



(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **101 57 109.7**
(22) Anmeldetag: **30.10.2001**
(43) Offenlegungstag: **22.05.2003**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **13.01.2011**

(51) Int Cl.⁸: **G01S 3/18** (2006.01)
H01Q 21/20 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
**Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG, 81671
München, DE**

(74) Vertreter:
**Mitscherlich & Partner, Patent- und
Rechtsanwälte, 80331 München**

(72) Erfinder:
Deubach, Gerhard, 53501 Grafenschaft, DE

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

DE	22 02 517	C3
DE	44 21 191	A1
DE	29 45 259	A1
DE	25 57 227	A1
DE	15 91 286	A1
DE	692 00 720	T2
US	62 95 035	B1
US	61 04 346	A

US	50 41 835	A
US	50 28 930	A
US	46 05 932	A
US	44 51 831	A
US	41 03 304	A
US	32 95 134	A
US	24 66 354	A

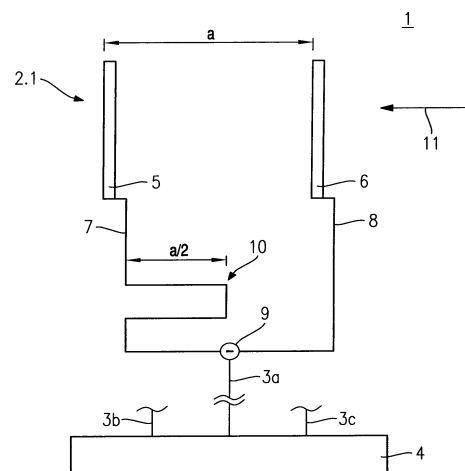
**ROTHAMMEL, K.: Antennenbuch,
Telekosmos-Verlag Franckh'sche
Verlagshandlung Stuttgart, 7. Aufl. 1981, ISBN
3-440-04791-1, S. 219, 220, Abschnitt 14.2
Längsstrahler mit einseitiger
Richtcharakteristik**

**SCHMIDT, R.: Multiple emitter location and signal
parameter estimation. In: IEEE Transactions on
Antennas and Propagation, Vol. 34, Nr. 3, 1986,
S. 276-280**

(54) Bezeichnung: **Richtantennenanordnung und Verfahren zum Messen der Einstrahlrichtung zumindest einer eingestrahnten elektromagnetischen Welle**

(57) Hauptanspruch: Richtantennenanordnung (1) zum Messen der Einstrahlrichtung α zumindest einer eingestrahnten elektromagnetischen Welle mit mehreren Richtantennen (2.1, 2.2, 2.4, 2.7, 2.11, 2.16, 2.18, 2.22) und einer Verarbeitungseinheit (4), wobei die Richtantennen (2.1, 2.2, 2.4, 2.7, 2.11, 2.16, 2.18, 2.22) im Wesentlichen um ein Zentrum (20) im radialen Abstand r angeordnet sind und die Maxima der Strahlungsempfindlichkeit der Richtantennen (2.1, 2.2, 2.4, 2.7, 2.11, 2.16, 2.18, 2.22) bezüglich des Zentrums (20) im Wesentlichen radial nach außen gerichtet sind, wobei die Empfangssignale, die von der eingestrahnten elektromagnetischen Welle in den Richtantennen (2.1, 2.2, 2.4, 2.7, 2.11, 2.16, 2.18, 2.22) hervorgerufen werden, der Verarbeitungseinheit (4) den einzelnen Richtantennen (2.1, 2.2, 2.4, 2.7, 2.11, 2.16, 2.18, 2.22) zuordenbar zugeführt werden, und wobei die Verarbeitungseinheit (4) in Abhängigkeit von den relativen Aufstellungsorten und den winkelorientierten

Strahlungsempfindlichkeiten der Richtantennen (2.1, 2.2, 2.4, 2.7, 2.11, 2.16, 2.18, 2.22) die Einstrahlrichtung α der eingestrahnten elektromagnetischen Welle...



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Richtantennenanordnung und ein Verfahren, mittels derer die Einstrahlrichtung zumindest einer eingestrahnten elektromagnetischen Welle gemessen werden kann.

[0002] Aus R. O. Schmidt, "Multiple Emitter Location and Signal Parameter Estimation", IEEE Trans AP 34, 1986, S. 276–280, ist ein Verfahren zum Messen der Einstrahlrichtung von einer oder mehreren eingestrahnten elektromagnetischen Wellen bekannt, bei dem eine aus mehreren Antennen bestehende Antennenanordnung verwendet wird. Dabei kann aus den mittels der Antennenanordnung gemessenen Empfangssignalen die Richtung der eingestrahnten elektromagnetischen Welle ermittelt werden. Außerdem ist durch das beschriebene Verfahren eine gute Winkelauflösung beim Einstrahlen mehrerer elektromagnetischer Wellen aus nahezu der gleichen Richtung gegeben, sofern eine große Anzahl von Antennen für die Antennenanordnung zur Verfügung steht.

[0003] Aus der DE 22 02 517 C3 ist ein Peilverfahren für periodisch wiederkehrende impulsförmige Signale unter Verwendung eines Antennensystems mit einer bestimmten Anzahl von im gleichen Abstand zueinander auf einem Kreis oder Kreisbogen angeordneten Einzelantennen bekannt. Die Antennenspannungen der Einzelantennen können im Takt der Impulswiederkehr der Nachricht nacheinander abgetastet werden und benötigen somit nur einen einzigen Verstärkungskanal zu Signalnachverarbeitung.

[0004] Bei dem in der DE 44 21 191 A1 offenbarten Peilverfahren wird ein Antennensystem mit auf einem Kreis angeordneten Einzelantennen verwendet, bei dem alternierend die Einzelantennen zu jeweils einer von zwei Antennengruppen zugeordnet werden. Zur Peilung werden die Amplitudenwerte der Antenne mit dem höchsten empfangenen Signalpegel und der Antenne derselben Antennengruppe mit dem zweithöchsten empfangenen Signalpegel weiterverarbeitet. Auf diese Weise lässt sich eine hohe Winkelauflösung realisieren.

