

(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
2017年8月10日(10.08.2017)



(10) 国際公開番号
WO 2017/135305 A1

- (51) 国際特許分類:
H04J 99/00 (2009.01) H04B 7/04 (2017.01)
H04B 17/318 (2015.01) H04B 7/10 (2006.01)
H04W 16/28 (2009.01) H04B 17/24 (2015.01)
H04W 24/10 (2009.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/003605
- (22) 国際出願日: 2017年2月1日(01.02.2017)
- (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 2016-021370 2016年2月5日(05.02.2016) 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: 奥山 達樹(OKUYAMA, Tatsuki); 〒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). 小原 辰徳(OBARA, Tatsunori); 〒1006150 東京都千代田区永

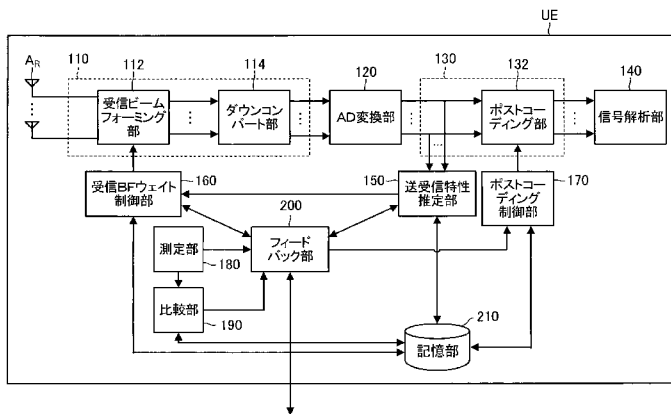
田町二丁目11番1号 山王パークタワー 株式会社NTTドコモ 知的財産部内 Tokyo (JP). 奥村 幸彦(OKUMURA, Yukihiko); 〒1006150 東京都千代田区永田町二丁目11番1号 山王パークタワー 株式会社NTTドコモ 知的財産部内 Tokyo (JP).

- (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, DJ, 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, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE,

[続葉有]

(54) Title: USER EQUIPMENT AND BASE STATION

(54) 発明の名称: ユーザ装置および基地局



(57) Abstract: Provided is user equipment provided with: a measurement unit for measuring an indicator that pertains to communication quality for each of a plurality of candidate beams; a comparison unit for comparing each of a first threshold value and a second threshold value with the indicator; and a feedback unit for transmitting, on the basis of the comparison result from the comparison unit, the indicator as feedback information that pertains to an interference beam to the base station when the indicator is greater than or equal to the first threshold value and less than the second threshold value, transmitting the indicator as feedback information that pertains to a desired beam to the base station when the indicator is greater than or equal to the second threshold value, and not transmitting feedback information to the base station when the indicator is less than the first threshold value.

(57) 要約: ユーザ装置は、複数の候補ビームの各々について、通信品質に関する指標を測定する測定部と、第1閾値および第2閾値の各々と指標とを比較する比較部と、比較部の比較結果に基づいて、指標が第1閾値以上第2閾値未満の場合には指標を干渉ビームに関するフィードバック情報として基地局に送信し、指標が第2閾値以上の場合には指標を所望ビームに関するフィードバック情報として基地局に送信し、指標が第1閾値未満の場合にはフィードバック情報を基地局に送信しないフィードバック部と、

- 112 Received beam forming unit
- 114 Down-convert unit
- 120 AD converter
- 132 Postcoding unit
- 140 Signal analysis unit
- 150 Transmission/reception characteristic estimation unit
- 160 Reception BF weight control unit
- 170 Postcoding control unit
- 180 Measurement unit
- 190 Comparison unit
- 200 Feedback unit
- 210 Storage unit

を備える。

WO 2017/135305 A1

ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, 添付公開書類:
MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, — 國際調查報告 (條約第 21 條(3))
SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,
GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

明 細 書

発明の名称：ユーザ装置および基地局

技術分野

[0001] 本発明は、ユーザ装置および基地局に関する。

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、信号伝送の高速化および高品質化を実現するMIMO (Multiple-Input and Multiple-Output) 技術が活用されている。MIMO技術は、単一のユーザ（受信機）を対象とするSU-MIMO (Single User MIMO) と、複数のユーザ（受信機）を対象とするMU-MIMO (Multiple User MIMO) とを含む。

[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、または受信アンテナに対応する受信ビーム）の指向性および／または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およ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] 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およ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。上述したビームフォーミングおよび複数ストリーム間多重の補償を実現するコーディングのためには、ユーザ装置から基地局に各種の情報をフィードバックする必要がある。

[0006] しかしながら、MU-MIMOでは、同時通信を行うユーザ装置が増加するにつれてフィードバックの情報量が増加する。特許文献2には、ユーザ装置において、基地局からの信号のRSSIを測定し、RSSIが閾値以上であると判断した場合、チャンネル状態の推定を行い、チャンネル状態情報を基地局にフィードバックする一方、RSSI値が閾値未満であると判断した場合、基地局にチャンネル状態情報をフィードバックしない技術が開示されている。この技術によれば、ユーザ装置から基地局へのフィードバックの情報量を低減することができる。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特開2013-232741号公報

[0008] 特許文献2：特開2014-27368号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] ところで、MU-MIMOでは、ユーザ装置において基地局からの送信ビームを干渉ビームとして取り扱うのか、あるいは所望ビームとして取り扱うのかによって、ビームフォーミングおよびコーディングが相違する。

[0010] しかしながら、従来の技術では、ユーザ装置から基地局へのフィードバックの情報量を低減できても、送信ビームが干渉ビームとなるか所望ビームとなるかは、ユーザ装置からフィードバックされる情報に基づいて、基地局が判断する必要があった。複数のユーザ装置から送信されるフィードバックは、基地局に大きな処理負荷を発生させるといった問題があった。

[0011] 本発明は、上述した事情に鑑みてなされたものであり、MU-MIMOにおいて、フィードバックの情報量を低減しつつ、基地局の処理負荷を低減することを解決課題とする。

課題を解決するための手段

[0012] 本発明のユーザ装置は、MU-MIMO通信方式を用いて無線通信を実行する基地局から送信され、送信ビームフォーミングのための複数の候補ビームを受信するユーザ装置であって、前記複数の候補ビームの各々について、通信品質に関する指標を測定する測定部と、第1閾値および当該第1閾値よりも大きい第2閾値の各々と前記指標とを比較する比較部と、前記比較部の比較結果に基づいて、前記指標が前記第1閾値以上前記第2閾値未満の場合には前記指標を干渉ビームに関するフィードバック情報として前記基地局に送信し、前記指標が前記第2閾値以上の場合には前記指標を所望ビームに関するフィードバック情報として前記基地局に送信し、前記指標が前記第1閾値未満の場合にはフィードバック情報を前記基地局に送信しないフィードバック部と、を備える。

[0013] 本発明の基地局は、MU-MIMO通信方式を用いて、複数のユーザ装置と無線通信を実行可能な基地局であって、M（Mは1以上の整数）本のストリームに対して、プリコーディングウェイト行列を用いてデジタルプリコーディングを施すプリコーディング部と、前記デジタルプリコーディングが施された後の信号に対して、送信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とともに、前記複数のユーザ装置の各々から送信された前記フィードバック情報を受信する複数のアンテナと、前記送信ビームフォーミング部を制御する送信ビームフォーミングウェイト制御部と、を備え、送信ビームフォーミングウェイト制御部は、前記複数の候補ビームの各々に対応する送信ビームフォーミングウェイト行列を選択して、選択した送信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

ーミングを、前記送信ビームフォーミング部に実行させ、前記複数のユーザ装置の各々に対応する前記フィードバック情報に基づいて、M本のストリームを送信するための送信ビームフォーミングウェイト行列を決定し、決定した送信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、前記送信ビームフォーミング部に実行させる。

発明の効果

[0014] 本発明によれば、フィードバックの情報量を低減しつつ、基地局の処理負荷を低減する。

図面の簡単な説明

[0015] [図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]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]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]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]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]実施形態に係るMU-MIMOの概念図である。

[図7]実施形態に係る固定ビームフォーミングが採用されたMassive-MIMOにおける送信機および受信機の構成の一例を示す図である。

[図8A]実施形態のsmall基地局の機能ブロック図である。

[図8B]実施形態のsmall基地局の回路構成を示す図である。

[図9A]実施形態のユーザ装置の機能ブロック図である。

[図9B]実施形態のユーザ装置の回路構成を示す図である。

[図10]実施形態の受信電力と第1閾値および第2閾値とフィードバック情報との関係を示す図である。

[図11]実施形態の送信BFウェイト行列の決定処理の動作フローである。

[図12]実施形態のフィードバック処理の動作フローである。

[図13]実施形態において候補ビームを送信した場合の受信電力のフィードバックについて具体例を示す説明図である。

[図14]実施形態の候補ビームの送信を説明する図である。

[図15]実施形態のプリコーディング行列およびポストコーディング行列の決定処理を示す動作フローの一部である。

[図16]変形例に係る受信電力の量子化を説明するための図である。

[図17]変形例に係るセル間干渉を説明するための図である。

[図18]変形例に係る受信電力と確率密度との関係を示す図である。

発明を実施するための形態

[0016] 1. 実施形態

1 (1). Massive-MIMO伝送

本発明の実施形態に係る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、多数の送信アンテナ A_T を用いることにより、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、干渉量の低減および／または無線リソースの有効利用が実現される。

[0017] 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。

[0018] 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。

[0019] 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。

[0020] 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。

[0021] 図2は、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。

[0022] 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。

- [0023] 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。
- [0024] 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] 図3は、固定ビームフォーミングを採用したM a s s i v e - M I M O における送信機および受信機の構成の一例を示す図である。図3は、単一の送信機と単一の受信機とが存在するS U - M I M O に基づく構成を示す。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。
- [0027] 数学的には、プリコーディング処理は、M本（Mは1以上の自然数、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]

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 $N_R = 16$) のチャンネル行列

[数4]

H

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]

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]

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]

$$\mathbf{y}$$

は、以下の数式で表現される。

[数8]

$$\mathbf{y} = \mathbf{B}\mathbf{W}_R\mathbf{H}\mathbf{W}_T\mathbf{P}\mathbf{s} + \mathbf{B}\mathbf{z}$$

なお、以上の数式において加算される別項である

[数9]

$$\mathbf{z}$$

は、 L_R 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もしくは時間領域のデジタル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。アナログ固定ビームフォーミングを採用した際の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。送信機側の等価回路は、例えば、下りの基地局の等価回路に相当し、受信機側の等価回路は、例えば、下りのユーザ装置の等価回路に相当する。

[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によって高周波送信信号が生成される。

[0030] 処理回路PC_Tは、デジタル信号処理回路DC_Tの出力信号に逆高速フー

リエ変換を施す逆FFT部1と、逆FFT部1の出力信号にガードインターバルを挿入するガードインターバル挿入部2と、ガードインターバル挿入部2の出力信号をDA変換するDA変換部3と、DA変換部3の出力信号をアップコンバートして高周波送信信号を出力するアップコンバータ4とを備える。

[0031] 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。

[0032] 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、処理回路PC_Rは受信ビームフォーミング後の信号に対して、信号処理を施す。処理回路PC_Rは、アナログ信号処理回路AC_Rの出力信号をベースバンドの信号にダウンコンバートするダウンコンバータ5と、ダウンコンバータ5の出力信号をAD変換するAD変換部6と、AD変換部6の出力信号からガードインターバルを除去するガードインターバル除去部7と、ガードインターバル除去部7の出力信号に高速フーリエ変換を施すFFT部8とを備える。

デジタル信号処理回路DC_Rは、処理回路PC_Rの出力信号に対して、デジタル的にポストコーディング（行列演算）を施して、M本のストリームを生成（再生）する。

[0033] 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≪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 B F 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。

[0034] 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 変換部 3 の (処理回路 PC_T) 個数も削減できる。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。また、デジタル固定ビームフォーミングを採用した際は、図 4 のうち、ガードインターバル挿入部 2 の後段に数 1 1 の W_T を形成するデジタルビームフォーミング部が挿入され、図 5 のうち、 AD 変換部 6 の後段に受信 B F ウェイト行列を形成するデジタルビームフォーミング部が挿入される。

[0035] 1. (2) マルチユーザ MIMO (MU-MIMO)

本発明の実施形態に係る MU-MIMO について説明する。図 6 は、MU-MIMO の概念図である。MU-MIMO においては、1 個の MIMO 基地局であるスモール基地局 $MMNB$ が、多重された信号を同時に複数本の送信アンテナ A_T を用いて複数のユーザ装置 UE に対して送信する。すなわち、MIMO 基地局は、ユーザ多重により複数のユーザと同時に無線通信を行う

ことが可能である。MU-MIMOによれば複数のユーザ間のチャネル相関が低減されるため、全てのユーザ装置UE合計の通信速度が向上する。

[0036] 一方で、図6に示すように、ユーザが多重されることにより複数のユーザ間で干渉が生じる。例えば、第1のユーザ装置UE-1に対する所望信号は第2のユーザ装置UE-2に対する干渉信号となり、逆もまた然りである。したがって、ユーザ間の干渉を低減させるための干渉制御が必要である。

[0037] 図7は、固定ビームフォーミングが採用されたMassive-MIMOにおける送信機および受信機の構成の一例を示す図である。図7は、単一の送信機と複数の受信機とが存在するMU-MIMOに基づく構成を示す。以下、合計のユーザ数（受信機数）は N_U であり、全ユーザの合計ストリーム数は M である。ある単一のユーザは i ($1 \leq i \leq N_U$)で示され、第 i 番目のユーザ（第 i ユーザ）のストリーム数は M_i である。

[0038] 送信機であるスモール基地局MMNBのプリコーダおよび送信ビームフォーマが、受信機であるユーザ装置UEの各々（第1番目のユーザ装置UE-1、…、第 i 番目のユーザ装置UE- i 、…、第 N_U 番目のユーザ装置UE- N_U ）に宛てられる信号について、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する。全てのユーザ装置UEに対する信号は加算され、 N_T 本の送信アンテナ A_T から送信される。全ユーザ合計の送信ビーム数は L_T であり、第 i ユーザの送信ビーム数は L_{Ti} （例えば、 $L_{Ti} = L_T / N_U$ ）である。各ユーザ装置UEは、 N_R 本の受信アンテナ A_R を用いて信号を受信し、各ユーザ装置UE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。

[0039] 数学的には、第 i ユーザについてのプリコーディング処理は、 N_R 行1列の信号ベクトル

[数12]

$$\mathbf{S}_i$$

に対して、 L_{Ti} 行 N_R 列のプリコーディング行列

[数13]

$$\mathbf{P}_i$$

を乗算する処理である。以上の信号ベクトルは、以下の式で表される。

[数14]

$$\mathbf{s}_i = [\mathbf{d}_i^T \mathbf{0}^T]^T$$

ここで、以上の式の

[数15]

$$\mathbf{d}_i$$

は M_i 本のストリームに対応する M_i 行1列のデータ信号ベクトルであり、

[数16]

$$\mathbf{0}$$

は $(N_R - M_i)$ 行1列の零ベクトルである。 $(\cdot)^T$ は行列またはベクトルの転置を示す。

[0040] 第 i ユーザについての送信ビームフォーミング処理は、プリコーディング処理が施された信号に対して、 N_T 行 L_{Ti} 列の送信BFウェイト行列

[数17]

$$\mathbf{W}_{Ti}$$

を乗算する処理である。なお、 L_{Ti} 本の各送信ビームに対応する N_T 行1列の送信BFウェイトベクトルを

[数18]

$$\mathbf{w}_{Ti,l}$$

とおくと、送信BFウェイト行列は

[数19]

$$\mathbf{W}_{Ti} = [\mathbf{w}_{Ti,1} \quad \mathbf{w}_{Ti,2} \quad \dots \quad \mathbf{w}_{Ti,L_{Ti}}]$$

と表現できる。

[0041] 以上のプリコーディング処理および送信ビームフォーミング処理（以下、送信側信号処理と総称する場合がある）が、全てのユーザ（UE-1, ..., UE-i, ..., UE-N_U）について実行される。全ユーザに対する送信側信号処理の結果として得られたユーザ毎のN_T本の信号は、N_T個の加算器に分配されて加算され、N_T本の送信アンテナA_Tから送信される。すなわち、ある1本の送信アンテナA_Tから送信される信号には、全てのユーザに対する信号成分が含まれ得る。

