



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2006 004 023 A1** 2007.08.09

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 004 023.6**

(22) Anmeldetag: **27.01.2006**

(43) Offenlegungstag: **09.08.2007**

(51) Int Cl.⁸: **G01S 13/74** (2006.01)

G01S 13/06 (2006.01)

G01S 13/34 (2006.01)

G01S 13/82 (2006.01)

G01S 13/48 (2006.01)

(71) Anmelder:

Siemens AG, 80333 München, DE

(72) Erfinder:

Seisenberger, Claus, 84181 Neufraunhofen, DE;
Wiebking, Leif, Dr., 80805 München, DE; Würker,
Joachim, 91233 Neunkirchen, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 199 46 161 A1

DE 103 01 451 A1

US 41 51 525 A

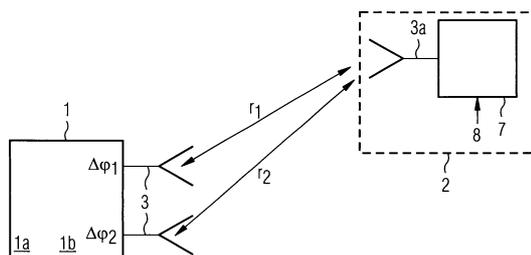
HUDER, B.: Einführung in die Radartechnik, Stutt-
gart (u.a.): Teubner, 1999, S. 146-149,
ISBN. 3-519-06261-5;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung und Verfahren zur mehrdimensionalen Ortung von Zielobjekten, insbesondere RFID-Transpondern**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein funkbasiertes System zur mehrdimensionalen Ortung eines Zielobjekts (2). Ein Zielobjekt (2) kann insbesondere ein RFID-Transponder sein. Dabei wird ein Basissignal (4) von einer Basisstation (1) ausgesendet und von einem Backscatter-Transponder zurück gesendet. Eine Entfernung der Basisstation (1) zum Transponder wird mittels eines Frequenzabstandes ΔF zwischen zwei Maxima im Basisband des Spektrums eines mit einem gleichzeitig empfangenen Antwortsignal (5) überlagerten gesendeten Basissignals (4) einer Antenne (3) der Basisstation (1) bestimmt. Es erfolgt eine Phasenauswertung, um einen Zielobjektablagewinkel α_z zu berechnen. Je nach Anzahl und Anordnung der Antennen (3) der Basisstation (1) kann eine ein-, eine zwei- oder dreidimensionale Ortung erfolgen.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein funkbasiertes System zur mehrdimensionalen Ortung eines Zielobjekts, insbesondere eines RFID-Transponders, insbesondere basierend auf dem Prinzip der modulierten Rückstreuung mit einer Basisstation mit einer Mehrzahl von Antennen zum Aussenden von Basissignalen und/oder Empfangen von Antwortsignalen, einem Zielobjekt zum Empfang der Basissignale und zum Abgeben von Antwortsignalen.

[0002] Gemäß dem Stand der Technik existieren keine RFID-Systeme zur mehrdimensionalen Ortung von RFID-Transpondern. Im Bereich Logistik, Materialverfolgung, Personentracking oder dergleichen besteht ein großer Bedarf an derartigen Systemen, die in der Lage sind, neben der Identifikation ebenso eine lokale Position von Gütern und Waren zu bestimmen und diese zu verfolgen. Dies kann insbesondere mit an den Waren angebrachten, ortbaren RFID-Marken realisiert werden.

[0003] Gemäß dem Stand der Technik werden verschiedene Ansätze zur eindimensionalen Ortung von RFID-Transpondern genutzt.

[0004] Eine erste Möglichkeit besteht in der Bestimmung der Entfernung von RFID-Transpondern mittels Feldstärke basierter Ortungssysteme. Aufgrund der Problematik von Mehrwegeausbreitungen liefert dieses Verfahren lediglich Genauigkeiten im Bereich von mehreren Metern.

[0005] Gemäß einer zweiten Lösung arbeiten Ortungssysteme nach den SDMA-Verfahren. Die Entfernung eines Transponders wird über die Ausrichtung einer stark bündelnden Sende-/Empfangsantenne gewonnen, bei der das Maximum des Empfangspegels auftritt.

[0006] Gemäß einer dritten Lösung sind Systeme zur eindimensionalen Entfernungsmessung eines Backscatter-Transponders im Einsatz, die auf der Laufzeitmessung eines vom Transponder moduliert reflektierten Funksignals basieren.

[0007] Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung eine Vorrichtung und ein Verfahren zur mehrdimensionalen Ortung von Zielobjekten, insbesondere von moduliert zurückstreuenden RFID-Transpondern, bereitzustellen.

[0008] Die Aufgabe wird durch eine Vorrichtung gemäß dem Hauptanspruch und ein Verfahren gemäß dem Nebenanspruch gelöst. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen finden sich in den Unteransprüchen.

[0009] Funkbasiertes Systeme sind alle technischen Systeme, die von Antennen sendbare und empfangbare elektromagnetische Wellen verwenden. Dazu gehören beispielsweise Radarwellen, die beispielsweise im Bereich von 500 MHz bis 100 GHz verwendet werden, oder für RFID (Radio Frequency Identification) genutzte Wellen, die beispielsweise im Bereich von 800 MHz bis 2,4 GHz verwendet werden. Basissignale und Antwortsignale sind derartige elektromagnetische Wellen.

[0010] Es folgt ein eindimensionales Erfassen der Entfernung r_z von der Basisstation zum Zielobjekt, und ein Erfassen mindestens eines Zielobjektablagewinkels α_z .

[0011] Ein Zielobjektablagewinkel α_z ist ein Winkel in einer horizontalen x-, y-Ebene oder einer vertikalen y-, z-Ebene, und zwar bei der horizontalen Ebene zwischen einer auf der y-Achse liegenden Hauptwirkrichtung der Basisstation und einer Projektion der Linie von der Basisstation zum Zielobjekt in die horizontale Ebene oder bei der vertikalen Ebene zwischen der auf der y-Achse liegenden Hauptwirkrichtung der Basisstation und einer Projektion der Linie von der Basisstation zum Zielobjekt in die vertikale Ebene. Mittels eines Zielobjektablagewinkels α_z in der horizontalen Ebene werden die x- und y-Koordinaten bestimmt. Mittels eines Zielobjektablagewinkels α_z in der vertikalen Ebene wird die z-Koordinate bestimmt. Die Bestimmung erfolgt jeweils auf einfache Weise mittels Trigonometrie.

[0012] Mit dem funkbasierten System ist es möglich, Zielobjekte, insbesondere Transponder, die nach dem Prinzip der modulierten Rückstreuung arbeiten, mit Hilfe eines von der Basisstation ausgesendeten frequenzmodulierten Funksignals zu orten. Die eindimensionale Entfernungsmessung erfolgt über eine Laufzeitmessung des elektromagnetischen Funksignals vom Sender über den Transponder zurück zum Empfänger. Die zweibeziehungswise dreidimensionale Ortung wird mit einer geeigneten Antennenanordnung unter Zuhilfenahme einer neuartigen Phasenauswertung realisiert. Aus der Messung der an den einzelnen Antennen der Basisstation auftretenden Phaseninformationen des vom Transponder reflektierten Signals, kann auf den je-

weiligen Ablagewinkel α_z des Transponders geschlossen werden. Dabei sind die Antennen im Abstand d_j angeordnet und können aufgrund ihrer räumlichen Nähe in einer einzigen baulichen Einheit untergebracht werden. Zur zwei- beziehungsweise dreidimensionalen Ortung ist lediglich eine Basisstation erforderlich. Mittels des erfassten Entfernungswertes wird die exakte räumliche Position des Transponders bestimmt. Die erste und die zweite Einrichtung können beispielsweise in der Basisstation integriert sein. Ebenso ist es möglich, dass die erste und zweite Einrichtung zu einer zusammengefasst sind.

