(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2024年2月1日(01.02.2024)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2024/023933 A1

(51) 国際特許分類:
H04B 7/08 (2006.01) *G10L 15/28* (2013.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2022/028803

(22) 国際出願日： 2022年7月26日(26.07.2022)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

(71) 出願人: 日本電信電話株式会社 (**NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION**) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町一丁目５番１号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 福本 浩之 (**FUKUMOTO Hiroyuki**); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町３丁目９－１１ ＮＴＴ知的財産センタ内 Tokyo (JP). 藤野 洋輔(**FUJINO Yosuke**); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町３丁目９－１１ ＮＴＴ知的財産センタ内 Tokyo (JP). 大森 誓治(**OMORI Seiji**); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町３丁目９－１１ ＮＴＴ知的財産センタ内 Tokyo (JP). 伊藤 勇弥(**ITO Yuya**); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町３丁目９－１１ ＮＴＴ知的財産センタ内 Tokyo (JP). 大岩 美春(**OIWA Miharu**); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町３丁目９－１１ ＮＴＴ知的財産センタ内 Tokyo (JP). 奥村 亮太(**OKUMURA Ryota**); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町３丁目９－１１ ＮＴＴ知的財産センタ内 Tokyo (JP).

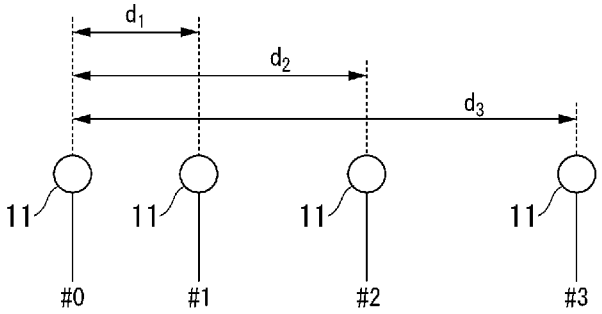
(74) 代理人: 弁理士法人志賀国際特許事務所 (**SHIGA INTERNATIONAL PATENT OFFICE**); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目９番２号 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU,

(54) **Title:** ANTENNA DEVICE

(54) 発明の名称： アンテナ装置



(57) **Abstract:** One aspect of the present invention is an antenna device comprising N antenna elements (where N is an integer of 3 or more) that receive sound waves or radio waves, wherein the antenna elements are each disposed in such a position that a steering vector corresponding to an incident angle θ of one sound wave or radio wave and a steering vector corresponding to an incident angle θ_d (where θ_d is -π/2 to +π/2) of another sound wave or radio wave are not linearly dependent.

(57) 要約：本発明の一態様は、音波又は電波を受信するＮ個（Ｎは３以上の整数）のアンテナ素子を備え、前記アンテナ素子は、ある音波又は電波の入射角度θに対応するステアリングベクトルと、他の音波又は電波の入射角度θ＿ｄ（θ＿ｄは－π／２～＋π／２）に対応するステアリングベクトルと、が一次従属にならない位置に配置されている、アンテナ装置である。

WO 2024/023933 A1

［続葉有］

TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

一　国際調査報告（条約第21条(3)）

明　細　書

発明の名称 ： アンテナ装置

技術分野

[0001] 本発明は、電波や音波（超音波を含む）を用いて伝送される無線信号を受信する技術に関する。

背景技術

[0002] 比帯域が数十％を超える広帯域の水中音響通信システムでは、海面や海底からのマルチパス波によって生じるISI（Inter-symbol-interference）や他システムからの干渉波によって生じるCCI（co-channel interference）によって波形が歪みやすい。そのため、このような水中音響通信システムでは、受信機で等化処理を行う必要がある。このような等化処理は、水中での音響通信特有のものではなく、電波を用いた通信でも行われる。

[0003] なお、以下の説明では“アンテナ”という文言を、電波を受信するための構成に限らず、音波（超音波を含む）を受信するための構成も含む概念を表す文言として用いる。また、以下の説明では、マルチパス波及び干渉波のように、受信対象となっている所望波（直接波）の受信に影響を及ぼす可能性のある波を「不要波」という。

[0004] アレーアンテナを用いた信号処理では、時空間領域の双方を活用して不要波の除去を行うことができる。そのため、一般的な時間領域の等化器に比べて、アレーアンテナを用いた信号処理では補償効果が高い。したがって、水中通信ではアレーアンテナを用いた信号処理が用いられることがある。例えば、アレーアンテナ個別のＦＩＲ（Finite impulse response）フィルターとＦＢ（Feed-back）フィルターとを備え、フィルター係数をＬＭＳ（Least mean square）法やＲＬＳ（Recursive least square）法等の最適化アルゴリズムを用いて最適化を行う方法がある。（例えば、非特許文献１や非特許文献２を参照）。フィルター係数の制御によって、周波数ー空間方向の利得を制御することができる。そして、周波数ー空間方向の利得を制御することで所

望波を抽出し、不要波を除去することができる。

[0005] 空間領域における不要波の抑圧性能は、根本的にはアレーアンテナの形状で決まる。アレーアンテナの開口の大きさが空間分解能を決定するため、一般的には開口を広くした方が不要波の抑圧性能が向上する。換言すれば、アレーアンテナ全体の大きさが大きいほど、所望波と角度差が小さい不要波をより有効に抑圧できる。

[0006] ただし、伝送周波数帯域において空間エイリアシングが発生しないように、帯域の最も短い波長（最も高い周波数）の半波長以下の間隔でアンテナ素子を配列する必要がある。空間エイリアシングとは、アンテナ素子間の位相差を用いることで信号の到来方向をベクトルで表現したときに、一次従属な到来方向の組み合わせが生じることである。以下の説明では、信号の到来方向を示すベクトルを「ステアリングベクトル」という。

先行技術文献

非特許文献

[0007] 非特許文献1：M. Johnson, L. Freitag and M. Stojanovic, “Improved Doppler tracking and correction for underwater acoustic communications,” 1997 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1997, pp. 575-578 vol.1, doi: 10.1109/ICASSP.1997.599703.

非特許文献2：H. Fukumoto, Y. Fujino, M. Nakano, K. Sakamoto and T. Tsubaki, “Field Experiments Demonstrating Mbps-Class Underwater Acoustic Communication with Spatio-Temporal Equalization,” Global Oceans 2020: Singapore – U.S. Gulf Coast, 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/IEEECONF38699.2020.9389018.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] しかしながら、装置の制約等が原因となり、角度分解能に応じたアレーの

開口幅に応じて、半波長以下の間隔でアンテナ素子を配置できない場合がある。この場合、配列パターンによっては伝送周波数帯域内に空間エイリアシングが生じる可能性がある。具体的には、以下のようなケースがある。

[0009] 所望波と不要波との到来方向を示すステアリングベクトルが一次従属のとき、等化器が不要波に対して空間的にヌル形成しようとすると、所望波方向にもヌル形成されてしまう。一方で、所望波方向にメインローブを向けると、不要波の到来方向にもメインローブが向けられてしまい、不要波を抑圧できない。そのため、どのような適応アルゴリズムを用いてフィルター係数を最適化したとしても、不要波の抑圧も所望波の抽出も効果的に行うことができず、等化の性能が低下してしまう。

[0010] 上記事情に鑑み、本発明は、受信対象となる電波や音波（超音波を含む）である所望波を受信する際に行われる等化処理の性能を向上可能な技術の提供を目的としている。

