

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7559839号  
(P7559839)

(45)発行日 令和6年10月2日(2024.10.2)

(24)登録日 令和6年9月24日(2024.9.24)

(51)国際特許分類 F I  
H 0 4 J 99/00 (2009.01) H 0 4 J 99/00  
H 0 4 B 7/06 (2006.01) H 0 4 B 7/06 1 5 0

請求項の数 6 (全21頁)

(21)出願番号	特願2022-572851(P2022-572851)	(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2年12月28日(2020.12.28)	(74)代理人	110004381 弁理士法人 I T O H
(86)国際出願番号	PCT/JP2020/049209	(74)代理人	100107766 弁理士 伊東 忠重
(87)国際公開番号	WO2022/145008	(74)代理人	100070150 弁理士 伊東 忠彦
(87)国際公開日	令和4年7月7日(2022.7.7)	(74)代理人	100124844 弁理士 石原 隆治
審査請求日	令和5年4月13日(2023.4.13)	(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
		(72)発明者	笹木 裕文

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 送信装置、無線通信システム、及び通信方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

O A Mモードを持つ信号を送信するO A Mアンテナと、  
曲がる性質を持つビームを用いて信号を送信するエアリービームアンテナと、  
前記O A Mアンテナと前記エアリービームアンテナの両方を用いて信号を送信する送信部と

を備える送信装置。

【請求項2】

O A Mモードを持つ信号を送信するO A Mアンテナと、  
曲がる性質を持つビームを用いて信号を送信するエアリービームアンテナと、  
前記O A Mアンテナのみ、前記エアリービームアンテナのみ、又は、前記O A Mアンテナと前記エアリービームアンテナの両方を用いて信号を送信する送信部と、

信号送信に使用するアンテナとして、前記O A Mアンテナのみ、前記エアリービームアンテナのみ、及び、前記O A Mアンテナと前記エアリービームアンテナの両方、のうちの前記O A Mアンテナと前記エアリービームアンテナの両方を選択し、選択した前記O A Mアンテナと前記エアリービームアンテナの両方を用いて前記送信部に信号送信を行わせる制御部と

を備える送信装置。

【請求項3】

前記エアリービームアンテナは、受信装置の位置に向かう軌道を持つビームで信号を送

信する

請求項 1 又は 2 に記載の送信装置。

【請求項 4】

前記送信部は、前記 O A M モードを持つ信号の受信強度が弱くなる位置に向けて、前記エアリービームアンテナにより曲がるビームで信号を送信する

請求項 1 ないし 3 のうちいずれか 1 項に記載の送信装置。

【請求項 5】

送信装置と複数の受信装置とを備える無線通信システムであって、

前記送信装置は、

O A M モードを持つ信号を送信する O A M アンテナと、

曲がる性質を持つビームを用いて信号を送信するエアリービームアンテナと、を備え、前記送信装置は、第 1 の受信装置に対して、前記 O A M アンテナを用いて前記 O A M モードの信号を送信し、前記 O A M モードの信号の受信強度が弱くなる位置にある第 2 の受信装置に対して、前記エアリービームアンテナを用いて曲がるビームにより信号を送信する無線通信システム。

10

【請求項 6】

送信装置と受信装置とを備える無線通信システムにおける通信方法であって、

前記送信装置は、

O A M モードを持つ信号を送信する O A M アンテナと、

曲がる性質を持つビームを用いて信号を送信するエアリービームアンテナと、を備え、前記送信装置は、第 1 の受信装置に対して、前記 O A M アンテナを用いて前記 O A M モードの信号を送信し、前記 O A M モードの信号の受信強度が弱くなる位置にある第 2 の受信装置に対して、前記エアリービームアンテナを用いて曲がるビームにより信号を送信する通信方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電磁波の軌道角運動量 (Orbital Angular Momentum : O A M) を用いて無線信号を空間多重伝送する技術に関連するものである。

【背景技術】

【0002】

近年、伝送容量向上のため、O A M 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)。O A M を持つ電磁波は、伝搬軸を中心に伝搬方向にそって等位相面がらせん状に分布する。異なる O A M モードを持ち、同一方向に伝搬する電磁波は、回転軸方向において空間位相分布が直交するため、異なる信号系列で変調された各 O A M モードの信号を受信局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。

30

【0003】

この O A M 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、U C A (Uniform Circular Array) と称する。) を用い、複数の O A M 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できる (例えば、非特許文献 2)。複数の O A M 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。

40

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0004】

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

【文献】Y. Yan et al., "High-capacity millimeter-wave communications with or

50

bital angular momentum multiplexing, "Nature Commun., vol.5, p.4876, Sep. 2014.

【文献】Long Zhu, Andong Wang & Jian Wang, "Free-space data-carrying bendable light communications", Scientific Reports volume 9, Article number: 14969 (2019), 18 October 2019

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

上記のように、UCAを用いた送信装置と受信装置により、大容量の通信が可能になるが、今後は、移動通信への対応が望まれている。移動通信にOAM多重伝送技術を適用するためには、多方向に信号を送信できる多方向対応が必要である。

10

【0006】

しかし、UCAを用いた従来の無線伝送技術では、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、送信アンテナと受信アンテナを正面で対向する位置に設置する必要があり、軸合わせが必要であることから多方向対応が難しいという課題がある。

【0007】

本発明は上記の点に鑑みてなされたものであり、UCAを用いた送信装置と受信装置からなる無線通信システムにおいて、多方向対応を可能とする技術を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

20

【0008】

開示の技術によれば、OAMモードを持つ信号を送信するOAMアンテナと、曲がる性質を持つビームを用いて信号を送信するエアリービームアンテナと、前記OAMアンテナと前記エアリービームアンテナの両方を用いて信号を送信する送信部とを備える送信装置が提供される。

【発明の効果】

【0009】

開示の技術によれば、UCAを用いた送信装置と受信装置からなる無線通信システムにおいて、多方向対応を可能とする技術が提供される。

30

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】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2】OAM多重信号の位相分布と信号強度分布の例を示す図である。

【図3】本発明の実施の形態に係る技術の基本概念を説明するための図である。

【図4】本発明の実施の形態における無線通信システムの構成例を示す図である。

【図5】本発明の実施の形態における送信装置の構成例を示す図である。

【図6】パトラー回路とアンテナ素子との接続構成例を示す図である。

【図7】本発明の実施の形態における送信装置の構成例を示す図である。

【図8】パトラー回路とアンテナ素子との接続構成例を示す図である、

40

【図9】処理の流れを示すフローチャートである。

【図10】動作例を説明するための図である。

【図11】動作例を説明するための図である。

【図12】アンテナの構成例を示す図である。

【図13】アンテナの構成例を示す図である。

【図14】アンテナの構成例を示す図である。

【図15】アンテナの構成例を示す図である。

【図16】アンテナからの距離と受信強度との関係の例を示す図である。

【図17】送信装置と受信装置を上から見た場合の図である。

【図18】複数のUCAを有するアンテナの例を示す図である。

50

## 【発明を実施するための形態】

## 【0011】

以下、図面を参照して本発明の実施の形態（本実施の形態）を説明する。以下で説明する実施の形態は一例に過ぎず、本発明が適用される実施の形態は、以下の実施の形態に限られるわけではない。

## 【0012】

（基本的な動作例）

まず、本実施の形態における送信装置において使用するUCAに係る基本的な設定・動作例について説明する。

## 【0013】

図1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1に示すUCAは、8つのアンテナ素子からなるUCAである。

## 【0014】

図1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（ $\theta_n$ 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。例えば、図1に示すようにUCAが $m = 8$ 個のアンテナ素子で構成される場合で、OAMモード $n = 2$ の信号を生成する場合は、図1(3)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。

## 【0015】

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。

## 【0016】

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で、空間多重による無線通信を行うことができる。送信側では、各OAMモードで伝送する信号を予め生成・合成し、単一UCAで各OAMモードの合成信号を送信してもよいし、複数のUCAを用いて、OAMモード毎に異なるUCAで各OAMモードの信号を送信してもよい。