[0005] In Rothammel K. „Antennenbuch“ Telekosmos-Verlag, Franckh'sche Verlagshandlung Stuttgart, 7. Auflage 1981, ISBN 3-440-04791, Seiten 219–220 ist ein Antennensystem mit einem als Strahler dienenden Schleifendipol und einem dazu parallel verlaufenden und als Reflektor dienenden Schleifendipol beschrieben. Bei einem Abstand von $\frac{1}{8}$ zwischen Strahler und Reflektor ergibt sich eine Phasenverschiebung von 45° zwischen den Strömen im Strahler und Reflektor und damit eine unidirektionale Richtcharakteristik.

[0006] Die bekannten Verfahren haben trotz spezifischer Vorteile alle den Nachteil, dass eine große An-

zahl von Rundstrahlern erforderlich ist, um die gewünschte Winkelauflösung zu erhalten. Außerdem ist die Anwendbarkeit der bekannten Verfahren nur eingeschränkt gegeben, da die Anforderungen an die Verarbeitungseinheit zum Verarbeiten der empfangenen Empfangssignale mit der Anzahl der verwendeten Antennen ansteigen.

[0007] Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine Antennenanordnung und ein Verfahren zu schaffen, mittels derer eine vorgegebene Auflösung, insbesondere Winkelauflösung, mittels einer optimierten Anzahl an Antennen und einem reduzierten Verarbeitungsaufwand erreicht wird.

[0008] Die Aufgabe wird durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 7 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der in Anspruch 1 angegebenen Vorrichtung sind durch die in den Unteransprüchen 2 bis 6 angegebenen Maßnahmen möglich. Vorteilhafte Weiterbildungen des in Anspruch 7 angegebenen Verfahrens sind durch die in den Unteransprüchen 8 und 9 angegebenen Maßnahmen möglich.

[0009] Die erfindungsgemäße Lösung hat den Vorteil, dass durch die Richtantennen eine bessere Winkelauflösung zur Ermittlung der Einstrahlrichtung der eingestrahnten elektromagnetischen Welle möglich ist. Außerdem können aus Richtantennen bestehende Anlagen umgerüstet werden, um die Messung der Einstrahlrichtung der eingestrahnten elektromagnetischen Welle vorzunehmen.

[0010] Vorteilhaft ist es, dass die Richtantennenanordnung, die aus den Richtantennen besteht, die der Verarbeitungseinheit Empfangssignale zuführen, eine Auswahl aus einer größeren Richtantennenanordnung ist, wobei die größere Richtantennenanordnung weitere Richtantennen umfasst, die im wesentlichen um das Zentrum angeordnet sind und bei denen die Maxima der Strahlungsempfindlichkeit jeder Richtantenne bezüglich des Zentrums im wesentlichen radial nach außen gerichtet sind und die bei der Ermittlung der Einstrahlrichtung der eingestrahnten elektromagnetischen Welle von der Verarbeitungseinheit nicht berücksichtigt werden. Dabei erfolgt die Auswahl in vorteilhafter Weise so, dass der Einfluss von zumindest einer Störung minimiert ist. Dadurch kann zum einen die Richtantennenanordnung so geschaltet werden, dass bezüglich der eingestrahnten elektromagnetischen Welle eine maximale Winkelauflösung der gewählten Richtantennenanordnung erreicht wird. Zum anderen kann bei der Auswahl berücksichtigt werden, dass der Einfluss von Störungen, insbesondere Störsignalen, wie sie beispielsweise durch großflächige Objekte, wie Hangartore erzeugt werden, minimiert ist. Durch die Auswahl bestimmter Richtantennen aus der größeren Richt-

antennenanordnung kann dabei der Verarbeitungsaufwand durch die Verarbeitungseinheit optimiert werden.

[0011] Eine vorteilhafte Auswahl ist dadurch gegeben, dass die Richtantennen der größeren Richtantennenanordnung in Winkelabständen von 15° angeordnet sind, so dass sich eine größere Richtantennenanordnung aus 24 Richtantennen ergibt, und dass aus der größeren Richtantennenanordnung eine Richtantennenanordnung ausgewählt ist, wobei die Winkelkoordinaten der ausgewählten Richtantennenanordnung bezüglich des Zentrums im wesentlichen gleich den Werten von 0° , 15° , 45° , 90° , 150° , 225° , 255° und 315° sind.

[0012] Eine vorteilhafte Richtantenne ist durch eine Dublette gegeben, wobei hier der besondere Vorteil besteht, dass derartige Richtantennenanordnungen weit verbreitet sind, wodurch auch auf bestehende Systeme zurückgegriffen werden kann.

[0013] Ausführungsbeispiele der Erfindung sind nachfolgend unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher beschrieben. In der Zeichnung zeigen:

[0014] [Fig. 1](#) ein Ausführungsbeispiel einer Richtantennenanordnung;

[0015] [Fig. 2](#) die Strahlungsempfindlichkeit der in [Fig. 1](#) gezeigten Richtantenne;

[0016] [Fig. 3](#) die geometrische Anordnung der ausgewählten Richtantennenanordnung des Ausführungsbeispiels; und

[0017] [Fig. 4](#) die Winkelauflösung zweier benachbarter eingestrahelter elektromagnetischer Wellen gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel.

[0018] [Fig. 1](#) zeigt ein Ausführungsbeispiel einer Richtantennenanordnung **1** zum Messen der Einstrahlrichtung einer oder mehrerer eingestrahelter elektromagnetischer Wellen. Die Richtantennenanordnung **1** umfasst mehrere Richtantennen **2.1** bis **2.24**, von denen in [Fig. 1](#) zur Vereinfachung der Zeichnung nur die Richtantenne **2.1** dargestellt ist. Die Richtantenne **2.1** ist mittels der Leitung **3a** mit einer Verarbeitungseinheit **4** verbunden. Die anderen Richtantennen **2.2** bis **2.24**, die in [Fig. 1](#) nicht dargestellt sind, sind über weitere Leitungen mit der Verarbeitungseinheit **4** verbunden, wobei in [Fig. 1](#) die Leitungen **3b** und **3c** dargestellt sind.

