

(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
2020年9月3日(03.09.2020)



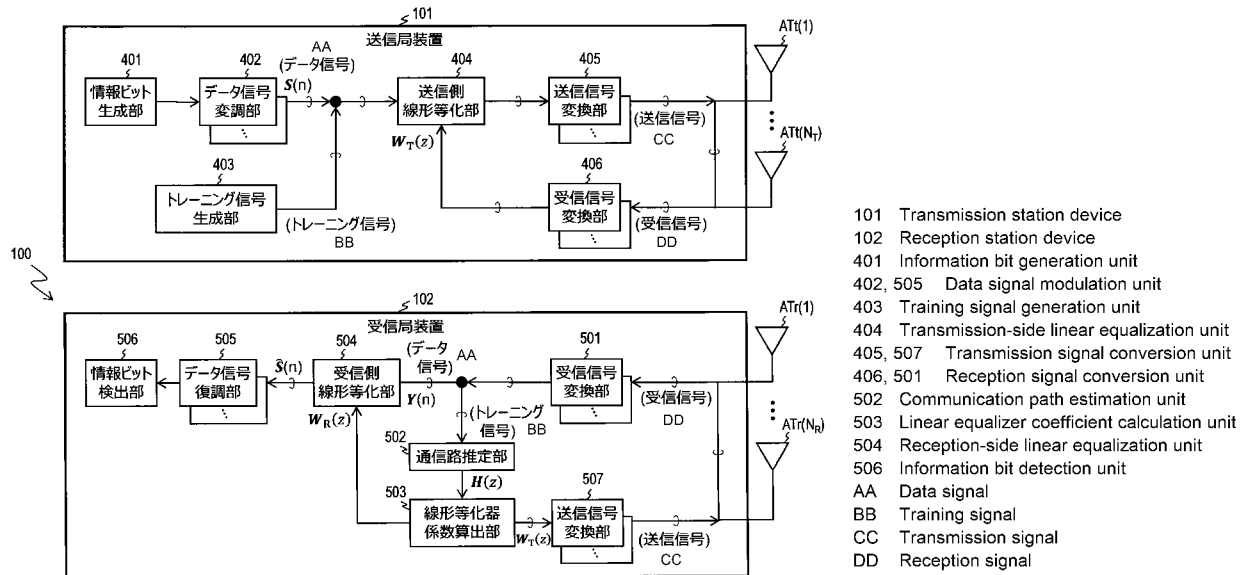
(10) 国際公開番号

WO 2020/175280 A1

- (51) 国際特許分類:
H04L 27/01 (2006.01) H04B 7/0413 (2017.01)
H04B 7/005 (2006.01) H04B 7/0417 (2017.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2020/006548
- (22) 国際出願日: 2020年2月19日(19.02.2020)
- (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 2019-033362 2019年2月26日(26.02.2019) 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: 栗山 圭太 (KURIYAMA, Keita); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-1 1 NTT知的財産センタ内 Tokyo (JP). 福園 隼人 (FUKUZONO, Hayato); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-1 1 NTT知的財産センタ内 Tokyo (JP). 立田 努 (TATSUTA, Tsutomu); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-1 1 NTT知的財産センタ内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 特許業務法人高田・高橋国際特許事務所 (TAKADA, TAKAHASHI & PARTNERS); 〒1040045 東京都中央区築地1丁目12番2号 コンワビル7階 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,

(54) Title: WIRELESS COMMUNICATION SYSTEM, WIRELESS COMMUNICATION METHOD, TRANSMITTING STATION DEVICE, AND RECEIVING STATION DEVICE

(54) 発明の名称: 無線通信システム、無線通信方法、送信局装置および受信局装置



(57) Abstract: In the present invention, a transmission station device comprises: a training signal generation unit; a transmission-side linear equalization unit which equalizes the data signal using a transmission-side transfer function; and a transmission station communication unit which transmits a training signal or a plurality of data signals and receives information about the transmission-side transfer function from the receiving station device. A reception station device comprises: a communication path estimation unit which estimates the communication response from the training signal; a reception-side coefficient calculation unit which calculates the transmission-side transfer function which has the conjugate

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, 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, 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))

transpose of the transfer function matrix H of the communication response path serve as a transfer function, and the reception-side transfer function which has the reciprocal of the determinant of the transfer function matrix H serve as the transfer function; and a reception-side linear equalization unit which equalizes a reception signal using the reception-side transfer function. The reception-side linear equalization unit determines whether the determinant of the transfer function matrix H is in a minimum phase, and if in minimum phase performs equalization in the forward direction, and if not in minimum phase performs equalization in the reverse direction.

(57) 要約: 送信局装置は、トレーニング信号生成部と、送信側伝達関数によりデータ信号を等化する送信側線形等化部と、トレーニング信号または複数のデータ信号を送信し、送信側伝達関数の情報を受信局装置から受信する送信局通信部とを備え、受信局装置は、トレーニング信号から通信路応答を推定する通信路推定部と、通信路応答の伝達関数行列 H の随伴行列を伝達関数とする送信側伝達関数と、伝達関数行列 H の行列式の逆数を伝達関数とする受信側伝達関数とを算出する受信側係数算出部と、受信側伝達関数を用いて受信信号を等化する受信側線形等化部とを備え、受信側線形等化部は、伝達関数行列 H の行列式が最小位相であるか否かを判定し、最小位相である場合には順方向等化を行い、非最小位相である場合には逆方向等化を行う。

明 細 書

発明の名称：

無線通信システム、無線通信方法、送信局装置および受信局装置

技術分野

[0001] 本発明は、SC-MIMO (Single Carrier Multiple-Input Multiple-Output) 伝送を行う無線通信システムにおいて、アンテナ間干渉とシンボル間干渉とを抑制する時間領域線形等化器の技術に関する。

背景技術

[0002] 周波数選択性のフェージングがある通信環境下で広帯域のSC-MIMO伝送を行う場合、複数のアンテナの空間的な広がりにより生じるIA (Inter-Antenna Interference: アンテナ間干渉) と、通信路特性の時間的な広がりにより生じるIS (Inter-Symbol Interference: シンボル間干渉) を抑制するための処理が必要となる。

[0003] そこで、時間領域線形等化器を用いて時間／空間方向に送信ビーム形成を行うことで、低処理遅延でIA／ISを同時に等化する方法が検討されている（例えば、非特許文献1参照）。

先行技術文献

非特許文献

[0004] 非特許文献1：栗山圭太, 福園隼人, 吉岡正文, 立田努, “広帯域シングルキャリアMIMO伝送のためのFIR型送信ビーム形成” 信学技報, vol. 118, no. 435, RCS2018-247, pp. 31-36, 2019年1月.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] ところが、非特許文献1のように、CIRの伝達関数行列 $H(z)$ の逆行列 $H^{-1}(z)$ を線形等化器の伝達関数に用いる手法では、等化器の伝達関数を算出する過程で伝達関数の一部が非最小位相となる場合に適用できないという問題がある。ここで、伝達関数の零点配置が単位円内に分布する場合に

最小位相となり、伝達関数の零点配置が単位円外に分布する場合に非最小位相となる。非最小位相の場合、等化器の動作が不安定になってインパルス応答が発散する可能性があるため、等化器の伝達関数の一部が非最小位相となる場合に適用できないという問題が生じる。

[0006] 本発明は、SC-MIMO伝送において等化器の伝達関数が最小位相となるか非最小位相となるかを判定して等化方向を変えることによって、等化器の伝達関数の一部が非最小位相となる場合でも安定して動作し、 $|A|$ および $|S|$ を等化できる無線通信システム、無線通信方法、送信局装置および受信局装置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

[0007] 第1の発明は、送信局装置と受信局装置との間でSC-MIMO伝送を行う無線通信システムにおいて、前記送信局装置は、既知のトレーニング信号を生成するトレーニング信号生成部と、送信側伝達関数を用いて複数の第1データ信号を等化した複数の第2データ信号を出力する送信側線形等化部と、前記トレーニング信号または複数の前記第2データ信号を前記受信局装置に送信し、前記送信側伝達関数に関する情報を前記受信局装置から受信する複数のアンテナを有する送信局通信部とを備え、前記受信局装置は、前記送信局装置が送信する複数の前記第2データ信号または前記トレーニング信号を受信し、前記送信側伝達関数に関する情報を前記送信局装置に送信する複数のアンテナを有する受信局通信部と、前記受信局通信部により受信する前記トレーニング信号から通信路応答を推定する通信路推定部と、前記通信路応答の伝達関数行列 H の随伴行列を伝達関数とする前記送信側伝達関数と、前記伝達関数行列 H の行列式の逆数を伝達関数とする受信側伝達関数とを算出する受信側係数算出部と、前記受信側伝達関数を用いて前記受信局通信部が受信する複数の前記第2データ信号を等化した複数の第3データ信号を出力する受信側線形等化部とを備え、前記受信側線形等化部は、前記伝達関数行列 H の行列式が最小位相であるか否かを判定し、最小位相である場合には順方向等化を行い、非最小位相である場合には逆方向等化を行うことを特徴

とする。

[0008] 第2の発明は、第1の発明において、前記受信側係数算出部は、前記伝達関数行列Hの行列式の逆数を伝達関数とする前記受信側伝達関数のみを算出して、前記通信路応答に関する情報を前記送信局装置へ送信し、前記送信局装置は、前記受信局装置から受信する前記通信路応答に関する情報に基づいて、前記通信路応答の伝達関数行列Hの随伴行列を伝達関数とする前記送信側伝達関数を算出する送信側係数算出部をさらに備えることを特徴とする。

[0009] 第3の発明は、送信局装置と受信局装置との間でSC-MIMO伝送を行う無線通信方法であって、前記送信局装置は、既知のトレーニング信号を生成するトレーニング信号生成処理と、送信側伝達関数を用いて複数の第1データ信号を等化した複数の第2データ信号を出力する送信側線形等化処理と、前記トレーニング信号または複数の前記第2データ信号を前記受信局装置に送信し、前記送信側伝達関数に関する情報を前記受信局装置から受信する複数の送信局通信処理とを実行し、前記受信局装置は、前記送信局装置が送信する複数の前記第2データ信号または前記トレーニング信号を受信し、前記送信側伝達関数に関する情報を前記送信局装置に送信する複数の受信局通信処理と、前記送信局装置から受信する前記トレーニング信号から通信路応答を推定する通信路推定処理と、前記通信路応答の伝達関数行列Hの随伴行列を伝達関数とする前記送信側伝達関数と、前記伝達関数行列Hの行列式の逆数を伝達関数とする受信側伝達関数とを算出する受信側係数算出処理と、前記受信側伝達関数を用いて前記受信局通信処理により受信する複数の前記第2データ信号を等化した複数の第3データ信号を出力する受信側線形等化処理とを実行し、前記受信側線形等化処理では、前記伝達関数行列Hの行列式が最小位相であるか否かを判定し、最小位相である場合には順方向等化を行い、非最小位相である場合には逆方向等化を行うことを特徴とする。