[0013] Die Entfernung r_z eines sich in einem Beobachtungsgebiet eines Radarempfängers befindlichen Zielobjektes oder Zielreflektors wird beispielsweise aus einer Messung der Signallaufzeit t_L vom Sender zum Reflektor und zurück zum Empfänger bestimmt. Als Sendesignal kann beispielsweise ein linear in seiner Frequenz moduliertes Hochfrequenzsignal FMCW-Signal verwendet werden. Anhand der Entfernung r_z und einem Zielobjektblagewinkel α_z können mittels Trigonometrie x- und y-Koordinaten berechnet werden.

[0014] Wird in einer vertikalen Ebene der Zielobjektblagewinkel α_z erfasst, kann die Elevation beziehungsweise die z-Koordinate ermittelt werden.

[0015] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung wird um einen zu ortenden Transponder eindeutig von anderen Störzielen im Erfassungsbereich des Radars beziehungsweise funkbasierten Systems zu unterscheiden, das Prinzip angewendet, das als modulierte Rückstreuung (modulated backscatter) des modulierten Basissignals bekannt ist. Dem vom Transponder reflektierten Signal wird hierbei ebenso eine Modulation aufgeprägt, indem der Rückstreuquerschnitt beziehungsweise das Reflexionsverhalten der Transponderantenne periodisch mit einer Modulationsfrequenz f_{mod} variiert wird.

[0016] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung ist mittels der ersten Einrichtung zur Ermittlung der Entfernung r_z ein Frequenzabstand ΔF zwischen zwei Maxima im Basisband des Spektrums eines mit einem gleichzeitig empfangenen Antwortsignal überlagerten gesendeten Basissignals eine Antenne bestimmbar. Es wird das Prinzip angewendet, das als modulierte Rückstreuung (modulated backscatter) bekannt ist. Das Basissignal kann ebenso moduliert sein. Dem vom Transponder reflektierten Signal wird eine Modulation aufgeprägt. Aufgrund der Transpondermodulation wird bewirkt, dass die vom Transponder stammenden Signalanteile im Spektrum in ein höheres Frequenzband, um (f_{mod}) verschoben werden. Ober- und unterhalb der Modulationsfrequenz f_{mod} des Transponders ergeben sich zwei Maxima, deren gegenseitiger Frequenzabstand ΔF proportional der Entfernung r_z des Transponders von der Basisstation ist.

[0017] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung ist mittels der zweiten Einrichtung eine Entfernung r_i des Zielobjekts zu einer Antenne anhand Maxima-Phasendifferenzen bestimmbar. Eine Maxima-Phasendifferenz ist die Differenz der Phasenwerte an den Frequenzstellen, bei denen die vorstehend genannten Maxima auftreten. Zur Bestimmung des Frequenzabstandes ΔF der beide um die Modulationsfrequenz f_{mod} auftretenden Maxima, wird ein Maxima-Detektionsalgorithmus verwendet. Aus der ermittelten Frequenzdifferenz ΔF kann die Entfernung des Transponders nach folgender Formel berechnet werden:

$$r_z = \frac{\Delta F \cdot T \cdot c_0}{4 \cdot B} \quad (1)$$

[0018] Hierbei bezeichnet c_0 die Lichtgeschwindigkeit, T die Rampendauer und B den Frequenzhub des FM-CW-Sendesignals (frequency modulated continuous wave).

[0019] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung sind mittels der zweiten Einrichtung Entfernungsunterschiede Δr_i von benachbarten Antennen zum Zielobjekt beziehungsweise Transponder jeweils anhand einer Differenz von Maximal-Phasendifferenzen bestimmbar. Aufgrund der hohen Sensitivität der Phasensteigungskurve können über eine Phasenauswertung kleinste Entfernungsdifferenzen Δr_i aufgelöst werden. Diese Eigenschaft wird genutzt, um eine auftretende Wegdifferenz Δr_i zwischen Antennen und damit den Zielablagewinkel α_z zu bestimmen.

[0020] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung ist mittels der zweiten Einrichtung anhand des Verhältnisses von Entfernungsunterschieden Δr_i zweier benachbarter Antennen zu deren Abständen d_j mindestens ein Zielobjektblagewinkel α_z bestimmbar. Dabei ist der arcussinus dieses Verhältnisses gleich dem Zielobjektblagewinkel α_z . Aus dem Winkel α_z und der Entfernung r_z kann schließlich die x- und y-Position des Zielobjekts, beispielsweise mittels der zweiten Einrichtung, errechnet werden:

$$\begin{aligned} x_z &= \sin \alpha_z \cdot r_z \\ y_z &= \cos \alpha_z \cdot r_z \end{aligned} \quad (2)$$

[0021] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung ist die Entfernung r_z der Basisstation vom Zielobjekt wesentlich größer als gegenseitige Abstände d_j von benachbarten Antennen zueinander. Für eine zweidimensionale Positionsbestimmung ist die Entfernung zum Zielobjekt vorteilhafter Weise viel größer als der gegenseitige Abstand der Antennen zueinander, das heißt $r_z \gg d_j$. Es kann damit näherungsweise davon ausgegangen werden, dass die vom Zielobjekt zu den Antennen reflektierten Strahlen parallel zueinander verlaufen.

[0022] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung ist der Abstand d_j benachbarter Antennen klein. Dies ist insbesondere bei Verwendung von zwei Antennen vorteilhaft. Da eine Phasendifferenz bei einer Entfernungsänderung von $\Delta r = \lambda/4$ einen Winkelbereich von φ überstreicht, entsteht eine Mehrdeutigkeit des Maxima-Phasendifferenzverlaufes. Aufgrund dieser Mehrdeutigkeit ist eine eindeutige Entfernungsmessung nur im Bereich einer 1/4-Wellenlänge möglich. λ ist dabei die Wellenlänge des Sendesignals. Um einen möglichst großen Winkelbereich eindeutig erfassen zu können, muss der Antennenabstand d_j entsprechend klein gewählt werden, und zwar um so kleiner je kürzer die Wellenlänge λ ist.

[0023] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung sind bei Verwendung von mehr als zwei Antennen die Differenzen der Abstände d_j benachbarter Antennen klein und $\neq 0$. Auf diese Weise ist es möglich, den Eindeutigkeitsbereich zur Bestimmung des Zielobjektblagewinkels α_z zu erweitern. Bei Verwendung von drei Antennen ist es besonders vorteilhaft, den Differenzabstand der beiden Antennenpaare anzupassen. Dieser Differenzabstand kann unabhängig von den Antennenabmessungen beliebig klein gewählt werden. Aufgrund dieser Ausgestaltung ist es möglich, den Winkelbereich für eine Zielortung auf jeden beliebigen Wert zwischen $\pm 90^\circ$ einzustellen.

[0024] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung sind die Antennen entlang einer Horizontalen oder entlang einer Vertikalen angeordnet. Auf diese Weise ist eine dreidimensionale Ortung möglich. Es kann einerseits der Azimut und andererseits die Elevation eines Zielobjektes bestimmt werden. Zusammen mit der gemessenen Entfernung können die x-, y- und z-Koordinaten berechnet werden. Die Verwendung von fünf Antennen ist besonders vorteilhaft, da der Aufwand damit begrenzt ist.

[0025] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung sind die Zielobjekte Transponder, RFID-Marken oder Funkabfragesensoren. Damit ist das funkbasierte System vielseitig verwendbar.

[0026] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung sind die Zielobjekte passiv oder semi-passiv. Auf diese Weise ist vorteilhaft die Verwendung eines Verstärkers im Zielobjekt nicht erforderlich.

[0027] Gemäß der vorliegenden Erfindung wird ebenso ein Verfahren zur Verwendung eines funkbasierten Systems zur mehrdimensionalen Ortung eines Zielobjektes, insbesondere eines RFID-Transponders, beansprucht.