[0019] Die Richtantenne **2.1** umfasst eine erste Stabantenne **5** und eine zweite Stabantenne **6**. Die Stabantennen **5**, **6** sind mittels der Leitungen **7**, **8** mit einem Differenzglied **9** verbunden, wobei das Differenzglied **9** die Differenz der über die Leitungen **7**, **8** übertragenen, in den Stabantennen **5**, **6** hervorgeru-

fenen Empfangssignalen bildet und das in der Richtantenne **2.1** als Differenz aus diesen beiden Empfangssignalen in der Richtantenne hervorgerufene Empfangssignal über die Leitung **3a** der Verarbeitungseinheit **4** zuführt. Somit wird das Empfangssignal, das von der eingestrahlenen elektromagnetischen Welle in der Richtantenne **2.1** hervorgerufen wird, der Verarbeitungseinheit **4** der Richtantennen **2.1** zuordenbar zugeführt. Die Richtcharakteristik der Richtantennen **2.1** ergibt sich dadurch, dass in dem Leitungszweig auf der Seite der ersten Stabantenne **5** als Bestandteil der Leitung **7** eine zusätzliche Leiterschleife **10** vorgesehen ist, die die Gesamtlänge der Leitung **7** gegenüber der Gesamtlänge der Leitung **8** um die Strecke $2 \times a/2 = a$ verlängert. Dabei ist die zusätzliche Wegstrecke a so bemessen, dass sie dem Abstand der beiden Stabantennen **5**, **6** entspricht. Eine solche Anordnung wird als Dublette bezeichnet.

[0020] Aufgrund des beschriebenen Aufbaus der Richtantenne **2.1** ergibt sich für ein Empfangssignal, das aus der Einstrahlrichtung **11** auf die Richtantenne **2.1** einstrahlt, eine maximale Empfindlichkeit. Für eine elektromagnetische Welle, die entgegen der Einstrahlrichtung **11** eingestrahlt wird, wird ein erstes Empfangssignal, das von der ersten Stabantenne **5** empfangen wird, über die längere Leitung **7** an das Differenzglied **9** geleitet und ein zweites Empfangssignal wird über die zweite Stabantenne **6** empfangen und über die kürzere Leitung **8** an das Differenzglied **9** geleitet. Aufgrund des Abstands a zwischen den beiden Stabantennen **5**, **6** und des zusätzlichen Leitungsweges der Länge a in der Leitung **7** ergibt sich im Differenzglied **9** eine phasengleiche Subtraktion der beiden in den Stabantennen **5**, **6** empfangenen Signale, so dass sich die beiden Signale im wesentlichen aufheben und über die Leitung **3a** zumindest im wesentlichen ein Nullsignal an die Verarbeitungseinheit **4** übergeben wird.

[0021] Auf diese Weise kann gegebenenfalls auch ein Abgleich vorgenommen werden, indem die Länge der zusätzlichen Leiterschleife **10** gegenüber dem Abstand der beiden Stabantennen **5**, **6** etwas variiert wird, bis sich ein Nullsignal am Ausgang des Differenzglieds **9** an der Leitung **3a** für ein Signal entgegen der Einstrahlrichtung **11** ergibt.

[0022] Für ein Signal aus der Einstrahlrichtung **11** ergibt sich beim Differenzglied **9** keine phasengleiche Überlagerung, so dass am Ausgang des Differenzglieds **9** auf der Seite der Leitungen **3a** ein Empfangssignal der Richtantenne **2.1** ausgegeben wird.

[0023] Die sich für beliebige Einstrahlrichtungen ergebende Strahlungsempfindlichkeit der Richtantenne **2.1** ist in [Fig. 2](#) dargestellt. [Fig. 2](#) zeigt die Strahlungsempfindlichkeit der in [Fig. 1](#) dargestellten Richtantenne **2.1**.

[0024] In **Fig. 2** sind die beiden Stabantennen **5, 6** der Richtantenne **2.1** zur Vereinfachung im Mittelpunkt **12** zusammengefasst. **Fig. 2** zeigt insofern die Draufsicht auf die in **Fig. 1** dargestellten Stabantennen **5, 6**. Die Variation der Einstrahlrichtung **11** ist durch den Winkel α angegeben. Für einen Winkel von $\alpha = 180^\circ$ ergibt sich dabei die beschriebene Auslöschung der beiden Signale, die in den Stabantennen **5, 6** erzeugt werden, so dass die Empfindlichkeit aus dieser Richtung Null ist. In Einstrahlrichtung **11** ist die Empfindlichkeit maximal, so dass die Kurve **13**, die die Größe der Empfangsempfindlichkeit angibt, hier auf der Kreislinie **14** maximaler Empfindlichkeit liegt. Eine weitere Kreislinie **15** gibt die halbe maximale Empfindlichkeit an. Die Kreislinie **7** wird jedenfalls für Winkel α zwischen -90° und $+90^\circ$ nicht unterschritten, so dass sich in diesem Bereich eine als gut zu bezeichnende Strahlungsempfindlichkeit ergibt.

[0025] **Fig. 3** zeigt die geometrische Anordnung der Richtantennen der Richtantennenanordnung des Ausführungsbeispiels der Erfindung.

[0026] In **Fig. 3** ist eine aus acht Richtantennen **2.1, 2.2, 2.4, 2.7, 2.11, 2.16, 2.18, 2.22** bestehende Richtantennenanordnung dargestellt, die Teil einer größeren Richtantennenanordnung ist, die weitere Richtantennen **2.3, 2.5, 2.6, 2.8, 2.9, 2.10, 2.12, 2.13, 2.14, 2.15, 2.17, 2.19, 2.20, 2.21, 2.23, 2.24** umfasst.