[0010] 第4の発明は、第3の発明において、前記受信側係数算出処理では、前記伝達関数行列Hの行列式の逆数を伝達関数とする前記受信側伝達関数のみを算出して、前記通信路応答に関する情報を前記送信局装置へ送信し、前記送

信局装置は、前記受信局装置から受信する前記通信路応答に関する情報に基づいて、前記通信路応答の伝達関数行列 H の随伴行列を伝達関数とする前記送信側伝達関数を算出する送信側係数算出処理をさらに実行することを特徴とする。

[0011] 第5の発明は、受信局装置との間でSC-MIMO伝送を行う送信局装置において、前記受信局装置が通信路応答を推定するための既知のトレーニング信号を生成するトレーニング信号生成部と、前記通信路応答の伝達関数行列 H の随伴行列を伝達関数とする送信側伝達関数を用いて複数の第1データ信号を等化した複数の第2データ信号を出力する送信側線形等化部と、前記トレーニング信号または複数の前記第2データ信号を前記受信局装置に送信し、前記送信側伝達関数に関する情報を前記受信局装置から受信する複数のアンテナを有する送信局通信部とを備えることを特徴とする。

[0012] 第6の発明は、第5の発明において、前記送信局装置は、前記受信局装置から受信する前記通信路応答に関する情報に基づいて、前記通信路応答の伝達関数行列 H の随伴行列を伝達関数とする前記送信側伝達関数を算出する送信側係数算出部をさらに備えることを特徴とする。

[0013] 第7の発明は、送信局装置との間でSC-MIMO伝送を行う受信局装置において、前記送信局装置が送信する複数の第2データ信号またはトレーニング信号を受信し、前記送信局装置の等化器で用いる送信側伝達関数に関する情報を前記送信局装置に送信する複数のアンテナを有する受信局通信部と、前記受信局通信部により受信する前記トレーニング信号から通信路応答を推定する通信路推定部と、前記通信路応答の伝達関数行列 H の随伴行列を伝達関数とする前記送信側伝達関数と、前記伝達関数行列 H の行列式の逆数を伝達関数とする受信側伝達関数とを算出する受信側係数算出部と、前記受信側伝達関数を用いて前記受信局通信部が受信する複数の前記第2データ信号を等化した複数の第3データ信号を出力する受信側線形等化部とを備え、前記受信側線形等化部は、前記伝達関数行列 H の行列式が最小位相であるか否かを判定し、最小位相である場合には順方向等化を行い、非最小位相である

場合には逆方向等化を行うことを特徴とする。

- [0014] 第8の発明は、第7の発明において、前記受信側係数算出部は、前記伝達関数行列 H の行列式の逆数を伝達関数とする前記受信側伝達関数のみを算出して、前記通信路応答に関する情報を前記送信局装置へ送信することを特徴とする。

発明の効果

- [0015] 本発明に係る無線通信システム、無線通信方法、送信局装置および受信局装置は、SC-MIMO伝送において等化器の伝達関数が最小位相となるか非最小位相となるかを判定して等化方向を変えることによって、等化器の伝達関数の一部が非最小位相となる場合でも安定して動作し、 $|A|$ および $|S|$ を等化できる。

図面の簡単な説明

- [0016] [図1]第1実施形態および第2実施形態に係る無線通信システムの一例を示す図である。

[図2] $1/\det(H(z))$ のインパルス応答の一例を示す図である。

[図3] $1/\det(H(z))$ の極の位置の一例を示す図である。

[図4]等化器の方向の一例を示す図である。

[図5]第1実施形態に係る送信局装置および受信局装置の一例を示す図である。

[図6]第2実施形態に係る送信局装置および受信局装置の一例を示す図である。

発明を実施するための形態

- [0017] 以下、図面を参照して本発明に係る無線通信システム、無線通信方法、送信局装置および受信局装置の実施形態について説明する。

- [0018] 図1は、第1実施形態および第2実施形態に係る無線通信システム100の一例を示す。図1において、無線通信システム100は、複数(N_T 個： $N_T \geq 2$ の整数)のアンテナ $AT_t(1)$ からアンテナ $AT_t(N_T)$ を有する送信局装置101と、複数(N_R 個： $N_R \geq 2$ の整数)のアンテナ $AT_r(1)$

）からアンテナ $A T_r (N_R)$ を有する受信局装置 102 とを備え、送信局装置 101 と受信局装置 102 との間で無線通信を行う。ここで、以降の説明において、送信局装置 101 のアンテナ $A T_t (1)$ からアンテナ $A T_t (N_T)$ に共通の説明を行う場合は符号末尾の（番号）を省略してアンテナ $A T_t$ と表記し、特定のアンテナを指す場合は符号末尾に（番号）を付加して例えばアンテナ $A T_t (1)$ のように表記する。受信局装置 102 のアンテナ $A T_r (1)$ からアンテナ $A T_r (N_R)$ についても同様に表記する。また、複数の同じブロックを有する場合についても同様に表記する。

[0019] 本実施形態に係る無線通信システム 100 は、送信局装置 101 と受信局装置 102 の間で複数のアンテナを用いた広帯域の SC-MIMO 方式による無線通信を行う。ここで、送信局装置 101 と受信局装置 102 の間の無線通信路では、マルチパスなど遅延時間が異なる複数の遅延波が存在し、周波数選択性のフェージングが生じる。このため、アンテナ間干渉（ $I A I$ ）と通信路特性によるシンボル間干渉（ $I S I$ ）とを抑制する必要がある。図 1 の例では、送信局装置 101 の N_T 個のアンテナと、受信局装置 102 の N_R 個のアンテナとの間で空間的な広がりによるアンテナ間干渉（ $I A I$ ）が生じる。また、送信局装置 101 と受信局装置 102 のそれぞれのアンテナ間で送受信される信号には、時間的な広がりによるシンボル間干渉（ $I S I$ ）が生じる。ここで、送信局装置 101 と受信局装置 102 との間の無線通信路の通信路応答（ $C I R$ ）を $H(z)$ とすると、通信路応答 $H(z)$ は、複数のアンテナの数に応じて $N_T \times N_R$ を要素とする伝達関数の行列（伝達関数行列と称する）で表すことができる。

[0020] 図 1 において、送信局装置 101 は、QAM 変調部 201、送信側線形等化部 202、RF 部 203 およびアンテナ $A T_t$ を備える。

[0021] QAM 変調部 201 は、受信局装置 102 へ送信するデータ情報ビットのビット列を直交振幅変調（QAM: Quadrature Amplitude Modulation）したデータ信号 $S(n)$ （送信データ信号と称する）を出力する。なお、QAM 変調部 201 は、QAM 変調部 201 (1) から QAM 変調部 201 (K)

を有し ($K : K \geq 1$ の整数)、 K 個のストリームに対応するデータ信号 $S(n)$ を出力する。ここで、データ信号 $S(n)$ は、 $K \times 1$ を要素とする行列である。

[0022] 送信側線形等化部 202 は、送信局装置 101 と受信局装置 102 との間の CIR に基づいて算出された送信側の伝達関数行列 $W_T(z)$ により等化処理を行う。伝達関数行列 $W_T(z)$ は、 $N_T \times K$ 個の伝達関数を要素とする行列である。なお、等化処理と同時に送信電力を正規化する処理も行われる。ここで、本実施形態では、送信側線形等化部 202 は、送信ビーム形成により $|A|$ の等化を行う。送信側線形等化部 202 は、例えば QAM 変調部 201 が出力するデータ信号を保持し、一定時間毎にシフトする遅延タップを有し、各遅延タップの信号に所定のタップ係数を乗算した信号の和を出力する FIR (Finite Impulse Response) 型の等化器で実現できる。ここで、 $|A|$ 等化用の伝達関数行列は、送信局装置 101 から送信されるトレーニング信号により受信局装置 102 が推定した CIR に基づいて算出される。

[0023] RF 部 203 は、 N_T 個のアンテナ AT_t にそれぞれ対応する N_T 個の RF 部 203 (1) から RF 部 203 (N_T) を有し、送信側線形等化部 202 が出力する $|A|$ の等化されたデータ信号またはトレーニング信号を高周波の送信信号に周波数変換して、ストリーム毎にアンテナ AT_t から送出する。

[0024] アンテナ AT_t は、アンテナ AT_t (1) からアンテナ AT_t (N_T) の N_T 個の送受信用のアンテナを有し、 RF 部 203 が出力する高周波信号を電磁波として空間に放射する。

[0025] このようにして、送信局装置 101 は、 $|A|$ を等化した送信信号を受信局装置 102 へ送信することができる。

[0026] 図 1 において、受信局装置 102 は、アンテナ AT_r 、 RF 部 301、受信側線形等化部 302 および QAM 復調部 303 を備える。

[0027] アンテナ AT_r は、アンテナ AT_r (1) からアンテナ AT_r (N_R) の N_R 個の送受信用のアンテナを有し、送信局装置 101 から送信された空間上の電磁波を高周波信号に変換する。