[0028] Die Erfindung wird anhand von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Figuren näher beschrieben. Es zeigen:

[0029] [Fig. 1](#) ein Ausführungsbeispiel eines funkbasierten Systems zur zweidimensionalen Ortung;

[0030] [Fig. 2a](#) ein erstes Ausführungsbeispiel einer eindimensionalen Entfernungsmessung;

[0031] [Fig. 2b](#) ein Basisband des Spektrums zum ersten Ausführungsbeispiel einer eindimensionalen Entfernungsmessung;

[0032] [Fig. 3](#) ein zweites Ausführungsbeispiel einer eindimensionalen Entfernungsmessung;

[0033] [Fig. 4](#) eine graphische Darstellung des Basisbands des Spektrums gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel zur eindimensionalen Entfernungsmessung;

[0034] [Fig. 5](#) ein erstes Ausführungsbeispiel einer zweidimensionalen Positionsbestimmung;

[0035] [Fig. 6](#) den Vergleich der Phasendifferenz über den Entfernungsbereich einer Wellenlänge;

[0036] [Fig. 7](#) die Systemkomponenten gemäß dem Ausführungsbeispiel gemäß [Fig. 5](#);

[0037] [Fig. 8](#) zwei Darstellungen der Abhängigkeit eines Eindeutigkeitsbereiches vom Abstand zweier Anten-

nen zueinander;

[0038] [Fig. 9](#) ein weiteres Ausführungsbeispiel zur zweidimensionalen Positionsbestimmung mit erweitertem Eindeutigkeitsbereich;

[0039] [Fig. 10](#) ein Ausführungsbeispiel zur dreidimensionalen Ortung;

[0040] [Fig. 11](#) zeigt eine Darstellung der Position eines Zielobjektes im dreidimensionalen Raum.

[0041] [Fig. 1](#) zeigt beispielsweise den Aufbau und die Messgrößen eines zweidimensionalen Ortungssystems. Dabei bezeichnet **1** eine Basisstation, **2** ein Zielobjekt, beispielsweise einen Transponder. Die Entfernung der Basisstation **1** zum Zielobjekt **2** ist mit r_z bezeichnet. Ebenso ist der Zielablagewinkel α_z dargestellt. Im Folgenden wird als Zielobjekt **2** ein Transponder **2** verwendet. Die zu ortenden Transponder **2** können passiv, das heißt feldgespeist ohne eigene Stromversorgung arbeiten. Diese können ebenso semi-passiv sein, das heißt sie sind mit einer eigenen Batterie oder einem Akkumulator bereitgestellt. Je nach Anzahl und Anordnung der Antennen **3** in der Basisstation **1** ist eine ein-, zwei- oder dreidimensionale Ortung möglich. Zur Bestimmung einer Phaseninformation kann das vom Transponder **2** reflektierte Signal von den einzelnen Antennen **3** sequentiell oder auch parallel ausgewertet werden. Die Antennen **3** können ebenso als Array angeordnet sein. Die Positionierung kann ebenso in Form mehrere abgesetzter Antennen bereitgestellt sein. Der Transponder **2** kann eine Antenne **3a** aufweisen. Eine erste Einrichtung **1a** zur Entfernungsbestimmung sowie eine Einrichtung **1b** zur Winkelbestimmung können in der Basisstation **1** integriert sein.

[0042] Es ergeben sich folgende Vorteile aufgrund der erfindungsgemäßen Ortsbestimmung von Zielobjekten. Es ist die Ortung von RFID-Marken möglich. Ebenso kann eine Ortung von passiven oder semi-passiven funkabfragbaren Sensoren erfolgen. Eine zwei- oder dreidimensionale Ortung kann in einem einzigen Lesegerät erfolgen, da die Antennen **3** in einer kompakten baulichen Einheit untergebracht werden können. Auf diese Weise sind tragbare Handlesegeräte zur Ortung bereitstellbar. Bei der Verwendung von passiven und semi-passiven RFID-Marken ist der Energieaufwand im Transponder **2** sehr gering, da kein aktives, verstärkendes Modulationsverfahren verwendet wird. Ebenso kann der Datenstrom von RFID-Marken zur Ortung verwendet werden. Auf diese Weise ist keine zusätzliche Hardware an der RFID-Marke erforderlich. Ebenso sind vorteilhaft Standard RFID-Transponder **2** verwendbar, die nach dem Prinzip der modulierten Rückstreuung arbeiten.

[0043] [Fig. 2](#) zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel einer eindimensionalen Entfernungsmessung. Eine Vorrichtung und ein Verfahren zur funkbasierten Ortung insbesondere von RFID-Marken beruht insbesondere auf der Radartechnik. Es wird ein frequenzmoduliertes elektromagnetisches Sendesignal von der Basisstation **1** ausgesendet. Die Entfernung eines sich im Beobachtungsgebiet der Basisstation **1** beziehungsweise des Radarempfängers befindlichen Zielobjekts **2** beziehungsweise Zielreflektors wird aus einer Messung der Signallaufzeit t_L vom Sender zum Reflektor und zurück zum Empfänger bestimmt. Als Sendesignal wird beispielsweise ein linear in seiner Frequenz moduliertes Hochfrequenzsignal FMCW-Signal verwendet.

[0044] Aus der Frequenzdifferenz zwischen momentan gesendetem und empfangenem Signal lässt sich die Signallaufzeit t_L und damit die Entfernung des Reflektors ermitteln. Die Auswertung der Frequenzdifferenz, die der Entfernung des Zielobjekts **2** proportional ist, erfolgt im Frequenzbereich. Im Basisband gemäß [Fig. 2b](#) des Spektrums ergibt sich hierbei ein Signalpeak bei der Frequenz, die der Frequenzdifferenz entspricht. Gemäß [Fig. 2a](#) bezeichnet **4** das Sendesignal, **5** das Empfangssignal und **6** das Differenzfrequenzsignal. Das Sendesignal **4** kann ebenso als Basissignal **4** und das Empfangssignal **5** als Antwortsignal **5** bezeichnet werden. ΔF bezeichnet die Frequenzdifferenz, f_0 die Frequenz des Sendesignals **4**, T die Rampendauer und B den Frequenzhub des FMCW-Sendesignals **4**. Die Signallaufzeit ist mit t_L dargestellt. [Fig. 2b](#) zeigt den Signalpeak beziehungsweise das Maximum bei der Frequenz, die der Frequenzdifferenz ΔF entspricht.

[0045] [Fig. 3](#) zeigt eine Basisstation **1** und eine Antenne **3**, über die ein Sendesignal/Basissignal **4** an einen Transponder **2** gesendet wird. Der Transponder **2** weist einen Modulator **7** auf, der mittels eines Modulationssignals **8** moduliert wird. Zudem weist der Transponder **2** eine Antenne **3a** auf. Der Transponder **2** sendet ein Empfangssignal **5** beziehungsweise ein Antwortsignal **5** zur Basisstation **1** zurück. Das Antwortsignal **5** ist hier ein moduliertes Reflexionssignal **9**. Um einen zu ortenden Transponder **2** eindeutig von anderen Störzielen im Erfassungsbereich des funkbasierten Systems beziehungsweise des Radars zu unterscheiden, wird ein Prinzip angewendet, das als modulierte Rückstreuung (modulated backscatter) bekannt ist. Dem vom Transponder **2** reflektierten Signal wird hierbei eine Modulation, mittels eines Modulationssignals **8**, aufgeprägt, indem der Rückstreuquerschnitt beziehungsweise das Reflexionsverhalten der Transponderantenne **3a** periodisch mit

der Modulationsfrequenz f_{mod} variiert wird. Die Modulation kann aktiv oder passiv erfolgen, allerdings ist eine aktive Ausführung, das heißt eine aktive Verstärkung des Signals im Transponder **2** nicht erforderlich. Das Prinzip der modulierten Rückstreuung ist äußerst energieeffizient, so dass es sich hervorragend für die Verwendung in feldgespeisten RFID-Transpondern **2** eignet. Als Modulationsverfahren kann sowohl eine Amplituden- als auch eine Phasenmodulation verwendet werden. Zur mehrdimensionalen Ortsbestimmung werden besonders vorteilhaft auf modulierter Rückstreuung basierte Transponder **2** verwendet. Die dabei verwendeten Transponder **2** können passiv sein. In diesem Fall wird ein Modulator **7** aus dem Funkfeld gespeist. Es ist damit keine eigene Energiequelle wie beispielsweise eine Batterie oder ein Akku auf dem Transponder **2** erforderlich. Es erfolgt eine unverstärkte Zurückstreuung. Ebenso ist die Verwendung von semi-passiven Transpondern möglich. Dabei wird ein Modulator **7** mit einer auf dem Transponder **2** integrierten Energiequelle versorgt. Es erfolgt ebenso eine unverstärkte Zurückstreuung. Eine weitere Ausführungsform sind aktive Transponder **2**. Gemäß dieser Ausgestaltung ist eine Energiequelle für Verstärker und Modulator **7** auf dem Transponder **2** vorhanden. Das heißt, das von der Basisstation **1** gesendete Basissignal **4** wird verstärkt zurückgesendet beziehungsweise es wird ein Antwortsignal **5** generiert und ausgesendet.