[0042] N_T本の送信アンテナA_Tから送信された信号は各ユーザ装置UEに受信される。第i番目のユーザ装置UE-iが受信する信号には、スモール基地局MMNBからユーザ装置UE-iまでの空間の伝搬に対応するN_R行N_T列のチャネル行列

[数20]

$$\mathbf{H}_i$$

が乗算される。なお、以上のチャネル行列はユーザ装置UEに応じて異なる。したがって、本例のMU-MIMOシステム全体においては、N_R・N_U行N_T列の全体チャネル行列

[数21]

$$\mathbf{H}_C = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{H}_i \\ \vdots \\ \mathbf{H}_{N_U} \end{bmatrix}$$

が形成される。 $N_R \cdot N_U$ はシステム全体の受信アンテナ A_R 数を示す。

[0043] 第 i ユーザについての受信ビームフォーミング処理は、受信アンテナ A_R が受信した受信信号ベクトル（詳細は後述される）に対して、 N_R 行 N_R 列の受信BFウェイト行列

[数22]

$$W_{Ri}$$

を乗算する処理である。第 i ユーザについての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、 N_R 行 N_R 列のポストコーディング行列

[数23]

$$B_i$$

を乗算する処理である。ポストコーディング処理により、 N_R 行1列の信号ベクトル

[数24]

$$y_i$$

が得られる。ここで、

[数25]

$$y_i$$

の1行目から M_i 行目までは推定された（再生された） M_i 本のストリームに対応するデータ信号ベクトルであり、残りの $(M_i + 1)$ 行目から N_R 行目までは零ベクトルである。

[0044] 1 (3) . 送信機および受信機の構成

図8Aは、実施形態の小規模基地局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。小規模基地局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 D A 変換部 40 と R F 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 B F 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、R F 処理部 50 はアップコンバート部 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。なお、本実施形態のスマートフォン基地局 MMNB にて採用されるキャリア構成は任意である。例えば、シングルキャリア (Single Carrier, SC) が採用されてもよいし、直交周波数分割多重 (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) が採用されてもよい。

[0045] 図 8 B にスマートフォン基地局 MMNB の回路構成の一例を示す。スマートフォン基地局 MMNB は、デジタルプロセッサ D1 とメモリ M1 とアナログ処理部 A1 と送信アンテナ A_T とを備える。デジタルプロセッサ D1 は、種々のデジタル信号処理を実行する要素であり、前述のデータ信号生成部 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 および送信 B F ウェイト制御部 80 等の機能要素 (機能ブロック) を提供する。デジタルプロセッサ D1 は、例えば CPU (Central Processing Unit) であり、メモリ M1 に記憶されるコンピュータプログラムを実行することにより以上の機能要素を提供する。メモリ M1 は、RAM 及び ROM を含む。また、メモリ M1 は前述の記憶部 90 として機能する。アナログ処理部 A1 は、種々のアナログ信号処理を実行する要素である。アナログ処理部 A1 は、前述の R F 処理部 50 等を含む。デジタル信号とアナログ信号とを相互に変換する前述の D A 変換部 40 及び A D 変換部もアナログ処理部 A1 に含まれる。

[0046] 図 8 A に示すデータ信号生成部 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、N_U 個のユーザ装置 UE に対応する M 本の

ストリームのデータ信号を生成する（前述の通り、第 i 番目のユーザ（第 i ユーザ）のストリーム数は M_i である）。

[0047] 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、各ユーザ装置 UE におけるチャネル推定、ユーザ装置 UE における受信電力の測定、ユーザ装置 UE とスモール基地局 MMNB との初期同期、ユーザ装置 UE におけるスモール基地局 MMNB の識別およびビームサーチにおける候補ビームの識別に用いられる信号である。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。

[0048] ベースバンド処理部 30 は、入力されたベースバンド信号（データ信号および参照信号）を処理する要素である。ベースバンド処理部 30 は、第 i ユーザの信号ベクトルに対して、プリコーディング行列

[数26]

$$P_i$$

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。プリコーディング部 32 は、全ユーザ（UE-1, ..., UE- N_U ）に対応する合計 M 本のストリームに対して、以上のデジタルプリコーディングを実行する。すなわち、プリコーディング部 32 は、 N_U 個のプリコーダとして動作する。

[0049] 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、本実施形態の等価チャネル行列の推定においては、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。

[0050] 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。

[0051] 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 R F 信号に周波数変換するアップコンバート部 5 2 と、周波数変換後の信号に対して、送信 B F ウェイト行列

[数27]

$$W_{Ti}$$

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 5 4 とを備える。送信ビームフォーミング部 5 4 は、全ユーザ (UE-1, ..., UE-N_U) の全送信ビームに対応する合計 L_T本の信号に対して、以上の送信ビームフォーミングを実行する。すなわち、送信ビームフォーミング部 5 4 は、N_U個の送信ビームフォーマとして動作する。

[0052] 送信ビームフォーミング部 5 4 (各送信ビームフォーマ) から出力された高周波送信信号は、送信ビームフォーミング部 5 4 が有する N_T個の加算器によって加算され、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 B F 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 P S および振幅調整器 A A を用いて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から送信される複数のアナログ信号に対してアナログ送信ビームフォーミングを施すことによって、複数のアナログ信号の位相および振幅がアナログ的に変化する。複数のアナログ信号の位相および振幅の変化は、複数のアナログ信号を要素とする送信信号ベクトルに送信 B F ウェイト行列を乗算することに相当する。

[0053] フィードバック部 6 0 は、ユーザ装置 UE の各々と、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 7 0 および送信 B F ウェイト制御部 8 0 に供給する。プリコーディング制御部 7 0 は、プリコーディング部 3 2 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 B F ウェイト制御部 8 0 は、送信ビームフォーミング部 5 4 にて用いられる B F ウェイトの制御を行う。

[0054] B F ウェイトはビームサーチによって決定される。ビームサーチでは、第

1 に無線通信に用いる送信ビームの候補となる複数の候補ビームをスモール基地局MMNBから各ユーザ装置UEに送信し、第2に各ユーザ装置UEが複数の候補ビームの各々について受信電力を測定し、第3に測定した受信電力を含むフィードバック情報を各ユーザ装置UEからスモール基地局MMNBへ送信し、第4にスモール基地局MMNBがフィードバック情報に基づいてBFウェイトを決定する。

また、フィードバック情報には、受信電力を示す受信電力情報の他に、受信電力が所望電力であるか干渉電力であるかを示す判定情報が含まれている。受信電力が所望電力であれば、候補ビームは、フィードバック情報の送信元のユーザ装置UEにおいて無線通信に用いられることが適している。一方、受信電力が干渉電力であれば、候補ビームは、フィードバック情報の送信元のユーザ装置UEにおいて無線通信に用いられることは好ましくなく、干渉制御が必要となる。MU-MIMOにおいて、スモール基地局MMNBと通信するユーザ装置UEの数が増加すると、スモール基地局MMNBにおける処理負荷が増加する。しかし、判定情報を含むフィードバック情報を各ユーザ装置UEからスモール基地局MMNBにフィードバックすることによって、処理負荷を軽減することが可能となる。

[0055] 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および送信BFウェイト行列）を記憶する。

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、および送信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。

[0056] 図9Aは、実施形態の第iユーザのユーザ装置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

、AD変換部120、ベースバンド処理部130、信号解析部140、送受信特性推定部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、測定部180、比較部190、フィードバック部200、および記憶部210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。

[0057] 図9Bにユーザ装置UEの回路構成の一例を示す。ユーザ装置UEは、デジタルプロセッサD2とメモリM2と表示部Hとアナログ処理部A2と受信アンテナA_Rとを備える。デジタルプロセッサD2は、種々のデジタル信号処理を実行する要素であり、前述のベースバンド処理部130、信号解析部140、送受信特性推定部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、測定部180、比較部190、およびフィードバック部200等の機能要素（機能ブロック）を提供する。デジタルプロセッサD2は、例えばCPUであり、メモリM2に記憶されるコンピュータプログラムを実行することにより以上の機能要素を提供する。メモリM2は、RAM及びROMを含み得る。また、メモリM2は前述の記憶部210として機能する。アナログ処理部A2は、種々のアナログ信号処理を実行する要素である。アナログ処理部A2は、前述のRF処理部50等を含む。デジタル信号とアナログ信号とを相互に変換する前述のAD変換部120およびDA変換部もアナログ処理部A2に含まれる。また、測定部180の測定対象が後述するRSSIである場合、測定部180はアナログ処理部A2に含まれる。表示部Hは、例えば液晶表示装置または有機EL表示装置等で構成される。表示部Hは、タッチパネルで構成してもよく、画像を表示する他、ユーザの入力操作を受け付けてもよい。

[0058] 説明を図9Aに戻す。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。

[0059] 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28]

$$W_{Ri}$$

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。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 において受信される複数のアナログ信号に対してアナログ受信ビームフォーミングを施すことによって、複数のアナログ信号の位相および振幅がアナログ的に変化する。複数のアナログ信号の位相および振幅の変化は、複数のアナログ信号を要素とする受信信号ベクトルに受信BFウェイト行列を乗算することに相当する。

なお、受信BFウェイト行列が単位行列である場合には、受信ビームフォーミング部112および受信ウェイト制御部160を省略してもよい。

[0060] 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。

[0061] 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_i 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]

$$B_i$$

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_i 本のストリームが再生される。再生された M_i 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。

[0062] 送受信特性推定部150は、後述される送受信特性の推定を実行する。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。

[0063] 測定部180は、通信品質に関する指標を測定し、測定結果をフィードバック部200に出力する。この指標は、通信品質の程度を示す指標であれば、どのような指標であっても良い。例えば、RSRP(Reference Signal Received Power)が該当する(TS36.214、V8.0.0、Section 5.1.1参照)。また、SINR (Signal-to-Interference plus Noise power Ratio)、E-UTRA Carrier RSSI(Received Signal Strength Indicator)、RSRQ(Reference Signal Received Quality)等であってもよい。ここで、RSSIは、サービングセルからの所望信号、他のセルからの干渉信号、および熱雑音による雑音信号等の全ての信号の受信電力の合計を意味する。また、RSRPは参照信号の受信電力を意味し、SINRは周辺セル干渉を考慮した受信信号電力対干渉および雑音電力比である。以下、通信品質に関する指標として受信電力(RSRPおよび/またはRSSI)を一例として説明する。

[0064] 比較部190は、測定部180が測定した受信電力を第1閾値REF1および第2閾値REF2の各々と比較し、比較結果をフィードバック部200に出力する。図10に受信電力と第1閾値REF1および第2閾値REF2とフィードバック情報との関係を示す。スモール基地局MMNBから送信される複数の候補ビームの各々に対する受信電力に着目すると、受信レベルが大レベルであるために受信電力を所望電力とすべき場合と、受信レベルが中レベルであるために受信電力を干渉電力とすべき場合と、受信レベルが小レベルであるために、受信電力を、当該受信電力が通信に与える影響を無視できる干渉電力とす

べき場合とに大別することができる。第1閾値REF1は、受信電力が通信に与える影響を無視できる干渉電力であるか否かを判定できる値に定められている。一方、第2閾値REF2は、受信電力が所望電力であるか干渉電力であるかを判定できる値に定められている。

[0065] フィードバック部200は、スモール基地局MMNBとの間で制御に関する通信を行う要素であり、送受信特性推定部150、受信BFウェイト制御部160、および測定部180からのフィードバック情報などをスモール基地局MMNBに送信する。

また、フィードバック部200は、比較部190の比較結果に基づいて、受信電力が第1閾値REF1以上第2閾値REF2未満の場合には受信電力を干渉電力に関するフィードバック情報としてスモール基地局MMNBに送信し、受信電力が第2閾値REF2以上の場合には受信電力を所望電力に関するフィードバック情報としてスモール基地局MMNBに送信し、受信電力が第1閾値REF1未満の場合にはフィードバック情報をスモール基地局MMNBに送信しない。フィードバック部200が生成する受信電力に関するフィードバック情報は、図10に示すように受信電力が干渉電力であるか所望電力であるかを示す判定情報と、受信電力を示す受信電力情報とを含む。

すなわち、フィードバック部200は、受信電力（通信品質に関する指標）が第1閾値REF1以上第2閾値REF2未満の場合には受信電力を干渉ビームに関するフィードバック情報としてスモール基地局MMNBに送信し、受信電力が第2閾値REF2以上の場合には受信電力を所望ビームに関するフィードバック情報としてスモール基地局MMNBに送信する。この例では、受信電力に基づいてフィードバック情報の送信の有無を決定し、送信すべきフィードバック情報を生成した。しかし、その他の通信品質に関する指標に基づいて、フィードバック情報の送信の有無を決定し、送信すべきフィードバック情報を生成してもよいことは勿論である。

[0066] 記憶部210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、第1閾値REF1および第2閾値REF2）を記

憶する。

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、送受信特性推定部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、比較部190、およびフィードバック部200など）は、不図示のCPUが、記憶部210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。

[0067] 1(4). プリコーディング行列の決定

1(4)-1. ブロック対角化による受信信号の分離

第*i*番目のユーザ装置UE-*i*における N_R 行1列の受信信号ベクトルを
[数30]

$$\mathbf{r}_i$$

とすると、全ユーザ装置UE(1, ..., N_U)の受信信号ベクトル($M_U - M_I$ MOシステム全体の受信信号ベクトル)は、以下のように表される。

[数31]

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \mathbf{r}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{r}_{N_U} \end{bmatrix} &= \mathbf{H}_C [\mathbf{W}_{T1} \quad \dots \quad \mathbf{W}_{TN_U}] \text{diag}[\mathbf{P}_1 \quad \dots \quad \mathbf{P}_{N_U}] \begin{bmatrix} \mathbf{s}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{s}_{N_U} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{z}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{z}_{N_U} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \mathbf{H}_1 \mathbf{W}_{T1} & \dots & \mathbf{H}_1 \mathbf{W}_{TN_U} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{H}_{N_U} \mathbf{W}_{T1} & \dots & \mathbf{H}_{N_U} \mathbf{W}_{TN_U} \end{bmatrix} \text{diag}[\mathbf{P}_1 \quad \dots \quad \mathbf{P}_{N_U}] \begin{bmatrix} \mathbf{s}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{s}_{N_U} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{z}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{z}_{N_U} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \mathbf{H}_1 \mathbf{W}_{T1} \mathbf{P}_1 & \dots & \mathbf{H}_1 \mathbf{W}_{TN_U} \mathbf{P}_{N_U} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{H}_{N_U} \mathbf{W}_{T1} \mathbf{P}_1 & \dots & \mathbf{H}_{N_U} \mathbf{W}_{TN_U} \mathbf{P}_{N_U} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{s}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{s}_{N_U} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{z}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{z}_{N_U} \end{bmatrix} \dots (1) \end{aligned}$$

[0068] 以上の式(1)中の行列

[数32]

$$\begin{bmatrix} \mathbf{H}_1 \mathbf{W}_{T1} \mathbf{P}_1 & \dots & \mathbf{H}_1 \mathbf{W}_{TN_U} \mathbf{P}_{N_U} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{H}_{N_U} \mathbf{W}_{T1} \mathbf{P}_1 & \dots & \mathbf{H}_{N_U} \mathbf{W}_{TN_U} \mathbf{P}_{N_U} \end{bmatrix} \dots (2)$$

の非対角成分、すなわち

[数33]

$$\mathbf{H}_k \mathbf{W}_{Ti} \mathbf{P}_i \quad (k \neq i)$$

は、第 i ユーザへの信号が、第 i ユーザ以外の第 k ユーザへの信号に対して与える干渉成分に相当する。そのため、プリコーディング制御部 70 は、

[数34]

$$\mathbf{H}_k \mathbf{W}_{Ti} \mathbf{P}_i = \mathbf{0} \quad (k \neq i)$$

を充足する各プリコーディング行列

[数35]

$$\mathbf{P}_i$$

を設定することにより、以上の行列 (2) の非対角成分 (干渉成分) を全て

[数36]

$$\mathbf{0}$$

にすること (すなわち、行列 (2) をブロック対角化すること) が可能である。

[0069] 行列 (2) をブロック対角化した後の式 (1) は、以下の式で表される。

[数37]

$$\begin{bmatrix} \mathbf{r}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{r}_{N_U} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_1 \mathbf{W}_{T1} \mathbf{P}_1 & & \mathbf{0} \\ & \ddots & \\ \mathbf{0} & & \mathbf{H}_{N_U} \mathbf{W}_{TN_U} \mathbf{P}_{N_U} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{s}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{s}_{N_U} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{z}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{z}_{N_U} \end{bmatrix} \dots (3)$$