[0027] Dabei werden die Richtantennen **2.1, 2.2, 2.4, 2.7, 2.11, 2.16, 2.18, 2.22** bei der Ermittlung der Einstrahlrichtung der eingestrahlten elektromagnetischen Welle von der Verarbeitungseinheit **4** berücksichtigt und die weiteren Richtantennen **2.3, 2.5, 2.6, 2.8, 2.9, 2.10, 2.12, 2.13, 2.14, 2.15, 2.17, 2.19, 2.20, 2.21, 2.23, 2.24**, die in der größeren Richtantennenanordnung, nicht aber in der ausgewählten Richtantennenanordnung enthalten sind, werden bei der Ermittlung der Einstrahlrichtung der eingestrahlten elektromagnetischen Welle von der Verarbeitungseinheit **4** nicht berücksichtigt. Die Richtantennen **2.1** bis **2.24** sind um ein Zentrum **20** angeordnet, wobei die Richtantennen **2.1** bis **2.24** in diesem Ausführungsbeispiel zumindest im Wesentlichen den gleichen realen Abstand vom Zentrum **20** haben. Die Orientierung der Richtantennen **2.1** bis **2.24** ist dabei derart, dass die maximale Strahlungsempfindlichkeit jeder Richtantenne **2.1** bis **2.24** bezüglich des Zentrums **20** im Wesentlichen radial nach außen gerichtet ist.

[0028] Die Richtantennen **2.1** bis **2.24** liegen ausgehend von der Richtantenne **2.1**, die die Winkelkoordinate mit 0° definiert, auf Vielfachen von 15° . Die Richtantennenanordnung, die aus den Richtantennen **2.1, 2.2, 2.4, 2.7, 2.11, 2.16, 2.18, 2.22** besteht, die der Verarbeitungseinheit **4** Empfangssignale zuführen, haben daher Winkelkoordinaten, die im wesentlichen gleich den Werten von $0^\circ, 15^\circ, 45^\circ, 90^\circ,$

$150^\circ, 225^\circ, 255^\circ$ und 315° sind. Die Richtantenne, welche 0° definiert, ist zunächst willkürlich ausgewählt, so dass anstelle der Richtantenne **2.1** auch eine der Richtantennen **2.2** bis **2.24** die Winkelkoordinate von 0° definieren kann. Für die bevorzugte Richtantennenanordnung aus Richtantennen, die der Verarbeitungseinheit **4** Empfangssignale zuführen, kommt es dabei auf die relative Winkelbeziehung zwischen den Winkelkoordinaten der Richtantennen an. Für die Auswahl der ausgewählten Richtantennenanordnung aus der größeren Richtantennenanordnung ergeben sich daher 24 voneinander verschiedene Möglichkeiten, wobei die relative Winkelbeziehung der Richtantennen, die der Verarbeitungseinheit **4** Empfangssignale zuführen, bei jeder der ausgewählten Richtantennenanordnungen die gleiche ist.

[0029] Durch die Auswahl der Richtantennenanordnung lässt sich dabei die Winkelauflösung hinsichtlich der eingestrahlten elektromagnetischen Welle in Bezug auf die Einstrahlrichtung optimieren. Außerdem können Störungen, die beispielsweise durch andere Antennen oder auf Flugplätzen z. B. durch Hangartore bedingt sind, durch die Auswahl der Richtantennenanordnung aus der größeren Richtantennenanordnung unterdrückt werden. Die Verarbeitungseinheit **4** ermittelt in Abhängigkeit von den relativen Aufstellungsorten und den Winkelorientierungen der Richtantennen die Einstrahlrichtung der eingestrahlten elektromagnetischen Welle aus den der Verarbeitungseinheit **4** von den Richtantennen der ausgewählten Richtantennenanordnung zugeführten Empfangssignalen. Für diese Berechnung stehen grundsätzlich mehrere Verfahren zur Verfügung. Ein bevorzugtes Verfahren zur Ermittlung der Einstrahlrichtung ist das sog. MUSIC-Verfahren, welches grundsätzlich aus R. O. Schmidt, "Multiple Emitter Location and Signal Parameter Estimations", IEEE Trans AP 34, 1986, S. 276–280 bekannt ist.

[0030] Aufgrund der Verwendung von Richtantennen ist allerdings eine Modifikation des Steering-Vektors \hat{e} notwendig, der für eine kreisförmige Anordnung von Rundstrahlern folgendermaßen beschrieben werden kann:

$$\hat{e} = \begin{pmatrix} \exp(ikr \cos(\alpha - \varphi_1)) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \exp(ikr \cos(\alpha - \varphi_n)) \end{pmatrix}$$

[0031] Der modifizierte Steering-Vektor ergibt sich zu:

$$\hat{e}_{\text{mod}} = C\hat{e}$$

[0032] Dabei ist C eine Diagonalmatrix mit n Reihen und n Spalten, die also die Form hat:

$$C = \begin{pmatrix} C_{11} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & C_{22} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & C_{33} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & C_{nn} \end{pmatrix}$$

[0033] Die einzigen nicht verschwindenden Elemente der Matrix C ergeben sich mit $i = 1, \dots, n$ zu:

$$C_{ii} = \cos[(\pi \cdot a/\lambda) \cdot (\cos(\alpha - \varphi_i) - 1)]$$

[0034] Dabei ist a der Abstand der beiden Antennen, die die Dublette bilden, wie es in [Fig. 1](#) dargestellt ist, λ die Wellenlänge der eingestrahlenen elektromagnetischen Welle, r der in [Fig. 3](#) dargestellte Kreisradius und $k = 2\pi/\lambda$ die Wellenzahl. Die φ_i beschreiben die Anordnung der Rundstrahler bzw. der Dubletten auf dem Kreis. Das heißt, die φ_i sind die (absoluten) Winkelkoordinaten der Dubletten.

[0035] Damit ergibt sich ein modifizierter MUSIC-Algorithmus mit folgender Peilfunktion:

$$P_{\text{mod}} = \frac{1}{\sum_{i=D+1}^M |\hat{e}_{\text{mod}}^H * q_i|^2}$$

[0036] Summiert wird dabei über die Eigenvektoren q_i des Rauschunterraums. \hat{e}_{mod}^H bezeichnet den zu \hat{e}_{mod} konjugiert transponierten Vektor, M die Anzahl der Dubletten, d. h. im vorliegenden Ausführungsbeispiel ist $M = 8$, und D die (geschätzte) Dimension des Signalraums.