[0046] Durch die Modulation wird bewirkt, dass die vom Transponder **2** stammenden Signalanteile im Spektrum in ein höheres Frequenzband (um f_{mod} verschoben werden.

[0047] **Fig. 4** zeigt beispielhaft das für die Entfernungsauswertung relevante Spektrum. Oberhalb und unterhalb der Modulationsfrequenz f_{mod} des Transponders **2** ergeben sich zwei Maxima, deren gegenseitiger Frequenzabstand ΔF proportional der Entfernung r_z des Transponders **2** von der Basisstation **1** ist. Signalanteile, die von nicht modulierenden Störreflektoren stammen, werden ins Basisband gemischt. Mit Hilfe eines Bandpasses können die für die Entfernungsbestimmung des Transponders **2** relevanten Signalbestandteile herausgefiltert werden. Auf diese Weise ist eine Unterscheidung zwischen dem vom Transponder **2** reflektierten Signal und Signalen, die von anderen nicht modulierenden Reflektoren stammen, möglich. Eine Möglichkeit zur Auswertung der Entfernungsinformation ist mittels digitaler Signalverarbeitung geschaffen. Zunächst wird über eine Fourier-Transformation (zum Beispiel FFT) das Spektrum berechnet, wobei Verfahren wie Wichtung des Signals mit einer Fensterfunktion und Zero-Padding angewandt werden können, um die Auswertung zu optimieren. Zur Bestimmung des Frequenzabstandes ΔF der beiden um die Modulationsfrequenz f_{mod} auftretenden Maxima wird ein Maxima-Detektionsalgorithmus verwendet. Aus der ermittelten Frequenzdifferenz ΔF kann die Entfernung des Transponders nach folgender Formel berechnet werden:

$$r_z = \frac{\Delta F \cdot T \cdot c_0}{4 \cdot B} \quad (1)$$

[0048] Hierbei bezeichnet c_0 die Lichtgeschwindigkeit, T die Rampendauer und B den Frequenzhub des FM-CW-Sendesignals.

[0049] **Fig. 5** zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel einer zweidimensionalen Positionsbestimmung mittels eines Lesegerätes. Für eine zweidimensionale Positionsbestimmung kommen zwei im Abstand d parallel nebeneinander angeordnete Antennen **3** zur Verwendung, die jeweils nacheinander von der Basisstation **1** angesteuert werden können. Durch ein vorteilhaftes Phasenauswertungsverfahren ist es möglich, den Laufzeitunterschied der Signale vom Sender **1** zum Transponder **2** und zurück zur jeweiligen Antenne **3** auszuwerten und daraus auf den Zielablagewinkel α_z des Transponders **2** zu schließen. Aus dem vorstehend ermittelten Entfernungswert r_z kann damit die x- und y-Position des Transponders **2** bestimmt werden.

[0050] Ist die Entfernung zum Zielobjekt **2** viel größer als der gegenseitige Abstand der Antennen zueinander, das heißt ist $r_z \gg d$, so kann man näherungsweise davon ausgehen, dass die vom Zielobjekt **2** zu den beiden Antennen reflektierten Strahlen parallel zueinander verlaufen. Diese Vereinfachung ist in **Fig. 5** dargestellt.

[0051] Der Winkel α_z zum Zielobjekt **2** lässt sich aus der Entfernungsdifferenz $\Delta r_{12} = r_1 - r_2$ der beiden Strahlengänge bestimmen:

$$\sin \alpha_z = \frac{\Delta r_{12}}{d}$$

$$\alpha_z = \arcsin\left(\frac{\Delta r_{12}}{d}\right) \quad (3)$$

[0052] Aus dem Winkel α_z und der Entfernung r_z kann schließlich die x- und y-Position des Zielobjekts errechnet werden:

$$\begin{aligned}x_z &= \sin \alpha_z \cdot r_z \\y_z &= \cos \alpha_z \cdot r_z\end{aligned}\quad (2)$$

[0053] Zur Bestimmung der Entfernungsdifferenz Δr_{12} wird die Phase der von beiden Antennen empfangenen Signale herangezogen.

[0054] Zur eindimensionalen Messung der Entfernung r_z wird lediglich der Frequenzabstand ΔF der beiden im Spektrum detektierten Maxima genutzt. Für die zweidimensionale Positionsbestimmung und damit für die Bestimmung des Zielobjektblagewinkels α_z werde vorteilhaft die Phasenwerte an den Stellen der beiden Maxima im Spektrum ausgewertet. Hierzu bestimmt man die Phase an den Frequenzstellen, bei denen die Maxima auftreten und bildet deren Differenz:

$$\Delta\varphi = \varphi_{\text{Maximum,rechts}} - \varphi_{\text{Maximum,links}}\quad (4)$$

[0055] Die ermittelte Phasendifferenz $\Delta\varphi$ ist gemäß folgender Formel:

$$\Delta\varphi(r) = \frac{2\pi}{\lambda/4} \cdot r\quad (5)$$

proportional der Entfernung des Transponders **2** von der Basisstation **1**. λ bezeichnet hierbei die Wellenlänge des Sendesignals.

[0056] [Fig. 6](#) zeigt den Verlauf der Phasendifferenz $\Delta\varphi$ über den Entfernungsbereich einer Wellenlänge λ . Die Phasendifferenz $\Delta\varphi$ überstreicht einen Winkelbereich von 2π , bei der Entfernungsänderung von $\Delta r = \lambda/4$. Aufgrund dieser Mehrdeutigkeit des Maxima-Phasendifferenzverlaufes ist eine eindeutige Entfernungsmessung nur im Bereich einer viertel Wellenlänge möglich. Jedoch können aufgrund der hohen Sensitivität der Phasensteigungskurve über eine Phasenauswertung kleinste Entfernungsdifferenzen aufgelöst werden. Diese Eigenschaft wird verwendet, um die auftretende Wegdifferenz Δr_{12} zwischen den beiden Antennen **3** und damit den Zielablagewinkel α_z des Transponders **2** zu bestimmen.

[0057] [Fig. 7](#) zeigt ein funkorientiertes System mit einer Basisstation **1**, die zwei Antennen **3** verwendet. Erneut ist ein Zielobjekt **2** beziehungsweise Transponder **2** dargestellt, der einen mittels eines Modulationssignals **8** modulierten Modulator **7** und eine Antenne **3a** aufweist. Mit r_1 und r_2 sind die jeweiligen Abstände der beiden Antennen **3** der Basisstation **1** zur Antenne **3a** des Transponders **2** dargestellt.

