

(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
2016年9月29日(29.09.2016)



(10) 国際公開番号
WO 2016/152916 A1

- (51) 国際特許分類:
H04J 99/00 (2009.01) H04W 16/28 (2009.01)
H04B 7/04 (2006.01) H04W 88/02 (2009.01)
H04B 7/10 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/059179
- (22) 国際出願日: 2016年3月23日(23.03.2016)
- (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 2015-063557 2015年3月26日(26.03.2015) JP
- (71) 出願人: 株式会社NTTドコモ(NTT DOCOMO, INC.) [JP/JP]; 〒1006150 東京都千代田区永田町二丁目11番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 小原 辰徳(OBARA, Tatsunori); 〒1006150 東京都千代田区永田町二丁目11番1号 山王パークタワー 株式会社NTTドコモ 知的財産部内 Tokyo (JP). 須山 聡(SUYAMA, Satoshi); 〒1006150 東京都千代田区永田町二丁目11番1

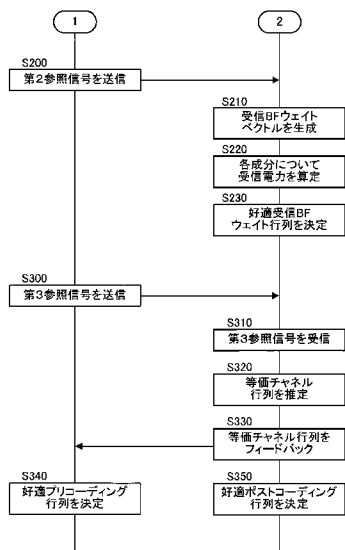
号 山王パークタワー 株式会社NTTドコモ 知的財産部内 Tokyo (JP). 沈 紀▲ユン▼(SHEN, Jiyun); 〒1006150 東京都千代田区永田町二丁目11番1号 山王パークタワー 株式会社NTTドコモ 知的財産部内 Tokyo (JP). 奥村 幸彦(OKUMURA, Yukihiko); 〒1006150 東京都千代田区永田町二丁目11番1号 山王パークタワー 株式会社NTTドコモ 知的財産部内 Tokyo (JP).

- (74) 代理人: 大林 章, 外(OHBAYASHI, Akira et al.); 〒1130033 東京都文京区本郷2-15-13 お茶の水ウイングビル6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, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, 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,

[続葉有]

(54) Title: RADIO COMMUNICATION CONTROL METHOD AND RADIO COMMUNICATION SYSTEM

(54) 発明の名称: 無線通信制御方法および無線通信システム



(57) Abstract: A number L_R of reception beam forming circuits with which a reception beam forming unit is provided execute reception beam forming (N_R/L_R) times with respect to a received signal vector received by N_R reception antennas A_R , thereby generating a reception beam forming (BF) output vector having N_R reception beam BF output components. A calculation processing unit calculates a reception power for each of the N_R reception BF output components, selects L_R reception BF output components in decreasing order of reception power, and determines a suitable reception BF weighting matrix including L_R reception orthogonal BF weighting vectors corresponding to the selected reception BF output components.

(57) 要約: N_R 本の受信アンテナ A_R にて受信された受信信号ベクトルに対し、受信ビームフォーミング部が備える L_R 個の受信ビームフォーミング回路が、受信ビームフォーミングを (N_R/L_R) 回にわたって実行することにより、 N_R 個の受信BF (ビームフォーミング) 出力成分を有する受信BF出力ベクトルを生成する。演算処理部が、 N_R 個の受信BF出力成分の各々について受信電力を算定し、受信電力が高い順に L_R 個の受信BF出力成分を選択し、選択された受信BF出力成分に対応する L_R 個の受信直交BFウェイトベクトルを含む好適受信BFウェイト行列を決定する。

- S200 Transmit second reference signal
- S210 Generate reception BF weighting vector
- S220 Calculate reception power for each component
- S230 Determine preferred reception BF weighting matrix
- S300 Transmit third reference signal
- S310 Receive third reference signal
- S320 Estimate equivalent channel matrix
- S330 Feed back equivalent channel matrix
- S340 Determine preferred pre-coding matrix
- S350 Determine preferred post-coding matrix

WO 2016/152916 A1



SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

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).

(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,

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：無線通信制御方法および無線通信システム

技術分野

[0001] 本発明は、無線通信制御方法および無線通信システムに関する。

背景技術

[0002] 無線通信の分野において、近年、送信機側と受信機側との双方で複数のアンテナを用いて送受信を実行することにより、信号伝送の高速化及び高品質化を実現するMIMO (Multiple-Input and Multiple-Output) 伝送方式が活用されている。

[0003] また、信号伝送の更なる高速化と干渉低減とを図るために、アンテナの小型化と広い帯域幅の確保とが可能な高周波数帯（例えば、10 GHz以上）において、大量のアンテナ素子（例えば、100素子以上）を使用したMassive-MIMO伝送方式が検討されている（例えば、特許文献1）。

[0004] Massive-MIMOにおいては、従来のMIMOと比較して、大量のアンテナ素子を用いた高度なビームフォーミング (Beam Forming, BF) が実現される。ビームフォーミングは、複数のアンテナ素子を制御することによりビーム（送信アンテナに対応する送信ビーム、受信アンテナに対応する受信ビーム）の指向性や形状を制御する技術である。MIMOでは、各アンテナ素子について位相及び振幅の制御が可能であるので、使用されるアンテナ素子の数が多いほどビーム制御の自由度が高まる。

[0005] なお、伝送信号に対して施されるビームフォーミングは、数学的には、伝送信号を示すベクトルに対するビームフォーミングウェイト行列（以下、BFウェイト行列と称する場合がある）の乗算として表現される。BFウェイト行列は、複数のビームフォーミングウェイトベクトル（以下、BFウェイトベクトルと称する場合がある）を成分として含む行列として表現される。以下、BFウェイト行列とBFウェイトベクトルとを総称して「BFウェイト」と称する場合がある。

[0006] ビームフォーミングの一態様として、固定ビームフォーミングが例示される。固定ビームフォーミングにおいては、事前に準備された複数のビームフォーミングウェイトの候補から、使用すべきビームフォーミングウェイト（固定ビーム）が選択される。固定ビームフォーミングでは、固定ビームを制御するビームフォーミングと、複数ストリーム間多重の補償を実現するコーディング（送信側でのプリコーディング及び受信側でのポストコーディング）とが個別に実行される。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特開2013-232741号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] MIMO伝送を適切に実行するには、ビームフォーミングを適切に実行すること、すなわち、好適なBFウェイトを決定することが重要であると考えられる。BFウェイトを決定するためには、大量の演算処理、例えば、候補となる全てのBFウェイトの各々を用いて総当り的にチャンネル推定を実行し、チャンネル推定結果を比較して最適なBFウェイトを選択することが想定される。

[0009] しかしながら、全ての組合せパターンについて演算を実行すると、演算処理の負荷が過大となる。特に、Massive-MIMO伝送方式においては大量のアンテナ素子が採用されるため、以上の処理負荷増の問題は一層顕著となる。

[0010] 以上の事情を考慮して、本発明は、演算量を低減しつつ好適なBFウェイトを決定し、適切なMIMO伝送を実現することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0011] 本発明の無線通信制御方法は、プリコーディング行列を用いてプリコーディングを施すプリコーディング部と、前記プリコーディングが施された後の

信号に対して、送信BF（ビームフォーミング）ウェイト行列に相当する位相および振幅の変化を付与する送信ビームフォーミングを施す送信ビームフォーミング部と、前記送信ビームフォーミングが施された信号を送信する N_T 本の送信アンテナとを備える送信機と、前記送信機から送信され空間を伝搬した信号を受信する N_R 本の受信アンテナと、複数の前記受信アンテナが受信した前記信号に対して、受信BFウェイト行列に相当する位相および振幅の変化を付与する受信ビームフォーミングを施す受信ビームフォーミング部と、前記アナログ受信ビームフォーミングが施された後の信号に対して、ポストコーディング行列を用いてポストコーディングを施すポストコーディング部とを備える受信機とを備える無線通信システムにおける無線通信制御方法であって、 N_R 本の前記受信アンテナにて受信された受信信号ベクトルに対し、前記受信ビームフォーミング部が備える L_R 個の受信ビームフォーミング回路が、受信ビームフォーミングを (N_R/L_R) 回にわたって実行することにより、 N_R 個の受信BF出力成分を有する受信BF出力ベクトルを生成することと、 N_R 個の前記受信BF出力成分の各々について受信電力を算定することと、受信電力が高い順に L_R 個の前記受信BF出力成分を選択し、選択された当該受信BF出力成分に対応する L_R 個の受信直交BFウェイトベクトルを含む好適受信BFウェイト行列を決定することとを備える。

[0012] 本発明の他の無線通信制御方法は、プリコーディング行列を用いてプリコーディングを施すプリコーディング部と、前記プリコーディングが施された後の信号に対して、送信BFウェイト行列に相当する位相および振幅の変化を付与する送信ビームフォーミングを施す送信ビームフォーミング部と、前記送信ビームフォーミングが施された信号を送信する N_T 本の送信アンテナとを備える送信機と、前記送信機から送信され空間を伝搬した信号を受信する N_R 本の受信アンテナと、複数の前記受信アンテナが受信した前記信号に対して、受信BFウェイト行列に相当する位相および振幅の変化を付与する受信ビームフォーミングを施す受信ビームフォーミング部と、前記アナログ受信ビームフォーミングが施された後の信号に対して、ポストコーディング行列

を用いてポストコーディングを施すポストコーディング部とを備える受信機とを備える無線通信システムにおける無線通信制御方法であって、 N_R 本の前記受信アンテナにて受信された受信信号ベクトルに対し、前記受信ビームフォーミング部が備える L_R 個の受信ビームフォーミング回路が、受信ビームフォーミングを (N_R/L_R) 回にわたって実行することにより、 N_R 個の受信BF出力成分を有する受信BF出力ベクトルを生成することと、前記受信BF出力ベクトルに対して、 N_R 本の前記受信アンテナに対応する N_R 個の分離演算子をそれぞれ乗算することにより、前記受信信号ベクトルを取得することと、前記受信信号ベクトルを用いてチャネル行列を推定することと、推定された前記チャネル行列を用いて、複数の受信BFウェイトベクトルの候補の各々について受信電力を算定することと、受信電力が高い順に L_R 個の前記受信BFウェイトベクトルの候補を選択し、選択された L_R 個の前記受信BFウェイトベクトルの候補を含む好適受信BFウェイト行列を決定することとを備える。

[0013] 本発明の他の無線通信制御方法は、プリコーディング行列を用いてプリコーディングを施すプリコーディング部と、前記プリコーディングが施された後の信号に対して、送信BFウェイト行列に相当する位相および振幅の変化を付与する送信ビームフォーミングを施す送信ビームフォーミング部と、前記送信ビームフォーミングが施された信号を送信する N_T 本の送信アンテナとを備える送信機と、前記送信機から送信され空間を伝搬した信号を受信する N_R 本の受信アンテナと、複数の前記受信アンテナが受信した前記信号に対して、受信BFウェイト行列に相当する位相および振幅の変化を付与する受信ビームフォーミングを施す受信ビームフォーミング部と、前記アナログ受信ビームフォーミングが施された後の信号に対して、ポストコーディング行列を用いてポストコーディングを施すポストコーディング部とを備える受信機とを備える無線通信システムにおける無線通信制御方法であって、 N_R 本の前記受信アンテナにて受信された受信信号ベクトルに対し、前記受信ビームフォーミング部が備える L_R 個の受信ビームフォーミング回路の各々が、前記受

信信号ベクトルの要素の1つを選択して取得するバイパス受信動作を (N_R / L_R) 回にわたって実行することにより、前記受信信号ベクトルを取得することと、前記受信信号ベクトルを用いてチャネル行列を推定することと、推定された前記チャネル行列を用いて、複数の受信BFウェイトベクトルの候補の各々について受信電力を算定することと、受信電力が高い順に L_R 個の前記受信BFウェイトベクトルの候補を選択し、選択された L_R 個の前記受信BFウェイトベクトルの候補を含む好適受信BFウェイト行列を決定することとを備える。

- [0014] 本発明の無線通信システムは、プリコーディング行列を用いてプリコーディングを施すプリコーディング部と、前記プリコーディングが施された後の信号に対して、送信BF（ビームフォーミング）ウェイト行列に相当する位相および振幅の変化を付与する送信ビームフォーミングを施す送信ビームフォーミング部と、前記送信ビームフォーミングが施された信号を送信する N_T 本の送信アンテナとを備える送信機と、前記送信機から送信され空間を伝搬した信号を受信する N_R 本の受信アンテナと、複数の前記受信アンテナが受信した前記信号に対して、受信BFウェイト行列に相当する位相および振幅の変化を付与する受信ビームフォーミングを施す受信ビームフォーミング部と、前記アナログ受信ビームフォーミングが施された後の信号に対して、ポストコーディング行列を用いてポストコーディングを施すポストコーディング部とを備える受信機とを備え、前記受信ビームフォーミング部は、 N_R 本の前記受信アンテナにて受信された受信信号ベクトルに対し、前記受信ビームフォーミング部が備える L_R 個の受信ビームフォーミング回路が、受信ビームフォーミングを (N_R / L_R) 回にわたって実行することにより、 N_R 個の受信BF出力成分を有する受信BF出力ベクトルを生成し、前記受信機は、 N_R 個の前記受信BF出力成分の各々について受信電力を算定し、受信電力が高い順に L_R 個の前記受信BF出力成分を選択し、選択された当該受信BF出力成分に対応する L_R 個の受信直交BFウェイトベクトルを含む好適受信BFウェイト行列を決定する演算処理部をさらに備える。

[0015] 本発明の他の無線通信システムは、プリコーディング行列を用いてプリコーディングを施すプリコーディング部と、前記プリコーディングが施された後の信号に対して、送信BFウェイト行列に相当する位相および振幅の変化を付与する送信ビームフォーミングを施す送信ビームフォーミング部と、前記送信ビームフォーミングが施された信号を送信する N_T 本の送信アンテナとを備える送信機と、前記送信機から送信され空間を伝搬した信号を受信する N_R 本の受信アンテナと、複数の前記受信アンテナが受信した前記信号に対して、受信BFウェイト行列に相当する位相および振幅の変化を付与する受信ビームフォーミングを施す受信ビームフォーミング部と、前記アナログ受信ビームフォーミングが施された後の信号に対して、ポストコーディング行列を用いてポストコーディングを施すポストコーディング部とを備える受信機とを備え、前記受信ビームフォーミング部は、 N_R 本の前記受信アンテナにて受信された受信信号ベクトルに対し、前記受信ビームフォーミング部が備える L_R 個の受信ビームフォーミング回路が、受信ビームフォーミングを (N_R / L_R) 回にわたって実行することにより、 N_R 個の受信BF出力成分を有する受信BF出力ベクトルを生成し、前記受信機は、前記受信BF出力ベクトルに対して、 N_R 本の前記受信アンテナに対応する N_R 個の分離演算子をそれぞれ乗算することにより、前記受信信号ベクトルを取得し、前記受信信号ベクトルを用いてチャネル行列を推定し、推定された前記チャネル行列を用いて、複数の受信BFウェイトベクトルの候補の各々について受信電力を算定し、受信電力が高い順に L_R 個の前記受信BFウェイトベクトルの候補を選択し、選択された L_R 個の前記受信BFウェイトベクトルの候補を含む好適受信BFウェイト行列を決定する演算処理部をさらに備える。

[0016] 本発明の他の無線通信システムは、プリコーディング行列を用いてプリコーディングを施すプリコーディング部と、前記プリコーディングが施された後の信号に対して、送信BFウェイト行列に相当する位相および振幅の変化を付与する送信ビームフォーミングを施す送信ビームフォーミング部と、前記送信ビームフォーミングが施された信号を送信する N_T 本の送信アンテナと

を備える送信機と、前記送信機から送信され空間を伝搬した信号を受信する N_R 本の受信アンテナと、複数の前記受信アンテナが受信した前記信号に対して、受信BFウェイト行列に相当する位相および振幅の変化を付与する受信ビームフォーミングを施す受信ビームフォーミング部と、前記アナログ受信ビームフォーミングが施された後の信号に対して、ポストコーディング行列を用いてポストコーディングを施すポストコーディング部とを備える受信機とを備え、前記受信ビームフォーミング部が備える L_R 個の受信ビームフォーミング回路の各々は、 N_R 本の前記受信アンテナにて受信された受信信号ベクトルに対し、前記受信信号ベクトルの要素の1つを選択して取得するバイパス受信動作を (N_R/L_R) 回にわたって実行することにより、前記受信信号ベクトルを取得し、前記受信機は、前記受信信号ベクトルを用いてチャネル行列を推定し、推定された前記チャネル行列を用いて、複数の受信BFウェイトベクトルの候補の各々について受信電力を算定し、受信電力が高い順に L_R 個の前記受信BFウェイトベクトルの候補を選択し、選択された L_R 個の前記受信BFウェイトベクトルの候補を含む好適受信BFウェイト行列を決定する演算処理部をさらに備える。