[0037] [Fig. 4](#) zeigt ein Beispiel dafür, dass bereits einfachere Dublettenanordnungen, als die in [Fig. 3](#) dargestellte ausgewählte Richtantennenanordnung, eine gute Auflösung zweier nicht vollständig korrelierter, eingestrahelter elektromagnetischer Wellen ergeben. [Fig. 4](#) zeigt dabei die Peilfunktion (MUSIC-Spektrum) für eine Anordnung von fünf auf einem Kreis angeordnete Dubletten. Die Azimutwinkel-differenz der beiden Wellen beträgt 5° .

[0038] In [Fig. 4](#) ist auf der x-Achse der Peilwinkel α in Grad aufgetragen und auf der y-Achse ist die Amplitude A in dB in einer logarithmischen Skala dargestellt. Durch die scharfen Peaks bei 0 und 5° können die beiden eintreffenden elektromagnetischen Wellen gut voneinander unterschieden werden.

[0039] Die Auswahl von acht Richtantennen bei dem Ausführungsbeispiel, das anhand der [Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#) beschrieben ist, reduziert die erforderliche Kanalanzahl des Empfängers. Es ist allerdings auch

möglich, eine größere Anzahl an Richtantennen zu verwenden, beispielsweise neun oder zehn. Ebenso ist es möglich, eine größere Richtantennenanordnung von 36 oder 72 Richtantennen zu verwenden, die gleichmäßig angeordnet sind.

[0040] Die optimale Auswahl der ausgewählten Richtantennenanordnung aus der größeren Richtantennenanordnung kann beispielsweise dadurch erfolgen, dass der erzielbare Nebenkeulenabstand optimiert wird. Auf diese Weise kann auch die relative Anordnung der Richtantennen zueinander optimiert werden. Bei der relativen Anordnung der Richtantennen der ausgewählten Richtantennenanordnung ist allerdings zu beachten, dass der Winkelabstand zwischen zwei benachbarten Richtantennen nicht so groß wird, dass 180° Phasensprünge auftreten, da ansonsten Mehrdeutigkeiten für die Ermittlung der Einstrahlrichtung der eingestrahlenen elektromagnetischen Welle entstehen.

[0041] Die Erfindung ist nicht auf die beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt.

Patentansprüche

1. Richtantennenanordnung (1) zum Messen der Einstrahlrichtung α zumindest einer eingestrahlenen elektromagnetischen Welle mit mehreren Richtantennen (2.1, 2.2, 2.4, 2.7, 2.11, 2.16, 2.18, 2.22) und einer Verarbeitungseinheit (4), wobei die Richtantennen (2.1, 2.2, 2.4, 2.7, 2.11, 2.16, 2.18, 2.22) im Wesentlichen um ein Zentrum (20) im radialen Abstand r angeordnet sind und die Maxima der Strahlungsempfindlichkeit der Richtantennen (2.1, 2.2, 2.4, 2.7, 2.11, 2.16, 2.18, 2.22) bezüglich des Zentrums (20) im Wesentlichen radial nach außen gerichtet sind, wobei die Empfangssignale, die von der eingestrahlenen elektromagnetischen Welle in den Richtantennen (2.1, 2.2, 2.4, 2.7, 2.11, 2.16, 2.18, 2.22) hervorgerufen werden, der Verarbeitungseinheit (4) den einzelnen Richtantennen (2.1, 2.2, 2.4, 2.7, 2.11, 2.16, 2.18, 2.22) zuordenbar zugeführt werden, und wobei die Verarbeitungseinheit (4) in Abhängigkeit von den relativen Aufstellungsorten und den winkelorientierten Strahlungsempfindlichkeiten der Richtantennen (2.1, 2.2, 2.4, 2.7, 2.11, 2.16, 2.18, 2.22) die Einstrahlrichtung α der eingestrahlenen elektromagnetischen Welle aus den der Verarbeitungseinheit (4) von den den Richtantennen (2.1, 2.2, 2.4, 2.7, 2.11, 2.16, 2.18, 2.22) zugeführten Empfangssignalen ermittelt, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Richtantennen (2.1, 2.2, 2.4, 2.7, 2.11, 2.16, 2.18, 2.22) jeweils aus einer ersten und zweiten Stabantenne (5, 6), die im Abstand a voneinander beabstandet sind, jeweils einer Leitung (7, 8) zwischen der ersten und der zweiten Stabantenne (5, 6), einem die Differenz der Empfangssignale der ersten und zwei-

ten Stabantenne (5, 6) bildenden Differenzglied (9) und einer zusätzlichen Leiterschleife (10) als Bestandteil der Leitung (7), die die Gesamtlänge der Leitung (7) um den Abstand α gegenüber der Gesamtlänge der Leitung (8) verlängert, bestehen.

2. Richtantennenanordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Richtantennenanordnung, die aus den Richtantennen (2.1, 2.2, 2.4, 2.7, 2.11, 2.16, 2.18, 2.22) besteht, die der Verarbeitungseinheit (4) Empfangssignale zuführen, eine Auswahl aus einer größeren Richtantennenanordnung (2.1–2.24) ist, wobei die größere Richtantennenanordnung weitere Richtantennen (2.3, 2.5, 2.6, 2.8, 2.9, 2.10, 2.12, 2.13, 2.14, 2.15, 2.17, 2.19, 2.20, 2.21, 2.23, 2.24) umfasst, die im Wesentlichen um das Zentrum (20) angeordnet sind und bei denen die Maxima der Strahlungsempfindlichkeit jeder Richtantenne (2.3, 2.5, 2.6, 2.8, 2.9, 2.10, 2.12, 2.13, 2.14, 2.15, 2.17, 2.19, 2.20, 2.21, 2.23, 2.24) bezüglich des Zentrums (20) im Wesentlichen radial nach außen gerichtet sind und die bei der Ermittlung der Einstrahlrichtung der eingestrahlten elektromagnetischen Welle von der Verarbeitungseinheit (4) nicht berücksichtigt werden.

