

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4725879号  
(P4725879)

(45) 発行日 平成23年7月13日(2011.7.13)

(24) 登録日 平成23年4月22日(2011.4.22)

(51) Int.Cl. F I  
**G O I S 3/74 (2006.01)** G O I S 3/74

請求項の数 2 (全 17 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2004-259836 (P2004-259836)</p> <p>(22) 出願日 平成16年9月7日(2004.9.7)</p> <p>(65) 公開番号 特開2006-78221 (P2006-78221A)</p> <p>(43) 公開日 平成18年3月23日(2006.3.23)</p> <p>審査請求日 平成19年2月21日(2007.2.21)</p> <p>(出願人による申告)平成16年度独立行政法人情報通信研究機構、研究テーマ「自律分散型無線ネットワークの研究開発」に関する委託研究、産業活力再生特別措置法第30条の適用を受ける特許出願</p>	<p>(73) 特許権者 393031586 株式会社国際電気通信基礎技術研究所 京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2</p> <p>(74) 代理人 100112715 弁理士 松山 隆夫</p> <p>(72) 発明者 エディ タユフェール 京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2 株式会社国際電気通信基礎技術研究所内</p> <p>(72) 発明者 ミカエル ペンコレ 京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2 株式会社国際電気通信基礎技術研究所内</p> <p>(72) 発明者 青野 智之 京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2 株式会社国際電気通信基礎技術研究所内</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p>
--	---

(54) 【発明の名称】 到来方向推定装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

L (Lは、正の整数)個のコヒーレント波の到来方向を推定する到来方向推定装置であって、

1本の給電素子と前記給電素子の周囲に円形配列されたM (Mは、 $M + 1 \leq 2L$ を満たす整数)本の無給電素子とからなるM + 1本のアンテナ素子を含むアレーアンテナと、

前記M本の無給電素子に装荷された可変容量素子の少なくとも1つの容量を変化させて前記アレーアンテナの指向性を切替える指向性切替手段と、

前記アレーアンテナの指向性が複数の指向性に切替えられたときに前記アレーアンテナが受信する受信信号に基づいて、前記M + 1本のアンテナ素子が円形配列されたときの第1の相関行列を演算し、その演算した第1の相関行列の要素を変換行列により再配列して前記M + 1本のアンテナ素子が直線配列されたときの第2の相関行列を演算し、その演算した第2の相関行列に順方向/逆方向平均法を適用して前記L個のコヒーレント波の相関を示す第3の相関行列を演算し、その演算した第3の相関行列を前記M + 1本のアンテナ素子が前記円形配列されたときの平均相関行列に変換し、その変換した平均相関行列に基づいて前記アレーアンテナを複数のサブアレーに分離したときの前記複数のサブアレー間の位相差を演算して前記L個のコヒーレント波の到来方向を推定する方向推定手段とを備える到来方向推定装置。

【請求項2】

前記方向推定手段は、前記第3の相関行列の要素を前記変換行列を用いて前記M + 1本

のアンテナ素子が前記円形配列されたときの配列に変換することによって前記第3の相関行列を前記平均相関行列に変換する、請求項1に記載の到来方向推定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、コヒーレント波の到来方向を推定する到来方向推定装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

非特許文献1は、電氣的に指向性を切換可能なアレーアンテナを用いて3個のコヒーレント波の到来方向を推定する到来方向推定方法を開示する。アレーアンテナは、1本の給電素子と、6本の無給電素子とからなり、6本の無給電素子は、給電素子の回りに円形配列される。より具体的には、6本の無給電素子は、給電素子を中心にして正六角形に配置される。また、6本の無給電素子には、可変容量素子であるバラクタダイオードが装荷されており、バラクタダイオードの容量を変えることによってアレーアンテナの指向性が切換えられる。

【0003】

非特許文献1に開示された到来方向推定方法は、空間平均法 (SSP: Spatial Smoothing Preprocessing) と、MUSIC法 (Multiple Signal Classification) とを組み合わせた方法である。

【0004】

すなわち、この到来方向推定方法は、指向性を切換えながらアレーアンテナによって受信された受信信号に基づいて、到来する複数のコヒーレント波間の相関を示す相関行列を空間平均法を施して演算し、その演算した相関行列に固有値分解を施して到来方向を推定する。

【0005】

具体的には、次の方法によって相関行列が演算される。

【0006】

アレーアンテナの1本の給電素子と正六角形に配置された6本の無給電素子とからなる7本のアンテナ素子を平行移動可能な菱形からなる複数のサブアレーに分割する。アレーアンテナの1本の給電素子と正六角形に配置された6本の無給電素子とからなる7本のアンテナ素子においては、平行移動可能な菱形のサブアレーは、3対(3つの方向の各々において2個)形成される。

【0007】

そして、各方向において菱形のサブアレーを順方向に平行移動したときの順方向部分相関行列と、菱形のサブアレーを逆方向に平行移動したときの逆方向部分相関行列とを演算し、さらに、順方向部分相関行列と逆方向部分相関行列との平均を演算して各方向における部分相関行列を演算する。その結果、3つの方向に対して3つの部分相関行列が演算される。

【0008】

その後、3つの部分相関行列の各々に対して固有値分解を施して3つのMUSICスペクトラムを演算し、その演算した3つのMUSICスペクトラムに平均化処理を施して3つのMUSICスペクトラムを合成する。そして、この合成したMUSICスペクトラムから到来方向を推定する。

【0009】

また、6本の無給電素子が1本の給電素子の周囲に円形配列されたアレーアンテナにESPRIT (Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques) 法を適用して到来波の到来方向を推定する方法も知られている(非特許文献2)。

【非特許文献1】平田 明史、タユフェールエディ、青野 智之、山田 寛喜、大平 孝

10

20

30

40

50

、「エスパアンテナを用いたリアクタンスドメイン MUSIC 法によるコヒーレント 2 波の到来方向推定実験」, 信学技報, AP2003-24, pp. 59-64, May 2003.

【非特許文献 2】E. Chu, E. Taillefer, T. Ohira, "Direction-of-Arrival Estimation with a 7-Element Regular-Hexagonal Shaped ESPAR Antenna Employing the ESPRIT Algorithm", IEICE Technical report A.P2003-119, pp. 19-24, Aug. 2003.