発明の効果

[0017] 本発明によれば、ウェイト行列が段階的に決定される。したがって、ウェイト行列の組合せを全て試行して決定する構成と比較して、演算対象となる組合せ数が抑制される。結果として、ウェイト行列決定に要する演算量が低減されつつ、好適なBFウェイト行列が決定される。

図面の簡単な説明

[0018] [図1]第1実施形態に係るMassive-MIMO伝送方式の概要説明図である。

[図2]第1実施形態に係る無線通信システムの概略構成図である。

[図3]第1実施形態に係るMassive-MIMO伝送の機能的構成を示す図である。

[図4]第1実施形態に係る送信機の回路構成の例を示す図である。

[図5]第1実施形態に係る受信機の回路構成の例を示す図である。

[図6]第1実施形態に係るBFウェイト決定の概説図である。

[図7]第1実施形態のスマート基地局の機能ブロック図である。

[図8]第1実施形態のユーザ装置の機能ブロック図である。

[図9]第1実施形態の受信ビームフォーミング部の詳細構成を示す図である。

[図10]第1実施形態のウェイト行列決定を示す動作フローの一部である。

[図11]第1実施形態のウェイト行列決定を示す動作フローの一部である。

[図12]第2実施形態のウェイト行列決定を示す動作フローの一部である。

[図13]変形例2の受信ビームフォーミング回路の詳細構成を示す図である。

発明を実施するための形態

[0019] 1. 第1実施形態

1 (1). Massive-MIMO伝送

本発明の第1実施形態に係るMassive-MIMO伝送方式について説明する。基地局が多数の送信アンテナ A_T を用いて無線通信を実行するMassive-MIMO伝送方式においては、多重化による高い無線通信速度（データレート）が実現される。また、ビームフォーミングを行う際のアンテナ制御の自由度が高まるため、従来よりも高度なビームフォーミングが実現される。そのため、干渉量の低減や無線リソースの有効利用が実現される。なお、Massive-MIMOに適応した基地局が備える送信アンテナ A_T の数は、以下に限定されるものではないが、32本以上、64本以上、96本以上、100本以上、128本以上、192本以上、200本以上、256本以上、500本以上、512本以上、1000本以上、または1024本以上であると好適である。

[0020] Massive-MIMO伝送方式において、高周波数帯（例えば、10 GHz以上の周波数帯）が使用されると好適である。高周波数帯では、低周波数帯と比較して、広い帯域幅（例えば、200 MHz以上）の無線リソースを確保しやすい。また、アンテナ素子の大きさは信号の波長に比例することから、無線信号の波長が相対的に短い高周波数帯を用いる場合には、アンテナをより小

型化することが可能である。その一方で、周波数が高いほど伝搬損失が増大するため、仮に同じ送信電力で基地局から無線信号を送信しても、高周波数帯を用いた場合には、低周波数帯を用いる場合と比較して、移動局における受信信号強度が低下する結果となる。

[0021] しかしながら、以上のような、高周波数帯を用いることによる受信信号強度の低下は、ビームフォーミング利得により補償可能である。図1は、周波数に応じたビーム（無線信号）の到達範囲を模式的に示す図である。従来の基地局（マクロ基地局MeNB）は低周波数帯を用いて無線通信を行うので、幅の広い放射パターンのビームを用いてもより遠くまでビームが到達する。他方、本実施形態のMassive-MIMO伝送方式に対応する基地局（スモール基地局MMNB）は高周波数帯を用いて無線通信を行うので、幅の広い放射パターンのビームを用いる場合にはマクロ基地局MeNBと比較してビームの到達する距離が短い。ところが、ビームフォーミングによってビームの放射パターンの幅を狭くする場合には、高周波数帯を用いるスモール基地局MMNBであっても遠くまでビームを到達させることが可能である。

[0022] 図2は、第1実施形態に係る無線通信システム1の概略構成図である。無線通信システム1は、マクロ基地局MeNB、スモール基地局MMNB、中央制御局MME、およびユーザ装置UEを備える。スモール基地局MMNBは、Massive-MIMO伝送方式に対応する基地局である。

[0023] マクロ基地局MeNBはその周囲にマクロセルC_mを形成し、スモール基地局MMNBはその周囲にMassive-MIMOセル（MMセル）C_{mm}を形成する。スモール基地局MMNBが用いる周波数帯（例えば、10 GHz帯）は、マクロ基地局MeNBが用いる周波数帯（例えば、2 GHz帯）よりも周波数が高く伝搬損失も大きいので、MMセルC_{mm}のセルサイズはマクロセルC_mのセルサイズよりも小さい。そのため、スモール基地局MMNBとユーザ装置UEとは見通し線（line-of-sight）で接続される可能性が高い。

[0024] 図2に示されるように、MMセルC_{mm}は、マクロセルC_mなど他の無線

アクセス技術 (Radio Access Technology, R A T) による無線通信可能エリアとオーバーラップすることが可能である。結果として、オーバーラップする領域に位置するユーザ装置 U E に対しては、複数の無線アクセス技術による同時接続 (Multiple Connectivity) がサポートされる。さらに、M a s s i v e - M I M O 伝送方式に対応するスモール基地局 M M N B と通信中のユーザ装置 U E に対して、異なる無線アクセス技術に対応するマクロ基地局 M e N B から制御信号を送信することも可能である。なお、他の無線アクセス技術として、公衆またはローカルの無線 L A N が例示される。

[0025] 前述の通り、高周波数帯域を用いる M a s s i v e - M I M O 伝送において、ビームフォーミングにより実現される利得によって伝搬損失が補償されると好適である。また、さらなる高速無線通信を実現するために、複数のデータストリームが空間的に多重されて伝送されると好適である。以上のような多重伝送においては、ビームフォーミングによるビーム自体の制御のみならず、プリコーディングによるストリーム間多重の補償が実現されるとより好適である。

[0026] より具体的には、図 3 に概略的に示すように、送信機 (例えば、スモール基地局 M M N B) のプリコーダおよび送信ビームフォーマがそれぞれプリコーディングおよび送信ビームフォーミングを実行し、受信機 (例えば、ユーザ装置 U E) の受信ビームフォーマおよびポストコーダがそれぞれ受信ビームフォーミングおよびポストコーディングを実行すると好適である。

[0027] 数学的には、プリコーディング処理は、M 本 (M は 2 以上の整数, 例えば M = 16) のストリームを表す M 行 1 列の信号ベクトル

[数1]

S

に対して、 L_T 行 M 列 (L_T は送信ビーム数) のプリコーディング行列

[数2]

P

を乗算する処理である。送信ビームフォーミング処理は、プリコーディングが施された信号に対して、 N_T 行 L_T 列（ N_T は送信アンテナ数、例えば $N_T=256$ ）の送信BF（ビームフォーミング）ウェイト行列

[数3]

$$\mathbf{W}_T$$

を乗算する処理である。送信ビームフォーミング後、送信アンテナ A_T から送信された信号に対して、空間の伝搬に対応する N_R 行 N_T 列（ N_R は受信アンテナ数、例えば $N_R=16$ ）のチャンネル特性行列

[数4]

$$\mathbf{H}_C$$

が乗算される。受信ビームフォーミング処理は、受信アンテナ A_R で受信された信号に対して、 L_R 行 N_R 列（ L_R は受信ビーム数）の受信BFウェイト行列

[数5]

$$\mathbf{W}_R$$

を乗算する処理である。ポストコーディング処理は、受信ビームフォーミングが施された信号に対して、 M 行 L_R 列のポストコーディング行列

[数6]

$$\mathbf{B}$$

を乗算する処理である。以上から、ポストコーディング後の M 行1列の信号ベクトル

[数7]

$$\mathbf{t}$$

は、以下の数式で表現される。

[数8]

$$\mathbf{t} = \mathbf{B}\mathbf{W}_R\mathbf{H}\mathbf{W}_T\mathbf{P}\mathbf{s} + \mathbf{z} \dots (1)$$

なお、以上の数式（１）において加算される別項である

[数9]

z

は、M行1列の雑音ベクトルである。

[0028] 本実施形態では、Massive-MIMO伝送のより好適な態様として、プリコーディングとしてデジタルプリコーディングが採用され、送信および受信ビームフォーミングとしてアナログ固定ビームフォーミングが採用され、ポストコーディングとしてデジタルポストコーディングが採用される。具体的な回路構成の例を図4および図5に非限定的に示す。図4が送信機側の等価回路を示し、図5が受信機側の等価回路を示す。

[0029] 図4のように、送信機側では、M本のストリームに対して、複数の乗算器MPおよび加算器ADを有するデジタル信号処理回路DC_Tによってデジタル的にプリコーディング（行列演算）が施された後、処理回路PC_Tによって逆フーリエ変換、ガードインターバルの挿入、DA変換、およびアップコンバートが実行され高周波送信信号が生成される。高周波送信信号は、複数の可変移相器PSおよび振幅調整器AAのいずれか一方または双方、並びに加算器ADを有するアナログ信号処理回路AC_Tによって位相および振幅に変化が付与された後（すなわち、アナログ的に送信ビームフォーミングが施された後）、N_T本の送信アンテナA_Tから送信される。

[0030] 図5のように、受信機側では、N_R本の受信アンテナA_Rにて受信された高周波受信信号に対して、複数の可変移相器PS、振幅調整器AAおよび加算器ADを有するアナログ信号処理回路AC_Rによって位相および振幅に変化が付与される（すなわち、アナログ的に受信ビームフォーミングが施される）。そして、受信ビームフォーミング後の信号に対して、処理回路PC_Rによっ

てダウンコンバート、AD変換、およびフーリエ変換が実行され、デジタル信号処理回路 DC_R によってデジタル的にポストコーディング（行列演算）が施された結果、M本のストリームが生成（再生）される。

[0031] なお、アナログ信号処理回路AC (AC_T , AC_R) は、以上のように可変移相器PSおよび振幅調整器AAによって複数のビーム候補（BFウェイト候補）のいずれかを実現する他、複数のビーム候補に相当する複数の処理回路を備え、制御スイッチによっていずれかの処理回路が選択されるように構成されてもよい。

[0032] 以上の構成は、とりわけ、伝送すべきストリーム数Mに対して送信アンテナ数 N_T が十分に多い（すなわち、 $M \ll N_T$ である）Massive-MIMO伝送方式において好適である。一般的に、送信ストリーム数 $M <$ 送信アンテナ数 N_T の場合、無線信号の送信に先立って、M個のストリーム成分を N_T 個の送信アンテナ成分に変換する N_T 行M列の行列演算が必要である。本実施形態では、前述の通り、数学的には、 L_T 行M列のプリコーディング行列

[数10]

P

および N_T 行 L_T 列の送信BFウェイト行列

[数11]

W_T

による行列演算によって、M個のストリーム成分が N_T 個の送信アンテナ成分に変換される。

[0033] 以上の構成では、送信側において、デジタル信号処理回路 DC_T によってプリコーディングのみが実行される。そのため、プリコーディングと送信ビームフォーミングとの双方をデジタル処理する構成と比較して、デジタル信号処理回路 DC_T の回路規模および演算量を削減できる上、DAコンバータ（処理回路 PC_T ）のチャンネル数も削減できる。したがって、構成の簡素化

と多数の送信アンテナ A_T の使用とが併せて実現される。受信側（ポストコーディングおよび受信ビームフォーミング）についても同様である。

[0034] 1 (2) . ウェイト行列の決定

M a s s i v e - M I M O 伝送の信号処理においては、上述した複数のウェイト行列

[数12]

$$(P, W_T, W_R, B)$$

が使用される。M a s s i v e - M I M O 伝送におけるチャネル容量 C は、これらのウェイト行列を用いて以下の数式 (2) により算定される。

[数13]

$$C = \log_2 \det(\mathbf{I} + \gamma \mathbf{B} \mathbf{W}_R \mathbf{H} \mathbf{W}_T \mathbf{P} \mathbf{P}^H \mathbf{W}_T^H \mathbf{H}^H \mathbf{W}_R^H \mathbf{B}^H) \dots (2)$$

なお、数式 (2) (変形されたシャノンの式) において、

[数14]

$$\mathbf{I}$$

は単位行列であり、 γ は受信 S N R (Signal-to-Noise Ratio) である。また、

[数15]

$$(\cdot)^H$$

は共役転置行列を示す。

[0035] 複数の候補から適切なウェイト行列を選択することにより、チャネル容量 C を増大させる (好適には、最大化させる) ことが可能である。従来技術の一例では、複数のウェイト行列について、候補ウェイト行列を1つずつ選択した組合せの全てについて試行を行うことにより、最適なウェイト行列の組合せを決定する。

[0036] より具体的には、ストリーム数が M であり、プリコーディング行列

[数16]

P

の候補数が N_P であり、送信BFウェイト行列（送信ビームパターン）

[数17]

W_T

の候補数が N_{W_T} であり、受信BFウェイト行列（受信ビームパターン）

[数18]

W_R

の候補数が N_{W_R} であり、ポストコーディング行列

[数19]

B

の候補数が N_B である場合には、 $N_P \cdot (N_{W_T})^M \cdot (N_{W_R})^M \cdot N_B$ 回の演算が必要となる。Massive-MIMO伝送方式では、従来のMIMO伝送方式と比較してアンテナ本数が多いため、候補ビームパターンの数も多い。そのため、以上の組合せ決定方式を採用すると、演算量が等比級数的に増大し、処理負荷が増大するという問題が生じる。

[0037] また、アナログビームフォーミングを採用する構成においては、チャンネル行列

[数20]

H_c

そのものを観測することができないため、実際に無線信号の送受信を行って伝送特性を測定する必要がある。

[0038] そこで、本実施形態においては、ウェイト行列の組合せを全て試行することに代えて、先に好適送信BFウェイト行列

[数21]

$$\mathbf{W}_{T,opt}$$

および好適受信BFウェイト行列

[数22]

$$\mathbf{W}_{R,opt}$$

を決定し、決定された以上のBFウェイト行列を用いて、好適プリコーディング行列

[数23]

$$\mathbf{P}_{opt}$$

および好適ポストコーディング行列

[数24]

$$\mathbf{B}_{opt}$$

を決定する（以下、送信BFウェイト行列、受信BFウェイト行列、プリコーディング行列、及びポストコーディング行列を「ウェイト行列」と総称する場合がある）。以上のように好適なウェイト行列を段階的に決定することにより、演算対象となる組合せ数を減らすことで、演算量を削減することが可能である。

[0039] Massive-MIMO伝送方式においては、受信機（ユーザ装置UE）のアンテナ数に比較して送信機（スモール基地局MMNB）のアンテナ数が多いため、より大きな送信ビームフォーミング利得を得ることが可能である。したがって、本実施形態においては、先に送信BFウェイトを決定し、その後に受信BFウェイトを決定する。

[0040] 図6は、本実施形態に係るBFウェイト決定の概説図である。第1段階では、スモール基地局MMNBにおける送信BFウェイト（送信ビーム）の候補の切替えにより、試行された送信BFウェイトの中でユーザ装置UEでの

受信電力が最も高い送信BFウェイトが選択される。ユーザ装置UEは複数の直交ビーム（受信直交BFウェイト）を生成して受信動作を実行する。

[0041] 第2段階では、ユーザ装置UEにおいて複数の直交ビーム（受信直交BFウェイト）ごとに受信電力が測定され、より高い受信電力を実現する所定個の受信BFウェイトが選択される。第2段階では、第1段階にて選択された好適送信BFウェイトに基づいてスモール基地局MMNBが送信ビームフォーミングを実行する。

[0042] 以下、本実施形態のBFウェイト決定の詳細を、図7から図12を参照しながら具体的に説明する。

[0043] 図7は、第1実施形態のスモール基地局MMNB（送信機）の主要な構成要素を示す機能ブロック図である。スモール基地局MMNBは、データ信号生成部10と参照信号生成部20とベースバンド処理部30とDA変換部40とRF処理部50とフィードバック部60とプリコーディング制御部70と送信BFウェイト制御部80と記憶部90とを備える。ベースバンド処理部30はプリコーディング部32を備え、RF処理部50はアップコンバータ部52と送信ビームフォーミング部54とを備える。N_T本の送信アンテナA_Tが、送信ビームフォーミング部54に接続される。

[0044] データ信号生成部10は、ユーザ装置UEに対する送信信号に含まれるべきデータ信号を生成する。データ信号生成部10は、複数系列のストリームとしてデータ信号を生成することが可能である。本実施形態において、データ信号生成部10はM（Mは2以上の整数）本のストリームのデータ信号を生成すると想定する。

[0045] 参照信号生成部20は、ユーザ装置UEに対する送信信号に含まれるべき参照信号を生成する。参照信号は、例えば、ユーザ装置UEにおけるチャネル推定、ユーザ装置UEとスモール基地局MMNBとの初期同期、およびユーザ装置UEにおけるスモール基地局MMNBの識別に用いられる信号である。参照信号生成部20も、複数系列（M本のストリーム）の参照信号を生成することが可能である。生成されたデータ信号および参照信号は、ベース

バンド信号としてベースバンド処理部30に入力される。

- [0046] ベースバンド処理部30は、入力されたベースバンド信号（データ信号、参照信号）を処理する要素である。ベースバンド処理部30は、M本のストリームに対して、プリコーディング行列
[数25]