課題を解決するための手段

[0011] 本発明の一態様は、音波又は電波を受信するＮ個（Ｎは３以上の整数）のアンテナ素子を備え、前記アンテナ素子は、ある音波又は電波の入射角度θに対応するステアリングベクトルと、他の音波又は電波の入射角度θ＿ｄ（θ＿ｄは－π／２～＋π／２）に対応するステアリングベクトルと、が一次従属にならない位置に配置されている、アンテナ装置である。

発明の効果

[0012] 本発明により、受信対象となる電波や音波（超音波を含む）である所望波を受信する際に行われる等化処理の性能を向上させることが可能となる。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]アレーアンテナとして構成されるアンテナ装置１０におけるアンテナ素子１１の配列の具体例を示す図である。

[図2]受信システム１００の構成例を示す図である。

[図3]計算機シミュレーションの概要を示す図である。

[図4]計算機シミュレーションの概要を示す図である。

[図5]計算機シミュレーションにおける伝送信号の諸元である。

[図6]計算機シミュレーションで比較評価を行うアンテナ配置の諸元である。

[図7]配列の比較を示す図である。

[図8]シミュレーション結果である。

[図9]二次元的な配置の第一具体例を示す図である。

[図10]二次元的な配置の第二具体例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0014] ［ステアリングベクトルの一次従属性の発生条件］

アレーアンテナとして構成されるアンテナ装置において、空間エイリアシングによってステアリングベクトルの一次従属性が発生する条件について説明する。図１は、アレーアンテナとして構成されるアンテナ装置１０におけるアンテナ素子１１の配列の具体例を示す図である。アンテナ装置１０は、少なくとも３つのアンテナ素子１１を備える。アンテナ素子１１は、電波や音波（超音波を含む）等の波を受けて、波に応じた電気信号を生成する。

[0015] アンテナ素子１１は、一次元又は二次元に配置される。このような配置により、アンテナ装置１０はアレーアンテナとして構成される。図１の例では、一次元のライン上にＮ個のアンテナ素子１１が配置されている。すなわち、図１の例におけるアンテナ装置１０は線形アレーとして構成されている。各アンテナ素子１１には、＃０～＃Ｎ－１の符号が与えられている。

[0016] ＃０のアンテナ素子１１を基準点として、＃ｉのアンテナ素子はｄ＿ｉ離れた位置に配置される。なお、“Ａ＿Ｂ”という記載は、“Ａ”の右下に添え字として“Ｂ”が配置された記載を示す。受信波（所望波及び不要波を含む）は、角度θ（θは－π／２～＋π／２）のいずれかの方向から入射するものと仮定する。

[0017] 入射角度θに対応するステアリングベクトルと、他の到来方向θ＿ｄ（θ＿ｄは－π／２～＋π／２）に対応するステアリングベクトルと、が一次従属である場合、以下の条件式（式１）が満たされる。

[0018]

[数1]

$$\sin\theta_d = \sin\theta + \frac{\alpha_1\lambda}{d_1} = \sin\theta + \frac{\alpha_2\lambda}{d_2} = \cdots = \sin\theta + \frac{\alpha_{N-1}\lambda}{d_{N-1}}$$

・・・（式１）

[0019] ここで、λは伝送帯域内のいずれかの周波数に対応する波長である。伝送帯域とは、受信対象となっている所望波（直接波）の伝送において使用されることが想定されている帯域を示す。α＿ｎ（ｎ＝０，…，Ｎ－１）は０を除く整数である。各α＿ｎの数値範囲は以下の式２で示される。

[0020] [数2]

$$-1 < \sin\theta + \frac{\alpha_n\lambda}{d_n} < 1$$

・・・（式２）

[0021] 式１を整理することによって、以下の式３を得ることができる。

[0022] [数3]

$$\frac{\alpha_1}{d_1} = \frac{\alpha_2}{d_2} = \cdots = \frac{\alpha_{N-1}}{d_{N-1}}$$

・・・（式３）

[0023] ｍ及びｎは、それぞれ１以上（Ｎ－１）以下の整数の集合である。ｍとｎとが異なる全てのｍ及びｎのペアについて、以下に示す式４を満たすα＿１，…，α＿（Ｎ－１）の組が少なくとも一つ存在する場合、入射角度θと別の方向に１つ以上の一次従属な到来方向が生じる。言い換えれば、α＿１～α＿（Ｎ－１）が式３を満たす組となる場合には、入射角度θと別の方向に１つ以上の一次従属な到来方向が生じる。

[0024] [数4]

$$\frac{\alpha_m}{\alpha_n} = \frac{d_m}{d_n}$$

$$\alpha_1, \ldots, \alpha_{N-1} \ such \ that \ \frac{\alpha_m}{\alpha_n} = \frac{d_m}{d_n} \ \forall_n \neq m$$

・・・（式４）

[0025] ［ステアリングベクトルの一次従属性が発生しない条件］

次に、ステアリングベクトルの一次従属性が発生しない条件について説明する。伝送帯域内でステアリングベクトルの一次従属性が発生しない条件は、－π／２～＋π／２の任意のθについて、上述した式４を満たさないｄ＿ｎ及びｄ＿ｍの組が少なくとも一つ存在することである。

[0026] 例えば、ｄ＿ｎ及びｄ＿ｍの組の少なくとも一つの素子間隔の比（ｄ＿ｎ’／ｄ＿ｍ’）が無理数であれば、θの値によらずに式４の条件を満たす整数比が存在しない。そのため、このように素子間隔の比が無理数であれば、ステアリングベクトルの一次従属性は、全ての角度及び全ての波長について発生しない。このような条件におけるアンテナ素子１１の配置を、第一配置と呼ぶ。

[0027] 例えば、ｄ＿１を伝送帯域内の最小波長の１／２以上、且つ、最小波長未満の値とする。この場合、伝送帯域内の全ての波長について、α＿１は＋１か－１しか取りえない。ｄ＿２をｄ＿１の整数倍でないように配置すれば、ステアリングベクトルの一次従属性は発生しない。このような条件におけるアンテナ素子１１の配置を、第二配置と呼ぶ。

例えば、式２の不等式評価から以下の式５を得ることができる。

[0028] [数5]

$$\sin\theta+\frac{\alpha_n\lambda}{d_n}<1 \quad \Leftrightarrow \quad \alpha_n<\frac{d_n}{\lambda}(1-\sin\theta)<\frac{2d_{N-1}}{\lambda_{min}}$$

・・・（式５）

[0029] ここで、λ＿ｍｉｎは伝送帯域内における最小の波長である。式５より以下の事象を導きだすことができる。ｄ＿ｎとｄ＿ｍとの比を、互いに素な数ｐ＿ｎ及びｐ＿ｍを用いて、ｄ＿ｎ／ｄ＿ｍ＝ｐ＿ｎ／ｐ＿ｍと表した場合、ｐ＿ｎ及びｐ＿ｍのいずれもが（２ｄ＿（Ｎ－１））／λ＿ｍｉｎ　よりも大きければ、式４を満たす整数α＿ｎ及びα＿ｍの組は存在しない。すなわち、上述した条件を満たすことにより、ステアリングベクトルの一次従属性は発生しない。このような条件におけるアンテナ素子１１の配置を、第三配置と呼ぶ。