## 【0017】

受信側でOAM多重信号を分離するためには、受信側のUCAの各アンテナ素子の位相を、送信側のアンテナ素子の位相と逆方向になるように設定すればよい。

## 【0018】

図2は、OAM多重信号の位相分布と信号強度分布の例を示す。図2(1), (2)において、送信側から伝搬方向に直交する端面（伝搬直交平面）で見た、OAMモード1とOAMモード2の信号の位相分布を矢印で表す。矢印の始めは0度であり、位相が線形に変化して矢印の終わりは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。

## 【0019】

各OAMモードの信号は、OAMモード毎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）。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、OAMモード2の信号より、高次モードである。

## 【0020】

図2(3)は、OAMモードごとに信号強度が最大になる位置を円環で示すが、OAM

10

20

30

40

50

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。

【0021】

(本発明の実施の形態の概要)

前述したように、UCAを用いた送信装置と受信装置により、大容量の通信が可能になるが、UCAを用いた従来の無線伝送技術では、多方向への通信が非対応である。

【0022】

そこで、本実施の形態では、図3に示すように、UCAとAiry beamアンテナを組み合わせて送信装置を構成することとしている。Airy beamアンテナ(エアリービームアンテナ)は、例えば非特許文献3に記載されている、bendable beam(曲がる性質を持つビーム)で信号送信を行うことが可能なアンテナである。曲がる性質を持つビームをAiry beamと呼んでもよいし、bendable beamと呼んでもよい。なお、UCAをOAMアンテナと呼んでもよい。

10

【0023】

また、Airy beamアンテナを曲がるビーム用のアンテナと呼んでもよい。Airy beamアンテナの形状については、曲がるビームを送信できるものであればどのような形状でもよく、例えば、環状(例:四角形)であってもよいし、平面形であってもよい。また、Airy beamアンテナは、他のAiry beamアンテナから送信された曲がるビームを受信することが可能である。

20

【0024】

Airy beamアンテナを用いることで多方向対応が可能となる。また、UCAとAiry beamアンテナの両方を用いる多重通信も可能である。

【0025】

以下、本実施の形態におけるシステム構成と動作を詳細に説明する。

【0026】

(システム構成)

図4に、本実施の形態における無線通信システムの構成例を示す。図4に示すように、本実施の形態における無線通信システムは、送信装置100と受信装置200を有する。

【0027】

送信装置100は、UCAとAiry beamアンテナを備えている。受信装置100は、UCAのみを備えてもよいし、UCA以外の従来のアンテナ(従来型アンテナ)のみを備えてもよいし、Airy beam(曲がるビーム)を受信するためのAiry beamアンテナを備えてもよいし、UCAと従来型アンテナとAiry beamアンテナのうちのいずれか2つ又は全部を備えてもよい。

30

【0028】

本実施の形態では、送信装置100は移動しない基地局であり、受信装置200は移動端末であることを想定している。ただし、このような想定は一例である。例えば、送信装置100と受信装置200が両方とも移動しない基地局であってもよいし、送信装置100と受信装置200が両方とも移動端末であってもよい。

40

【0029】

(装置構成例)

<送信装置100>

図5は、本実施の形態における送信装置100の構成図である。図5に示すように、本実施の形態の送信装置100は、UCA110、Airy beamアンテナ120、OAMモード生成部140、Airy beam信号生成部150、選択部130、信号処理部160、制御部170を有する。なお、図5の例では、UCA110とAiry beamアンテナ120がそれぞれ1つずつ備えられているが、UCA110とAiry beamアンテナ120がそれぞれ複数個備えられてもよい。また、「OAMモード生成部140、Airy beam信号生成部150、選択部130、信号処理部160」を

50

送信部と呼んでもよい。

【0030】

信号処理部160は、入力されたデータから、搬送波に乗せて送信するデジタル信号を生成し、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、アナログ信号の周波数を搬送波の周波数帯に変換する。

【0031】

より詳細には、信号処理部160は、選択部130により選択されるUCA110 / Airy beamアンテナ120のそれぞれに対応する周波数帯の信号を生成し、選択部130に入力する。このような動作は、例えば制御部170からの指示により実行される。なお、「UCA110 / Airy beamアンテナ120」は、UCA110のみ、Airy beamアンテナ120のみ、又は、UCA110とAiry beamアンテナ120の両方、を意味する。

10

【0032】

選択部130は、制御部170からの指示に基づいて、信号を送信させるUCA110 / Airy beamアンテナ120に接続されるOAMモード生成部140 / Airy beam信号生成部150を選択し、信号処理部160から受信した信号を、選択した機能部（OAMモード生成部140 / Airy beam信号生成部150）へ出力する。

【0033】

制御部170が、信号送信のためのアンテナとしてUCA110を選択した場合、OAMモード生成部140から信号が出力され、当該OAMモード生成部140に接続されている各アンテナ素子に信号が供給され、各アンテナ素子から信号が送信される。

20

【0034】

制御部170が、信号送信のためのアンテナとしてAiry beamアンテナ120を選択した場合において、Airy beam信号生成部150から信号が出力され、当該Airy beam信号生成部150に接続されているAiry beamアンテナ120に信号が供給され、Airy beamアンテナ120から信号が送信される。

【0035】

Airy beam信号生成部150は、Airy beamアンテナ120により生成されるビームが所望の軌道になるように、位相や周波数を調整した信号を生成し、生成した信号をAiry beamアンテナ120に供給する。

30

【0036】

OAMモード生成部140は、バトラー回路である。OAMモード生成部140（バトラー回路）と、UCA110との接続構成例を図6に示す。図6に示す例でのUCA110は、8個のアンテナ素子#1～#8が円形状に配置されたアンテナである。また、図6には、Airy beam信号生成部150とAiry beamアンテナ120も示されている。

【0037】

また、図6は、バトラー回路が、N個の入力ポートを有していることを示している。基本的には、出力ポート数が、Nの最大数であり、図6の例のように、8個の出力ポートを有する場合、Nの最大数は8である。なお、「ポート」を「端子」と呼んでもよい。図6のように、アンテナ素子数が8個であることは一例である。UCA110のアンテナ素子数は、8個よりも多くてもよいし、少なくてもよい。

40

【0038】

図6には、一例として、OAMモード生成部140（バトラー回路）の入力ポートAに、OAMモード1で送信しようとする信号が入力され、入力ポートBにOAMモード-1で送信しようとする信号が入力されることを示している。N個の入力ポートのうち、入力ポートAと入力ポートB以外の入力ポートは、OAMモード1と-1以外のOAMモードに対応している。

【0039】

入力ポートAからの入力に対して、各出力ポートから反時計回りに45°（360° /

50

8) ずつの位相差を持った信号が出力され、入力ポート B からの入力に対して、各出力ポートから反時計回りに  $45^\circ$  ずつの位相差を持った信号が出力される。つまり、入力ポート A と入力ポート B の両方に入力がある場合、各出力ポートから異なる位相を持つ 2 つの信号が合波 (多重) された信号が出力される。

【0040】

具体的には、UCA110において、便宜上、アンテナ素子 # 1 を基準 (位相  $0^\circ$ ) とすると、UCA110の各アンテナ素子からは、下記の位相を持った 2 つの信号が合波された信号が出力される。

【0041】

アンテナ素子 # 1 = ( $0^\circ$ ,  $0^\circ$ )、アンテナ素子 # 2 = ( $45^\circ$ ,  $45^\circ$ )、アンテナ素子 # 3 = ( $90^\circ$ ,  $90^\circ$ )、アンテナ素子 # 4 = ( $135^\circ$ ,  $135^\circ$ )、アンテナ素子 # 5 = ( $180^\circ$ ,  $180^\circ$ )、アンテナ素子 # 6 = ( $225^\circ$ ,  $225^\circ$ )、アンテナ素子 # 7 = ( $270^\circ$ ,  $270^\circ$ )、アンテナ素子 # 8 = ( $315^\circ$ ,  $315^\circ$ )。

