

(19)日本国特許庁(JP)

## (12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7544286号  
(P7544286)

(45)発行日 令和6年9月3日(2024.9.3)

(24)登録日 令和6年8月26日(2024.8.26)

(51)国際特許分類 F I  
H 0 4 J 99/00 (2009.01) H 0 4 J 99/00

請求項の数 8 (全15頁)

(21)出願番号	特願2023-549297(P2023-549297)	(73)特許権者	000004226 日本電信電話株式会社 東京都千代田区大手町一丁目5番1号
(86)(22)出願日	令和3年9月27日(2021.9.27)	(74)代理人	110003199 弁理士法人高田・高橋国際特許事務所
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/035385	(72)発明者	山田 貴之 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内
(87)国際公開番号	WO2023/047582	(72)発明者	李 斗煥 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内
(87)国際公開日	令和5年3月30日(2023.3.30)	(72)発明者	増野 淳 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内
審査請求日	令和6年1月17日(2024.1.17)	(72)発明者	笹木 裕文

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 送信方法及び送信装置

## (57)【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

複数のアンテナ素子が円形に配置された円形アレーアンテナを用いて軌道角運動量多重伝送を行う送信方法において、

前記アンテナ素子それぞれの電波送信方向を変えるように、前記アンテナ素子それぞれを回転させる制御を行う回転制御工程と、

回転させる制御を行った前記アンテナ素子それぞれが放射する電波の振幅及び位相を、前記アンテナ素子それぞれの電波送信方向が揃うように制御する振幅位相制御工程とを含むことを特徴とする送信方法。

## 【請求項2】

送信すべきデジタル信号をアナログ信号に変換して処理する前に、搬送波に重畳させるように処理するデジタル信号処理工程をさらに含み、

前記回転制御工程及び前記振幅位相制御工程は、

前記デジタル信号処理工程に含まれること

を特徴とする請求項1に記載の送信方法。

## 【請求項3】

前記円形アレーアンテナは、

複数の前記アンテナ素子が同心異径の複数の円を構成するように配置されており、

前記回転制御工程では、

複数の前記アンテナ素子の中から選択された前記アンテナ素子を回転させる制御を行い、

10

20

前記振幅位相制御工程では、

前記回転制御工程で回転させる制御を行った前記アンテナ素子それぞれが放射する電波の振幅及び位相を制御すること

を特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の送信方法。

【請求項 4】

前記アンテナ素子それぞれが放射する電波が受信装置に向けて放射されるように、電波を放射させる前記アンテナ素子を選択して切替えるように制御する切替制御工程をさらに含むこと

を特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の送信方法。

【請求項 5】

複数のアンテナ素子が円形に配置された円形アレーアンテナを用いて軌道角運動量多重伝送を行う送信装置において、

前記アンテナ素子それぞれの電波送信方向を変えるように、前記アンテナ素子それぞれを回転させる制御を行う回転制御部と、

前記回転制御部が回転させる制御を行った前記アンテナ素子それぞれが放射する電波の振幅及び位相を、前記アンテナ素子それぞれの電波送信方向が揃うように制御する振幅位相制御部と

を有することを特徴とする送信装置。

【請求項 6】

送信すべきデジタル信号をアナログ信号に変換して処理する前に、搬送波に重畳させるように処理するデジタル信号処理部をさらに有し、

前記回転制御部及び前記振幅位相制御部は、

前記デジタル信号処理部に含まれるように構成されていること

を特徴とする請求項 5 に記載の送信装置。

【請求項 7】

前記円形アレーアンテナは、

複数の前記アンテナ素子が同心異径の複数の円を構成するように配置されており、

前記回転制御部は、

複数の前記アンテナ素子の中から選択された前記アンテナ素子を回転させる制御を行い、前記振幅位相制御部は、

前記回転制御部が回転させる制御を行った前記アンテナ素子それぞれが放射する電波の振幅及び位相を制御すること

を特徴とする請求項 5 又は 6 に記載の送信装置。

【請求項 8】

前記アンテナ素子それぞれが放射する電波が受信装置に向けて放射されるように、電波を放射させる前記アンテナ素子を選択して切替えるように制御する切替制御部をさらに有すること

を特徴とする請求項 5 ~ 7 のいずれか 1 項に記載の送信装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、無線通信における送信方法及び送信装置に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、無線通信の伝送容量を向上させるために、電磁波の軌道角運動量 (Orbital Angular Momentum : OAM) を用いた無線信号の空間多重伝送技術の検討が進められている (例えば、非特許文献 1 参照)。

【0003】

OAM を持つ電磁波は、伝搬軸を中心にして、伝搬方向にそって等位相面がらせん状に分布する。OAM 多重伝送では、異なる OAM モードをもつことができ、同一方向に伝搬

10

20

30

40

50

する電磁波は、回転軸方向において空間位相分布が直交する。このため、OAM多重伝送では、異なる信号系列で変調された各OAMモードの信号を受信装置において分離することにより、信号を多重伝送することが可能である。

【0004】

また、OAM多重技術を用いた無線通信システムでは、複数のアンテナ素子を等間隔に円形配置した等間隔円形アレーアンテナ（以下、UCA（Uniform Circular Array）と称する。）を用い、複数のOAMモードを生成・合成して送信することにより、異なる信号系列の空間多重伝送を実現することができる（例えば、非特許文献2参照）。複数のOAMモードの信号生成には、例えば、バトラー回路（バトラーマトリクス回路）が使用される。ただし、バトラー回路を使用することは一例である。