[0030] ［受信システムの構成］

次に、アンテナ装置１０を含む受信システム１００について説明する。図２は、受信システム１００の構成例を示す図である。受信システム１００は、アンテナ装置１０及び受信装置２０を備える。

[0031] アンテナ装置１０はアレーアンテナである。アンテナ装置１０は、少なくとも３以上のアンテナ素子１１を備える。以下の説明では、アンテナ装置１０が備えるアンテナ素子１１の数をＮ（Ｎは３以上の整数）として表す。アンテナ装置１０において、Ｎ個のアンテナ素子１１は、上述したステアリングベクトルの一次従属発生条件（式４）を満たさないように配置される。アンテナ素子１１の配置は、一次元のアレー配置であってもよいし、二次元のアレー配置であってもよい。

[0032] 受信装置２０は、Ｎ台の変換部２０１（２０１＿１～２０１＿Ｎ）、Ｎ台のＦＦフィルター２０２（２０２＿１～２０２＿Ｎ）、合成器２０３、出力推定部２０４及びフィルター係数取得部２０５を備える。Ｎは、アンテナ装置１０が有するアンテナ素子１１の数と同じ値である。このように、変換部２０１及びＦＦフィルター２０２は、それぞれアンテナ素子１１と同数設けられることが望ましい。一部の機能を使用しないのであれば、必ずしも全てが同数である必要はない。なお、以下の説明では、Ｎ台の同名の装置に共通する構成に関しては、“＿１”等の符号を省略して記載する。例えば、変換部に関しては、“変換部２０１＿１”ではなく、“変換部２０１”と記載する。

[0033] 変換部２０１は、アンテナ装置１０のアンテナ素子１１によって変換された電気信号のサンプリングを行う。具体的には以下の通りである。変換部２０１は、アンテナ素子１１によって変換された電気信号に対し、アナログデジタル変換を行う。そして、変換部２０１は、アナログデジタル変換によって得られたデジタル信号について、周波数変換を行う。なお、変換部２０１には他の構成（変形例）が採用されてもよい。例えば、変換部２０１は、アナログデジタル変換のみを行うように構成されてもよい。例えば、変換部２

０１は、アナログ信号に対して周波数変換を行い、その後にアナログデジタル変換を行うように構成されてもよい。

[0034] ＦＦフィルター２０２は、変換部２０１によってサンプリングされた信号に対して波形操作を行う。ＦＦフィルター２０２は、波形操作された信号を合成器２０３に出力する。

[0035] 合成器２０３は、ＦＦフィルター２０２によって波形操作が行われた後のＮ個の信号を合成する。

[0036] 出力推定部２０４は、合成器２０３によって合成された後の信号に基づいて、合成器２０３の出力を仮判定してもよい。出力推定部２０４は、合成器２０３によって合成された後の信号とトレーニング信号とを用いることで、所望の応答を計算してもよい。所望の応答とは、例えばアンテナ装置１０によって受信された所望波の信号に含まれるシンボルであってもよい。

[0037] フィルター係数取得部２０５は、Ｎ個のＦＦフィルター２０２のフィルター係数を適応的に取得する。フィルター係数取得部２０５は、例えば計算によってフィルター係数を取得してもよいし、予め設定されたルックアップテーブルに基づいてフィルター係数を取得してもよい。

[0038] フィルター係数取得部２０５は、例えば誤差計算部及び適応アルゴリズム部を含むように構成されてもよい。誤差計算部は、等化装置の出力と所望の応答との誤差を計算する。適応アルゴリズム部は、誤差計算部によって計算された誤差に基づいてフィルター係数を適応的に更新し、最小二乗誤差などの規範に基づき最適化する。適応アルゴリズムとは、LMS(least mean square)法、RLS (recursive least square) 法、APA (Affine projection algorithm) 法など再帰的にフィルタ係数を算出する手段を含む。また、これらの派生したアルゴリズムも含む。

[0039] 出力推定部２０４及びフィルター係数取得部２０５は、それぞれＣＰＵ等のプロセッサーやメモリを用いて構成される。出力推定部２０４及びフィルター係数取得部２０５は、記憶装置に記憶されたプログラムをプロセッサーが読み出して実行することによって動作する。プログラムは、コンピュータ

一読み取り可能な記録媒体に記録されてもよい。コンピューター読み取り可能な記録媒体とは、例えばフレキシブルディスク、光磁気ディスク、ＲＯＭ、ＣＤ－ＲＯＭ等の可搬媒体、コンピューターシステムに内蔵されるハードディスク等の記憶装置などの非一時的な記憶媒体である。プログラムは、電気通信回線を介して送信されてもよい。出力推定部２０４及びフィルター係数取得部２０５の動作の一部又は全部は、例えば、ＬＳＩ、ＡＳＩＣ、ＰＬＤ又はＦＰＧＡ等を用いた電子回路を含むハードウェアを用いて実現されてもよい。

[0040] なお、受信装置２０は、非特許文献１及び２に示されるように、ＦＢフィルターとＤＰＬＬ（デジタルＰＬＬ）をさらに備えてもよい。

[0041] ［アンテナ装置の詳細］

次に、アンテナ装置１０の構成について詳細に説明する。上述したように、アンテナ装置１０におけるアンテナ素子１１の配置では、ステアリングベクトルが完全に一致する一次従属な到来方向の組が生じない。したがって、任意の２方向の利得が一致しないＦＦフィルター係数が存在する。すなわち、到来方向の組み合わせによらず、不要波の受信利得を所望波よりも小さくするといった２方向の独立制御が可能である。その結果、適応アルゴリズムにおける制御の自由度が高まり、不要波の抑圧と所望波の抽出とを効果的に行うことが可能となる。

[0042] 上述したように、アンテナ素子１１の配列の具体例として、第一配置、第二配置及び第三配置がある。それぞれの具体例について説明する。

[0043] ［第一配置］

第一配置では、無理数比となるアンテナ素子１１の間隔の組み合わせが少なくとも一つ存在することを特徴とする。例えば、以下の式６を満たすようにアンテナ素子１１が配列されてもよい。

[0044] [数6]

$$d_n = \gamma, d_m = M_o\gamma \qquad \cdots \text{（式６）}$$

[0045] 式６において、ｄ＿ｎ、ｄ＿ｍは、図１に示されるとおりである。Ｍ＿ｏ

は無理数である。ｎ及びｍは互いに異なる１以上（Ｎ－１）以下の整数である。式６の条件によれば、ｄ＿ｎ／ｄ＿ｍ＝１／Ｍ＿ｏである。このように、式６を満たすようにアンテナ素子１１が配列されることによって、ｄ＿ｎ／ｄ＿ｍが無理数比となる。そのため、式４を満たさない。その結果、常にステアリングベクトルの一次従属が発生しない。

[0046] なお、実運用上、アンテナ素子１１の設置間隔は無理数比の近似値となることから、無理数を十分に近似した値が用いられてもよい。

[0047] ［第二配置］

第二配置では、ｄ＿１は伝送帯域内の最小波長の１／２以上、且つ、最少波長未満とする。また、ｄ＿２からｄ＿（Ｎ－１）のうちの少なくとも一つが、ｄ＿１の整数倍ではない。つまり、以下の式７を満たし、且つ、ｄ＿ｎとｋｄ＿１とが異なる（ｋは自然数）、という条件を、いずれかのｎ（ｎは２以上（Ｎ－１）未満）で満たすようにアンテナ素子１１が配置される。