10

【0042】

図 6 の例では、OAMモード生成部 140 (パトラー回路) の出力ポート J が、UCA110のアンテナ素子 # 1 に接続され、出力ポート I が、UCA110のアンテナ素子 # 2 に接続され、出力ポート H が、UCA110のアンテナ素子 # 3 に接続され、出力ポート G が、UCA110のアンテナ素子 # 4 に接続され、出力ポート F が、UCA110のアンテナ素子 # 5 に接続され、出力ポート E が、UCA110のアンテナ素子 # 6 に接続され、出力ポート D が、UCA110のアンテナ素子 # 7 に接続され、出力ポート C が、UCA110のアンテナ素子 # 8 に接続される。なお、図示の便宜上、図 6 では、出力ポート J のみの接続を示している。各出力ポートから出力された信号は、接続されるアンテナ素子に供給され、アンテナ素子から電波として出力される。

20

【0043】

<受信装置 200>

次に、受信装置 200 について説明する。図 7 は、本実施の形態における受信装置 200 の構成例を示す図である。図 7 に示すように、受信装置 200 は、UCA210、Airy beam アンテナ 220、OAMモード分離部 230、信号処理部 240、制御部 250 を有する。なお、図 7 の例では、UCA210 と Airy beam アンテナ 220 がそれぞれ 1 つずつ備えられているが、UCA210 と Airy beam アンテナ 220 がそれぞれ複数個備えられてもよい。また、UCA210 と Airy beam アンテナ 220 のうちのUCA210のみが備えられてもよいし、Airy beam アンテナ 220 のみが備えられてもよい。なお、「OAMモード分離部 230、信号処理部 240」を受信部と呼んでもよい。

30

【0044】

OAMモード分離部 230 は、パトラー回路である。OAMモード分離部 220 (パトラー回路) と、UCA210 との接続構成例を図 8 に示す。図 8 に示す例でのUCA210 は、8 個のアンテナ素子 # 1 ~ # 8 が円形状に配置されたアンテナである。

【0045】

図 8 に示すパトラー回路は、送信装置 100 におけるパトラー回路の入力と出力を逆にしたものに相当する。

40

【0046】

図 8 に示すように、当該パトラー回路は N 個の出力ポートを有している。図 8 のように、アンテナ素子数が 8 個であることは一例である。UCA210 のアンテナ素子数は、8 個よりも多くてもよいし、少なくてもよい。

【0047】

図 8 は、一例として、出力ポート A から OAMモード 1 の信号が出力され、出力ポート B から OAMモード - 1 の信号が出力されることを示している。N 個の出力ポートのうち、出力ポート A と出力ポート B 以外の出力ポートは、OAMモード 1 と - 1 以外の OAM

50

モードに対応している。

【 0 0 4 8 】

UCA 2 1 0 の各アンテナ素子と O A M モード分離部 2 3 0 ( パトラー回路 ) の各入力ポートは図示のように接続される ( 図示の便宜上、# 7 のみ接続線を描いている ) 。パトラー回路内では、送信側のパトラー回路とは逆の位相変換等が行われることで、各出力ポートから、その出力ポートに対応した O A M モードの信号が出力される。

【 0 0 4 9 】

図 7 に示す信号処理部 2 4 0 は、O A M モード分離部 2 3 0 ( パトラー回路 ) から受信したアナログ信号をデジタル信号に変換 ( アナログ デジタル変換 ) するとともに、A i r y b e a m アンテナ 2 2 0 から受信したアナログ信号をデジタル信号に変換し、これらのデジタル信号に対して復調処理を行って、データを生成し、出力する。また、信号処理部 2 4 0 はデジタル信号処理による信号分離処理 ( チャネル等化処理や逐次干渉除去処理等 ) を行うことが可能である。なお、信号分離の必要がない場合には、信号分離処理を行わない。

10

【 0 0 5 0 】

制御部 2 5 0 は、例えば、信号処理部 2 4 0 に対して信号処理方法を指定する。例えば、制御部 2 5 0 が、送信装置 1 0 0 から、データを分割して複数ストリームに分けて送信する大容量伝送モードの指示を受けた場合には、制御部 2 5 0 は、信号処理部 2 4 0 に対して大容量伝送モードでの信号処理を行うよう指示する。また、例えば、制御部 2 5 0 が、送信装置 1 0 0 から、同一データを複数ストリームで並行して送信するダイバーシティ伝送モードの指示を受けた場合には、制御部 2 5 0 は、信号処理部 2 4 0 に対してダイバーシティ伝送モードでの信号処理を行うよう指示する。

20

【 0 0 5 1 】

( 動作例 )

本実施の形態における無線通信システムにおける動作例を図 9 のフローチャートを参照して説明する。

【 0 0 5 2 】

S 1 0 1 において、データが送信装置 1 0 0 の信号処理部 1 6 0 に入力される。S 1 0 2 において、信号処理部 1 6 0 は、入力されたデータから、搬送波に乗せて送信するデジタル信号を生成し、S 1 0 3 において、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 ) する。そして、制御部 1 7 0 からの指示に基づいて、アナログ信号の周波数を搬送波の周波数帯に変換し、得られた信号を選択部 1 3 0 に入力する。

30

【 0 0 5 3 】

S 1 0 4 において、選択部 1 3 0 は、制御部 1 7 0 からの指示に基づいて、信号を送信させる U C A 1 1 0 / A i r y b e a m アンテナ 1 2 0 に接続される O A M モード生成部 1 4 0 / A i r y b e a m 信号生成部 1 5 0 を選択し、信号処理部 1 6 0 から受信した信号を、選択した機能部 ( O A M モード生成部 1 4 0 / A i r y b e a m 信号生成部 1 5 0 ) へ出力する。

【 0 0 5 4 】

S 1 0 5 において、UCA 1 1 0 から信号を送信する場合において、O A M モード生成部 1 4 0 は、UCA 1 1 0 に供給する信号を生成し、UCA 1 1 0 の各アンテナ素子に信号を供給する。A i r y b e a m アンテナ 1 2 0 から信号を送信する場合において、A i r y b e a m 信号生成部 1 5 0 は、A i r y b e a m アンテナ 1 2 0 に供給する信号を生成し、A i r y b e a m アンテナ 1 2 0 に信号を供給する。

40

【 0 0 5 5 】

S 1 0 6 において、選択されたアンテナから信号が送信される。S 1 0 7 において、受信装置 2 0 0 が信号を受信する。

【 0 0 5 6 】

図 1 0 と図 1 1 を参照して具体例を説明する。図 1 0 と図 1 1 はいずれも、送信装置 1 0 0 と受信装置 2 0 0 を上から見た場合のイメージである。

50

## 【 0 0 5 7 】

ここで、送信装置 1 0 0 の制御部 1 7 0 は、各受信装置の位置（送信装置 1 0 0 に対する受信装置が存在する方向でもよい）を把握しているとする。制御部 1 7 0 が、受信側の状態（受信装置の位置等）を把握する方法としてどのような方法を用いてもよい。例えば、制御部 1 7 0 が、受信装置から送信された参照信号を受信することで受信装置の位置を把握してもよいし、受信装置から送信された位置情報を受信することで受信装置の位置を把握してもよい。また、制御部 1 7 0 に、受信装置の位置（固定位置、時刻毎の移動予定位置等）が予め設定されることとしてもよい。

