

(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
2019年3月28日(28.03.2019)



(10) 国際公開番号

WO 2019/059409 A1

(51) 国際特許分類:
H04J 99/00 (2009.01) *H04B 10/112* (2013.01)
H04B 7/0456 (2017.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2018/035538

(22) 国際出願日: 2018年9月25日(25.09.2018)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2017-183845 2017年9月25日(25.09.2017) JP

(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: 笹木 裕文 (SASAKI, Hirofumi); 〒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). 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). 李 斗煥(LEE, Doohwan); 〒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). 芝 宏礼(SHIBA, 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).

(74) 代理人: 古谷 史旺, 外(FURUYA, Fumio et al.); 〒1600023 東京都新宿区西新宿1丁目19番5号 第2明宝ビル9階 Tokyo (JP).

(54) Title: WIRELESS COMMUNICATION DEVICE AND WIRELESS COMMUNICATION METHOD

(54) 発明の名称: 無線通信装置および無線通信方法

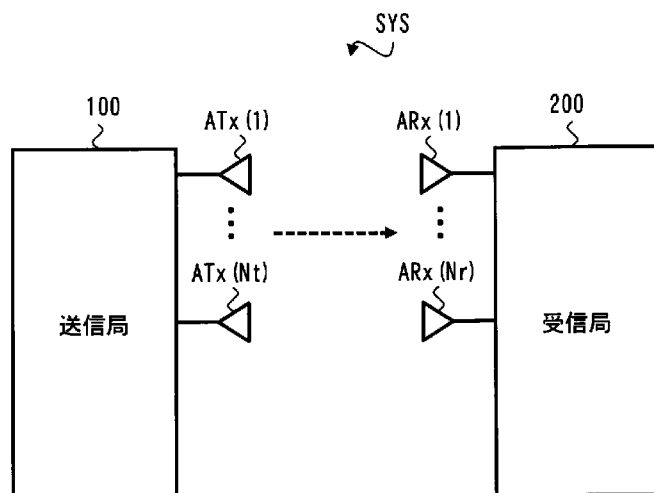


Fig. 1
100 Transmission station
200 Receiving station

(57) Abstract: This wireless communication device is provided with: multiple antenna elements; a modulation unit which modulates a signal that contains data with multiple first OAM modes, which are mutually different real values; a calculation unit which, on the basis of information indicating the wireless environment of an opposing wireless communication device, which is the transmission destination of the data, calculates for each of the multiple antenna elements a coefficient that indicates the weighting of the signals of the multiple first OAM modes modulated by the modulation unit; and a transmission processing unit which uses the coefficients to multiplex the signals of the multiple first OAM modes for each of the multiple antenna elements, and outputs the signals multiplexed for each of the multiple antenna elements to the multiple antenna elements.

(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, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, 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))

(57) 要約: 複数のアンテナ素子と、互いに異なる実数値である複数の第1のOAMモードでデータを含む信号を変調する変調部と、データの送信先である対向する無線通信装置における無線環境を示す情報に基づいて、変調部により変調された複数の第1のOAMモードの各々の信号に対する重み付けを示す係数を複数のアンテナ素子毎に算出する演算部と、係数を用いて複数の第1のOAMモードの各々の信号を複数のアンテナ素子毎に多重化し、複数のアンテナ素子毎に多重化した信号を複数のアンテナ素子の各々に出力する送信処理部とを備える。

明 細 書

発明の名称：無線通信装置および無線通信方法

技術分野

[0001] 本発明は、電磁波の軌道角運動量 (Orbital Angular Momentum: OAM) を用いて無線信号を空間多重伝送する無線通信装置および無線通信方法に関する。

背景技術

[0002] 無線通信システムにおいて、OAMを利用して電磁波を多重させて伝送容量を増大させる技術が提案されている（例えば、非特許文献1参照）。そして、OAMを用いた電磁波は、伝搬する方向を軸の中心とし、軸に垂直な回転方向に沿って等位相面が螺旋状に分布する。このとき、等位相面の螺旋の周期が $2\pi \times l$ となるモードをOAMモード l と称する。

[0003] また、互いに異なる整数値のOAMモード l の電磁波は、回転方向に直交性を有し、空間多重することができる。このため、互いに異なる整数値のOAMモード l の電磁波は、同時に送信されたとしても、受信側においてOAMモード l 毎に分離できる。このため、円形アレーアンテナやSPP (Spiral Phase Plate) 等のアンテナを用いて、複数のOAMモード l の電磁波を多重して送信する技術が提案されている（例えば、非特許文献2、3参照）。

[0004] また、OAMモード l が0.5や1.5等の実数値の電磁波を送信する技術が提案されている（例えば、非特許文献4参照）。

先行技術文献

非特許文献

[0005] 非特許文献1: Y. Yan, et. al., "High-capacity millimetre-wave communications with orbital angular momentum multiplexing", Nat. Commun., 5, 4876, 2014.

非特許文献2: A. Honda, et. al., "Development of wireless communication technologies for future multi-gigabit data transmission", in Proc.

of APMC 2014.

非特許文献3: F. E. Mahmoudi, et. al., "4-Gbps uncompressed video transmission over a 60-GHz orbital angular momentum wireless channel", IE EE wirelesscommun. lett., vol. 2, No. 2, pp. 223-226, 2013.

非特許文献4: J. Wang, et. al., "Experimental demonstration of free-space optical communications using OFDM-QPSK/16QAM-carrying fractional orbital angular momentum (OAM) multiplexing", in proc. of OFC 2015.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0006] 電磁波を放射する送信側のアンテナのビームパターンは、OAMモード1の絶対値に比例して広がる。すなわち、送信側のアンテナは、OAMモード1の絶対値が大きくなるに従い、受信側の無線通信装置に含まれるアンテナの方向への指向性が低下し、受信側の無線通信装置における受信電力が低下する。このため、送信側の無線通信装置は、無線通信に必要な受信電力が得られ、かつ多重できるOAMモードの数が制限される場合がある。
- [0007] 本発明は、従来と比べて多くのOAMモードの数で電磁波を多重し、スループットを向上させることができる無線通信装置および無線通信方法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

- [0008] 第1の発明は、複数のアンテナ素子と、互いに異なる実数値である複数の第1のOAMモードでデータを含む信号を変調する変調部と、データの送信先である対向する無線通信装置における無線環境を示す情報に基づいて、変調部により変調された複数の第1のOAMモードの各々の信号に対する重み付けを示す係数を複数のアンテナ素子毎に算出する演算部と、係数を用いて複数の第1のOAMモードの各々の信号を複数のアンテナ素子毎に多重化し、複数のアンテナ素子毎に多重化した信号を複数のアンテナ素子の各々に出力する送信処理部とを備える。
- [0009] 第1の発明の無線通信装置において、対向する無線通信装置から受信した

受信信号に対して複数の第1のOAMモードの各々に応じた位相量で位相回転させて、受信信号から複数の第1のOAMモードの信号の各々に分離する受信処理部と、分離された複数の第1のOAMモードの信号を復調する復調部とをさらに備えてもよい。

[0010] 第1の発明の無線通信装置において、複数のアンテナ素子により放射された電磁波を対向する無線通信装置の位置において集光する集光部をさらに備えてもよい。

[0011] 第1の発明の無線通信装置において、複数のアンテナ素子は、対向する無線通信装置が設置された方向に対して垂直な二次元平面上に同心円状に配置される複数組の円形アレーアンテナであってもよい。

[0012] 第1の発明の無線通信装置において、複数組の円形アレーアンテナの各々に配置される複数の送信処理部をさらに備え、演算部は、係数を複数組の円形アレーアンテナ毎に算出し、複数の送信処理部の各々は、係数を用いて複数の第1のOAMモードの各々の信号を配置された円形アレーアンテナ毎に多重化し、配置された円形アレーアンテナに設定された整数値の第2のOAMモードに応じた位相の重み付けを、多重化した信号に対して実行してもよい。

[0013] 第2の発明は、複数のアンテナ素子を有する無線通信装置の無線通信方法において、互いに異なる実数値である複数の第1のOAMモードでデータを含む信号を変調し、データの送信先である対向する無線通信装置における無線環境を示す情報に基づいて、変調された複数の第1のOAMモードの各々の信号に対する重み付けを示す係数を複数のアンテナ素子毎に算出し、係数を用いて複数の第1のOAMモードの各々の信号を複数のアンテナ素子毎に多重化し、複数のアンテナ素子毎に多重化した信号を複数のアンテナ素子の各々に出力する。

発明の効果

[0014] 本発明は、従来と比べて多くのOAMモードの数で電磁波を多重し、スループットを向上させることができる。

図面の簡単な説明

[0015] [図1]無線通信システムの一実施形態を示す図である。

[図2]図1に示した送信局および受信局の一例を示す図である。

[図3]図2に示した送信局におけるアンテナ素子の配置の一例を示す図である。
。

[図4]図1に示した無線通信システムにおける通信処理の一例を示す図である。
。

[図5]無線通信システムの別の実施形態を示す図である。

[図6]図5に示した送信局における多重円形アレーアンテナの一例を示す図である。

[図7]図5に示した送信局の一例を示す図である。

[図8]図7に示した送信処理部の一例を示す図である。

[図9]図4に示した無線通信システムにおける通信処理の一例を示す図である。
。

発明を実施するための形態

[0016] 以下、図面を用いて実施形態について説明する。

[0017] 図1は、無線通信システムの一実施形態を示す。

[0018] 図1に示す無線通信システムSY Sは、送信局100および受信局200を有する。送信局100は、互いに異なる実数値である複数のOAMモードの電磁波を多重化し、 N_t 個のアンテナ素子 AT_x ($AT_x(1) - AT_x(N_t)$)を含む送信アンテナを用いて、多重化した電磁波を受信局200に送信する。受信局200は、 N_r 個のアンテナ素子 AR_x ($AR_x(1) - AR_x(N_r)$)を含む受信アンテナを用いて、送信局100により送信された電磁波を受信する。