[0048] [数7]

$$\lambda_{min}/2 < \mathrm{d}_1 < \lambda_{min} \qquad \cdots \text{（式７）}$$

[0049] ［第三配置］

第三配置では、ｄ＿ｎとｄ＿ｍとの組の少なくとも一つのアンテナ素子間隔の比を互いに素な因数ｐ＿ｎ’／ｐ＿ｍ’で表したときに、ｐ＿ｎ’もｐ＿ｍ’も（２ｄ＿（Ｎ－１））／λ＿ｍｉｎ　よりも大きい値となる配置である。つまり、ｄ＿ｎ＝γＰ＿ｎ，ｄ＿ｍ＝γＰ＿ｍ　、γは実数、Ｐ＿ｎ，Ｐ＿ｍ　は互いに素な整数であり、以下の式８の条件を満たす、という条件を、いずれかのｎ，ｍ（ｎとｍは１以上（Ｎ－１）以下）の組で満たすようにアンテナ素子１１が配列される。

[0050] [数8]

$$P_n, P_m > \frac{2d_{N-1}}{\lambda_{min}} \qquad \cdots \text{（式８）}$$

[0051] ［実施例］

次に、上述した第一配置、第二配置及び第三配置の各アンテナ装置１０を

用いた受信システム１００について、一般的な等間隔配置のアンテナ装置を用いた受信システムと効果について計算機シミュレーションした結果を示す。

[0052] 図３及び図４は、計算機シミュレーションの概要を示す図である。本シミュレーションでは、線形アレーを仮定し、線形アレーの配列方向と直交した方向から直接波（所望波）を入射させる。さらに、１００シンボル遅延したマルチパス波をθ（θは０からπ／２の間の値）方向から入射させる。等化装置は図２に示される構成と同一であり、トレーニング系列を基に直接波を抽出し、マルチパス波を除去する。所望信号と等化装置の出力値との平均二乗誤差（ＭＳＥ；mean square error）を評価することで等化性能を評価する。

[0053] 図５に示される表は、計算機シミュレーションにおける伝送信号の諸元である。図６に示される表は、計算機シミュレーションで比較評価を行うアンテナ配置の諸元である。アレーアンテナの開口径は角度分解能をそろえるため、４パターンの配置すべてに共通して１ｍとする。等間隔配置は、比較対象となる一般的な配列であり、ステアリングベクトルの一次従属を持つ。第一配置から第三配置は、上述した配列構成である。第一配置では、ｄ＿２／ｄ＿１がルート２（２の１／２乗）になる。第二配置では、ｄ＿１が１波長（０．０５ｍ）であり、ｄ＿２／ｄ＿１＝１０．５である。第三配列では、本シミュレーションでは

[0054] [数9]

$$\frac{2d_{N-1}}{\lambda_{min}} = 40 \qquad \cdots \text{（式９）}$$

[0055] に対して、ｄ＿２／ｄ＿１＝４３／４１となる比で配列している。配列の比較を図７に示す。

[0056] 図８はシミュレーション結果である。横軸は遅延波の到来方向、縦軸は所望信号（所望波が示す信号）との平均二乗誤差である。平均二乗誤差が小さいほど不要波による干渉を効果的に除去できていると言える。結果より、等

間隔配置では、帯域の最高周波数（３０　ｋＨｚ）において空間エイリアシングが生じる角度（８．７度）以降は干渉波の抑圧性能が低下している。他方で、第一配置～第三配置では、１０度以上の到来角で等間隔配置よりも良い性能が達成できており、等化性能が向上していることがわかる。

[0057] 以上の評価結果より、第一配置～第三配置によって等化性能の向上効果が得られることを示した。

このように、第一配置、第二配置及び第三配置のいずれかが採用されたアンテナ装置１０を用いることによって、受信された信号に対する等化処理の精度を向上させることが可能となる。

[0058] 特に、広帯域の水中通信では、周波数帯域内で波長の長さが２倍以上異なることがしばしばある。帯域内の波長ごとに空間エイリアシングが生じる到来方向の関係性が異なることから、水中通信では上記の問題がより深刻化し、あらゆる方向からの不要波の除去が難しくなる。このような状況においても、上述したように第一配置、第二配置及び第三配置のいずれかが採用されたアンテナ装置１０を用いることによって、受信された信号に対する等化処理の精度を向上させることが可能となる。

[0059] 以下、アンテナ装置１０の変形例について説明する。上述した説明では、いずれもアンテナ装置１０におけるアンテナ素子１１の配置は一次元的な配置であったが、二次元的にアンテナ素子１１が配置されてもよい。この場合、二次元的にビームを走査し、仰角・方位角方向の２つからの干渉波に対して有効に働く。

[0060] 図９は二次元的な配置の第一具体例を示す図である。図１０は二次元的な配置の第二具体例を示す図である。図９では、アンテナ素子１１が、第一軸に沿って１列、第二軸に沿って１列、それぞれ配置されている。第一軸と第二軸とは直交している。具体的には、図９ではアンテナ素子１１がＬ字型に配置されている。Ｌ字以外にも十字配列や他の二次元配列でもよい。また、第一軸と第二軸とはそれぞれ１列ではなく、複数の列が配置されてもよい。図１０では、アンテナ素子１１が第一軸及び第二軸に沿って矩形状に配置さ

れている。

[0061] 図９及び図１０の配置例では、配置間隔ｄ__（１，１）からｄ__（１，Ｎ－１）の組が式４の条件を満たさず、且つ、ｄ__（２，１）からｄ__（２，Ｎ－１）の組が式４の条件を満たさない。配置間隔ｄ__（１，１）からｄ__（１，Ｎ－１）の組に関しては、第一配置～第三配置のいずれであってもよい。また、配置間隔ｄ__（２，１）～ｄ__（２，Ｎ－１）の組に関しても、第一配置～第三配置のいずれであってもよい。このとき、配置間隔ｄ__（１，１）からｄ__（１，Ｎ－１）の配置パターンと、ｄ__（２，１）からｄ__（２，Ｎ－１）の配置パターンとは、同じであってもよいし、異なっていてもよい。例えば、配置間隔ｄ__（１，１）からｄ__（１，Ｎ－１）の組が第一配置であり、ｄ__（２，１）からｄ__（２，Ｎ－１）の組も第一配置としてそれぞれ構成されてもよい。また、例えば、配置間隔ｄ__（１，１）からｄ__（１，Ｎ－１）の組が第一配置であり、ｄ__（２，１）からｄ__（２，Ｎ－１）の組が第二配置としてそれぞれ構成されてもよい。

[0062] また、配置間隔ｄ__（１，１）からｄ__（１，Ｎ－１）の組が式４の条件を満たさず、且つ、ｄ__（２，１）からｄ__（２，Ｎ－１）の組が式４の条件を満たすように構成されてもよい。また、配置間隔ｄ__（１，１）からｄ__（１，Ｎ－１）の組が式４の条件を満たし、且つ、ｄ__（２，１）からｄ__（２，Ｎ－１）の組が式４の条件を満たさないように構成されてもよい。このような構成では、上述した配置間隔ｄ__（１，１）からｄ__（１，Ｎ－１）の組が式４の条件を満たさず、且つ、ｄ__（２，１）からｄ__（２，Ｎ－１）の組も式４の条件を満たさないように構成されたものに比べて性能は低い可能性があるが、少なくとも従来の構成よりは性能を向上させることが可能である。