[0070] 以上の式（3）に基づくと、第*i*ユーザの受信信号ベクトルは

[数38]

$$\mathbf{r}_i = \mathbf{H}_i \mathbf{W}_{Ti} \mathbf{P}_i \mathbf{s}_i + \mathbf{z}_i$$

と表される。すなわち、プリコーディング制御部70が、行列（2）をブロック対角化する各プリコーディング行列

[数39]

$$\mathbf{P}_i$$

を設定することにより、第*i*番目のユーザ装置UE-iについて、当該ユーザ装置UE-iに対応する送信BFウェイト行列

[数40]

$$\mathbf{W}_{Ti}$$

を選択し、かつ当該ユーザ装置UE-iに対応するチャネル行列

[数41]

$$\mathbf{H}_i$$

以外のチャネル行列

[数42]

$$\mathbf{H}_k \quad (k = 1, \dots, i-1, i+1, \dots, N_U)$$

の影響（チャネル応答）をゼロにすることができる（すなわち、MU-MIMO対象の複数ユーザを直交化することができる）。結果として、第*i*ユーザについて、干渉信号成分を含まない受信信号ベクトルを得ることができる。

[0071] 1（4）-2. ブロック対角化を実現するプリコーディング行列の算定

以下、プリコーディング制御部70が、前述の行列（2）

[数43]

$$\begin{bmatrix} \mathbf{H}_1 \mathbf{W}_{T1} \mathbf{P}_1 & \cdots & \mathbf{H}_1 \mathbf{W}_{TN_U} \mathbf{P}_{N_U} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{H}_{N_U} \mathbf{W}_{T1} \mathbf{P}_1 & \cdots & \mathbf{H}_{N_U} \mathbf{W}_{TN_U} \mathbf{P}_{N_U} \end{bmatrix}$$

をブロック対角化する N_U 個のプリコーディング行列

[数44]

$$\mathbf{P}_i \quad (i = 1 \dots N_U)$$

を求める。以下、

[数45]

$$\mathbf{H}_k \mathbf{W}_{Ti} = \mathbf{H}_{k,i}$$

と表記することにより、送信BFウェイト行列とチャネル行列とを一体として扱う。なお、以下において、行列

[数46]

$$\mathbf{H}_{k,i}$$

を「等価チャネル行列」と称する場合がある。

[0072] 第 i ユーザに対応する送信BFウェイト行列を含む等価チャネル行列

[数47]

$$\mathbf{H}_{1,i}, \dots, \mathbf{H}_{i,i}, \dots, \mathbf{H}_{N_U,i}$$

のうち、第 i ユーザに対応するチャネル行列を含む等価チャネル行列

[数48]

$$\mathbf{H}_{i,i}$$

を除外した、 $N_R \cdot (N_U - 1)$ 行 L_{T_i} 列の等価チャネル行列のセット（除外

チャネル行列) を、以下のように定義する。

[数49]

$$\tilde{\mathbf{H}}'_i = [(\mathbf{H}_{1,i})^T, \dots, (\mathbf{H}_{i-1,i})^T, (\mathbf{H}_{i+1,i})^T, \dots, (\mathbf{H}_{N_U,i})^T]^T$$

[0073] 以上の除外チャネル行列は、第 i ユーザに対応する送信 B F ウェイト行列

[数50]

$$\mathbf{W}_{T_i}$$

に対して、第 i ユーザ以外のユーザに対応するチャネル行列

[数51]

$$\mathbf{H}_1, \dots, \mathbf{H}_{i-1}, \mathbf{H}_{i+1}, \dots, \mathbf{H}_{N_U}$$

をそれぞれ乗算して得られる、複数の等価チャネル行列を含むセットと表現することもできる。

[0074] 以上の除外チャネル行列に対する特異値分解により、以下の式 (4) が得られる。

[数52]

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{H}}'_i &= \tilde{\mathbf{U}}'_i \tilde{\Sigma}'_i (\tilde{\mathbf{V}}'_i)^H \\ &= \tilde{\mathbf{U}}'_i \tilde{\Sigma}'_i [\tilde{\mathbf{V}}'_i^{(1)} \quad \tilde{\mathbf{V}}'_i^{(2)}] \dots \quad (4) \end{aligned}$$

なお、 $(\cdot)^H$ は共役転置行列を示す。

[0075] 以上の式 (4) において、左特異行列

[数53]

$$\tilde{\mathbf{U}}'_i$$

は、 $N_R \cdot (N_U - 1)$ 行 $N_R \cdot (N_U - 1)$ 列のユニタリ行列である。右特異行列

[数54]

$$\tilde{\mathbf{V}}_i'$$

は、 L_{Ti} 行 L_{Ti} 列のユニタリ行列である。特異値行列

[数55]

$$\tilde{\Sigma}_i'$$

は、

[数56]

$$\tilde{\mathbf{H}}_i'(\tilde{\mathbf{H}}_i')^H$$

の特異値を対角成分として有し、非対角成分として 0 を有する $N_R \cdot (N_U - 1)$ 行 L_{Ti} 列の行列である。また、

[数57]

$$\tilde{\mathbf{V}}_i'(1)$$

は、 L_{Ti} 行 N_R 列の行列であり、

[数58]

$$\tilde{\mathbf{V}}_i'(2)$$

は、 L_{Ti} 行 $(L_{Ti} - N_R)$ 列の行列である。

[0076] [数59]

$$\tilde{\mathbf{V}}_i'(2)$$

は、除外チャネル行列

[数60]

$$\tilde{\mathbf{H}}'_i$$

の送信機側における雑音部分空間に対応した固有ベクトル（第1固有ベクトル）であり、本実施形態のブロック対角化に使用される。

[0077] ここで、第1固有ベクトル

[数61]

$$\tilde{\mathbf{V}}'_i{}^{(2)}$$

は、以下の式（5）を満たす。

[数62]

$$\mathbf{H}_{k,i} \tilde{\mathbf{V}}'_i{}^{(2)} = \mathbf{H}_k \mathbf{W}_{Ti} \tilde{\mathbf{V}}'_i{}^{(2)} \begin{cases} = \mathbf{0} & (i \neq k) \\ \neq \mathbf{0} & (i = k) \end{cases} \dots (5)$$

[0078] 次に、等価チャネル行列と第1固有ベクトルとの積

[数63]

$$\mathbf{H}_{k,i} \tilde{\mathbf{V}}'_i{}^{(2)}$$

に対する特異値分解により、以下の式（6）が得られる。

[数64]

$$\begin{aligned} \mathbf{H}_{k,i} \tilde{\mathbf{V}}'_i{}^{(2)} &= \mathbf{U}'_i \boldsymbol{\Sigma}'_i (\mathbf{V}'_i)^T \\ &= \mathbf{U}'_i \boldsymbol{\Sigma}'_i [\mathbf{V}'_i{}^{(1)} \mathbf{V}'_i{}^{(2)}]^T \dots (6) \end{aligned}$$

以上の式（5）において、左特異行列

[数65]

$$\mathbf{U}'_i$$

は、 N_R 行 N_R 列のユニタリ行列である。右特異行列

[数66]

$$\mathbf{V}'_i$$

は、 $(L_{Ti} - N_R)$ 行 $(L_{Ti} - N_R)$ 列のユニタリ行列である。特異値行列

[数67]

$$\mathbf{\Sigma}'_i$$

は、

[数68]

$$\mathbf{H}_{k,i} \tilde{\mathbf{V}}'^{(2)}_i (\mathbf{H}_{k,i} \tilde{\mathbf{V}}'^{(2)}_i)^H$$

の特異値を対角成分として有し、非対角成分として0を有する N_R 行 $(L_{Ti} - N_R)$ 列の行列である。また、

[数69]

$$\mathbf{V}'^{(1)}_i$$

は、 $(L_{Ti} - N_R)$ 行 N_R 列の行列であり、

[数70]

$$\mathbf{V}'^{(2)}_i$$

は、 $(L_{Ti} - N_R)$ 行 $(L_{Ti} - N_R - N_R)$ 列の行列である。

[0079] [数71]

$$\mathbf{V}'^{(1)}_i$$

は、

[数72]

$$\mathbf{H}_{k,i} \tilde{\mathbf{V}}_i'^{(2)}$$

の送信機側における信号部分空間に対応した固有ベクトル（第2固有ベクトル）であり、本実施形態のブロック対角化に使用される。

[0080] 以上のようにして得られた固有ベクトル（第1固有ベクトルおよび第2固有ベクトル）に基づいて、以下の式（7）のように第*i*ユーザのプリコーディング行列が求められる。

[数73]

$$\mathbf{P}_i = \tilde{\mathbf{V}}_i'^{(2)} \mathbf{V}_i'^{(1)} \dots (7)$$

また、第*i*ユーザのポストコーディング行列は以下の式（8）のように求められる。

[数74]

$$\mathbf{B}_i = (\mathbf{U}_i')^H \dots (8)$$

[0081] 前述した行列（2）の非対角成分

[数75]

$$\mathbf{H}_k \mathbf{W}_{Ti} \mathbf{P}_i (k \neq i)$$

に以上の式（7）を代入すると、

[数76]

$$\mathbf{H}_k \mathbf{W}_{Ti} \tilde{\mathbf{V}}_i'^{(2)} \mathbf{V}_i'^{(1)} (k \neq i)$$

が得られる。以上の非対角成分は、式（5）の関係に基づき

[数77]

0

となる。

[0082] 以上のように、プリコーディング制御部70が、式(7)のように各ユーザのプリコーディング行列を設定することにより、行列(2)がブロック対角化され、式(3)が成立する(すなわち、MU-MIMO対象の複数ユーザが互いに直交化される)。

[0083] 式(8)のポストコーディング行列を用いると、式(3)は更に以下のように変形できる。

[数78]

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \mathbf{B}_1 \mathbf{r}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{B}_{N_U} \mathbf{r}_{N_U} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \mathbf{B}_1 \mathbf{H}_1 \mathbf{W}_{T1} \mathbf{P}_1 & & \mathbf{0} \\ & \ddots & \\ \mathbf{0} & & \mathbf{B}_{N_U} \mathbf{H}_{N_U} \mathbf{W}_{TN_U} \mathbf{P}_{N_U} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{s}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{s}_{N_U} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{B}_1 \mathbf{z}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{B}_{N_U} \mathbf{z}_{N_U} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \boldsymbol{\Sigma}'_1 & & \mathbf{0} \\ & \ddots & \\ \mathbf{0} & & \boldsymbol{\Sigma}'_{N_U} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{s}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{s}_{N_U} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{B}_1 \mathbf{z}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{B}_{N_U} \mathbf{z}_{N_U} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

[0084] なお、以上のブロック対角化が成立するには、各ユーザ(第*i*ユーザ)が使用する送信ビーム数 L_{Ti} がシステム全体の受信アンテナ A_R 数 $N_R \cdot N_U$ 以上である必要がある($L_{Ti} \geq N_R \cdot N_U$)。また、前述のように、第*i*ユーザの送信ビーム数が $L_{Ti} = L_T / N_U$ で表される場合には、システム全体の送信ビーム数 L_T は $N_R \cdot N_U^2$ 以上である必要がある($L_T \geq N_R \cdot N_U^2$)。

[0085] 1(4)-3. ウェイト行列の決定

以上のように、プリコーディング制御部70が、 N_U 個のプリコーディング行列

[数79]

$$\mathbf{P}_i \quad (i = 1 \dots N_U)$$

を決定することにより、MU-MIMOシステムにおける全体チャネル行列
[数80]

$$\mathbf{H}_C$$

のブロック対角化が実現される。換言すると、プリコーディング行列
[数81]

$$\mathbf{P}_i$$

が前述のように決定される限りにおいて、送信BFウェイト行列
[数82]

$$\mathbf{W}_{Ti}$$

および受信BFウェイト行列
[数83]

$$\mathbf{W}_{Ri}$$

は任意に決定され得る。

[0086] 本実施形態において、送信BFウェイト制御部80は、第*i*ユーザの送信
BFウェイト行列
[数84]

$$\mathbf{W}_{Ti}$$

を、例えば、フィードバック情報に基づいて第*i*ユーザにおける受信電力を
最大化させる値に決定してもよいし、第*i*ユーザの信号対干渉比 (Signal-to-
Interference Ratio) を最大化させる値に決定してもよいし、システム全体
のチャネル容量 (キャパシティ) を最大化させる値に決定してもよい。上述
したようにフィードバック情報には、受信電力が所望電力であるか干渉電力
であるかを示す判定情報が含まれているので、送信BFウェイト制御部80

は、受信電力が所望電力であるか干渉電力であるかを判断する必要がなくなる。よって、送信BFウェイト制御部80の処理負荷を軽減することが可能となる。

[0087] 送信BFウェイト制御部80は、第*i*ユーザの送信BFウェイト行列
[数85]

$$\mathbf{W}_{Ti}$$

を、可変移相器PSおよび振幅調整器AAが施した処理によって生じた位相および振幅の変化を示すステアリングベクトルを用いて生成してもよいし、DFT (Discrete Fourier Transform) プリコーディングに基づいて生成してもよいし、バトラーマトリックスを用いて、複数ユーザ間が互いに直交化された送信ビームを生成してもよい。

[0088] また、本実施形態において、第*i*ユーザの受信BFウェイト行列
[数86]

$$\mathbf{W}_{Ri}$$

は、 N_R 行 N_R 列の単位行列として決定される。すなわち、受信側ではBFウェイトが掛からない構成が採用される。

[0089] 1 (4) - 3 - 1. 送信BFウェイト行列の決定の具体例

第*i*ユーザについて、ステアリングベクトルを用いて送信BFウェイト行列を決定する構成を、以下に具体的に例示する。前述の通り、送信BFウェイト行列は

[数87]

$$\mathbf{W}_{Ti} = [\mathbf{w}_{Ti,1} \quad \mathbf{w}_{Ti,2} \quad \dots \quad \mathbf{w}_{Ti,L_{Ti}}]$$

と表現される。第*l*番目の送信ビームに対応する送信BFウェイトベクトル
[数88]

$$\mathbf{w}_{Ti,l}$$

の候補は、候補により異なる変数である Φ （水平角度）および θ （垂直角度）を有する以下のステアリングベクトル

[数89]

$$\mathbf{w}(\Phi, \theta) = \frac{1}{\sqrt{N_T}} [\exp\{-jW_{0,0}(\Phi, \theta)\} \dots \exp\{-jW_{N_{Tx}-1,0}(\Phi, \theta)\}, \\ \dots \exp\{-jW_{0,N_{Tz}-1}(\Phi, \theta)\} \dots \exp\{-jW_{N_{Tx}-1,N_{Tz}-1}(\Phi, \theta)\}]^T$$

によって表現される。ここで、式中の

[数90]

$$W_{n_x, n_z}(\Phi, \theta)$$

は、複数の送信アンテナ A_T が配置された一様平面アレーの横 n_x 番目（ $n_x = 0 \sim N_{Tx} - 1$ ）、縦 n_z 番目（ $n_z = 0 \sim N_{Tz} - 1$ ）のアンテナ素子における位相回転量であり、

[数91]

$$W_{n_x, n_z}(\Phi, \theta) = \frac{2\pi}{\lambda} (n_x \Delta x \cos \Phi \sin \theta + n_z \Delta z \cos \theta)$$

と表現される。 λ は、搬送波の波長を示す。

[0090] 図11は、送信BFウェイト行列の決定処理の動作フローである。スモール基地局MMNBが、第 l 番目の送信ビームに対応する送信BFウェイトベクトル

[数92]

$$\mathbf{W}_{Ti,l}$$

の候補（すなわち、ステアリングベクトルの変数である Φ および θ の組合せ）を選択し（S10）、相互に直交する L_{Ti} 個のストリームの参照信号を送信する（S20）。この処理により、一つの候補ビームがスモール基地局MMNBからユーザ装置UEに送信される。候補ビームを受信したユーザ装置UEは、

