaseninformationen einen Wert kleiner als 1° beträgt.
7. Vorrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Einrichtung (510) zum Erhalten der Phaseninformationen ausgebildet ist, um eine relative Phasenlage ($\Delta\phi$) durch Bilden einer Differenz in einer ersten Phaseninformation eines ersten Modulationssignals einer ersten Antenne und einer zweiten Phaseninformation eines zweiten Informationssignals einer zweiten Antenne zu erzeugen.
8. System, mit wenigstens drei Antennen (520); und einer Vorrichtung (500), die mit den wenigstens drei Antennen (520) koppelbar ist, um eine Position eines Objekts (100; 110) mit einem Funksender (102) zu bestimmen, wobei der Funksender ein Sendesignal (104) aus einem Trägersignal (210) und einem für das Objekt charakteristischen Modulationssignal (200) senden kann, mit einer Einrichtung (510) zum Erhalten von Phaseninformationen des von den wenigstens drei Antennen empfangenen Modulationssignals, für jede Antenne, und einer Einrichtung (530) zum Bestimmen der Position des Funksenders basierend auf den Phaseninformationen.
9. System gemäß Anspruch 8, wobei die wenigstens drei Antennen (520) jeweils in einem Bereich um Eckpunkte eines Fußballfeldes angebracht sind.
10. System gemäß Anspruch 8, wobei die wenigstens drei Antennen (520) jeweils an unterschiedlichen Torpfosten zweier unterschiedlicher Tore angebracht sind.
11. Verfahren zum Bestimmen einer Position eines Objekts (100; 110) mit einem Funksender (102), der ein Sendesignal (104) aus einem Trägersignal (210) und einem für das Objekt charakteristischen Modulationssignal (200) senden kann, wobei das Sendesignal von wenigstens drei Antennen (520) empfangbar ist, mit folgenden Schritten: Erhalten von Phaseninformationen des von den wenigstens drei Antennen (520) empfangenen Modulationssignals (200), für jede Antenne; und Bestimmen der Position des Funksenders (102) basierend auf den Phaseninformationen.
12. Computerprogramm mit einem Programmcode zur Durchführung des Verfahrens gemäß Anspruch 11, wenn das Programm auf einem Computer abläuft.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen

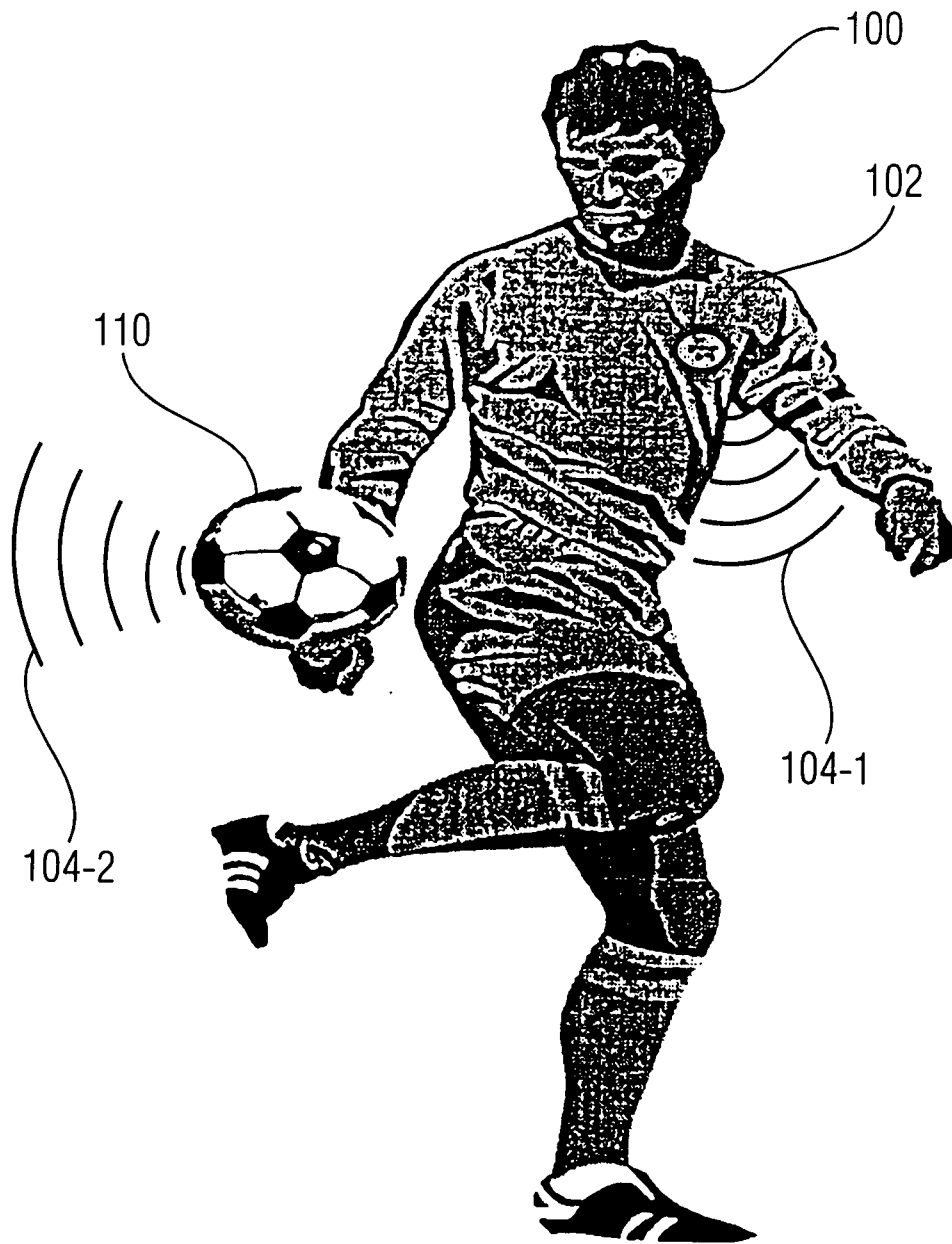


FIG 1

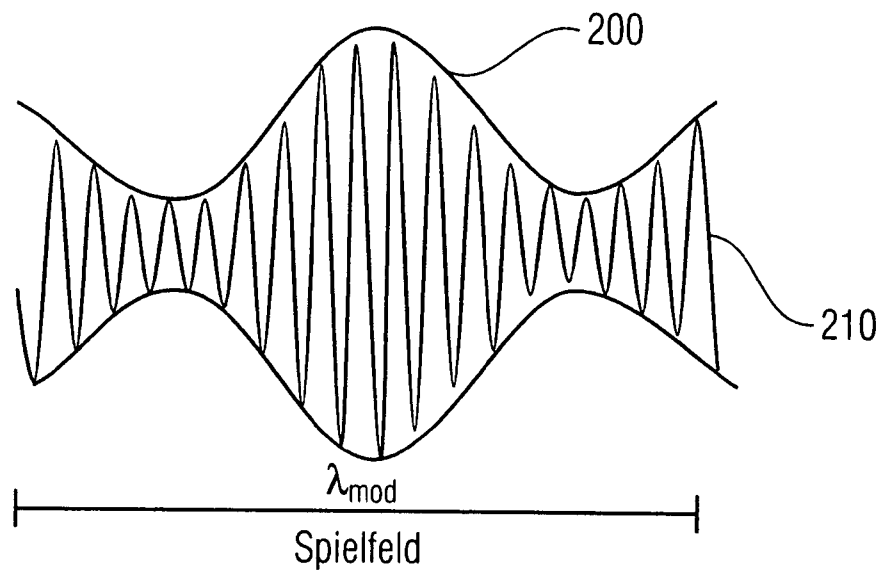