- [0028] RF部301は、 N_R 個のアンテナ $A T r$ にそれぞれ対応する N_R 個のRF部301(1)からRF部301(N_R)を有し、アンテナ $A T r$ (1)からアンテナ $A T r$ (N_R)が出力するそれぞれの高周波信号をベースバンド信号に周波数変換する。
- [0029] 受信側線形等化部302は、送信局装置101と受信局装置102との間のCIRに基づいて算出された受信側の伝達関数行列 $W_R(z)$ で等化処理を行う。伝達関数行列 $W_R(z)$ は、 $K \times N_R$ 個の伝達関数を要素とする行列である。ここで、伝達関数行列 $W_R(z)$ は、送信局装置101から送信されるトレーニング信号により受信局装置102が推定したCIRに基づいて算出され、 $|S|$ を等化する。特に、本実施形態では、CIRの伝達関数行列 $H(z)$ の逆行列 $H^{-1}(z)$ を線形等化器の伝達関数に用いるので、受信側線形等化部302は、後述するように、伝達関数行列 $W_R(z)$ の各伝達関数が最小位相であるか非最小位相であるかを判定して、最小位相である場合は等化器の等化方向を順方向とし、非最小位相である場合は等化器の等化方向を逆方向とする制御を行う。
- [0030] QAM復調部303は、受信側線形等化部302が出力する $|S|$ の等化された K 個のストリームのデータ信号 $\hat{S}(n)$ を情報ビットに復調し、ビット列を出力する。なお、受信側線形等化部302は、アンテナ $A T r$ の数に応じて N_R 個のストリームのデータ信号 $\hat{S}(n)$ を出力するので、QAM復調部303は、ストリーム毎にデータ信号 $\hat{S}(n)$ を復調する。
- [0031] このようにして、受信局装置102は、 N_R 個のアンテナ $A T r$ で受信する信号から $|S|$ を等化し、データ信号を復調することができる。
- [0032] なお、受信局装置102では、送信局装置101から送信されるトレーニング信号からCIRを推定し、受信局装置102で $|S|$ 等化用の伝達関数行列を算出する。また、送信側線形等化部202が用いる伝達関数行列は、後述するように、受信局装置102側で算出して送信局装置101側に送信してもよいし、受信局装置102側から送信局装置101側にCIRの情報を送信して、送信局装置101側で伝達関数行列を算出するようにしてもよ

い。

[0033] 図1において、QAM変調部201が出力するデータ信号を $S(n)$ 、送信側線形等化部202の伝達関数行列を $W_T(z)$ 、CIRの伝達関数行列を $H(z)$ 、受信側線形等化部302の伝達関数行列を $W_R(z)$ 、QAM復調部303が出力するデータ信号を $\hat{S}(n)$ 、付加雑音を $\eta(n)$ とすると、本実施形態に係る無線通信システム100において送受信される信号の関係は、式(1)で表すことができる。

[0034] [数1]

$$\begin{aligned}\hat{S}(n) &= W_R(z)\{H(z)W_T(z)S(n) + \eta(n)\} \\ &= W_R(z)H(z)W_T(z)S(n) + W_R(z)\eta(n)\end{aligned} \quad \dots(1)$$

ここで、 $S(n)$ 、 $W_T(z)$ 、 $H(z)$ 、 $W_R(z)$ 、 $\hat{S}(n)$ および $\eta(n)$ は、以下の通りである。

[0035] [数2]

$$\begin{aligned}S(n) &\in \mathbb{C}^{K \times 1} \\ W_T(z) &\in \mathbb{C}^{N_T \times K} \\ H(z) &\in \mathbb{C}^{N_R \times N_T} \\ W_R(z) &\in \mathbb{C}^{K \times N_R} \\ \hat{S}(n) &\in \mathbb{C}^{K \times 1} \\ \eta(n) &\in \mathbb{C}^{N_R \times 1}\end{aligned}$$

なお、 $\mathbb{C}$ は行列の要素の集合を表し、例えば $\mathbb{C}^{K+1}$ は $(K+1)$ 個の要素を有する。ここで、 K は、データ信号のストリーム数（ただし、 $K=N_T$ ）である。

[0036] 式(1)において、CIRの伝達関数行列 $H(z)$ は、式(2)で表される。

[0037] [数3]

$$H(z) = \begin{bmatrix} H_{11}(z) & \cdots & H_{1N_T}(z) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{N_R1}(z) & \cdots & H_{N_RN_T}(z) \end{bmatrix} \quad \dots(2)$$

ここで、伝達関数行列 $H(z)$ の各要素の伝達関数 $H_{n_r n_t}(z)$ は、式 (3) で表される。なお、 n_r は $1 \leq n_r \leq N_R$ の整数、 n_t は $1 \leq n_t \leq N_T$ の整数である。また、式 (3) の記号 H および h の下付き文字 n_r および n_t は、文書中で記載する場合、 $H_{n_r n_t}(z)$ のように n_r および n_t と表記する。他の記号の下付き文字についても同様に表記する。

[0038] [数4]

$$H_{n_r n_t}(z) = \sum_{l=0}^{L-1} h_{n_r n_t}^{(l)} z^{-l} \quad \dots (3)$$

ここで、 z^{-l} : 伝達関数の遅延作用素、 $h^{(l)}_{n_r n_t}$: 第 n_r 番目の受信アンテナと第 n_t 番目の送信アンテナ間の l パス目の CIR である。 l は、 $0 \leq l \leq L-1$ (L は正の整数) の整数で、パス数 L の中のパス番号を示す。なお、パス数 L は、マルチパスなどの数を示す。

[0039] また、送信局装置 101 の送信側線形等化部 202 の伝達関数行列 $W_T(z)$ は、式 (4) で表される。

[0040] [数5]

$$W_T(z) = \begin{bmatrix} W_{T,11}(z) & \cdots & W_{T,1K}(z) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{T,N_T1}(z) & \cdots & W_{T,N_TK}(z) \end{bmatrix} \quad \dots (4)$$

ここで、伝達関数行列 $W_T(z)$ の各要素の伝達関数 $W_{T, n_t k}(z)$ は、式 (5) で表される。なお、 $W^{(p)}_{T, n_t k}$ は、第 k 番目 (k は、 $1 \leq k \leq K$ の整数) のストリームのデータ信号を入力し、第 n_t 番目の送信アンテナへ信号を出力する送信側線形等化部 202 の p 番目のタップ係数を示す。 p は、 $0 \leq p \leq P-1$ の整数で (P は正の整数)、送信側線形等化部 202 のタップ数 P の中のタップ番号を示す。

[0041]

[数6]

$$W_{T,n_t k}(z) = \sum_{p=0}^{P-1} w_{T,n_t k}^{(p)} z^{-p} \quad \cdots (5)$$

また、受信局装置 102 の受信側線形等化部 302 の伝達関数行列 $W_R(z)$ は、式 (6) で表される。

[0042] [数7]

$$W_R(z) = \begin{bmatrix} W_{R,1}(z) & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & W_{R,N_R}(z) \end{bmatrix} \quad \cdots (6)$$

ここで、伝達関数行列 $W_R(z)$ の各要素の伝達関数 $W_{R,n_r}(z)$ は、式 (7) で表される。なお、 $W^{(q)}_{R,n_r}$ は、第 n_r 番目の受信アンテナの信号を入力し、等化処理を行う受信側線形等化部 302 の q 番目のタップ係数を示す。 q は、 $0 \leq q \leq Q-1$ の整数で (Q は正の整数)、受信側線形等化部 302 のタップ数 Q の中のタップ番号を示す。

[0043] [数8]

$$W_{R,n_r}(z) = \sum_{q=0}^{Q-1} w_{R,n_r}^{(q)} z^{-q} \quad \cdots (7)$$

(送信側線形等化部 202 および受信側線形等化部 302 の伝達関数の算出)

次に、Zero-forcing 規範での送信側線形等化部 202 および受信側線形等化部 302 の伝達関数行列の算出について説明する。

[0044] 本実施形態では、 $CIR(H(z))$ の等化を送信局装置 101 と受信局装置 102 とで分割して行うので、式 (8) に示すように、送信側線形等化部 202 の伝達関数行列 $W_T(z)$ と、受信側線形等化部 302 の伝達関数行列 $W_R(z)$ とを乗算した行列が CIR の伝達関数行列 $H(z)$ の逆行列 H^{-1}

(z) となる。ここで、 $H^{-1}(z)$ は、 $1/\det(H(z))$ の伝達関数と $\text{adj}(H(z))$ の行列との積で表すことができる。

[0045] [数9]

$$\begin{aligned} W_R(z)W_T(z) &= H^{-1}(z) \\ &= \frac{1}{\det(H(z))} \text{adj}(H(z)) \end{aligned} \quad \dots(8)$$

ここで、 $\det(\cdot)$ 、 $\text{adj}(\cdot)$ はそれぞれ行列式、随伴行列 (adjugate matrix) を表す。なお、 adj は、エルミート転置を表す随伴行列 (adjoint matrix) とは異なる。

[0046] 式 (8) において、通信路応答の伝達関数行列 $H(z)$ の随伴行列を伝達関数行列とし、送信側線形等化部 202 の伝達関数行列 $W_T(z)$ を式 (9) とする。

[0047] [数10]

$$W_T(z) = \text{adj}(H(z)) \in \mathbb{C}^{N_T \times K} \quad \dots(9)$$

また、式 (8) において、通信路応答の伝達関数行列 $H(z)$ の行列式の逆数を伝達関数行列とし、受信側線形等化部 302 の伝達関数行列 $W_R(z)$ を式 (10) とする。

[0048] [数11]

$$W_R(z) = \frac{1}{\det(H(z))} I \in \mathbb{C}^{K \times N_R} \quad \dots(10)$$

ここで、 I は単位行列である。

[0049] 以上のような線形等化器の伝達関数行列 $W_T(z)$ および伝達関数行列 $W_R(z)$ を乗算すれば、信号の入出力関係は式 (11) のようになり、データ信号 $S(n)$ の復調が可能となる。

[0050] [数12]

$$\begin{aligned} \hat{S}(n) &= W_R(z)H(z)W_T(z)S(n) \\ &= S(n) \end{aligned} \quad \dots(11)$$

このようにして、本実施形態に係る無線通信システム 100 は、送信側線形等化部 202 と受信側線形等化部 302 とが分担して、CIR の伝達関数行列 $H(z)$ の逆行列 $H^{-1}(z)$ を乗算し、時間領域線形等化器による $|A|$ および $|S|$ の等化を行うことができる。

[0051] ここで、CIR の伝達関数行列 $H(z)$ の逆行列 $H^{-1}(z)$ を線形等化器の伝達関数に用いる手法では、伝達関数の算出過程で伝達関数の一部が非最小位相となる場合に係数が発散してしまい、等化器の適用ができないという問題がある。

[0052] 式 (12) は、式 (8) に対応し、無線通信システム 100 全体の等化用の伝達関数行列 $w(z)$ を示す。

[0053] [数13]

$$W(z) = \frac{1}{\det(H(z))} \text{adj}(H(z)) \quad \dots (12)$$

式 (12) において、 $1/\det(H(z))$ は、式 (13) に示すように、IIR 型等化器を構成するが、式 (14) に示すように、無限級数を用いて FIR 型等化器で近似することができる。ここで、 $a^{(i)}$ (i は $0 \leq i \leq L-1$ の整数) は、 $\det(H(z))$ の係数に相当する。

[0054] [数14]

$$\frac{1}{\det(H(z))} = \frac{1}{a^{(0)} + a^{(1)}z^{-1} + \dots + a^{(L-1)}z^{-L+1}} \quad \dots (13)$$