10

【0005】

また、異径の複数のUCAを同心円状に配置した多重UCAにより、同一OAMモードの信号を多重して送信することができる。受信装置は、MIMO（Multi Input Multi Output）技術により、同一OAMモード内で多重された信号を分離することができる。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0006】

【文献】J.Wang et al., "Terabit free-space data transmission employing orbital angular momentum multiplexing", Nature Photonics, Vol.6, July 2012, pp.488-496

20

【文献】Y.Yan et al., "High-capacity millimeter-wave communications with orbital angular momentum multiplexing", Nature Commun., vol.5, Sep. 2014, p.4876

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

上述したように、UCAを用いた送信装置は、複数のOAMモードで多重伝送を行うことにより、大容量の無線通信を実現することが可能である。また、OAM多重伝送技術を移動通信へ利用することが望まれている。移動通信にOAM多重伝送技術を利用するためには、多方向に信号を送信できる多方向対応や移動追従性が必要である。

【0008】

30

しかしながら、従来は、UCAを用いて送信方向を制御する場合、UCAを構成するアンテナ素子の指向性によって、送信方向が制限されるという問題があった。また、UCAによってOAM多重伝送の電波の方向を制御しようとする場合、方向によってはUCAの各アンテナ素子間で伝送時間差が生じることや、UCAの開口面が楕円形になるため、OAMモードの電磁界分布が正しく形成できないことがある。

【0009】

本発明は、上述した課題を鑑みてなされたものであり、複数のアンテナ素子が円形に配置された円形アレーアンテナの送信軸と受信軸との間に軸ずれが生じ得る場合にも、軌道角運動量多重伝送を可能にすることができる送信方法及び送信装置を提供することを目的とする。

40

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明の一態様にかかる送信方法は、複数のアンテナ素子が円形に配置された円形アレーアンテナを用いて軌道角運動量多重伝送を行う送信方法において、前記アンテナ素子それぞれの電波送信方向を変えるように、前記アンテナ素子それぞれを回転させる制御を行う回転制御工程と、回転させる制御を行った前記アンテナ素子それぞれが放射する電波の振幅及び位相を、前記アンテナ素子それぞれの電波送信方向が揃うように制御する振幅位相制御工程とを含むことを特徴とする。

【0011】

また、本発明の一態様にかかる送信装置は、複数のアンテナ素子が円形に配置された円

50

形アレーアンテナを用いて軌道角運動量多重伝送を行う送信装置において、前記アンテナ素子それぞれの電波送信方向を変えるように、前記アンテナ素子それぞれを回転させる制御を行う回転制御部と、前記回転制御部が回転させる制御を行った前記アンテナ素子それぞれが放射する電波の振幅及び位相を、前記アンテナ素子それぞれの電波送信方向が揃うように制御する振幅位相制御部とを有することを特徴とする。

【発明の効果】

【0012】

本発明によれば、複数のアンテナ素子が円形に配置された円形アレーアンテナの送信軸と受信軸との間に軸ずれが生じ得る場合にも、軌道角運動量多重伝送を可能にすることができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】一実施形態にかかる無線通信システムの構成例を示す図である。

【図2】送信装置及び受信装置が有する複数のアンテナ素子の配置例を示す図である。

【図3】(a)は、OAMモード0の信号生成を示す図である。(b)は、OAMモード1の信号生成を示す図である。(c)は、OAMモード2の信号生成を示す図である。(d)は、OAMモード3の信号生成を示す図である。

【図4】(a)は、OAMモード1の位相分布を例示する図である。(b)は、OAMモード2の位相分布を例示する図である。(c)は、OAMモード1, 2の伝搬方向における信号強度分布を例示する図である。

20

【図5】4つの異径のUCAが同心円に配置された多重UCAを例示する図である。

【図6】送信装置の送信軸と、受信装置の受信軸とがずれてしまった状態を示す図である。

【図7】(a)は、送信装置が備えるUCAを正面(送信方向A)から見た状態を模式的に示す図である。図7(b)は、送信装置が備えるUCAの動作の概要を模式的に示す図である。

【図8】送信装置の第1構成例を示す図である。

【図9】送信装置の第2構成例を示す図である。

【図10】送信装置の第3構成例を示す図である。

【図11】パトラー回路を備えたOAMモード生成部を例示する図である。

【図12】送信装置の動作例を示すフローチャートである。

30

【図13】電波の放射方向を例示する図である。

【図14】電波の他の放射方向を例示する図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

以下に、図面を用いて無線通信システムの一実施形態を説明する。図1は、一実施形態にかかる無線通信システム1の構成例を示す図である。無線通信システム1は、例えば送信装置(送信局)2、受信装置(受信局)3、及び制御装置(制御局)4を有し、送信装置2と受信装置3がUCAを用いたOAM-MIMO(Multi Input Multi Output)通信を行うように構成されている。例えば、送信装置2及び受信装置3は、複数のアンテナ素子が円形に配置された円形アレーアンテナを用いて軌道角運動量多重伝送を行う。

40

【0015】

なお、送信装置2及び受信装置3は、例えばそれぞれ送信機能及び受信機能を備えるように同一の構成の無線通信装置であってもよい。制御装置4は、送信装置2及び受信装置3それぞれに対して制御用信号を送信する。ただし、無線通信システム1は、制御装置4を備えないように構成されてもよい。