## 【 0 0 5 8 】

図 1 0 は、多方向対応の例を示す図である。図 1 0 に示すように、送信装置 1 0 0 の正面の位置 A に受信装置 2 0 0 - 2 が存在し、送信装置 1 0 0 の右斜め前の位置 B に受信装置 2 0 0 - 3 が存在し、送信装置 1 0 0 の左斜め前の位置 C に受信装置 2 0 0 - 1 が存在する。また、送信装置 1 0 0 と受信装置 2 0 0 - 3 との間の位置 D に障害物（建物等）が存在する。制御部 1 7 0 は、これらの受信装置の位置、及び障害物の位置を把握している。

10

## 【 0 0 5 9 】

送信装置 1 0 0 は、UCA 1 1 0 と、Airy beam アンテナ 1 2 0 - 1 と、Airy beam アンテナ 1 2 0 - 2 を備えているものとする。

## 【 0 0 6 0 】

図 1 0 に示す状況において、制御部 1 7 0 は、位置 A の受信装置 2 0 0 - 2 に対してUCA 1 1 0 から信号を送信することを決定し、位置 B の受信装置 2 0 0 - 3 に対してAiry beam アンテナ 1 2 0 - 1 から、障害物を回避するような軌道で曲がるビーム 1 で信号を送信することを決定し、位置 C の受信装置 2 0 0 - 1 に対してAiry beam アンテナ 1 2 0 - 2 から、受信装置 2 0 0 - 1 に向かう曲がるビーム 2 で信号を送信することを決定する。

20

## 【 0 0 6 1 】

この場合、制御部 1 7 0 は、受信装置 2 0 0 - 2 への信号として、UCA 1 1 0 に対応する周波数の信号を生成するよう信号処理部 1 6 0 に指示し、受信装置 2 0 0 - 3 への信号として、Airy beam アンテナ 1 2 0 - 1 に対応する周波数の信号を生成するよう信号処理部 1 6 0 に指示し、受信装置 2 0 0 - 1 への信号として、Airy beam アンテナ 1 2 0 - 2 に対応する周波数の信号を生成するよう信号処理部 1 6 0 に指示する。信号処理部 1 6 0 は、制御部 1 7 0 からの指示に従って信号を生成する。

30

## 【 0 0 6 2 】

選択部 1 7 0 は、UCA 1 1 0 に対応する周波数の信号をOAMモード生成部 1 4 0 に入力し、Airy beam アンテナ 1 2 0 - 1 に対応する周波数の信号及びAiry beam アンテナ 1 2 0 - 2 に対応する周波数の信号をAiry beam 信号生成部 1 5 0 に入力する。

## 【 0 0 6 3 】

OAMモード生成部 1 4 0 は、例えば複数OAMモードが多重された信号をUCA 1 1 0 に供給する。Airy beam 信号生成部 1 5 0 は、図 1 0 に示す曲がるビーム 1 の軌道に対応する信号をAiry beam アンテナ 1 2 0 - 1 に供給し、曲がるビーム 2 の軌道に対応する信号をAiry beam アンテナ 1 2 0 - 2 に供給する。

40

## 【 0 0 6 4 】

各アンテナから信号が送信され、各受信装置が信号を受信する。なお、受信装置 2 0 0 - 2 は、アンテナとしてUCAのみを備える受信装置でもよい。また、受信装置 2 0 0 - 1 と受信装置 2 0 0 - 3 は、アンテナとしてAiry beam アンテナのみを備える受信装置でもよい。

## 【 0 0 6 5 】

また、図 1 0 は、同一の受信装置 2 0 0 が、例えば、位置 B から位置 A に移動し、位置 A から位置 C に移動するケースを示すものと見なしてもよい。その場合、送信装置 1 0 0 は、受信装置 2 0 0 が位置 B に存在するときに曲がるビーム 1 で信号送信を行い、受信装

50

置 200 が位置 A に存在するときに OAM モード多重で信号送信を行い、受信装置 200 が位置 C に存在するときに曲がるビーム 2 で信号送信を行う。このように、アンテナを切り替えることで、移動追従を行うことが可能である。

【0066】

図 11 は、UCA と Airy beam アンテナの両方を用いて多重通信を行う場合の例である。

【0067】

送信装置 100 は、UCA 110 と、Airy beam アンテナ 120 - 1 と、Airy beam アンテナ 120 - 2 を備えているとする。また、受信装置 200 は、UCA 210 と、Airy beam アンテナ 220 - 1 と、Airy beam アンテナ 220 - 2 を備えているとする。

10

【0068】

送信装置 100 の制御部 170 は、送信装置 100 の正面に受信装置 200 が存在することを検出すると、UCA 110 と、Airy beam アンテナ 120 - 1 と、Airy beam アンテナ 120 - 2 を用いて多重送信を行うことを決定する。

【0069】

制御部 170 は、受信装置 200 へ送信する信号として、UCA 110 に対応する周波数の信号と、Airy beam アンテナ 120 - 1 に対応する周波数の信号と、Airy beam アンテナ 120 - 2 に対応する周波数の信号を生成するよう信号処理部 160 に指示する。信号処理部 160 は、制御部 170 からの指示に従って信号を生成する。

20

【0070】

選択部 130 は、UCA 110 に対応する周波数の信号を OAM モード生成部 140 に入力し、Airy beam アンテナ 120 - 1 に対応する周波数の信号及び Airy beam アンテナ 120 - 2 に対応する周波数の信号を Airy beam 信号生成部 150 に入力する。

【0071】

OAM モード生成部 140 は、複数 OAM モードが多重された信号をUCA 110 に供給する。Airy beam 信号生成部 150 は、図 11 に示す曲がるビーム 1 の軌道に対応する信号を Airy beam アンテナ 120 - 1 に供給し、曲がるビーム 2 の軌道に対応する信号を Airy beam アンテナ 120 - 2 に供給する。

30

【0072】

送信装置 100 から信号が送信され、受信装置 200 はUCA 210、Airy beam アンテナ 220 - 1、220 - 2 で信号を受信する。これにより、大容量通信が可能となる。なお、受信装置 200 はUCA 210、Airy beam アンテナ 220 - 1、220 - 2 の全部のアンテナを備えていなくてもよい。例えば受信装置 200 が、UCA 210、Airy beam アンテナ 220 - 1、220 - 2 のうちの 1 つのアンテナのみを備える場合でも、送信装置 100 から送信された信号を受信できる。

【0073】

(アンテナの構成例)

次に、送信装置 100 及び受信装置 200 が備えるアンテナの構成例について説明する。以下、構成例 1 ~ 4 を説明する。構成例 1 ~ 4 を示す図 12 ~ 15 はいずれも、アンテナを正面(対向側)から見た図である。下記の構成例 1 ~ 4 に示すアンテナは、送信装置 100 及び受信装置 200 のそれぞれが備えることを想定している。従って、下記のアンテナ構成例におけるUCAとAiry beam アンテナは、送信装置 100 の場合はUCA 110 とAiry beam アンテナ 120 であり、送信装置 200 の場合はUCA 210 とAiry beam アンテナ 220 である。

40

【0074】

ただし、送信装置 100 のみ、又は、受信装置 200 のみが、構成例 1 ~ 4 に示すアンテナを備えることとしてもよい。

【0075】

50

## &lt; 構成例 1 &gt;

図 1 2 に構成例 1 を示す。図 1 2 に示すように、構成例 1 では、UCA の円形に配置されたアンテナ素子の内側（内部）に Airy beam アンテナが備えられる。構成例 1 により、全体のアンテナサイズを小さくすることができる。

【 0 0 7 6 】

図 1 2 の例では、Airy beam アンテナは、1 つの四角形のアンテナ素子であるが、図 1 2 における Airy beam アンテナは、複数方向対応の複数の Airy beam アンテナからなる構成であってもよい。

【 0 0 7 7 】

## &lt; 構成例 2 &gt;

図 1 3 に構成例 2 を示す。図 1 3 に示すように、構成例 2 では、UCA における円形に配置されたアンテナ素子の外側に Airy beam アンテナが備えられる。構成例 2 により、構成例 1 と同様に、全体のアンテナサイズを小さくすることができる。