[0055] [数15]

$$\frac{1}{\det(H(z))} = \frac{1}{a^{(0)}} \sum_{j=0}^{\infty} \left(- \sum_{i=1}^{N(L-1)} \frac{a^{(i)}}{a^{(0)}} z^{-i} \right)^j \quad \dots (14)$$

しかし、式 (13) を式 (14) で近似して FIR 型等化器を適用するには、 $1/\det(H(z))$ が安定であることが条件となる。そこで、本実施形態では、伝達関数行列 $H(z)$ の行列式 $\det(H(z))$ の条件によ

って、FIR型等化器の適用可否を次のように判定する。

[0056] ・ $\det(H(z))$ が最小位相となる場合：適用可能

・ $\det(H(z))$ が非最小位相となる場合：適用不可能（等化器係数が発散）

図2は、 $1/\det(H(z))$ のインパルス応答の一例を示す。図2において、横軸はFIR型等化器の遅延タップ (Z^{-0} , Z^{-1} , Z^{-2} ...) に対応する時間、縦軸は各遅延タップに保持された信号の振幅、をそれぞれ示す。図2(a)は、 $\det(H(z))$ が最小位相となる場合の各遅延タップの振幅を示し、図2(b)は、 $\det(H(z))$ が非最小位相となる場合の各遅延タップの振幅を示す。

[0057] 図2(a)において、 $\det(H(z))$ が最小位相となる場合は、遅延タップの信号の振幅が小さくなっていき、 $\det(H(z))$ のインパルス応答は収束し、0に近づくのでFIR型で近似可能であり、等化器の動作は安定する。一方、図2(b)において、 $\det(H(z))$ が非最小位相となる場合は、遅延タップの信号の振幅が大きくなっていき、 $\det(H(z))$ のインパルス応答は発散するので、等化器の動作は不安定となり、FIR型等化器の適用は難しい。

[0058] 図3は、 $1/\det(H(z))$ の極の位置の一例を示す。図3において、式(13)に示した $1/\det(H(z))$ の極は、実軸 Re と虚軸 Im とする Z 平面上で円周を除く単位円内にあるとき安定するが、複素 Z 平面上で円周を除く単位円外にあるとき不安定となり、インパルス応答は発散する。ここで、極は、式(13)の分母の多項式の根に対応する。

[0059] （最小位相／非最小位相の判定方法）

最小位相と非最小位相とを判定する方法として、以下の2つの方法が考えられる。

[0060] <方法1>

方法1では、 $\det(H(z))$ を式(15)とした場合に、 $i = \{1, \dots, N(L-1)\}$ において、式(16)を満足するときに最小位相と

する。ここで、Nはアンテナ数、Lは遅延パス数である。

[0061] [数16]

$$\det(\mathbf{H}(z)) = \sum_{i=0}^{N(L-1)} a^{(i)} z^{-i} \quad \cdots (15)$$

[0062] [数17]

$$\left| \frac{a^{(i)}}{a^{(0)}} \right| < 1 \quad \cdots (16)$$

そして、式(16)を満たさず、式(17)のように、左辺が1以上となる $a^{(i)}$ が1つ以上ある場合は、非最小位相であると判定する。

[0063] [数18]

$$\left| \frac{a^{(i)}}{a^{(0)}} \right| \geq 1 \quad \cdots (17)$$

<方法2>

方法2では、図3で説明したように、式(15)について、全ての零点が複素Z平面上の単位円の内側にあれば、最小位相であると判定する。

[0064] [非最小位相時の処理]

本実施形態に係る無線通信システム100では、上述のいずれかの方法により、非最小位相であると判定されたときに、等化器の方向を逆方向に切り替える。

[0065] 図4は、等化器の方向の一例を示す。なお、図4(a)および図4(b)は、図2で説明した最小位相時のインパルス応答(図2(a))と非最小位相時のインパルス応答(図2(b))とに対応する。図4(c)および図4(d)は、横軸の時間方向にNサンプル分(Nは整数)の受信データ信号 $Y(n)$ を示す。図4(c)に示す最小位相時には、受信側線形等化部302は、時間軸方向に順方向の等化を行う。順方向等化では、受信側線形等化部302は、先に説明した式(7)に示す等化器として動作する。一方、逆方

向等化では、式（１８）に示す等化器として動作する。

[0066] [数19]

$$W_{R,n_r}(z) = \sum_{q=0}^{Q-1} w_{R,n_r}^{(Q-1-q)} z^{-q} \quad \dots(18)$$

式（１８）において、遅延タップ z^{-q} は、式（７）の順方向等化と同じなので、各遅延タップの出力信号は順方向等化と同じであるが、伝達関数 W_{R,n_r} のタップ係数の方向が式（７）とは逆になっている。式（７）の順方向等化では、遅延タップ z^{-q} のタップ係数が $w^{(q)}_{R,n_r}$ であるのに対して、式（１８）の逆方向等化では、遅延タップ z^{-q} のタップ係数が $w^{(Q-1-q)}_{R,n_r}$ となる。例えばタップ数 $Q=3$ の場合、遅延タップ z^{-q} は $q=0$ の z^{-0} から $q=Q-1=2$ の z^{-2} までの３個なので、順方向等化の $q=0$ 番目の遅延タップ z^{-0} のタップ係数は、 $w^{(0)}_{R,n_r}$ 、 $q=1$ 番目の遅延タップ z^{-1} のタップ係数は、 $w^{(1)}_{R,n_r}$ 、 $q=2$ 番目の遅延タップ z^{-2} のタップ係数は、 $w^{(2)}_{R,n_r}$ となる。これに対して、逆方向等化の場合、 $q=0$ 番目の遅延タップ z^{-0} のタップ係数は、 $w^{(3-1-0)}_{R,n_r}=w^{(2)}_{R,n_r}$ 、 $q=1$ 番目の遅延タップ z^{-1} のタップ係数は、 $w^{(3-1-1)}_{R,n_r}=w^{(1)}_{R,n_r}$ 、 $q=2$ 番目の遅延タップ z^{-2} のタップ係数は、 $w^{(3-1-2)}_{R,n_r}=w^{(0)}_{R,n_r}$ となる。このように、逆方向等化の遅延タップ z^{-q} のタップ係数の順番は、順方向等化のタップ係数の順番と逆方向になる。

[0067] このようにして、本実施形態に係る無線通信システム１００では、 CIR の伝達関数行列 $H(z)$ の行列式 $\det(H(z))$ が最小位相であるか非最小位相であるかを判定し、最小位相である場合には順方向等化を行い、非最小位相である場合には逆方向等化を行うように制御する。これにより、非最小位相の場合でも、逆方向等化を行うことで、見かけ上は最小位相として計算することができ、インパルス応答が発散することがなくなる。

[0068] [第１実施形態]

図５は、第１実施形態に係る送信局装置１０１および受信局装置１０２の

一例を示す。なお、図5は、図1および図2で説明した送信局装置101および受信局装置102の詳細な構成例を示す。

[0069] 図5において、送信局装置101は、情報ビット生成部401、データ信号変調部402、トレーニング信号生成部403、送信側線形等化部404、送信信号変換部405、受信信号変換部406およびアンテナATt(1)からアンテナATt(N_T)のN_T個のアンテナを有する。また、図5において、受信局装置102は、アンテナATr(1)からアンテナATr(N_R)のN_R個のアンテナ、受信信号変換部501、通信路推定部502、線形等化器係数算出部503、受信側線形等化部504、データ信号復調部505、情報ビット検出部506および送信信号変換部507を有する。

[0070] 先ず、送信局装置101の構成について説明する。

[0071] 情報ビット生成部401は、受信局装置102へ送信するデータ情報ビットを生成する。データ情報ビットは、例えば外部（不図示）から入力するデータ信号、内部で生成するデータ信号などに対応するビット列である。なお、情報ビット生成部401は、所定の符号化率で誤り訂正符号を生成する誤り訂正符号化機能やインターリーブ機能などを有してもよい。

[0072] データ信号変調部402は、情報ビット生成部401が出力するビット列を所定の変調方式（例えば直交振幅変調（QAM）など）で変調したデータ信号S(n)を出力する。なお、本実施形態では、情報ビット生成部401が出力するビット列をアンテナATtの数に応じて複数のストリームに分割し、各々のストリーム毎に変調したデータ信号S(n)を出力するので、各ストリーム毎にデータ信号変調部402を有する。

[0073] トレーニング信号生成部403は、通信路応答（CIR）を推定するためのトレーニング信号を生成する（トレーニング信号生成処理に対応）。トレーニング信号は、信号検出用のプリアンプルなどの予め決められた情報（例えば”01”の交互パターン等の特定パターン）をPSK（Phase Shift Keying）など干渉を受けにくい変調方式で変調した所定の信号であり、受信局装置102でCIRを推定するために用いられる。なお、送信局装置101が

送信するトレーニング信号の情報は、予め受信局装置 102 との間で既知である。

[0074] 送信側線形等化部 404 は、図 1 で説明した送信側線形等化部 202 に対応し、データ信号変調部 402 が出力するデータ信号 $S(n)$ （第 1 データ信号に対応）から $|A|$ を等化した信号（第 2 データ信号に対応）を送信信号変換部 405 へ出力する（送信側線形等化処理に対応）。送信側線形等化部 404 は、例えば、データ信号変調部 402 が出力するデータ信号を保持し、一定時間毎にシフトする遅延タップを有し、各遅延タップの信号に所定のタップ係数を乗算した信号の和を出力する FIR 型の等化器で実現できる。ここで、タップ係数は、受信局装置 102 が推定した CIR に基づいて算出した $|A|$ 等化用の伝達関数を構成する係数であり、式 (9) で説明した $W_T(z)$ の等化器を実現する。送信側線形等化部 404 は、 $|A|$ を等化するための線形等化処理を行う。また、線形等化処理と同時に送信電力を正規化する処理も行われる。なお、送信側線形等化部 404 は、トレーニング信号生成部 403 が出力するトレーニング信号については、線形等化処理を行わずにそのまま出力する。

[0075] 送信信号変換部 405 は、送信側線形等化部 404 が出力するデータ信号またはトレーニング信号をアンテナ AT_t から送出するための高周波の送信信号に周波数変換する。例えば、送信信号変換部 405 は、20MHz 帯域のデータ信号またはトレーニング信号を 5GHz 帯の高周波信号にアップコンバートして、アンテナ AT_t から送出する。ここで、複数のストリームに分割された各々のストリームは、それぞれ高周波信号に変換され、アンテナ $AT_t(1)$ からアンテナ $AT_t(N_T)$ のそれぞれから送出される。