測定部180を用いて送信された参照信号の受信電力を測定する(S30)。

[0091] この後、ユーザ装置UEは、フィードバック処理を実行する(S40: YES)。図12はフィードバック処理の内容を示すフローチャートである。まず、比較部190は受信電力が第1閾値REF1以上であるか否かを判定する(S41)。受信電力が第1閾値REF1未満である場合、判定条件は否定され(S41: NO)、フィードバック部200は、フェードバック情報をスモール基地局MMNBにフィードバックせずに処理を終了する(S42)。

[0092] 一方、受信電力が第1閾値REF1以上である場合、比較部190は受信電力が第2閾値REF2以上であるか否かを判定する(S42)。受信電力が第2閾値REF2未満である場合、判定条件は否定され(S42: NO)、フィードバック部200は、受信電力が干渉電力であるとしてスモール基地局MMNBにフィードバックする(S44)。一方、受信電力が第2閾値REF2以上である場合、判定条件は肯定され(S43: YES)、フィードバック部200は、受信電力が所望電力であるとしてスモール基地局MMNBにフィードバックする(S45)。

[0093] 図13は、ある候補ビームを送信した場合の受信電力のフィードバックについて具体例を示す説明図である。この例では、スモール基地局MMNBのMMセルCmmに、ユーザ装置UE-1、UE-2、およびUE-3が含まれるものとする。スモール基地局MMNBから所定方向の候補ビームが送信されると、ユーザ装置UE-1~UE-3の各々において受信電力の測定が行われる。ここで、ユーザ装置UE-1において測定された受信電力がW1、ユーザ装置UE-2において測定された受信電力がW2、ユーザ装置UE-3において測定された受信電力がW3であったとする。この例では、 $W1 < REF1 < W2 < REF2 < W3$ の関係がある。

[0094] この場合、ユーザ装置UE-1において測定された受信電力W1は第1閾値REF1未満であるので、ユーザ装置UE-1からはフィードバック情報がスモール基地局MMNBにフィードバックされない。また、ユーザ装置UE-2において測定された受信電力W2は第1閾値REF1以上第2閾値REF2未満であるので、ユーザ装置UE-2からは受信電力W2が干渉電力としてスモール基地局M

MNBにフィードバックされる。さらに、ユーザ装置UE-3において測定された受信電力 W_3 は第2閾値REF2以上であるので、ユーザ装置UE-3からは受信電力 W_3 が所望電力としてスモール基地局MMNBにフィードバックされる。

[0095] 上述したように第1閾値REF1は、受信電力が通信に与える影響を無視できる干渉電力であるか否かを判定できる値に定められている。したがって、受信電力が第1閾値REF1未満の場合にフィードバック情報をスモール基地局MMNBに送信しなくても、BFウェイトを決定する際に問題とならない。MU-MIMOでは、複数のユーザ装置UEからスモール基地局MMNBへフィードバックが必要となる。しかし、フィードバック情報を送信しないことによってフィードバック情報量を削減することができる。

[0096] 説明を図11に戻す。スモール基地局MMNBは、全てのステアリングベクトルの候補の選択が終了するまで、以上のステップを繰り返す(S50:N0)。送信BFウェイトベクトルの候補（すなわち、 ϕ および θ の組合せ）は、所定の差分値 $\Delta\phi$ および $\Delta\theta$ を単位として偏移しながら選択されると好適である。この処理により、図14に示すように、水平方向および垂直方向に偏移した複数の候補ビームが、ユーザ装置UE-1~UE- N_U に送信される。

[0097] そして、全てのステアリングベクトルの候補の選択が終了すると(S50:YES)、スモール基地局MMNBは、ユーザ装置UEから送信されてフィードバックされた送信BFウェイトベクトルの候補の各々に対応する参照信号の受信電力に基づいて、第1番目の送信ビームに対応する最適な送信BFウェイトベクトル

[数93]

$$W_{Ti,l}$$

の候補（すなわち、 ϕ および θ の組合せ）を一定の基準に従って決定する(S60)。例えば、システム全体のキャパシティを最大とする、あるいは、特定のユーザ装置UEのスループットを高めるなどの基準を採用してもよい。

[0098] 以上の動作が第 i ユーザの送信ビーム数である L_{Ti} 回にわたって繰り返されることにより (S70 : N0) 、第 i ユーザの送信BFウェイト行列

[数94]

$$\mathbf{W}_{Ti}$$

が決定される。

[0099] 1 (5) . プリコーディング行列およびポストコーディング行列の決定処理の動作フロー

図15は、本実施形態のプリコーディング行列およびポストコーディング行列の決定処理を示す動作フローである。なお、以下の動作フローにおいて、各ユーザの送信BFウェイト行列

[数95]

$$\mathbf{W}_{Ti} \quad (i = 1 \dots N_U)$$

および受信BFウェイト行列

[数96]

$$\mathbf{W}_{Ri} \quad (i = 1 \dots N_U)$$

は、例えば前述の手法（「1 (3) - 3. ウェイト行列の決定」に記載の手法）により、予め決定されているものとする。前述の通り、本実施形態の受信BFウェイト行列

[数97]

$$\mathbf{W}_{Ri}$$

は単位行列である。

[0100] スモール基地局MMNBの送信BFウェイト制御部80は、送信ビームフォーミング部54に、参照信号RSに対して、全ユーザの送信BFウェイト

行列

[数98]

$$\mathbf{W}_{T1}, \dots, \mathbf{W}_{TN_U}$$

を用いたアナログ送信ビームフォーミングを実行させ、 N_T 本の送信アンテナ A_T から送信させる (S100)。

[0101] 送信アンテナ A_T から送信された参照信号 RS は、各々のユーザ装置 UE ($UE-1, \dots, UE-N_U$) に向かう空間 (伝搬路) を伝搬することにより、各々のユーザ装置 UE に対応するチャネル行列

[数99]

$$\mathbf{H}_1, \dots, \mathbf{H}_{N_U}$$

が乗算された参照信号 RS となって、各々のユーザ装置 UE ($UE-1, \dots, UE-N_U$) に到達する。

[0102] 第 i 番目のユーザ装置 $UE-i$ の受信 BF ウェイト制御部 160 は、受信ビームフォーミング部 112 に、受信アンテナ A_R に受信された参照信号 RS に対して、単位行列である受信 BF ウェイト行列

[数100]

$$\mathbf{W}_{Ri}$$

を用いてアナログ受信ビームフォーミングを実行させる (すなわち、受信ウェイトを掛けない)。

[0103] 受信ビームフォーミング部 112 に受信された参照信号 RS は、ダウンコンバート部 114 と AD 変換部 120 とを経て送受信特性推定部 150 に入力される。送受信特性推定部 150 は、入力された参照信号 RS を用いて、等価チャネル行列

[数101]

$$\mathbf{H}_{i,1}, \dots, \mathbf{H}_{i,i}, \dots, \mathbf{H}_{i,N_U} (= \mathbf{H}_i \mathbf{W}_{T1}, \dots, \mathbf{H}_i \mathbf{W}_{Ti}, \dots, \mathbf{H}_i \mathbf{W}_{TN_U})$$

を推定する (S200)。以上の等価チャネル行列は、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推定が可能である。推定された等価チャネル行列は、フィードバック部200を介して第*i*ユーザ装置UE-*i*からフィードバックされ (S300)、スモール基地局MMNBに受信される。

ここで、第*i*ユーザのチャネル行列のサイズは、 $N_T \times N_R$ である。これに対し、第*i*ユーザの等価チャネル行列のサイズは $L_{Ti} \times N_R$ であるため、チャネル行列をフィードバックするよりもフィードバック情報の情報量を削減することができる。この結果、フィードバック情報の送信に伴うオーバーヘッドを削減し、データ伝送のスループットを向上させることができる。

[0104] 全てのユーザ装置UE (UE-1, ..., UE- N_U) が以上のステップS200およびS300を実行する結果として、スモール基地局MMNBが、等価チャネル行列の全ての組合せ

[数102]

$$\begin{bmatrix} \mathbf{H}_{1,1} & \dots & \mathbf{H}_{1,N_U} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{H}_{N_U,1} & \dots & \mathbf{H}_{N_U,N_U} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_1 \mathbf{W}_{T1} & \dots & \mathbf{H}_1 \mathbf{W}_{TN_U} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{H}_{N_U} \mathbf{W}_{T1} & \dots & \mathbf{H}_{N_U} \mathbf{W}_{TN_U} \end{bmatrix}$$

を取得する。

[0105] スモール基地局MMNBのプリコーディング制御部70は、取得した等価チャネル行列の全ての組合せを用いて、全ユーザの除外チャネル行列

[数103]

$$\tilde{\mathbf{H}}'_1, \dots, \tilde{\mathbf{H}}'_i, \dots, \tilde{\mathbf{H}}'_{N_U}$$

を生成し、前述の手法（「1（3）－2. ブロック対角化を実現するプリコーディング行列の算定」にて説明される手法）に従って、 N_U 個のプリコーディング行列

[数104]

$$\mathbf{P}_i \quad (i = 1 \dots N_U)$$

およびポストコーディング行列

[数105]

$$\mathbf{B}_i \quad (i = 1 \dots N_U)$$

を決定する（S400）。

[0106] なお、本例においては、プリコーディング行列およびポストコーディング行列の決定が、スモール基地局MMNB（プリコーディング制御部70）にて実行される。決定されたポストコーディング行列は、それぞれ、フィードバック部60を介して、対応するユーザ装置UEに通知される。

[0107] 以上の本実施形態の構成によれば、固定ビームフォーミングが採用されるMU-MIMO環境において、第*i*ユーザの送信BFウェイト行列

[数106]

$$\mathbf{W}_{Ti}$$

に第*i*ユーザ以外のユーザのチャネル行列

[数107]

$$\mathbf{H}_1, \dots, \mathbf{H}_{i-1}, \mathbf{H}_{i+1}, \dots, \mathbf{H}_{N_U}$$

をそれぞれ乗算した等価チャネル行列

[数108]

$$\mathbf{H}_k \mathbf{W}_{Ti} = \mathbf{H}_{k,i} \quad (k \neq i)$$

のセットである除外チャネル行列

[数109]

$$\tilde{\mathbf{H}}'_i = [(\mathbf{H}_{1,i})^T, \dots, (\mathbf{H}_{i-1,i})^T, (\mathbf{H}_{i+1,i})^T, \dots, (\mathbf{H}_{N_U,i})^T]^T$$

に基づいて決定されたプリコーディング行列

[数110]

$$\mathbf{P}_i \quad (i = 1 \dots N_U)$$

を用いることにより、全ユーザ ($UE - 1, \dots, UE - N_U$) に対する等価チャネル行列を成分とする行列

[数111]

$$\begin{bmatrix} \mathbf{H}_1 \mathbf{W}_{T1} & \dots & \mathbf{H}_1 \mathbf{W}_{TN_U} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{H}_{N_U} \mathbf{W}_{T1} & \dots & \mathbf{H}_{N_U} \mathbf{W}_{TN_U} \end{bmatrix}$$

がブロック対角化される（干渉成分に相当する非対角成分が0になる）。結果として、MU-MIMO対象ユーザ間の干渉制御が実現される。

また、各ユーザ装置UEが受信電力をフィードバックするか否かを判断したので、スモール基地局へ送信するフィードバック情報の情報量を削減することができる。しかも、フィードバック情報には受信電力が干渉電力であるか所望電力であるかを示す判定情報が含まれているので、スモール基地局MNBでは、送信BFウェイトを決定するための処理負荷を軽減することが可能となる。

[0108] 2. 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。

[0109] 2 (1) . 変形例 1

以上の実施形態においては、受信電力をユーザ装置UEからスモール基地局MMNBへフィードバックした。しかし、本発明はこれに限定されない。例えば、フィードバックする情報は受信電力の値に限らない。例えば、ユーザ装置UEにおいて受信電力を量子化し、そのインデックスのみをフィードバックすることでフィードバック情報の情報量を削減してもよい。具体的には、受信電力を量子化して得た量子化受信電力を示す量子化受信電力情報と、受信電力が干渉電力であるか所望電力であるかを示す判定情報を含むフィードバック情報をユーザ装置UEが生成し、これをユーザ装置UEがスモール基地局MMNBへフィードバックしてもよい。

[0110] 具体的には、図16に示すように、第1閾値REF1以上の受信電力を9段階で量子化してもよい。フィードバックする否かを判定するための第1閾値REF1との比較の対象となるのは、受信電力であってもよいし、あるいは量子化受信電力であってもよい。また、受信電力が所望電力であるか干渉電力であるかを判定するための第2閾値REF2との比較の対象となるのは、受信電力であってもよいし、あるいは量子化受信電力であってもよい。

同図に示す例では、受信電力がW3の場合、量子化受信電力は「7」となる。量子化受信電力「7」は第2閾値REF2以上であるので、所望電力として量子化受信電力「7」がフィードバックされる。

この変形例によれば、フィードバック情報の情報量が削減され、システム全体のオーバーヘッドを低減することができる。

[0111] 2 (2) . 変形例 2

上述した実施形態では、ユーザ装置UEは無線通信が確立している一つのスモール基地局MMNBとの間の通信において干渉電力を問題とした。このほかに、ユーザ装置UEは他のスモール基地局MMNBからの送信ビームによって干渉を受ける場合がある。

そこで、ユーザ装置UEは、以下のようにフィードバック情報を生成し、無線通信が確立しているスモール基地局MMNBへフィードバックしてもよ

い。なお、以下の説明では、無線通信が確立しているスモール基地局MMNBを第1スモール基地局MMNB1と称し、他のスモール基地局MMNBを第2スモール基地局MMNB2と称する。例えば、図17に示すように第1スモール基地局MMNB1のセルCmm1と第2スモール基地局MMNB2のセルCmm2との境界付近にユーザ装置UE-3が位置しているとする。この場合、ユーザ装置UE-3は、第1スモール基地局MMNB1から所望ビームB1を受信する一方、第2スモール基地局MMNB2から干渉ビームB2を受信する。

[0112] まず、第1スモール基地局MMNB1が複数の候補ビームを送信してビームサーチを実行する前に、測定部180は、第2スモール基地局MMNB2から送信される送信ビーム（この例では、干渉ビームB2）について、他セル干渉電力を測定する。

[0113] 次に、比較部190は、第3閾値REF3と他セル干渉電力とを比較し、比較結果をフィードバック部200に出力する。フィードバック部200は、他セル干渉電力が第3閾値REF3以上である場合に、第2スモール基地局MMNB2からの干渉があることを示す他セル干渉情報を含むフィードバック情報を第1スモール基地局MMNB1に送信する。一方、他セル干渉電力が第3閾値REF3未満である場合、フィードバック部200はフィードバック情報を第1スモール基地局MMNB1に送信しない。フィードバック情報を第1スモール基地局MMNB1に送信しない場合のユーザ装置UEの動作は、上述した実施形態と同様である。すなわち、ユーザ装置UEは、第1スモール基地局MMNB1から複数の候補ビームが送信されると、受信電力に基づいてフィードバック情報を送信するか否かを判定し、フィードバックする場合には、受信電力が干渉電力であるか所望電力であるかを示す判定情報を含むフィードバック情報を送信する。

[0114] ここで、他セル干渉情報は、第2スモール基地局MMNB2を識別するための情報と、干渉の原因となる第2スモール基地局MMNB2からの送信ビーム（この例では、干渉ビームB2）を識別するための情報とを含むことが

好ましい。さらに、フィードバック情報は、他セル干渉電力を示す他セル干渉電力情報を含むことが好ましい。

[0115] このフィードバック情報を受信した第1スモール基地局MMNB1は、第2スモール基地局MMNB2と協調してセル間干渉制御を実行することが好ましい。第3閾値REF3は、第2スモール基地局MMNB2からの送信ビームを通信品質に与える影響を無視できるか否かを判定できる値に設定されており、記憶部210に記憶されている。なお、第3閾値REF3は、上述した第1閾値REF1および第2閾値REF2と無関係に設定されてもよい。例えば、第3閾値REF3は、第1閾値REF1以上に設定されてもよい。

[0116] また、ユーザ装置UEの他の態様として、まず、第1スモール基地局MMNB1が複数の候補ビームを送信してビームサーチを実行する前に、測定部180が、第2スモール基地局MMNB2から送信される送信ビームについて、他セル干渉電力を測定する構成としてもよい。