【 0 0 7 8 】

Airy beam アンテナは、そのサイズが大きければ大きいほど、曲がるビームの曲がる度合いを大きくすることができる。構成例 2 では、構成例 1 に比べて、Airy beam アンテナのサイズを大きくすることができるので、曲がるビームの曲がる度合いを大きくすることができる。

【 0 0 7 9 】

## &lt; 構成例 3 &gt;

図 1 4 に構成例 3 を示す。構成例 3 では、UCA における円形に配置されたアンテナ素子の外側に複数の Airy beam アンテナを配置する。図 1 4 の例では、4 つの Airy beam アンテナ # 1 ~ # 4 が配置されている。

【 0 0 8 0 】

図 2 ( 3 ) を参照して説明したように、UCA から送信された OAM モードを持つ信号は、受信側の端面（UCA から送信された信号の伝搬方向と直交する面）において、その強度が強くなる場所と弱くなる場所がある。

【 0 0 8 1 】

ここでは、図 1 4 に示すアンテナが、受信装置 2 0 0 のアンテナであるとする。送信装置 1 0 0 のUCA から送信されるある OAM モード  $n$  ( $n$  は 0 でない整数) の信号の強度（信号電力）が図 1 4 における点線の円の位置で弱くなるものとする。

【 0 0 8 2 】

つまり、図 1 4 に示す例では、送信装置 1 0 0 のUCA から送信される OAM モード  $n$  の信号の強度が弱くなる位置に、Airy beam アンテナ # 1 ~ # 4 が配置されている。これにより、受信装置 2 0 0 においては、OAM ビーム（UCA から送信されるビーム）による干渉を受けずに、Airy beam アンテナ # 1 ~ # 4 により、曲がるビームによる信号受信を行うことができる。

【 0 0 8 3 】

なお、本実施の形態において、ある場所（位置）での信号の強度（受信強度）が「弱い」とは、ある閾値よりも受信電力が低いことであってもよいし、他の場所（位置）での受信電力よりも受信電力が低いことであってもよい。また、ある場所（位置）での信号の強度（受信強度）が「強い」とは、ある閾値よりも受信電力が高いことであってもよいし、他の場所（位置）での受信電力よりも受信電力が高いことであってもよい。

【 0 0 8 4 】

## &lt; 構成例 4 &gt;

図 1 5 に構成例 4 を示す。構成例 4 では、UCA の周りに Airy beam アンテナを、複数のリングの形態で備える。図 1 5 の例では、Airy beam アンテナ # 1 ~ # 4 からなるリング A と、Airy beam アンテナ # 5 ~ # 8 からなるリング B とが配置されている。図 1 5 の例では、1 リングあたりの Airy beam アンテナ数は 4 であり、リングの数は 2 であるが、これらは一例であり、これら以外の数が採用されても

10

20

30

40

50

よい。

【 0 0 8 5 】

前述したように、UCAから送信されたOAMモードを持つ信号は、受信側の端面（UCAから送信された信号の伝搬方向と直交する面）において、その強度が強くなる場所と弱くなる場所がある。また、この場所は、送信装置100と受信装置200との間の距離により異なる。

【 0 0 8 6 】

図15に示すアンテナが、受信装置200のアンテナであるとする。送信装置100と受信装置200との間の距離がある距離D1である場合に、送信装置100のUCAから送信されるあるOAMモード $n$ （ $n$ は0でない整数）の信号の強度（信号電力）が図15

10

【 0 0 8 7 】

このとき、送信装置100は、UCAからOAMモード $n$ で信号を送信すると同時に、送信側のAiry beamアンテナにより、受信側のリングAのAiry beamアンテナ（#1～#4のうちの1以上のアンテナ）に届くように曲がるビームで信号を送信する。これにより、OAMモード $n$ のOAMビームによる曲がるビームへの干渉を軽減できる。

【 0 0 8 8 】

また、送信装置100と受信装置200との間の距離が距離D2である場合に、送信装置100のUCAから送信されるOAMモード $n$ の信号の強度（信号電力）が図15にお

20

【 0 0 8 9 】

このとき、送信装置100は、UCAからOAMモード $n$ で信号を送信すると同時に、送信側のAiry beamアンテナにより、受信側のリングBのAiry beamアンテナ（#5～#8のうちの1以上のアンテナ）に届くように曲がるビームで信号を送信する。これにより、OAMモード $n$ のOAMビームによる曲がるビームへの干渉を軽減できる。

【 0 0 9 0 】

上記のとおり、送信装置100と受信装置200との間の距離に応じてOAMビームの電力が弱くなる場所にあるAiry beamアンテナを選択して、そのAiry beamアンテナへ曲がるビームで信号を送信することで、OAMビームから曲がるビームへの干渉を低くしつつ通信を行うことができる。

30

【 0 0 9 1 】

本例において、曲がるビームによるOAMビームへの干渉は残るが、受信装置200は、OAMビームからの干渉無しで曲がるビームにより送信された信号を復調できるので、その復調した信号の情報をを用いることにより、SIC（successive interference cancellation）等の手法によりOAMビームの信号の復調が可能である。また、曲がるビームは、そもそもUCAには電波が届かないので、曲がるビームからOAMアンテナへの干渉を無視することとしてもよい。

【 0 0 9 2 】

（複数の受信装置200との通信について）

前述したとおり、送信装置100のUCAから送信されたOAMモードを持つ信号は、受信側の端面において、その強度が強くなる場所と弱くなる場所があり、その場所は、送信装置100と受信装置200との間の距離により異なる。また、この場所はOAMモード毎に異なる。つまり、送信装置100のUCAから送信されるOAMビームは、送信装置100と受信装置200との間の距離に応じて、受信電力が弱くなったり強くなったりする場所があり、それはOAMモード毎に異なる。

40

【 0 0 9 3 】

図16に、送信装置100のUCAから受信装置200までの距離と、受信強度との関係の例を示す。図16の横軸は、送信装置100のUCAから受信装置200までの距離

50

を示し、縦軸は、受信装置 200 の位置における受信強度である。上記の距離は、例えば、UCA の面と垂直な方向の距離である。

【0094】

図 16 に示す例では、距離 1 の場所で OAM モード 1 の受信強度が弱くなり、距離 2 の場所で OAM モード 2 の受信強度が弱くなる。

【0095】

このような特徴を用いて、送信装置 100 と複数の受信装置 200 との間で、UCA と Airy beam アンテナを用いて通信を行うことができる。図 17 を参照して通信の例を説明する。

【0096】

図 17 は、送信装置 100 と、受信装置 200 - 1 と、受信装置 200 - 2 とを上空から見た場合の 2 次元的な状況を示す図である。ここでは、送信装置 100 のUCA 110 と Airy beam アンテナ 120 は、ビルの屋上等にあり、地面側に電波が届くような向きに各アンテナが設置されていることを想定している。

【0097】

図 17 の例では、A で示す点線の円の部分（場所）が、送信装置 100 から送信される OAM モード 1 の信号の強度が弱くなる場所であるとする。なお、ここでは便宜上、OAM モード 1 の信号の強度が弱くなる場所を円形で示している。

【0098】

図 17 に示すように、受信装置 200 - 2 は、送信装置 100 から送信される OAM モード 1 の信号の強度が弱くなる場所に位置している。また、受信装置 200 - 1 は、送信装置 100 から送信される OAM モード 1 の信号の強度が強くなる場所に位置している。

【0099】

例えば、送信装置 100 の制御部 170 が、受信装置 200 - 1 と受信装置 200 - 2 それぞれの位置を把握することにより、図 17 に示す状況（受信装置 200 - 1 は OAM モード 1 の受信強度が強、受信装置 200 - 2 は OAM モード 1 の受信強度が弱）を把握する。