[0019] なお、送信局100は、受信局200の機能を、受信局200は、送信局100の機能をそれぞれ有してもよい。これにより、送信局100と受信局200とは、互いに双方向で無線通信を実行できる。送信局100は、無線通信装置の一例であり、受信局200は、対向する無線通信装置の一例であ

る。

[0020] 図2は、図1に示した送信局100および受信局200の一例を示す。図2の(a)は、送信局100を示し、図2の(b)は、受信局200を示す。

[0021] 送信局100は、S/P (Serial-to-Parallel) 部110、変調部120、演算部130、送信処理部140およびN_t個のアンテナ素子A_{Tx}を有する。

[0022] S/P部110は、送信局100に含まれる入力インタフェースやネットワークインタフェース等を介して、スマートフォンやタブレット型端末等の携帯通信端末から送信されたデータを含む信号、あるいはネットワークからデータを含む信号を受信する。S/P部110は、例えば、受信した信号（以下、“送信信号系列”とも称される）をシリアル信号からM個の平行信号に変換する。S/P部110は、平行信号に変換したM個の送信信号系列を変調部120に出力する。

[0023] 変調部120は、S/P部110から受信したM個の並列な送信ビット列の各々に対して、PSK (Phase Shift Keying) /QAM (Quadrature Amplitude Modulation) 方式等で変調し、M個の送信信号系列を生成する。そして、変調部120は、生成したM個の送信信号系列を送信処理部140に出力する。ここで、変調部120が出力するm番目の送信信号系列は、OAMモード l_m を用いて送信される（mは、1からMの整数）。該送信処理については後述する。

[0024] なお、OAMモード l_m 間の間隔は、“1/3”等の分数、または“0.2”や“0.5”等の1より小さい値に設定される。すなわち、送信局100は、1より小さい値の間隔で設定されたM個のOAMモード l_m で送信信号系列を伝送する。これにより、送信局100は、送信可能なOAMモードの範囲が同じ場合、“1”等の整数値の間隔で複数のOAMモードが設定される場合と比べて、多くのOAMモード l_m で送信信号系列を変調できる。また、OAMモード l_m の絶対値を小さい値に設定することにより、送信局100は

、 N_t 個のアンテナ素子 $A T_x$ によるビームパターンの拡がりを抑制できる。また、OAMモード l_m 間の間隔は、不等間隔が選択されてもよい。

[0025] また、送信局 100 は、 M 個の変調部 120 を有してもよい。この場合、 M 個の変調部 120 の各々は、互いに異なる実数値の M 個の OAMモード l_m のいずれか 1 つに設定され、 M 個の送信信号系列のいずれか 1 つを S/P 部 110 から受信し、受信した送信信号系列に対して設定された OAMモード l_m で伝送する。

[0026] 演算部 130 は、送信局 100 に含まれる CPU (Central Processing Unit) 等のプロセッサであり、送信信号系列の送信先である受信局 200 における無線環境を示す情報に基づいて、変調部 120 により変調された M 個の OAMモード l_m の送信信号系列の各々に対する重み付け係数を、 N_t 個のアンテナ素子 $A T_x$ 毎に算出する。演算部 130 は、算出した重み付け係数を送信処理部 140 に出力する。演算部 130 の動作および受信局 200 の無線環境を示す情報については、図 4 で説明する。

[0027] 送信処理部 140 は、例えば、 M 個の OAMモード生成処理部 141 (141 (1) - 141 (M))、および N_t 個の多重部 142 (142 (1) - 142 (N_t)) を有する。 M 個の OAMモード生成処理部 141 の各々は、演算部 130 により算出された重み付け係数を用いて、変調部 120 から受信した送信信号系列に対してアンテナ素子 $A T_x$ 毎に重み付けする。 M 個の OAMモード生成処理部 141 の各々は、アンテナ素子 $A T_x$ 毎に重み付けした送信信号系列を対応するアンテナ素子 $A T_x$ が接続された多重部 142 にそれぞれ出力する。そして、 M 個の多重部 142 の各々は、 M 個の OAMモード生成処理部 141 の各々により重み付けされた送信信号系列を多重化し、多重化した送信信号系列をアンテナ素子 $A T_x$ に出力する。OAMモード生成処理部 141 および多重部 142 の動作については、図 4 で説明する。

[0028] N_t 個のアンテナ素子 $A T_x$ は、受信局 200 に向けて放射された電磁波が伝搬する方向に対して垂直な平面上に配置されたアレーアンテナである。

なお、 N_t 個のアンテナ素子 A_{Tx} は、どのような指向性および偏波特性を有してもよい。 N_t 個のアンテナ素子 A_{Tx} を用いたアレーアンテナについては、図 3 で説明する。

[0029] 受信局 200 は、 N_r 個のアンテナ素子 A_{Rx} 、受信処理部 210、復調部 220 および P/S (Parallel-to-Serial) 部 230 を有する。

[0030] N_r 個のアンテナ素子 A_{Rx} は、送信局 100 により放射された電磁波が伝搬して来る方向に対して垂直な平面において、半径 R_{rx} の円周上に等間隔で配置された一組の円形アレーアンテナである。 N_r 個のアンテナ素子 A_{Rx} は、送信局 100 により放射された OAM を有する電磁波を受信し、受信した OAM の電磁波の受信信号を受信処理部 210 に出力する。

[0031] 受信処理部 210 は、例えば、 N_r 個の分波部 211 (211(1) - 211(N_r)) および M 個の OAM モード分離処理部 212 (212(1) - 212(M)) を有する。 N_r 個の分波部 211 の各々は、例えば、アンテナ素子 A_{Rx} を介して受信した受信信号を M 個の OAM モード分離処理部 212 の各々に分配する。そして、 M 個の OAM モード分離処理部 212 の各々は、互いに異なる実数値の M 個の OAM モード l_m の 1 つが設定され、 N_r 個の分波部 211 各々により分波された受信信号に対して設定された OAM モード l_m に応じた所定の位相量の位相回転を実行する。これにより、 M 個の OAM モード分離処理部 212 の各々は、設定された OAM モード l_m の送信信号系列を受信信号から分離する。 M 個の OAM モード分離処理部 212 の各々は、分離した OAM モード l_m の送信信号系列を復調部 220 に出力する。受信処理部 210 および OAM モード分離処理部 212 の動作については、図 4 で説明する。

[0032] 復調部 220 は、受信処理部 210 から受信した M 個の OAM モード l_m の送信信号系列の各々に対して復調処理を実行する。

[0033] P/S 部 230 は、復調部 220 から受信した M 個の送信信号系列であるパラレル信号をシリアル信号に変換する。そして、受信局 200 は、受信局 200 に含まれる出力インタフェース等を介して、シリアル信号に変換され

た送信信号系列を外部の携帯通信端末やネットワーク等に出力する。

[0034] N_r 個のアンテナ素子 A_{Rx} は、送信局 100 により送信された電磁波が伝搬する方向に対して垂直な平面に任意の半径を有する円周上に配置された 1 重の円形アレーアンテナである。なお、アンテナ素子 A_{Rx} は、どのような指向性および偏波特性を有してもよい。

[0035] 図 3 は、図 2 に示した送信局 100 におけるアンテナ素子 A_{Tx} の配置の一例を示す。図 3 の (a) は、 N_t 個のアンテナ素子 A_{Tx} が同心円状に配置された複数組のアレーアンテナ（以下、“多重円形アレーアンテナ”とも称される）の場合を示す。図 3 の (b) は、 N_t 個のアンテナ素子 A_{Tx} が格子状に配置されたアレーアンテナ（以下、“格子状アレーアンテナ”とも称される）の場合を示す。なお、図 3 は、送信局 100 により放射された電磁波が受信局 200 に向けて伝搬する方向を Z 軸方向とし、正の Z 軸方向（すなわち、受信局 200 側）から見た XY 平面上における N_t 個のアンテナ素子 A_{Tx} の配置を示す。また、図 3 では、 N_t 個のアンテナ素子 A_{Tx} の各々を円形の印で示す。

[0036] また、図 3 では、多重円形アレーアンテナあるいは格子状アレーアンテナを示したが、 N_t 個のアンテナ素子 A_{Tx} が XY 平面上にランダムに配置されてもよい。

[0037] なお、送信局 100 が受信局として受信局 200 から放射された電磁波を受信する場合で、かつ図 3 の (a) に示すように N_t 個のアンテナ素子 A_{Tx} が多重円形アレーアンテナに配置される場合、送信局 100 は、多重円形アレーアンテナのうちいずれか 1 組の円形アレーアンテナを用いて、受信局 200 からの電磁波を受信する。また、図 3 の (b) に示すように、 N_t 個のアンテナ素子 A_{Tx} が格子状アレーアンテナに配置される場合、送信局 100 は、格子状アレーアンテナのうち所定の半径を有する円周上にある複数のアンテナ素子 A_{Tx} を 1 重の円形アレーアンテナとして用い、受信局 200 からの電磁波を受信する。

[0038] なお、 N_t 個のアンテナ素子 A_{Tx} により放射される電磁波が、受信局 2

00の位置において集光され、受信局200の N_r 個のアンテナ素子 A_{Rx} により効率的に受信されるように、図1に示した送信局100および受信局200の少なくとも一方に、電磁波が伝搬する方向を光軸とする誘電体レンズまたは放物面反射器等の集光器が配置されてもよい。これにより、無線通信システムSYSは、 N_t 個のアンテナ素子 A_{Tx} によるビームパターンの拡がりを抑制できる。

[0039] 図4は、図1に示した無線通信システムSYSにおける通信処理の一例を示す。図4に示した処理では、ステップS100からステップS140の処理は、送信局100により実行される。また、ステップS200からステップS230の処理は、受信局200により実行される。すなわち、図4は、通信方法の一実施形態を示す。