[0076] 受信信号変換部 406 は、アンテナ $AT_t(1)$ からアンテナ $AT_t(N_T)$ のそれぞれのアンテナにより受信された高周波の受信信号を低周波のベースバンド信号に周波数変換する。例えば、受信信号変換部 406 は、5GHz 帯の高周波信号をダウンコンバートして 20MHz 帯域のベースバンド信号を出力する。ここで、本実施形態では、受信信号変換部 406 は、受信局

装置 102 から送信側線形等化部 202 で使用する伝達関数を構成するタップ係数などの情報を含む制御信号を受け取り、ベースバンド信号に変換して送信側線形等化部 404 に出力する。なお、ベースバンド信号からタップ係数などの情報を復調する復調部の機能は、送信側線形等化部 202 が有してもよいし、受信信号変換部 406 がタップ係数などの情報を復調して送信側線形等化部 404 へ出力してもよい。ここで、送信信号変換部 405 および受信信号変換部 406 は、送信局通信処理を行う送信局通信部に対応する。

[0077] アンテナ $A T_t$ は、アンテナ $A T_t (1)$ からアンテナ $A T_t (N_T)$ の N_T 個の送受信用のアンテナを有し、送信信号変換部 405 が出力する高周波信号を電磁波として空間に放射する。或いは、アンテナ $A T_t$ は、受信局装置 102 から送信された空間上の電磁波を高周波信号に変換して、受信信号変換部 406 へ出力する。

[0078] このようにして、送信局装置 101 は、送信側線形等化部 202 により、 $|A|$ を等化したデータ信号を受信局装置 102 へ送信することができる。

[0079] 次に、図 5 に示す受信局装置 102 の構成について説明する。

[0080] アンテナ $A T_r$ は、アンテナ $A T_r (1)$ からアンテナ $A T_r (N_R)$ の N_R 個の送受信用のアンテナを有し、後述する送信信号変換部 507 が出力する高周波信号を電磁波として空間に放射する。或いは、アンテナ $A T_r$ は、送信局装置 101 から送信された空間上の電磁波を高周波信号に変換して、後述する受信信号変換部 501 へ出力する。

[0081] 受信信号変換部 501 は、送信局装置 101 の受信信号変換部 406 と同様に、アンテナ $A T_r (1)$ からアンテナ $A T_r (N_R)$ のそれぞれから受信される高周波信号をベースバンド信号に周波数変換する。ここで、送信局装置 101 から受信するトレーニング信号は、通信路推定部 502 へ出力され、送信局装置 101 から受信するデータ信号は、受信側線形等化部 504 へ出力される。

[0082] 通信路推定部 502 は、送信局装置 101 から送信されるトレーニング信号に基づいて CIR を推定する（通信路推定処理に対応）。

[0083] 線形等化器係数算出部503は、通信路推定部502が推定したCIRに基づいて、送信局装置101の送信側線形等化部404が用いるIA等化用の伝達関数（送信側伝達関数に対応）を構成するタップ係数と、受信局装置102の受信側線形等化部504が用いるIS等化用の伝達関数（受信側伝達関数に対応）を構成するタップ係数とをそれぞれ算出する。なお、各タップ係数の算出方法は、図1で説明した方法を用いる。そして、線形等化器係数算出部503が算出したIA等化用の伝達関数を構成するタップ係数などの情報を送信局装置101側に送信する。ここで、送信側伝達関数は、CIRの伝達関数行列 $H(z)$ の随伴行列を伝達関数とし、受信側伝達関数は、CIRの伝達関数行列 $H(z)$ の行列式の逆数を伝達関数とする。なお、線形等化器係数算出部503は、受信側係数算出処理を行う受信側係数算出部に対応する。

[0084] 受信側線形等化部504は、図1で説明した受信側線形等化部302に対応し、線形等化器係数算出部503が算出したIS等化用の伝達関数を用いて、受信信号変換部501が出力する信号からISを等化したデータ信号 $\hat{S}(n)$ （第3データ信号に対応）をデータ信号復調部505へ出力する（受信側線形等化処理に対応）。ここで、受信側線形等化部504は、図4で説明したように、CIRの伝達関数行列 $H(z)$ の行列式 $\det(H(z))$ が最小位相であるか非最小位相であるかを判定し、最小位相である場合には順方向等化を行い、非最小位相である場合には逆方向等化を行うように制御する。

[0085] データ信号復調部505は、受信側線形等化部504が出力するISの等化されたデータ信号 $\hat{S}(n)$ を情報ビットに復調し、ビット列を出力する。なお、受信側線形等化部504は、アンテナ A_{Tr} の数に応じて複数のストリームのデータ信号 $\hat{S}(n)$ を出力するので、データ信号復調部505は、データ信号 $\hat{S}(n)$ をストリーム毎に復調する。そして、データ信号復調部505は、送信局装置101側で複数のストリームに分割されたビット列を結合したビット列を情報ビット検出部506に出力する。なお、デ

ータ信号復調部505は、送信局装置101側の機能に応じて、誤り訂正復号機能やデインターリーブ機能を備えてもよい。

[0086] 情報ビット検出部506は、データ信号復調部505が出力するビット列をデジタルデータに変換した受信データを出力する。なお、誤り訂正復号機能やデインターリーブ機能を情報ビット検出部506側で行ってもよい。

[0087] 送信信号変換部507は、線形等化器係数算出部503が出力する情報を高周波信号に変換してアンテナA_{Tt}から送出する。例えば、本実施形態では、線形等化器係数算出部503が算出した $|A|$ を等化するための伝達関数行列 $W_T(z)$ を構成するタップ係数などの情報をアンテナA_{Tr}から送信局装置101側に送信する。なお、タップ係数などの情報をベースバンド信号に変調する変調部の機能は、送信信号変換部507が有してもよいし、線形等化器係数算出部503が有してもよい。ここで、受信信号変換部501および送信信号変換部507は、受信局通信処理を行う受信局通信部に対応する。

[0088] このようにして、受信局装置102は、送信局装置101が送信するトレーニング信号からCIRを推定し、推定されたCIRから $|A|$ および $|S|$ 等化用の伝達関数を構成するタップ係数を算出する。そして、 $|S|$ 等化用のタップ係数は受信側線形等化部504に設定され、 $|A|$ 等化用のタップ係数は送信局装置101に送信されて送信側線形等化部404に設定される。これにより、 $|A|$ の等化処理を送信局装置101側で行い、 $|S|$ の等化処理を受信局装置102側で行うことができる。特に、本実施形態では、受信側線形等化部504は、図4で説明したように、CIRの伝達関数行列 $H(z)$ の行列式 $\det(H(z))$ が最小位相であるか非最小位相であるかを判定し、最小位相である場合には順方向等化を行い、非最小位相である場合には逆方向等化を行うように制御する。これにより、非最小位相の場合でも、逆方向等化を行うことで、見かけ上は最小位相として計算することができ、インパルス応答が発散することなく、安定した等化処理を実現することができる。

[0089] [第2実施形態]

図6は、第2実施形態に係る送信局装置101aおよび受信局装置102aの一例を示す。ここで、図6に示す無線通信システム100aと図5で説明した無線通信システム100との違いは、送信局装置101aが線形等化器係数算出部601を有することである。また、受信局装置102aの線形等化器係数算出部503aの処理も受信局装置102の線形等化器係数算出部503と少し異なる。なお、図6において、図5と同符号のブロックは、図5と同様の処理を行う。

[0090] 受信局装置102aにおいて、線形等化器係数算出部503aは、通信路推定部502が推定したCIRに基づいて、図1で説明したように、受信局装置102の受信側線形等化部504でIS等化用の伝達関数を構成するタップ係数を算出する。ここで、線形等化器係数算出部503aは、送信局装置101の送信側線形等化部404でIA等を等化する等化処理を行うための伝達関数を構成するタップ係数の算出を行わず、通信路推定部502が推定したCIRに関する情報を送信局装置101へ送信する。なお、CIRに関する情報は、通信路推定部502から直接、送信信号変換部507を介してアンテナATrから送信局装置101へ送信するようにしてもよい。

[0091] 一方、送信局装置101aにおいて、線形等化器係数算出部601は、受信局装置102aから送信されたCIRの情報を受信して、図1で説明したように、送信側線形等化部404でIA等化用の伝達関数を構成するタップ係数を算出し、送信側線形等化部404に設定する。ここで、線形等化器係数算出部601は、送信側係数算出処理を行う送信側係数算出部に対応する。

[0092] このようにして、本実施形態に係る無線通信システム100aは、第1実施形態に係る無線通信システム100と同様に、送信局装置101aが送信するトレーニング信号からCIRを推定するが、CIRに関する情報は送信局装置101a側へ送信され、IA等化用の伝達関数を構成するタップ係数は送信局装置101a側で算出される。これにより、等化用伝達関数のタ

ップ係数を算出する処理が送信局装置101a側と受信局装置102a側とに分散されるので、線形等化器係数算出部503aの処理量は、第1実施形態の線形等化器係数算出部503の処理量よりも少なくできる。ここで、線形等化器係数算出部503aは、受信側係数算出処理を行う受信側係数算出部に対応する。

[0093] なお、本実施形態に係る無線通信システム100aにおいても、第1実施形態に係る無線通信システム100と同様に、受信側線形等化部504は、図4で説明したように、CIRの伝達関数行列 $H(z)$ の行列式 $\det(H(z))$ が最小位相であるか非最小位相であるかを判定し、最小位相である場合には順方向等化を行い、非最小位相である場合には逆方向等化を行うように制御する。これにより、非最小位相の場合でも、逆方向等化を行うことで、見かけ上は最小位相として計算することができ、インパルス応答が発散することなく、安定した等化処理を実現することができる。

[0094] 以上、各実施形態で説明したように、本発明に係る無線通信システム、無線通信方法、送信局装置および受信局装置は、SC-MIMO伝送において等化器の伝達関数が最小位相となるか非最小位相となるかを判定して等化方向を変えることによって、等化器の伝達関数の一部が非最小位相となる場合でも安定して $|A|$ および $|S|$ の等化を行うことができる。