【0100】

そして、制御部 170 の指示に基づいて、送信装置 100 は、UCA 110 から OAM モード 1 で受信装置 200 - 1 に対する信号を送信するとともに、Airy beam アンテナ 120 から曲がるビームで、受信装置 200 - 2 の位置に向けて受信装置 200 - 2 に対する信号を送信する。受信装置 200 - 1 は、送信装置 100 から送信された OAM モード 1 の信号を干渉無しに受信でき、受信装置 200 - 2 は、送信装置 100 から送信された曲がるビームの信号を干渉無しに受信できる。

【0101】

図 2 (3)、図 16 を参照して説明した、OAM モードによる信号強度（電力）の分布の違いや、距離による信号強度（電力）の分布の違いは、送信装置 100 のUCA のサイズによっても違ってくる。

【0102】

例えば、送信装置 100 が、図 18 に示すように、複数の異なる直径を持つUCA #1 ~ #3 を備えるものとする。この場合、送信装置 100 は、受信装置 200 x の位置で OAM モードの信号が弱くなる直径のUCA から OAM モードの電波を送信することにより、受信装置 200 x と干渉なしに信号送受信を行うことができる。

【0103】

例えば、図 17 に示す例において、送信装置 100 のUCA #1 ~ #3 のうち、UCA #2 から OAM モード 1 の信号を送信した場合に、図 17 の A で示す円形上の場所で OAM モード 1 の信号強度が弱くなるとする。

【0104】

この場合、送信装置 100 は、制御部 170 の指示に基づいて、UCA #1 ~ #3 の中からUCA #2 を選択し、UCA #2 から OAM モード 1 で受信装置 200 - 1 に対する

10

20

30

40

50

信号を送信するとともに、Airy beamアンテナ120から曲がるビームで、受信装置200-2の位置に向けて受信装置200-2に対する信号を送信する。受信装置200-1は、送信装置100から送信されたOAMモード1の信号を、UCA210により干渉無しに受信でき、受信装置200-2は、送信装置100から送信された曲がるビームの信号を、Airy beamアンテナ220により干渉無しに受信できる。

【0105】

(実施の形態の効果)

以上説明した本実施の形態に係る技術により、UCAを用いた送信装置において、多方向対応が可能となる。また、UCAとAiry beamアンテナの両方を用いた多重通信が可能となる。

10

【0106】

(実施の形態のまとめ)

本明細書には、少なくとも下記の各項に記載した送信装置、無線通信システム、及び通信方法が記載されている。

(第1項)

OAMモードを持つ信号を送信するOAMアンテナと、  
 曲がる性質を持つビームを用いて信号を送信するエアリービームアンテナと、  
 前記OAMアンテナのみ、前記エアリービームアンテナのみ、又は、前記OAMアンテナと前記エアリービームアンテナの両方を用いて信号を送信する送信部と  
 を備える送信装置。

20

(第2項)

信号送信に使用するアンテナとして、前記OAMアンテナのみ、前記エアリービームアンテナのみ、及び、前記OAMアンテナと前記エアリービームアンテナの両方、のうちのいずれかを選択し、選択したアンテナを用いて前記送信部に信号送信を行わせる制御部  
 を備える第1項に記載の送信装置。

(第3項)

前記エアリービームアンテナは、受信装置の位置に向かう軌道を持つビームで信号を送信する

第1項又は第2項に記載の送信装置。

(第4項)

前記送信部は、前記OAMモードを持つ信号の受信強度が弱くなる位置に向けて、前記エアリービームアンテナにより曲がるビームで信号を送信する

第1項ないし第3項のうちいずれか1項に記載の送信装置。

30

(第5項)

送信装置と複数の受信装置とを備える無線通信システムであって、  
 前記送信装置は、  
 OAMモードを持つ信号を送信するOAMアンテナと、  
 曲がる性質を持つビームを用いて信号を送信するエアリービームアンテナと、を備え、  
 前記送信装置は、第1の受信装置に対して、前記OAMアンテナを用いて前記OAMモードの信号を送信し、前記OAMモードの信号の受信強度が弱くなる位置にある第2の受信装置に対して、前記エアリービームアンテナを用いて曲がるビームにより信号を送信する無線通信システム。

40

(第6項)

送信装置と受信装置とを備える無線通信システムにおける通信方法であって、  
 前記送信装置は、  
 OAMモードを持つ信号を送信するOAMアンテナと、  
 曲がる性質を持つビームを用いて信号を送信するエアリービームアンテナと、を備え、  
 前記送信装置は、第1の受信装置に対して、前記OAMアンテナを用いて前記OAMモードの信号を送信し、前記OAMモードの信号の受信強度が弱くなる位置にある第2の受信装置に対して、前記エアリービームアンテナを用いて曲がるビームにより信号を送信する

50

通信方法。

【0107】

以上、本実施の形態について説明したが、本発明はかかる特定の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】

【0108】

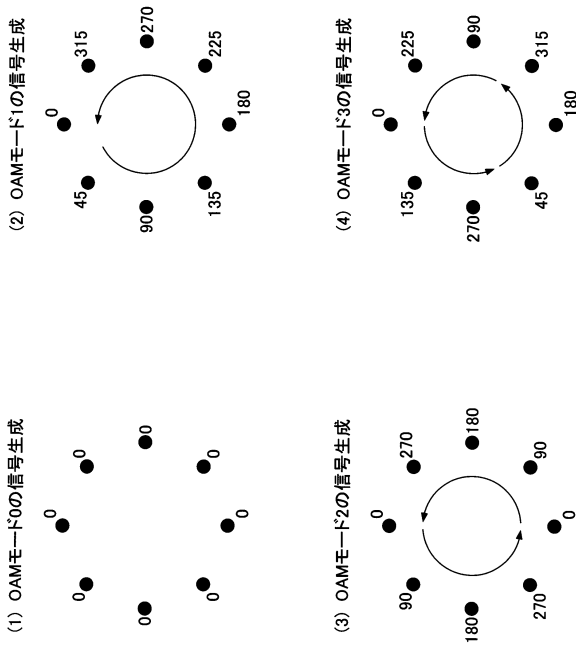
100	送信装置	
110	UCA	
120	Airy beamアンテナ	10
130	選択部	
140	OAMモード生成部	
150	Airy beam信号生成部	
160	信号処理部	
170	制御部	
200	受信装置	
210	UCA	
220	従来型アンテナ	
230	OAMモード分離部	
240	信号処理部	20
250	制御部	

30

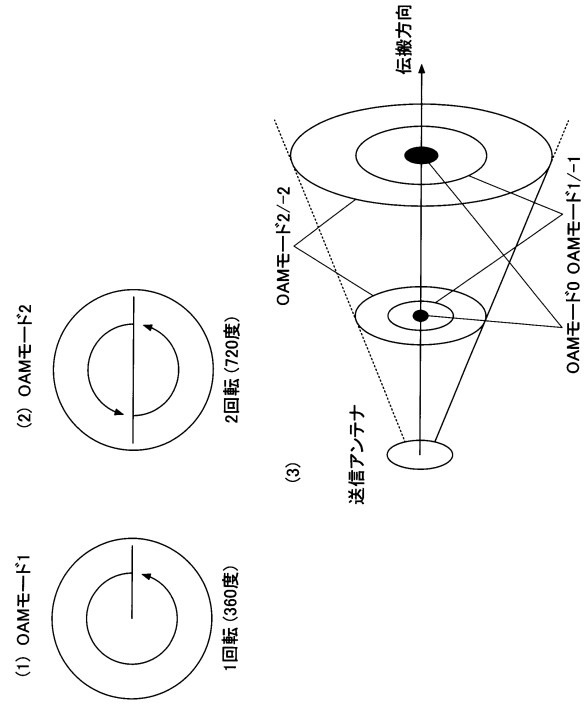
40

50

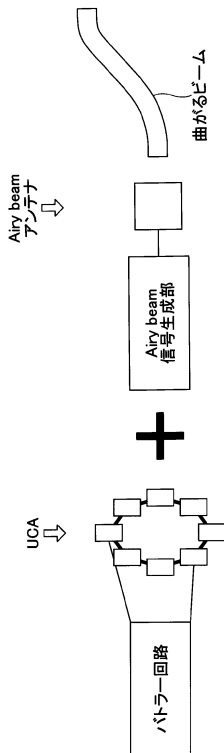
【図面】  
【図 1】



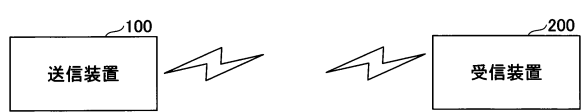
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