[0063] また、図７のように、二次元上にメッシュグリッドに配列されてもよい。図９や図１０に示された配置であれば、二次元方向のいずれの方向にも一次従属な組のステアリングベクトルを持たない。そのため、等化性能を向上させることが可能となる。

図９及び図１０の例では、第一軸と第二軸とは直交していたが、必ずしも直交していなくてもよい。

[0064] 以上、この発明の実施形態について図面を参照して詳述してきたが、具体的な構成はこの実施形態に限られるものではなく、この発明の要旨を逸脱しない範囲の設計等も含まれる。

産業上の利用可能性

[0065] 本発明は、電波や音波（超音波を含む）を受信する技術に適用することができる。

符号の説明

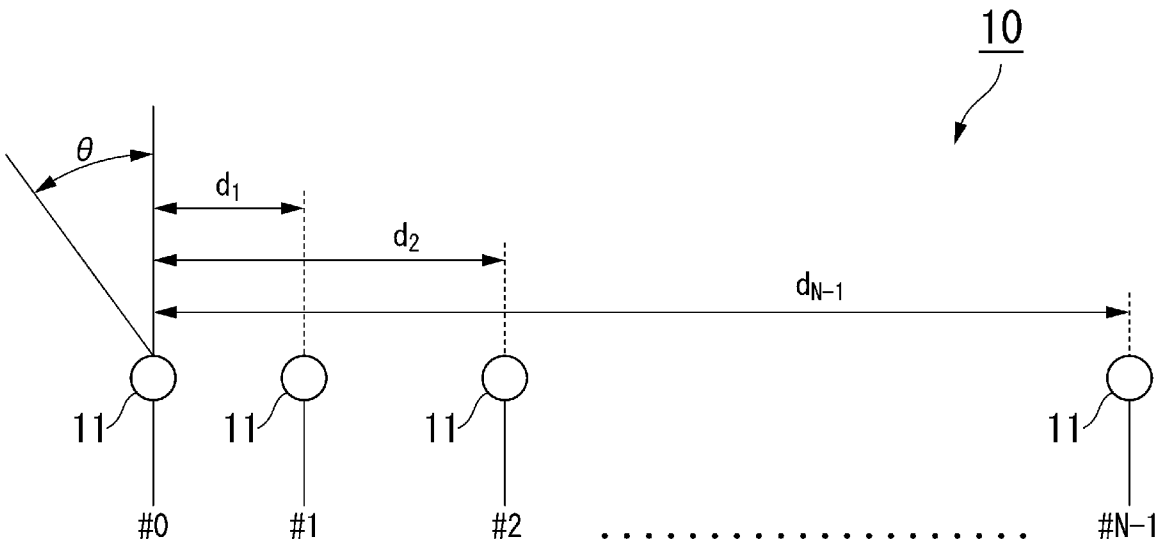
[0066] １０…アンテナ装置、１１…アンテナ素子，２０…受信装置（等化装置）、２０１…変換部、２０２…ＦＦフィルター、２０３…合成器、２０４…出力推定部、２０５…フィルター係数取得部

請求の範囲

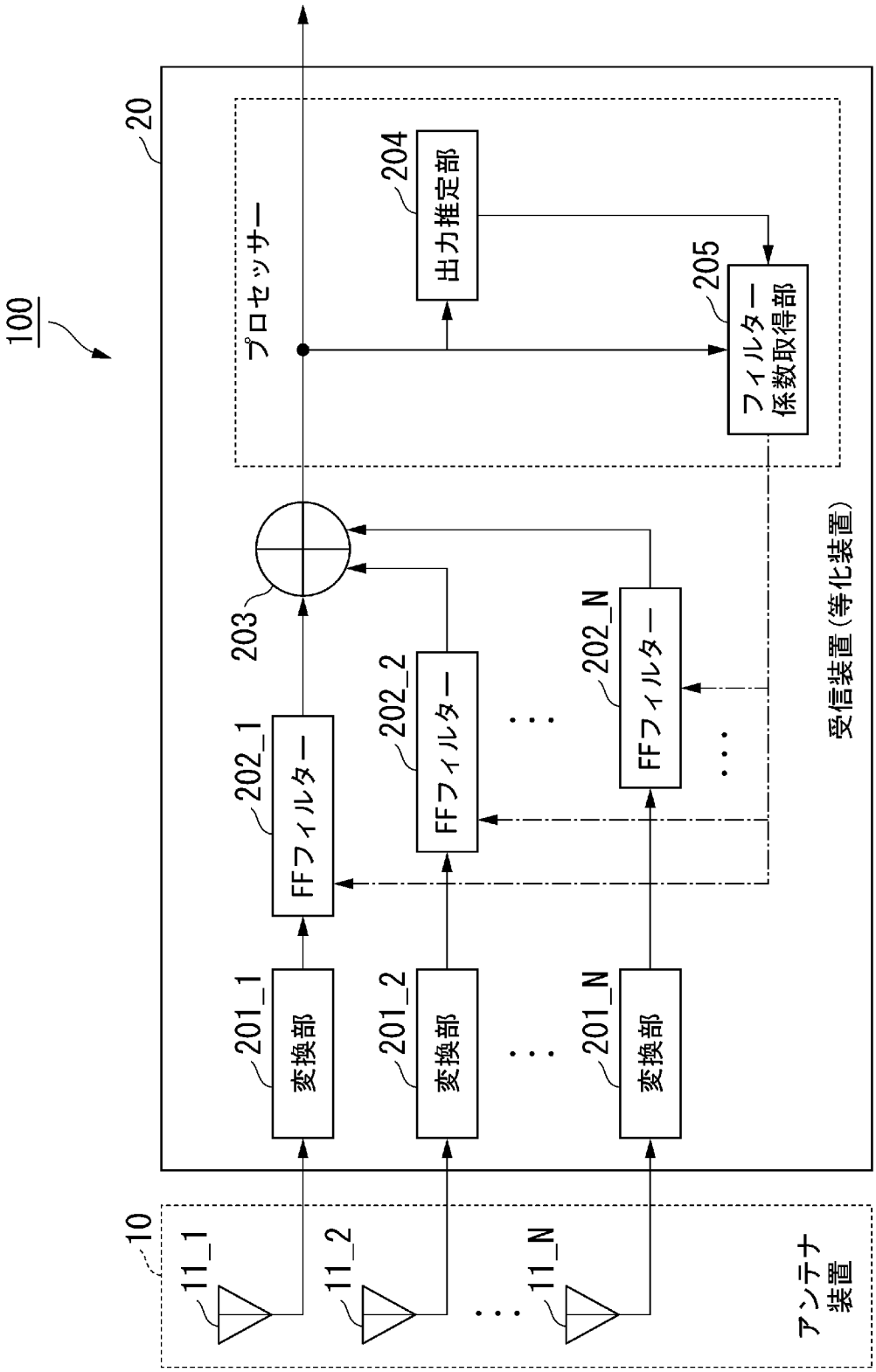
[請求項1] 音波又は電波を受信するＮ個（Ｎは３以上の整数）のアンテナ素子を備え、