[0040] ステップS100では、演算部130は、送信信号系列の送信先である受信局200における無線環境を示す情報に基づいて、変調部120により変調された M 個のOAMモード l_m の送信信号系列の各々に対する重み付け係数を、 N_t 個のアンテナ素子 A_{Tx} 毎に算出する。例えば、送信局100が送信信号系列 s_m をOAMモード l_m を使って受信局200に送信する場合、受信局200の位置において形成されるビームパターン $u_m(x, y, z_d)$ は、式(1)のように表される。

$$u_m(x, y, z_d) = u_m(r, \phi, z_d) = \exp(i l_m \phi) \cdot f(r) \dots (1)$$

z_d は、送信局100と受信局200との間の距離を示す。なお、送信局100は、XYZ座標の原点とする。また、 (r, ϕ, z_d) は、 (x, y, z_d) を円柱座標で表したものであり、 $x = r \cos \phi$ および $y = r \sin \phi$ である。また、 $\exp(i l_m \phi)$ は、OAMモード l_m における位相分布を示す。また、 $f(r)$ は、 r 方向（直径方向）におけるビームの分布形状を示す関数である。 i は虚数単位を表す。

[0041] そして、式(1)の分布から送信局100におけるビームパターン $u_m(r, \phi, 0)$ は、例えば、K. Matsushima, et. al., “Band-limited angular sp

pectrum method for numerical simulation of free-space propagation in far and near fields”, Optics express, vol. 17, no. 22, pp. 19662–19673, 2009に基づいて、式(1)の受信局200におけるビームパターン $u_m(r, \phi, z_d)$ と式(2)のように関係付けられる。

$$u_m(r, \phi, 0) = u_m(r, \phi, z_d) * h(r, \phi, -z_d) \quad \dots(2)$$

$h(r, \phi, -z_d)$ は、送信局100と受信局200との間の伝搬チャネルの応答を示す。

[0042] 演算部130は、例えば、送信局100と受信局200との間の距離 z_d 、受信局200の N_r 個のアンテナ素子 A_{Rx} による1重の円形アレーアンテナの半径、ビームの形状を示す関数 $f(r)$ 等を、ネットワーク等を介して受信局200から無線環境を示す情報として取得する。そして、演算部130は、取得した情報を用いて送信局100の N_t 個のアンテナ素子 A_{Tx} によるビームパターンが式(2)となるように、式(3)を用いて各アンテナ素子 A_{Tx} に重み付けする係数 w_m を算出する。

$$\begin{aligned} w_m &= (w_{m,1}, \dots, w_{m,M_t})^T \\ &= A_m(u_m(r_1, \phi_1, 0), \dots, u_m(r_{N_t}, \phi_{N_t}, 0))^T \quad \dots \end{aligned}$$

(3)

A_m は、任意の定数であり、適宜決定される。以下では、 A_m は“1”に設定される。 x_n および y_n は、アンテナ素子 $A_{Tx}(n)$ が配置されたXY平面上の位置の座標を示す(n は、1から N_t の整数)。また、 r_n は、 $(x_n^2 + y_n^2)^{1/2}$ であり、 ϕ_n は、 $\text{sgn}(y_n) \times \cos^{-1}(x_n / r_n)$ である。また、 sgn は、符号関数である。

[0043] なお、受信局200における無線環境の情報は、無線通信システムSYSを管理する管理者等により予め入力され、送信局100に含まれるハードディスク装置やメモリ等の記憶装置に記憶されてもよい。

[0044] 次に、ステップS110では、変調部120は、S/P部110から受信した送信ビット系列の各々に対して、PSK/QAM等を用いて変調し、M

個の送信信号系列 s_m を生成する (m は、1 から M の整数)。そして、変調部 120 は、生成した送信信号系列 s_m を送信処理部 140 に出力する。

[0045] 次に、ステップ S120 では、送信処理部 140 の OAM モード生成処理部 141 (m) は、ステップ S100 で算出された式 (3) に示す重み付け係数 w_m を用いて、ステップ S110 で生成された送信信号系列 s_m に対し M 個のアンテナ素子 AT_x 毎に重み付け処理を実行し、OAM モード l_m を生成する。OAM モード生成処理部 141 (m) は、重み付けした送信信号系列 $w_{m,n} \cdot s_m$ を N_t 個の多重部 142 にそれぞれ出力する (n は、1 から N_t の整数)。

[0046] 次に、ステップ S130 では、多重部 142 (n) は、ステップ S120 で重み付けされた送信信号系列 $w_{m,n} \cdot s_m$ を、式 (4) を用いて多重化する (n は、1 から N_t の整数)。

[0047] [数1]

$$SS_n = \sum_{m=1}^M w_{m,n} \cdot s_m \quad \dots (4)$$

[0048] 次に、ステップ S140 では、多重部 142 (n) は、ステップ S130 で多重化した送信信号系列 SS_n をアンテナ素子 AT_x (n) に出力し、多重化した送信信号系列 SS_n の電磁波を受信局 200 に放射する。このように伝送することで、受信局 200 のアンテナ素子 AR_x の位置で OAM モード l_1 から OAM モード l_M が合成されたビームパターンが得られる。

[0049] そして、送信局 100 は、送信処理を終了する。送信局 100 は、外部より送信信号系列を受信する度に、ステップ S100 からステップ S140 の処理を繰り返し実行する。なお、ステップ S100 の処理は、最初の 1 回だけ実行されるだけでよく、2 回目以降では省略されてもよい。

[0050] ステップ S200 では、受信局 200 の受信処理部 210 は、 N_r 個のアンテナ素子 AR_x を介して、ステップ S140 で放射された送信信号系列の電磁波を受信する。そして、受信処理部 210 の分波部 211 (n_r) は、受

信した送信信号系列の受信信号 t_{n_r} を M 個の OAM モード分離処理部 212 の各々に分配する (n_r は、1 から N_r の整数)。なお、受信信号 t_{n_r} は、式(5) のように表される。

[0051] [数2]

$$t_{n_r} = f(Rr) \cdot \sum_{m=1}^M \exp(il_m 2\pi \cdot n_r / Nr) \cdot s_m \quad \dots (5)$$

[0052] R_r は、 N_r 個のアンテナ素子 AR_x を有する 1 重の円形アレーアンテナの半径を示す。

[0053] 次に、ステップ S210 では、OAM モード分離処理部 212 (m) は、分波部 211 (n_r) から受信した受信信号 t_{n_r} に対して OAM モード l_m に応じた位相量の位相回転を実行し、 N_r 個の受信信号 t_{n_r} を合成する。例えば、OAM モード分離処理部 212 (m) は、分波部 211 (n_r) から受信した受信信号 t_{n_r} に対して、位相量 $\exp(-il_m 2\pi \cdot n_r / Nr)$ の位相回転をさせ、位相回転した N_r 個の受信信号 t_{n_r} を合成する。なお、OAM モード分離処理部 212 (m) により合成された信号 $st(m)$ は、式(6) のように表される。

[0054] [数3]

$$\begin{aligned} st(m) &= \sum_{n_r=1}^{Nr} t_{n_r} \cdot \exp(-il_m 2\pi \cdot n_r / Nr) \\ &= f(Rr) \cdot Nr \cdot s_m + f(Rr) \cdot \sum_{m' \neq m} \exp\left(\frac{i(l_{m'} - l_m) 2\pi m'}{Nr}\right) \cdot s_{m'} \quad \dots (6) \end{aligned}$$

[0055] すなわち、 N_r 個の受信信号 t_{n_r} が OAM モード l_m で同相合成されることにより、合成した信号 $st(m)$ のうち、式(6) の第一項が示す OAM モード l_m の送信信号系列の強度は、第二項の他の OAM モードの送信信号系列と比べて十分大きくなる。これにより、OAM モード分離処理部 212 (m) は、実数値の OAM モード l_m で伝送した送信信号系列を受信信号から分離

できる。そして、OAMモード分離処理部212(m)は、分離したOAMモード l_m の送信信号系列を復調部220に出力する。

[0056] 次に、ステップS220では、復調部220は、ステップS210で分離されたM個のOAMモード l_m の送信信号系列の各々に対して復調処理を実行する。

[0057] 次に、ステップS230では、P/S部230は、ステップS220で復調されたM個の送信信号系列の平行信号をシリアル信号に変換する。そして、受信局200は、受信局200に含まれる出力インタフェース等を通じて、シリアル信号に変換された送信信号系列を外部の携帯通信端末やネットワーク等へ出力する。

[0058] そして、受信局200は、受信処理を終了する。受信局200は、送信局100から送信信号系列を受信する度に、ステップS200からステップS230の処理を繰り返し実行する。

[0059] 図1から図4に示した実施形態では、送信局100は、モードの間隔が1よりも小さい実数値のM個のOAMモード l_m の各々で送信信号系列を伝送し、M個のOAMモード l_m で変調した送信信号系列を多重化して、受信局200に送信する。すなわち、送信局100は、1よりも小さい値の間隔で設定された非整数次と整数次とを含むM個のOAMモード l_m を用いることにより、送信可能なOAMモードの範囲が同じ場合、整数値の間隔で複数のOAMモードが設定される場合と比べて、多くのOAMモード l_m で送信信号系列を変調できる。また、OAMモード l_m の絶対値を小さい値に設定することにより、送信局100は、 N_t 個のアンテナ素子 AT_x によるビームパターンの拡がりを抑制できる。

[0060] 例えば、非特許文献4等の従来技術において、通信に必要な受信電力を確保可能なOAMモードが-2、-1、0、2、2の5モード多重が限界の場合でも、送信局100は、OAMモードが-2.0、-1.5、-1.0、-0.5、0、0.5、1.0、1.5、2.0の9モード多重を実現でき、多重数を1.8倍にできる。