[0117] 次に、比較部190は、第3閾値REF3と他セル干渉電力とを比較し、比較結果をフィードバック部200に出力する。フィードバック部200は、他セル干渉電力が第3閾値REF3以上である場合に、第1スモール基地局MMNB1から複数の候補ビームについて第1スモール基地局MMNB1へフィードバックする際に、フィードバック情報を変更する。具体的には、フィードバック部200は、受信電力情報の代わりに、受信電力を他セル干渉電力に応じて補正した補正受信電力に関する補正受信電力情報を含むフィードバック情報を生成し、第1スモール基地局MMNB1へ送信する。ここで、補正受信電力情報は補正受信電力そのものであってもよいし、補正受信電力を量子化した情報であってもよい。

所望電力としてフィードバックする受信電力は、他セル干渉電力が大きくなるほど、小さい電力に補正されることが好ましい。このように補正することによって、第1スモール基地局MMNB1では、送信BFウェイトが調整され、無線品質が維持される。この処理によって、他セル干渉電力があっても当該ユーザ装置UEに対する所望ビームの利得を大きくすることが可能と

なる。

[0118] 2 (3) . 変形例 3

上述した実施形態において、第 1 閾値REF1および第 2 閾値REF2は記憶部 210 に記憶された。しかし、これらは、ユーザ装置UEごとに任意に設定されてもよい。また、この設定は、スモール基地局MMNBからの指定で設定してもよいし、あるいは、ユーザ装置UEにおいて独自に設定してもよい。

図 18 に受信電力と確率密度との関係の一例を示す。ここで、第 2 閾値REF2を下げれば、複数の候補ビームのうち所望ビームとしてフィードバックするビーム数が増加する。このため、BF利得を大きくすることができる。一方、第 2 閾値REF2を上げれば複数の候補ビームのうち干渉ビームとしてフィードバックするビーム数が増加する。このため、スモール基地局MMNBにおける干渉制御を強化することができる。

[0119] ここで、ユーザ装置UEは、所望電力に関するフィードバック情報の対象となる候補ビームの数が所望の通信速度に応じた数以上となる値に、第 2 閾値REF2を設定する設定部を備えてもよい。この構成により、ユーザ装置UEは、所望の通信速度に応じてBF利得を制御することができる。スモール基地局MMNBにおける処理負荷を軽減することができる。

また、ユーザ装置UEは、平均的な受信電力に応じて、第 1 閾値REF1および第 2 閾値REF2の少なくとも一方を設定する設定部を備えてもよい。

さらに、ユーザ装置UEは、受信電力の分布に応じて、干渉を制御するために第 1 閾値REF1および第 2 閾値REF2の少なくとも一方を設定する設定部を備えてもよい。

[0120] 2 (4) . 変形例 4

上述した実施形態では、送受信特性推定部 150 は、入力された参照信号RSを用いて、等価チャネル行列を推定する。しかしながら、本発明はこれに限定されない。例えば、等価チャネル行列の代わりにチャネル行列を推定した後、送信BFウェイト行列を決定してもよい。この場合、推定したチャネル行列はユーザ装置UEからスモール基地局MMNBにフィードバックさ

れる。この際、ユーザ装置UEは、チャンネル行列の要素を量子化してフィードバックしてもよい。また、上述した実施形態では、ユーザ装置UEは、等価チャンネル行列の要素をフィードバックする。この際、等価チャンネル行列の要素を量子化してフィードバックしてもよい。チャンネル行列又は等価チャンネル行列の量子化により、フィードバック情報の情報量を削減することができる。

[0121] 2 (5) . 変形例5

上述した実施形態では、ある1つのユーザ（第*i*ユーザ）の送信ビーム数 L_{Ti} は固定的に設定される（例えば、 $L_{Ti} = L_T / N_U$ ）。しかしながら、送信ビーム数 L_{Ti} が動的に設定されてもよい。例えば、送信ビーム数 L_{Ti} は、第*i*ユーザの通信速度を一定値以上にする数に設定されてもよいし、システム全体の通信速度をより向上させる数（好適には、通信速度を最大化する数）に設定されてもよい。また、送信ビーム数 L_{Ti} は、送信ビーム数 L_{Ti} が固定的に設定される場合と比較して通信速度をより向上させる数に設定されてもよいし、第*i*ユーザのキャパシティをより大きくする数（好適には、キャパシティを最大化する数）に設定されてもよい。例えば、MCS (Modulation and Coding Scheme) の値に応じて送信ビーム数 L_{Ti} が設定されると好適である。

[0122] 以上の構成によれば、ユーザごとに要求される品質の差異に対して柔軟に対応することが可能である。また、システム全体の通信速度の向上を図ると共に、ユーザ間の通信速度の公平性を確保することが可能である。

[0123] 2 (6) . 変形例6

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。

[0124] 2 (7) . 変形例7

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、 (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。いずれの構成によっても、以上の実施形態のユーザ多重が実現される。

[0125] 2 (8) . 変形例8

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および/またはスモール基地局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。

また、ユーザ装置UEはスモール基地局MMNBとの無線通信だけでなく、単なる基地局との間の無線通信に上述した通信を適用してもよいことは勿論である。

[0126] 2 (9) . 変形例9

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、ハードウェアが実行してもよいし、例えばFPGA (Field Programmable Gate Array)、またはDSP (Digital Signal Processor) 等のプログラマブルロジックデバイスが実行してもよい。

符号の説明

[0127] 1……無線通信システム、MMNB……スモール基地局、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……変換部、50……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、60,200……フィードバック部、70……プリコーディング制御部、80……ウェイト制御部、90……記憶部、UE……ユーザ装置、110……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……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……送受信特性推定部、160……ウェイト制御部、170……ポストコーディング制御部、180……測定部、190……比較部、200……フィードバック部、210……記憶部、AA……振幅調整器、AC_R……アナログ信号処理回路、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_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、MP……乗算器、MeNB……マクロ基地局、PC_R……処理回路、PC_T……処理回路、PS……可変移相器。

請求の範囲

- [請求項1] MU-MIMO通信方式を用いて無線通信を実行する基地局から送信され、送信ビームフォーミングのための複数の候補ビームを受信するユーザ装置であって、
- 前記複数の候補ビームの各々について、通信品質に関する指標を測定する測定部と、
- 第1閾値および当該第1閾値よりも大きい第2閾値の各々と前記指標とを比較する比較部と、
- 前記比較部の比較結果に基づいて、前記指標が前記第1閾値以上前記第2閾値未満の場合には前記指標を干渉ビームに関するフィードバック情報として前記基地局に送信し、前記指標が前記第2閾値以上の場合には前記指標を所望ビームに関するフィードバック情報として前記基地局に送信し、前記指標が前記第1閾値未満の場合にはフィードバック情報を前記基地局に送信しないフィードバック部と、
- を備えるユーザ装置。
- [請求項2] 前記通信品質に関する指標は受信電力であり、
- 前記測定部は、前記複数の候補ビームの各々について、受信電力を測定し、
- 前記比較部は、前記第1閾値および前記第2閾値の各々と前記受信電力とを比較し、
- 前記フィードバック部は、前記比較部の比較結果に基づいて、前記受信電力が前記第1閾値以上前記第2閾値未満の場合には前記受信電力を干渉電力に関するフィードバック情報として前記基地局に送信し、前記受信電力が前記第2閾値以上の場合には前記受信電力を所望電力に関するフィードバック情報として前記基地局に送信し、前記受信電力が前記第1閾値未満の場合にはフィードバック情報を前記基地局に送信しない、
- 請求項1に記載のユーザ装置。

- [請求項3] 前記フィードバック部は、前記受信電力が干渉電力であるか所望電力であるかを示す判定情報と、前記受信電力を示す受信電力情報とを含む、前記フィードバック情報を生成する請求項2に記載のユーザ装置。
- [請求項4] 前記フィードバック部は、前記受信電力が干渉電力であるか所望電力であるかを示す判定情報と、前記受信電力を量子化した量子化受信電力情報とを含む、前記フィードバック情報を生成する請求項2に記載のユーザ装置。
- [請求項5] 前記測定部は、前記基地局が前記複数の候補ビームを送信する前に、当該基地局と異なる他の基地局から送信される送信ビームについて、他セル干渉電力を測定し、
前記比較部は、第3 閾値と前記他セル干渉電力とを比較し、
前記フィードバック部は、前記他セル干渉電力が前記第3 閾値以上である場合に、前記他の基地局からの干渉があることを示す他セル干渉情報を含む前記フィードバック情報を前記基地局に送信する、
請求項2 乃至4 のうちいずれか1 項に記載のユーザ装置。
- [請求項6] 前記測定部は、前記基地局が前記複数の候補ビームを送信する前に、当該基地局と異なる他の基地局から送信される送信ビームについて、他セル干渉電力を測定し、
前記比較部は、第3 閾値と前記他セル干渉電力とを比較し、
前記フィードバック部は、前記他セル干渉電力が前記第3 閾値以上である場合には、前記受信電力情報の代わりに、前記受信電力を前記他セル干渉電力に応じて補正した補正受信電力に関する補正受信電力情報を含む前記フィードバック情報を前記基地局に送信する、
請求項2 に記載のユーザ装置。
- [請求項7] 前記所望電力に関するフィードバック情報の対象となる候補ビームの数が所望の通信速度に応じた数以上となる値に、前記第2 閾値を設定する設定部を備える請求項1 乃至6 のうちいずれか1 項に記載のユ

ーザ装置。

[請求項8]

MU-MIMO通信方式を用いて、複数のユーザ装置と無線通信を実行可能な基地局であって、

前記複数のユーザ装置の各々は、請求項1乃至6のうちいずれか1項に記載のユーザ装置であり、

前記基地局は、

M (Mは2以上の整数)本のストリームに対して、プリコーディングウェイト行列を用いてデジタルプリコーディングを施すプリコーディング部と、

前記デジタルプリコーディングが施された後の信号に対して、送信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アナログ送信ビームフォーミングまたは時間領域のデジタル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とともに、前記複数のユーザ装置の各々から送信された前記フィードバック情報を受信する複数のアンテナと、

前記送信ビームフォーミング部を制御する送信ビームフォーミングウェイト制御部と、

を備え、

前記送信ビームフォーミングウェイト制御部は、前記複数の候補ビームの各々に対応する送信ビームフォーミングウェイト行列を選択して、選択した送信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、前記送信ビームフォーミング部に実行させ、前記複数のユーザ装置の各々に対応する前記フィードバック情報に基づいて、M本のストリームを送信するための送信ビームフォーミングウェイト行列を決定し、決定した送信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、前記送信ビームフォーミング部

に実行させる、

基地局。

[請求項9]

前記送信ビームフォーミング部は、前記決定された送信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参照信号に施して出力し、

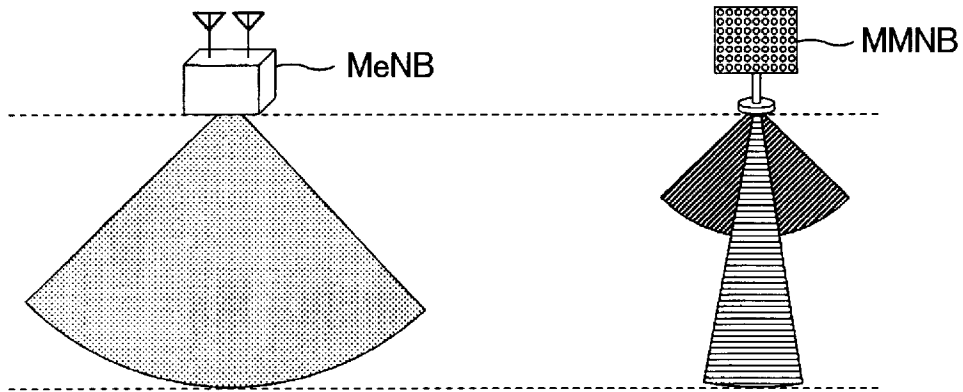
前記複数のユーザ装置の各々から、前記参照信号を用いて生成された、前記送信ビームフォーミングウェイト行列に対して伝送路の伝搬特性を示すチャンネル行列を乗算した等価チャンネル行列を含む等価チャンネル情報を受信すると、前記等価チャンネル行列に基づいて

前記プリコーディングウェイト行列を得るプリコーディング制御部と

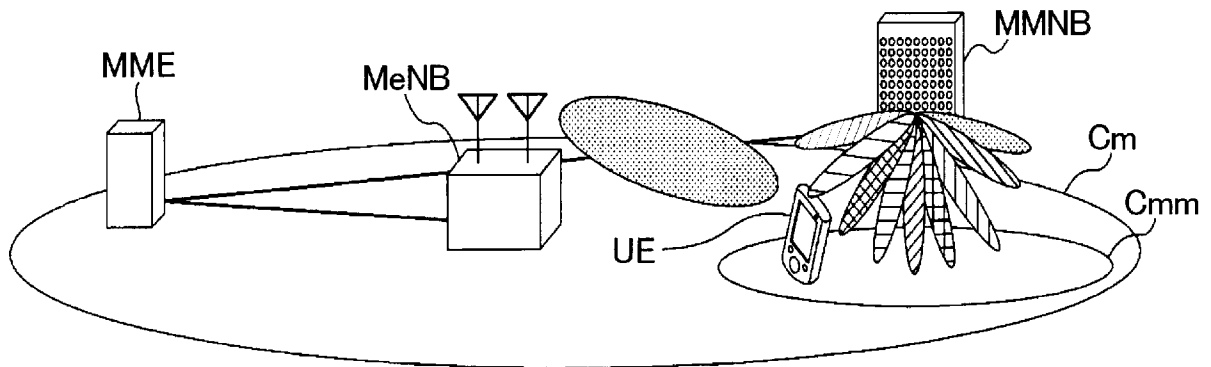
、

を備える請求項8に記載の基地局。

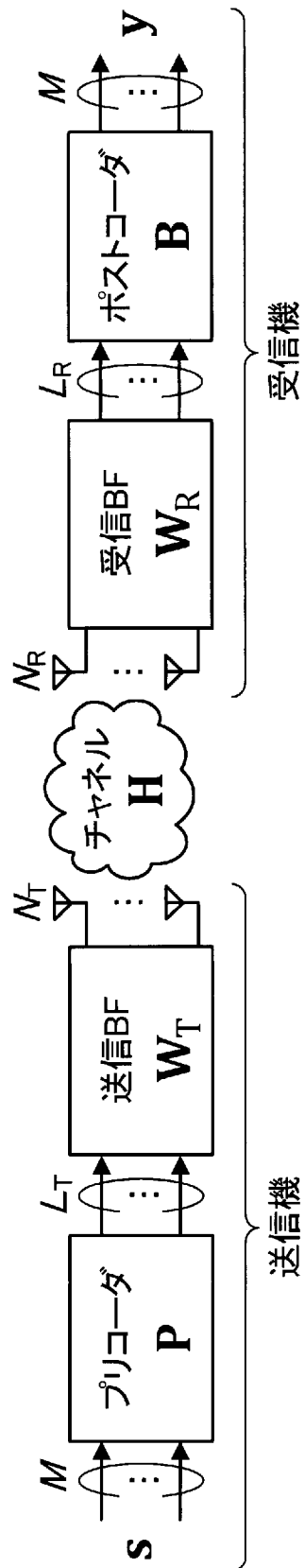
[図1]