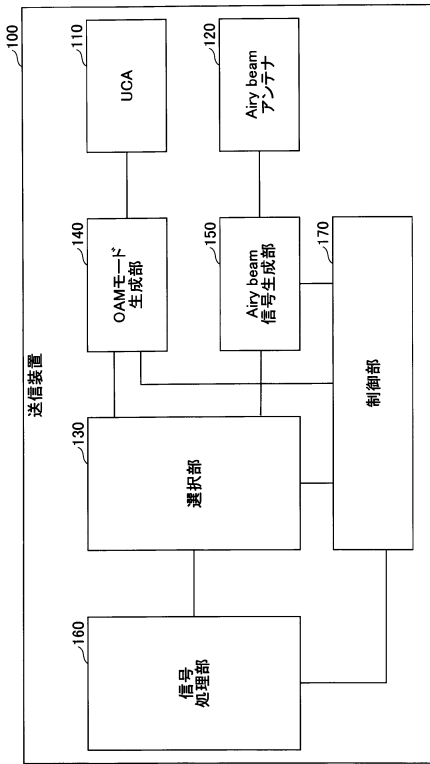
20

30

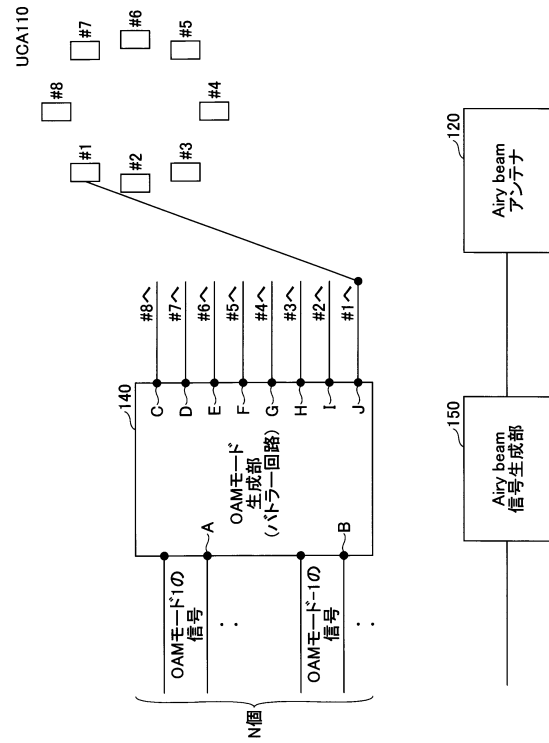
40

50

【図 5】



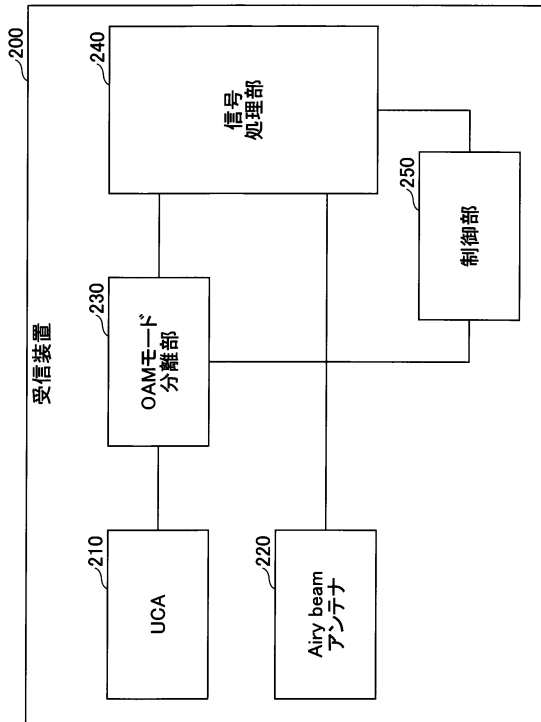
【図 6】



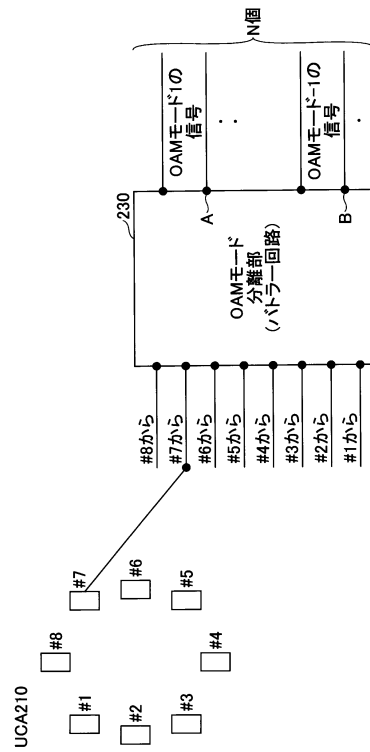
10

20

【図 7】



【図 8】

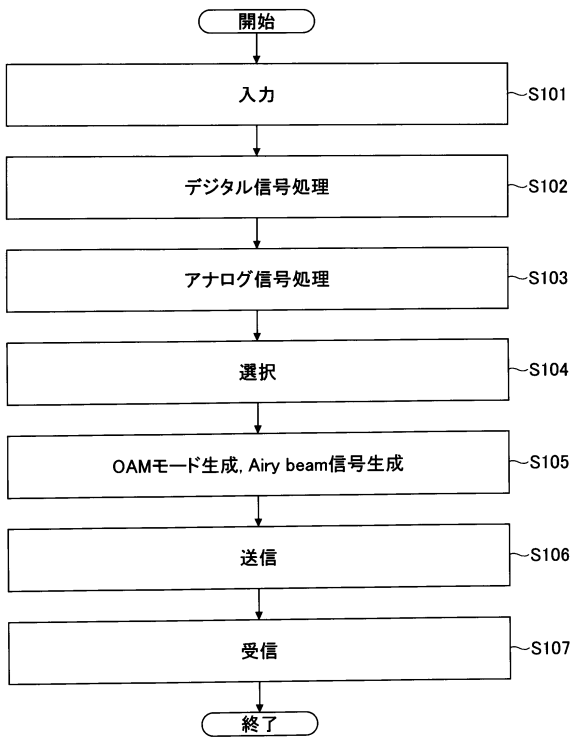


30

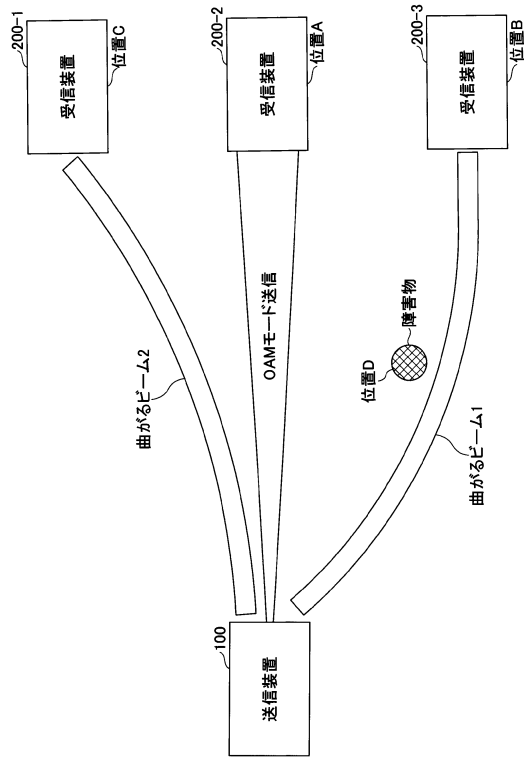
40

50

【図 9】



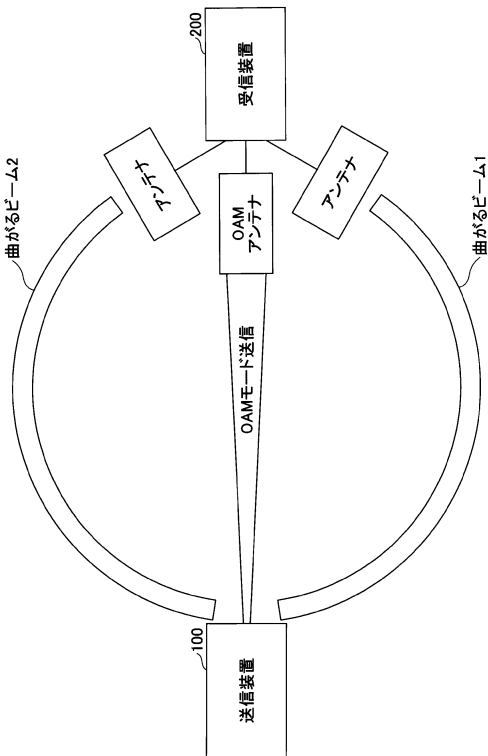
【図 10】



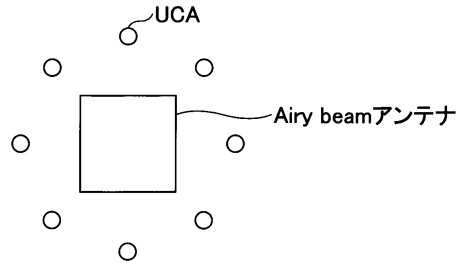
10

20

【図 11】



【図 12】

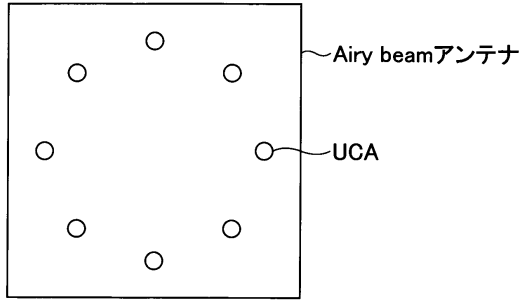


30

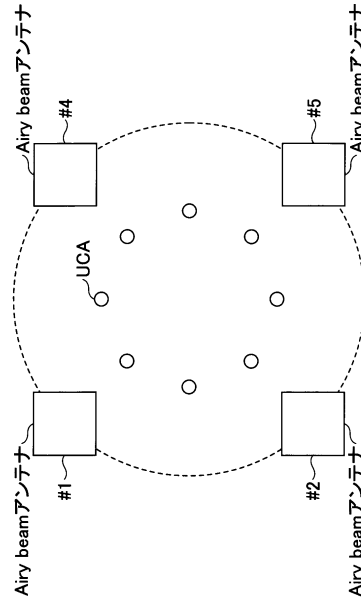
40

50

【図 13】



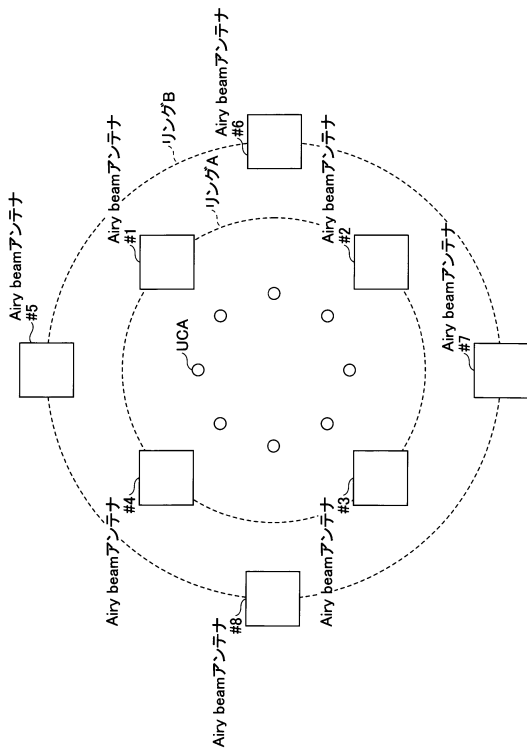
【図 14】



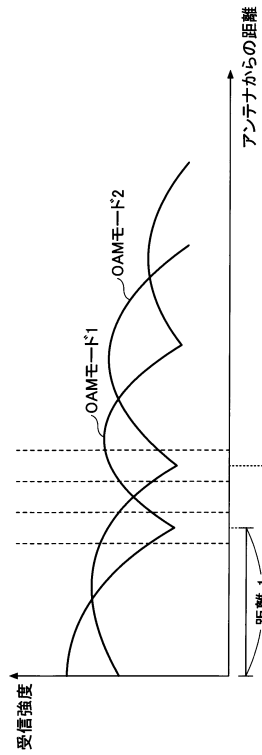
10

20

【図 15】



【図 16】

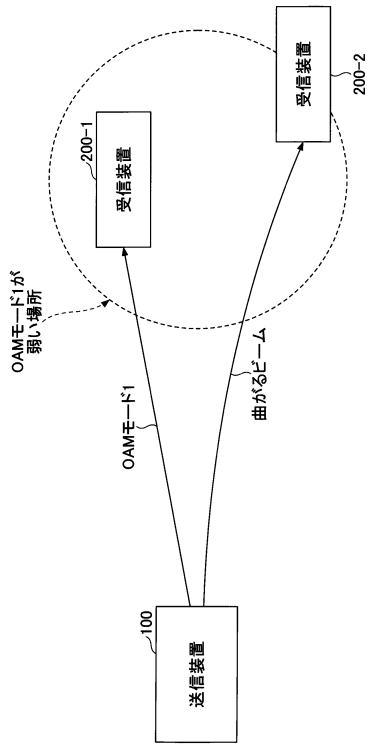


30

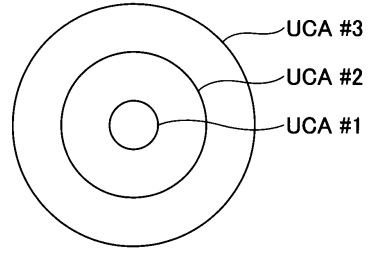
40

50

【 図 17 】



【 図 18 】



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 康徳  
 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 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  
 (72)発明者 瀬本 智貴  
 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 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  
 審査官 北村 智彦  
 (56)参考文献 国際公開第 2 0 1 9 / 0 5 9 4 0 6 ( W O , A 1 )  
 PARIMI, Patanjali V. et al. , Nondiffracting Beams with Azimuthal Orbital Angular Momentu  
 m Modoulation for High Date Rate Communic , 2018 IEEE Indian Conference on Antennas  
 and Propogation (InCAP) , 2018年12月 , pp.1-5 , [検索日:2021.04.13] , インターネット  
 <URL:https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8770731 >  
 YANG, Zhao et al. , Propagation Range Enhancement of Truncated Airy Beam with Antenna  
 at Microwave Frequencies[online] , 2018 IEEE MTT-S International Wireless Symposium (I  
 WS) , 2018年05月 , pp. 1-3 , [検索日:2021.04.13] , インターネット<URL:https://ieeexpl  
 ore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8400961 >  
 (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)  
 H 0 4 J 9 9 / 0 0  
 H 0 4 B 7 / 0 6  
 I E E E X p l o r e  
 3 G P P T S G R A N W G 1 - 4  
 S A W G 1 - 4  
 C T W G 1 , 4