

(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
2014 年 5 月 8 日(08.05.2014)



(10) 国際公開番号
WO 2014/069262 A1

- (51) 国際特許分類:
H04J 99/00 (2009.01) H04J 11/00 (2006.01)
H04B 7/04 (2006.01) H04W 16/28 (2009.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/078378
- (22) 国際出願日: 2013 年 10 月 18 日(18.10.2013)
- (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 2012-237519 2012 年 10 月 29 日(29.10.2012) JP
- (71) 出願人: シャープ株式会社(SHARP KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒5458522 大阪府大阪市阿倍野区長池町 2 2 番 2 2 号 Osaka (JP).
- (72) 発明者: 留場 宏道(TOMEBA Hiromichi), 小野寺 毅(ONODERA Takashi), ルイズ デルガド アルバロ(RUIZ DELGADO Alvaro), 窪田 稔(KUBOTA Minoru).
- (74) 代理人: 福地 武雄(FUKUCHI Takeo); 〒1500031 東京都渋谷区桜丘町 3 番 1 号 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, LT, 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, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

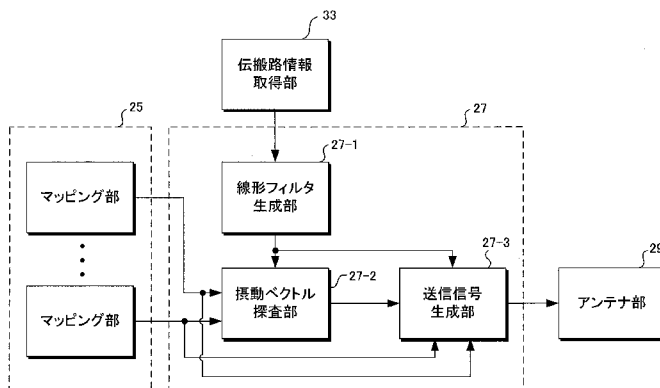
添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: BASE STATION DEVICE, TERMINAL DEVICE AND WIRELESS COMMUNICATION SYSTEM

(54) 発明の名称: 基地局装置、端末装置および無線通信システム

[図3]



- 25 Mapping unit
27-1 Linear filter generation unit
27-2 Perturbation vector probe unit
27-3 Transmission signal generation unit
29 Antenna unit
33 Propagation path information acquisition unit

(57) Abstract: The present invention improves degradation of transmission properties caused by feedback errors in a wireless communication system that performs non-linear pre-coding. This base station device has a plurality of antennas and performs non-linear pre-coding on signals addressed to a plurality of terminal devices and performs wireless transmission by spatial multiplexing. The base station device is provided with a propagation path information acquisition unit (33) that acquires information on propagation paths between the terminal devices; a perturbation vector probe unit (27-2) that probes a perturbation vector that suppresses interference between users that was received by the plurality of terminal devices, using a linear filter generated on the basis of the propagation path information; and a transmission signal generation unit (27-3) that calculates a transmission signal vector on the basis of the generated linear filter, the perturbation vector and a transmission data vector.

(57) 要約:

[続葉有]



非線形プリコーディングを行なう無線通信システムにおいて、フィードバック誤差に起因する伝送特性の劣化を改善する。本発明の基地局装置は、複数のアンテナを備え、複数の端末装置宛の信号に非線形プリコーディングを施し空間多重して無線送信を行なう基地局装置であって、前記端末装置との間の伝搬路情報を取得する伝搬路情報取得部 33 と、前記伝搬路情報に基づいて生成された線形フィルタを用いて、前記複数の端末装置が受信するユーザ間干渉を抑圧する摂動ベクトルを探索する摂動ベクトル探索部 27-2 と、前記生成された線形フィルタ、前記摂動ベクトルおよび送信データベクトルに基づいて送信信号ベクトルを算出する送信信号生成部 27-3 と、を備える。

明 細 書

発明の名称： 基地局装置、端末装置および無線通信システム

技術分野

[0001] 本発明は、マルチユーザ多重入力多重出力伝送を行なう技術に関する。

背景技術

[0002] 無線通信システムでは、多様なブロードバンド情報サービスの提供のために、伝送速度の向上が常に望まれている。伝送速度の向上は通信帯域幅の拡大により実現可能だが、利用可能な周波数帯域には限りがあるため、周波数利用効率の改善が必須となる。周波数利用効率を大幅に改善できる技術として、複数の送受信アンテナを用いて無線伝送を行なう多重入力多重出力(Multiple Input Multiple Output (MIMO))技術が注目を集めており、セルラシステムや無線LANシステムなどで実用化されている。MIMO技術による周波数利用効率改善量は送受信アンテナ数に比例する。しかし、端末装置に配置できる受信アンテナ数には限りがある。そこで、同時接続する複数端末装置を仮想的な大規模アンテナアレーとみなし、基地局装置から各端末装置への送信信号を空間多重させるマルチユーザMIMO(Multi User-MIMO(MU-MIMO))が周波数利用効率の改善に有効である。

[0003] MU-MIMOでは、各端末装置宛ての送信信号同士がユーザ間干渉(Inter-User-Interference(IUI))として端末装置に受信されてしまうため、IUIを抑圧する必要がある。例えば、第3.9世代移動無線通信システムの一つとして採用されているLong term evolutionにおいては、各端末装置より通知される伝搬路情報に基づき算出される線形フィルタを基地局装置にて予め乗算することでIUIを抑圧する線形プリコーディングが採用されている。