符号の説明

[0095] 100, 100a・・・無線通信システム；101, 101a・・・送信局装置；102, 102a・・・受信局装置；201・・・QAM変調部；202, 404・・・送信側線形等化部；203・・・RF部；301・・・RF部；302, 504・・・受信側線形等化部；303・・・QAM復調部；401・・・情報ビット生成部；402・・・データ信号変調部；403・・・トレーニング信号生成部；405, 507・・・送信信号変換部；406, 501・・・受信信号変換部；ATt, ATr・・・アンテナ；502・・・通信路推定部；503, 503a・・・線形等化器係数算出部；505・・・データ信号復調部；506・・・情報ビット検出部；601・

・ ・ 線形等化器係数算出部

請求の範囲

- [請求項1] 送信局装置と受信局装置との間でSC-MIMO伝送を行う無線通信システムにおいて、
- 前記送信局装置は、
- 既知のトレーニング信号を生成するトレーニング信号生成部と、
- 送信側伝達関数を用いて複数の第1データ信号を等化した複数の第2データ信号を出力する送信側線形等化部と、
- 前記トレーニング信号または複数の前記第2データ信号を前記受信局装置に送信し、前記送信側伝達関数に関する情報を前記受信局装置から受信する複数のアンテナを有する送信局通信部と
- を備え、
- 前記受信局装置は、
- 前記送信局装置が送信する複数の前記第2データ信号または前記トレーニング信号を受信し、前記送信側伝達関数に関する情報を前記送信局装置に送信する複数のアンテナを有する受信局通信部と、
- 前記受信局通信部により受信する前記トレーニング信号から通信路応答を推定する通信路推定部と、
- 前記通信路応答の伝達関数行列 H の随伴行列を伝達関数とする前記送信側伝達関数と、前記伝達関数行列 H の行列式の逆数を伝達関数とする受信側伝達関数とを算出する受信側係数算出部と、
- 前記受信側伝達関数を用いて前記受信局通信部が受信する複数の前記第2データ信号を等化した複数の第3データ信号を出力する受信側線形等化部と
- を備え、
- 前記受信側線形等化部は、前記伝達関数行列 H の行列式が最小位相であるか否かを判定し、最小位相である場合には順方向等化を行い、非最小位相である場合には逆方向等化を行う
- ことを特徴とする無線通信システム。

- [請求項2] 請求項1に記載の無線通信システムにおいて、
- 前記受信側係数算出部は、前記伝達関数行列Hの行列式の逆数を伝達関数とする前記受信側伝達関数のみを算出して、前記通信路応答に関する情報を前記送信局装置へ送信し、
- 前記送信局装置は、前記受信局装置から受信する前記通信路応答に関する情報に基づいて、前記通信路応答の伝達関数行列Hの随伴行列を伝達関数とする前記送信側伝達関数を算出する送信側係数算出部をさらに備える
- ことを特徴とする無線通信システム。
- [請求項3] 送信局装置と受信局装置との間でSC-MIMO伝送を行う無線通信方法であって、
- 前記送信局装置は、
- 既知のトレーニング信号を生成するトレーニング信号生成処理と、
- 送信側伝達関数を用いて複数の第1データ信号を等化した複数の第2データ信号を出力する送信側線形等化処理と、
- 前記トレーニング信号または複数の前記第2データ信号を前記受信局装置に送信し、前記送信側伝達関数に関する情報を前記受信局装置から受信する複数の送信局通信処理と
- を実行し、
- 前記受信局装置は、
- 前記送信局装置が送信する複数の前記第2データ信号または前記トレーニング信号を受信し、前記送信側伝達関数に関する情報を前記送信局装置に送信する複数の受信局通信処理と、
- 前記送信局装置から受信する前記トレーニング信号から通信路応答を推定する通信路推定処理と、
- 前記通信路応答の伝達関数行列Hの随伴行列を伝達関数とする前記送信側伝達関数と、前記伝達関数行列Hの行列式の逆数を伝達関数とする受信側伝達関数とを算出する受信側係数算出処理と、

前記受信側伝達関数を用いて前記受信局通信処理により受信する複数の前記第2データ信号を等化した複数の第3データ信号を出力する受信側線形等化処理と

を実行し、

前記受信側線形等化処理では、前記伝達関数行列Hの行列式が最小位相であるか否かを判定し、最小位相である場合には順方向等化を行い、非最小位相である場合には逆方向等化を行う

ことを特徴とする無線通信方法。

[請求項4]

請求項3に記載の無線通信方法において、

前記受信側係数算出処理では、前記伝達関数行列Hの行列式の逆数を伝達関数とする前記受信側伝達関数のみを算出して、前記通信路応答に関する情報を前記送信局装置へ送信し、

前記送信局装置は、前記受信局装置から受信する前記通信路応答に関する情報に基づいて、前記通信路応答の伝達関数行列Hの随伴行列を伝達関数とする前記送信側伝達関数を算出する送信側係数算出処理をさらに実行する

ことを特徴とする無線通信方法。

[請求項5]

受信局装置との間でSC-MIMO伝送を行う送信局装置において、

前記受信局装置が通信路応答を推定するための既知のトレーニング信号を生成するトレーニング信号生成部と、

前記通信路応答の伝達関数行列Hの随伴行列を伝達関数とする送信側伝達関数を用いて複数の第1データ信号を等化した複数の第2データ信号を出力する送信側線形等化部と、

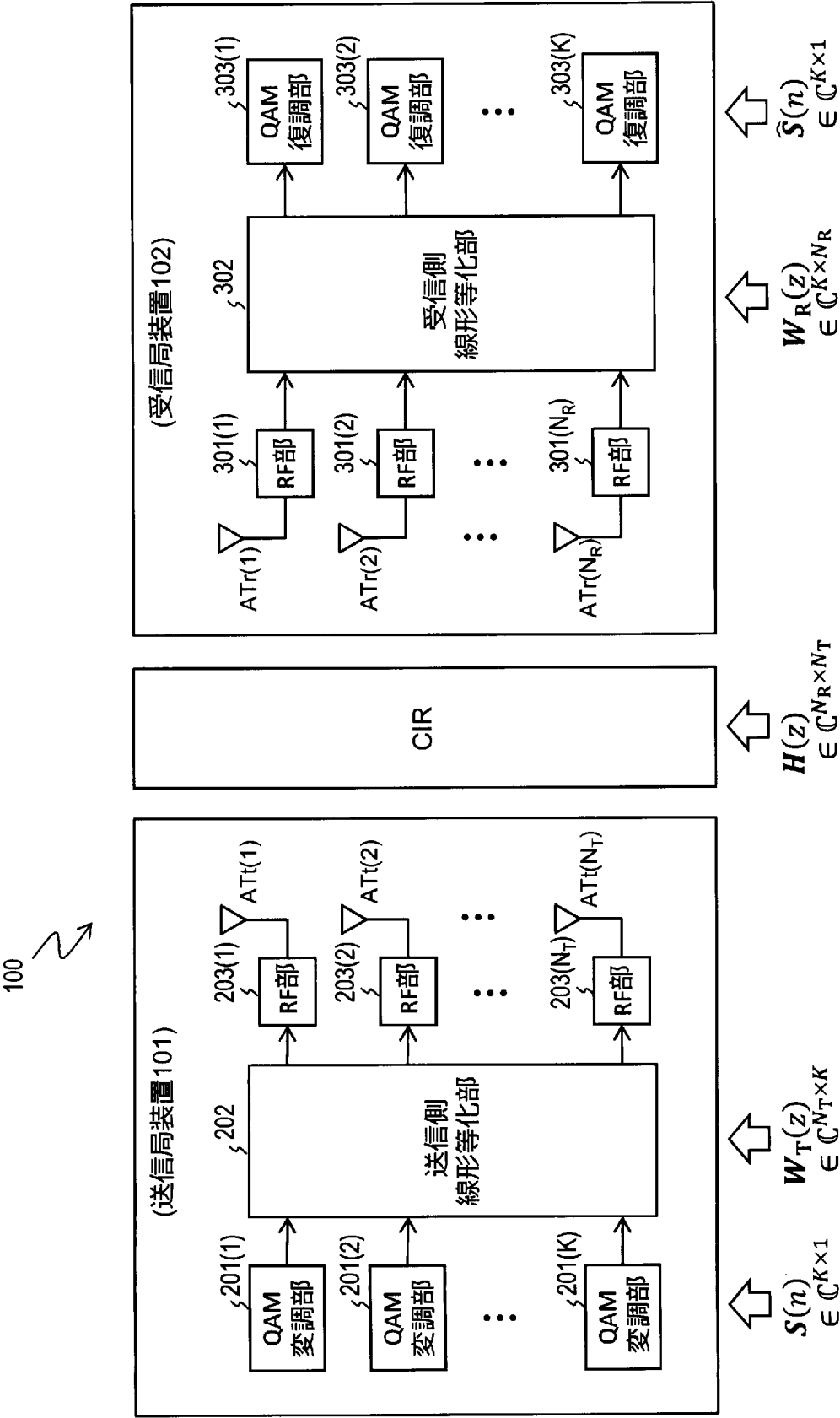
前記トレーニング信号または複数の前記第2データ信号を前記受信局装置に送信し、前記送信側伝達関数に関する情報を前記受信局装置から受信する複数のアンテナを有する送信局通信部と