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

しかし、非特許文献 2 に記載された到来方向推定方法では、6 本の無給電素子が給電素子の周囲に円形配列されているため、順方向 / 逆方向平均法を適用してコヒーレント波の到来方向を推定することが困難であった。

【0011】

そこで、この発明は、かかる問題を解決するためになされたものであり、その目的は、アンテナ素子が円形配列されている場合にも順方向 / 逆方向平均法を適用してコヒーレント波の到来方向を推定可能な到来方向推定装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0012】

この発明によれば、 $L$  ( $L$  は、正の整数) 個のコヒーレント波の到来方向を推定する到来方向推定装置であって、アレーアンテナと、指向性切換手段と、方向推定手段とを備える。アレーアンテナは、1 本の給電素子と給電素子の周囲に円形配列された  $M$  ( $M$  は、 $M + 1 \leq L$  を満たす整数) 本の無給電素子とからなる  $M + 1$  本のアンテナ素子を含む。指向性切換手段は、 $M$  本の無給電素子に装荷された可変容量素子の少なくとも 1 つの容量を変化させてアレーアンテナの指向性を切換える。方向推定手段は、アレーアンテナの指向性が複数の指向性に切換えられたときにアレーアンテナが受信する受信信号に基づいて、 $M + 1$  本のアンテナ素子を直線配列に変換し、かつ、順方向 / 逆方向平均法を適用して  $L$  個のコヒーレント波の相関を示す第 1 の相関行列を演算し、その演算した第 1 の相関行列を  $M + 1$  本のアンテナ素子が円形配列されたときの平均相関行列に変換し、その変換した平均相関行列に基づいてアレーアンテナを複数のサブアレーに分離したときの複数のサブアレー間の位相差を演算して  $L$  個のコヒーレント波の到来方向を推定する。

【0013】

好ましくは、方向推定手段は、受信信号に基づいて  $M + 1$  本のアンテナ素子を直線配列に変換したときの第 2 の相関行列を演算し、その演算した第 2 の相関行列に順方向 / 逆方向平均法を適用して第 1 の相関行列を演算する。

【0014】

好ましくは、方向推定手段は、受信信号に基づいて  $M + 1$  本のアンテナ素子が円形配列されたときの第 3 の相関行列を演算し、その演算した第 3 の相関行列の要素を変換行列により再配列して第 2 の相関行列を演算する。

【0015】

好ましくは、方向推定手段は、第 1 の相関行列の要素を変換行列を用いて  $M + 1$  本のアンテナ素子が円形配列されたときの配列に変換することによって第 1 の相関行列を平均相関行列に変換する。

【発明の効果】

【0016】

この発明による到来方向推定装置においては、 $M + 1$  本のアンテナ素子が円形配列されたアレーアンテナは、その指向性が複数の指向性に切換えられ、 $L$  個のコヒーレント波を受信する。そして、方向推定手段は、アレーアンテナが受信した受信信号に基づいて、円形配列された  $M + 1$  本のアンテナ素子を直線配列に変換した状態で順方向 / 逆方向平均法を適用して  $L$  個のコヒーレント波の相関を示す第 1 の相関行列を演算するとともに、その演算した第 1 の相関行列を  $M + 1$  本のアンテナ素子が円形配列されたときの平均相関行列

10

20

30

40

50

に変換し、その変換した平均相関行列に E S P R I T 法を適用して L 個のコヒーレント波の到来方向を推定する。

【 0 0 1 7 】

したがって、この発明によれば、アレーアンテナの複数のアンテナ素子が円形配列されていても、順方向 / 逆方向平均法を適用して L 個のコヒーレント波の到来方向を推定可能である。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 1 8 】

本発明の実施の形態について図面を参照しながら詳細に説明する。なお、図中同一または相当部分には同一符号を付してその説明は繰返さない。

10

【 0 0 1 9 】

図 1 は、この発明の実施の形態による到来方向推定装置の概略図である。図 1 を参照して、この発明の実施の形態による到来方向推定装置 1 0 0 は、アレーアンテナ 1 0 と、指向性切換手段 2 0 と、方向推定手段 3 0 とを備える。

【 0 0 2 0 】

アレーアンテナ 1 0 は、アンテナ素子 1 ~ 7 と、バラクタダイオード 1 1 ~ 1 6 とを含む。アンテナ素子 1 ~ 7 は、x 軸、y 軸および z 軸からなる x y z 直交座標における z 軸に沿って x - y 平面（所定平面）に配置される。

【 0 0 2 1 】

図 2 は、図 1 に示す x - y 平面におけるアンテナ素子 1 ~ 7 の平面配置図である。図 2 を参照して、アンテナ素子 1 ~ 7 は、アンテナ素子 1 を中心にして円形に配置される。そして、アンテナ素子 2 ~ 7 は、等間隔に配置される。

20

【 0 0 2 2 】

再び、図 1 を参照して、アンテナ素子 1 は、給電素子であり、アンテナ素子 2 ~ 7 は、無給電素子である。バラクタダイオード 1 1 ~ 1 6 は、それぞれ、アンテナ素子 2 ~ 7 と接地ノードとの間に接続される。これによって、無給電素子であるアンテナ素子 2 ~ 7 には、可変容量素子であるバラクタダイオード 1 1 ~ 1 6 が装荷される。

【 0 0 2 3 】

このように、アレーアンテナ 1 0 は、1 本の給電素子（アンテナ素子 1 ）と、6 本の無給電素子（アンテナ素子 2 ~ 7 ）とからなる 7 本のアンテナ素子が給電素子を中心にして円形に配列された構造からなる。

30

【 0 0 2 4 】

指向性切換手段 2 0 は、バラクタダイオード 1 1 ~ 1 6 に制御電圧セット C V L 1 ~ C V L 6 を供給し、アレーアンテナ 1 0 の指向性を切換える。バラクタダイオード 1 1 ~ 1 6 は、それぞれ、制御電圧 C V L 1 ~ C V L 6 によって容量（リアクタンス値）が変化する。指向性切換手段 2 0 は、各バラクタダイオード 1 1 ~ 1 6 におけるリアクタンス値が “ h i ”（最大値）または “ l o ”（最小値）になるように各制御電圧 C V L 1 ~ C V L 6 の電圧値を決定し、制御電圧セット C V L 1 ~ C V L 6 をバラクタダイオード 1 1 ~ 1 6 へ供給する。

【 0 0 2 5 】

40

この場合、指向性切換手段 2 0 は、バラクタダイオード 1 1 ~ 1 6 におけるリアクタンス値  $x_{m1} \sim x_{m6}$  のセット  $x_m$  が表 1 に示すように変化するように制御電圧セット C V L 1 ~ C V L 6 をバラクタダイオード 1 1 ~ 1 6 へ供給する。

【 0 0 2 6 】

【表 1】

m	ビームパターン	xm1	xm2	xm3	xm4	xm5	xm6
0	オムニパターン	hi	hi	hi	hi	hi	hi
1	0度方向	lo	hi	hi	hi	hi	hi
2	60度方向	hi	lo	hi	hi	hi	hi
3	120度方向	hi	hi	lo	hi	hi	hi
4	180度方向	hi	hi	hi	lo	hi	hi
5	240度方向	hi	hi	hi	hi	lo	hi
6	300度方向	hi	hi	hi	hi	hi	lo

10

## 【0027】

リアクタンス値  $x_{m1} \sim x_{m6}$  の全てが “hi” であるとき ( $m = 0$ )、アレーアンテナ 10 は、全方位に感度があるオムニパターンに近いパターンからなるビームパターン B P M 0 を有する。また、リアクタンス値  $x_{m1}$  が “lo” であり、リアクタンス値  $x_{m2} \sim x_{m6}$  が “hi” であるとき ( $m = 1$ )、アレーアンテナ 10 は、0度の方向に指向性があるビームパターン B P M 1 を有する。なお、給電素子 1 から無給電素子 2 への方向を 0度の方向とする (図 2 参照)。