FIG 2

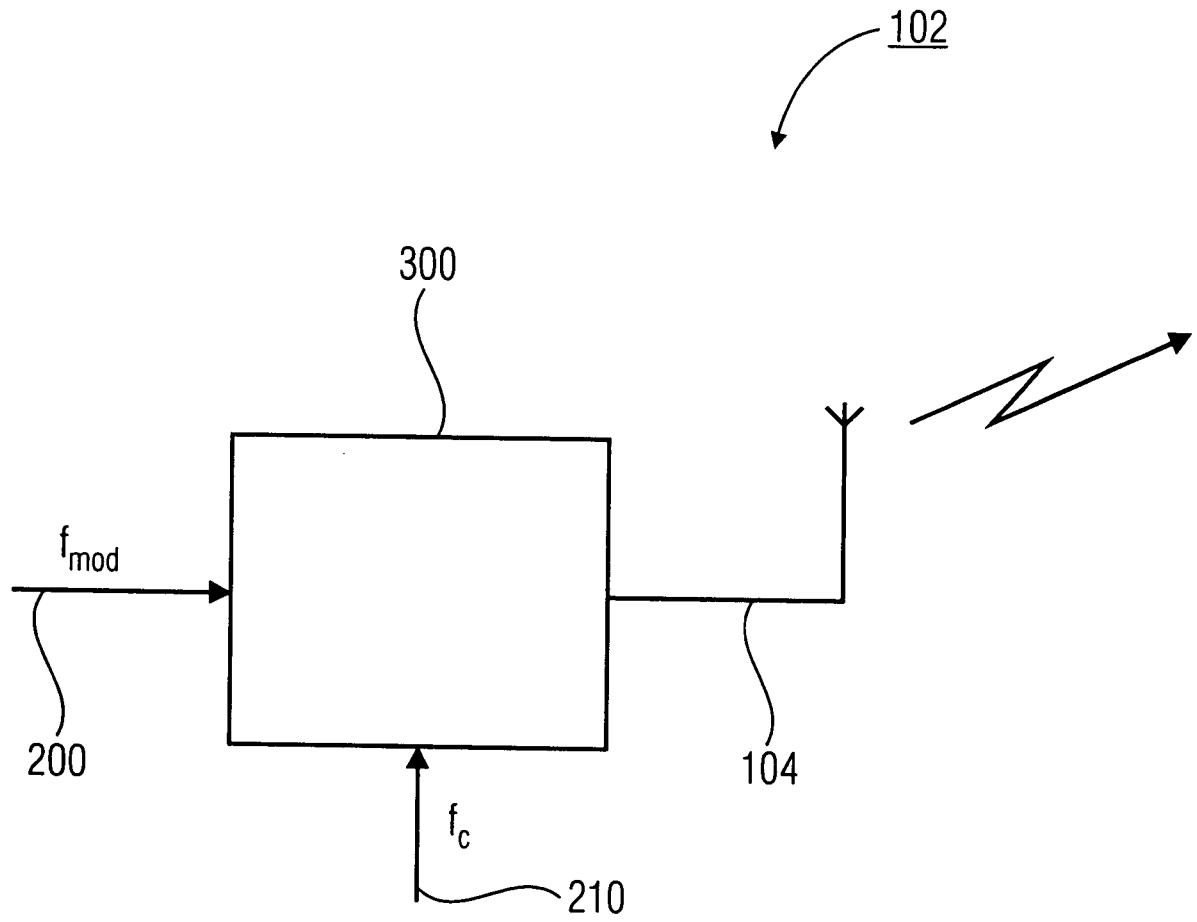


FIG 3

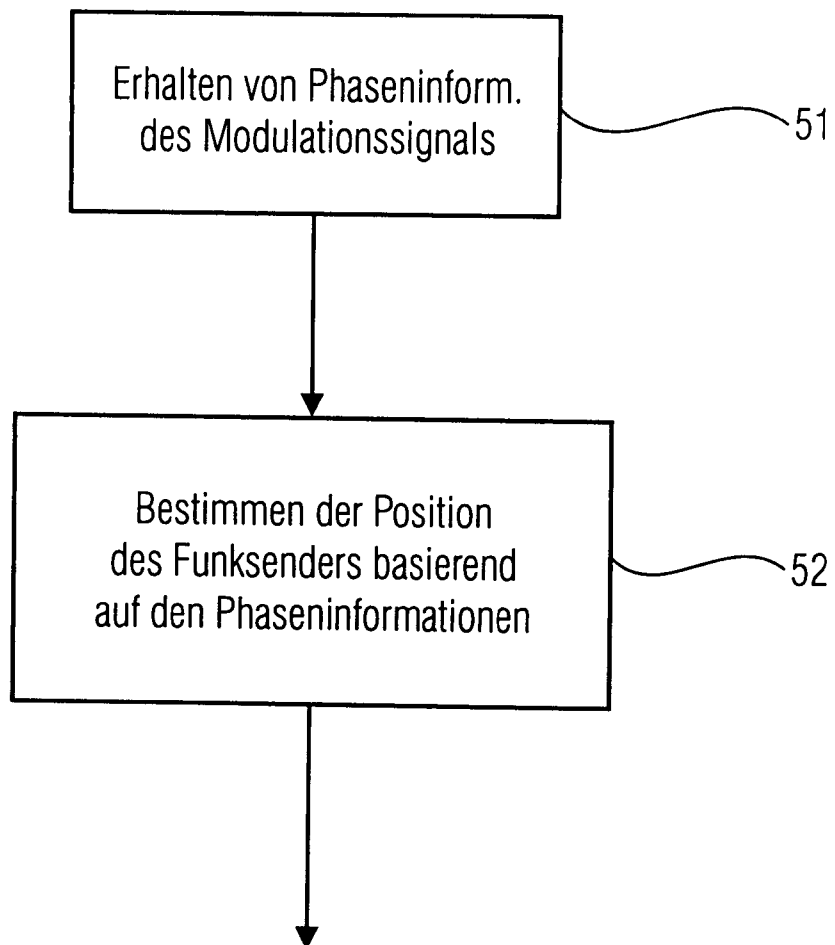