P

を用いてデジタルプリコーディング（行列演算）を施すプリコーディング部32を備える。

- [0047] 通常の無線送信においては、データ信号と参照信号とを組み合わせた信号がプリコーディング部32にてプリコードされ、ベースバンド処理部30から出力される。一方、本実施形態のBFウェイト決定においては、プリコードされていない参照信号がベースバンド処理部30から出力される。
- [0048] DA変換部40は、ベースバンド処理部30から出力されたデジタル信号をアナログ信号に変換し、RF処理部50へ出力する。
- [0049] RF処理部50は、入力されたアナログ信号を処理して送信アンテナ A_T から送信する要素である。RF処理部50は、入力されたアナログ信号を無線周波数（Radio Frequency）のRF信号に周波数変換するアップコンバート部52と、周波数変換後の信号に対して、送信BFウェイト行列
[数26]

W_T

に基づいてアナログ送信ビームフォーミングを施す送信ビームフォーミング部54とを備える。送信ビームフォーミング部54から出力された高周波信号は、 N_T 本の送信アンテナ A_T から送信される。以上のアナログ送信ビームフォーミングは、送信BFウェイト行列の乗算に相当する位相および振幅の変化を、可変移相器PSおよび振幅調整器AAを用いてM本のアナログ信号に付与する処理である。換言すると、以上のアナログ送信ビームフォーミン

グにおいては、複数の送信アンテナ A_T 間（複数の送信アンテナ A_T から送信される信号間）の位相および振幅が、送信BFウェイト行列の乗算に相当するようにアナログ的に変化する。

[0050] フィードバック部60は、ユーザ装置UEと制御に関する通信を行う要素であり、特に、ユーザ装置UEからのフィードバック情報をプリコーディング制御部70および送信BFウェイト制御部80に供給する。プリコーディング制御部70は、プリコーディング部32にて用いられるプリコーディング行列の制御を行う。送信BFウェイト制御部80は、送信ビームフォーミング部54にて用いられるBFウェイトの制御を行う。記憶部90は、無線通信の制御に関する情報（例えば、プリコーディング行列、送信BFウェイト行列）を記憶する。

[0051] スモール基地局MMNBに含まれる要素のうち、デジタル的な処理を実行する要素（例えば、データ信号生成部10、参照信号生成部20、ベースバンド処理部30、フィードバック部60、プリコーディング制御部70、送信BFウェイト制御部80）は、不図示のCPU（Central Processing Unit）が、記憶部90に記憶されたコンピュータプログラムを実行し、そのコンピュータプログラムに従って機能することにより実現される機能ブロックである。

[0052] 図8は、第1実施形態のユーザ装置UE（受信機）の主要な構成要素を示す機能ブロック図である。ユーザ装置UEは、RF処理部110とAD変換部120とベースバンド処理部130と信号解析部140と演算処理部150と受信BFウェイト制御部160とポストコーディング制御部170とフィードバック部180と記憶部190とを備える。RF処理部110は受信ビームフォーミング部112とダウンコンバート部114とを備え、ベースバンド処理部130はポストコーディング部132を備える。 N_R 本の受信アンテナ A_R が、受信ビームフォーミング部112に接続される。

[0053] 送信機であるスモール基地局MMNBから送信され空間を伝搬した無線信号が、 N_R 本の受信アンテナ A_R に受信されてRF処理部110に入力される

。

[0054] RF処理部110は、複数の受信アンテナ A_R が受信した信号を処理する要素である。RF処理部110は、受信された信号に対して、受信BFウェイト行列

[数27]

$$W_R$$

に基づいてアナログ受信ビームフォーミングを施す受信ビームフォーミング部112と、入力された信号をベースバンド信号に周波数変換して出力するダウンコンバート部114とを備える。図9に示すように、受信ビームフォーミング部112は、 L_R 個の受信ビームフォーミング回路RBCを備える。受信ビームフォーミング回路RBCの各々には、 N_R 本の受信アンテナ A_R が分岐され接続される。したがって、 N_R 本の受信アンテナ A_R に受信された無線信号は、受信ビームフォーミング回路RBCの各々に入力され、受信ビームフォーミングが施される。1つの受信ビームフォーミング回路RBCが受信BFウェイト行列

[数28]

$$W_R$$

の1成分（1つの受信BFウェイトベクトル）に対応する。

[0055] 以上のアナログ受信ビームフォーミングは、受信BFウェイト行列の乗算に相当する位相および振幅の変化を、可変移相器PSおよび振幅調整器AAを用いて N_R 本のアナログ信号に付与する処理である。換言すると、以上のアナログ受信ビームフォーミングにおいては、複数の受信アンテナ A_R 間（複数の受信アンテナ A_R にて受信される信号間）の位相および振幅が、受信BFウェイト行列の乗算に相当するようにアナログ的に変化する。

[0056] AD変換部120は、RF処理部110から出力されたアナログ信号をデジタル信号に変換し、ベースバンド処理部130へ出力する。

- [0057] ベースバンド処理部130は、入力されたベースバンド信号を処理してM本のストリームを復元する要素である。ベースバンド処理部130は、AD変換部120から出力された信号に対して、ポストコーディング行列 [数29]

B

を用いてデジタルポストコーディング（行列演算）を施すポストコーディング部132を備える。以上のポストコーディングにより、M本のストリームが再生される。再生されたM本のストリームは、信号解析部140に入力されて解析される。

- [0058] 演算処理部150は、AD変換部120から出力されたデジタル信号に対して、受信電力の算定、送受信特性の推定などの演算処理を実行する。受信BFウェイト制御部160は、受信ビームフォーミング部112にて用いられるBFウェイトの制御を行う。ポストコーディング制御部170は、ポストコーディング部132にて用いられるポストコーディング行列の制御を行う。フィードバック部180は、スモール基地局MMNBと制御に関する通信を行う要素であり、特に、演算処理部150および受信BFウェイト制御部160からのフィードバック情報をスモール基地局MMNBに送信する。記憶部190は、無線通信の制御に関する情報（例えば、ポストコーディング行列、受信BFウェイト行列）を記憶する。

- [0059] ユーザ装置UEに含まれる要素のうち、デジタル的な処理を実行する要素（例えば、ベースバンド処理部130、信号解析部140、演算処理部150、受信BFウェイト制御部160、ポストコーディング制御部170、フィードバック部180）は、不図示のCPUが、記憶部190に記憶されたコンピュータプログラムを実行し、そのコンピュータプログラムに従って機能することにより実現される機能ブロックである。

- [0060] 1(4). ウェイト行列の決定

図10および図11は、本実施形態のウェイト行列決定を示す動作フロー

である。概略的には、本実施形態のウェイト行列決定によれば、第1段階（好適送信BFウェイトベクトルの決定、ステップS100～S160）と第2段階（好適受信BFウェイトベクトルの決定、ステップS200～S230）とが実行される結果、好適な（すなわち、試行された範囲においては最適な）送信BFウェイト行列

[数30]

$$\mathbf{W}_{T,opt} = [\mathbf{w}_{T,opt,1} \quad \mathbf{w}_{T,opt,2} \quad \cdots \quad \mathbf{w}_{T,opt,L_T}]$$

および受信BFウェイト行列

[数31]

$$\mathbf{W}_{R,opt} = \begin{bmatrix} \mathbf{w}_{R,opt,1}^T \\ \mathbf{w}_{R,opt,2}^T \\ \vdots \\ \mathbf{w}_{R,opt,L_R}^T \end{bmatrix}$$

が決定される。

[0061] 1 (4) - 1. 好適送信BFウェイト行列の決定

以下、BFウェイトの決定を詳細に説明する。BFウェイトの決定が開始すると、スモール基地局MMNBの送信BFウェイト制御部80が、記憶部90に記憶された複数(X個)の送信BFウェイトベクトルの候補から、候補送信BFウェイトベクトル

[数32]

$$\mathbf{w}_{T,can,l}$$

を選択する(S100)。次いで、送信BFウェイト制御部80は、選択された候補送信BFウェイトベクトルを含む N_T 行M列の候補送信BFウェイト行列

[数33]

$$\mathbf{W}_{T,\text{can},l} = [\mathbf{w}_{T,\text{can},l} \quad \mathbf{0}_{N_T} \quad \cdots \quad \mathbf{0}_{N_T}]$$

に相当する位相および振幅の変化を参照信号に付与し（すなわち、参照信号にアナログ送信ビームフォーミングを施し）、 N_T 本の送信アンテナ A_T から送信するように、送信ビームフォーミング部54を制御する（S110）。ここで、

[数34]

$$\mathbf{0}_{N_T}$$

は N_T 行1列の零ベクトルである。前述の通り、BFウェイトの決定においては、プリコーディングされていない参照信号に対して送信ビームフォーミングが施され送信される。以下では、ステップS110にて送信ビームフォーミングが施され送信される参照信号

[数35]

$$\mathbf{s}_{RS1}$$

を、第1参照信号RS1と称する場合がある。

[0062] N_R 本の受信アンテナ A_R にて受信された第1参照信号RS1に対応する N_R 行1列の受信信号ベクトル

[数36]

$$\mathbf{r}_{RS1} = \begin{bmatrix} r_{RS1,1} \\ r_{RS1,2} \\ \vdots \\ r_{RS1,N_R} \end{bmatrix} = \mathbf{H}_c \mathbf{W}_{T,\text{can},l} \mathbf{s}_{RS1} + \mathbf{z}$$

は、分岐され、受信ビームフォーミング部112が有する L_R 個の受信ビームフォーミング回路RBCにそれぞれ入力される。

[0063] ユーザ装置UEの受信BFウェイト制御部160は、受信信号ベクトルに時分割で受信ビームフォーミングを施すように、受信ビームフォーミング部

1 1 2 (L_R 個の受信ビームフォーミング回路 RBC) を制御する。 l 番目 ($l = 1 \sim L_R$) の受信ビームフォーミング回路 RBC は、以上の制御に基づき、受信直交BFウェイトベクトル

[数37]

$$\boldsymbol{\varphi}_l = \left[A_1 e^{j\phi_{l,1}} \quad A_2 e^{j\phi_{l,2}} \quad \dots \quad A_{N_R} e^{j\phi_{l,N_R}} \right]^T$$

を用いて受信信号ベクトルに対し受信ビームフォーミングを実行する。以上の式において、

[数38]

$$A_n$$

は振幅の調整量を示し、

[数39]

$$e^{j\phi_{l,n}}$$

は位相の回転量を示す。すなわち、第 n 番目の成分

[数40]

$$A_n e^{j\phi_{l,n}}$$

は、 N_R 本の受信アンテナ A_R のうち第 n 番目の受信アンテナ A_R に対応する受信信号成分

[数41]

$$r_{RS1,n}$$

に対する振幅調整量及び位相回転量を示す。本実施形態では、以上の式において、

[数42]

$$A_1 = A_2 = \dots = A_{N_R}$$

が成立する。

[0064] L_R 個の受信ビームフォーミング回路RBCが、受信BFウェイト制御部160の制御に基づいて、以上の受信ビームフォーミング動作を (N_R/L_R) 回にわたって時分割で実行することにより、 N_R 行1列の受信BF出力ベクトル

[数43]

$$\mathbf{y}_{RS1} = \begin{bmatrix} y_{RS1,1} \\ y_{RS1,2} \\ \vdots \\ y_{RS1,N_R} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{\varphi}_1^T \\ \boldsymbol{\varphi}_2^T \\ \vdots \\ \boldsymbol{\varphi}_{N_R}^T \end{bmatrix} \mathbf{r}_{RS1}$$

が生成される (S120)。すなわち、 L_R 個の受信ビームフォーミング回路RBCが、 N_R 個の直交受信ビームを時分割で生成して、第1参照信号RS1を受信する。以下において、受信BF出力ベクトルに含まれる N_R 個の行成分を、受信BF出力成分と称する。以上の式から理解されるように、1つの受信BF出力成分

[数44]

$$y_{RS1,n}$$

に対し、1つの受信直交BFウェイトベクトル

[数45]

$$\boldsymbol{\varphi}_n^T$$

が対応する。なお、以上の式において受信信号ベクトルに乗算される N_R 個の受信直交BFウェイトベクトルは互いに直交する。

[0065] 第1参照信号RS1を時分割的に受信することにより受信ビームフォーミング部112から出力された受信BF出力ベクトル

[数46]

$$\mathbf{y}_{RS1}$$

は、ダウンコンバート部114とAD変換部120とを経て演算処理部150に入力される。演算処理部150は、受信BF出力ベクトルの受信電力和
[数47]

$$P_{RS1} = \sum_{l=1}^{N_R} \|\mathbf{y}_{RS1,l}\|^2 = \sum_{l=1}^{N_R} \|\boldsymbol{\varphi}_l^T \mathbf{r}_{RS1}\|^2$$

を算定する(S130)。算定された受信電力和 P_{RS1} は、フィードバック部180を介してユーザ装置UEからスモール基地局MMNBへとフィードバックされる(S140)。

[0066] 以上のステップS100からS140によって、選択された候補送信BFウェイトベクトル

[数48]

$$\mathbf{w}_{T,can,l}$$

について、ユーザ装置UEにおける受信電力和 P_{RS1} が算定される。以上のステップは、全ての送信BFウェイトベクトルの候補が選択されるまで繰り返される。すなわち、ステップS150にて、まだ全ての送信BFウェイトベクトルの候補が選択されていないと送信BFウェイト制御部80が判定すると(S150; N0)、処理がステップS100に戻って新たな候補送信BFウェイトベクトルが選択され、その候補送信BFウェイトベクトルについて受信電力和 P_{RS1} が算定される。X個の送信BFウェイトベクトルの候補が存在する本例においては、以上のステップがX回繰り返される。

[0067] 送信BFウェイト制御部80は、ユーザ装置UEにおける受信電力和 P_{RS1} が高い順に L_T 個の候補送信BFウェイトベクトル

[数49]

$$\mathbf{w}_{T,can,1}, \mathbf{w}_{T,can,2}, \dots, \mathbf{w}_{T,can,L_T}$$

を選択して、好適送信BFウェイト行列

[数50]

$$\mathbf{W}_{T,opt} = [\mathbf{w}_{T,opt,1} \quad \mathbf{w}_{T,opt,2} \quad \cdots \quad \mathbf{w}_{T,opt,L_T}]$$

を決定する (S160)。

[0068] 1 (4) - 2. 好適受信BFウェイト行列の決定

動作フローは図11に続く。スモール基地局MMNBの送信BFウェイト制御部80は、ステップS160にて決定された好適送信BFウェイト行列

[数51]

$$\mathbf{W}_{T,opt}$$

を用いて参照信号にアナログ送信ビームフォーミングを施し、 N_T 本の送信アンテナ A_T から送信するように、送信ビームフォーミング部54を制御する (S200)。前述と同様に、プリコーディングされていない参照信号に対して送信ビームフォーミングが施され送信される。以下では、ステップS200にて送信される参照信号

[数52]

$$\mathbf{s}_{RS2}$$

を、第2参照信号RS2と称する場合がある。

[0069] N_R 本の受信アンテナ A_R にて受信された N_R 行1列の受信信号ベクトル

[数53]

$$\mathbf{r}_{RS2} = \begin{bmatrix} r_{RS2,1} \\ r_{RS2,2} \\ \vdots \\ r_{RS2,N_R} \end{bmatrix} = \mathbf{H}_c \mathbf{W}_{T,opt} \mathbf{s}_{RS2} + \mathbf{z}$$

は、分岐され、受信ビームフォーミング部112が有する L_R 個の受信ビームフォーミング回路RBCにそれぞれ入力される。

[0070] ユーザ装置UEの受信BFウェイト制御部160は、前述のステップS120

と同様に、受信信号ベクトルに時分割で受信ビームフォーミングを施すように、受信ビームフォーミング部 112 (L_R個の受信ビームフォーミング回路 RBC) を制御する。l 番目 (l = 1 ~ L_R) の受信ビームフォーミング回路 RBC は、以上の制御に基づき、受信直交 BF ウェイトベクトル

[数54]

$$\boldsymbol{\varphi}_l = \left[A_1 e^{j\phi_{l,1}} \quad A_2 e^{j\phi_{l,2}} \quad \dots \quad A_{N_R} e^{j\phi_{l,N_R}} \right]^T$$

を用いて受信信号ベクトルに対し受信ビームフォーミングを実行する。以上の式における各値の説明は前述 (項目 1 (4) - 1) と同様である。

[0071] L_R個の受信ビームフォーミング回路 RBC が、受信 BF ウェイト制御部 160 の制御に基づいて、以上の受信ビームフォーミングを (N_R/L_R) 回にわたって時分割で実行することにより、N_R行 1 列の受信 BF 出力ベクトル

[数55]

$$\mathbf{y}_{RS2} = \begin{bmatrix} y_{RS2,1} \\ y_{RS2,2} \\ \vdots \\ y_{RS2,N_R} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{\varphi}_1^T \\ \boldsymbol{\varphi}_2^T \\ \vdots \\ \boldsymbol{\varphi}_{N_R}^T \end{bmatrix} \mathbf{r}_{RS2}$$