20

## 【0028】

さらに、リアクタンス値  $x_{m2}$  が “lo” であり、リアクタンス値  $x_{m1}, x_{m3} \sim x_{m6}$  が “hi” であるとき ( $m = 2$ )、アレーアンテナ 10 は、60度の方向に指向性があるビームパターン B P M 2 を有する。

## 【0029】

以下、同様にして、各リアクタンス値  $x_{m3} \sim x_{m6}$  が “lo” であり、それ以外のリアクタンス値が “hi” であるとき ( $m = 3 \sim 6$ )、アレーアンテナ 10 は、120度、180度、240度および300度の方向に指向性があるビームパターン B P M 3 ~ B P M 6 を有する (図 2 参照)。

## 【0030】

このように、指向性切換手段 20 は、無給電素子であるアンテナ素子 2 ~ 7 に装荷されたバラクタダイオード 11 ~ 16 のリアクタンス値  $x_{m1} \sim x_{m6}$  を変えることによってアレーアンテナ 10 の指向性を切換える。

30

## 【0031】

方向推定手段 30 は、アレーアンテナ 10 の給電素子であるアンテナ素子 1 と接続され、アレーアンテナ 10 のビームパターンが図 2 に示すビームパターン B P M 1 ~ B P M 6 に切換えられたときの受信信号  $y_m(t)$  をアンテナ素子 1 から受ける。そして、方向推定手段 30 は、受信信号  $y_m(t)$  に基づいて、後述する方法によってアレーアンテナ 10 に到来するコヒーレント波の到来方向を推定する。

## 【0032】

この発明においては、図 1 に示す  $x - y$  平面内における方角を示す方位角を有するコヒーレント波を到来方向推定の対象とする。

40

## 【0033】

$L$  ( $L$  は正の整数) 個のコヒーレント波がアレーアンテナ 10 に到来している環境を考える。 $L$  個のコヒーレント波がアレーアンテナ 10 へ到来する場合、リアクタンス値セット  $x_m (= x_{m1} \sim x_{m6})$  で得られる受信信号ベクトル  $\langle y \rangle$  は、次式によって表わされる。

## 【0034】

【数 1】

$$\begin{aligned}
 y &= [y_1, y_2, \dots, y_{M+1}]^T \\
 &= \mathbf{W}^T \mathbf{A} \mathbf{u}(t) + \mathbf{n}(t) \\
 \text{但し } \mathbf{W} &= [\mathbf{w}_0, \mathbf{w}_1, \dots, \mathbf{w}_M] \\
 \mathbf{A} &= [\mathbf{a}(\phi_1), \dots, \mathbf{a}(\phi_L)] \\
 \mathbf{a}(\phi_i) &= \left[ 1, \exp\left(j\frac{\pi}{2} \cos(\phi - \phi_1)\right), \dots, \exp\left(j\frac{\pi}{2} \cos(\phi - \phi_M)\right) \right]^T \\
 \mathbf{u}(t) &= [u_1(t), \dots, u_L(t)]^T
 \end{aligned}
 \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} y \\ &= \mathbf{W}^T \mathbf{A} \mathbf{u}(t) + \mathbf{n}(t) \\ \text{但し } \mathbf{W} \\ \mathbf{A} \\ \mathbf{a}(\phi_i) \\ \mathbf{u}(t) \end{aligned}} \right\} \dots(1)$$

10

【0035】

ただし、ベクトル  $\langle \mathbf{W} \rangle$  は、等価ウエイト行列であり、ベクトル  $\langle \mathbf{A} \rangle$  は、ステアリングベクトルであり、ベクトル  $\langle \mathbf{u}(t) \rangle$  は、到来信号ベクトルであり、ベクトル  $\langle \mathbf{n}(t) \rangle$  は、熱雑音である。また、 $T$  は、転置を表わす。なお、式(1)において、 $\phi_1, \dots, \phi_L$  は、給電素子 1 から無給電素子 2 への方向を 0 度とする  $L$  個のコヒーレント波の到来方向であり、 $\phi_1, \dots, \phi_M$  は、給電素子 1 から無給電素子 2 への方向を 0 度とする  $M$  本の無給電素子の方位角である。

20

【0036】

なお、この明細書においては、表記  $\langle \mathbf{A} \rangle$  は、行列  $\mathbf{A}$  またはベクトル  $\mathbf{A}$  を意味する。したがって、表記  $\langle y \rangle$  は、式(1)における行列  $y$  を表わす。

【0037】

そして、式(1)における等価ウエイト行列  $\langle \mathbf{W} \rangle$  は、次式によって表される。

【0038】

【数 2】

$$\begin{aligned}
 \mathbf{W} &= 2z_s (\mathbf{Z} + \text{diag}[z_s, jx_{m1}, \dots, jx_{mM}]) \mathbf{u}_0 \\
 \text{但し } \mathbf{u}_0 &= [1, 0, \dots, 0]^T
 \end{aligned}
 \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} \mathbf{W} \\ \text{但し } \mathbf{u}_0 \end{aligned}} \right\} \dots(2)$$

30

【0039】

式(2)において、行列  $\langle \mathbf{Z} \rangle$  は、素子間結合を含めたインピーダンス行列であり、 $z_s$  は、受信機、即ち、到来方向推定装置 100 の内部インピーダンスであり、ベクトル  $\langle \mathbf{u}_0 \rangle$  は、 $M+1$  個の要素からなる単位ベクトルである。

【0040】

方向推定手段 30 は、指向性切換手段 20 によってアレーアンテナ 10 の指向性が順次切換えられたとき、式(1)に示す受信信号ベクトル  $\langle y \rangle$  をアレーアンテナ 10 のアンテナ素子 1 から受信し、その受信した受信信号ベクトル  $\langle y \rangle$  に基づいて、後述する方法によって  $L$  個のコヒーレント波の到来方向を推定する。

40

【0041】

方向推定手段 30 における  $L$  個のコヒーレント波の到来方向の推定方法について説明する。

【0042】

方向推定手段 30 は、受信信号ベクトル  $\langle y \rangle$  をアレーアンテナ 10 の給電素子 5 から受けると、受信信号ベクトル  $\langle y \rangle$  に基づいて、次式によって相関行列  $\langle R_{yy} \rangle$  を演算

50

する。

【 0 0 4 3 】

【 数 3 】

$$\mathbf{R}_{yy} = E[\mathbf{y}\mathbf{y}^H] \quad \dots(3)$$

【 0 0 4 4 】

なお、Hは、エルミート転置を表す。

【 0 0 4 5 】

その後、方向推定手段 30 は、相関行列  $\langle \mathbf{R}_{yy} \rangle$  に固有値分解を施して固有値  $\lambda_i$  ( $i = 1 \sim M+1$ ) を演算するとともに、 $(M+1)$  行  $\times$   $(M+1)$  列の単位行列  $\langle \mathbf{I}_{M+1} \rangle$  を次式によって生成する。 10