前記アンテナ素子は、ある音波又は電波の入射角度θに対応するステアリングベクトルと、他の音波又は電波の入射角度θ＿ｄ（θ＿ｄは－π／２～＋π／２）に対応するステアリングベクトルと、が一次従属にならない位置に配置されている、アンテナ装置。

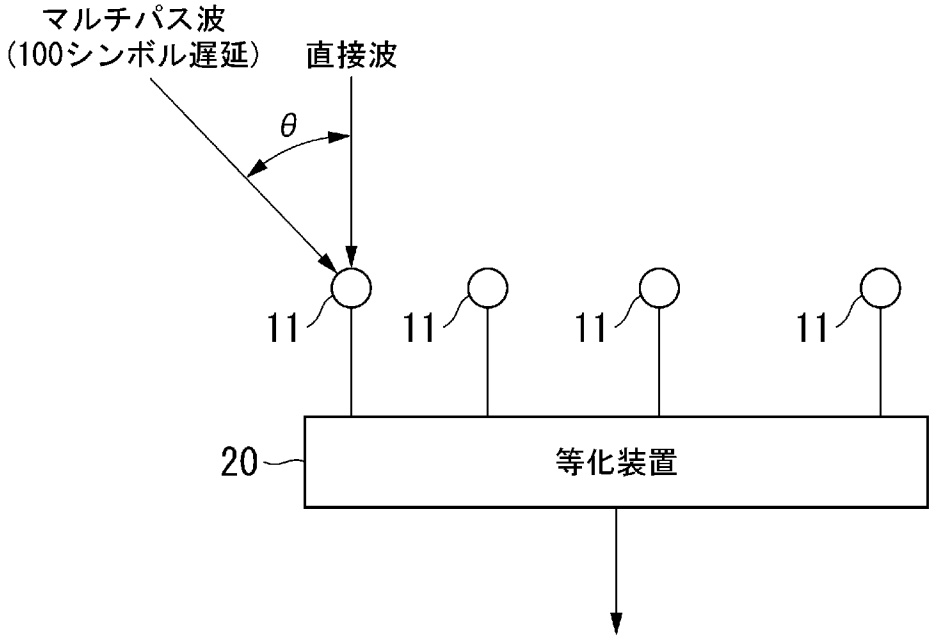
[図1]



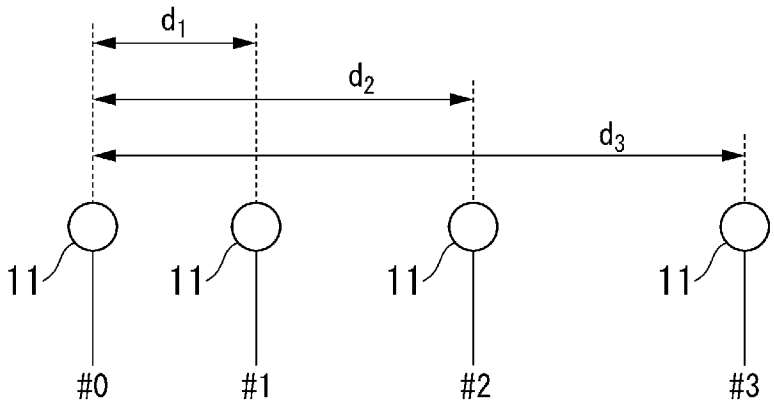
[図2]


100
20
プロセッサー
204
出力推定部
205
フィルター
係数取得部
203
202_1
FFフィルター
202_2
FFフィルター
202_N
FFフィルター
201_1
変換部
201_2
変換部
201_N
変換部
受信装置（等化装置）
10
11_1
11_2
11_N
アンテナ
装置

[図3]



[図4]



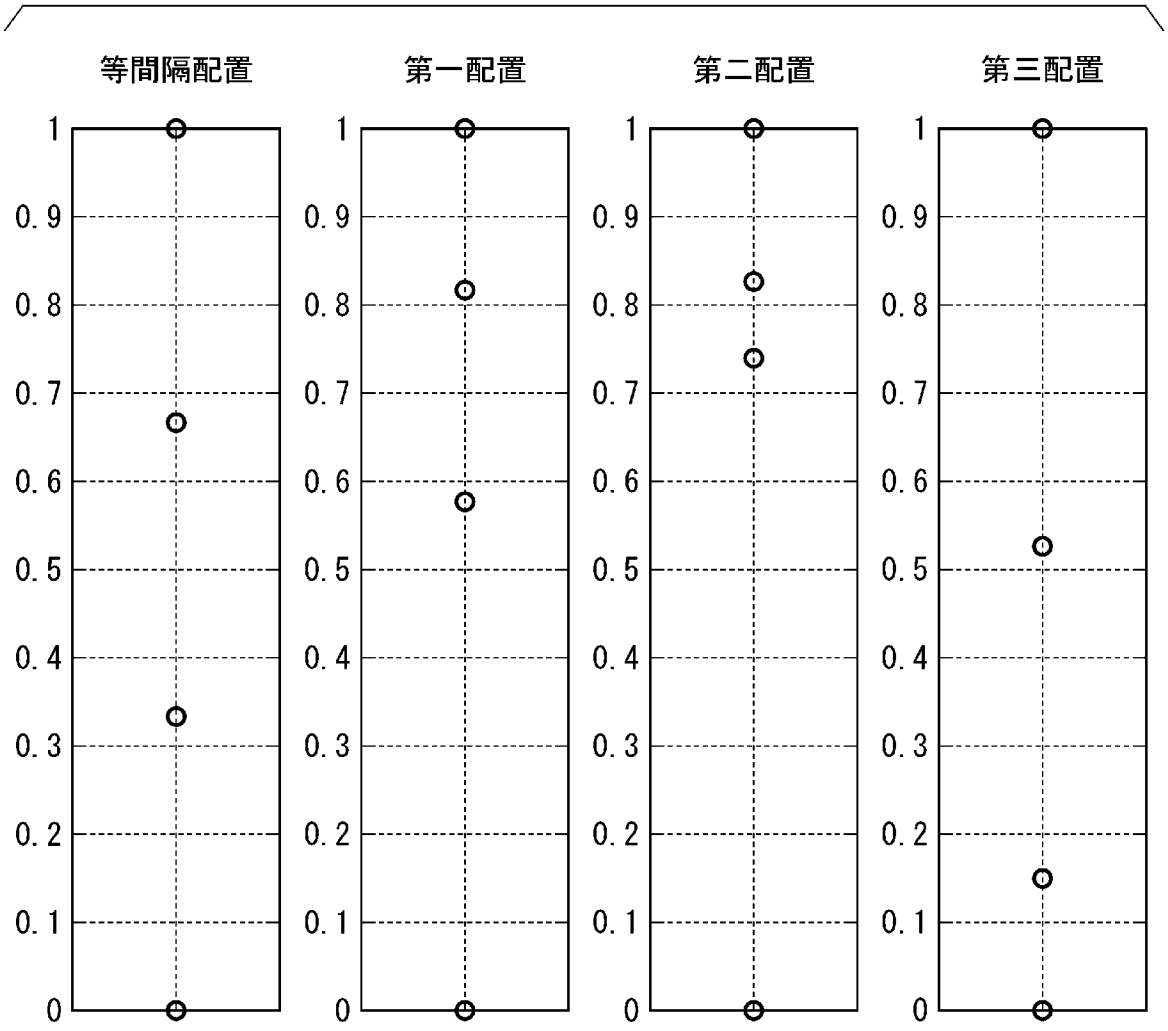
[図5]