が生成される (S210)。すなわち、L_R個の受信ビームフォーミング回路 RBC が、N_R個の直交受信ビームを時分割で生成して、第 2 参照信号 RS2 を受信する。なお、前述と同様に、以上の N_R個の受信直交 BF ウェイトベクトルは、互いに直交する。

[0072] 第 2 参照信号 RS2 を時分割的に受信することにより受信ビームフォーミング部 112 から出力された受信 BF 出力ベクトル

[数56]

$$\mathbf{y}_{RS2}$$

は、ダウンコンバート部 114 と AD 変換部 120 とを経て演算処理部 15

0に入力される。演算処理部150は、受信BF出力ベクトル
[数57]

$$\mathbf{y}_{RS2}$$

に含まれる N_R 個の受信BF出力成分について、それぞれ、受信電力
[数58]

$$\|\boldsymbol{\varphi}_1^T \mathbf{r}_{RS2}\|^2, \|\boldsymbol{\varphi}_2^T \mathbf{r}_{RS2}\|^2, \dots, \|\boldsymbol{\varphi}_{N_R}^T \mathbf{r}_{RS2}\|^2$$

を算定する (S220)。

[0073] 次いで、演算処理部150は、受信電力が高い順に L_R 個の受信BF出力成分を選択し、選択された受信BFウェイト出力成分に対応する L_R 個の受信直交BFウェイトベクトル

[数59]

$$\boldsymbol{\varphi}_{1'}^T, \boldsymbol{\varphi}_{2'}^T, \dots, \boldsymbol{\varphi}_{L_R'}^T$$

を含む好適受信BFウェイト行列

[数60]

$$\mathbf{W}_{R,opt} = \begin{bmatrix} \mathbf{w}_{R,opt,1}^T \\ \mathbf{w}_{R,opt,2}^T \\ \vdots \\ \mathbf{w}_{R,opt,L_R}^T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{\varphi}_{1'}^T \\ \boldsymbol{\varphi}_{2'}^T \\ \vdots \\ \boldsymbol{\varphi}_{L_R'}^T \end{bmatrix}$$

を決定する (S230)。

[0074] なお、好適受信BFウェイト行列内の各成分は、互いに重複しないように、すなわち、以下の式(3)

[数61]

$$\mathbf{w}_{R,opt,1} \neq \dots \neq \mathbf{w}_{R,opt,l} \neq \dots \neq \mathbf{w}_{R,opt,L_R} \dots (3)$$

を充たすように決定される。換言すると、好適受信BFウェイト行列は、それぞれ独立した L_R 個の受信直交BFウェイトベクトルを含む。

[0075] 1 (4) - 3. 好適プリコーディング行列および好適ポストコーディング行列の決定

以上のように決定された好適送信BFウェイト行列

[数62]

$$\mathbf{W}_{T,opt}$$

と好適受信BFウェイト行列

[数63]

$$\mathbf{W}_{R,opt}$$

とに基づいて、好適プリコーディング行列

[数64]

$$\mathbf{P}_{opt}$$

と好適ポストコーディング行列

[数65]

$$\mathbf{B}_{opt}$$

とが決定される。

[0076] スモール基地局MMNBの送信BFウェイト制御部80は、好適送信BFウェイト行列に基づいて参照信号にアナログ送信ビームフォーミングを施して N_T 本の送信アンテナ A_T から送信するように、送信ビームフォーミング部54を制御する(S300)。以下、ステップS300にて送信される参照信号

[数66]

$$\mathbf{S}_{RS3}$$

を、第3参照信号RS3と称する場合がある。

[0077] ユーザ装置UEの受信BFウェイト制御部160は、受信アンテナA_Rに受信された第3参照信号RS3に対して、好適受信BFウェイト行列に基づいてアナログ受信ビームフォーミングを施すように、受信ビームフォーミング部112を制御する(S310)。

[0078] 受信ビームフォーミング部112に受信された第3参照信号RS3は、ダウンコンバート部114とAD変換部120とを経て演算処理部150に入力される。演算処理部150は、入力された第3参照信号RS3を用いて、等価チャネル行列

[数67]

$$\mathbf{W}_{R,opt} \mathbf{H}_c \mathbf{W}_{T,opt}$$

を推定する(S320)。

[0079] 以上の等価チャネル行列は、送信ビームフォーミング、空間伝搬(チャネル行列)、および受信ビームフォーミングによる信号の変化を示す特性行列である。以上の等価チャネル行列の推定は、一般的なチャネル推定と同様に実行される。例えば、最小二乗法を用いた等価チャネル行列の推定が採用可能である。推定された等価チャネル行列は、フィードバック部180を介してユーザ装置UEからスモール基地局MMNBにフィードバックされる(S330)。

[0080] その後、推定された等価チャネル行列を用いて、好適プリコーディング行列および好適ポストコーディング行列が決定される。好適プリコーディング行列はスモール基地局MMNBにて決定され(S340)、好適ポストコーディング行列はユーザ装置UEにて決定される(S350)。より具体的には以下の通りである。

[0081] 等価チャネル行列は、以下の式(4)のように特異値分解される。

[数68]

$$\mathbf{W}_{R,opt} \mathbf{H}_c \mathbf{W}_{T,opt} = \mathbf{V} \mathbf{D} \mathbf{U}^H \dots (4)$$

[0082] 以上の式（４）において、左特異行列

[数69]

$$\mathbf{V}$$

および右特異行列

[数70]

$$\mathbf{U}$$

は、いずれもM行M列のユニタリ行列であり、特異値行列

[数71]

$$\mathbf{D}$$

は等価チャネル行列

[数72]

$$\mathbf{W}_{R,opt} \mathbf{H}_c \mathbf{W}_{T,opt}$$

の特異値を対角成分として有するM行M列の対角行列である。

[0083] したがって、スモール基地局MMNBの送信BFウェイト制御部80は、

[数73]

$$\mathbf{P}_{opt} = \mathbf{U}$$

のように好適プリコーディング行列を決定し、ユーザ装置UEの受信BFウェイト制御部160は、

[数74]

$$\mathbf{B}_{opt} = \mathbf{V}^H$$

のように好適ポストコーディング行列を決定する。以上の決定の結果として、MIMO伝送路上に固有モードチャネルが形成されるため、M本のストリームを相互に分離することが可能である。

[0084] 以上のような特異値分解によるウェイト行列の他、以下に説明するように、M M S E（最小二乗誤差）規範に基づいて好適ポストコーディング行列を決定することも可能である。

[0085] 好適プリコーディング行列は、前述と同様に特異値分解によって決定される。M M S E 規範に従うと、好適ポストコーディング行列は以下の式（5）のように表される。

[数75]

$$\mathbf{B}_{\text{opt}} = (\tilde{\mathbf{H}}\mathbf{P}_{\text{opt}}(\tilde{\mathbf{H}}\mathbf{P}_{\text{opt}})^H + \gamma^{-1}\mathbf{I})^{-1}(\tilde{\mathbf{H}}\mathbf{P}_{\text{opt}})^H \dots (5)$$

式（5）において、 γ は受信S N Rであり、

[数76]

$\tilde{\mathbf{H}}$

は等価チャネル行列

[数77]

$$\mathbf{W}_{\text{R,opt}} \mathbf{H}_c \mathbf{W}_{\text{T,opt}}$$

であり、

[数78]

\mathbf{I}

はM行M列の単位行列である。

[0086] 以上のようにM M S E 規範に基づいて好適ポストコーディング行列を決定する場合には、受信S N Rを用いることにより等価チャネル行列の推定誤差を低減することができる。したがって、より精度良く好適ポストコーディング行列を決定することが可能である。

[0087] また、以上のように好適プリコーディング行列および好適ポストコーディング行列を決定する他、従来技術である、コードブックに基づくプリコーディングおよびポストコーディングが採用されてもよい。

[0088] 1 (5). 本実施形態の効果

以上の本実施形態の構成によれば、ウェイト行列が段階的に決定される。すなわち、好適送信BFウェイトと好適受信BFウェイトとが先に決定され、それらに基づいて好適プリコーディングウェイトと好適ポストコーディングウェイトとが決定される。したがって、ウェイト行列（送信BFウェイト、受信BFウェイト、プリコーディングウェイト、およびポストコーディングウェイト）の組合せを全て試行して決定する構成と比較して、演算対象となる組合せ数が抑制される。結果として、ウェイト行列決定に要する演算量が低減されつつ、好適なウェイト行列が決定される。

[0089] また、本実施形態では、好適送信BFウェイトを決定する第1段階においても、ユーザ装置UEにおいてビームフォーミングにより直交ビームを生成して参照信号を受信する。結果として、直交ビームを生成しない構成と比較して、受信ビームフォーミング利得を得ることができるから、好適送信BFウェイトをより精度良く選択することが可能である。

[0090] 2. 第2実施形態

本発明の第2実施形態を以下に説明する。以下に例示する各実施形態において、作用、機能が第1実施形態と同等である要素については、以上の説明で参照した符号を流用して各々の説明を適宜に省略する。

[0091] 2 (1). ウェイト行列の決定

図10および図12は、本実施形態のウェイト行列決定を示す動作フローである。第1段階（ステップS100～S160）と第2段階（ステップS200～S272）とが実行される結果、好適な送信BFウェイト行列

[数79]

$$\mathbf{W}_{T,opt} = [\mathbf{w}_{T,opt,1} \quad \mathbf{w}_{T,opt,2} \quad \cdots \quad \mathbf{w}_{T,opt,L_T}]$$

および受信BFウェイト行列

[数80]

$$\mathbf{W}_{R,opt} = \begin{bmatrix} \mathbf{w}_{R,opt,1}^T \\ \mathbf{w}_{R,opt,2}^T \\ \vdots \\ \mathbf{w}_{R,opt,L_R}^T \end{bmatrix}$$

が決定される。

[0092] 2 (1) - 1. 好適送信BFウェイト行列の決定

好適送信BFウェイト行列は、第1実施形態と同様に決定される（図10）。

ステップS100（候補送信BFウェイトベクトル

[数81]

$$\mathbf{w}_{T,can,l}$$

の選択）からステップS120（受信BF出力ベクトルの生成）までが実行され、 N_R 行1列の受信BF出力ベクトル

[数82]

$$\mathbf{y}_{RS1} = \begin{bmatrix} y_{RS1,1} \\ y_{RS1,2} \\ \vdots \\ y_{RS1,N_R} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{\varphi}_1^T \\ \boldsymbol{\varphi}_2^T \\ \vdots \\ \boldsymbol{\varphi}_{N_R}^T \end{bmatrix} \mathbf{r}_{RS1}$$

が生成される。

[0093] 第1参照信号RS1を時分割的に受信することにより受信ビームフォーミング部112から出力された受信BF出力ベクトル

[数83]

$$\mathbf{y}_{RS1}$$

は、演算処理部150に入力される。演算処理部150は、受信BF出力ベクトルの受信電力和

[数84]

$$P_{RS1} = \sum_{l=1}^{N_R} \|y_{RS1,l}\|^2 = \sum_{l=1}^{N_R} \|\boldsymbol{\varphi}_l^T \mathbf{r}_{RS1}\|^2$$

を算定し (S130)、フィードバック部180を介してスモール基地局MMNBへフィードバックする (S140)。以上のステップS100からS140までが、全ての (X個の) 送信BFウェイトベクトルの候補について実行される (S100~S150)。

[0094] スモール基地局MMNBの送信BFウェイト制御部80は、ユーザ装置UEにおける受信電力和 P_{RS1} が大きい順に L_T 個の候補送信BFウェイトベクトル

[数85]

$$\mathbf{w}_{T,\text{can},1}, \mathbf{w}_{T,\text{can},2}, \dots, \mathbf{w}_{T,\text{can},L_T}$$

を選択して、好適送信BFウェイト行列

[数86]

$$\mathbf{w}_{T,\text{opt}} = [\mathbf{w}_{T,\text{opt},1} \quad \mathbf{w}_{T,\text{opt},2} \quad \dots \quad \mathbf{w}_{T,\text{opt},L_T}]$$

を決定する (S160)。

[0095] 2 (1) - 2. 好適受信BFウェイト行列の決定

ステップS200 (第2参照信号の送信) およびステップS210 (受信BF出力ベクトルの生成) が第1実施形態と同様に実行され、 N_R 行1列の受信BF出力ベクトル

[数87]

$$\mathbf{y}_{RS2} = \begin{bmatrix} y_{RS2,1} \\ y_{RS2,2} \\ \vdots \\ y_{RS2,N_R} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{\varphi}_1^T \\ \boldsymbol{\varphi}_2^T \\ \vdots \\ \boldsymbol{\varphi}_{N_R}^T \end{bmatrix} \mathbf{r}_{RS2}$$

が生成されて演算処理部150に入力される。以上の受信BF出力ベクトルは、以下のように表される。

[数88]

$$\mathbf{y}_{RS2} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{\varphi}_1^T \\ \boldsymbol{\varphi}_2^T \\ \vdots \\ \boldsymbol{\varphi}_{N_R}^T \end{bmatrix} \mathbf{r}_{RS2} = [\boldsymbol{\Psi}_1 \quad \boldsymbol{\Psi}_2 \quad \cdots \quad \boldsymbol{\Psi}_{N_R}] \mathbf{r}_{RS2}$$

[0096] 以上の式において、

[数89]

$$\boldsymbol{\Psi}_{n_R}$$

は、 N_R 個の受信直交BFウェイトベクトル

[数90]

$$\boldsymbol{\varphi}_1^T, \boldsymbol{\varphi}_2^T, \cdots, \boldsymbol{\varphi}_{N_R}^T$$

の各々に含まれる、第 n_R 番目 ($1 \leq n_R \leq N_R$) の受信アンテナ A_R に対応する成分

[数91]

$$A_{n_R} e^{j\phi_{1,n_R}}, A_{n_R} e^{j\phi_{2,n_R}}, \cdots, A_{n_R} e^{j\phi_{N_R,n_R}}$$

を含む N_R 行1列の縦ベクトルである。

[0097] 演算処理部150は、受信直交BFウェイトベクトル

[数92]

$$\mathbf{y}_{RS2} = [\Psi_1 \quad \Psi_2 \quad \cdots \quad \Psi_{N_R}] \mathbf{r}_{RS2}$$

に対して、第 n_R 番目の受信アンテナ A_R に対応する分離演算子

[数93]

$$\omega_{n_R}^T$$

を左から乗算する（すなわち、分離演算を実行する）ことにより、第 n_R 番目の受信アンテナ A_R における受信信号を分離することが可能である。分離演算は、以下の式で表現される。

[数94]

$$r_{RS2, n_R} = \omega_{n_R}^T [\Psi_1 \quad \Psi_2 \quad \cdots \quad \Psi_{N_R}] \mathbf{r}_{RS2}$$

$$\text{ただし } \omega_k^T \Psi_l = \begin{cases} 1 & (k = l) \\ 0 & (k \neq l) \end{cases}$$

[0098] なお、以上の分離演算子は、以下のように設定される。

[数95]

$$\omega_{n_R} = \Psi_{n_R}^*$$

ここで、

[数96]

$$(\cdot)^*$$

は共役行列を示す。

[0099] より具体的には、例えば、

[数97]

$$\Psi_{n_R} = \frac{1}{\sqrt{N_R}} \left[e^{-j \frac{2\pi}{N_R} \cdot 1 \cdot n_R} \quad e^{-j \frac{2\pi}{N_R} \cdot 2 \cdot n_R} \quad \cdots \quad e^{-j \frac{2\pi}{N_R} \cdot N_R \cdot n_R} \right]^T$$

であるときは、以下のように分離演算子が設定される。

[数98]

$$\boldsymbol{\omega}_{n_R} = \boldsymbol{\Psi}_{n_R}^* = \frac{1}{\sqrt{N_R}} \left[e^{j\frac{2\pi}{N_R} \cdot 1 \cdot n_R} \quad e^{j\frac{2\pi}{N_R} \cdot 2 \cdot n_R} \quad \dots \quad e^{j\frac{2\pi}{N_R} \cdot N_R \cdot n_R} \right]^T$$

[0100] 演算処理部150が、以上の分離演算を N_R 本の受信アンテナ A_R の全てについて実行することにより、 N_R 行 1 列の受信BF出力ベクトル

[数99]

$$\mathbf{y}_{RS2}$$

から、 N_R 行 1 列の受信信号ベクトル

[数100]

$$\mathbf{r}_{RS2} = \begin{bmatrix} r_{RS2,1} \\ r_{RS2,2} \\ \vdots \\ r_{RS2,N_R} \end{bmatrix} = \mathbf{H}_c \mathbf{W}_{T,opt} \mathbf{s}_{RS2} + \mathbf{z}$$

が取得される (S222)。

[0101] 演算処理部150は、取得された受信信号ベクトル

[数101]

$$\mathbf{r}_{RS2}$$

を用いて、チャンネル行列

[数102]

$$\mathbf{H}_c \mathbf{W}_{T,opt}$$

を推定する (S232)。

[0102] 以上のチャンネル行列は、送信ビームフォーミングおよび空間伝搬による信号の変化を示す特性行列である。以上のチャンネル行列の推定は、一般的なチャンネル推定と同様に実行される。例えば、最小二乗法を用いたチャンネル行列