【 0 0 4 6 】

【 数 4 】

$$\mathbf{I}_{M+1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \ddots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & \ddots & \ddots & \ddots & \dots & \vdots \\ \vdots & \dots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \dots & \dots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & \dots & \dots & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \dots(4)$$

20

【 0 0 4 7 】

そして、方向推定手段 30 は、固有値  $\lambda_i$  および単位行列  $\langle \mathbf{I}_{M+1} \rangle$  を用いてノイズ共分散行列  $\langle \mathbf{R}_{nn} \rangle$  を次式によって演算する。

【 0 0 4 8 】

【 数 5 】

$$\mathbf{R}_{nn} = \frac{1}{(M+1)-L} \sum_{i=L+1}^{M+1} \lambda_i \mathbf{I}_{M+1} \quad \dots(5)$$

30

【 0 0 4 9 】

その後、方向推定手段 30 は、式 (2) によって等価ウエイト行列  $\langle \mathbf{W} \rangle$  を演算し、その演算した等価ウエイト行列  $\langle \mathbf{W} \rangle$  と、式 (3) によって演算した相関行列  $\langle \mathbf{R}_{yy} \rangle$  と、式 (5) によって演算したノイズ共分散行列  $\langle \mathbf{R}_{nn} \rangle$  とを次式に代入して相関行列  $\langle \mathbf{R}_{xx} \rangle$  を演算する。

【 0 0 5 0 】

【 数 6 】

$$\mathbf{R}_{xx} = (\mathbf{W}^T)^{-1} (\mathbf{R}_{yy} - \mathbf{R}_{nn}) (\mathbf{W}^*)^{-1} \quad \dots(6)$$

40

【 0 0 5 1 】

なお、式 (6) における " \* " は、複素共役を表す。

【 0 0 5 2 】

そして、方向推定手段 30 は、変換行列  $\langle \mathbf{T} \rangle$  を次式によって生成する。

【 0 0 5 3 】

【数 7】

$$\mathbf{T} = [\mathbf{e}_4 \ \mathbf{e}_1 \ \mathbf{e}_2 \ \mathbf{e}_5 \ \mathbf{e}_7 \ \mathbf{e}_6 \ \mathbf{e}_3] \quad \dots(7)$$

$$\text{但し、} \mathbf{e}_i = [\mathbf{c}_1, \dots, \mathbf{c}_j, \dots, \mathbf{c}_7]^T$$

$$i=j \text{ のとき } \mathbf{c}_j = 1$$

$$i \neq j \text{ のとき } \mathbf{c}_j = 0$$

【0054】

10

そうすると、方向推定手段30は、式(6)によって演算した相関行列  $\langle \mathbf{R}_{xx} \rangle$  と、式(7)によって生成した変換行列  $\langle \mathbf{T} \rangle$  とを次式に代入して相関行列  $\langle \mathbf{R}_{xx} \rangle$  の要素を再配列した相関行列  $\langle \mathbf{R}^{(r)}_{xx} \rangle$  を演算する。

【0055】

【数 8】

$$\mathbf{R}_{xx}^{(r)} = \mathbf{T} \mathbf{R}_{xx} \mathbf{T}^T \quad \dots(8)$$

【0056】

その後、方向推定手段30は、次式によって  $(M+1)$  行  $\times$   $(M+1)$  列の交換行列  $\langle \mathbf{J} \rangle$  を生成する。

20

【0057】

【数 9】

$$\mathbf{J} = \begin{bmatrix} 0 & \dots & \dots & \dots & 0 & 1 \\ 0 & \dots & \dots & \dots & 1 & 0 \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \vdots \\ \vdots & \dots & \dots & \dots & \dots & \vdots \\ 0 & 1 & \dots & \dots & \dots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad \dots(9)$$

30

【0058】

そして、方向推定手段30は、式(8)によって演算した相関行列  $\langle \mathbf{R}^{(r)}_{xx} \rangle$  と、式(9)によって生成した交換行列  $\langle \mathbf{J} \rangle$  とを次式に代入して相関行列  $\langle \mathbf{R}^{(FBA)}_{xx} \rangle$  を演算する。

【0059】

【数 10】

$$\mathbf{R}_{xx}^{(FBA)} = \frac{1}{2} \mathbf{T}^T (\mathbf{R}_{xx}^{(r)} + \mathbf{J} \mathbf{R}_{xx}^{(r)*} \mathbf{J}) \mathbf{T} \quad \dots(10)$$

40

【0060】

そうすると、方向推定手段30は、相関行列  $\langle \mathbf{R}^{(FBA)}_{xx} \rangle$  に ESPRIT法を適用して  $L$  個のコヒーレント波の到来方向を推定する。

【0061】

即ち、方向推定手段30は、相関行列  $\langle \mathbf{R}^{(FBA)}_{xx} \rangle$  の固有値  $e_1, e_2, \dots, e_L, \dots, e_{M+1}$  を演算し、その演算した固有値  $e_1, e_2, \dots, e_L, \dots, e_{M+1}$  から到来波数  $L$  を求める。そして、方向推定手段30は、固有値  $e_1, e_2, \dots, e_L, \dots, e_{M+1}$  のうち、到来波数  $L$  に対応する固有値を大きい順に選択して  $[e_1, e_2, \dots, e_L]$  からなる信号部分空間  $E_s$  を演算する。そして

50

、方向推定手段30は、信号部分空間 $E_s$ に基づいて次式により行列 $\langle E_x \rangle$ 、 $\langle E_y \rangle$ を作る。

【0062】

【数11】

$$\begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 \\ J_2 \end{bmatrix} \cdot E_s \quad \dots(11)$$

【0063】

式(11)において、行列 $\langle J_1 \rangle$ および $\langle J_2 \rangle$ は、選択行列である。

10

【0064】

そして、方向推定手段30は、行列 $\langle E_x \rangle$ 、 $\langle E_y \rangle$ を次式へ代入して行列 $\langle \quad \rangle$ を演算する。

【0065】

【数12】

$$E_y = \psi E_x \quad \dots(12)$$

【0066】

そうすると、方向推定手段30は、行列 $\langle \quad \rangle$ に固有値分解を施して固有値 $\phi_k$ を演算し、その演算した固有値 $\phi_k$ を次式へ代入して到来角 $\theta_k$ を求める。

20

【0067】

【数13】

$$\left. \begin{aligned} \theta_k &= \sin^{-1} \left( \frac{c}{\omega_0 \Delta} \text{angle}(\phi_k) \right) + \theta_{\text{ref}} \\ \text{但し、} \text{angle}(\phi_k) &= \tan^{-1} \left( \frac{\text{Im}(\phi_k)}{\text{Re}(\phi_k)} \right) \end{aligned} \right\} \dots(13)$$