パラメータ	値
キャリア周波数	20[kHz]
帯域幅	20[kHz]
トレーニングデータ	BPSK変調 8192シンボル
受信素子数	4[素子]
受信アレーサイズ	1[m]
FFフィルタ	各チャネル20tap
適応アルゴリズム	RLS法
受信SNR	20dB(全チャネル合計)

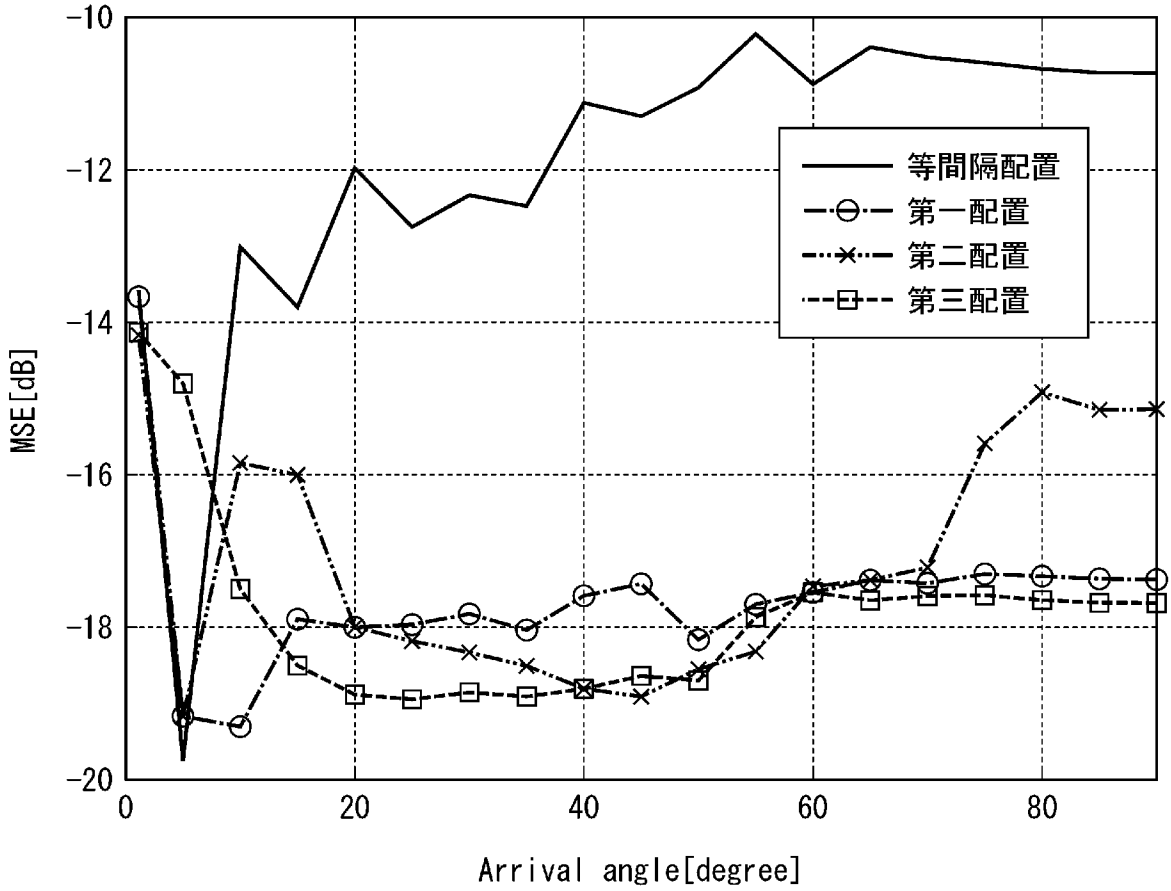
[図6]

	d1 [メートル]	d2 [メートル]	d3 [メートル]	一次従属性	d2/d1
等間隔配置	0.333	0.667	1.000	あり	2.000
第一配置	0.577	0.817	1.000	なし	1.414
第二配置	0.05	0.525	1.000	なし	10.500
第三配置	0.739	0.826	1.000	なし	1.118 (43/41)

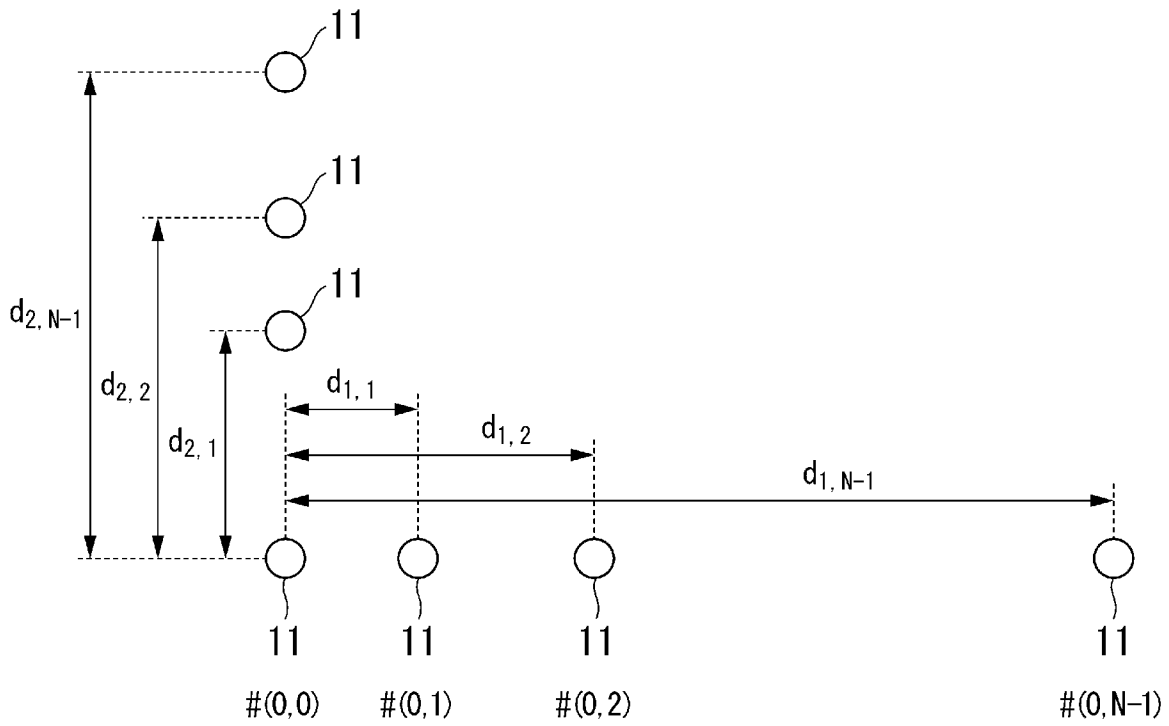
[図7]