の推定が採用可能である。

[0103] 演算処理部 150 は、記憶部 190 に記憶された複数 (Y 個 (Y ≥ M (ストリーム数))) の受信 BF ウェイトベクトルの候補から、候補受信 BF ウェイトベクトル

[数103]

$$\mathbf{W}_{R,can,l}$$

を選択する (S242)。任意のベクトルが受信 BF ウェイトベクトルの候補として採用され得る。例えば、複数のステアリングベクトルが受信 BF ウェイトベクトルの候補として採用されてもよい。

[0104] 次に、演算処理部 150 は、推定されたチャネル行列

[数104]

$$\mathbf{H}_c \mathbf{W}_{T,opt}$$

を用いて、選択された候補受信 BF ウェイトベクトルの受信電力 F (フロベニウスノルム)

[数105]

$$\left\| \mathbf{w}_{R,can,l}^T \mathbf{H}_c \mathbf{W}_{T,opt} \right\|_F^2$$

を算定する (S252)。

[0105] 以上のステップは、全ての受信 BF ウェイトベクトルの候補が選択されるまで繰り返される。すなわち、ステップ S262 にて、まだ全ての受信 BF ウェイトベクトルの候補が選択されていないと演算処理部 150 が判定すると (S262 : N0)、処理がステップ S242 に戻って新たな候補受信 BF ウェイトベクトルが選択され、受信電力 F が算定される。Y 個の受信 BF ウェイトベクトルの候補が存在する本例においては、以上のステップが Y 回繰り返される。

[0106] 演算処理部 150 は、ユーザ装置 UE における受信電力 F が高い順に L_R 個の候補受信ウェイトベクトル

[数106]

$$\mathbf{w}_{R,\text{can},1'}^T, \mathbf{w}_{R,\text{can},2'}^T, \dots, \mathbf{w}_{R,\text{can},L_R'}^T$$

を選択して、好適受信BFウェイト行列

[数107]

$$\mathbf{W}_{R,\text{opt}} = \begin{bmatrix} \mathbf{w}_{R,\text{opt},1}^T \\ \mathbf{w}_{R,\text{opt},2}^T \\ \vdots \\ \mathbf{w}_{R,\text{opt},L_R}^T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{w}_{R,\text{can},1'}^T \\ \mathbf{w}_{R,\text{can},2'}^T \\ \vdots \\ \mathbf{w}_{R,\text{can},L_R'}^T \end{bmatrix}$$

を決定する (S272)。

[0107] なお、好適受信BFウェイト行列内の各成分は、互いに重複しないように、すなわち、以下の式 (6)

[数108]

$$\mathbf{w}_{R,\text{opt},1} \neq \dots \neq \mathbf{w}_{R,\text{opt},l} \neq \dots \neq \mathbf{w}_{R,\text{opt},L_R} \dots (6)$$

を充たすように決定される。

[0108] 2 (1) - 3. 好適プリコーディング行列および好適ポストコーディング行列の決定

以上のように決定された好適送信BFウェイト行列

[数109]

$$\mathbf{W}_{T,\text{opt}}$$

と好適受信BFウェイト行列

[数110]

$$\mathbf{W}_{R,\text{opt}}$$

とに基づいて、好適プリコーディング行列

[数111]

$$\mathbf{P}_{\text{opt}}$$

と好適ポストコーディング行列

[数112]

$$\mathbf{B}_{\text{opt}}$$

とが、第1実施形態と同様に決定される (S300~S350)。

[0109] 2 (2) . 本実施形態の効果

以上の本実施形態の構成によれば、第1実施形態と同様の技術的效果が奏される。さらに、受信BFウェイトベクトルの候補が任意に採用され得るので、より柔軟に好適受信BFウェイト行列を設定することが可能である。

[0110] 3. 変形例

以上の実施形態は多様に変形される。具体的な変形の態様を以下に例示する。以上の実施の形態および以下の例示から任意に選択された2以上の態様は、相互に矛盾しない限り適宜に併合され得る。

[0111] 3 (1) . 変形例1

以上の実施形態では、 L_R 個の受信ビームフォーミング回路RBCが、受信ビームフォーミングを (N_R/L_R) 回にわたって時分割で実行することにより、 N_R 行1列の受信BF出力ベクトルを生成する (ステップS120, S210)。本変形例では、以上のステップの各々において、1回の時分割処理ごとに、 L_R 個の受信直交BFウェイトベクトルに対してK個の位相オフセット $\delta_{1, 2, \dots}$ の各々が加えられることにより、受信BF出力ベクトルの要素となる L_R 個の受信BF出力成分が位相オフセット $\delta_{1, 2, \dots}$ ごとに取得される。以上の時分割処理が (N_R/L_R) 回にわたって繰り返されることにより、位相オフセット $\delta_{1, 2, \dots}$ の各々に対応するK個の N_R 行1列の受信BF出力ベクトルが生成される。

[0112] 位相オフセット δ_k に対応する受信直交BFウェイトベクトルは、以下の式で表される。

[数113]

$$\boldsymbol{\varphi}_{l\delta_k} = \left[A_1 e^{j\phi_{l,1}} \quad A_2 e^{j\phi_{l,2} + j\frac{2\pi}{\lambda} 1 \cdot d \sin \delta} \quad \dots \quad A_{N_R} e^{j\phi_{l,N_R} + j\frac{2\pi}{\lambda} (N_R - 1) \cdot d \sin \delta} \right]^T$$

なお、位相オフセット δ の個数 K および差分 ($\delta_{(k+1)} - \delta_k$) は任意に定められる。

[0113] ステップS130では、 K 個の受信BF出力ベクトルの各々について受信電力和 P_{RS1} が算定される。そして、ステップS140で、最も高い受信電力和 P_{RS1} がスモール基地局MMNBへフィードバックされる。

[0114] ステップS220では、 K 個の受信BF出力ベクトルの各々に含まれる N_R 個の（すなわち、合計 ($K \times N_R$) 個の) 受信BF出力成分について、それぞれ受信電力が算定される。そして、ステップS230で、受信電力が高い順に L_R 個の受信BF出力成分が選択され、前述の通りに好適受信BFウェイト行列が決定される。

[0115] 以上の本変形例の構成によれば、 L_R 個の受信直交BFウェイト（直交受信ビーム）に位相オフセット δ を加えて走査を行うので、受信電力がより高い方向（ビーム角度）を検出することが可能である。

[0116] 3 (2) . 変形例2

第2実施形態では、演算処理部150が分離演算を実行することにより、 N_R 行1列の受信BF出力ベクトル

[数114]

$$\mathbf{Y}_{RS1}, \mathbf{Y}_{RS2}$$

から N_R 行1列の受信信号ベクトル

[数115]

$$\mathbf{r}_{RS1} = \begin{bmatrix} r_{RS1,1} \\ r_{RS1,2} \\ \vdots \\ r_{RS1,N_R} \end{bmatrix}, \mathbf{r}_{RS2} = \begin{bmatrix} r_{RS2,1} \\ r_{RS2,2} \\ \vdots \\ r_{RS2,N_R} \end{bmatrix}$$

が取得される。以上の構成に代えて、受信ビームフォーミング回路RBCが受信アンテナA_Rからの入力をバイパスすることにより、受信信号ベクトルが取得されてもよい。具体的には以下の通りである。

[0117] 図13は、本変形例の受信ビームフォーミング回路RBCの詳細構成を示す図である。本変形例において、受信ビームフォーミング部112に含まれる各受信ビームフォーミング回路RBCは、受信BFウェイト制御部160の制御に基づいて、受信アンテナA_RからのN_R本の入力の1つ（すなわち、N_R行1列の受信信号ベクトルの要素の1つ）を選択するバイパス回路を備える。

[0118] 受信ビームフォーミング部112に含まれるL_R個の受信ビームフォーミング回路RBCが、L_R本の受信アンテナA_Rに対応する受信信号ベクトルの要素を取得するバイパス受信動作を実行する。以上のバイパス受信動作が(N_R/L_R)回にわたって時分割で実行されることにより、N_R本の受信アンテナA_Rに対応する受信信号ベクトルの要素を含むN_R行1列の受信信号ベクトル

[数116]

$$\mathbf{r}_{RS1} = \begin{bmatrix} r_{RS1,1} \\ r_{RS1,2} \\ \vdots \\ r_{RS1,N_R} \end{bmatrix}, \mathbf{r}_{RS2} = \begin{bmatrix} r_{RS2,1} \\ r_{RS2,2} \\ \vdots \\ r_{RS2,N_R} \end{bmatrix}$$

が直接的に（すなわち、分離演算を実行せずに）取得される。以上の本変形例の受信動作は、第2実施形態のステップS210～S222に代えて実行される。他の動作は第2実施形態と同様に実行される。

[0119] 3 (3) . 変形例 3

スモール基地局MMNBの送信ビームフォーミング部54は、 N_T 本の送信アンテナ A_T を全て用いて1つの送信ビームが生成されるフルアレー型構成であってもよいし、ブロック化された(N_T/L_T)本の送信アンテナ A_T を用いて1つの送信ビームが生成されるサブアレー型構成であってもよい。同様に、ユーザ装置UEの受信ビームフォーミング部112は、 N_R 本の受信アンテナ A_R を全て用いて1つの受信ビームが生成されるフルアレー型構成であってもよいし、ブロック化された(N_R/L_R)本の送信アンテナ A_R を用いて1つの受信ビームが生成されるサブアレー型構成であってもよい。

[0120] サブアレー型構成を採用することにより、アナログ回路(可変移相器PS, 加算器ADなど)の規模を小さくすることが可能である。結果として、アナログ回路による損失が低減されると共に、装置の製造コストが低減される。

[0121] 3 (4) . 変形例 4

以上の実施形態において、スモール基地局MMNBとユーザ装置UEとの制御情報(フィードバック情報など)の通信は、任意のルートにて実行され得る。例えば、スモール基地局MMNBとユーザ装置UEとの間に無線リンクが確立されている場合には、無線信号を直接的に送受信することで制御情報を交換してもよい。また、以上の無線リンクが確立されていない場合には、マクロ基地局MeNB経由でスモール基地局MMNBとユーザ装置UEとが制御情報を送受信してもよい。

[0122] 3 (5) . 変形例 5

以上の実施形態における構成を、マルチユーザ環境に適用することが可能である。本変形例においては、マルチユーザ間の多重を実現するために、ブロック対角化に基づくプリコーディングを行うことによりユーザ間の干渉を抑制すると好適である。

[0123] 3 (6) . 変形例 6

以上の実施形態において、送信ストリーム数を適応的に制御するランクア

ダプテーションを適用することが可能である。例えば、スモール基地局MMNBとユーザ装置UEとの間で最大M本のストリームを伝送できる場合において、好適送信BFウェイト行列及び好適受信BFウェイト行列をM本のストリーム全てについて決定しておくことで、チャンネル容量Cを最大化させる送信ストリーム数を決定することが可能である。

[0124] 3 (7) . 変形例7

以上の実施形態においては、送信機としてスモール基地局MMNBが例示され、受信機としてユーザ装置UEが例示される。しかしながら、前述のウェイト行列決定において、ユーザ装置UEが送信側の装置として機能し、スモール基地局MMNBが受信側の装置として機能してもよい。すなわち、上りリンク伝送に関しても前述のウェイト行列決定が適用され得る。

[0125] 3 (8) . 変形例8

以上の実施形態においては、下りリンク伝送について好適BFウェイト行列が決定される。無線通信システム1に時分割複信 (Time Division Duplex, TDD) が採用される場合には、上りリンクと下りリンクとで共通の周波数が用いられるので、下りリンク伝送について決定された好適BFウェイト行列を、上りリンク伝送にも使用することが可能である。他方、無線通信システム1に周波数分割複信 (Frequency Division Duplex, FDD) が採用される場合には、下りリンク伝送について好適BFウェイト行列を決定した後に、上りリンク伝送についても前述の実施形態と同様に好適BFウェイト行列を決定する。ビームフォーミング利得をして、送信側のアンテナ数が多い方 (すなわち、下りリンク伝送) から好適BFウェイト行列を決定すると好適である。

[0126] 3 (9) . 変形例9

以上の実施形態では、送信側 (スモール基地局MMNB) にて好適送信BFウェイト (ベクトル、行列) が決定され、受信側 (ユーザ装置UE) にて好適受信BFウェイト (ベクトル、行列) が決定される。しかしながら、無線通信システム1内の任意の箇所でウェイト決定が実行され得る。例えば、

送信側で好適受信BFウェイトが決定されてもよいし、受信側で好適送信BFウェイトが決定されてもよい。

[0127] また、以上の実施形態では、送信側（スモール基地局MMNB）が好適プリコーディング行列を決定し、受信側（ユーザ装置UE）が好適ポストコーディング行列を決定する。しかしながら、送信側又は受信側のいずれか一方において、好適プリコーディング行列および好適ポストコーディング行列が決定されてもよい。

[0128] 3（10）． 変形例10

受信ビームフォーミング回路RBCの個数 L_R は、受信アンテナ A_R の本数 N_R の約数であると好適である。もし、時分割処理の回数（ N_R/L_R ）が割り切れない場合は、 N_R/L_R の小数点以下を切り上げた回数だけ時分割処理を実行すればよい。

[0129] 3（11）． 変形例11

ユーザ装置UEは、ネットワーク内の基地局（マクロ基地局MeNB、スモール基地局MMNB）と無線通信が可能な任意の装置である。ユーザ装置UEは、例えば、フィーチャーフォンまたはスマートフォン等の携帯電話端末でもよく、タブレット端末でもよく、デスクトップ型パーソナルコンピュータでもよく、ノート型パーソナルコンピュータでもよく、UMPC（Ultra-Mobile Personal Computer）でもよく、携帯用ゲーム機でもよく、その他の無線端末でもよい。

[0130] 3（12）． 変形例12

無線通信システム1内の各要素（ユーザ装置UEおよびスモール基地局MMNB）においてCPUが実行する各機能は、CPUの代わりに、ハードウェアで実行してもよいし、例えばFPGA（Field Programmable Gate Array）、DSP（Digital Signal Processor）等のプログラマブルロジックデバイスで実行してもよい。

符号の説明

[0131] 1……無線通信システム、10……データ信号生成部、20……参照信号

生成部、30……ベースバンド処理部、32……プリコーディング部、40……DA変換部、50……RF処理部、52……アップコンバート部、54……送信ビームフォーミング部、60……フィードバック部、70……プリコーディング制御部、80……送信BFウェイト制御部、90……記憶部、110……RF処理部、112……受信ビームフォーミング部、114……ダウンコンバート部、120……AD変換部、130……ベースバンド処理部、132……ポストコーディング部、140……信号解析部、150……演算処理部、160……受信BFウェイト制御部、170……ポストコーディング制御部、180……フィードバック部、190……記憶部、AA……振幅調整器、AC (AC_R, AC_T)……アナログ信号処理回路、AD……加算器、A_R……受信アンテナ、A_T……送信アンテナ、C……チャネル容量、C_m……マクロセル、C_{mm}……Massive-MIMOセル、DC_R……デジタル信号処理回路、DC_T……デジタル信号処理回路、MME……中央制御局、MMNB……スモール基地局、MP……乗算器、MeNB……マクロ基地局、PC_R……処理回路、PC_T……処理回路、P_{RS1}……受信電力、PS……可変移相器、RBC……受信ビームフォーミング回路、UE……ユーザ装置。

請求の範囲

[請求項1]

プリコーディング行列を用いてプリコーディングを施すプリコーディング部と、

前記プリコーディングが施された後の信号に対して、送信BF（ビームフォーミング）ウェイト行列に相当する位相および振幅の変化を付与する送信ビームフォーミングを施す送信ビームフォーミング部と、

前記送信ビームフォーミングが施された信号を送信する N_T 本の送信アンテナと

を備える送信機と、

前記送信機から送信され空間を伝搬した信号を受信する N_R 本の受信アンテナと、

複数の前記受信アンテナが受信した前記信号に対して、受信BFウェイト行列に相当する位相および振幅の変化を付与する受信ビームフォーミングを施す受信ビームフォーミング部と、

前記アナログ受信ビームフォーミングが施された後の信号に対して、ポストコーディング行列を用いてポストコーディングを施すポストコーディング部と

を備える受信機とを備える無線通信システムにおける無線通信制御方法であって、

N_R 本の前記受信アンテナにて受信された受信信号ベクトルに対し、前記受信ビームフォーミング部が備える L_R 個の受信ビームフォーミング回路が、受信ビームフォーミングを (N_R/L_R) 回にわたって実行することにより、 N_R 個の受信BF出力成分を有する受信BF出力ベクトルを生成することと、

N_R 個の前記受信BF出力成分の各々について受信電力を算定することと、

受信電力が高い順に L_R 個の前記受信BF出力成分を選択し、選択

された当該受信BF出力成分に対応する L_R 個の受信直交BFウェイトベクトルを含む好適受信BFウェイト行列を決定することを備える

無線通信制御方法。

[請求項2]

プリコーディング行列を用いてプリコーディングを施すプリコーディング部と、

前記プリコーディングが施された後の信号に対して、送信BFウェイト行列に相当する位相および振幅の変化を付与する送信ビームフォーミングを施す送信ビームフォーミング部と、