[0058] Zur Bestimmung des Zielablagewinkels α_z wird nun folgendermaßen vorgegangen: Zunächst wird die Phasendifferenz der detektierten Maxima jeweils der ersten und der zweiten Antenne **3** der Basisstation **1** ermittelt:

$$\begin{aligned}\Delta\varphi_1 &= \frac{2\pi}{\lambda/4} \cdot r_1 \\ \Delta\varphi_2 &= \frac{2\pi}{\lambda/4} \cdot r_2\end{aligned}\quad (6)$$

[0059] Es ist nicht erforderlich, dass zur Bestimmung deren gegenseitigen Phasenlage die beiden Antennensignale gleichzeitig beziehungsweise phasenkohärent ausgewertet werden. Im Unterschied zum Phasenmodulations-Verfahren können die beiden Antennensignale sequentiell, getrennt nacheinander ausgesendet und empfangen werden. Aus der Differenz der beiden Maxima-Phasendifferenzen $\Delta\varphi_{12} = \Delta\varphi_1 - \Delta\varphi_2$ kann nun der Entfernungsunterschied Δr_{12} mit hoher Genauigkeit bestimmt werden:

$$\Delta r_{12} = r_1 - r_2 = (\Delta\varphi_1 - \Delta\varphi_2) \cdot \frac{\lambda/4}{2\pi}\quad (7)$$

[0060] Auf diese Weise lässt sich der Zielablagewinkel α_z des Transponders **2** nach folgender Formel berechnen:

$$\alpha_z = \arcsin\left(\frac{\Delta r_{12}}{d}\right) = \arcsin\left(\frac{\lambda/4}{2\pi \cdot d} \cdot \Delta\varphi_{12}\right) \quad (8)$$

[0061] Aufgrund der Periodizität der Phasensteigungskurve mit 2π ist eine eindeutige Winkelmessung nur im Bereich $\Delta\varphi_{12} = \pm \varphi$ möglich. Der eindeutig erfassbare Winkelbereich $\alpha_{z,\text{eind}}$ ergibt sich damit zu:

$$\alpha_{z,\text{eind}} = \pm \arcsin\left(\frac{\lambda}{8 \cdot d}\right) \quad (9)$$

[0062] Um einen möglichst großen Winkelbereich eindeutig erfassen zu können, muss der Antennenabstand d daher entsprechend klein gewählt werden, und zwar umso kleiner, je kürzer die Wellenlänge λ ist. Diesen Zusammenhang zeigt [Fig. 8](#).

[0063] Aufgrund der Baugröße von Antennen **3** sind kleine Antennenabstände lediglich eingeschränkt erzeugbar. Damit ist der eindeutige Winkelbereich entsprechend begrenzt. Aufgrund dieser Tatsache ist die Erweiterung des Eindeutigkeitsbereiches auf eine andere Weise notwendig. Der Eindeutigkeitsbereich kann vorteilhaft mittels einer Anordnung von drei parallelen, nebeneinander ausgerichteten Antennen **3** erweitert werden. [Fig. 9](#) zeigt eine entsprechende Anordnung der drei Antennen **3**. Es ist darauf zu achten, dass der Abstand der Antenne A_1 zu Antenne A_2 größer beziehungsweise kleiner dem Abstand der Antenne A_2 zu A_3 gewählt wird. Das heißt, $d \neq c$. Die Basisstation **1** misst erneut die Phasendifferenzen der detektierten Maxima mit der jeweiligen Antenne A_1, A_2, A_3 :

$$\begin{aligned} \Delta\varphi_1 &= \frac{2\pi}{\lambda/4} \cdot r_1 \\ \Delta\varphi_2 &= \frac{2\pi}{\lambda/4} \cdot r_2 \\ \Delta\varphi_3 &= \frac{2\pi}{\lambda/4} \cdot r_3 \end{aligned} \quad (10)$$

[0064] Bildet man die Differenz der Maxima-Phasendifferenzen von Antenne A_1 und A_2 sowie von Antenne A_2 und A_3 :

$$\begin{aligned} \Delta\varphi_{12} &= \Delta\varphi_1 - \Delta\varphi_2 \\ \Delta\varphi_{23} &= \Delta\varphi_2 - \Delta\varphi_3 \end{aligned} \quad (11)$$

so lassen sich daraus die Unterschiede der von den einzelnen Antennen zum Transponder **2** gemessenen Weglängen berechnen:

$$\begin{aligned} \Delta r_{12} &= r_1 - r_2 = \Delta\varphi_{12} \cdot \frac{\lambda/4}{2\pi} \\ \Delta r_{23} &= r_2 - r_3 = \Delta\varphi_{23} \cdot \frac{\lambda/4}{2\pi} \end{aligned} \quad (12)$$

[0065] Aus den ermittelten Wegdifferenzen ergibt sich der jeweils von einem Antennenpaar ermittelte Zielabgewinkel:

$$\begin{aligned}\sin \alpha_{12} &= \frac{\Delta r_{12}}{d} \\ \sin \alpha_{23} &= \frac{\Delta r_{23}}{c}\end{aligned}\quad (13)$$

[0066] Unter der Voraussetzung, dass $r_z \gg d, c$ ist, kann man davon ausgehen, dass $\sin \alpha_{12} = \sin \alpha_{23} = \sin \alpha_z$ ist. Nun subtrahiert man den vom Antennenpaar A_2 und A_3 ermittelten Wegunterschied Δr_{23} von Δr_{12} :

$$\Delta r_{12} - \Delta r_{23} = \sin \alpha_z \cdot d - \sin \alpha_z \cdot c = \sin \alpha_z \cdot (d - c) \quad (14)$$

[0067] Auf diese Weise lässt sich der Zielablagewinkel α_z in Abhängigkeit der von beiden Antennenpaaren bestimmten Entfernungsdifferenzen Δr_{12} und Δr_{23} ermitteln:

$$\sin \alpha_z = \frac{\Delta r_{12} - \Delta r_{23}}{d - c} \quad (15)$$

beziehungsweise mit den für die Entfernungsdifferenzen hergeleiteten Gleichungen in der Form

$$\alpha_z = \arcsin\left(\frac{\Delta \varphi_{12} - \Delta \varphi_{23}}{d - c} \cdot \frac{2/\lambda}{2\pi}\right) \quad (16)$$

darstellen.

[0068] Für eine eindeutige Winkelmessung ergibt sich ebenso die Einschränkung auf den Phasenbereich $\Delta \varphi_{12} - \Delta \varphi_{23} = \pm \pi$. Der damit maximal erfassbare Eindeutigkeitswinkel

$$\alpha_{z, \text{eind}} = \pm \arcsin\left(\frac{\lambda}{8 \cdot (d - c)}\right) \quad (17)$$

ist allerdings nicht mehr vom Abstand zweier Antennen, sondern vom Differenzabstand der beiden Antennenpaare $d - c$ abhängig. Dieser kann unabhängig von den Antennenabmessungen beliebig klein gewählt werden. Auf diese Weise ist es möglich, den Winkelbereich für eine Zielortung auf jeden beliebigen Wert zwischen $\pm 90^\circ$ einzustellen.

[0069] Gemäß [Fig. 10](#) ist eine dreidimensionale Ortung ausführbar. Erweitert man das System um eine oder mehrere weitere Antennen A_4, A_5 , die vertikal über beziehungsweise unter den horizontal angeordneten Antennen A_1, A_2, A_3 positioniert werden, so ist eine dreidimensionale Ortung möglich. Entsprechend zur zweidimensionalen Ortung wird zum einen der Azimut **10** und zum anderen die Elevation **11** des Transponders **2** bestimmt. Zusammen mit der gemessenen Entfernung r_z können somit die x-, y- und z-Koordinaten berechnet werden. Die mögliche Antennenortung bestehend aus fünf Antennen (A_1 bis A_5) ist gemäß [Fig. 10](#) dargestellt. Dabei dienen die Antennen A_1 bis A_3 der Messung des Azimuts. **10** Die Antennen A_4, A_2 und A_5 dienen der Messung der Elevation **11**. Die Antennen sind ebenso mit dem Bezugszeichen **3** gekennzeichnet.

[0070] [Fig. 11](#) zeigt eine Darstellung einer Basisstation **1** im Ursprung eines x-, y-, z-Koordinatensystems. Auf der y-Achse liegt die Hauptwirkrichtung der Basisstation **1**. Der Transponder **2** liegt an einer x_T, y_T und z_T Position, die mittels der Entfernung vom Transponder **2** zur Basisstation **1** und den beiden Zielablagewinkeln α_z bestimmbar ist.