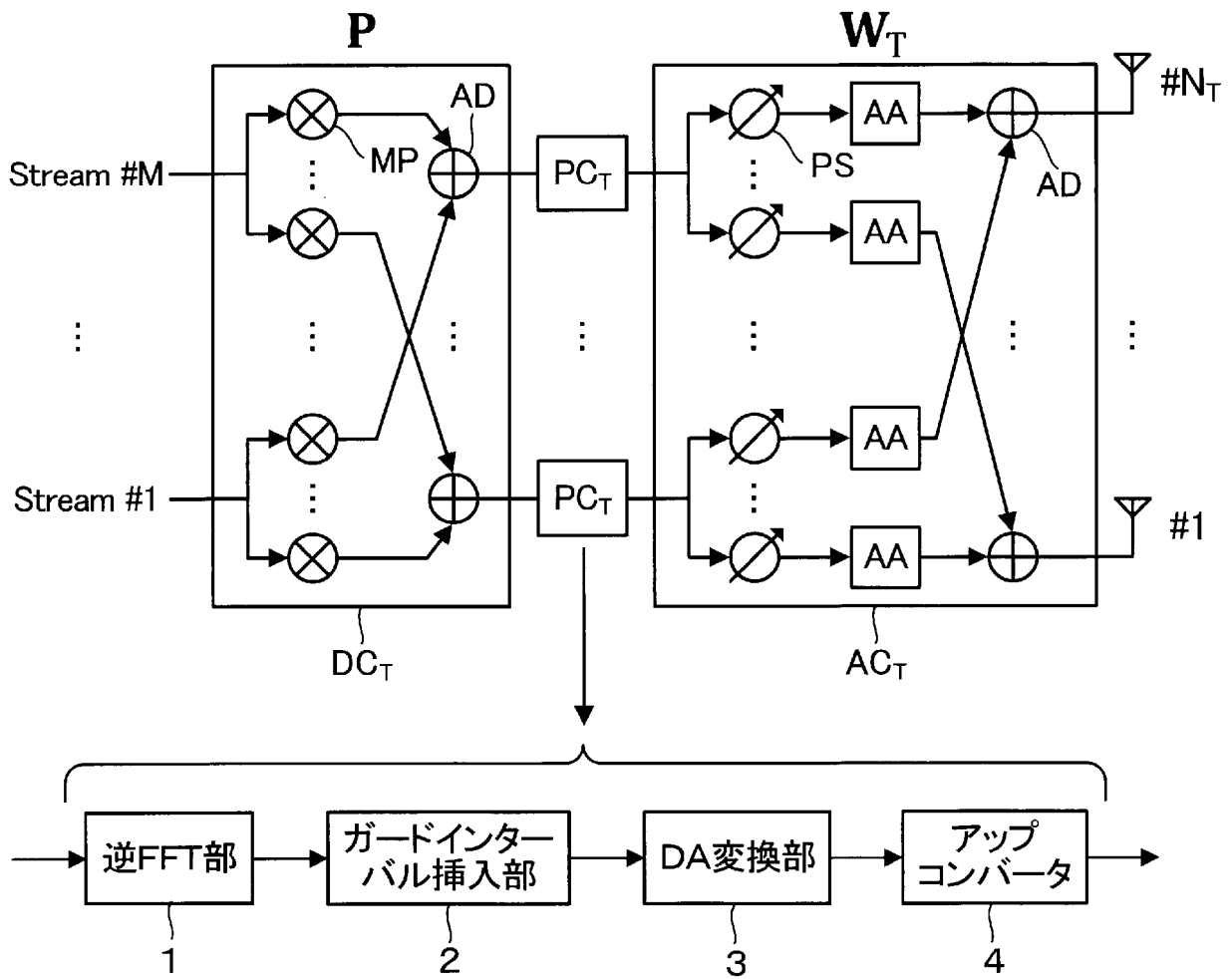
[図2]



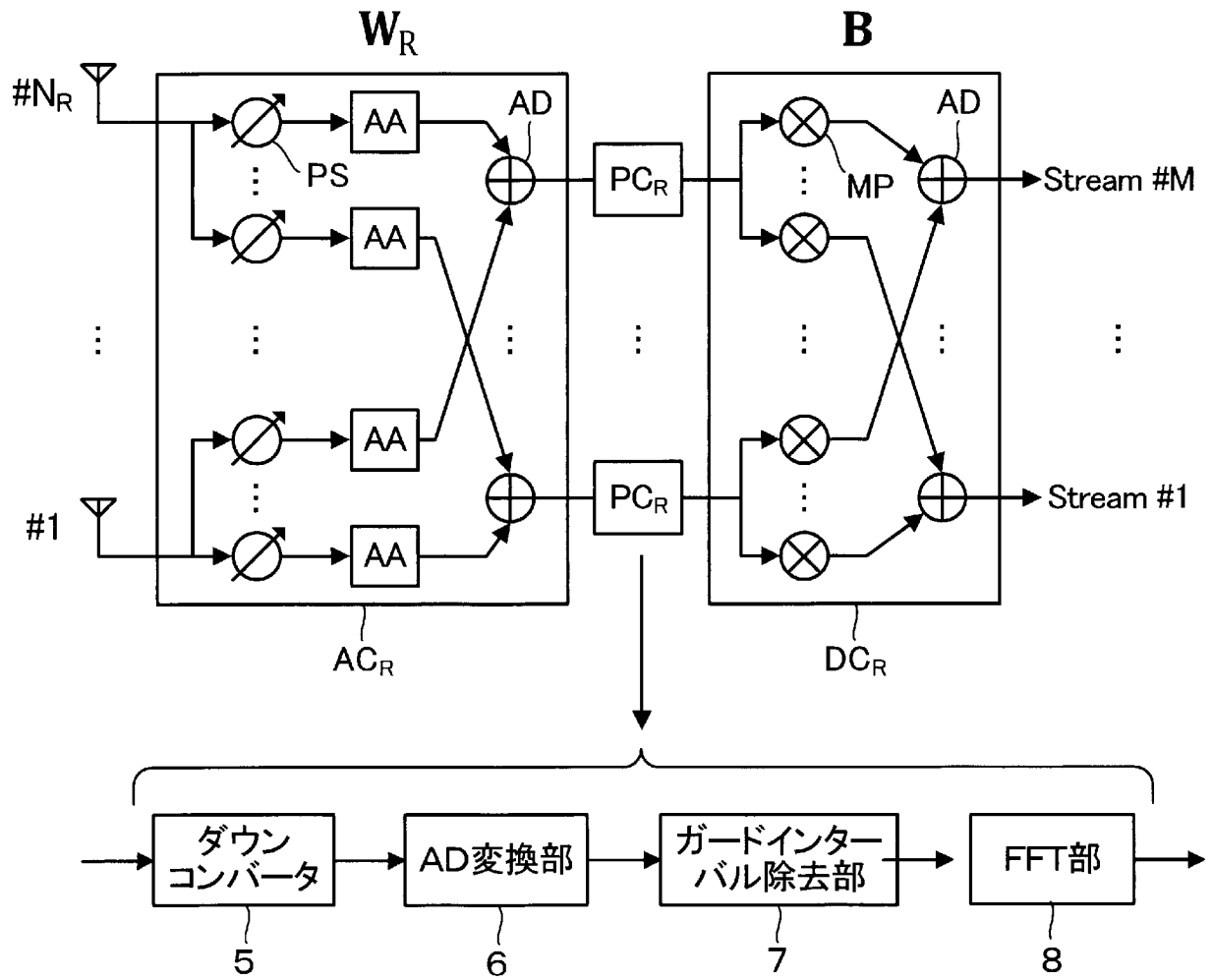
[図3]



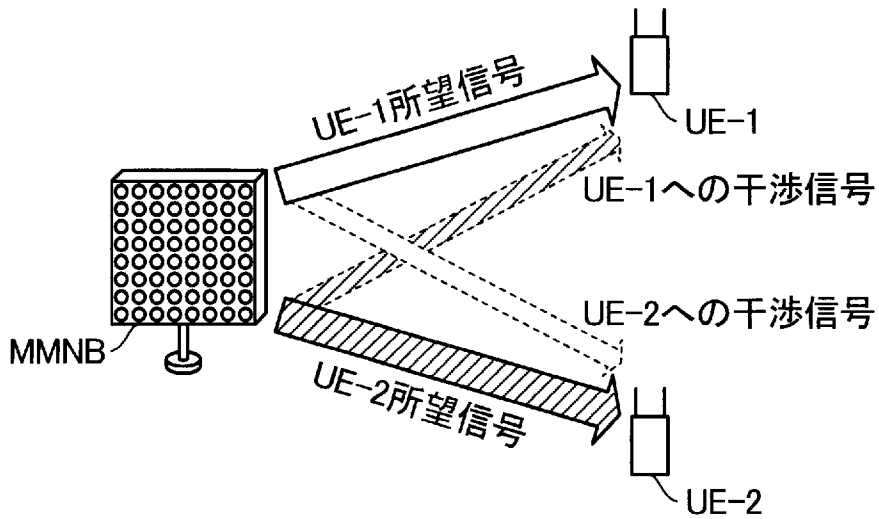
[図4]



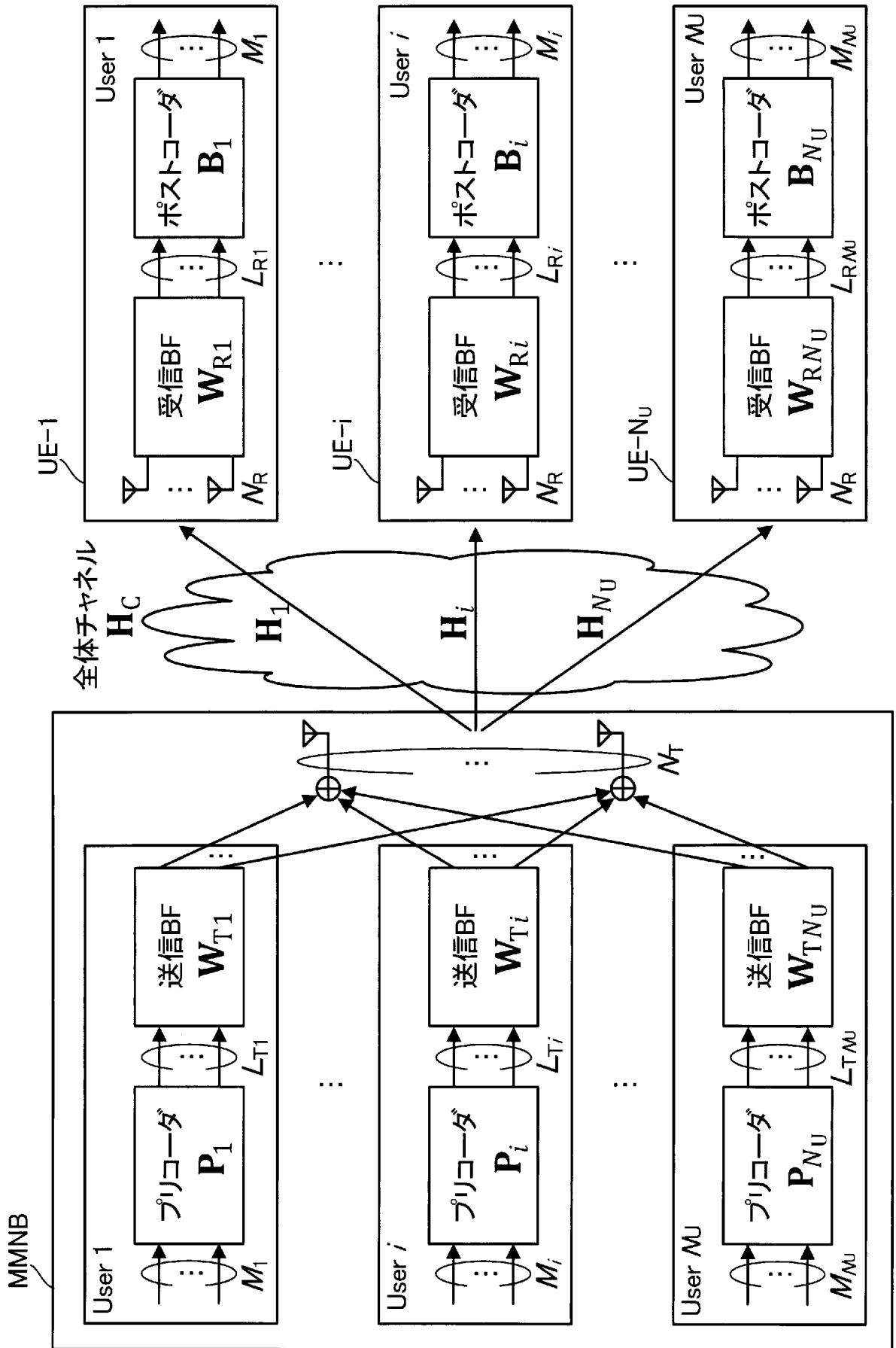
[図5]



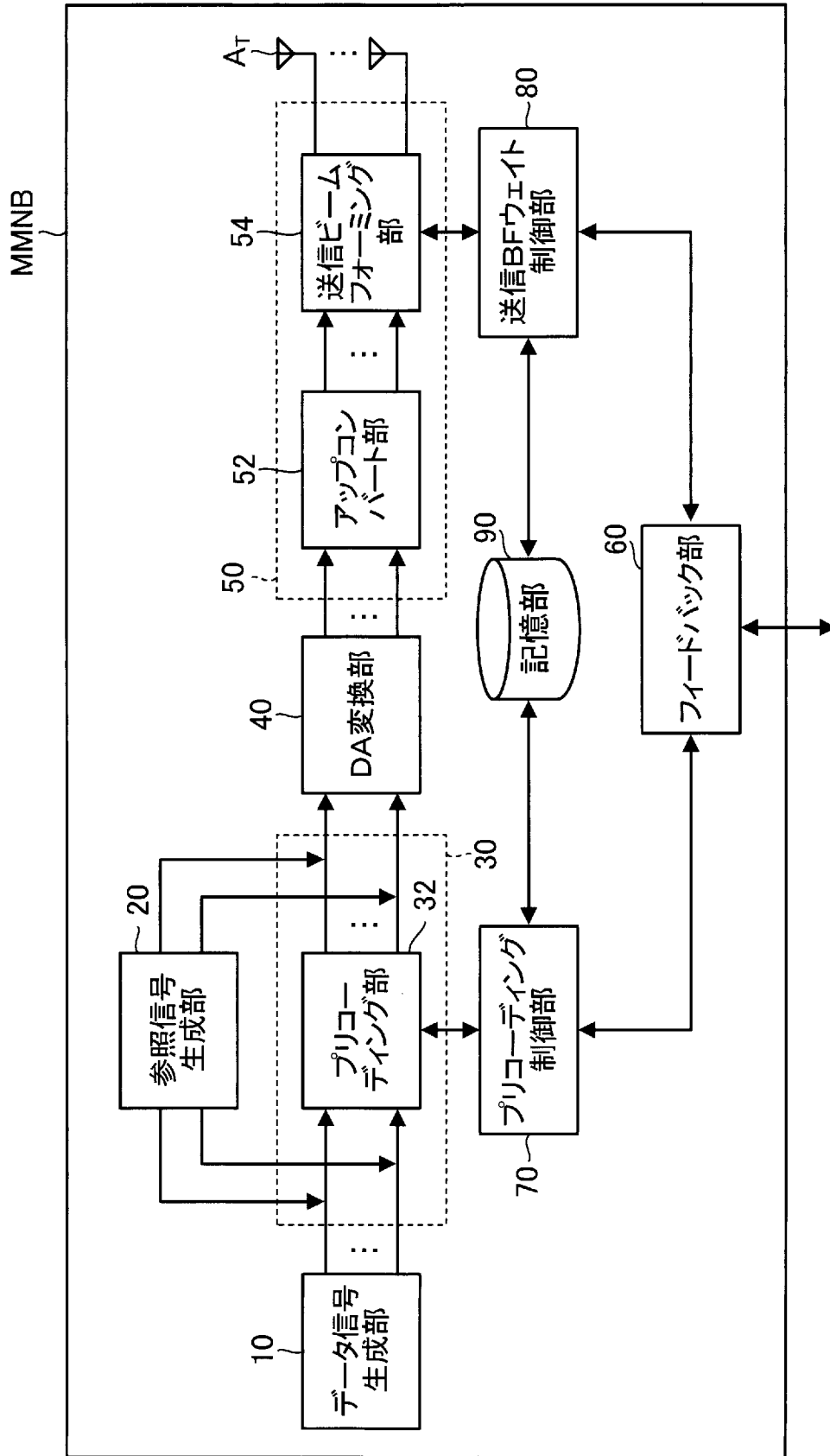
[図6]