- [0061] また、受信局200は、送信局100から受信した受信信号に対してOAMモード l_m に応じた位相量の位相回転を実行し、受信した受信信号を同相合成することにより、各OAMモード l_m の送信信号系列を分離することができる。以上により、無線通信システムSYSは、ビームパターンの拡がりを抑えつつ、従来と比べて多くのOAMモードの数で電磁波を多重でき、スループットを向上させることができる。
- [0062] 図5は、無線通信システムの別の実施形態を示す。なお、図1で説明した要素と同一または同様の機能を有する要素については、同一または同様の符号を付し、これらについては、詳細な説明を省略する。
- [0063] 図5に示した無線通信システムSYS1は、送信局100Aおよび受信局200を有する。送信局100Aは、 N_t 個のアンテナ素子 A_{Tx} を含む送信アンテナを用いて、互いに異なる実数値の複数のOAMモードで多重化した電磁波を、受信局200に送信する。そして、受信局200は、 N_r 個のアンテナ素子 A_{Rx} を含む受信アンテナを用いて、送信局100Aにより送信された電磁波を受信する。
- [0064] なお、無線通信システムSYS1では、送信局100Aは、互いに異なる整数値のOAMモードを合成して実数値の複数のOAMモードを近似的に生成し、多重化した電磁波を、受信局200に送信する。これにより、既存の無線通信システムの送信局および受信局を、無線通信システムSYS1の送信局100および受信局200として動作させることができる。
- [0065] また、送信局100Aは、受信局200の機能を有し、受信局200は、送信局100Aの機能を有することにより、送信局100Aと受信局200との間で双方向に無線通信処理が実行されてもよい。
- [0066] また、 N_t 個のアンテナ素子 A_{Tx} は、例えば、図3の(a)に示すように、多重円形アレーアンテナとなるように配置される。
- [0067] 図6は、図5に示した送信局100Aにおける多重円形アレーアンテナの一例を示す。図6に示すように、 N_t 個のアンテナ素子 A_{Tx} は、E組の円形アレーアンテナSA(SA(1)−SA(E))となるように配置される。

。E組の円形アレーアンテナSAの各々は、互いに異なる半径 R_t ($R_t(1) - R_t(E)$)を有し、同心円状に配置される。そして、円形アレーアンテナSA(1) - SA(E)の各々には、例えば、 $K(1)$ 個から $K(E)$ 個のアンテナ素子 A_{tx} が等間隔に円周上に配置される。すなわち、円形アレーアンテナSA(j_e)に配置される $K(j_e)$ 個のアンテナ素子 A_{tx} は、角度 $2\pi/K(j_e)$ の間隔で配置される(j_e は、1からEの整数)。なお、 $K(1) + K(2) + \dots + K(E) = N_t$ である。また、図6では、図3の場合と同様に、 N_t 個のアンテナ素子 A_{Tx} の各々を円形の印で示す。また、 N_t 個のアンテナ素子 A_{Tx} は、どのような指向性および偏波特性を有してもよい。

[0068] また、円形アレーアンテナSAの組数E、各円形アレーアンテナSAに含まれるアンテナ素子 A_{tx} の数 $K(1) - K(E)$ は、無線通信システムSYS1の規模や、要求される通信の品質に応じて適宜決定されるのが好ましい。

[0069] また、 N_t 個のアンテナ素子 A_{Tx} により放射される電磁波が、受信局200の位置において集光され、受信局200の N_r 個のアンテナ素子 A_{Rx} により効率的に受信されるように、図1に示した送信局100Aおよび受信局200の少なくとも一方に、電磁波が伝搬する方向を光軸とする誘電体レンズまたは放物面反射器等の集光器が配置されてもよい。これにより、無線通信システムSYS1は、 N_t 個のアンテナ素子 A_{Tx} によるビームパターンの拡がりを抑制できる。

[0070] 図7は、図5に示した送信局100Aの一例を示す。なお、図2で説明した要素と同一または同様の機能を有する要素については、同一または同様の符号を付し、これらについては、詳細な説明を省略する。

[0071] 送信局100Aは、S/P部110、変調部120、M個の分波部125 ($125(1) - 125(M)$)、演算部130a、E個の送信処理部140a ($140a(1) - 140a(E)$)および N_t 個のアンテナ素子 A_{Tx} を有する。

- [0072] 変調部120は、S/P部110から受信したM個の並列な送信ビット列の各々に対して、PSK/QAM方式等で変調し、M個の送信信号系列を生成する。そして、変調部120は、生成した送信信号系列をM個の分波部125の各々に出力する。ここで、変調部120が出力するm番目の送信信号系列は、OAMモード l_m を用いて送信される。該送信処理については後述する。
- [0073] M個の分波部125の各々は、変調部120から受信した送信信号系列を、E個の送信処理部140aの各々に分配する。
- [0074] 演算部130aは、送信局100Aに含まれるCPU等のプロセッサであり、送信信号系列の送信先である受信局200における無線環境を示す情報に基づいて、変調部120により変調されたM個の送信信号系列の各々に対する重み付け係数を、E個の円形アレーアンテナSA毎に算出する。演算部130aは、算出した重み付け係数をE個の送信処理部140aにそれぞれ出力する。演算部130aの動作については、図9で説明する。
- [0075] E個の送信処理部140aの各々は、例えば、図6に示した円形アレーアンテナSA(1)～SA(E)の各々に接続される。すなわち、送信処理部140a(je)は、円形アレーアンテナSA(je)に含まれるK(je)個のアンテナ素子ATxに接続される。そして、送信処理部140a(je)は、M個の分波部125から受信した各OAMモード l_m の送信信号系列に対して送信処理を実行し、円形アレーアンテナSA(je)を介して送信信号系列を含む電磁波を受信局200に放射する。送信処理部140aの動作については、図8で説明する。
- [0076] 図8は、図7に示した送信処理部140aの一例を示す。なお、図8では、送信処理部140a(1)について説明するが、送信処理部140a(2)～140a(E)についても送信処理部140a(1)と同様に動作する。
- [0077] 図8に示した送信処理部140a(1)は、M個の第1OAMモード生成処理部141a(141a(1)～141a(M))、(L+1)個の多重

部 1 4 2 a (1 4 2 a (1) - 1 4 2 a (L + 1)) 、 (L + 1) 個の第 2 O A M モード生成処理部 1 4 3 (1 4 3 (1) - 1 4 3 (L + 1)) および K (1) 個の第 2 多重部 1 4 4 (1 4 4 (1) - 1 4 4 (K (1))) を有する。

[0078] M 個の第 1 O A M モード生成処理部 1 4 1 a の各々は、図 2 に示した O A M モード生成処理部 1 4 1 と同様に、演算部 1 3 0 a により算出された重み付け係数を用いて、分波部 1 2 5 から受信した O A M モード l_m の送信信号系列 s_m に対して重み付けする (m は、1 から M の整数) 。 M 個の第 1 O A M モード生成処理部 1 4 1 a の各々は、重み付けした送信信号系列 s_m を ($L + 1$) 個の多重部 1 4 2 a にそれぞれ出力する。

[0079] ($L + 1$) 個の多重部 1 4 2 a の各々は、 M 個の第 1 O A M モード生成処理部 1 4 1 a により重み付けされた送信信号系列を多重化し、多重化した送信信号系列を第 2 O A M モード生成処理部 1 4 3 に出力する。

[0080] ($L + 1$) 個の第 2 O A M モード生成処理部 1 4 3 の各々は、($L + 1$) 個の多重部 1 4 2 の各々により多重化された送信信号系列を、円形アレーアンテナ S A (1) において予め設定された整数値の O A M モード l' のビームパターンで送信するための位相の重み付け処理を実行する。($L + 1$) 個の第 2 O A M モード生成処理部 1 4 3 の各々は、位相の重み付け処理が実行した送信信号系列を、円形アレーアンテナ S A (1) の K (1) 個のアンテナ素子 A T x の各々に接続された第 2 多重部 1 4 4 に出力する。

[0081] K (1) 個の第 2 多重部 1 4 4 の各々は、($L + 1$) 個の第 2 O A M モード生成処理部 1 4 3 の各々から受信した送信信号系列を多重化し、円形アレーアンテナ S A (1) を介して、多重化した送信信号系列信号を O A M モード l' の電磁波で受信局 2 0 0 に放射する。第 1 O A M モード生成処理部 1 4 1 a 、多重部 1 4 2 a 、第 2 O A M モード生成処理部 1 4 3 および第 2 多重部 1 4 4 の動作については、図 9 で説明する。

[0082] 図 9 は、図 5 に示した無線通信システム S Y S における通信処理の一例を示す。なお、図 9 に示したステップの動作のうち、図 4 に示したステップと

同一または同様の処理を示すものについては、同一のステップ番号を付し、詳細な説明を省略する。図9に示した処理では、ステップS300からステップS360の処理は、送信局100Aにより実行される。また、ステップS200からステップS230の処理は、受信局200により実行される。すなわち、図9は、無線通信方法の別の実施形態を示す。

[0083] なお、図9に示した処理では、送信局100Aのうち図6に示した円形アレーアンテナSA(1)に接続された送信処理部140a(1)の動作について説明する。しかしながら、送信処理部140a(2)〜140a(E)についても、送信処理部140a(1)の動作と同様に動作し、詳細な説明を省略する。

[0084] ステップS300では、演算部130aは、送信信号系列の送信先である受信局200における無線環境を示す情報に基づいて、変調部120により変調されたM個のOAMモード l_m の送信信号系列の各々に対する重み付け係数を、円形アレーアンテナSA毎に算出する。

[0085] ここで、整数値のOAMモード l' を基底ベクトルとして送信局100に形成されるビームの分布式(式(2))を展開した場合、式(2)は、式(7)となる。

[0086] [数4]

$$u_m(r, \phi, 0) = \sum_{l' \in \text{整数}} c_{l'}(l_m, r) \exp(il' \phi) \quad \dots (7)$$

[0087] $c_{l'}(l_m, r)$ は、OAMモード l_m を級数展開したときの整数モード l' に対して重み付けする展開係数である。 r は、 r 方向に変化する関数であることを示す。すなわち、 $c_{l'}(l_m, r)$ は、 r 方向にのみ変動する関数である。