30

【0068】

式(13)において、 $\theta_{\text{ref}} = \quad / 2$ であり、 $\omega_0 = 2\pi f$  ( $f$ は、例えば、 $f = 2.4 \text{ GHz}$ である)であり、 $c = 3 \times 10^8 \text{ (m/s)}$ であり、 $\Delta = \quad / 4$  (7素子の電子制御誘導器アレーアンテナ装置の場合であり、 $\Delta = c/f$ である)であり、 $\text{Re}(\phi_k)$ は、固有値 $\phi_k$ の実部であり、 $\text{Im}(\phi_k)$ は、固有値 $\phi_k$ の虚部である。

【0069】

方向推定手段30は、変換行列 $\langle T \rangle$ を用いて式(8)によって相関行列 $\langle R_{xx} \rangle$ を再配列し、その再配列した相関行列 $\langle R^{(r)}_{xx} \rangle$ を式(10)に代入して順方向/逆方向平均法によって相関行列を演算する。

【0070】

40

このように、変換行列 $\langle T \rangle$ を用いて相関行列 $\langle R_{xx} \rangle$ を再配列するのは、次の理由による。アレーアンテナ10のアンテナ素子2~7は、円形配列されているため、このままでは、順方向/逆方向平均法を適用して相関行列を演算できない。したがって、アンテナ素子2~7の配列を円形配列から直線配列に変換して順方向/逆方向平均法を適用できるようにするために、変換行列 $\langle T \rangle$ を用いて相関行列 $\langle R_{xx} \rangle$ を再配列するのである。

【0071】

図3は、アレーアンテナ10の複数のアンテナ素子1~7の配列を円形配列から直線配列に変換する概念を説明するための図である。また、図4は、複数のアンテナ素子1~7を直線配列した図である。

50

## 【0072】

変換行列  $\langle T \rangle$  は、上述したように、 $[e_4 e_1 e_2 e_5 e_7 e_6 e_3]$  からなるので、円形に配列されたアンテナ素子 1 ~ 7 は、アンテナ素子 2、アンテナ素子 3、アンテナ素子 7、アンテナ素子 1、アンテナ素子 4、アンテナ素子 6 およびアンテナ素子 5 の順に直線状に配列されるように、直線配列に変換される（図 4 参照）。

## 【0073】

これは、図 3 に示すように、最初にアンテナ素子 2 を選択し、その次に、アンテナ素子 3 を選択し、その後、順次、アンテナ素子 7、アンテナ素子 1、アンテナ素子 4、アンテナ素子 6 およびアンテナ素子 5 を選択して直線状に配列することに相当する。

## 【0074】

そして、円形に配列されたアンテナ素子 1 ~ 7 を直線配列に変換することによって順方向 / 逆方向平均法を適用できるようになり、式 (10) の  $(\langle R^{(r)} \rangle_{x x} + \langle J \rangle \cdot \langle R^{(r)*} \rangle_{x x} + \langle J \rangle) / 2$  によって順方向 / 逆方向平均法を適用して相関行列が演算される。

## 【0075】

このように、この発明においては、円形配列されたアンテナ素子 1 ~ 7 を直線配列に変換して順方向 / 逆方向平均法を適用し、相関行列を演算することを特徴とする。そして、順方向 / 逆方向平均法を適用して相関行列を演算することによって縮退した L 個のコヒーレント波の分離が可能となり、即ち、相関行列のランクがフルランクに回復し、L 個のコヒーレント波の到来方向を推定できる。

## 【0076】

順方向 / 逆方向平均法を適用して相関行列  $(\langle R^{(r)} \rangle_{x x} + \langle J \rangle \cdot \langle R^{(r)*} \rangle_{x x} + \langle J \rangle) / 2$  を演算すると、直線配列されたアンテナ素子 1 ~ 7 を用いた場合の相関行列を円形配列されたアンテナ素子 1 ~ 7 を用いた場合の相関行列に変換する必要があるため、相関行列  $(\langle R^{(r)} \rangle_{x x} + \langle J \rangle \cdot \langle R^{(r)*} \rangle_{x x} + \langle J \rangle) / 2$  に変換行列  $\langle T \rangle$  および変換行列  $\langle T \rangle$  の転置  $(\langle T^T \rangle)$  を両側から乗算して円形配列されたアンテナ素子 1 ~ 7 を用いた場合の相関行列  $\langle R^{(FBA)} \rangle_{x x}$  を演算する（式 (10) 参照）。

## 【0077】

したがって、式 (8) および (10) を用いることによって、円形配列されたアンテナ素子 1 ~ 7 を用いた場合においても、順方向 / 逆方向平均法を適用して相関行列を演算できる。

## 【0078】

図 5 は、L 個のコヒーレント波の到来方向を推定する動作を説明するためのフローチャートである。一連の動作が開始されると、方向推定手段 30 は、アレーアンテナ 10 のアンテナ素子数  $M + 1 = 7$  を設定し、角度  $\theta_k$  ( $k = 1 \sim L$ ) でアレーアンテナ 10 に到来するコヒーレント波の数 L を 3 以下に設定する（ステップ S1）。

## 【0079】

そして、方向推定手段 30 は、アレーアンテナ 10 の給電素子 1 から受信信号  $\langle y_1 \rangle$ 、 $\langle y_2 \rangle$ 、 $\dots$ 、 $\langle y_{M+1} \rangle$  を受け、その受けた受信信号  $\langle y_1 \rangle$ 、 $\langle y_2 \rangle$ 、 $\dots$ 、 $\langle y_{M+1} \rangle$  を式 (1) に代入して受信信号ベクトル  $\langle y \rangle$  を演算する（ステップ S2）。

## 【0080】

引き続き、方向推定手段 30 は、演算した受信信号ベクトル  $\langle y \rangle$  を式 (3) に代入して相関行列  $\langle R_{y y} \rangle$  を演算し（ステップ S3）、その演算した相関行列  $\langle R_{y y} \rangle$  に固有値分解を施して固有値  $\lambda_i$  を演算する（ステップ S4）。また、方向推定手段 30 は、式 (4) に示す  $(M + 1)$  行  $\times$   $(M + 1)$  列の単位行列  $\langle I_{M+1} \rangle$  を生成し（ステップ S5）、その生成した単位行列  $\langle I_{M+1} \rangle$  と、ステップ S4 において演算した固有値  $\lambda_i$  とを式 (5) に代入してノイズ共分散行列  $\langle R_{n n} \rangle$  を演算する（ステップ S6）。

## 【0081】

10

20

30

40

50

その後、方向推定手段30は、式(2)により等価ウエイト行列<W>を演算し(ステップS7)、その演算した等価ウエイト行列<W>、ステップS3において演算した相関行列<R<sub>y y</sub>>、およびステップS6において演算したノイズ共分散行列<R<sub>n n</sub>>を式(6)に代入して相関行列<R<sub>x x</sub>>を演算する(ステップS8)。