FIG 4

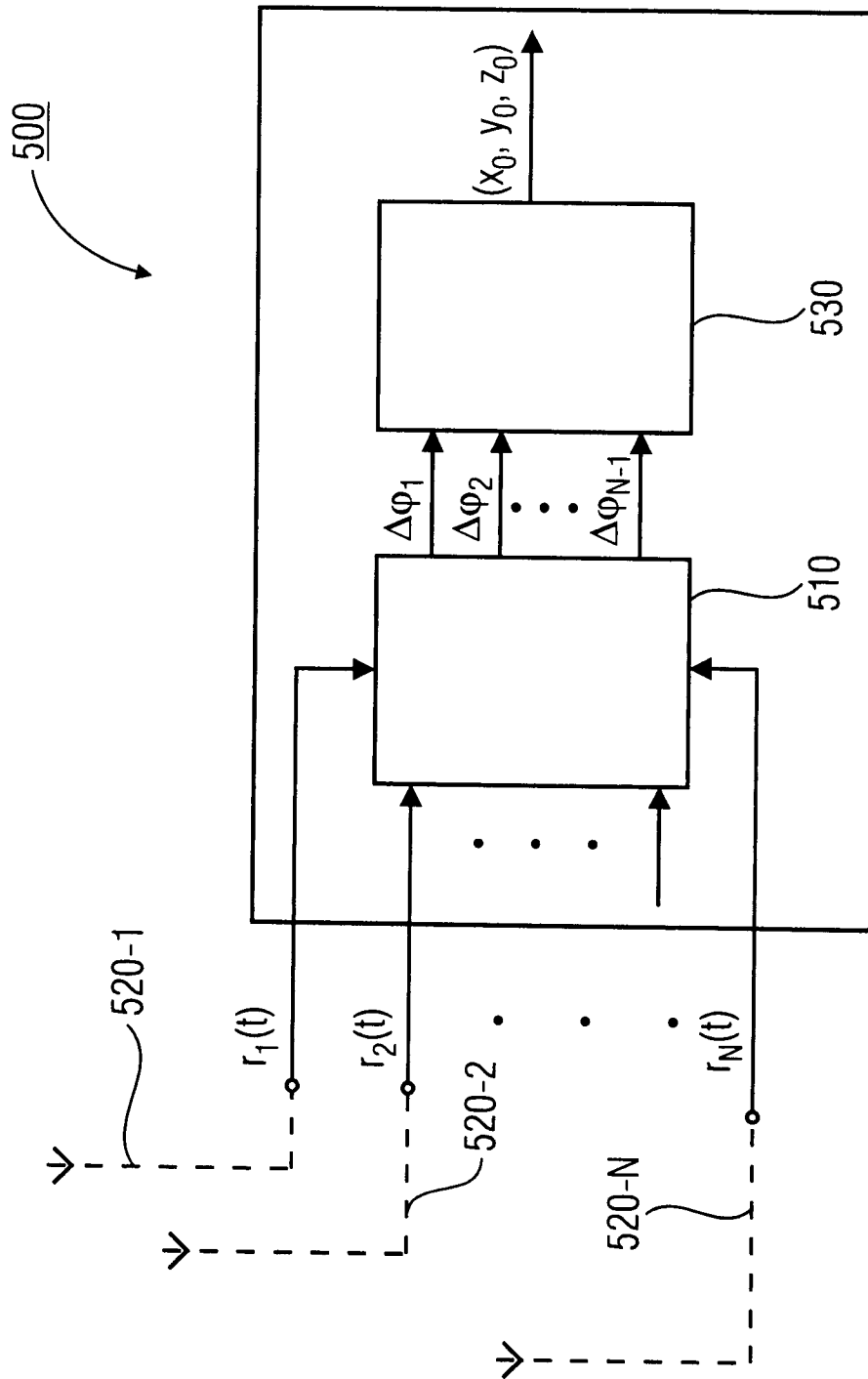


FIG 5