3. Richtantennenanordnung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die größere Richtantennenanordnung aus vierundzwanzig Richtantennen (2.1–2.24) besteht und dass die aus der größeren Richtantennenanordnung ausgewählte Richtantennenanordnung aus zumindest acht Richtantennen (2.1, 2.2, 2.4, 2.7, 2.11, 2.16, 2.18, 2.22) besteht, die der Verarbeitungseinheit (4) Empfangssignale zuführen.

4. Richtantennenanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Richtantennen (2.1, 2.2, 2.4, 2.7, 2.11, 2.16, 2.18, 2.22) zueinander in Winkelabständen angeordnet sind, die zumindest im wesentlichen ganzzahlige Vielfache von 15° sind.

5. Richtantennenanordnung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Winkelkoordinaten der Richtantennen (2.1, 2.2, 2.4, 2.7, 2.11, 2.16, 2.18, 2.22) bezüglich des Zentrums im wesentlichen gleich den Werten von 0° , 15° , 45° , 90° , 150° , 225° , 255° und 315° sind.

6. Richtantennenanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Richtantennen (2.1, 2.2, 2.4, 2.7, 2.11, 2.16, 2.18, 2.22) als Dubletten ausgebildet sind.

7. Verfahren zur Ermittlung der Einstrahlrichtung α zumindest einer elektromagnetischen Welle mit mehreren Richtantennen (2.1, 2.2, 2.4, 2.7, 2.11, 2.16, 2.18, 2.22), die im wesentlichen um ein Zen-

trum (20) im radialen Abstand r angeordnet sind und deren Maxima der Strahlungsempfindlichkeit bezüglich des Zentrums (20) im wesentlichen radial nach außen gerichtet sind, und einer Verarbeitungseinheit (4) mit den Verfahrensschritten:

– Messen der Empfangssignale, die von der eingestrahlten elektromagnetischen Welle in den Richtantennen (2.1, 2.2, 2.4, 2.7, 2.11, 2.16, 2.18, 2.22) hervorgerufen werden;

– Zuführen der gemessenen Empfangssignale an die Verarbeitungseinheit (4), wobei die Empfangssignale der Verarbeitungseinheit (4) den einzelnen Richtantennen zuordenbar zugeführt werden;

– Ermitteln der Einstrahlrichtung α der eingestrahlten elektromagnetischen Welle aus den der Verarbeitungseinheit (4) von den Richtantennen (2.1, 2.2, 2.4, 2.7, 2.11, 2.16, 2.18, 2.22) zugeführten Empfangssignalen in Abhängigkeit von den relativen Aufstellungsorten und den Winkelorientierungen der Richtantennen (2.1, 2.2, 2.4, 2.7, 2.11, 2.16, 2.18, 2.22), dadurch gekennzeichnet,

dass die Richtantennen (2.1, 2.2, 2.4, 2.7, 2.11, 2.16, 2.18, 2.22) jeweils aus einer ersten Stabantenne (5) und einer zweiten Stabantenne (6) bestehen, die im Abstand α voneinander beabstandet sind und dass das Ermitteln der Einstrahlrichtung α der eingestrahlten elektromagnetischen Welle über einen modifizierten MUSIC-Algorithmus erfolgt, bei dem ein modifizierter Steering-Vektor \hat{e}_{mod} durch Multiplikation eines Steering-Vektors $\hat{e} = (\exp(i \cdot k \cdot r \cdot \cos(\alpha - \varphi_i)) \dots \exp(i \cdot k \cdot r \cdot \cos(\alpha - \varphi_n)))$ mit einer Diagonalmatrix C ermittelt wird, dessen Diagonalelemente C_{ii} gemäß der Gleichung

$$C_{ii} = \cos[(\pi \cdot \alpha / \lambda) \cdot (\cos(\alpha - \varphi_i) - 1)]$$

berechnen werden, wobei

λ die Wellenlänge der eingestrahlten elektromagnetischen Welle,

$k = \frac{2\pi}{\lambda}$ die Wellenzahl und

φ_i die Winkelkoordinate der i -ten Richtantenne sind.

8. Verfahren nach Anspruch 7,

gekennzeichnet durch folgenden Verfahrensschritt:

Auswählen der Richtantennenanordnung, die aus den Richtantennen (2.1, 2.2, 2.4, 2.7, 2.11, 2.16, 2.18, 2.22) besteht, deren Empfangssignale der Verarbeitungssignale der Verarbeitungseinheit zugeführt werden, aus einer größeren Richtantennenanordnung, die zusätzliche Richtantennen (2.3, 2.5, 2.6, 2.8, 2.9, 2.10, 2.12, 2.13, 2.14, 2.15, 2.17, 2.19, 2.20, 2.21, 2.23, 2.24) umfasst, welche im wesentlichen um das Zentrum (20) angeordnet sind und bei denen die Maxima der Strahlungsempfindlichkeit jeder Richtantenne (2.3, 2.5, 2.6, 2.8, 2.9, 2.10, 2.12, 2.13, 2.14, 2.15, 2.17, 2.19, 2.20, 2.21, 2.23, 2.24) bezüglich des Zentrums (20) im wesentlichen radial nach außen gerichtet sind und welche für diese Auswahl

bei der Ermittlung der Einstrahlrichtung der eingestrahnten elektromagnetischen Welle von der Verarbeitungseinheit nicht berücksichtigt werden.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die aus der größeren Richtantennenanordnung ausgewählte Richtantennenanordnung so ausgewählt ist, dass der Einfluss von zumindest einer Störung minimiert wird.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