[0088] そして、演算部130aは、式(7)および式(8)を用いて重み付け係数 w_m を算出する。なお、式(8)は、半径 $R_t(1)$ の円形アレーアンテナSA(1)における重み付け係数 w_m を示す。

$$w_m = (w_m, l_{\min}(R_t(1)), w_m, l_{\min+1}(R_t(1)), \dots,$$

$$\begin{aligned}
 & w_m, L_{\min+L} (R t (1)))^T \\
 & = A_m (c_{L_{\min}} (I_m, R t (1)), c_{L_{\min+1}} (I_m, R t (1)), \dots, \\
 & \quad c_{L_{\min+L}} (I_m, R t (1)))^T \quad \dots (8)
 \end{aligned}$$

A_m は、任意の定数であり、適宜決定される。以下では、 A_m は、“1”に設定される。なお、多重部142aおよび第2OAMモード生成処理部143の個数($L+1$)における L の値と、 $L_{\min}$ の値とは、円形アレーアンテナSA(1)から放射できる整数次のOAMモードの次数以内であればよい。

[0089] 演算部130aは、円形アレーアンテナSA毎に算出した重み付け係数 w_m を各送信処理部140aに出力する。

[0090] なお、受信局200における無線環境の情報は、無線通信システムSYS1を管理する管理者等により予め入力され、送信局100Aに含まれるハードディスク装置やメモリ等の記憶装置に記憶されてもよい。

[0091] 次に、ステップS310では、変調部120は、S/P部110から受信したM個の送信信号系列の各々を変調する。そして、変調部120は、M個の分波部125を介して、M個のOAMモード I_m の送信信号系列 s_m をE個の送信処理部140aの各々に出力する。

[0092] 次に、ステップS320では、送信処理部140a(1)の第1OAMモード生成処理部141a(m)は、ステップS300で算出された式(8)の重み付け係数 w_m を用いて、ステップS310で変調されたOAMモード I_m の送信信号系列 s_m に対して重み付け処理を実行する(mは、1からMの整数)。そして、第1OAMモード生成処理部141a(m)は、重み付けした送信信号系列 $w_m, L_{\min+j} \cdot s_m$ を多重部142a(j+1)にそれぞれ出力する(jは、0からLの整数)。

[0093] 次に、ステップS330では、多重部142a(j+1)は、ステップS320で第1OAMモード生成処理部141a(m)の各々により重み付けされた送信信号系列 $w_m, L_{\min+j} \cdot s_m$ を、式(9)を用いて多重化する。そして、多重部142a(j+1)は、多重化した送信信号系列 $s', L_{\min+j}$ を第2OAMモード生成処理部143(j+1)に出力する。

[0094] [数5]

$$s'_{L_{\min}+j} = \sum_{m=1}^M w_{m,L_{\min}+j} \cdot s_m \quad \dots (9)$$

[0095] 次に、ステップS340では、第2 OAMモード生成処理部143 (j + 1) は、ステップS330で多重化された送信信号系列 $s'_{L_{\min}+j}$ を、円形アレーアンテナSA (1) を用いて整数値のOAMモード l' で送信するための位相の重み付け処理を実行する。すなわち、第2 OAMモード生成処理部143 (j + 1) は、多重化された送信信号系列 $s'_{L_{\min}+j}$ に対して、円形アレーアンテナSA (1) のK (1) 個のアンテナ素子に応じた位相重み $\theta_{l', ka}$ ($= \exp(i 2 \pi l' \cdot ka / K(1))$) を乗算する (ka は、1 から K (1) の整数、 $l' \in \{L_{\min}, L_{\min} + 1, \dots, L_{\min} + L\}$)。

[0096] そして、第2 OAMモード生成処理部143 (j + 1) は、位相の重み付けをした送信信号系列 $\theta_{l', ka} \cdot s'_{L_{\min}+j}$ を、アンテナ素子ATx (ka) が接続された第2多重部144 (ka) に出力する。

[0097] 次に、ステップS350では、第2多重部144 (ka) は、ステップS340で位相の重み付けされた送信信号系列 $\theta_{l', ka} \cdot s'_{L_{\min}+j}$ を、第2 OAMモード生成処理部143 (j) から受信する。そして、第2多重部144 (ka) は、式(10)を用いて、受信した送信信号系列 $\theta_{l', ka} \cdot s'_{L_{\min}+j}$ を多重化する。なお、式(10)は、式(7)を用いて変形される。また、式(10)では、 $j' = l' = L_{\min} + j$ とする。

[0098] [数6]

$$\begin{aligned} SS_{ka} &= \sum_{j'=L_{\min}}^{L_{\min}+L} \theta_{j', ka} \cdot s'_{j'} \\ &= \sum_{j'=L_{\min}}^{L_{\min}+L} \theta_{j', ka} \sum_{m=1}^M w_{m,j'} \cdot s_m = \sum_{m=1}^M \left\{ \sum_{j'=L_{\min}}^{L_{\min}+L} \exp\left(\frac{i 2 \pi \cdot j' \cdot ka}{K(1)}\right) \cdot c_{j'}(l_m, Rt(1)) \right\} s_m \\ &\cong \sum_{m=1}^M u_m \left(Rt(1), \frac{2 \pi \cdot ka}{K(1)}, 0 \right) \cdot s_m \quad \dots (10) \end{aligned}$$

[0099] ステップS360では、第2多重部144 (ka) は、ステップS350

で多重化した送信信号系列 $s_{s_{ka}}$ をアンテナ素子 $A_{Tx}(k_a)$ に出力し、多重化した送信信号系列 $s_{s_{ka}}$ の電磁波を受信局 200 に放射する。すなわち、図 9 に示した処理により、一実施形態と同様に、複数のモードを多重化したビームが受信局 200 に生成される。

[0100] そして、送信局 100A は、送信処理を終了する。送信局 100A は、外部より送信信号系列を受信する度に、ステップ S300 からステップ S360 の処理を繰り返し実行する。なお、ステップ S300 の処理は、最初の 1 回だけ実行されるだけでよく、2 回目以降では省略されてもよい。

[0101] なお、図 9 に示した受信局 200 の処理は、図 4 に示した処理と同様であり、詳細な説明を省略する。

[0102] 図 5 から図 9 に示した実施形態では、送信局 100A は、モードの間隔が 1 よりも小さい実数値の M 個の OAM モード l_m の各々で送信信号系列を伝送し、 M 個の OAM モード l_m で変調された送信信号系列を多重化して、受信局 200 に送信する。すなわち、送信局 100A は、1 より小さい値の間隔で設定された非整数次と整数次とを含む M 個の OAM モード l_m を用いることにより、送信可能な OAM モードの範囲が同じ場合、整数値の間隔で複数の OAM モードが設定される場合と比べて、多くの OAM モード l_m で送信信号系列を変調できる。また、OAM モード l_m の絶対値を小さい値に設定することにより、送信局 100A は、 N_t 個のアンテナ素子 A_{Tx} によるビームパターンの拡がりを抑制できる。

[0103] 例えば、非特許文献 4 等の従来技術において、通信に必要な受信電力を確保可能な OAM モードが -2 、 -1 、 0 、 2 、 2 の 5 モード多重が限界の場合でも、送信局 100A は、OAM モードが -2.0 、 -1.5 、 -1.0 、 -0.5 、 0 、 0.5 、 1.0 、 1.5 、 2.0 の 9 モード多重を実現でき、多重数を 1.8 倍にできる。

[0104] また、受信局 200 は、送信局 100A から受信した受信信号に対して OAM モード l_m に応じた位相量の位相回転を実行し、受信した受信信号を同相合成することにより、各 OAM モード l_m の信号を分離することができる。以

上により、無線通信システムSY S 1は、ビームパターンの拡がりを抑制しつつ、従来と比べて多くのOAMモードの数で電磁波を多重でき、スループットを向上させることができる。

[0105] また、無線通信システムSY S 1は、互いに異なる整数値の複数のOAMモード l' の電磁波を放射している複数組の円形アレーアンテナを有する既存の無線通信システムに対しても、送信信号系列を整数値のOAMモード l' で多重化する前に、互いに異なる実数値のM個のOAMモード l_m で多重化することにより実現できる。すなわち、無線通信システムSY S 1は、既存の無線通信システムを用いて低コストで実現可能であり、スループットの向上を図ることができる。

[0106] 以上の詳細な説明により、実施形態の特徴点および利点は明らかになるであろう。これは、特許請求の範囲がその精神および権利範囲を逸脱しない範囲で前述のような実施形態の特徴点および利点にまで及ぶことを意図するものである。また、当該技術分野において通常の知識を有する者であれば、あらゆる改良および変更に容易に想到できるはずである。したがって、発明性を有する実施形態の範囲を前述したものに限定する意図はなく、実施形態に開示された範囲に含まれる適当な改良物および均等物に拠ることも可能である。

符号の説明

[0107] 100, 100A…送信局、110…S/P部、120…変調部、125(1)–125(M), 211(1)–211(N_r)…分波部、130, 130a…演算部、140, 140a(1)–140(E)…送信処理部、141…OAMモード生成処理部、141a(1)–141a(L+1)…第1OAMモード生成処理部、142, 142a(1)–142a(L+1)…多重部、143(1)–143(L+1)…第2OAMモード生成処理部、144(1)–144(K(1))…第2多重部、200…受信局、210…受信処理部、212(1)–212(N_r)…OAMモード分離処理部、220…復調部、230…P/S部、AT_x(1)–AT_x(N_t), A

$R_x(1) - AR_x(N_r) \cdots$ アンテナ素子、 $SA(1) - SA(E) \cdots$ 円形アレーアンテナ、 $SYS, SYS1 \cdots$ 無線通信システム

請求の範囲

[請求項1]

複数のアンテナ素子と、

互いに異なる実数値である複数の第1のOAM (Orbital Angular Momentum) モードでデータを含む信号を変調する変調部と、

前記データの送信先である対向する無線通信装置における無線環境を示す情報に基づいて、前記変調部により変調された前記複数の第1のOAMモードの各々の信号に対する重み付けを示す係数を前記複数のアンテナ素子毎に算出する演算部と、