Patentansprüche

1. Funkbasiertes System zur mehrdimensionalen Ortung eines Zielobjekts (**2**), insbesondere eines RFID-Transponders, mit
 - einer Basisstation (**1**) mit einer Mehrzahl von Antennen (**3**) zum Aussenden von Basissignalen (**4**) und/oder Empfangen von Antwortsignalen (**5**),
 - einem Zielobjekt (**2**) zum Empfang der Basissignale (**4**) und zum Abgeben von Antwortsignalen (**5**), gekennzeichnet durch
 - eine erste Einrichtung (**1a**) zum eindimensionalen Erfassen der Entfernung r_z von der Basisstation (**1**) zum

Zielobjekt (2), und

– eine zweite Einrichtung (1b) zur Erfassung mindestens eines Zielobjektblagewinkels α_z .

2. Funkbasiertes System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Basissignale (4) zu einer Antenne (3) zurück streuende Zielobjekt (2) mit einer Modulationsfrequenz f_{mod} modulierbar ist.

3. Funkbasiertes System nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass mittels der ersten Einrichtung (1a) zur Ermittlung der Entfernung r_z ein Frequenzabstand ΔF zwischen zwei Maxima im Basisband des Spektrums eines mit einem gleichzeitig empfangenen Antwortsignal (5) überlagerten gesendeten Basissignals (4) einer Antenne (3) bestimmbar ist.

4. Funkbasiertes System nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass mittels der zweiten Einrichtung (1b) eine Entfernung r_i des Zielobjektes (2) zu einer Antenne (3) anhand Maxima-Phasendifferenzen bestimmbar ist.

5. Funkbasiertes System nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass mittels der zweiten Einrichtung Entfernungsunterschiede Δr_j von benachbarten Antennen (3) zum Zielobjekt (2) jeweils anhand einer Differenz von Maxima-Phasendifferenzen bestimmbar sind.

6. Funkbasiertes System nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass mittels der zweiten Einrichtung (1b) anhand des Verhältnisses von Entfernungsunterschieden Δr_j zweier benachbarter Antennen (3) zu deren Abständen d_j mindestens ein Zielobjektblagewinkel α_z bestimmbar ist.

7. Funkbasiertes System nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Entfernung r_z der Basisstation (1) vom Zielobjekt (2) viel größer ist als gegenseitige Abstände d_j von benachbarten Antennen (3) zueinander.

8. Funkbasiertes System nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand d_j von benachbarten Antennen (3) klein ist.

9. Funkbasiertes System nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass bei Verwendung von mehr als zwei Antennen (3) die Differenzen der Abstände d_j benachbarter Antennen (3) klein und ungleich null sind.

10. Funkbasiertes System nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Antennen (3) entlang einer Horizontalen und/oder entlang einer Vertikalen angeordnet sind.

11. Funkbasiertes System nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Zielobjekte (2) Transponder, RFID-Marken oder funkabfragbare Sensoren sind.

12. Funkbasiertes System nach einem oder mehreren der vorangehenden Anspruch 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Zielobjekte (2) passiv oder semi-passiv sind.

13. Verfahren zur Verwendung eines funkbasierten Systems nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 12, zur mehrdimensionalen Ortung eines Zielobjekts (2), insbesondere eines RFID-Transponders, gekennzeichnet durch

– Erfassen der Entfernung r_z von der Basisstation (1) zum Zielobjekt (2), und

– Erfassen mindestens eines Zielobjektblagewinkels α_z .