【0016】

図2は、送信装置2及び受信装置3が有する複数のアンテナ素子の配置例を示す図である。送信装置2及び受信装置3は、複数のアンテナ素子200が円形に配置された円形アレーアンテナ(例えばUCA)を有してOAM多重通信を行う。なお、UCAは、複数のアンテナ素子200が1つの円形に配置されていてもよいし、複数のアンテナ素子200

50

が同心異径の複数の円形に配置されていてもよい。

【0017】

図3は、OAMモードの信号を生成するためのUCAの位相設定例を示す図である。図3(a)は、OAMモード0の信号生成を示す図である。図3(b)は、OAMモード1の信号生成を示す図である。図3(c)は、OAMモード2の信号生成を示す図である。図3(d)は、OAMモード3の信号生成を示す図である。ここでは、UCAは、8つのアンテナ素子200を有する場合が示されている。なお、付記された数字は、基準位相(0°)信号に対する位相差を示す。

【0018】

図3において、送信側におけるOAMモード0, 1, 2, 3, ...の信号は、UCAの各アンテナ素子(黒丸で示す)に供給される信号の位相差により生成される。すなわち、OAMモードnの信号は、位相がn回転( $n \times 360$ 度)になるように各アンテナ素子に供給する信号の位相を設定して生成する。

10

【0019】

例えば、UCAが $m = 8$ 個のアンテナ素子で構成される場合、OAMモード $n = 2$ の信号を生成する場合は、図3(c)に示すように、位相が2回転するように、各アンテナ素子に反時計回りに $360n/m = 90$ 度の位相差(0度, 90度, 180度, 270度, 0度, 90度, 180度, 270度)を設定する。

【0020】

なお、OAMモードnの信号に対して位相の回転方向を逆にした信号をOAMモード-nとする。例えば、正のOAMモードの信号の位相の回転方向を反時計回りとし、負のOAMモードの信号の位相の回転方向を時計回りとする。

20

【0021】

OAM多重通信では、異なる信号系列を異なるOAMモードの信号として生成し、生成した信号を同時に送信することにより、空間多重による無線通信を行うことができる。

【0022】

受信装置3がOAM多重信号を分離するためには、受信装置3のUCAの各アンテナ素子の位相を、送信装置2のアンテナ素子の位相と逆方向になるように設定されていればよい。

【0023】

図4は、OAM多重信号の位相分布と信号強度分布を例示する図である。図4(a)は、OAMモード1の位相分布を例示する図である。図4(b)は、OAMモード2の位相分布を例示する図である。図4(c)は、OAMモード1, 2の伝搬方向における信号強度分布を例示する図である。

30

【0024】

図4(a), (b)では、送信装置2から伝搬方向に直交する端面(伝搬直交平面)で見た信号の位相分布を矢印で示している。矢印の始めは0度である。位相は線形に変化する。矢印の終わりは360度である。すなわち、OAMモードnの信号は、伝搬直交平面において、位相がn回転( $n \times 360$ 度)しながら伝搬する。なお、OAMモード-1, -2の信号の位相分布の矢印は逆向きになる。

40

【0025】

各OAMモードの信号は、OAMモードごとに信号強度分布と信号強度が最大になる位置が異なる。ただし、符号が異なる同じOAMモードの強度分布は同じである。具体的には、OAMモードが高次になるほど、信号強度が最大になる位置が伝搬軸から遠くなる(非特許文献2参照)。ここで、OAMモードの値が大きい方を高次モードと称する。例えば、OAMモード3の信号は、OAMモード0、OAMモード1、又はOAMモード2の信号より高次モードである。

【0026】

図4(c)では、OAMモードごとに信号強度が最大になる位置が円環で示されている。OAMモードが高次になるほど信号強度が最大になる位置が中心軸から遠くなり、かつ

50

伝搬距離に応じてOAMモード多重信号のビーム径が広がり、OAMモードごとに信号強度が最大になる位置を示す円環が大きくなる。

【0027】

図5は、4つの異径のUCAが同心円に配置された多重UCAを例示する図である。図5に示したように、異径の複数のUCAを同心円状に配置した多重UCAにより、同一OAMモードの信号を多重して送信することが可能である。受信装置3は、MIMO技術により、同一OAMモード内で多重された信号を分離することができる。

【0028】

上述したように、UCAを用いてOAM多重伝送を行うことにより、大容量の無線通信が可能になるが、複数のOAMモードの信号をモード間の干渉なく分離するためには、送信アンテナと受信アンテナをそれぞれ正面で対向する位置に設置する必要がある。しかし、送信装置2又は受信装置3が移動する場合などには、従来は、送信装置2の送信軸と、受信装置3の受信軸とが合わず、OAM多重伝送を行うことが困難となっていた。すなわち、UCAは、多方向への通信に対応する必要があり、移動追従性も必要となってくる。

【0029】

例えば、図6に示すように、送信装置2の送信軸と、受信装置3の受信軸とがずれてしまうと、受信装置3の受信アンテナでは、OAMを表す電磁界分布を形成されない。

【0030】

そこで、本実施形態にかかる送信装置2は、アンテナ素子それぞれの電波送信方向を変えるように、アンテナ素子それぞれを回転させ、アンテナ素子それぞれが放射する電波の振幅及び位相を、アンテナ素子それぞれの電波送信方向が揃うように制御する。なお、送信装置2は、1つのOAMモードの送信を行ってもよい。また、OAM伝送には、OAM多重伝送が含まれる。