前記係数を用いて前記複数の第1のOAMモードの各々の信号を前記複数のアンテナ素子毎に多重化し、前記複数のアンテナ素子毎に多重化した信号を前記複数のアンテナ素子の各々に出力する送信処理部と

を備えることを特徴とする無線通信装置。

[請求項2]

請求項1に記載の無線通信装置において、

前記対向する無線通信装置から受信した受信信号に対して前記複数の第1のOAMモードの各々に応じた位相量で位相回転させて、前記受信信号から前記複数の第1のOAMモードの信号の各々に分離する受信処理部と、

分離された前記複数の第1のOAMモードの信号を復調する復調部とをさらに備える

ことを特徴とする無線通信装置。

[請求項3]

請求項1または請求項2に記載の無線通信装置において、

前記複数のアンテナ素子により放射された電磁波を前記対向する無線通信装置の位置において集光する集光部をさらに備えることを特徴とする無線通信装置。

[請求項4]

請求項1または請求項2に記載の無線通信装置において、

前記複数のアンテナ素子は、前記対向する無線通信装置が設置された方向に対して垂直な二次元平面上に同心円状に配置される複数組の

円形アレーアンテナであることを特徴とする無線通信装置。

[請求項5]

請求項4に記載の無線通信装置において、

前記複数組の円形アレーアンテナの各々に配置される複数の前記送信処理部をさらに備え、

前記演算部は、前記係数を前記複数組の円形アレーアンテナ毎に算出し、

前記複数の送信処理部の各々は、前記係数を用いて前記複数の第1のOAMモードの各々の信号を配置された前記円形アレーアンテナ毎に多重化し、配置された前記円形アレーアンテナに設定された整数値の第2のOAMモードに応じた位相の重み付けを、多重化した信号に対して実行する

ことを特徴とする無線通信装置。

[請求項6]

複数のアンテナ素子を有する無線通信装置の無線通信方法において、

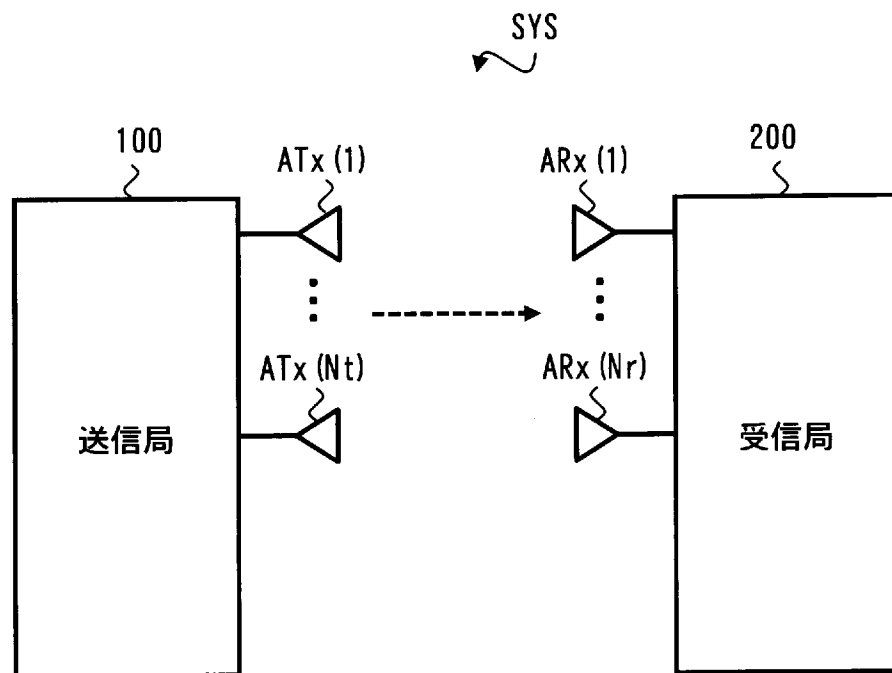
互いに異なる実数値である複数の第1のOAMモードでデータを含む信号を変調し、

前記データの送信先である対向する無線通信装置における無線環境を示す情報に基づいて、変調された前記複数の第1のOAMモードの各々の信号に対する重み付けを示す係数を前記複数のアンテナ素子毎に算出し、

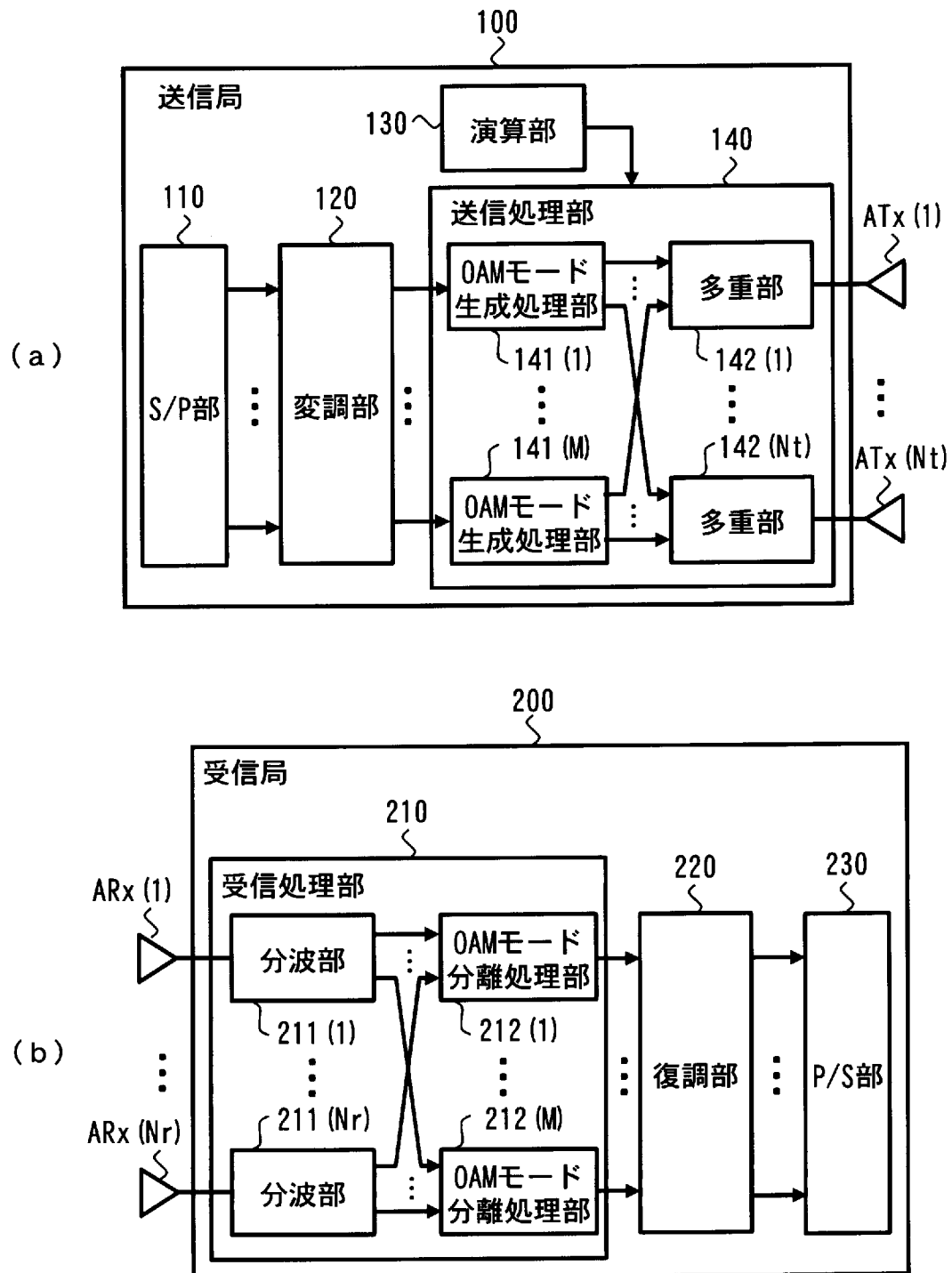
前記係数を用いて前記複数の第1のOAMモードの各々の信号を前記複数のアンテナ素子毎に多重化し、前記複数のアンテナ素子毎に多重化した信号を前記複数のアンテナ素子の各々に出力する