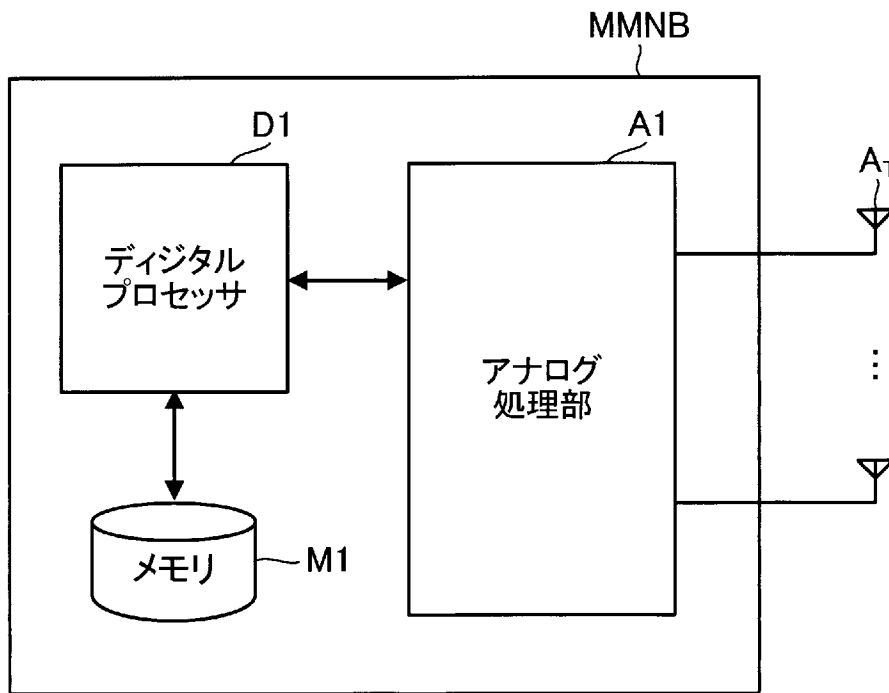
[図7]



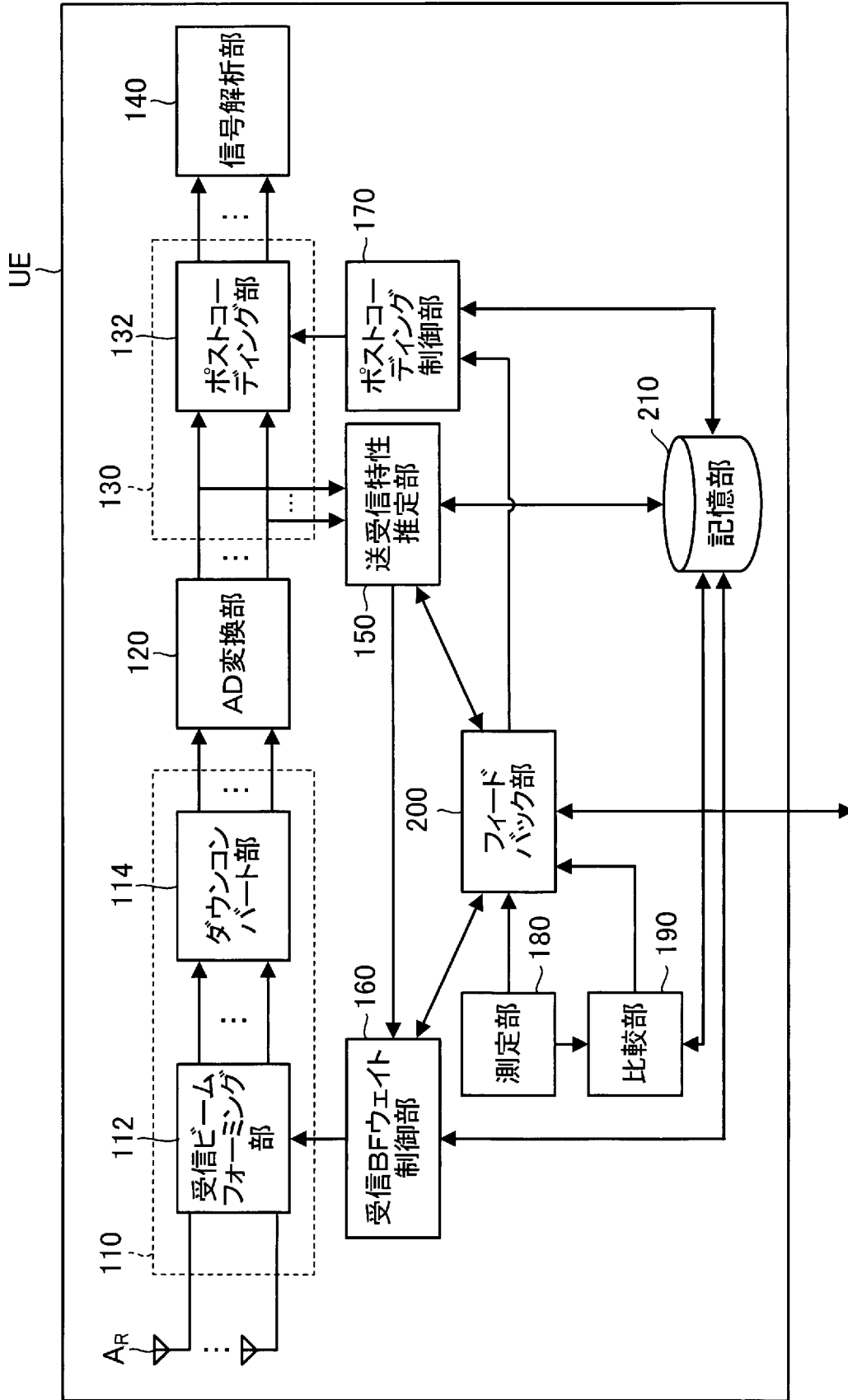
[図8A]



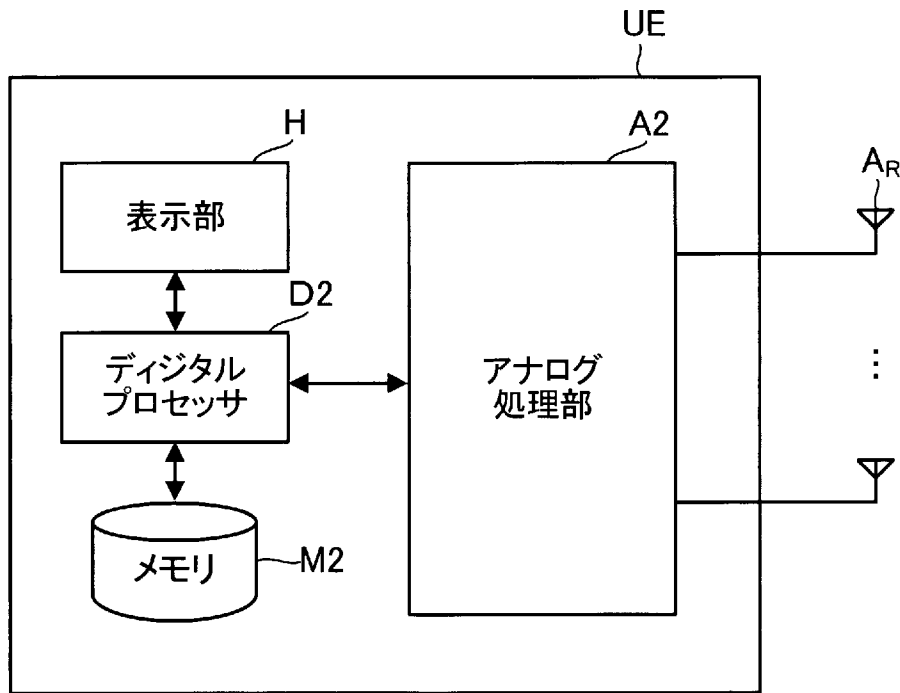
[図8B]



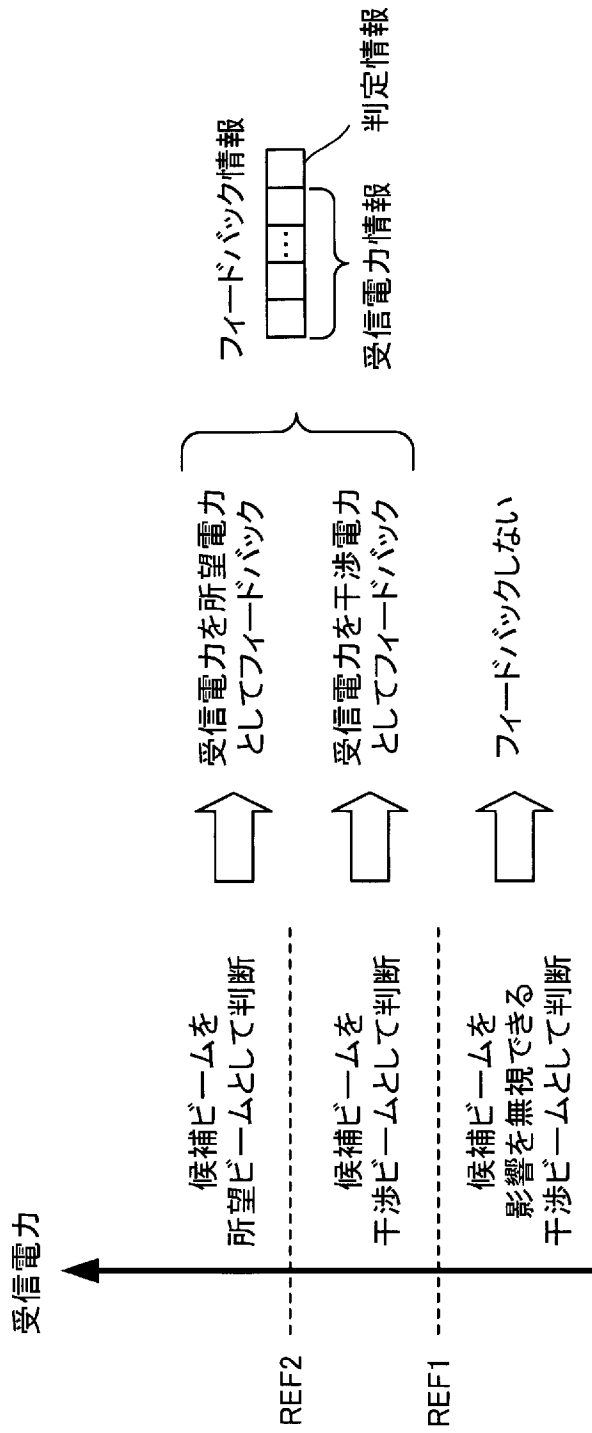
[図9A]



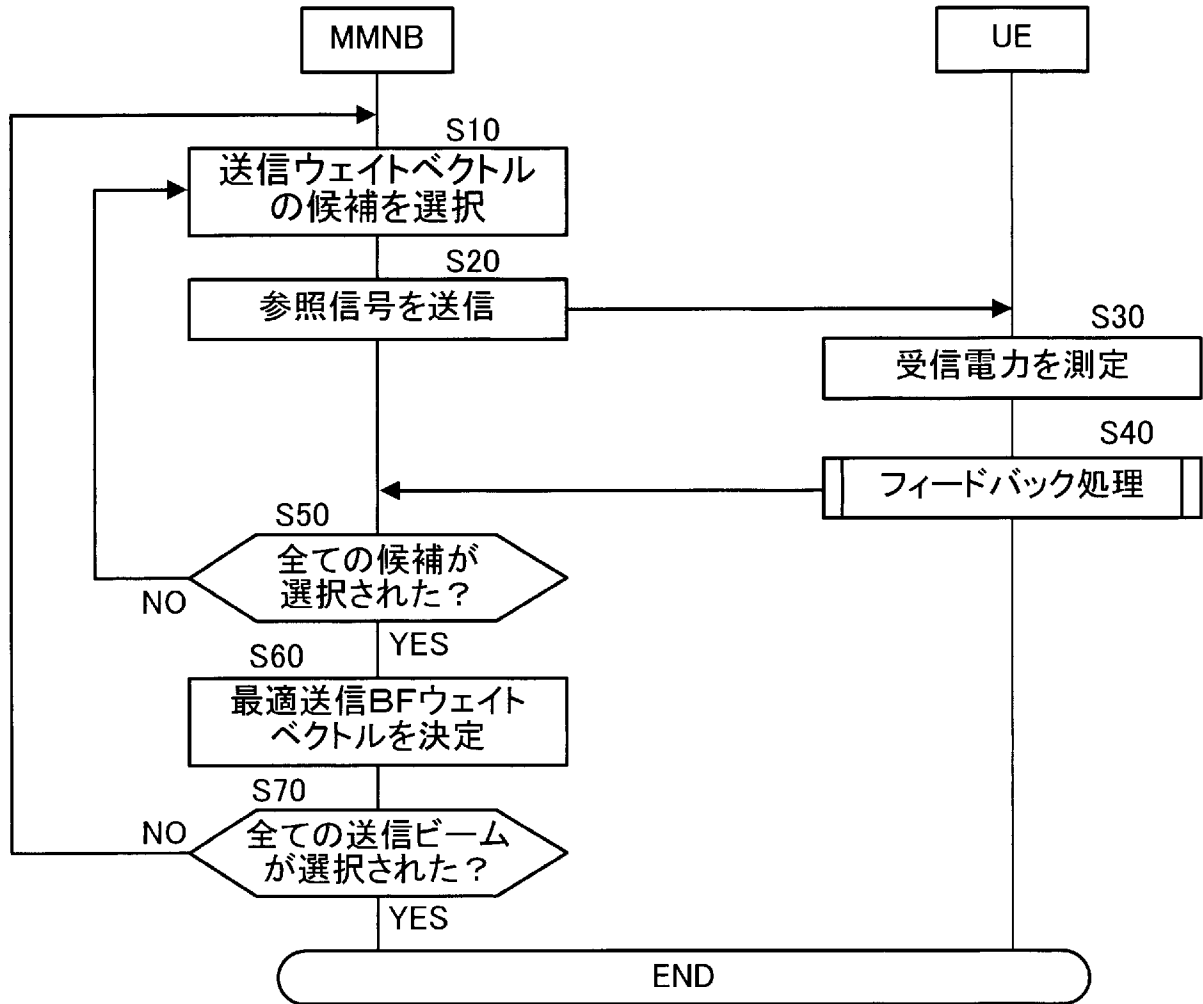
[図9B]



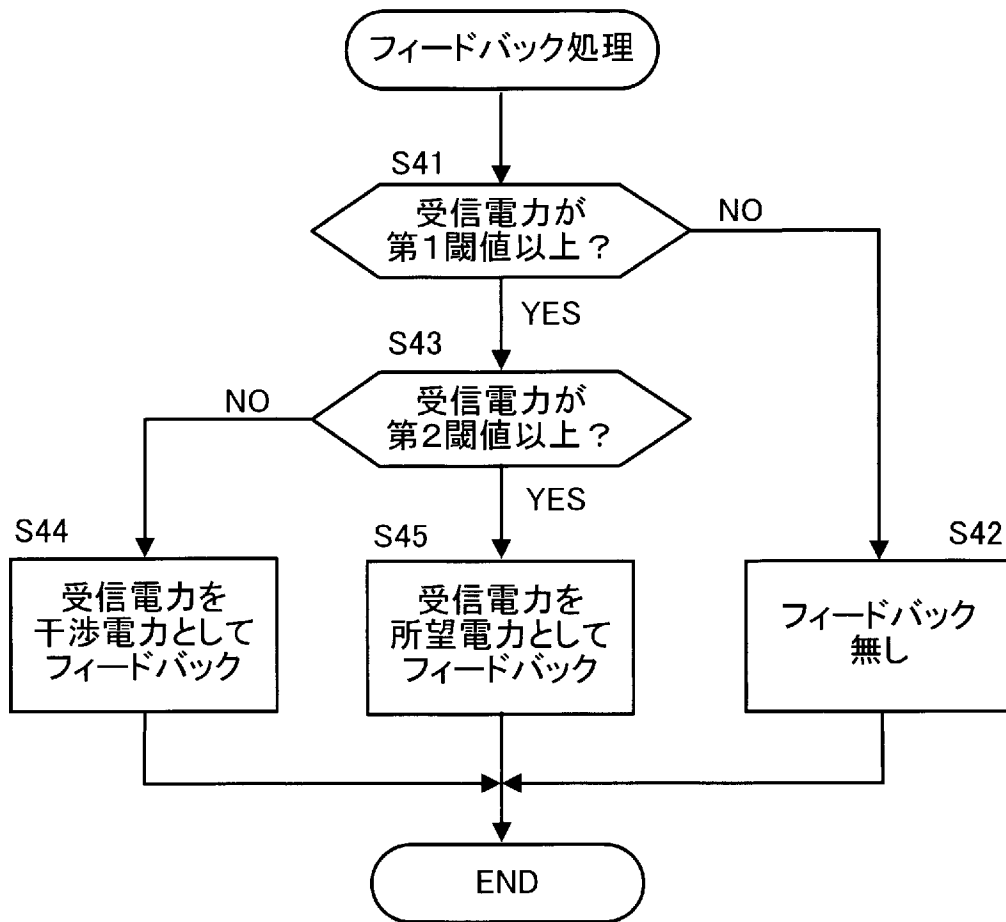
[図10]