前記送信ビームフォーミングが施された信号を送信する N_T 本の送信アンテナと

を備える送信機と、

前記送信機から送信され空間を伝搬した信号を受信する N_R 本の受信アンテナと、

複数の前記受信アンテナが受信した前記信号に対して、受信BFウェイト行列に相当する位相および振幅の変化を付与する受信ビームフォーミングを施す受信ビームフォーミング部と、

前記アナログ受信ビームフォーミングが施された後の信号に対して、ポストコーディング行列を用いてポストコーディングを施すポストコーディング部と

を備える受信機とを備える無線通信システムにおける無線通信制御方法であって、

N_R 本の前記受信アンテナにて受信された受信信号ベクトルに対し、前記受信ビームフォーミング部が備える L_R 個の受信ビームフォーミング回路が、受信ビームフォーミングを (N_R/L_R) 回にわたって実行することにより、 N_R 個の受信BF出力成分を有する受信BF出力ベクトルを生成することと、

前記受信BF出力ベクトルに対して、 N_R 本の前記受信アンテナに

対応する N_R 個の分離演算子をそれぞれ乗算することにより、前記受信信号ベクトルを取得することと、

前記受信信号ベクトルを用いてチャネル行列を推定することと、

推定された前記チャネル行列を用いて、複数の受信BFウェイトベクトルの候補の各々について受信電力を算定することと、

受信電力が高い順に L_R 個の前記受信BFウェイトベクトルの候補を選択し、選択された L_R 個の前記受信BFウェイトベクトルの候補を含む好適受信BFウェイト行列を決定することとを備える

無線通信制御方法。

[請求項3]

プリコーディング行列を用いてプリコーディングを施すプリコーディング部と、

前記プリコーディングが施された後の信号に対して、送信BFウェイト行列に相当する位相および振幅の変化を付与する送信ビームフォーミングを施す送信ビームフォーミング部と、

前記送信ビームフォーミングが施された信号を送信する N_T 本の送信アンテナと

を備える送信機と、

前記送信機から送信され空間を伝搬した信号を受信する N_R 本の受信アンテナと、

複数の前記受信アンテナが受信した前記信号に対して、受信BFウェイト行列に相当する位相および振幅の変化を付与する受信ビームフォーミングを施す受信ビームフォーミング部と、

前記アナログ受信ビームフォーミングが施された後の信号に対して、ポストコーディング行列を用いてポストコーディングを施すポストコーディング部と

を備える受信機とを備える無線通信システムにおける無線通信制御方法であって、

N_R 本の前記受信アンテナにて受信された受信信号ベクトルに対し

、前記受信ビームフォーミング部が備える L_R 個の受信ビームフォーミング回路の各々が、前記受信信号ベクトルの要素の1つを選択して取得するバイパス受信動作を (N_R/L_R) 回にわたって実行することにより、前記受信信号ベクトルを取得することと、

前記受信信号ベクトルを用いてチャネル行列を推定することと、

推定された前記チャネル行列を用いて、複数の受信BFウェイトベクトルの候補の各々について受信電力を算定することと、

受信電力が高い順に L_R 個の前記受信BFウェイトベクトルの候補を選択し、選択された L_R 個の前記受信BFウェイトベクトルの候補を含む好適受信BFウェイト行列を決定することとを備える

無線通信制御方法。

[請求項4]

前記好適受信BFウェイト行列を決定することに先立ち、

複数の送信BFウェイトベクトルの候補から、候補送信BFウェイトベクトルを選択することと、

選択された前記候補送信BFウェイトベクトルを含む候補送信BFウェイト行列に基づいてアナログ送信ビームフォーミングが施された参照信号を、 N_T 本の前記送信アンテナから送信することと、

N_R 本の前記受信アンテナにて受信された前記参照信号に対応する受信信号ベクトルに対し、 L_R 個の前記受信ビームフォーミング回路が、受信ビームフォーミングを (N_R/L_R) 回にわたって実行することにより、 N_R 個の受信BF出力成分を有する受信BF出力ベクトルを生成することと、

前記受信BF出力ベクトルの受信電力和を算定することと、

前記選択すること、前記送信すること、前記生成すること、および前記算定することを複数の前記送信BFウェイトベクトルの候補について実行することにより複数の受信電力和を取得することと、

受信電力和が高い順に L_T 個の前記送信BFウェイトベクトルの候補を選択し、選択された L_T 個の前記送信BFウェイトベクトルの候

補を含む好適送信BFウェイト行列を決定することとをさらに備える
請求項1から3のいずれかの無線通信制御方法。

[請求項5]

前記好適送信BFウェイト行列に基づいてアナログ送信ビームフォーミングが施された参照信号を前記送信機から送信することと、

前記受信機にて受信された前記参照信号に対して、前記好適受信BFウェイト行列に基づいてアナログ受信ビームフォーミングを施した結果を示す等価チャネル行列を推定することと、

推定された前記等価チャネル行列に基づいて、好適プリコーディング行列および好適ポストコーディング行列を決定することとをさらに備える

請求項4の無線通信制御方法。

[請求項6]

プリコーディング行列を用いてプリコーディングを施すプリコーディング部と、

前記プリコーディングが施された後の信号に対して、送信BF（ビームフォーミング）ウェイト行列に相当する位相および振幅の変化を付与する送信ビームフォーミングを施す送信ビームフォーミング部と、

前記送信ビームフォーミングが施された信号を送信する N_T 本の送信アンテナと

を備える送信機と、

前記送信機から送信され空間を伝搬した信号を受信する N_R 本の受信アンテナと、

複数の前記受信アンテナが受信した前記信号に対して、受信BFウェイト行列に相当する位相および振幅の変化を付与する受信ビームフォーミングを施す受信ビームフォーミング部と、

前記アナログ受信ビームフォーミングが施された後の信号に対して、ポストコーディング行列を用いてポストコーディングを施すポストコーディング部と

を備える受信機とを備え、

前記受信ビームフォーミング部は、

N_R 本の前記受信アンテナにて受信された受信信号ベクトルに対し、前記受信ビームフォーミング部が備える L_R 個の受信ビームフォーミング回路が、受信ビームフォーミングを (N_R/L_R) 回にわたって実行することにより、 N_R 個の受信BF出力成分を有する受信BF出力ベクトルを生成し、

前記受信機は、

N_R 個の前記受信BF出力成分の各々について受信電力を算定し、受信電力が高い順に L_R 個の前記受信BF出力成分を選択し、選択された当該受信BF出力成分に対応する L_R 個の受信直交BFウェイトベクトルを含む好適受信BFウェイト行列を決定する演算処理部をさらに備える

無線通信システム。

[請求項7]

プリコーディング行列を用いてプリコーディングを施すプリコーディング部と、

前記プリコーディングが施された後の信号に対して、送信BFウェイト行列に相当する位相および振幅の変化を付与する送信ビームフォーミングを施す送信ビームフォーミング部と、

前記送信ビームフォーミングが施された信号を送信する N_T 本の送信アンテナと

を備える送信機と、

前記送信機から送信され空間を伝搬した信号を受信する N_R 本の受信アンテナと、

複数の前記受信アンテナが受信した前記信号に対して、受信BFウェイト行列に相当する位相および振幅の変化を付与する受信ビームフォーミングを施す受信ビームフォーミング部と、

前記アナログ受信ビームフォーミングが施された後の信号に対し

て、ポストコーディング行列を用いてポストコーディングを施すポストコーディング部と

を備える受信機とを備え、

前記受信ビームフォーミング部は、

N_R 本の前記受信アンテナにて受信された受信信号ベクトルに対し、前記受信ビームフォーミング部が備える L_R 個の受信ビームフォーミング回路が、受信ビームフォーミングを (N_R/L_R) 回にわたって実行することにより、 N_R 個の受信BF出力成分を有する受信BF出力ベクトルを生成し、

前記受信機は、

前記受信BF出力ベクトルに対して、 N_R 本の前記受信アンテナに対応する N_R 個の分離演算子をそれぞれ乗算することにより、前記受信信号ベクトルを取得し、

前記受信信号ベクトルを用いてチャネル行列を推定し、

推定された前記チャネル行列を用いて、複数の受信BFウェイトベクトルの候補の各々について受信電力を算定し、

受信電力が高い順に L_R 個の前記受信BFウェイトベクトルの候補を選択し、選択された L_R 個の前記受信BFウェイトベクトルの候補を含む好適受信BFウェイト行列を決定する演算処理部をさらに備える

無線通信システム。

[請求項8]

プリコーディング行列を用いてプリコーディングを施すプリコーディング部と、

前記プリコーディングが施された後の信号に対して、送信BFウェイト行列に相当する位相および振幅の変化を付与する送信ビームフォーミングを施す送信ビームフォーミング部と、

前記送信ビームフォーミングが施された信号を送信する N_T 本の送信アンテナと

を備える送信機と、

前記送信機から送信され空間を伝搬した信号を受信する N_R 本の受信アンテナと、

複数の前記受信アンテナが受信した前記信号に対して、受信 B F ウェイト行列に相当する位相および振幅の変化を付与する受信ビームフォーミングを施す受信ビームフォーミング部と、

前記アナログ受信ビームフォーミングが施された後の信号に対して、ポストコーディング行列を用いてポストコーディングを施すポストコーディング部と

を備える受信機とを備え、

前記受信ビームフォーミング部が備える L_R 個の受信ビームフォーミング回路の各々は、

N_R 本の前記受信アンテナにて受信された受信信号ベクトルに対し、前記受信信号ベクトルの要素の 1 つを選択して取得するバイパス受信動作を (N_R / L_R) 回にわたって実行することにより、前記受信信号ベクトルを取得し、

前記受信機は、

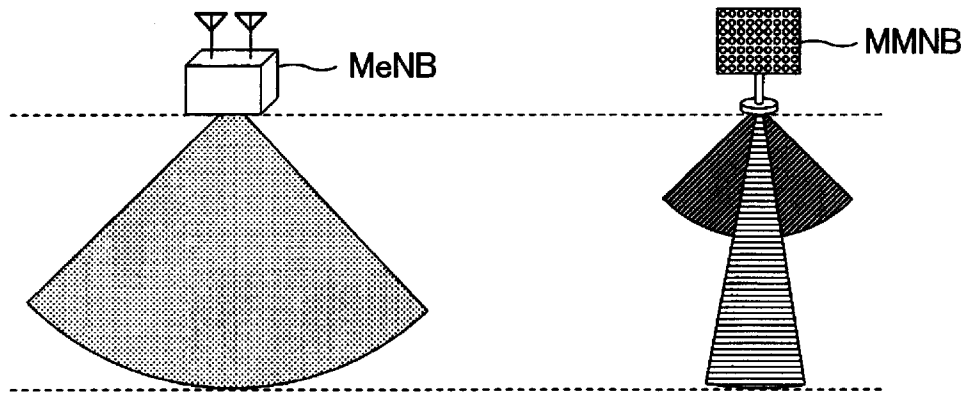
前記受信信号ベクトルを用いてチャネル行列を推定し、

推定された前記チャネル行列を用いて、複数の受信 B F ウェイトベクトルの候補の各々について受信電力を算定し、

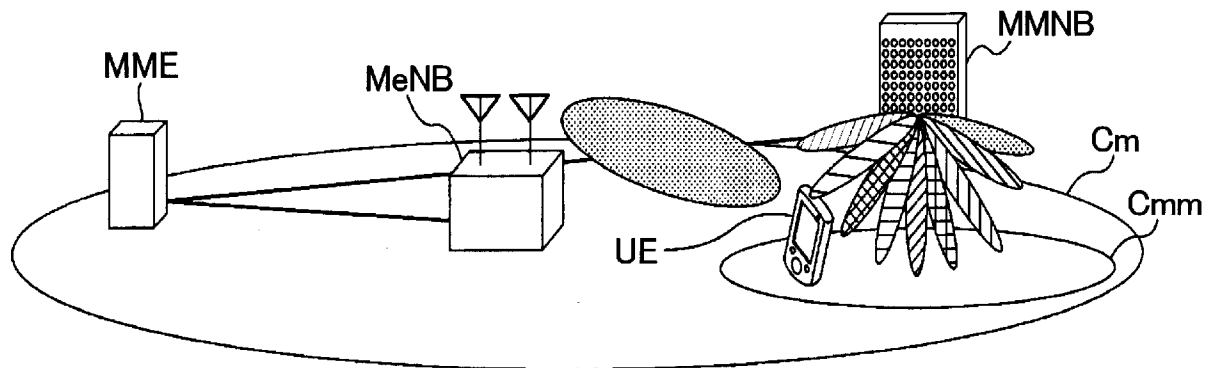
受信電力が高い順に L_R 個の前記受信 B F ウェイトベクトルの候補を選択し、選択された L_R 個の前記受信 B F ウェイトベクトルの候補を含む好適受信 B F ウェイト行列を決定する演算処理部をさらに備える

無線通信システム。

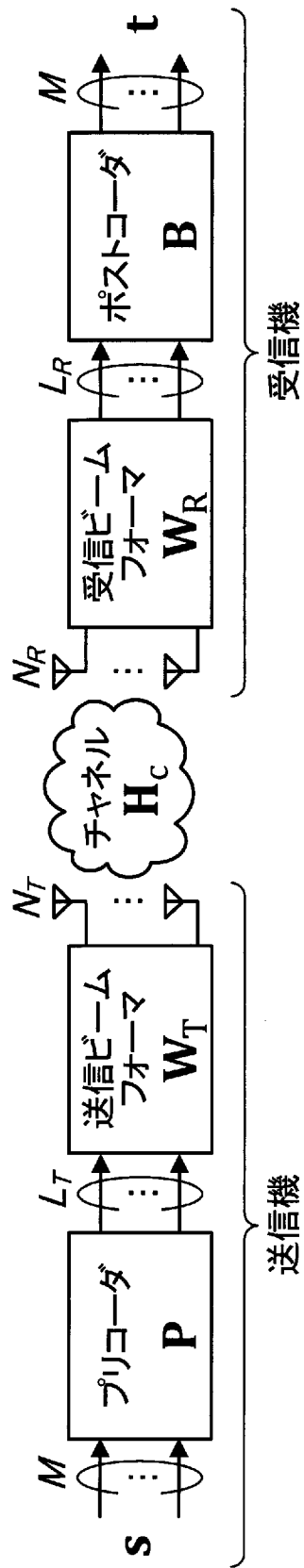
[図1]



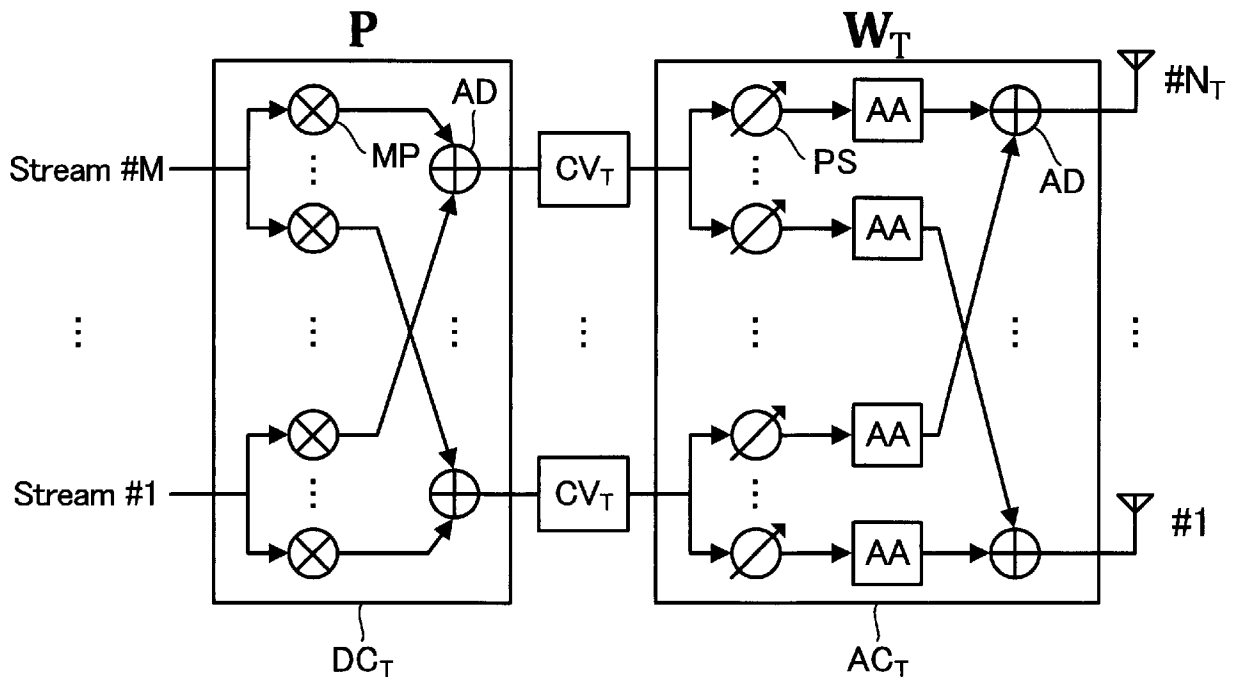
[図2]