を備えることを特徴とする送信局装置。

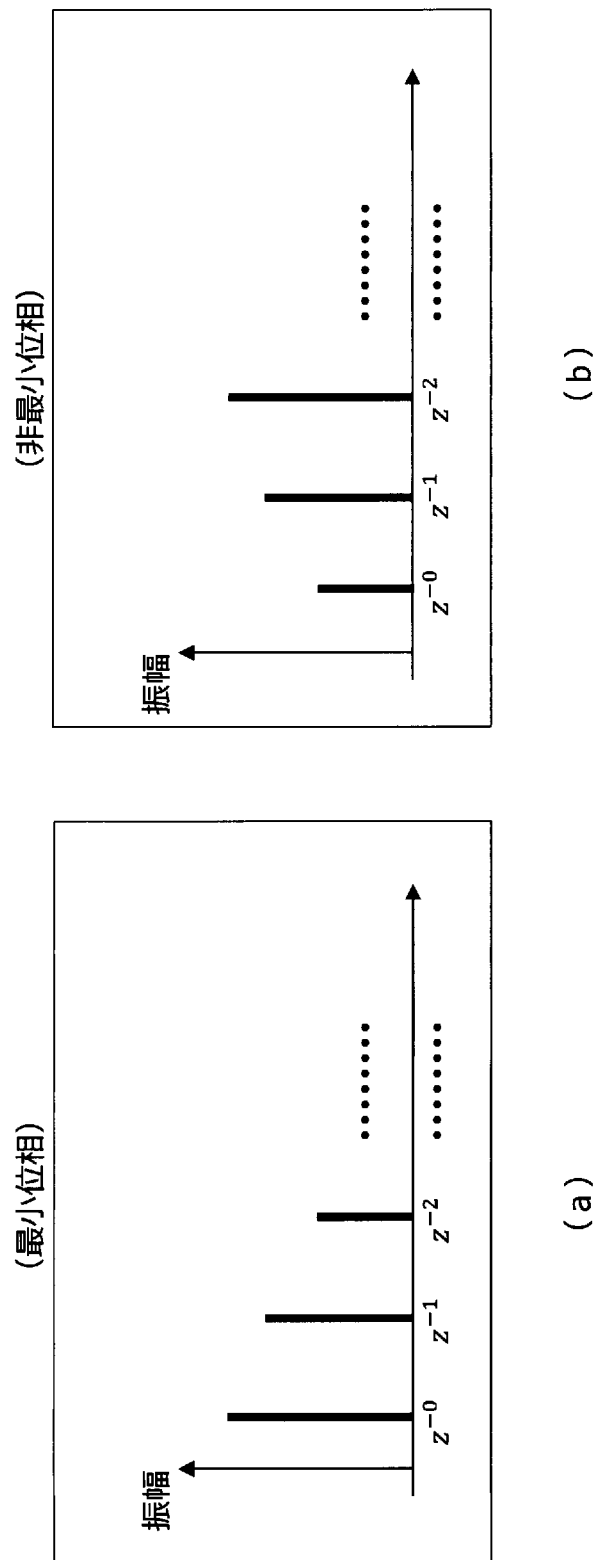
- [請求項6] 請求項5に記載の送信局装置において、
- 前記送信局装置は、前記受信局装置から受信する前記通信路応答に関する情報に基づいて、前記通信路応答の伝達関数行列 H の随伴行列を伝達関数とする前記送信側伝達関数を算出する送信側係数算出部をさらに備える
- ことを特徴とする送信局装置。
- [請求項7] 送信局装置との間でSC-MIMO伝送を行う受信局装置において、
- 、
- 前記送信局装置が送信する複数の第2データ信号またはトレーニング信号を受信し、前記送信局装置の等化器で用いる送信側伝達関数に関する情報を前記送信局装置に送信する複数のアンテナを有する受信局通信部と、
- 前記受信局通信部により受信する前記トレーニング信号から通信路応答を推定する通信路推定部と、
- 前記通信路応答の伝達関数行列 H の随伴行列を伝達関数とする前記送信側伝達関数と、前記伝達関数行列 H の行列式の逆数を伝達関数とする受信側伝達関数とを算出する受信側係数算出部と、
- 前記受信側伝達関数を用いて前記受信局通信部が受信する複数の前記第2データ信号を等化した複数の第3データ信号を出力する受信側線形等化部と
- を備え、
- 前記受信側線形等化部は、前記伝達関数行列 H の行列式が最小位相であるか否かを判定し、最小位相である場合には順方向等化を行い、非最小位相である場合には逆方向等化を行う
- ことを特徴とする受信局装置。
- [請求項8] 請求項7に記載の受信局装置において、
- 前記受信側係数算出部は、前記伝達関数行列 H の行列式の逆数を伝達関数とする前記受信側伝達関数のみを算出して、前記通信路応答に

関する情報を前記送信局装置へ送信する
ことを特徴とする受信局装置。

[図1]

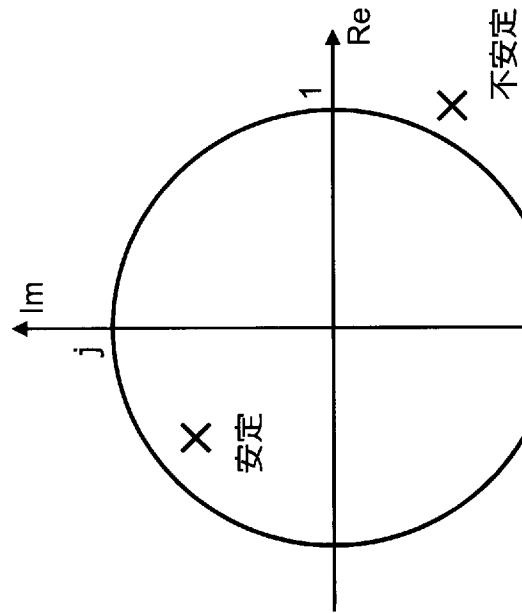


[図2]

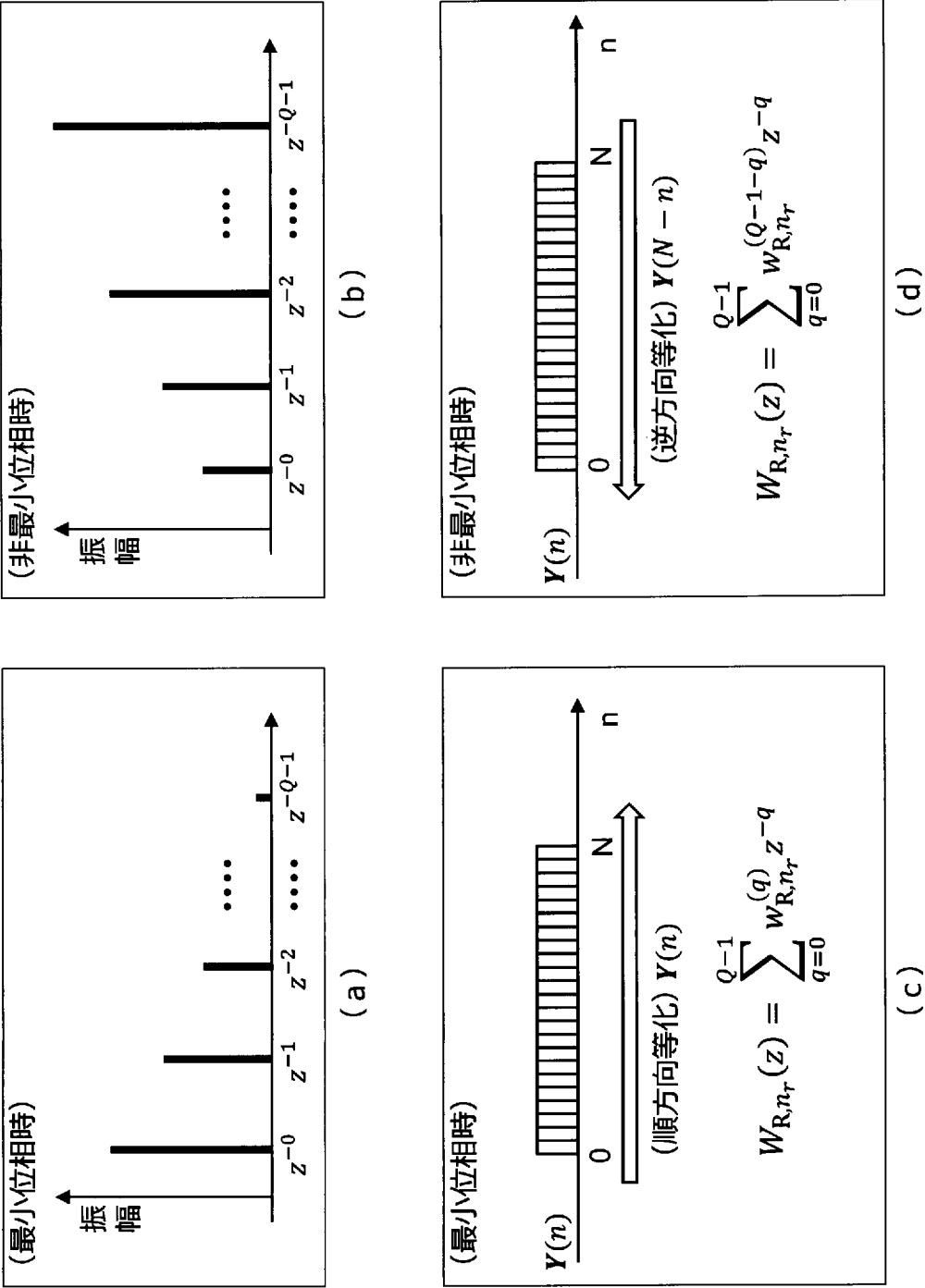


[図3]

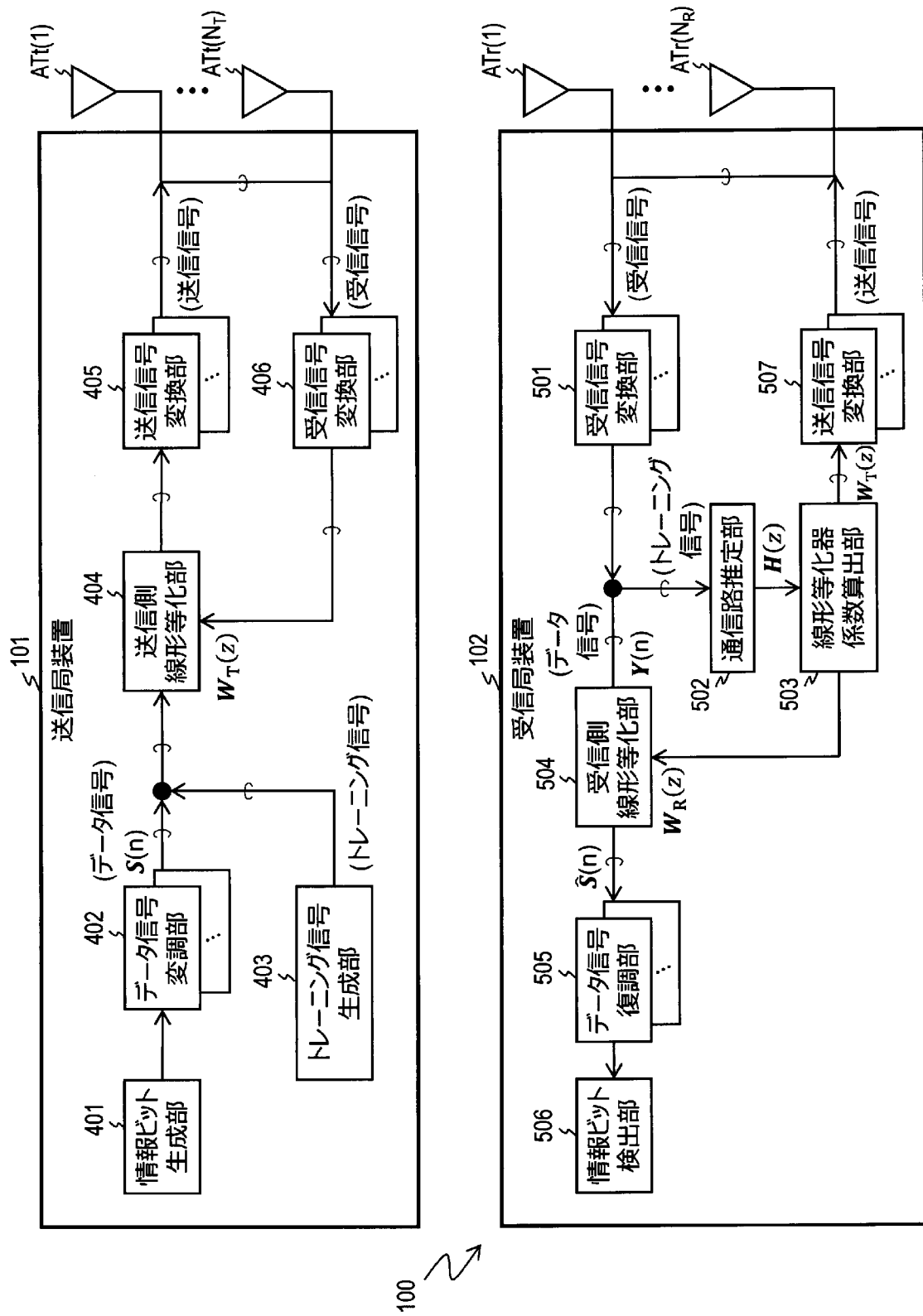
$$\frac{1}{\det(\mathbf{H}(z))} = \frac{1}{a^{(0)} + a^{(1)}z^{-1} + \dots + a^{(L-1)}z^{-L+1}} \quad \text{IIR型}$$