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1

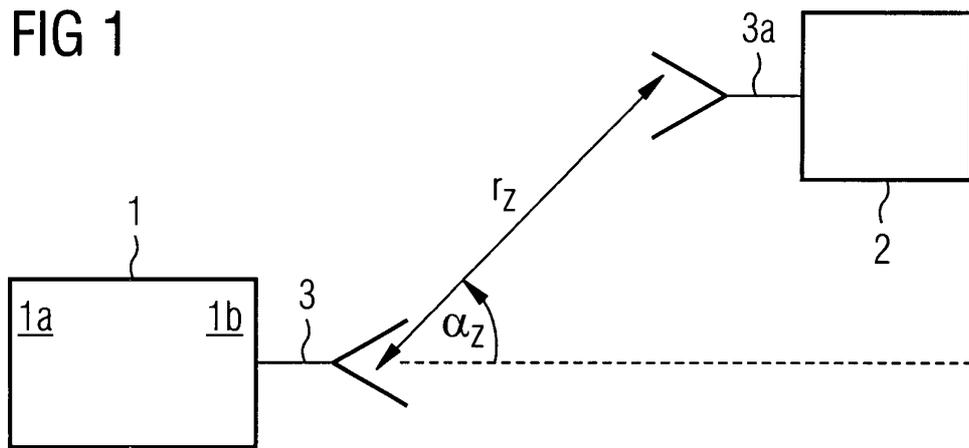


FIG 2A

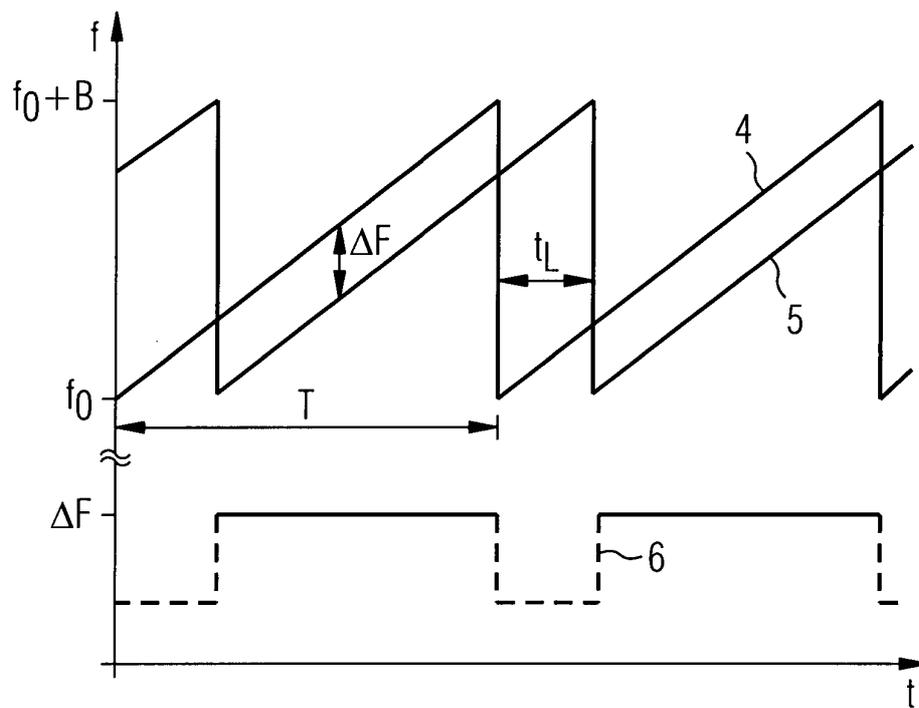


FIG 2B

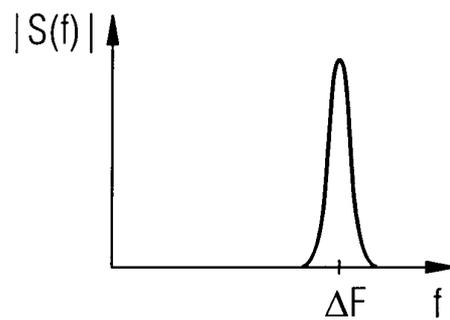


FIG 3

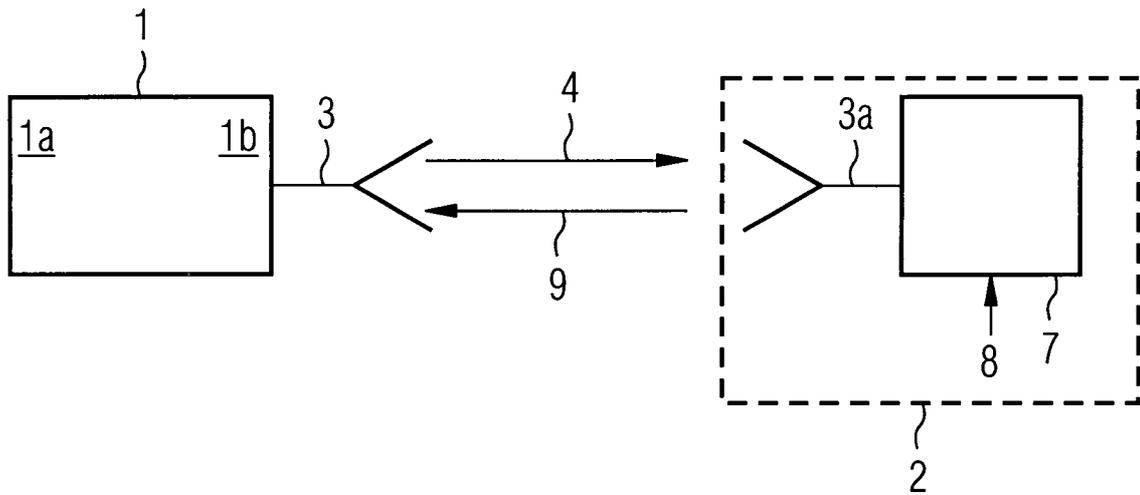


FIG 4

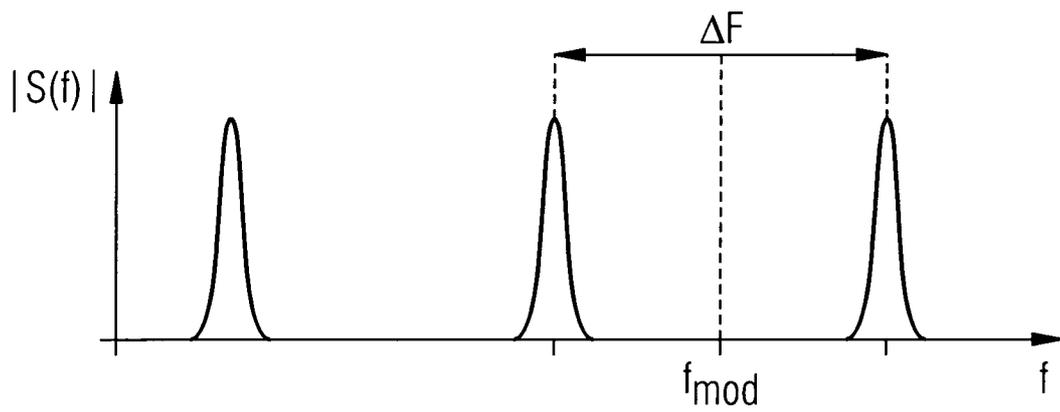


FIG 5