【0031】

図7は、送信装置2が備えるUCAの概要を模式的に示す図である。図7(a)は、送信装置2が備えるUCAを正面(送信方向A)から見た状態を模式的に示す図である。図7(b)は、送信装置2が備えるUCAの動作の概要を模式的に示す図である。

【0032】

アンテナ素子200間の伝搬時間差は、位相差となり、下式(1)のように示される。

【0033】

【数1】

$$T_{mn, S} = R \cdot \cos \theta_{mn} \cdot \sin(\alpha_m) / c \quad \dots(1)$$

【0034】

図7に示すように、送信装置2が備えるUCAは、複数のアンテナ素子200それぞれが任意の方向に回転するように構成されている。なお、アンテナ素子200は、回転が水平方向に回転する1軸に限定されることなく、3次元の任意の方向(仰角を含む)に回転するように構成されてもよい。

【0035】

そして、送信装置2が備えるUCAは、図7(b)に示したように所定の送信方向Bに向けてアンテナ素子200それぞれを回転させることができる。つまり、UCAを構成する個々のアンテナ素子200の指向性(放射強度が最大になる方向)を送信軸の方向に向けることができる。

【0036】

次に、送信装置2の第1構成例について説明する。図8は、送信装置2の第1構成例を示す図である。図8に示すように、送信装置2の第1構成例は、例えばデジタル信号処理部21、アナログ信号処理部22、OAMモード生成部23、切替制御部24、回転制御部25、振幅位相制御部26、UCA27、及び制御部28を有する。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 3 7 】

デジタル信号処理部 2 1 は、入力されたデータを用いて、搬送波に重畳させて送信するデジタル信号を生成し、生成したデジタル信号をアナログ信号処理部 2 2 に対して出力する。つまり、デジタル信号処理部 2 1 は、送信すべきデジタル信号をアナログ信号に変換して処理する前に、搬送波に重畳させるように処理を行う。

## 【 0 0 3 8 】

アナログ信号処理部 2 2 は、デジタル信号をアナログ信号に変換するなどの処理を行い、処理結果を O A M モード生成部 2 3 に対して出力する。

## 【 0 0 3 9 】

O A M モード生成部 2 3 は、入力されたアナログ信号を用いて、1 又は複数の O A M モードの信号を生成し、生成した信号を切替制御部 2 4 に対して出力する。

10

## 【 0 0 4 0 】

切替制御部 2 4 は、アンテナ素子 2 0 0 それぞれが放射する電波が受信装置 3 に向けて放射されるように、電波を放射させるアンテナ素子 2 0 0 を選択して切替えるように制御する。

## 【 0 0 4 1 】

回転制御部 2 5 は、アンテナ素子 2 0 0 それぞれの電波送信方向を変えるように、アンテナ素子 2 0 0 それぞれを回転させる制御を行う。

## 【 0 0 4 2 】

振幅位相制御部 2 6 は、回転制御部 2 5 が回転させる制御を行ったアンテナ素子 2 0 0 それぞれが放射する電波の振幅及び位相を、アンテナ素子 2 0 0 それぞれの電波送信方向が揃うように制御する。

20

## 【 0 0 4 3 】

制御部 2 8 は、送信装置 2 を構成する各部を制御する。例えば、振幅位相制御部 2 6 は、制御部 2 8 からの指示に基づいて、切替制御部 2 4 により切替（選択）された 1 つ又は複数のアンテナ素子 2 0 0（又は U C A）に対して入力する信号の振幅・位相を所定の送信方向へ合わせるように制御する。

## 【 0 0 4 4 】

例えば、振幅位相制御部 2 6 は、送信方向に対して垂直な平面において、O A M モードの電磁界分布が正しく形成できるように、各アンテナ素子 2 0 0 からの振幅・位相を制御する。

30

## 【 0 0 4 5 】

また、振幅位相制御部 2 6 は、U C A 2 7 により適切な各 O A M モードの電磁界分布が形成できるように、受信装置 3 からのチャネル状態を示す情報をフィードバック受信し、受信装置 3 のチャネルの理想状態に対する差分を補正するように振幅・位相を制御してもよい。

## 【 0 0 4 6 】

したがって、送信装置 2 は、多重 U C A から 1 方向の O A M 多重伝送、複数方向の O A M 多重伝送、1 方向の O A M - M I M O 多重伝送、複数方向の O A M M I M O 多重伝送、ある方向の O A M 多重伝送と別の方向の O A M - M I M O 多重伝送の同時送信などを行うことができる。

40

## 【 0 0 4 7 】

次に、送信装置 2 の第 2 構成例について説明する。図 9 は、送信装置 2 の第 2 構成例を示す図である。図 9 に示すように、送信装置 2 の第 2 構成例は、デジタル信号処理部 2 1、アナログ信号処理部 2 2、U C A 2 7、及び制御部 2 8 を有する。以下、図 8 に示した送信装置 2 の第 1 構成例の構成と実質的に同一の構成には同一の符号を付すこととする。

## 【 0 0 4 8 】

ここでは、上述した O A M モード生成部 2 3、切替制御部 2 4、回転制御部 2 5、及び振幅位相制御部 2 6 がデジタル信号処理部 2 1 に含まれるように構成されている。

## 【 0 0 4 9 】

50

すなわち、送信装置 2 の第 2 構成例は、例えばデジタル信号処理により O A M モード信号を生成し、デジタルの O A M モード信号を各アンテナ素子 2 0 0 から放射する信号の振幅・位相差を予め調整しておいてもよい。その後、送信装置 2 の第 2 構成例は、デジタルの O A M モード信号をアナログ信号に変換して U C A 2 7 へ供給する。