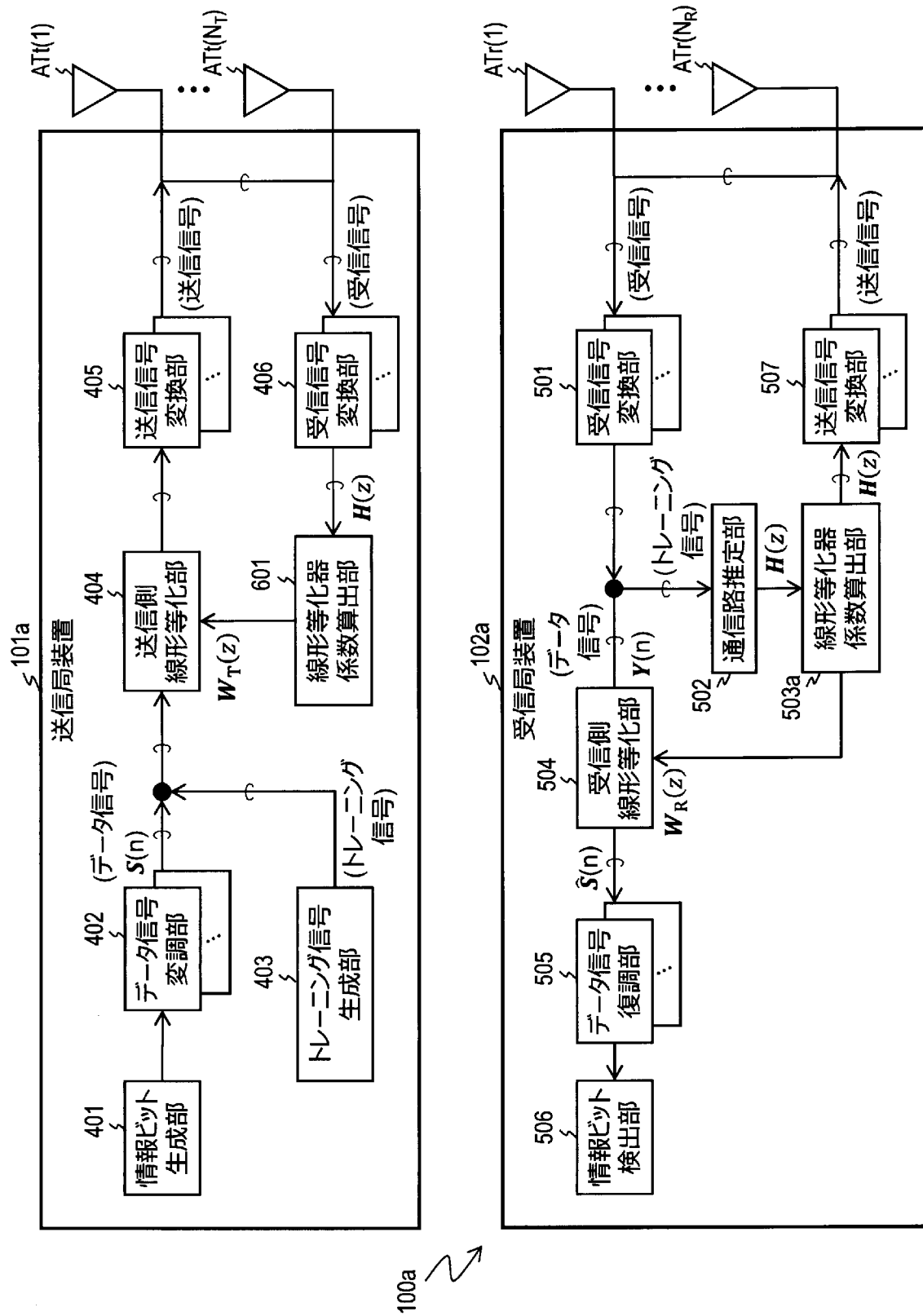
[図4]



[図5]



[図6]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/006548

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04L 27/01(2006.01)i; H04B 7/005(2006.01)i; H04B 7/0413(2017.01)i; H04B 7/0417(2017.01)i

FI: H04B7/0413 200; H04B7/0417; H04B7/005; H04L27/01

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)

H04L27/01; H04B7/005; H04B7/0413; H04B7/0417

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	1971-2020
Registered utility model specifications of Japan	1996-2020
Published registered utility model applications of Japan	1994-2020

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

IEEEExplore

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	栗山 圭太他, 広帯域シングルキャリア MIMO 伝送のための FIR 型送信ビーム形成, 電子情報通信学会技術研究報告 vol. 118 no. 433, 24 January 2019, pp. 31-36, in particular, sections 1-3, (KURIYAMA, Keita et al., "FIR-type Transmit Beamforming for Wide-band Single Carrier MIMO Transmission", IEICE technical report vol. 118, no. 433)	5-6 1-4, 7-8
Y A	WO 2014/115374 A1 (NTT DOCOMO, INC.) 31.07.2014 (2014-07-31) paragraphs [0032]-[0035], fig. 4	5-6 1-4, 7-8
Y A	WO 2018/073851 A1 (PANASONIC IP MANAGEMENT CO., LTD.) 26.04.2018 (2018-04-26) paragraphs [0027]-[0029], [0041]-[0046], fig. 2-3	5-6 1-4, 7-8



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

"I" 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

22 April 2020 (22.04.2020)

Date of mailing of the international search report

12 May 2020 (12.05.2020)

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/JP2020/006548

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	栗山 圭太 他, 長遅延波環境でのシングルキャリアブロック MIMO 伝送における瞬時 SINR に基づく伝送速度最適化, 電子情報通信学会 2018 年総合大会講演論文集 通信講演論文集 1, 06 March 2018, p. 390, sections 1-2, non-official translation (KURIYAMA, Keita et al., "Optimization of transmission rate based on instantaneous SINRs on single-carrier block MIMO transmission with large-delayed paths", Lecture Proceedings of the 2018 general conference of IEICE: Communication lecture proceedings 1)	1-8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2020/006548

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
WO 2014/115374 A1	31 Jul. 2014	US 2015/0358103 A1 paragraphs [0057]- [0059], fig. 4 EP 2950574 A1	
WO 2018/073851 A1	26 Apr. 2018	US 2019/0222246 A1 paragraphs [0035]- [0036], [0050]- [0054], fig. 2-3	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H04L 27/01(2006.01)i; H04B 7/005(2006.01)i; H04B 7/0413(2017.01)i; H04B 7/0417(2017.01)i FI: H04B7/0413 200; H04B7/0417; H04B7/005; H04L27/01														
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）） H04L27/01; H04B7/005; H04B7/0413; H04B7/0417														
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														
<table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2020年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2020年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2020年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2020年				
日本国実用新案公報	1922 - 1996年													
日本国公開実用新案公報	1971 - 2020年													
日本国実用新案登録公報	1996 - 2020年													
日本国登録実用新案公報	1994 - 2020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） IEEEExplore														
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	栗山 圭太 他, 広帯域シングルキャリアMIMO伝送のためのFIR型送信ビーム形成, 電子情報通信学会技術研究報告 Vol. 118 No. 433, 2019.01.24, pp.31-36 特に, Section 1-3	5-6												
A		1-4, 7-8												
Y	WO 2014/115374 A1 (株式会社NTTドコモ) 31.07.2014 (2014 - 07 - 31) [0032]-[0035], 図4	5-6												
A		1-4, 7-8												
Y	WO 2018/073851 A1 (パナソニックIPマネジメント株式会社) 26.04.2018 (2018 - 04 - 26) [0027]-[0029], [0041]-[0046], 図2-3	5-6												
A		1-4, 7-8												
A	栗山 圭太 他, 長遅延波環境でのシングルキャリアブロックMIMO伝送における瞬時SINRに基づく伝送速度最適化, 電子情報通信学会2018年総合大会講演論文集 通信講演論文集1, 2018.03.06, p.390 Section 1-2	1-8												
☐ 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。														
<table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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）</td> <td>“&” 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td></td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー	“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	“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	“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	“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	“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	“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）	“&” 同一パテントファミリー文献	“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	
* 引用文献のカテゴリー	“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													
“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	“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													
“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	“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													
“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）	“&” 同一パテントファミリー文献													
“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														
国際調査を完了した日 22.04.2020	国際調査報告の発送日 12.05.2020													
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） 吉江 一明 5K 5887 電話番号 03-3581-1101 内線 3556													

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/JP2020/006548

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
WO	2014/115374	A1	31.07.2014	US	2015/0358103	A1	
				[0057]-[0059], FIG. 4			
				EP	2950574	A1	
WO	2018/073851	A1	26.04.2018	US	2019/0222246	A1	
				[0035]-[0036], [0050]-			
				[0054], FIGs. 2-3			