【0082】

なお、式(6)によって相関行列<R<sub>x x</sub>>を演算するのは、等価ウエイト行列<W>は、アンテナ素子1~7間の結合を含むため、そのままでは空間平均法を適用できないので、アンテナ素子1~7間の結合を打ち消して空間平均法を適用するためである。

【0083】

ステップS8の後、方向推定手段30は、式(7)により変換行列<T>を生成する(ステップS9)。アンテナ素子数が"7"である場合、変換行列<T>は、次式のようになる。

10

【0084】

【数14】

$$T = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \dots(14)$$

20

【0085】

そして、方向推定手段30は、生成した変換行列<T>と、ステップS8において演算した相関行列<R<sub>x x</sub>>とを式(8)に代入して相関行列<R<sub>x x</sub>>の要素を変換行列<T>によって再配列し、相関行列<R<sup>(r)</sup><sub>x x</sub>>を演算する(ステップS10)。これによって、順方向/逆方向平均法を適用して相関行列を演算できる。

30

【0086】

その後、方向推定手段30は、式(9)に示す(M+1)行×(M+1)列の交換行列<J>を生成し(ステップS11)、その生成した交換行列<J>と、ステップS10において演算した相関行列<R<sup>(r)</sup><sub>x x</sub>>とを式(10)に代入して相関行列<R<sup>(FBA)</sup><sub>x x</sub>>を演算する(ステップS12)。これによって、アンテナ素子1~7が円形配列されていても、順方向/逆方向平均法を適用した相関行列を演算できる。

【0087】

そうすると、方向推定手段30は、相関行列<R<sup>(FBA)</sup><sub>x x</sub>>にESPRIT法を適用して到来角<sub>k</sub>を推定する(ステップS13)。これによって、L(3)個のコヒーレント波の到来方向を推定する動作が終了する。

40

【0088】

図6は、図5に示すフローチャートのステップS13の詳細な動作を説明するためのフローチャートである。図5に示すステップS12の後、方向推定手段30は、相関行列<R<sup>(FBA)</sup><sub>x x</sub>>に固有値分解を施して固有値e<sub>1</sub>, e<sub>2</sub>, ..., e<sub>L</sub>, ..., e<sub>M+1</sub>を演算し、その演算した固有値e<sub>1</sub>, e<sub>2</sub>, ..., e<sub>L</sub>, ..., e<sub>M+1</sub>から到来波数Lを求める。そして、方向推定手段30は、固有値e<sub>1</sub>, e<sub>2</sub>, ..., e<sub>L</sub>, ..., e<sub>M+1</sub>のうち、到来波数Lに対応する固有値を大きい順に選択して[e<sub>1</sub>, e<sub>2</sub>, ..., e<sub>L</sub>]からなる信号部分空間E<sub>s</sub>を演算する(ステップS131)。

【0089】

その後、方向推定手段30は、信号部分空間E<sub>s</sub>に基づいて式(11)により行列<E

50

$\langle x \rangle$ ,  $\langle E_y \rangle$  を作る。即ち、方向推定手段 30 は、信号部分空間  $E_s$  を次の 2 つの式によってそれぞれ表される選択行列  $\langle J_1 \rangle$ ,  $\langle J_2 \rangle$  によりサブアレーに分離する (ステップ S132)。

【0090】

【数15】

$$J_1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \dots(15)$$

10

【0091】

【数16】

$$J_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad \dots(16)$$

20

【0092】

そして、方向推定手段 30 は、式 (11) により演算した行列  $\langle E_x \rangle$ ,  $\langle E_y \rangle$  を式 (12) に代入して行列  $\langle \dots \rangle$  を演算し (ステップ S133)、その演算した行列  $\langle \dots \rangle$  の固有値  $k$  を演算する (ステップ S134)。その後、方向推定手段 30 は、固有値  $k$  を式 (13) に代入して到来角  $k$  を演算し、その演算した到来角  $k$  を L 個のコヒーレント波の到来方向と推定する (ステップ S135)。これにより、L 個のコヒーレント波の到来方向を推定する動作は終了する。

【0093】

変換行列  $\langle T \rangle$  を用いて相関行列  $\langle R_{x \times x} \rangle$  を相関行列  $\langle R^{(r)}_{x \times x} \rangle$  に変換し (ステップ S10 参照)、相関行列  $\langle R^{(r)}_{x \times x} \rangle$  および交換行列  $\langle J \rangle$  (式 (9) 参照) により  $(\langle R^{(r)}_{x \times x} \rangle + \langle J \rangle \cdot \langle R^{(r)*}_{x \times x} \rangle \cdot \langle J \rangle) / 2$  を演算すること (ステップ S12 参照) は、アレーアンテナ 10 の指向性が複数の指向性に切換えられたときにアレーアンテナ 10 が受信する受信信号に基づいて、M 本のアンテナ素子を直線配列に変換し、かつ、順方向 / 逆方向平均法を適用して L 個のコヒーレント波の相関を示す相関行列を演算することに相当する。

30

【0094】

変換行列  $\langle T \rangle$  および相関行列  $\langle R_{x \times x} \rangle$  により相関行列  $\langle R^{(r)}_{x \times x} \rangle$  を演算することは、図 3 に示すように円形配列されたアンテナ素子 1 ~ 7 を図 4 に示すように直線配列に変換し、直線配列されたアンテナ素子 1 ~ 7 の指向性を複数の指向性に切換えて受信した受信信号ベクトルに基づいて、直線配列されたアンテナ素子 1 ~ 7 による L 個のコヒーレント波を受信するときの相関行列  $\langle R^{(r)}_{x \times x} \rangle$  を演算することに相当し、 $(\langle R^{(r)}_{x \times x} \rangle + \langle J \rangle \cdot \langle R^{(r)*}_{x \times x} \rangle \cdot \langle J \rangle) / 2$  を演算することは、順方向 / 逆方向平均法を適用して相関行列を演算することに相当するからである。

40

【0095】

また、 $(\langle R^{(r)}_{x \times x} \rangle + \langle J \rangle \cdot \langle R^{(r)*}_{x \times x} \rangle \cdot \langle J \rangle) / 2$  と変換行列  $\langle T \rangle$  とにより相関行列  $\langle R^{(FBA)}_{x \times x} \rangle$  を演算することは、演算した  $(\langle R^{(r)}_{x \times x} \rangle + \langle J \rangle \cdot \langle R^{(r)*}_{x \times x} \rangle \cdot \langle J \rangle) / 2$  を M 本のアンテナ素子が円形配列されたときの平均相関行列に変換することに相当する。