ことを特徴とする無線通信方法。

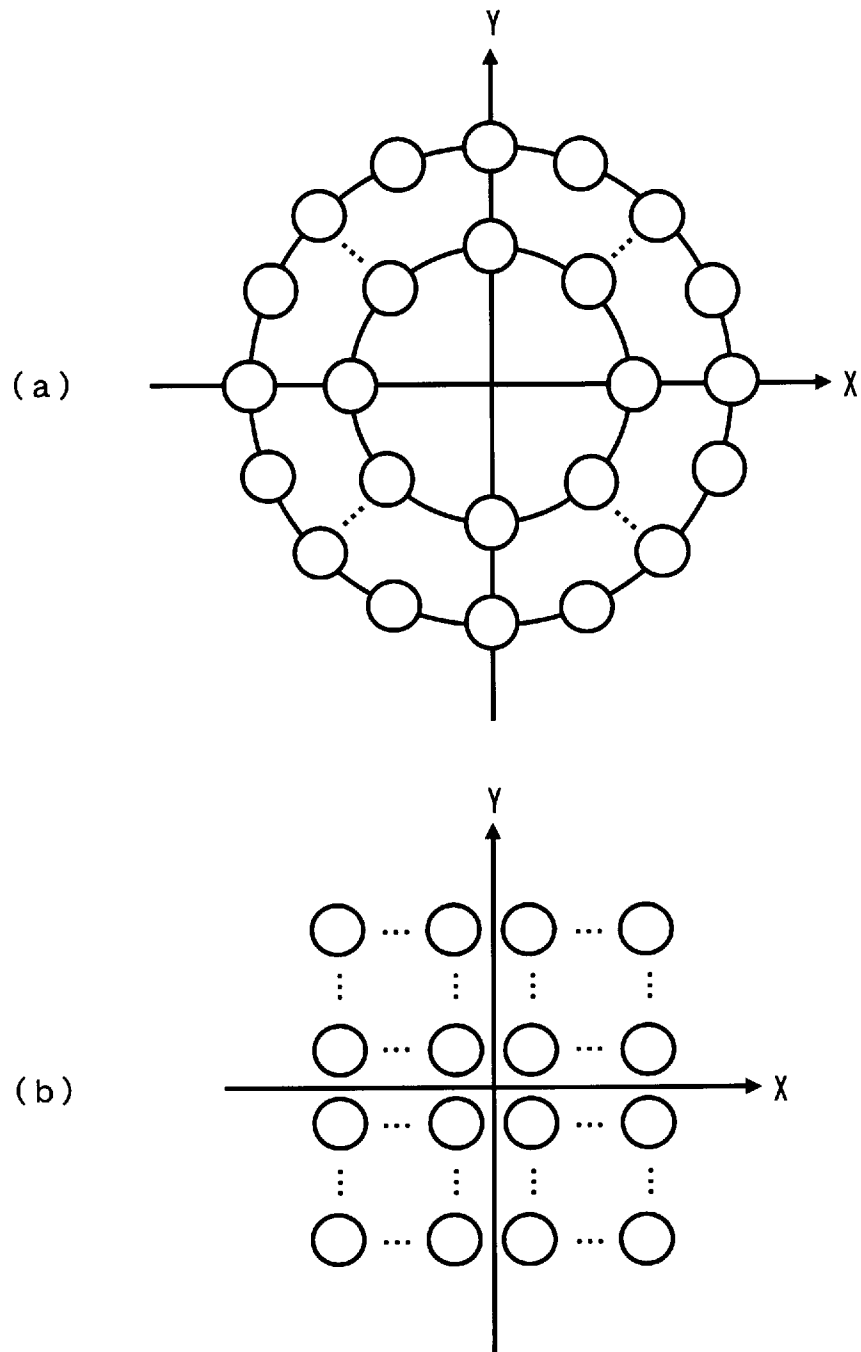
[図1]



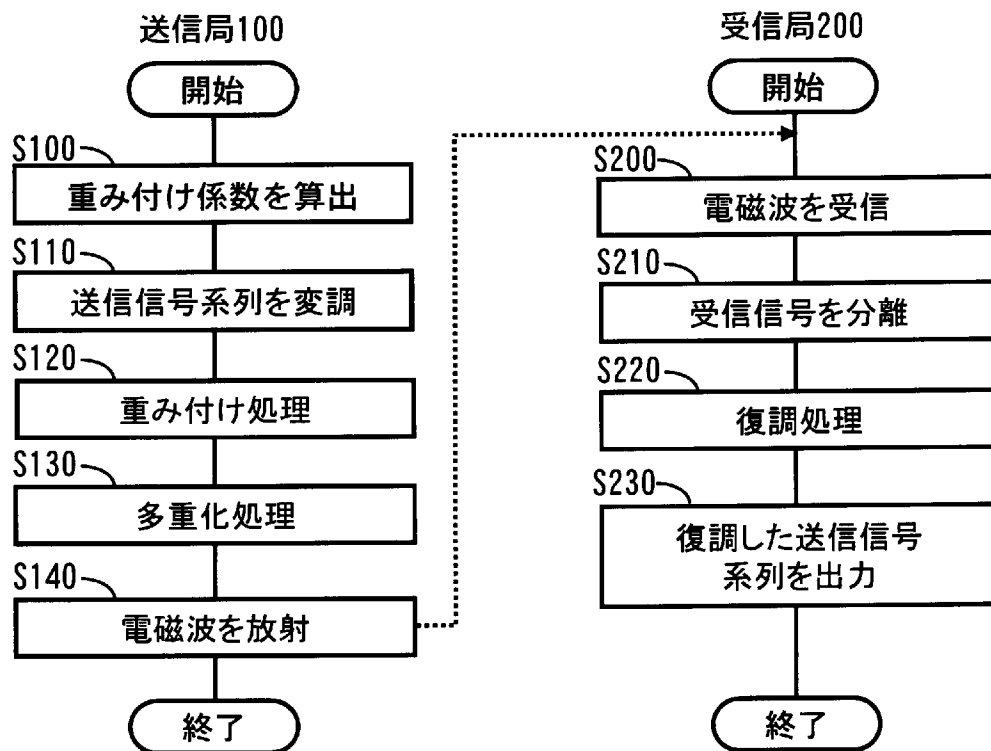
[図2]



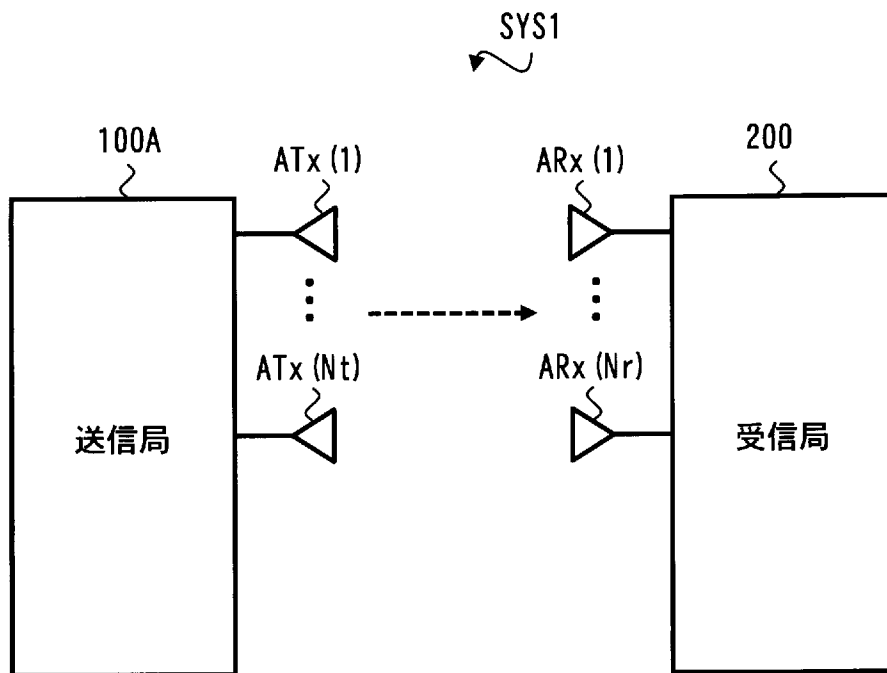
[図3]



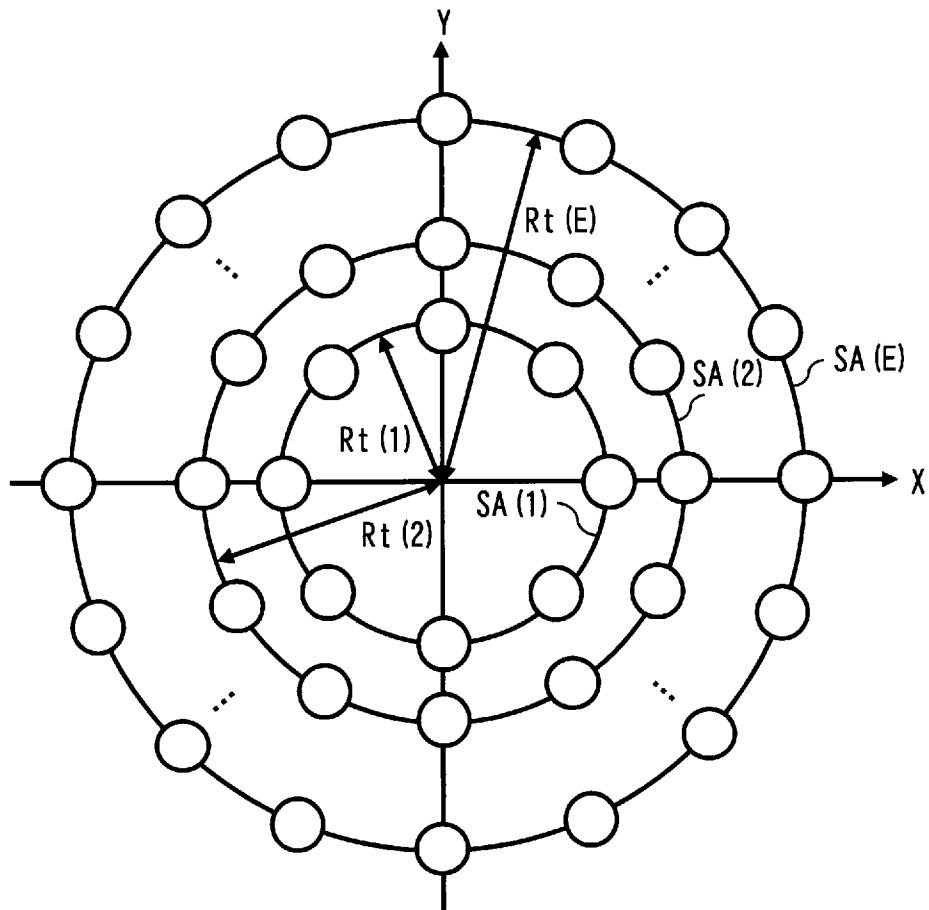
[図4]