【 0 0 5 0 】

次に、送信装置 2 の第 3 構成例について説明する。図 1 0 は、送信装置 2 の第 3 構成例を示す図である。図 1 0 に示すように、送信装置 2 の第 3 構成例は、例えばデジタル信号処理部 2 1、アナログ信号処理部 2 2、O A M モード生成部 2 3、複数の切替制御部 2 4、複数の回転制御部 2 5、複数の振幅位相制御部 2 6、複数の U C A 2 7、及び制御部 2 8 を有する。

10

【 0 0 5 1 】

ここでは、U C A 2 7 は、同心異径の多重 U C A である。多重 U C A の U C A 2 7 において選択可能な U C A が N 個（例えば N = 4）あるものとし、それぞれ U C A - 1 ~ U C A - N とする。

【 0 0 5 2 】

回転制御部 2 5 は、例えば複数のアンテナ素子 2 0 0 の中から切替制御部 2 4 により切替られた（選択された）アンテナ素子 2 0 0 を所定の方向に向けるように回転させる制御を行う。

【 0 0 5 3 】

振幅位相制御部 2 6 は、回転制御部 2 5 が回転させる制御を行ったアンテナ素子 2 0 0 それぞれが放射する電波の振幅及び位相を制御する。

20

【 0 0 5 4 】

なお、図 1 0 に示した送信装置 2 の第 3 構成例では、O A M モード生成部 2 3 は、図 1 1 に示したように、例えば 4 つパトラー回路 2 3 0 を備えてアナログ信号から O A M モード信号を作成するように構成されている。

【 0 0 5 5 】

O A M モード生成部 2 3 が備えるパトラー回路の数は、例えば多重 U C A の中から同時に選択される U C A の数に相当する。

【 0 0 5 6 】

例えば、多重 U C A から、U C A - 1、U C A - 2、U C A - 3、U C A - 4 を選択して、4 つの方向への O A M 多重伝送を同時に行う場合、4 つのパトラー回路 2 3 0 は、それぞれ対応する U C A（振幅位相制御部 2 6 に接続された U C A）へ、1 又は複数の O A M モードの信号を送信する。例えば、各 U C A で O A M モード 1 と O A M モード 2 の多重を行う場合、各 U C A へ O A M モード 1 の信号と O A M モード 2 の信号が供給される。

30

【 0 0 5 7 】

また、例えば、多重 U C A によって同一方向へ O A M - M I M O 多重伝送を行う場合にも同様に、各パトラー回路 2 3 0 から対応する U C A へ 1 又は複数の O A M モードの信号が供給される。

【 0 0 5 8 】

一例として、1 つのパトラー回路 2 3 0 に接続される U C A が 8 つのアンテナ素子 2 0 0 によって構成される場合、O A M モード 1 と O A M モード - 1 の多重を行うときに、各パトラー回路 2 3 0 は、8 つの出力ポートを備える。そして、各出力ポートから反時計回りに  $45^\circ$ （ $360^\circ / 8$ ）ずつの位相差をもった信号と、反時計回りに  $-45^\circ$  ずつの位相差をもった信号が合波（多重）された信号が出力される。各出力ポートからの信号は、対応するアンテナ素子 2 0 0 に供給される。

40

【 0 0 5 9 】

そして、当該 U C A の 8 つのアンテナ素子 2 0 0 からは、以下の位相をもった 2 つの信号が合波された信号が出力される。

【 0 0 6 0 】

アンテナ素子 # 1 = (  $0^\circ$  ,  $0^\circ$  )、アンテナ素子 # 2 = (  $45^\circ$  ,  $-45^\circ$  )、アン

50

テナ素子# 3 = ( 90° , - 90° )、アンテナ素子# 4 = ( 135° , - 135° )、アンテナ素子# 5 = ( 180° , - 180° )、アンテナ素子# 6 = ( 225° , - 225° )、アンテナ素子# 7 = ( 270° , - 270° )、アンテナ素子# 8 = ( 315° , - 315° )。

【 0 0 6 1 】

図 1 2 は、送信装置 2 の動作例を示すフローチャートである。S 1 0 0 において、デジタル信号処理部 2 1 にデータが入力される。S 1 0 2 において、デジタル信号処理部 2 1 は、入力されたデータから搬送波に重畳させて送信するデジタル信号を生成し、生成したデジタル信号をアナログ信号処理部 2 2 に対して出力する。

【 0 0 6 2 】

S 1 0 4 において、アナログ信号処理部 2 2 は、デジタル信号をアナログ信号に変換 ( デジタル - アナログ変換 ) し、出力信号の周波数を搬送波の周波数帯 ( 例 : 2 8 G H z 帯 ) に変換する。そして、アナログ信号処理部 2 2 は、生成したアナログ信号を O A M モード生成部 2 3 に対して出力する。

【 0 0 6 3 】

S 1 0 6 において、O A M モード生成部 2 3 は、O A M モードを生成し、生成した信号を各出力ポートから出力する。例えば、O A M モード生成部 2 3 は、図 1 1 に示したパトラー回路 2 3 0 を備えた構成であり、4 つの U C A によって O A M モード 1 と - 1 の O A M 多重伝送を同時に行う場合、O A M モード生成部 2 3 における各パトラー回路 2 3 0 には、O A M モード 1 で送信する信号と O A M モード - 1 で送信する信号がアナログ信号処理部 2 2 から入力される。