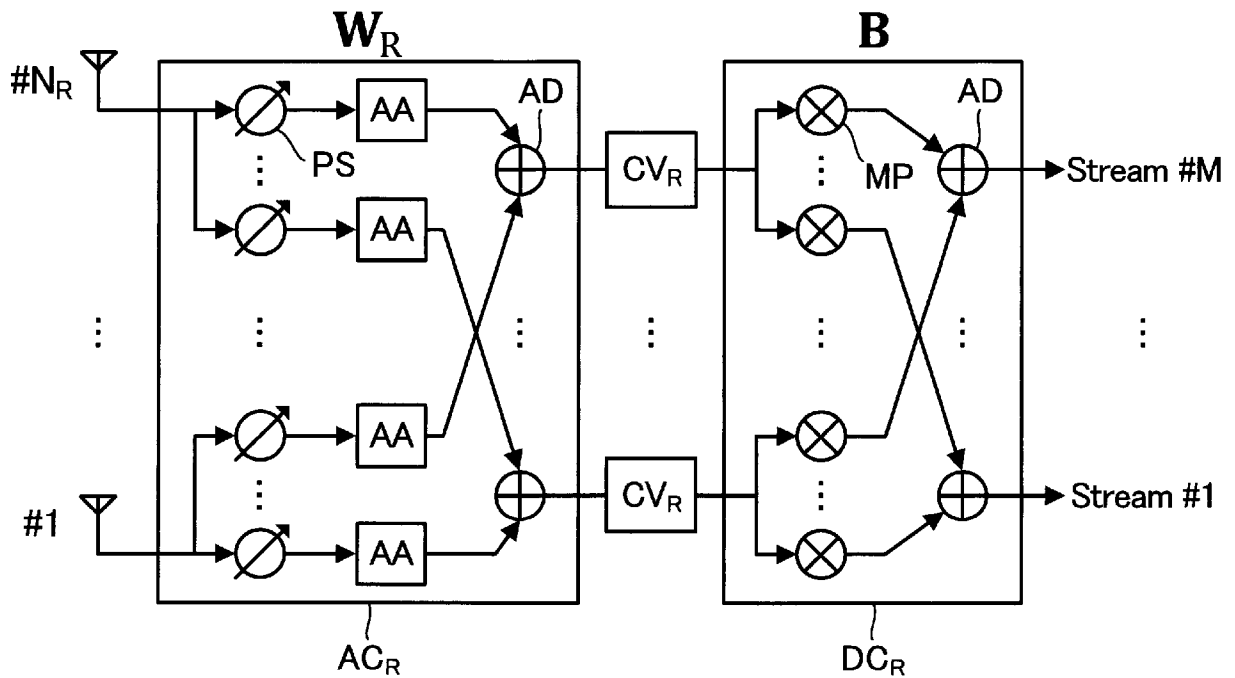
[図3]



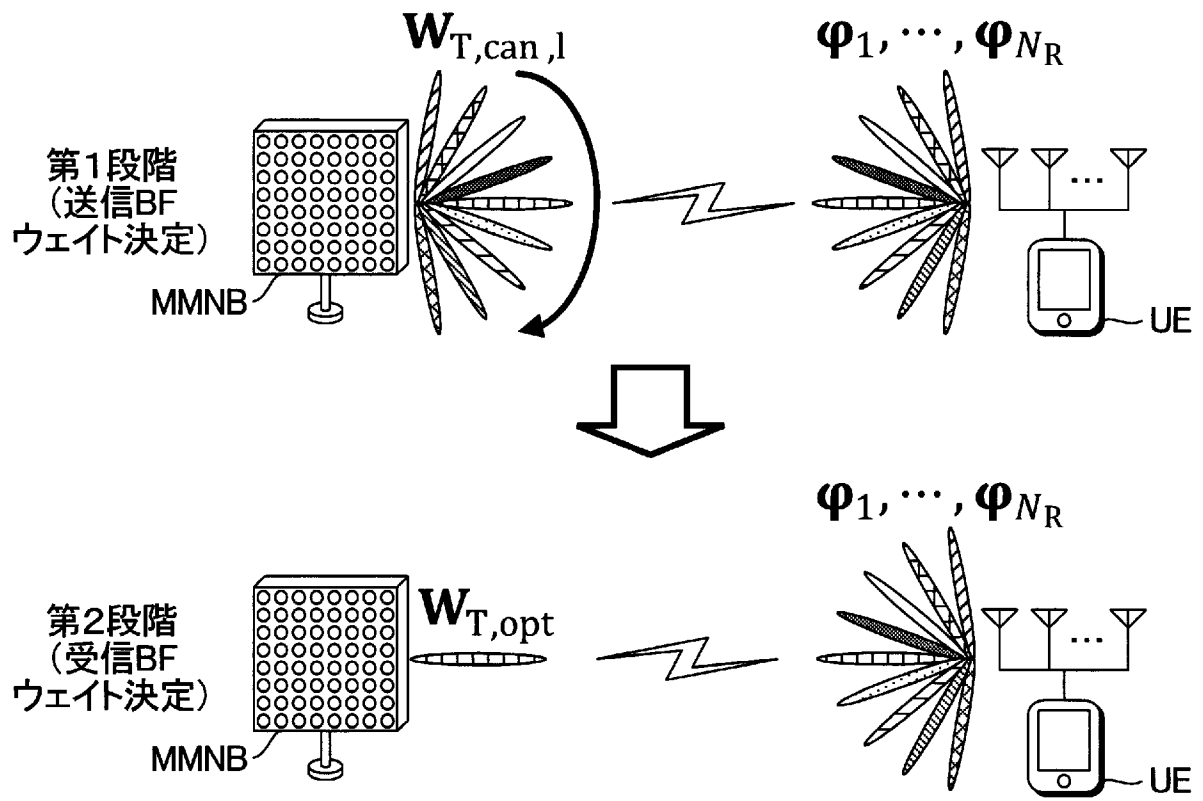
[図4]



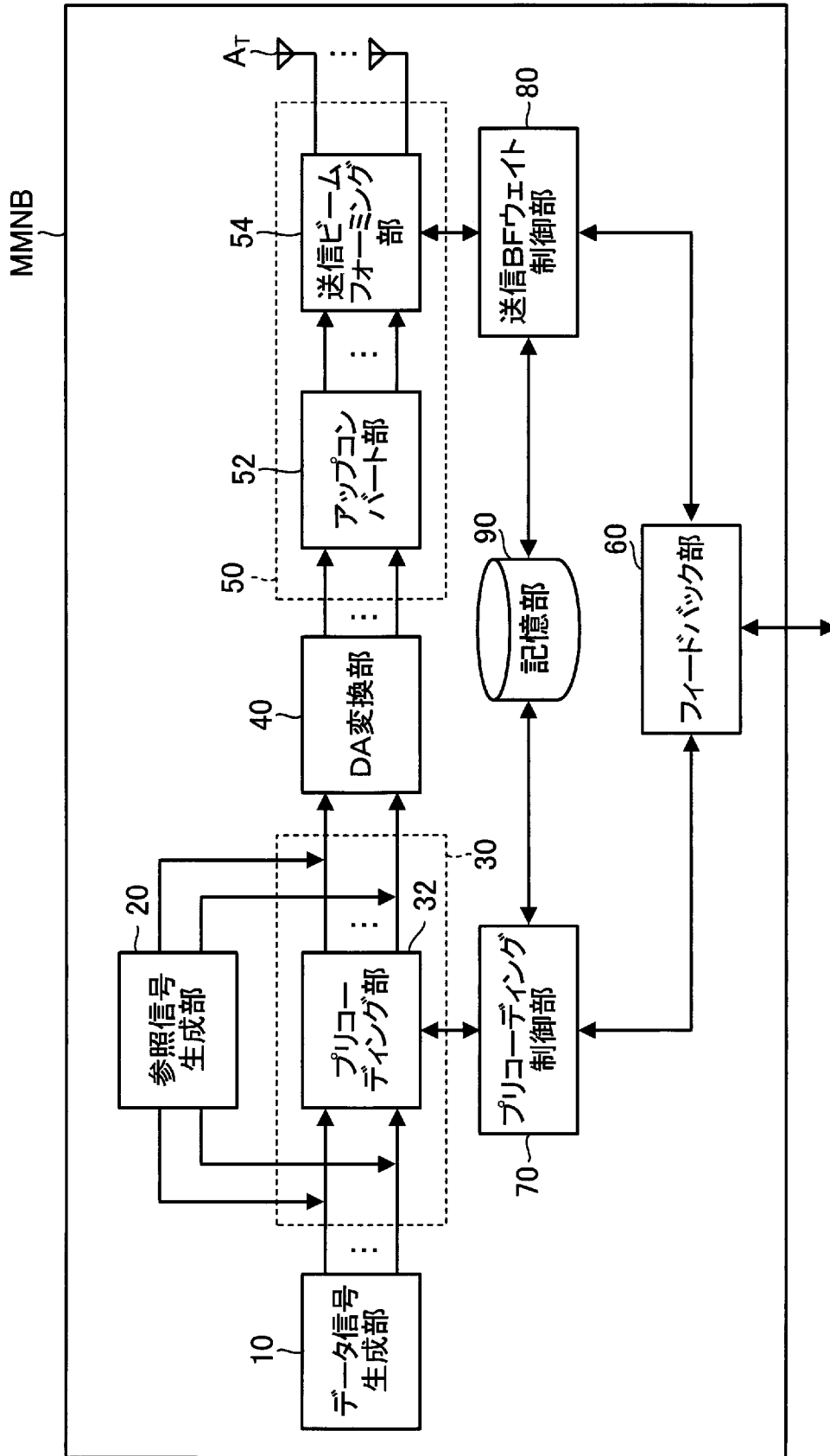
[図5]



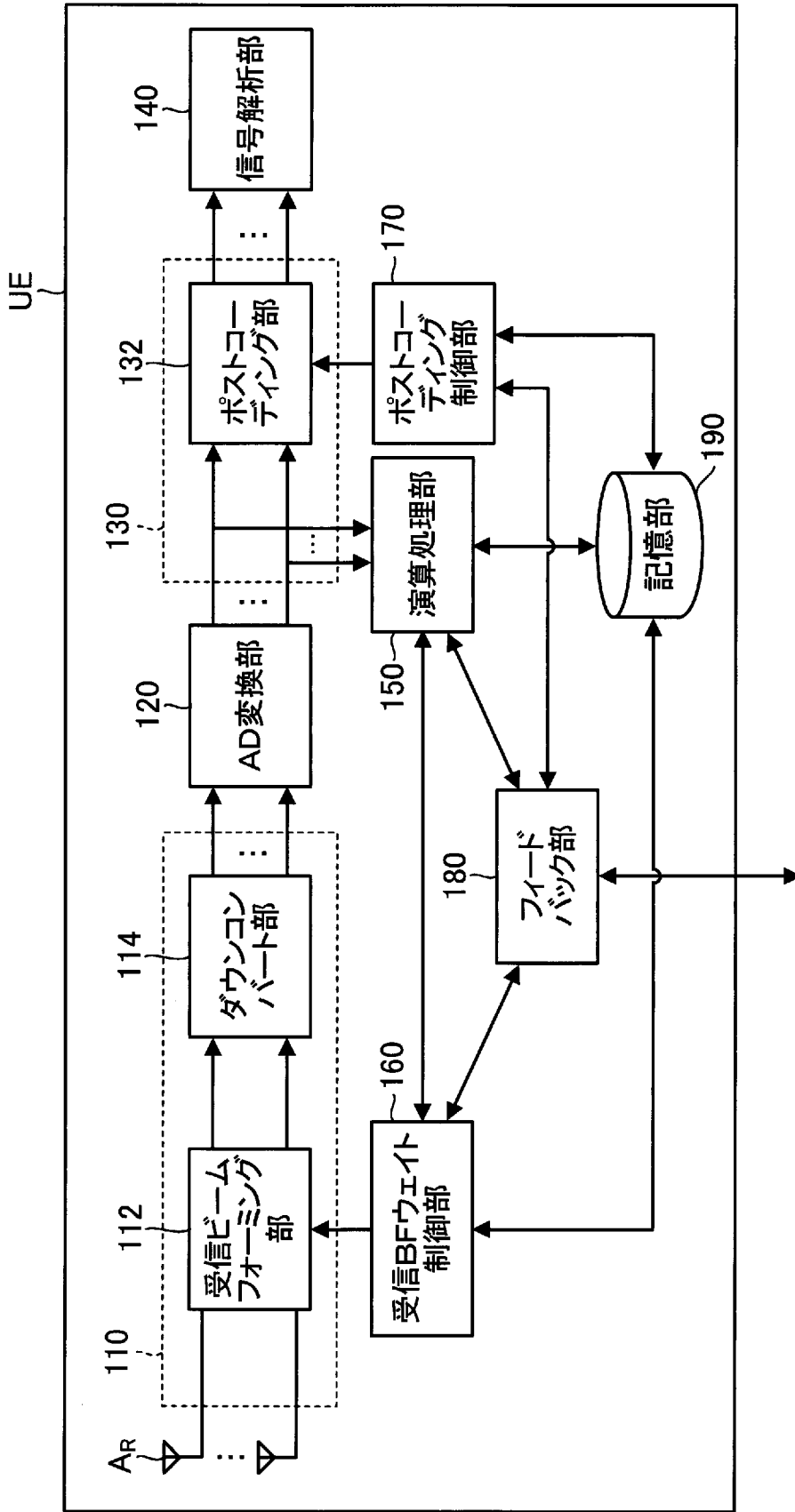
[図6]



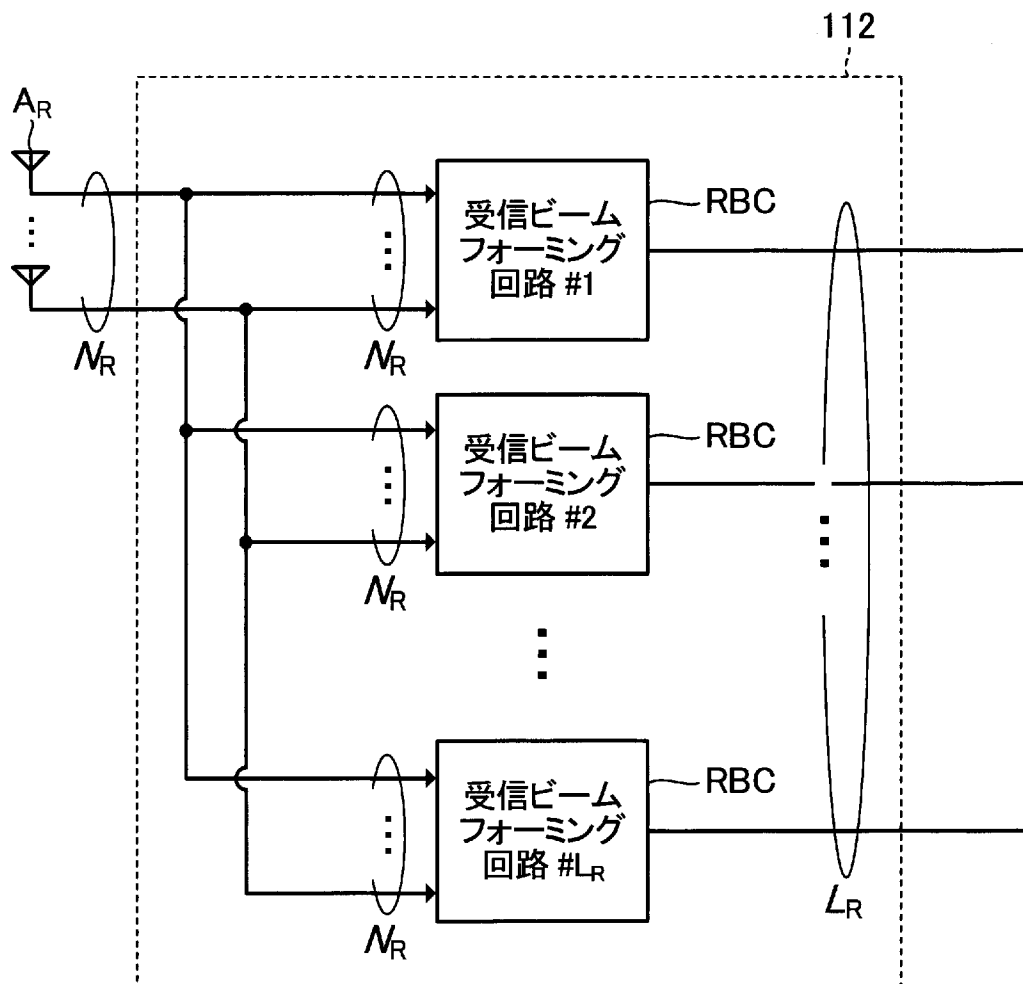
[図7]