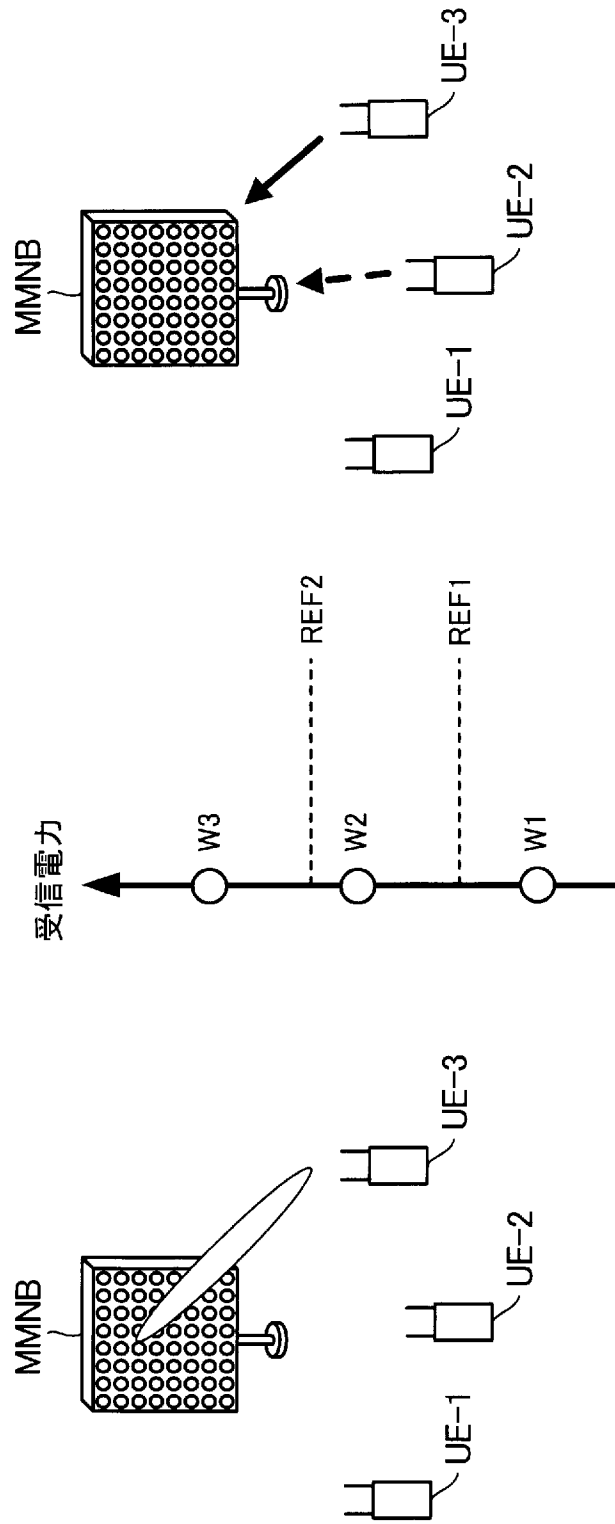
[図11]



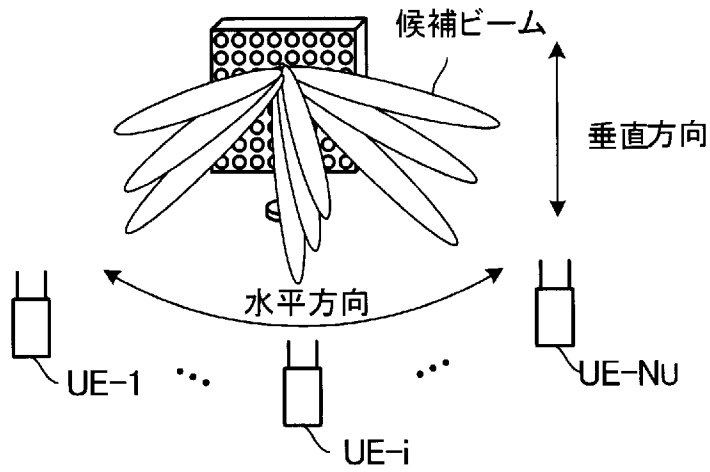
[図12]



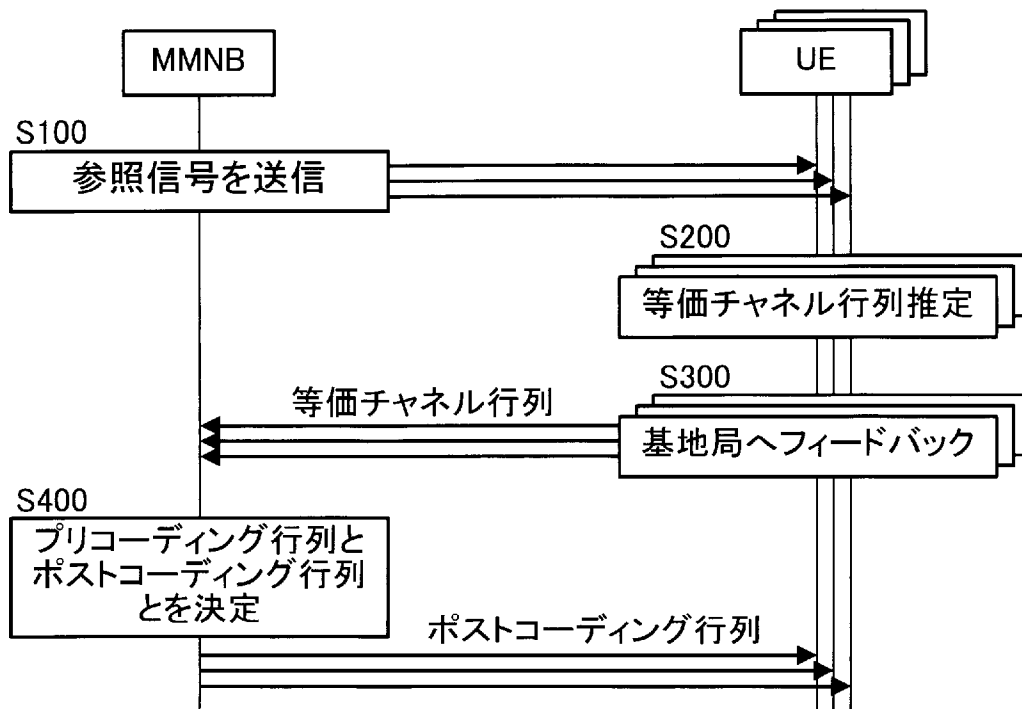
[図13]



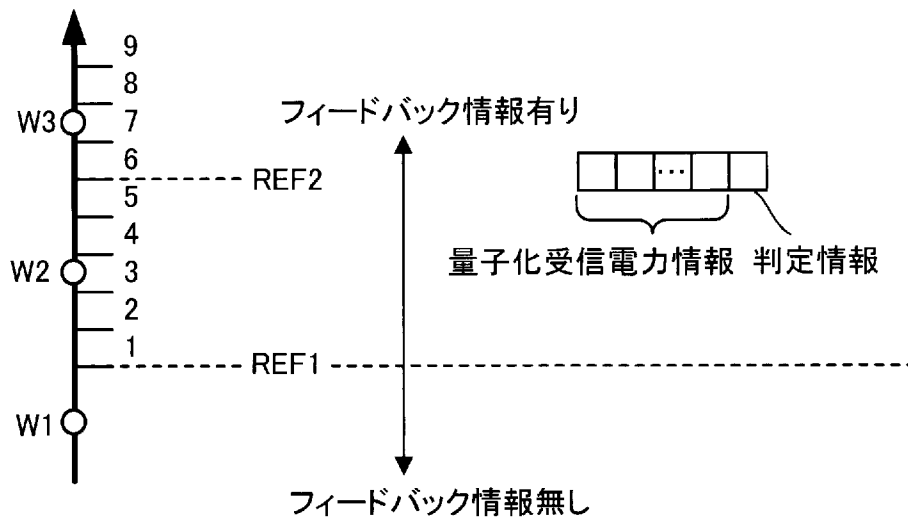
[図14]



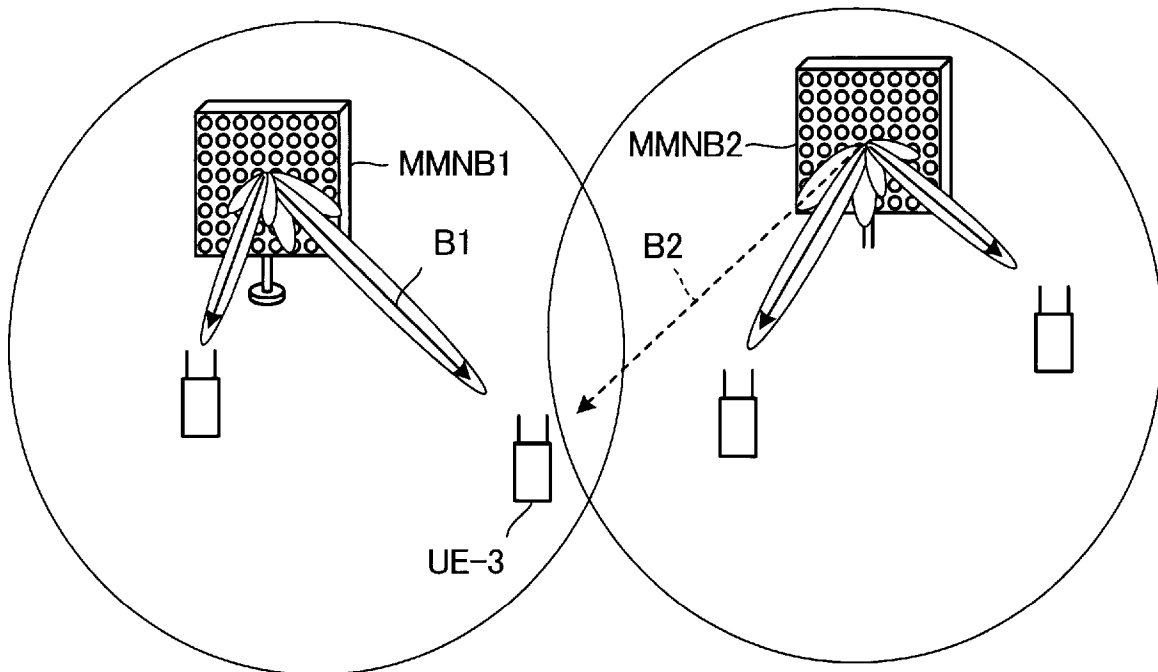
[図15]



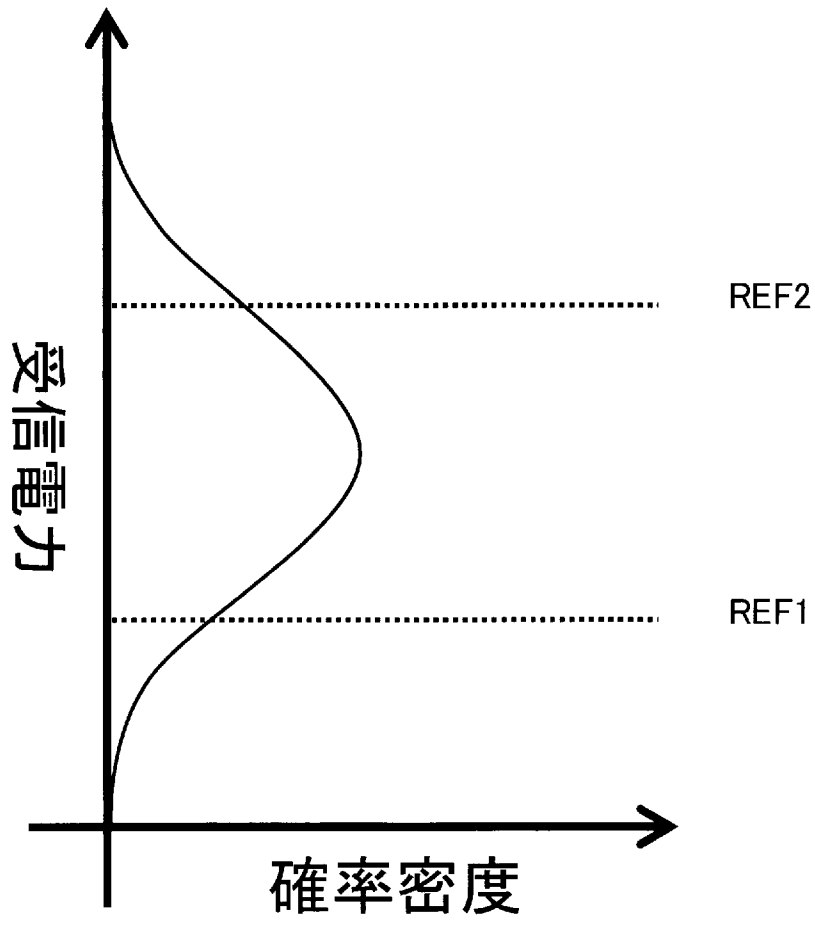
[図16]



[図17]



[図18]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2017/003605

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 H04J99/00(2009.01)i, H04B17/318(2015.01)i, H04W16/28(2009.01)i, H04W24/10(2009.01)i, H04B7/04(2017.01)n, H04B7/10(2006.01)n, H04B17/24(2015.01)n

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, H04B17/318, H04W16/28, H04W24/10, H04B7/04, H04B7/10, H04B17/24

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	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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 2014-27368 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.), 06 February 2014 (06.02.2014), claims 1, 6; paragraph [0020] (Family: none)	1-9
A	JP 2008-228013 A (KDDI Corp.), 25 September 2008 (25.09.2008), claims 1 to 2; paragraphs [0027] to [0051]; fig. 4, 9 to 10 (Family: none)	1-9

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 15 March 2017 (15.03.17)	Date of mailing of the international search report 28 March 2017 (28.03.17)
---	--

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/JP2017/003605

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Tatsuki OKUYAMA et al., "Performance Evaluation of Beam Selection Schemes for Multiuser Massive MIMO using Hybrid Beamforming in High Frequency Bands", IEICE Technical Report, 24 September 2015 (24.09.2015), vol.115, no.233, pages 131 to 136, RCS2015-181	1-9
A	Tatsunori Obara et al., Channel Estimation for Super High Bit Rate Massive MIMO Systems Using Joint Processing of Analog Fixed Beamforming and CSI-based Precoding, Standards for Communications and Networking(CSCN), 2015 IEEE Conference on, 2015.10.30, pp.300-304	1-9

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H04J99/00(2009.01)i, H04B17/318(2015.01)i, H04W16/28(2009.01)i, H04W24/10(2009.01)i, H04B7/04(2017.01)n, H04B7/10(2006.01)n, H04B17/24(2015.01)n

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H04J99/00, H04B17/318, H04W16/28, H04W24/10, H04B7/04, H04B7/10, H04B17/24

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017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)

IEEE Xplore, CiNii

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
A	JP 2014-27368 A (日本電信電話株式会社) 2014.02.06, 請求項1, 6, 段落 [0020] (ファミリーなし)	1-9
A	JP 2008-228013 A (KDDI株式会社) 2008.09.25, 請求項1-2, 段落 [0027] - [0051], 第4, 9-10図 (ファミリーなし)	1-9

☑ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	「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	

国際調査を完了した日

15.03.2017

国際調査報告の発送日

28.03.2017

国際調査機関の名称及びあて先
 日本国特許庁 (ISA/J P)
 郵便番号 100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

岡 裕之

電話番号 03-3581-1101 内線 3556

5K

3251

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	奥山 達樹 他, ハイブリッドビームフォーミングを用いる高周波数帯マルチユーザ Massive MIMO におけるビーム選択手法の特性評価, 電子情報通信学会技術研究報告, 2015.09.24, 第 115 巻, 第 233 号, pp.131-136, RCS2015-181	1-9
A	Tatsunori Obara et al., Channel Estimation for Super High Bit Rate Massive MIMO Systems Using Joint Processing of Analog Fixed Beamforming and CSI-based Precoding, Standards for Communications and Networking (CSCN), 2015 IEEE Conference on, 2015.10.30, pp.300-304	1-9