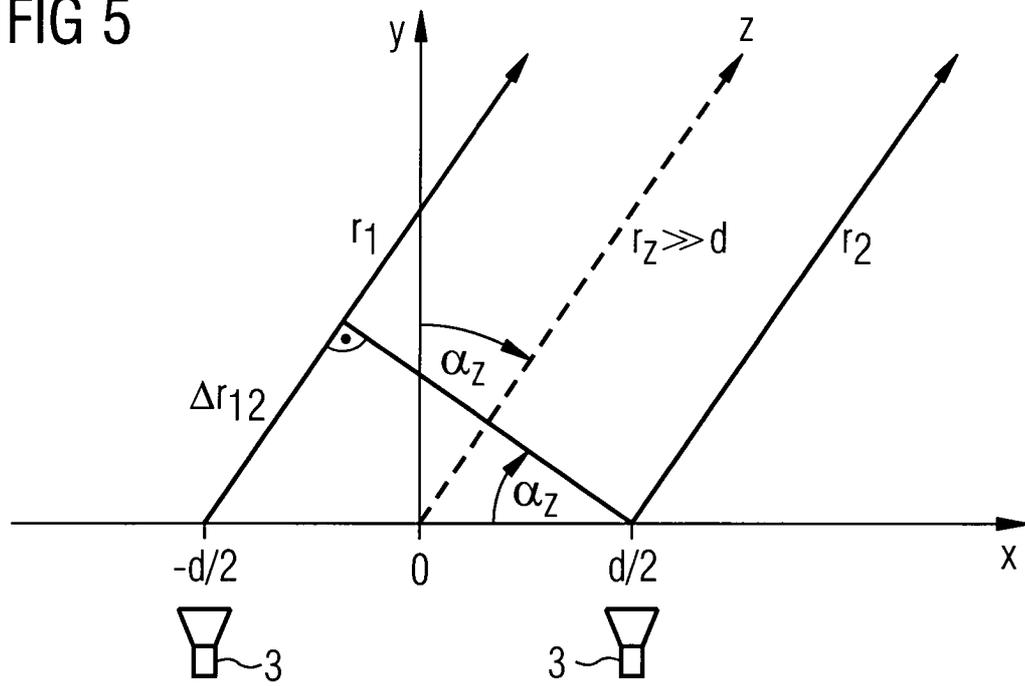


FIG 6

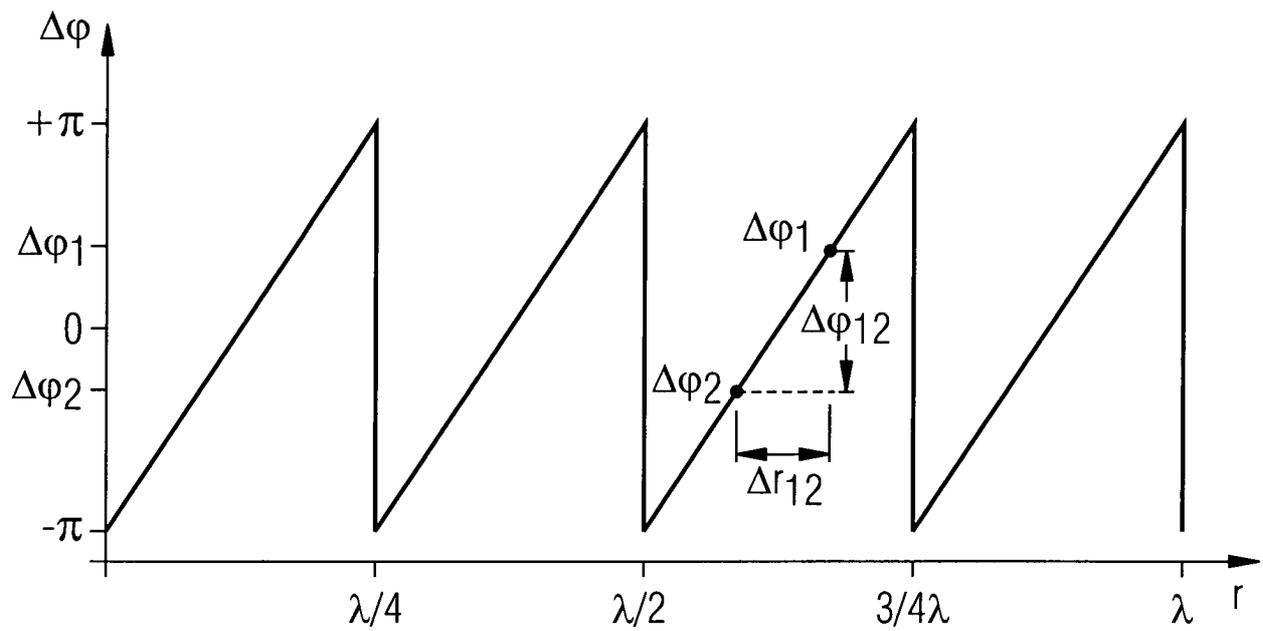


FIG 7

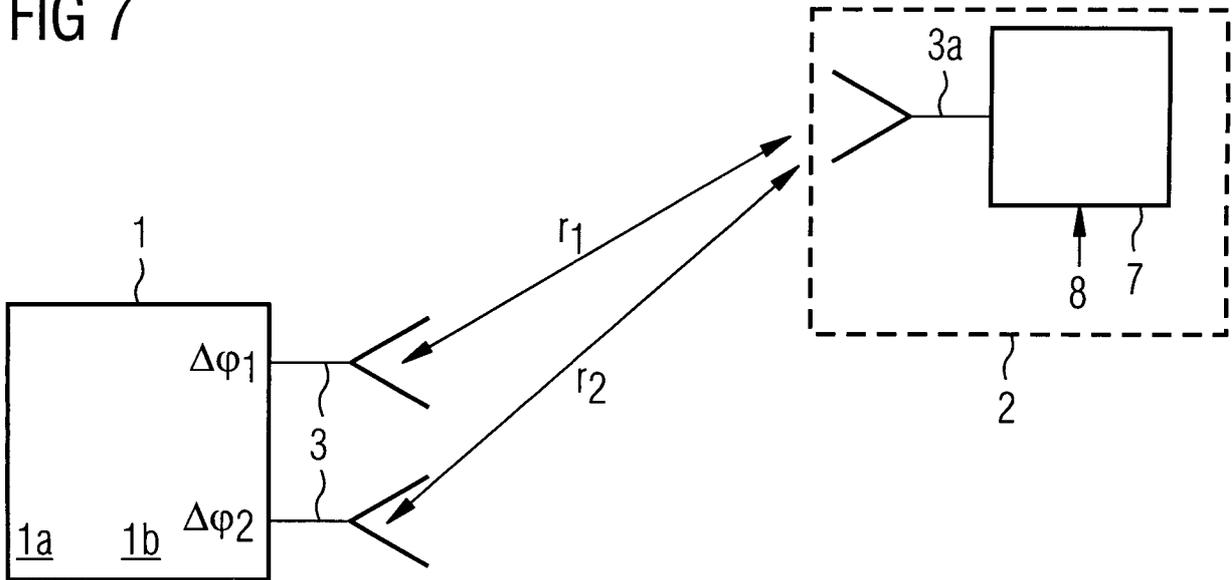


FIG 8

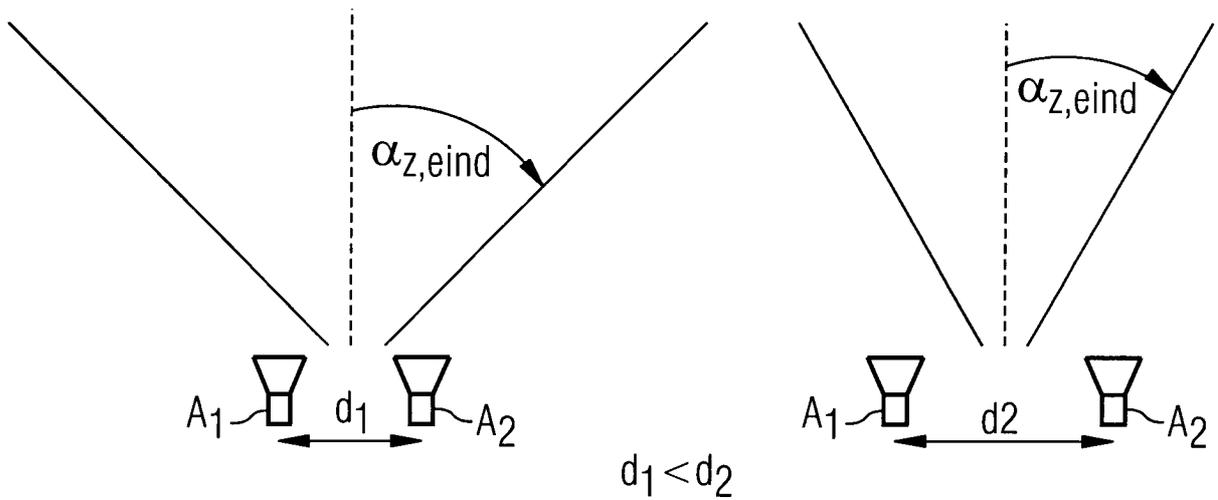


FIG 9

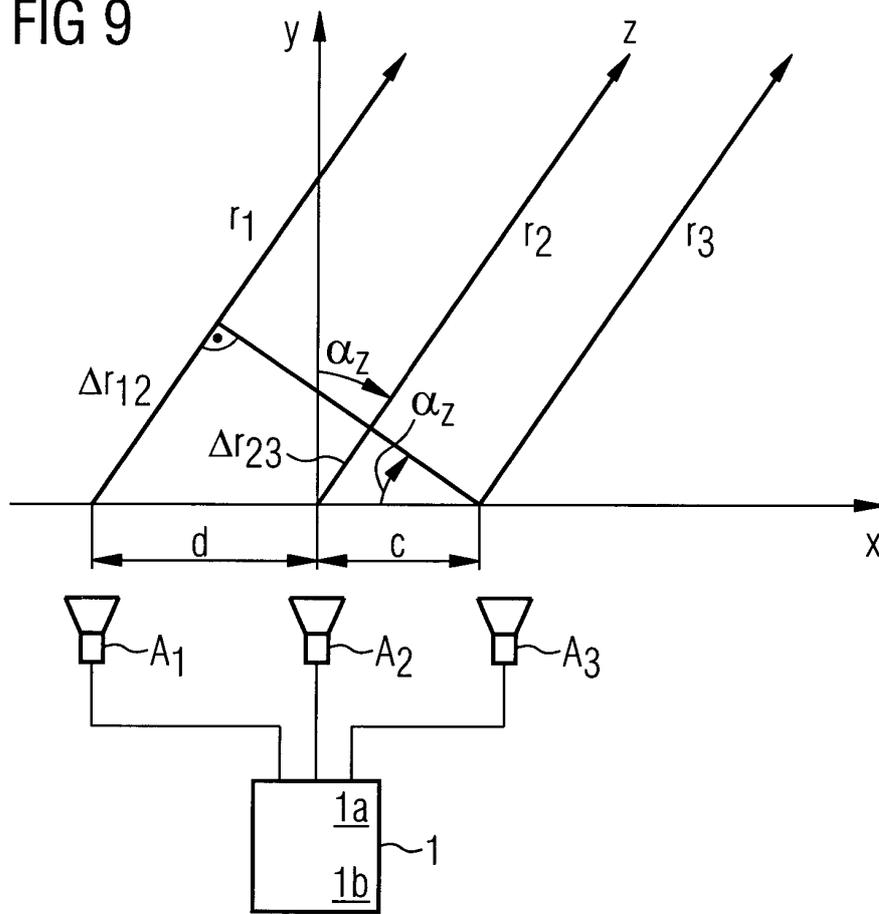


FIG 10

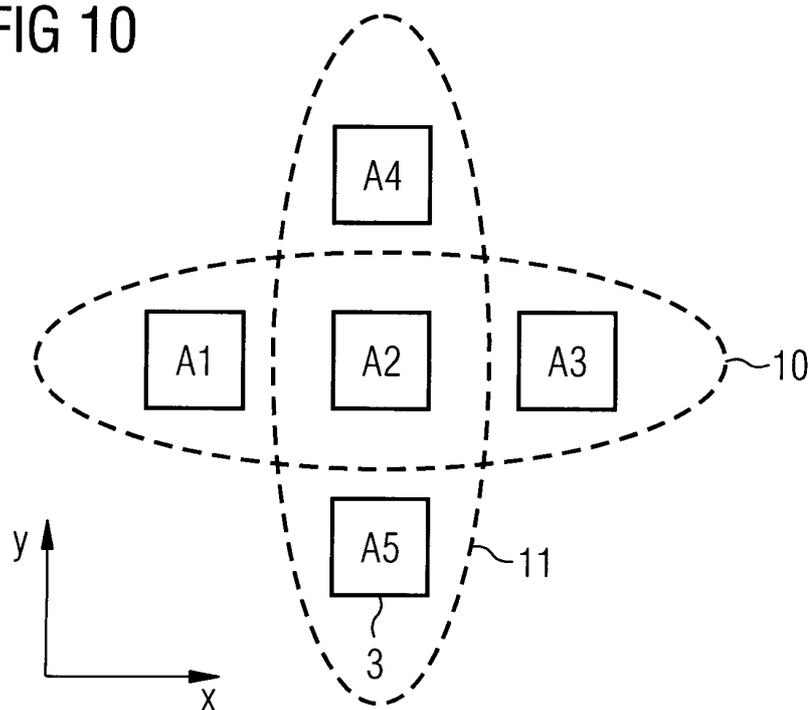


FIG 11