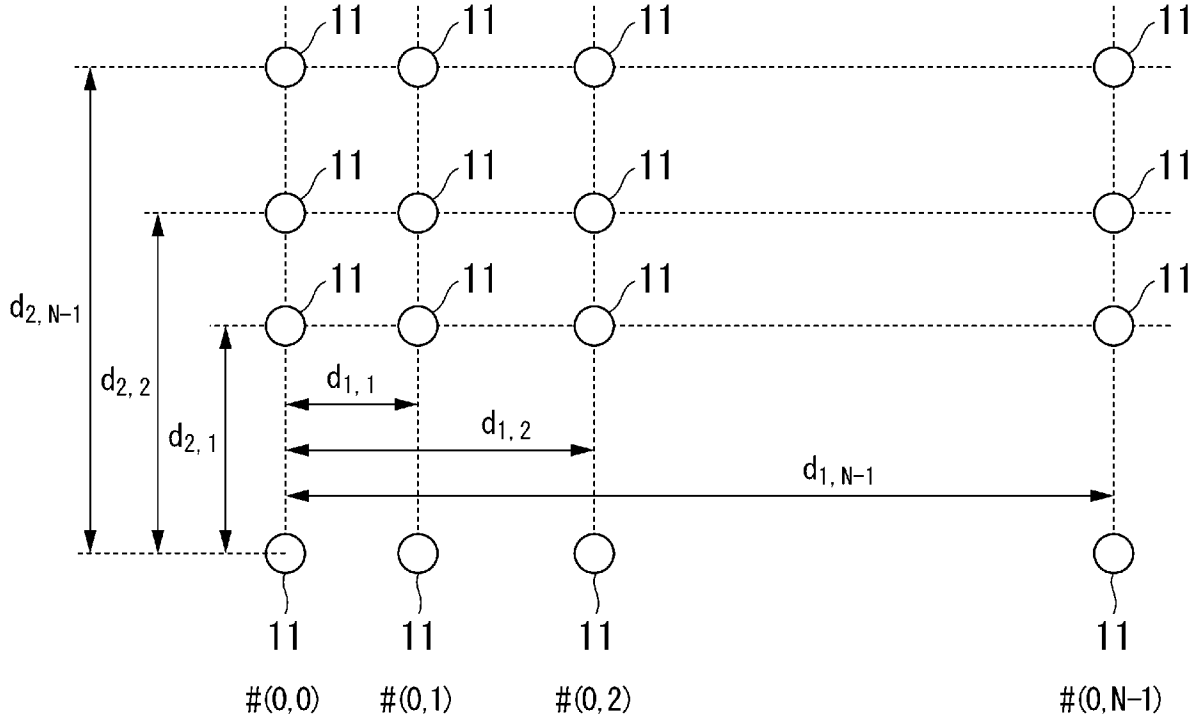
[図8]


−10
−12
−14
−16
−18
−20
MSE[dB]
0
20
40
60
80
Arrival angle[degree]
等間隔配置
第一配置
第二配置
第三配置

[図9]


11
11
11
$d_{2,N-1}$
$d_{2,2}$
$d_{2,1}$
$d_{1,1}$
$d_{1,2}$
$d_{1,N-1}$
11
11
11
11
#(0,0)
#(0,1)
#(0,2)
#(0,N-1)

[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2022/028803

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04B 7/08(2006.01)i; ***G10L 15/28***(2013.01)i
FI: H04B7/08 422; G10L15/28 400

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H04B7/08; G10L15/28

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2022
Registered utility model specifications of Japan 1996-2022
Published registered utility model applications of Japan 1994-2022

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

IEEE Xplore

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 6697633 B1 (NORTHROP GRUMMAR CORPORATION) 24 February 2004 (2004-02-24) column 1, line 45 to column 2, line 64, column 24, lines 4-30, column 27, line 38 to column 28, line 46, column 49, line 53 to column 50, line 26, column 74, line 5 to column 76, line 55, fig. 8A, 21, 24	1
Y	TAN, Kah-Chye et al. Linear independence of steering vectors of an electromagnetic vector sensor. IEEE Transactions on Signal Processing. December 1996, vol. 44, no. 12, pp. 3099-3107 in particular, sections I, II, IV	1
Y	JP 2007-178372 A (DENSO IT LABORATORY INC) 12 July 2007 (2007-07-12) paragraphs [0002]-[0005], fig. 1	1
Y	JP 2017-104476 A (SUMI, Chikayoshi) 15 June 2017 (2017-06-15) paragraphs [0071]-[0073], [0488], fig. 2	1
A	WO 99/65160 A1 (ITALTEL SPA) 16 December 1999 (1999-12-16) p. 4, line 13 to p. 7, line 19, fig. 1, 2	1

☑ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
16 September 2022	**27 September 2022**
Name and mailing address of the ISA/JP **Japan Patent Office (ISA/JP)** **3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915** **Japan**	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2022/028803

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	BACKES, Thomas D. Parameter Identifiability in a Phased-subarray MIMO Radar. 2014 IEEE Aerospace Conference. 19 June 2014 in particular, sections 1, 2	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2022/028803

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
US 6697633 B1	24 February 2004	US 6018317 A US 6310704 B1	
JP 2007-178372 A	12 July 2007	US 2007/0147482 A1 paragraphs [0004]-[0005], fig. 1	
JP 2017-104476 A	15 June 2017	US 2016/0157828 A1 paragraphs [0148]-[0150], [0488], fig. 2	
WO 99/65160 A1	16 December 1999	(Family: none)	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2022/028803

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

H04B 7/08(2006.01)i; G10L 15/28(2013.01)i
FI: H04B7/08 422; G10L15/28 400

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

H04B7/08; G10L15/28

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０２２年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２２年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２２年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

IEEE Xplore

C. 関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー*	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
Y	US 6697633 B1 (NORTHROP GRUMMAR CORPORATION) 24.02.2004 (2004-02-24) 第1欄第45-第2欄第64行,第24欄第4-30行,第27欄第38行-第28欄第46行,第49欄第53行-第50欄第26行,第74欄第5行-第76欄第55行,図8A, 図21,図24	1
Y	TAN, Kah-Chye et al., Linear independence of steering vectors of an electromagnetic vector sensor, IEEE Transactions on Signal Processing, 1996.12, VOL.44, NO.12, pp.3099-3107 特に第I節,第II節,第IV節	1
Y	JP 2007-178372 A (株式会社デンソーアイティーラボラトリ) 12.07.2007 (2007-07-12) 段落[0002]-[0005],図1	1
Y	JP 2017-104476 A (炭 親良) 15.06.2017 (2017-06-15) 段落[0071]-[0073],[0488],図2	1
A	WO 99/65160 A1 (ITALTEL SPA) 16.12.1999 (1999-12-16) 第4頁第13行-第7頁第19行,図1,図2	1

☑ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☑ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー
“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
“&” 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
16.09.2022	27.09.2022

名称及びあて先
日本国特許庁(ISA/JP)
〒100-8915
日本国
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

権限のある職員（特許庁審査官）
齊藤　晶 5K 1789

電話番号 03-3581-1101 内線 3556

C.　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー*	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
A	BACKES, Thomas D., Parameter Identifiability in a Phased-subarray MIMO Radar, 2014 IEEE Aerospace Conference, 2014.06.19 特に第1節,第2節	1

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
PCT/JP2022/028803

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
US 6697633 B1	24.02.2004	US 6018317 A US 6310704 B1	
JP 2007-178372 A	12.07.2007	US 2007/0147482 A1 段落[0004]-[0005],図1	
JP 2017-104476 A	15.06.2017	US 2016/0157828 A1 段落[0148]-[0150],[0488], 図2	
WO 99/65160 A1	16.12.1999	（ファミリーなし）	