【0096】

50

アンテナ素子1～7の配列を円形配列から直線配列に変換し、直線配列されたアンテナ素子1～7によってL個のコヒーレント波を受信するときの相関行列 $\langle R^{(r)}_{x \times x} \rangle$ を演算するときは、相関行列 $\langle R_{x \times x} \rangle$ に左側から変換行列 $\langle T \rangle$ を乗算し、かつ、右側から変換行列 $\langle T \rangle$ の転置( $\langle T^T \rangle$ )を乗算するのに対し、相関行列 $\langle R^{(FBA)}_{x \times x} \rangle$ を演算するときは、相関行列 $\langle R^{(r)}_{x \times x} \rangle$ を演算する場合と逆に、( $\langle R^{(r)}_{x \times x} \rangle + \langle J \rangle \cdot \langle R^{(r)*}_{x \times x} \rangle \cdot \langle J \rangle$ ) / 2 に左側から変換行列 $\langle T \rangle$ の転置( $\langle T^T \rangle$ )を乗算し、かつ、右側から変換行列 $\langle T \rangle$ を乗算するからである。

【0097】

さらに、図6に示すステップS131～ステップS135によって到来角 $\theta_k$ を演算し、L個のコヒーレント波の到来方向を推定することは、平均相関行列( $= \langle R^{(FBA)}_{x \times x} \rangle$ )に基づいてアレーアンテナを複数のサブアレーに分離したときの複数のサブアレー間の位相差を演算してL個のコヒーレント波の到来方向を推定することに相当する。

10

【0098】

ESPRIT法は、アレーアンテナを複数のサブアレーに分離し、複数のサブアレー間の位相差を演算してL個のコヒーレント波の到来方向を推定することを特徴とするからである。

【0099】

なお、図5および図6に示す動作は、実際には、CPU(Central Processing Unit)によって実行される。CPUは、図5および図6に示す各ステップを備えるプログラムをROM(Read Only Memory)から読出し、その読出したプログラムを実行して図5および図6に示すフローチャートに従ってL個のコヒーレント波の到来方向を推定する。

20

【0100】

アレーアンテナ10の素子数と到来方向を推定可能なコヒーレント波の個数Lとの関係について説明する。

【0101】

アレーアンテナ10のアンテナ素子数を $M+1$ 本とし、サブアレーのアンテナ素子数を $K$ ( $K$ は正の整数)本とした場合、各到来角度 $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_L$ を正確に推定するには、 $N = M - K + 2L$ ( $N$ はサブアレーの個数)が成立する必要がある。つまり、サブアレーの個数 $N$ がコヒーレント波の個数 $L$ 以上であることが必要である。 $L$ 個のコヒーレント波を別個独立に受信可能なサブアレーが存在しないと $L$ 個のコヒーレント波の到来角度 $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_L$ を推定できないからである。

30

【0102】

また、ESPRIT法を適用する場合、 $K \geq L + 1$ が成立する必要がある。従って、この2つの不等式が成立するには、 $M + 1 = N + K - 1 \geq L + K - 1 \geq 2L$ が成立する必要がある。

【0103】

その結果、アンテナ素子数 $M+1$ は、予想される到来波数 $L$ の2倍の素子数が必要である。

【0104】

そうすると、図1に示すアレーアンテナ10は、一般的には、1本の給電素子と、バラクタダイオードが装荷された $2L - 1$ 本の無給電素子とからなる $2L$ 本以上のアンテナ素子を備える。

40

【0105】

したがって、アレーアンテナ10は、7本のアンテナ素子1～7を備える場合に限らず、 $2L$ 本以上のアンテナ素子を備えていればよい。

【0106】

上記においては、円形配列された7本のアンテナ素子1～7を直線配列に変換する場合、アンテナ素子2 アンテナ素子3 アンテナ素子7 アンテナ素子1 アンテナ素子4 アンテナ素子6 アンテナ素子5の順に配列されるようにアンテナ素子1～7の配列を

50

円形配列から直線配列に変換すると説明したが、この発明においては、これに限らず、( i ) アンテナ素子 3 アンテナ素子 4 アンテナ素子 2 アンテナ素子 1 アンテナ素子 5 アンテナ素子 7 アンテナ素子 6 の順に配列されるようにアンテナ素子 1 ~ 7 の配列を円形配列から直線配列に変換してもよいし、( i i ) アンテナ素子 7 アンテナ素子 2 アンテナ素子 6 アンテナ素子 1 アンテナ素子 3 アンテナ素子 5 アンテナ素子 4 の順に配列されるようにアンテナ素子 1 ~ 7 の配列を円形配列から直線配列に変換してもよいし、( i i i ) アンテナ素子 6 アンテナ素子 7 アンテナ素子 5 アンテナ素子 1 アンテナ素子 2 アンテナ素子 4 アンテナ素子 3 の順に配列されるようにアンテナ素子 1 ~ 7 の配列を円形配列から直線配列に変換してもよいし、( i v ) アンテナ素子 4 アンテナ素子 5 アンテナ素子 3 アンテナ素子 1 アンテナ素子 6 アンテナ素子 2 アンテナ素子 7 の順に配列されるようにアンテナ素子 1 ~ 7 の配列を円形配列から直線配列に変換してもよいし、( v ) アンテナ素子 5 アンテナ素子 6 アンテナ素子 4 アンテナ素子 1 アンテナ素子 7 アンテナ素子 3 アンテナ素子 2 の順に配列されるようにアンテナ素子 1 ~ 7 の配列を円形配列から直線配列に変換してもよい。

【 0 1 0 7 】

( i ) の順序で円形配列を直線配列に変換する場合、変換行列  $\langle T \rangle$  は、 $[ e_4 e_3 e_1 e_2 e_5 e_7 e_6 ]$  からなり、( i i ) の順序で円形配列を直線配列に変換する場合、変換行列  $\langle T \rangle$  は、 $[ e_4 e_2 e_5 e_7 e_6 e_3 e_1 ]$  からなり、( i i i ) の順序で円形配列を直線配列に変換する場合、変換行列  $\langle T \rangle$  は、 $[ e_4 e_5 e_7 e_6 e_3 e_1 e_2 ]$  からなり、( i v ) の順序で円形配列を直線配列に変換する場合、変換行列  $\langle T \rangle$  は、 $[ e_4 e_6 e_3 e_1 e_2 e_5 e_7 ]$  からなり、( V ) の順序で円形配列を直線配列に変換する場合、変換行列  $\langle T \rangle$  は、 $[ e_4 e_7 e_6 e_3 e_1 e_2 e_5 ]$  からなる。

【 0 1 0 8 】

また、上記以外の順序でアンテナ素子 1 ~ 7 の円形配列を直線配列に変換してもよく、一般的に、アンテナ素子 1 ~ 7 が直線状に配列される順序であれば、どのような順序であってもよい。

【 0 1 0 9 】

今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記した実施の形態の説明ではなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

【 産業上の利用可能性 】

【 0 1 1 0 】

この発明は、アンテナ素子が円形配列されている場合にも順方向 / 逆方向平均法を適用してコヒーレント波の到来方向を推定可能な到来方向推定装置に適用される。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 1 1 1 】