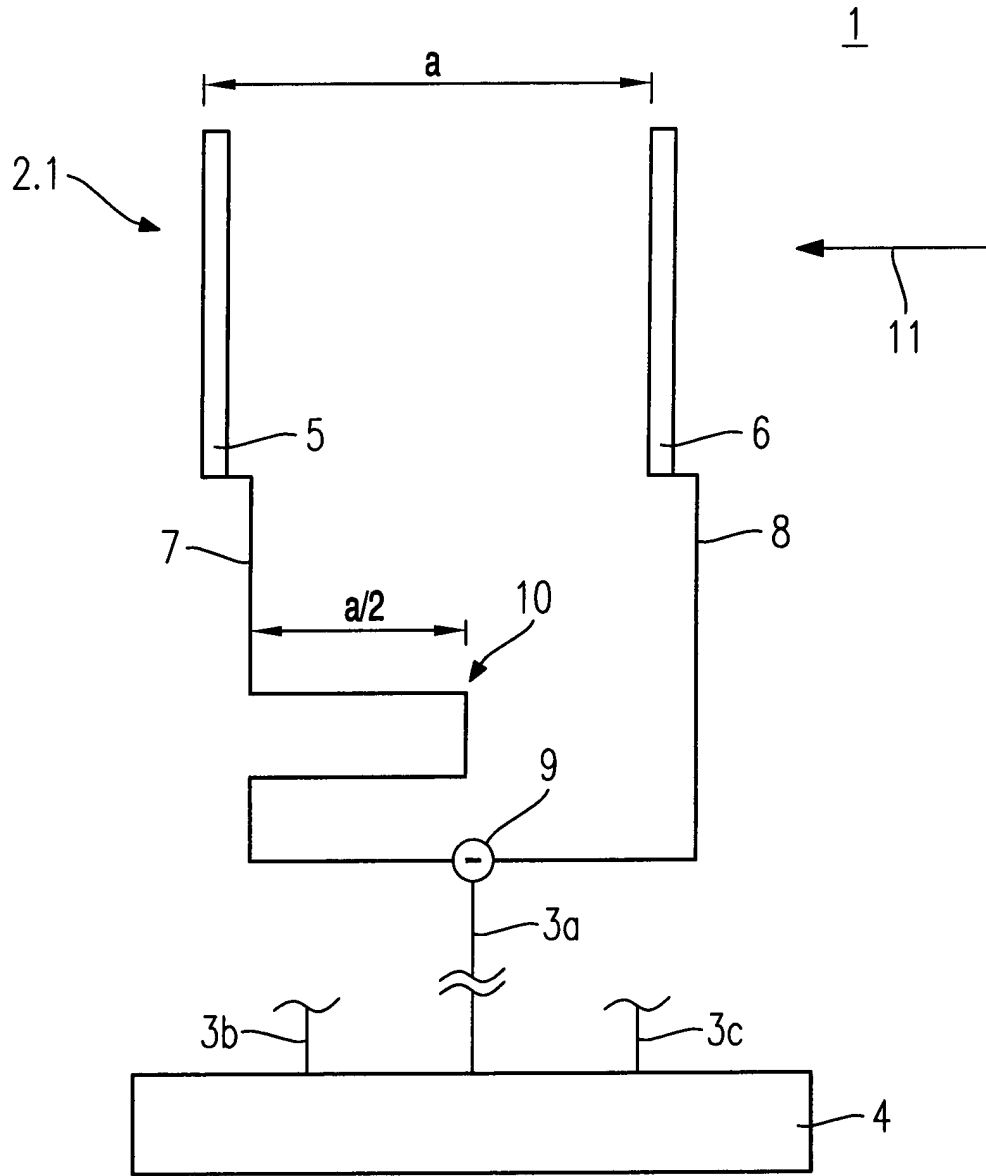


Fig. 1

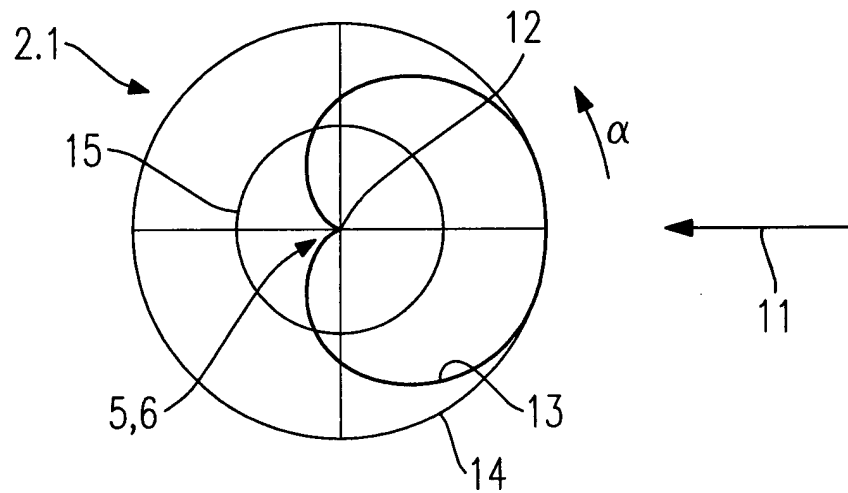


Fig. 2