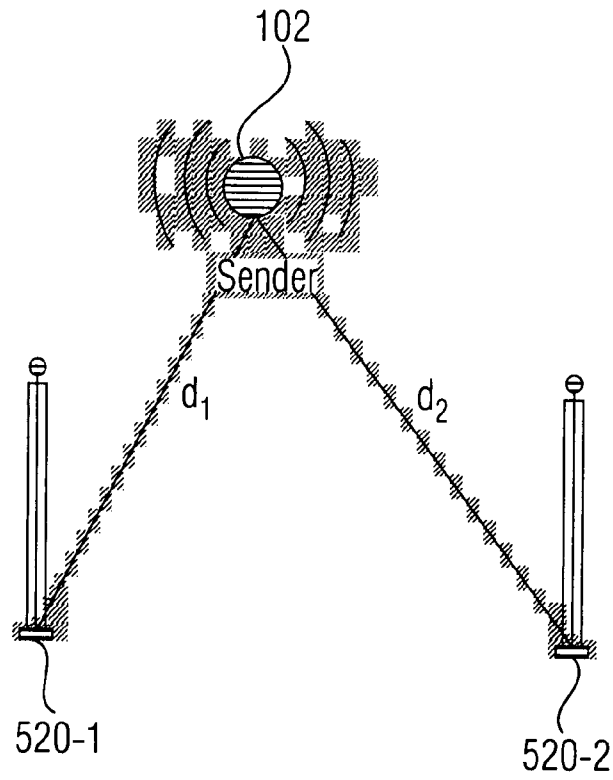


FIG 6

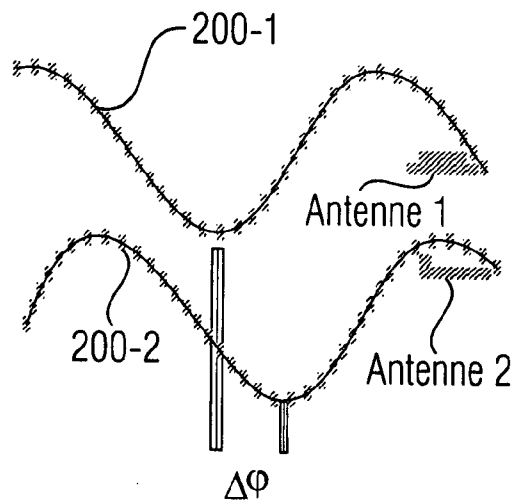


FIG 7