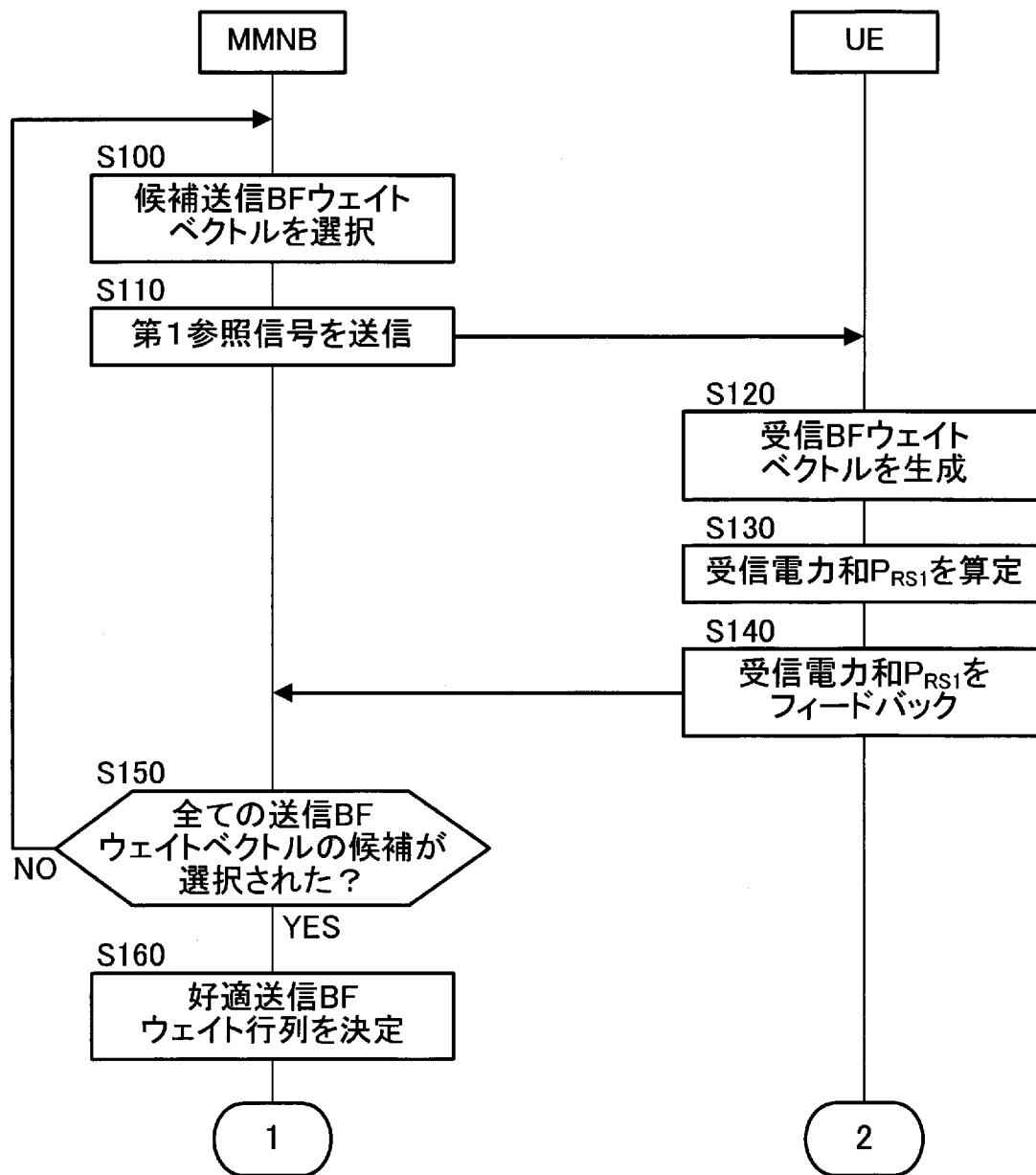
[図8]



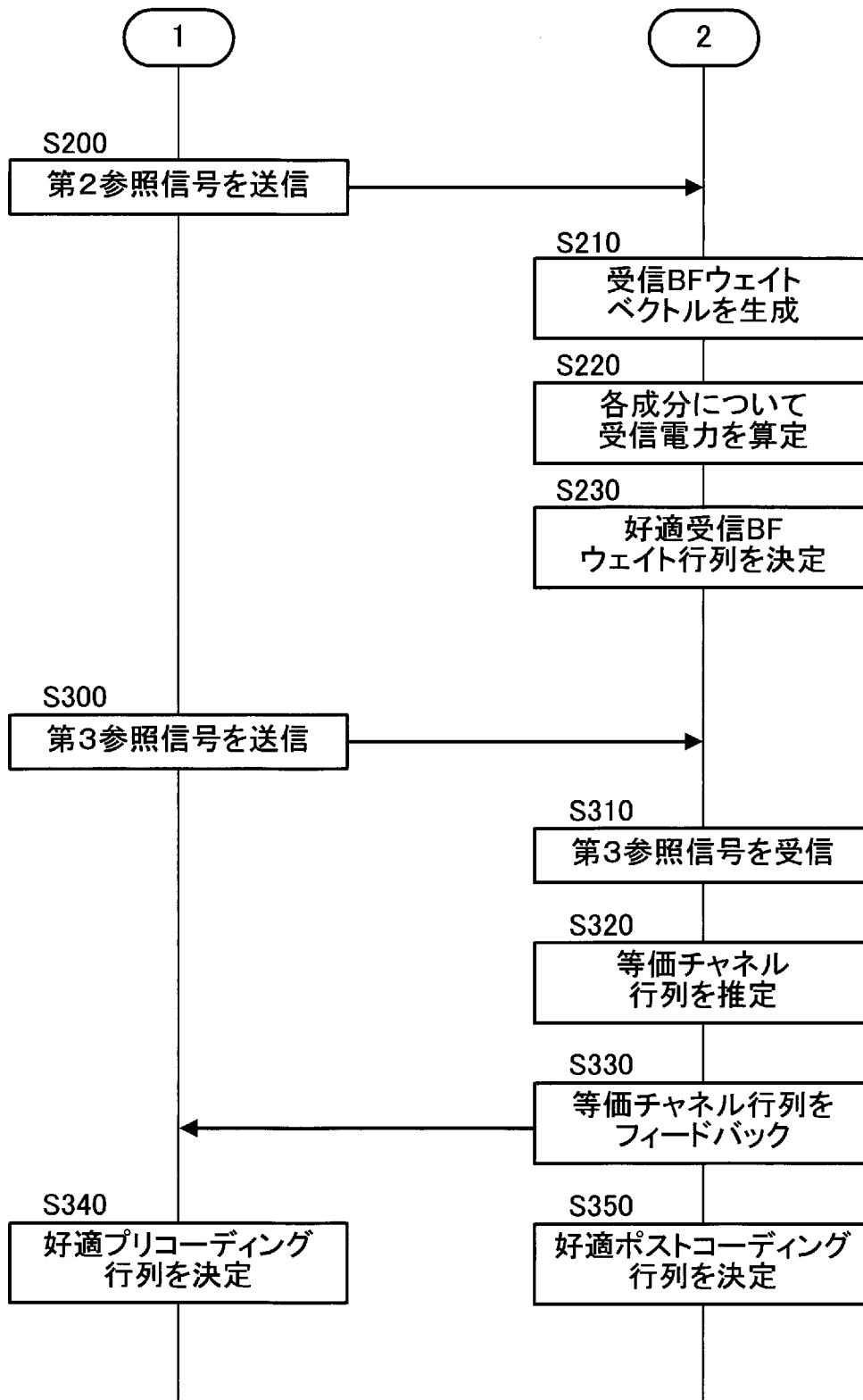
[図9]



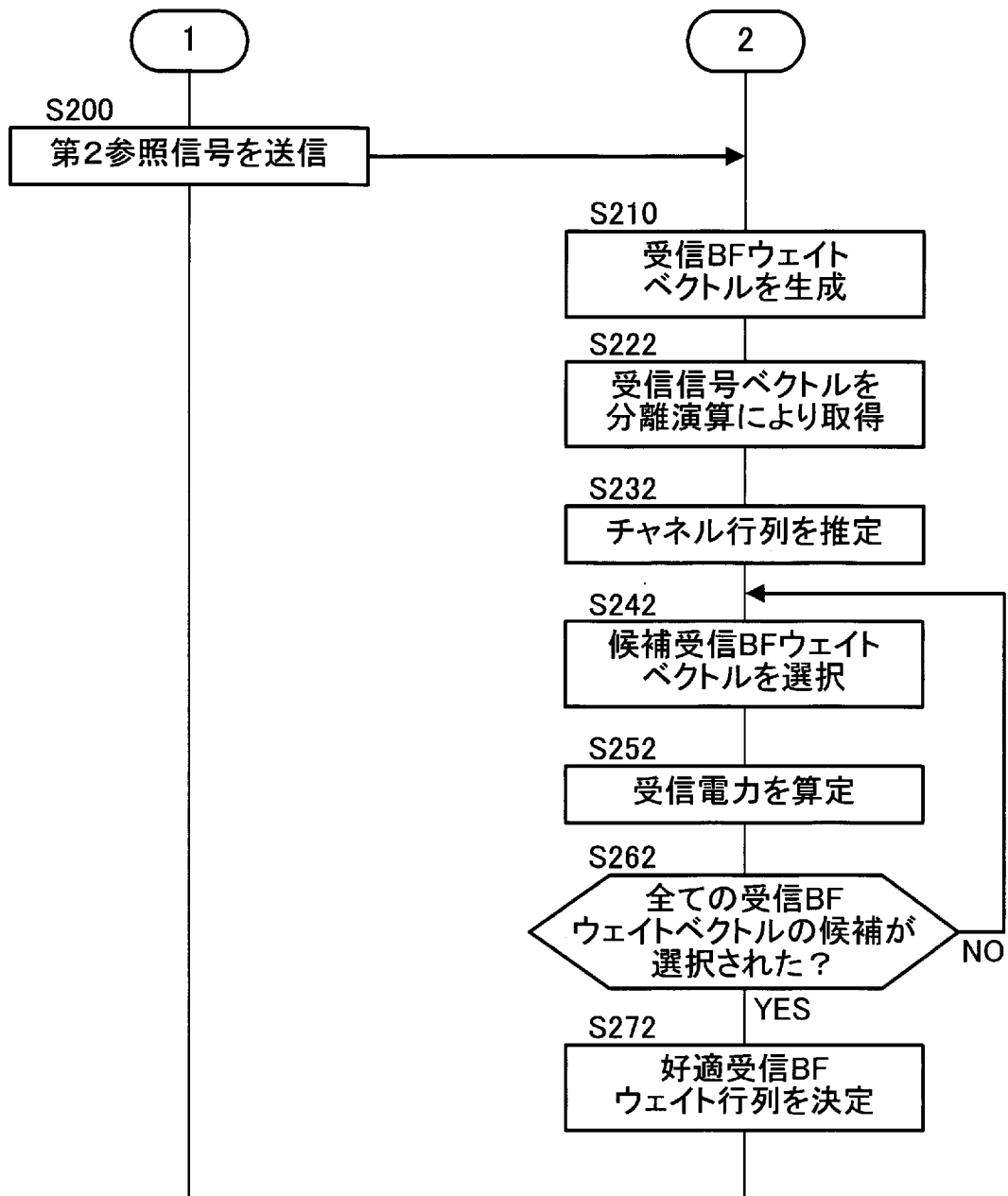
[図10]



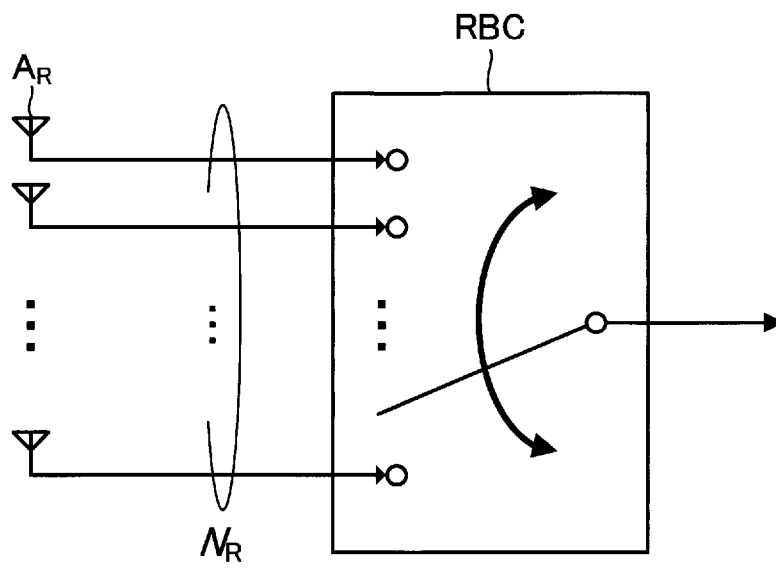
[図11]



[図12]



[図13]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2016/059179

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H04J99/00(2009.01)i, H04B7/04(2006.01)i, H04B7/10(2006.01)i, H04W16/28(2009.01)i, H04W88/02(2009.01)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)
H04J99/00, H04B7/04, H04B7/10, H04W16/28, H04W88/02

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2012-169774 A (Sony Corp.), 06 September 2012 (06.09.2012), & US 2013/0279457 A1 & WO 2012/108281 A & EP 2675090 A1 & CN 103404060 A	1-8
A	WO 2014/083927 A1 (Sony Corp.), 05 June 2014 (05.06.2014), & US 2015/0263797 A1 & EP 2928099 A1 & AU 2013350500 A & CA 2891540 A & CN 104798333 A & MX 2015006322 A	1-8
A	Zhixun Zhou, Xiantao Cheng, Hongxuan Liu, Gang Wu, An Adaptive Approach to Reduce Complexity of EBB in LTE Downlink TDD Systems, Wireless Communications and Signal Processing(WCSP), 2010 International Conference on, 2010.10.23, pp.1-5	1-8

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

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 27 May 2016 (27.05.16)	Date of mailing of the international search report 07 June 2016 (07.06.16)
---	---

Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.
--	---

<p>A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））</p> <p>Int.Cl. H04J99/00(2009.01)i, H04B7/04(2006.01)i, H04B7/10(2006.01)i, H04W16/28(2009.01)i, H04W88/02(2009.01)i</p>														
<p>B. 調査を行った分野</p> <p>調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））</p> <p>Int.Cl. H04J99/00, H04B7/04, H04B7/10, H04W16/28, H04W88/02</p>														
<p>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</p> <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>1971-2016年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2016年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2016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	1971-2016年	日本国実用新案登録公報	1996-2016年	日本国登録実用新案公報	1994-2016年				
日本国実用新案公報	1922-1996年													
日本国公開実用新案公報	1971-2016年													
日本国実用新案登録公報	1996-2016年													
日本国登録実用新案公報	1994-2016年													
<p>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）</p> <p>IEEE Xplore, CiNii</p>														
<p>C. 関連すると認められる文献</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>引用文献の カテゴリー*</th> <th>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</th> <th>関連する 請求項の番号</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>JP 2012-169774 A（ソニー株式会社）2012.09.06, & US 2013/0279457 A1 & WO 2012/108281 A & EP 2675090 A1 & CN 103404060 A</td> <td>1-8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>WO 2014/083927 A1（ソニー株式会社）2014.06.05, & US 2015/0263797 A1 & EP 2928099 A1 & AU 2013350500 A & CA 2891540 A & CN 104798333 A & MX 2015006322 A</td> <td>1-8</td> </tr> </tbody> </table>			引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号	A	JP 2012-169774 A（ソニー株式会社）2012.09.06, & US 2013/0279457 A1 & WO 2012/108281 A & EP 2675090 A1 & CN 103404060 A	1-8	A	WO 2014/083927 A1（ソニー株式会社）2014.06.05, & US 2015/0263797 A1 & EP 2928099 A1 & AU 2013350500 A & CA 2891540 A & CN 104798333 A & MX 2015006322 A	1-8			
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号												
A	JP 2012-169774 A（ソニー株式会社）2012.09.06, & US 2013/0279457 A1 & WO 2012/108281 A & EP 2675090 A1 & CN 103404060 A	1-8												
A	WO 2014/083927 A1（ソニー株式会社）2014.06.05, & US 2015/0263797 A1 & EP 2928099 A1 & AU 2013350500 A & CA 2891540 A & CN 104798333 A & MX 2015006322 A	1-8												
<p><input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。</p>														
<table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>の日の後に公表された文献</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>「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</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>「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>「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>「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>「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td>「&」同一パテントファミリー文献</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</td> <td></td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー	の日の後に公表された文献	「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	「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	「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	「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	「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）	「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	「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献	「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	
* 引用文献のカテゴリー	の日の後に公表された文献													
「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	「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													
「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	「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													
「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）	「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													
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献													
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願														
<p>国際調査を完了した日</p> <p>27.05.2016</p>	<p>国際調査報告の発送日</p> <p>07.06.2016</p>													
<p>国際調査機関の名称及びあて先</p> <p>日本国特許庁（ISA/J P）</p> <p>郵便番号100-8915</p> <p>東京都千代田区霞が関三丁目4番3号</p>	<p>特許庁審査官（権限のある職員）</p> <p>佐藤 敬介</p> <p>電話番号 03-3581-1101 内線 3556</p>	<p>5K 5380</p>												

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
A	Zhixun Zhou, Xiantao Cheng, Hongxuan Liu, Gang Wu, An Adaptive Approach to Reduce Complexity of EBB in LTE Downlink TDD Systems, Wireless Communications and Signal Processing(WCSP), 2010 International Conference on, 2010.10.23, pp.1-5	1-8