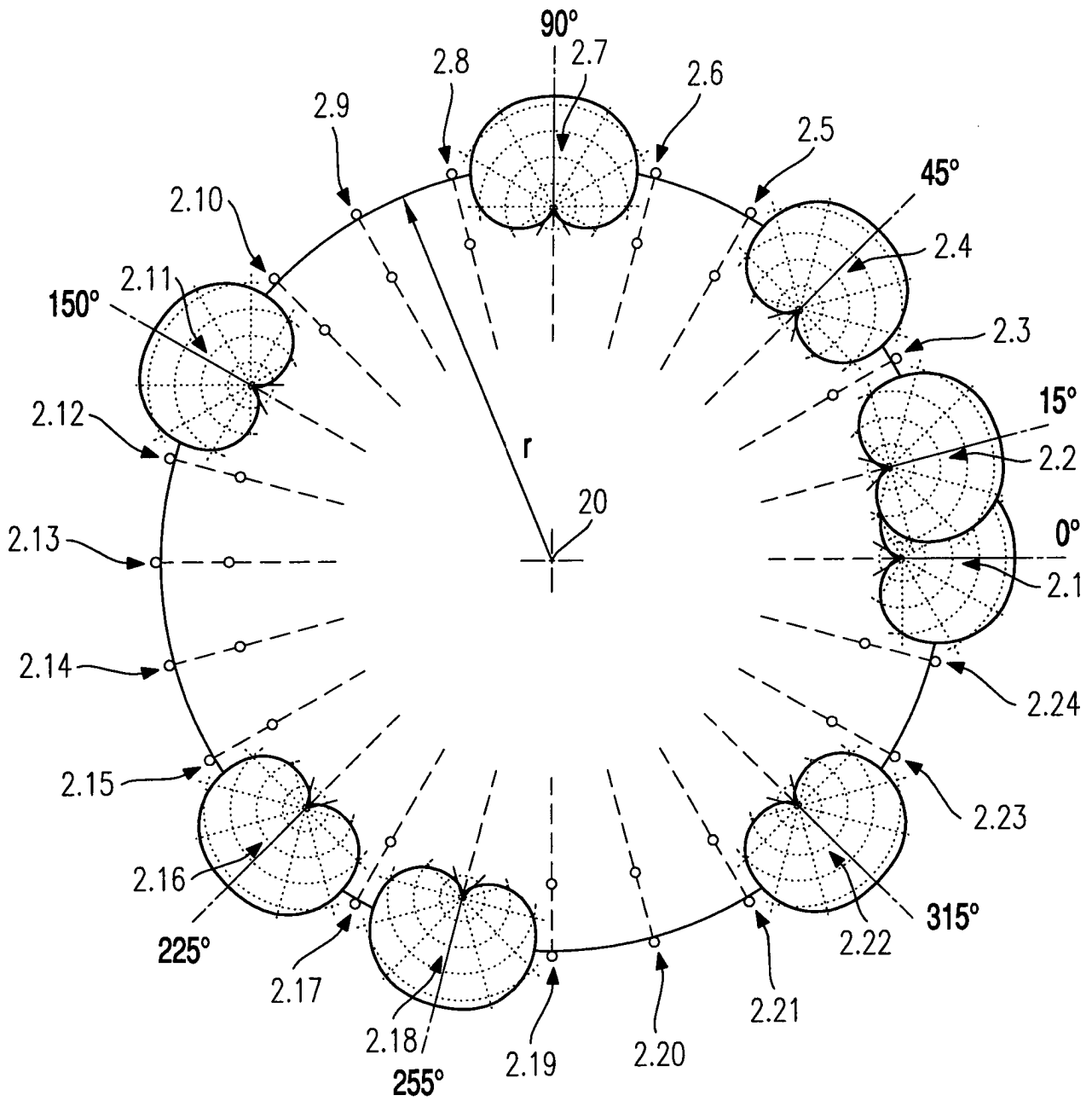


Fig. 3

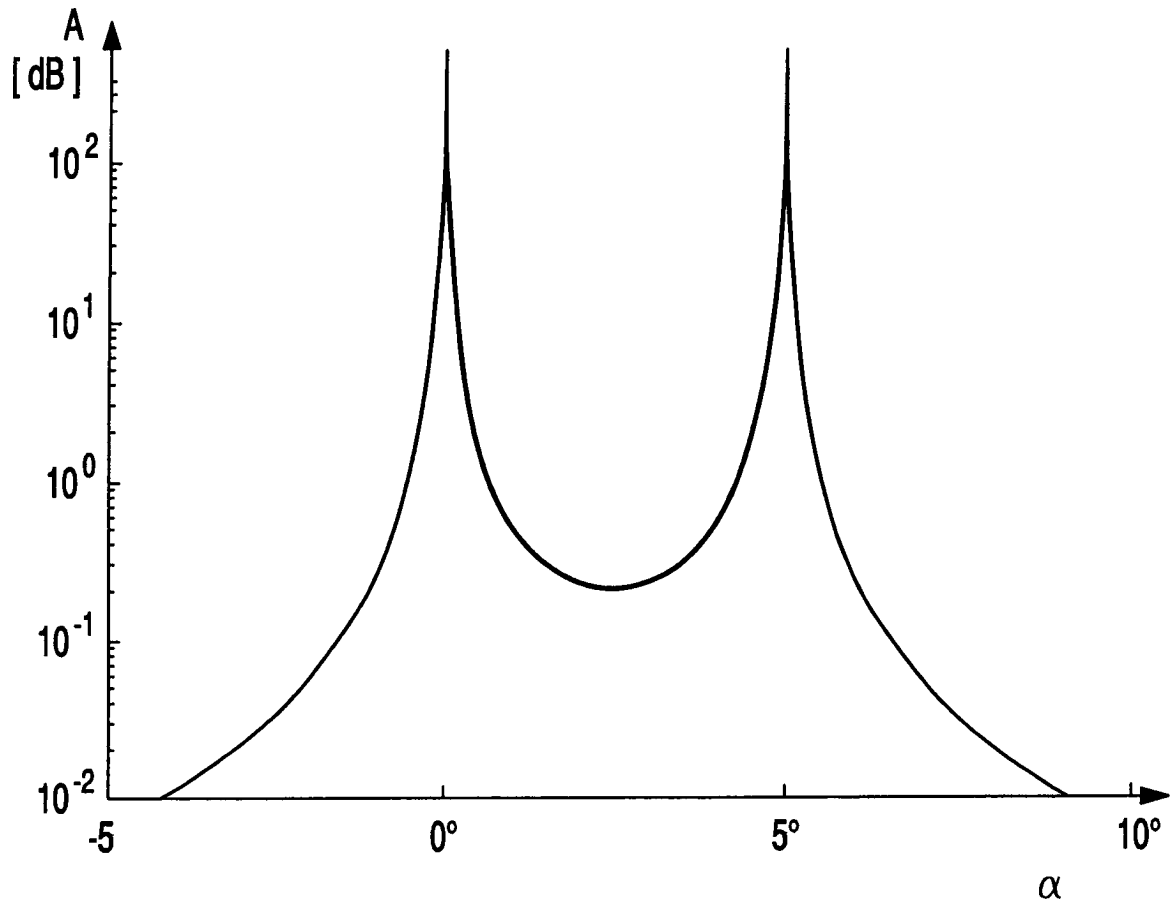


Fig. 4