【 0 0 6 4 】

S 1 0 8 において、切替制御部 2 4 は、アンテナ素子 2 0 0 を切替える制御を行う。S 1 1 0 において、回転制御部 2 5 は、アンテナ素子 2 0 0 それぞれの方向を所定の方向に向けるようにアンテナ素子 2 0 0 を回転させる制御を行う。

【 0 0 6 5 】

S 1 1 2 において、振幅位相制御部 2 6 は、電波の送信方向に合わせて各 U C A の各アンテナ素子 2 0 0 へ信号が振幅と位相を調整して供給されるように制御を行う。そして、S 1 1 4 において、送信装置 2 は、電波を U C A から送信する。

【 0 0 6 6 】

次に、制御部 2 8 が行う制御の例について説明する。上述したように、送信装置 2 は、任意の方向にアンテナ素子 2 0 0 を向けることができる U C A を選択して、その方向への O A M 多重伝送を行う。このための制御を制御部 2 8 が実行する。

【 0 0 6 7 】

例えば、送信装置 2 における制御部 2 8 が、各受信装置 3 の位置 ( 送信装置 2 に対する受信装置 3 が存在する方向でもよい ) を把握しているとする。なお、送信装置 2 の制御部 2 8 が、受信装置 3 の状態 ( 受信装置 3 の位置等 ) を把握する方法は、どのような方法であってもよい。

【 0 0 6 8 】

例えば、制御部 2 8 は、受信装置 3 から送信された参照信号を受信することによって受信装置 3 の位置を把握してもよいし、受信装置 3 から送信された位置情報を受信することによって受信装置 3 の位置を把握してもよい。また、制御部 2 8 に、受信装置 3 の位置 ( 固定位置、時刻毎の移動予定位置等 ) が予め設定されていてもよい。

【 0 0 6 9 】

例えば、制御部 2 8 は、図 1 3 に示す位置 A に信号送信対象の受信装置 3 があると判断する。このとき、制御部 2 8 は、送信装置 2 から位置 A への方向に送信するための各アンテナ素子 2 0 0 への出力ごとの振幅・位相調整量を算出し、振幅位相制御部 2 6 に対して振幅・位相を調整する指示を行う。

【 0 0 7 0 】

なお、送信装置 2 は、同心異径の U C A を複数個選択可能な場合には、複数 U C A のう

10

20

30

40

50

ちのいずれか複数又は全部のUCAを選択してOAM-MIMO多重伝送を行ってもよい。  
【0071】

また、図14に示したように、位置Aとは異なる位置Bに受信装置3が存在する場合にも同様に、送信装置2は、位置Bに向けて電波が放射されるように振幅・位相調整を行う。  
【0072】

さらに、受信装置3が位置Bから位置A(図13)に移動する場合、制御部28は、受信装置3の移動を追跡する。つまり、上述したように、制御部28は、受信装置3の位置を常に把握していることとする。  
【0073】

例えば、制御部28は、受信装置3の移動前に選択したUCA-Xの送信軸と、受信装置3の移動後の送信軸との角度がある閾値以上になった場合に、受信装置3との通信のためのUCAをUCA-Xから、他のUCAに切り替える。  
【0074】

すなわち、送信装置2は、受信装置3の移動後の位置を位置A'とすると、送信装置2から位置A'への方向(送信軸)に送信可能なUCA-X'を選択し、受信装置3との通信のためのUCAをUCA-XからUCA-X'へ切り替え、アンテナ素子200の方向と出力信号の振幅・位相を調整する。  
【0075】

以上説明したように、実施形態にかかる送信装置2は、アンテナ素子200それぞれの電波送信方向を変えるように、アンテナ素子200それぞれを回転させる制御を行い、アンテナ素子200それぞれが放射する電波の振幅及び位相を、アンテナ素子200それぞれの電波送信方向が揃うように制御するので、UCA27の送信軸と受信軸との間に軸ずれが生じ得る場合にも、軌道角運動量多重伝送を可能にすることができる。  
【0076】

なお、上述した実施形態における送信装置2、受信装置3及び制御装置4を構成する各部分は、一部又は全部が、ハードウェアによって構成されてもよいし、プログラムをプロセッサに実行させることによって構成されてもよい。  
【0077】

また、送信装置2、受信装置3及び制御装置4を構成する各部分は、一部又は全部がプログラムをプロセッサに実行させることによって構成されている場合、当該プログラムが記録媒体に記録されて供給されてもよいし、ネットワークを介して供給されてもよい。  
【0078】

以上、本発明の実施形態について説明したが、本発明は、上述した実施形態に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載された本発明の要旨の範囲内において、種々の変形・変更が可能である。

#### 【符号の説明】

#### 【0079】

1・・・無線通信システム、2・・・送信装置、3・・・受信装置、4・・・制御装置、21・・・デジタル信号処理部、22・・・アナログ信号処理部、23・・・OAMモード生成部、24・・・切替制御部、25・・・回転制御部、26・・・振幅位相制御部、27・・・UCA、28・・・制御部、200・・・アンテナ素子