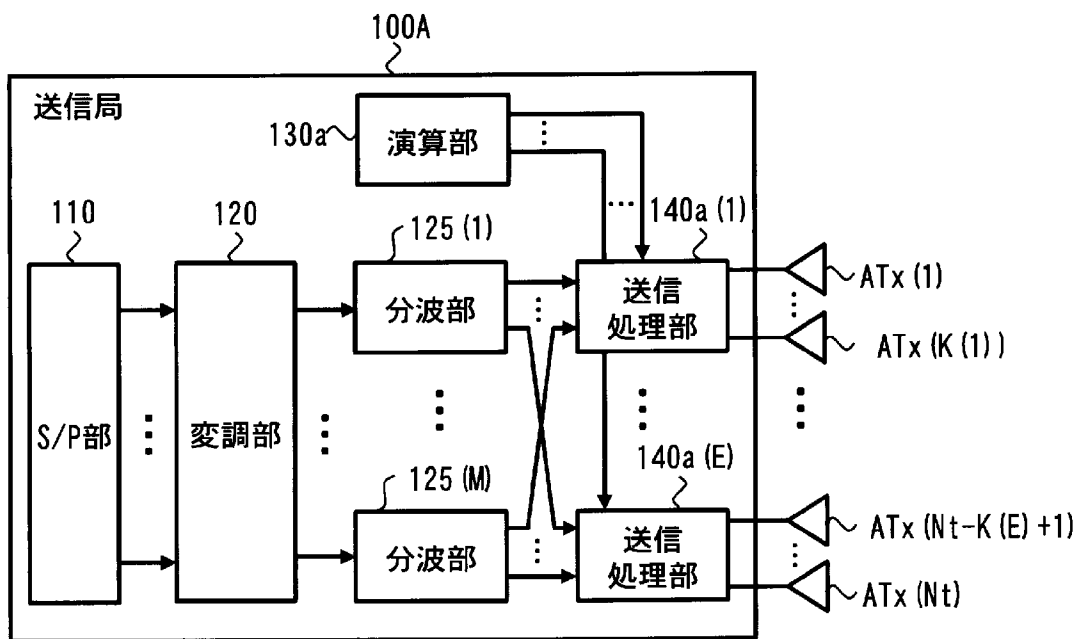
[図5]



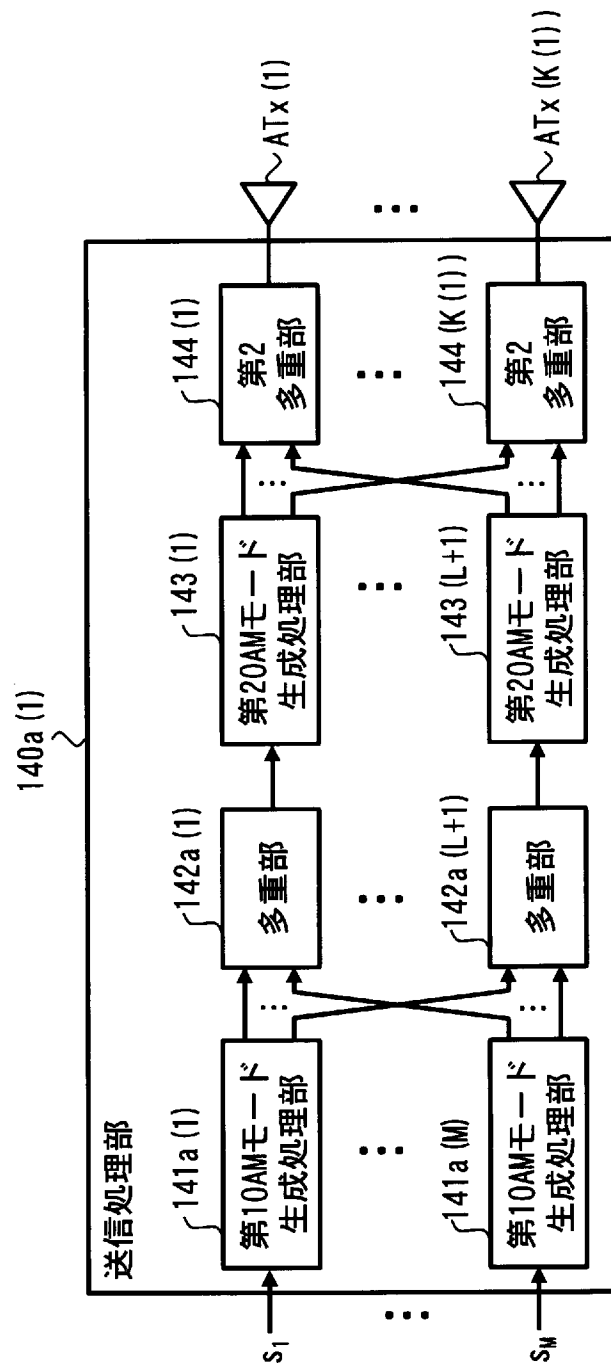
[図6]



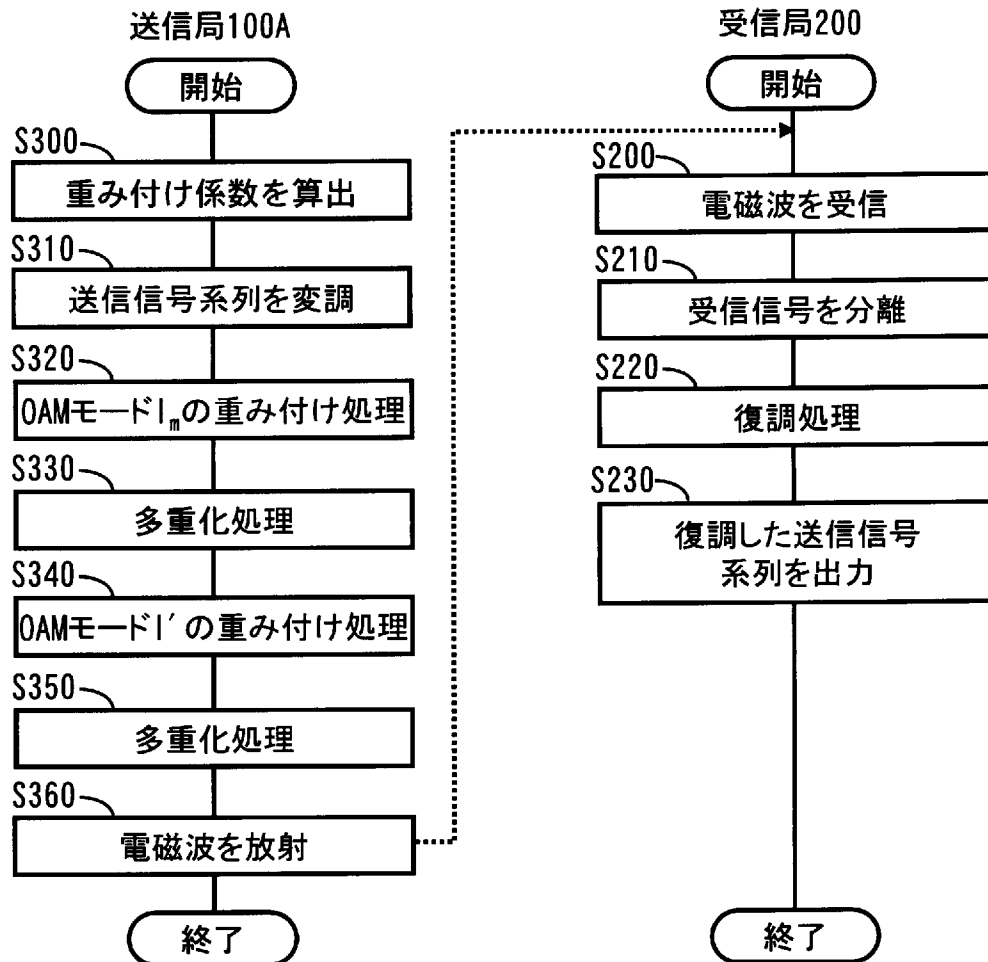
[図7]



[図8]



[図9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/035538

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. H04J99/00 (2009.01)i, H04B7/0456 (2017.01)i, H04B10/112 (2013.01)i

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)

Int.Cl. H04J99/00, H04B7/0456, H04B10/112

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 1971-2018

Registered utility model specifications of Japan 1996-2018

Published registered utility model applications of Japan 1994-2018

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	OPARE, Kwasi A. et al., "Performance of an Ideal Wireless Orbital Angular Momentum Communication System Using Multiple-input Multiple-output Techniques", 2014 International Conference on Telecommunications and Multimedia (TEMU), 30 June 2014, pp. 144-149	1-2, 4, 6
Y		3
A		5

☒ 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
11 December 2018 (11.12.2018)

Date of mailing of the international search report
18 December 2018 (18.12.2018)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/035538

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	EDFORS, Ove et al., "Is Orbital Angular Momentum (OAM) Based Radio Communication an Unexploited Area?", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 60, issue 2, February 2012, pp. 1126-1131	1-2, 6 3 5
Y	福本 浩之他, 軌道角運動量 (OAM) 多重無線通信におけるビーム広がり の制御手法に関する一検討, 電子情報通信学会 2016 年総合大会 講演論文集通信 1, March 2016, (FUKUMOTO, Hiroyuki et al., "A Study of Beam Expansion Mitigation Method in Orbital Angular Momentum (OAM) based Wireless Communications", Proceedings of IEICE general conference 2016: Communication 1)	3

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H04J99/00(2009.01)i, H04B7/0456(2017.01)i, H04B10/112(2013.01)i

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））

Int.Cl. H04J99/00, H04B7/0456, H04B10/112

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	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018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）

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
X Y A	Kwasi A. Opare et al., Performance of an Ideal Wireless Orbital Angular Momentum Communication System Using Multiple-input Multiple-output Techniques, 2014 International Conference on Telecommunications and Multimedia (TEMU), 2014.06.30, pp.144-149	1-2, 4, 6 3 5

☒ 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矛盾するものではなく、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

11.12.2018

国際調査報告の発送日

18.12.2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

太田 龍一

5 K

3 4 6 2

電話番号 03-3581-1101 内線 3556

C (続き) . 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
X Y A	Ove Edfors et al., Is Orbital Angular Momentum (OAM) Based Radio Communication an Unexploited Area?, IEEE Transactions on Antennas and Propagation,, Volume: 60 , Issue: 2, 2012.02, pp.1126 - 1131	1-2, 6 3 5
Y	福本 浩之 他, 軌道角運動量 (OAM) 多重無線通信におけるビーム広がり制御手法に関する一検討, 電子情報通信学会 2016 年総合大会講演論文集 通信 1, 2016.03	3