【 図 1 】 この発明の実施の形態による到来方向推定装置の概略図である。

【 図 2 】 図 1 に示す x - y 平面におけるアンテナ素子の平面配置図である。

【 図 3 】 アレーアンテナの複数のアンテナ素子の配列を円形配列から直線配列に変換する概念を説明するための図である。

【 図 4 】 複数のアンテナ素子を直線配列した図である。

【 図 5 】 L 個のコヒーレント波の到来方向を推定する動作を説明するためのフローチャートである。

【 図 6 】 図 5 に示すフローチャートのステップ S 1 3 の詳細な動作を説明するためのフローチャートである。

【 符号の説明 】

【 0 1 1 2 】

1 ~ 7 アンテナ素子、10 アレーアンテナ、11 ~ 16 パラクタダイオード、20 指向性切手段、30 方向推定手段、100 到来方向推定装置、BPM0 ~ BP

10

20

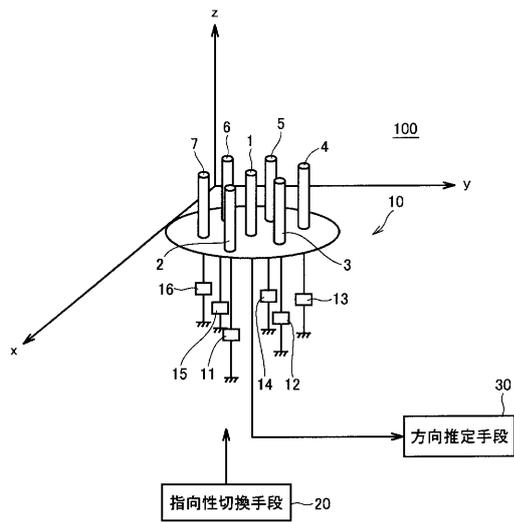
30

40

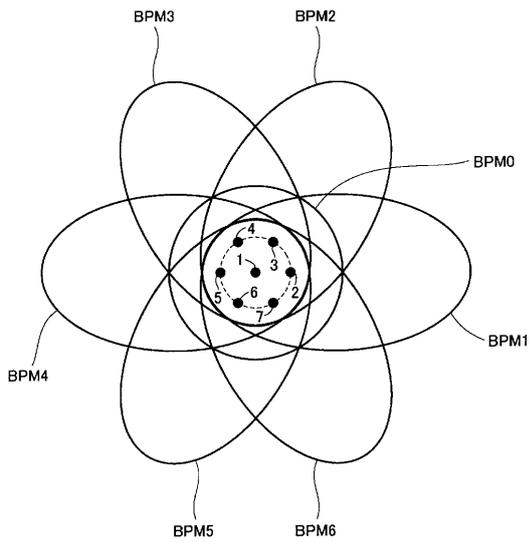
50

M 6 ビームパターン。

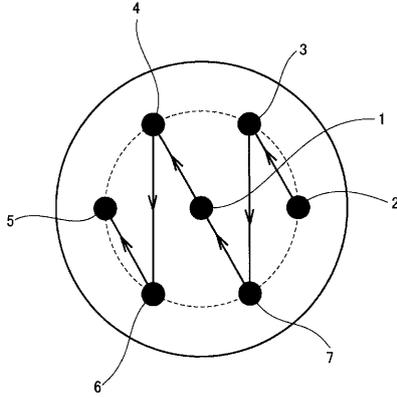
【図 1】



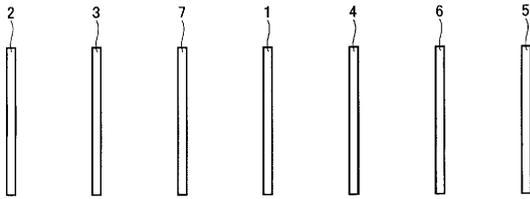
【図 2】



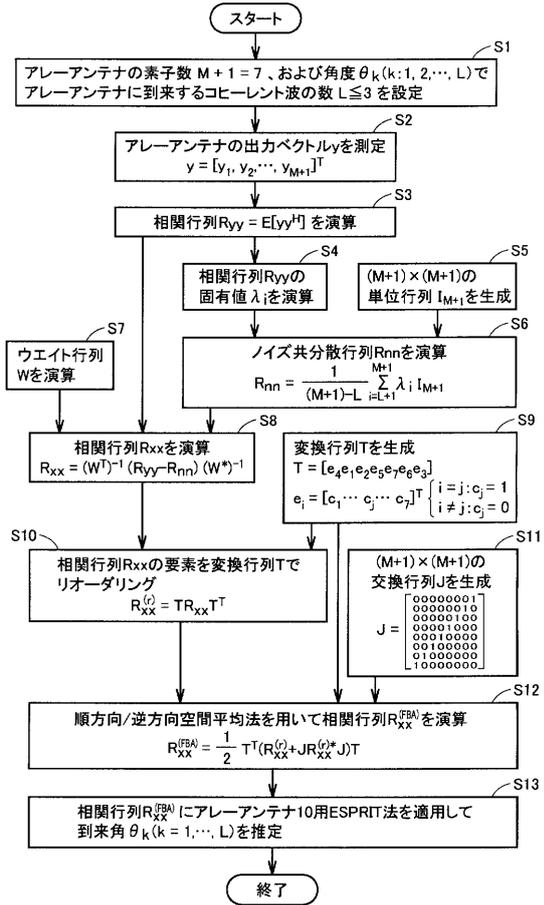
【図3】



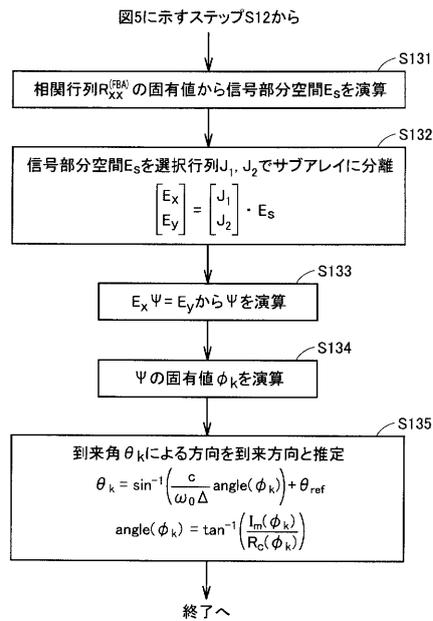
【図4】



【図5】



【図6】



---

フロントページの続き

(72)発明者 大平 孝

京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2 株式会社国際電気通信基礎技術研究所内

審査官 中村 説志

(56)参考文献 特開2004-361377(JP,A)

特開平11-166965(JP,A)

特開2001-183437(JP,A)

シュ エマニューエル、外2名、“7素子正六角形エスパアンテナのESPRITアルゴリズムによる到来方向推定”，電子情報通信学会技術研究報告，2003年 8月18日，Vol.103, No.265, p.19-24

大平孝，“超高分解能エスパアンテナ”，電子情報通信学会技術研究報告，2004年 2月26日，Vol.103, No.684, p.93-96

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01S 3/00 - 3/74

H01Q 3/00 - 3/46

H01Q19/00 - 25/04

H04B 7/02 - 7/12