10

20

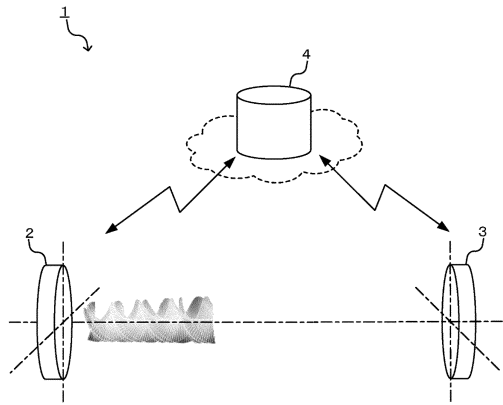
30

40

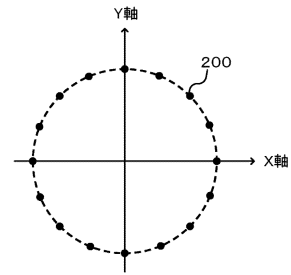
50

【図面】

【図 1】

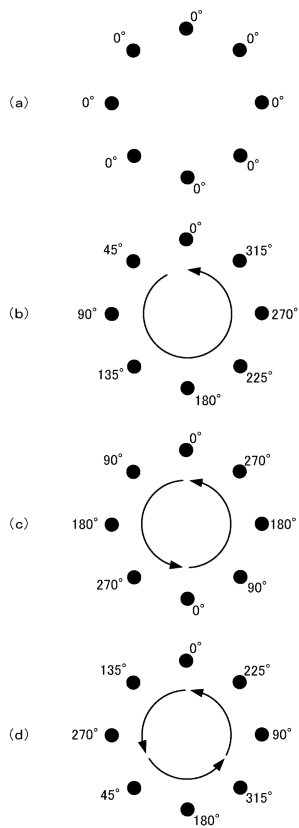


【図 2】

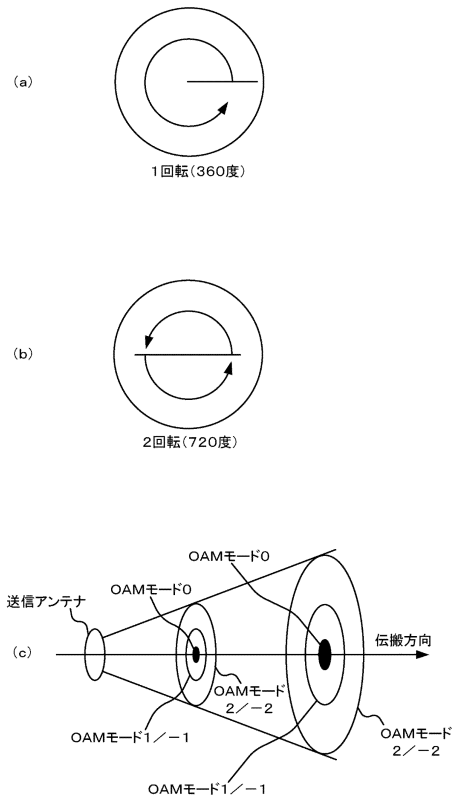


10

【図 3】



【図 4】



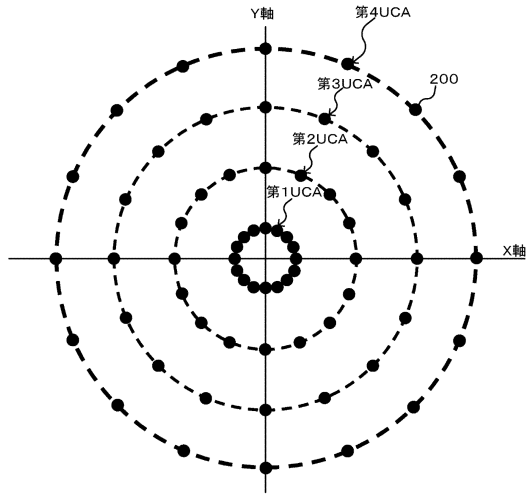
20

30

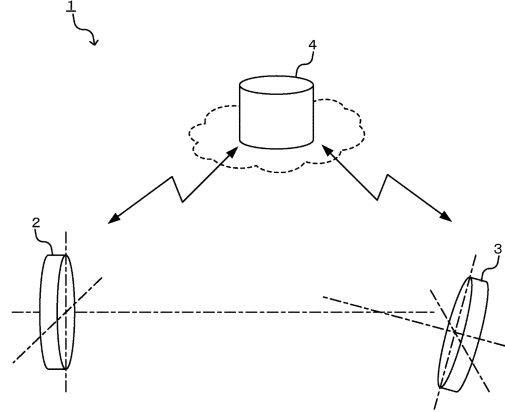
40

50

【図5】

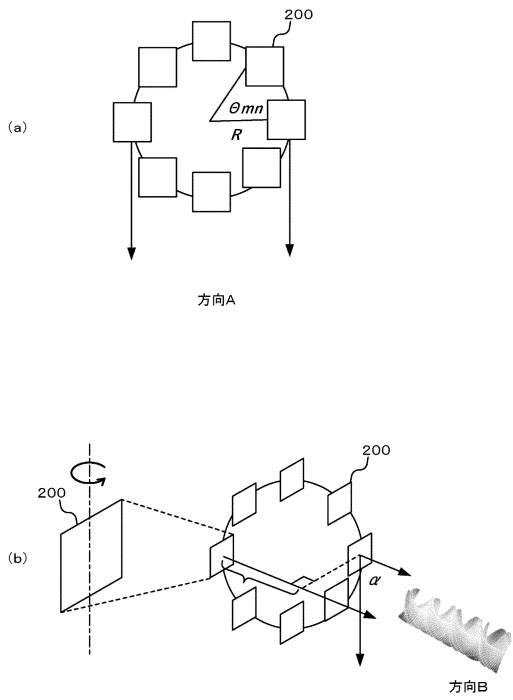


【図6】

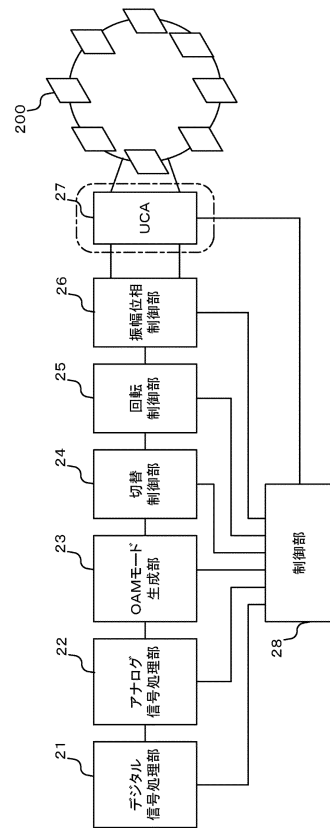


10

【図7】



【図8】



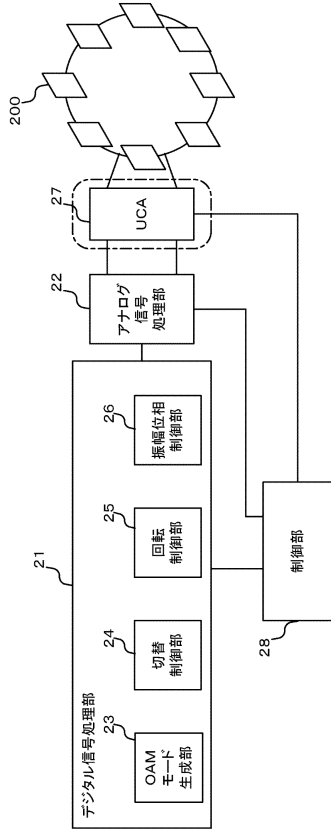
20

30

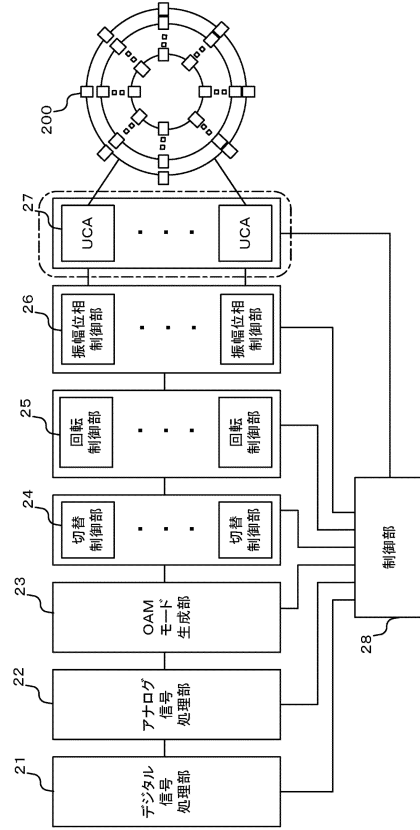
40

50

【図 9】



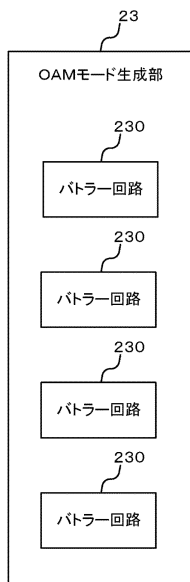
【図 10】