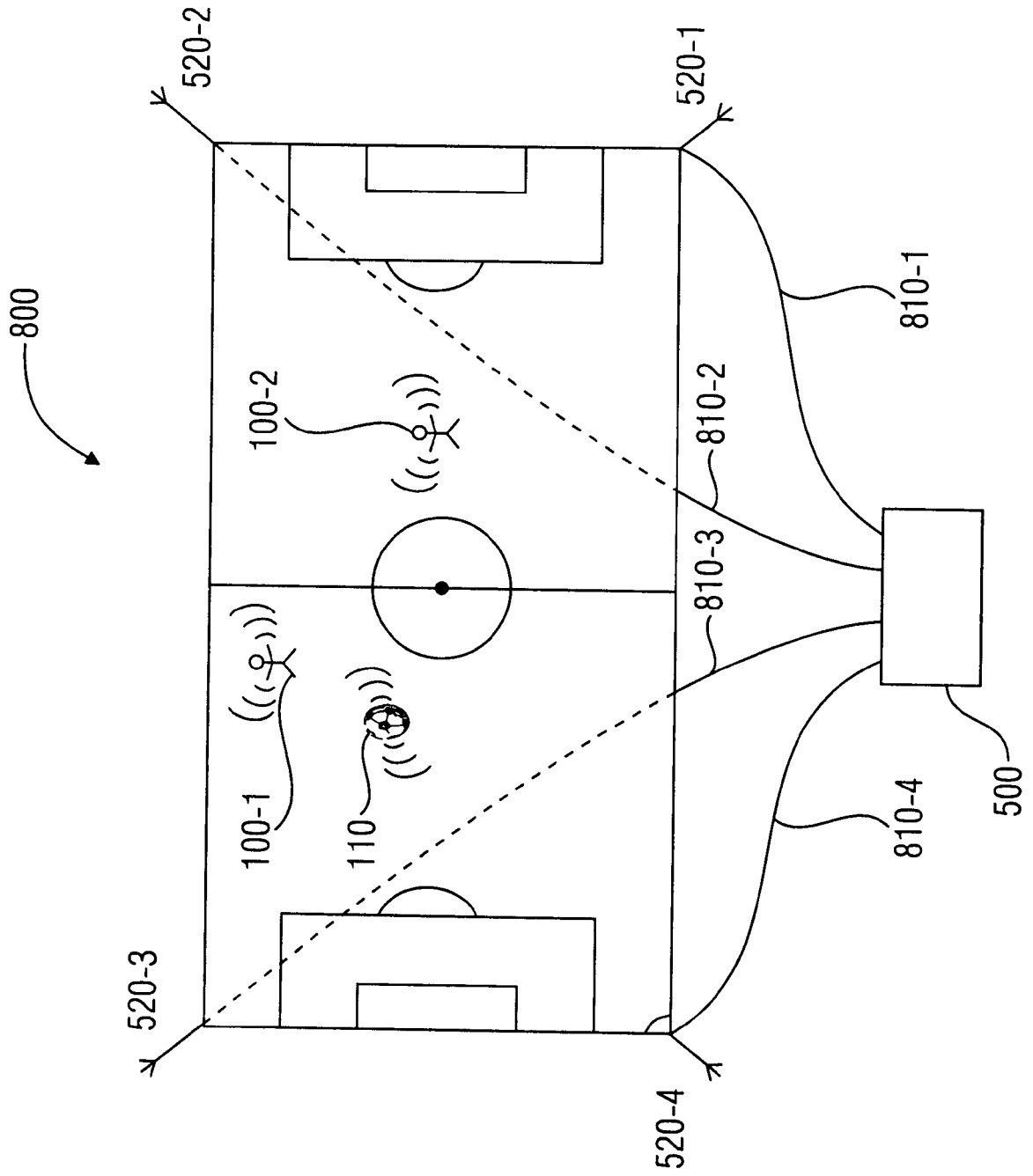


FIG 8

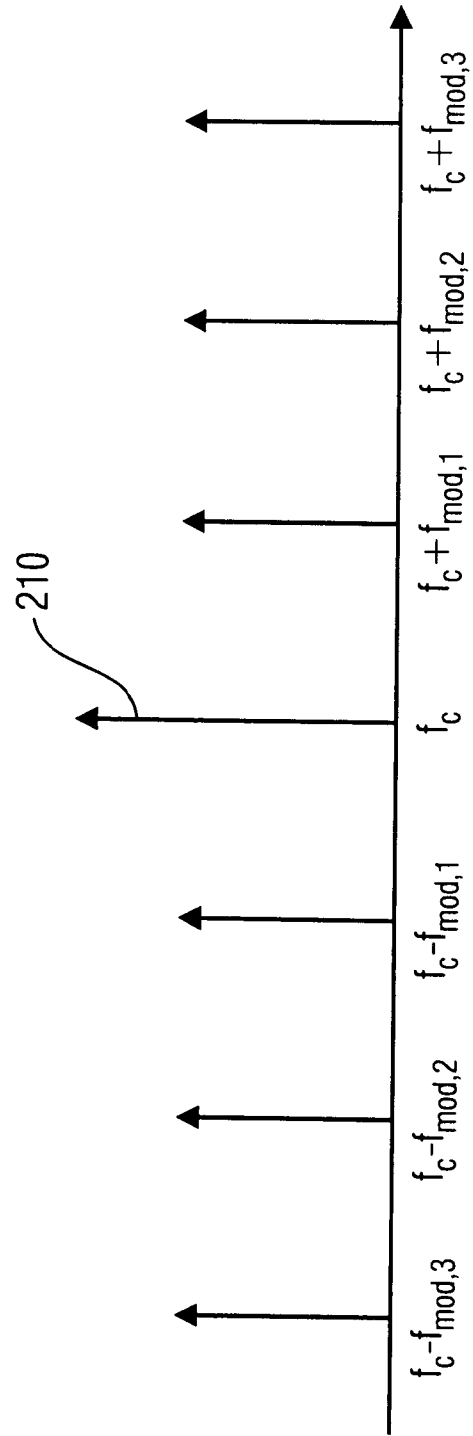


FIG 9