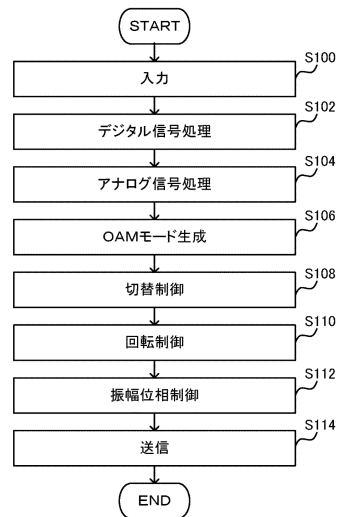
10

20

【図 11】



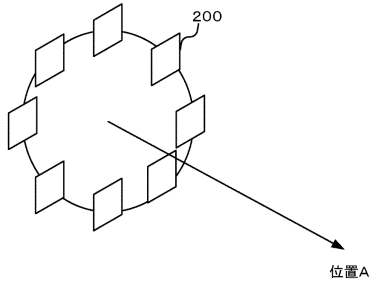
【図 12】



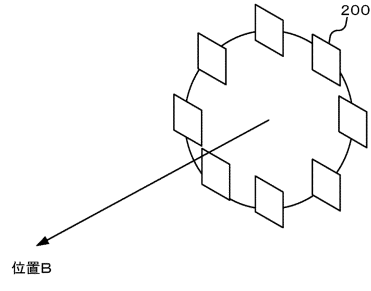
30

40

【 1 3 】



【 1 4 】



10

20

30

40

50

## フロントページの続き

- 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内  
(72)発明者 八木 康德  
東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内  
(72)発明者 景山 知哉  
東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内  
審査官 吉江 一明  
(56)参考文献 特開2017-224989(JP,A)  
特開2015-231108(JP,A)  
国際公開第2019/059408(WO,A1)  
国際公開第2009/017230(WO,A1)  
(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
H04J 99/00