[0004] また、一層の周波数利用効率の改善が望めるMU-MIMOの実現方法として、非線形処理を基地局装置側で行なう非線形プリコーディングを用いるMU-MIMO技術が注目を集めている。端末装置において、剰余(Modulo

、モジュロ）演算が可能である場合、送信信号に対して、任意のガウス整数に一定の実数が乗算された複素数（摂動項）を要素とする摂動ベクトルの加算が可能となる。

[0005] そこで、基地局装置と複数端末装置の間の伝搬路状態に応じて、摂動ベクトルを適切に設定してやれば、線形プリコーディングと比較して、所要送信電力を大幅に削減することが可能となる。非線形プリコーディングとして、最適な伝送特性を実現できる方式として非特許文献1記載の *Vector perturbation* (VP) や、非特許文献2記載の *Tomlinson Harashima precoding* (THP) が良く知られている。

[0006] ところで、プリコーディングは基地局装置と端末装置間の伝搬路状態に応じて行なわれるから、プリコーディングの精度は基地局装置が把握できる伝搬路情報 (Channel state information(CSI)) の精度に大きく依存する。下りリンク伝送と上りリンク伝送とで、異なる搬送波周波数を用いる周波数分割複信による無線通信システムにおいては、端末装置が推定したCSIを基地局装置に対してフィードバックすることにより、基地局装置はCSIを把握することができる。しかし、基地局装置が把握できるCSIと、実際のCSIとの間には誤差が生ずる可能性がある。図9を参照しながらこのことを簡単に説明する。

[0007] 図9は、プリコーディングを施す基地局装置と端末装置間の通信の様子を表すシーケンスチャートである。はじめに基地局装置は、端末装置に対してCSIを推定するための参照信号を送信する（ステップS1）。また、基地局装置は、送信データと復調用参照信号を生成する（ステップS2）。参照信号は、基地局装置と端末装置とでお互いに既知であるから、端末装置は受信された参照信号に基づいてCSIを推定することができる（ステップS3）。

[0008] しかし、実際には、受信信号には必ず雑音が付加されるから、推定されたCSIと真のCSIとの間には誤差が生ずる。端末装置は推定したCSIを基地局装置に通知可能な情報に変換し、基地局装置に通知する（ステップS

4)。通知可能な情報としては、推定された情報を直接デジタル情報に量子化した情報や、基地局装置と端末装置とで共用しているコードブックに記載されたコードを示す番号などが挙げられる。基地局装置は通知された情報より、CSIを復元するが、復元されたCSIと真のCSIとの間にはやはり誤差が生ずる。以下では、真のCSIと、基地局装置が最終的に把握できるCSIとの間の誤差を、量子化誤差と呼ぶ。その後、基地局装置は、復元されたCSIに基づきプリコーディングを施すが（ステップS5）、端末装置に対してデータ送信を行なう（ステップS6）。

[0009] 端末装置は、基地局装置からデータを受信すると、復調用に伝搬路推定を行ない（ステップS7）、チャネル等化（空間信号検出処理）を行ない（ステップS8）、送信データを復調する（ステップS9）。ここで、端末装置がCSIを推定してから、基地局装置がプリコーディング処理を施し、信号を送信するまでには、一定の処理遅延時間（ラウンドトリップ遅延もしくはプロセス遅延とも呼ばれる）が発生する。通常、伝搬路には時間選択性が存在するから、プリコーディングが施された信号が伝搬するCSIと、端末装置が推定したCSIには誤差が生ずることになる。以下では、伝搬路の時間選択性に依存して発生するCSI誤差を時変動誤差と呼び、量子化誤差と時変動誤差を併せて、フィードバック誤差と呼ぶこととする。基地局装置が把握できるCSIには、フィードバック誤差が存在するから、高精度なCSIを基地局装置が取得するのは極めて困難である。

[0010] 一方、下りリンク伝送と上りリンク伝送とで、同じ搬送波周波数を用いる時間分割複信による無線通信システムにおいても、周波数分割複信と同様に、フィードバック誤差が発生する。図10を参照しながらこのことを簡単に説明する。図10は、プリコーディングを施す基地局装置と端末装置間の通信の様子を表すシーケンスチャートである。時間分割複信では、上りリンク伝送と下りリンク伝送とを時間で区切って送信する。はじめに端末装置から基地局装置への上りリンク伝送が行なわれる（ステップT1）。このとき、上りリンク伝送の信号には、信号復調のための参照信号が含まれており、基

地局装置は、当該参照信号からCSIを取得し、信号復調を行なう（ステップT2）。

[0011] 次いで、下りリンク伝送の信号に対して、基地局装置はプリコーディングを施すことを考える。このとき、時間分割複信では、上りリンクの伝搬路と下りリンクの伝搬路の間には双対性が存在するから、基地局装置は、先ほど上りリンク伝送の信号を復調するために取得したCSIに基づいて、プリコーディングを施すことができる（ステップT3）。そして、端末装置に対してデータを送信する（ステップT4）。一方、端末装置では、伝搬路推定および下りリンク信号の復調を行なう（ステップT5）。

[0012] しかしながら、一般的には、複数の上りリンク伝送の信号と、複数の下りリンク伝送の信号とが、交互に送信される事になるから、複数の下りリンク伝送の信号の後半に送信される信号が伝搬するときのCSIとプリコーディングに用いたCSIとの間には時変動誤差が存在することになる。また、伝搬路そのものには双対性が存在する一方で、基地局装置と端末装置のアナログ回路同士には双対性がないため、上りリンクのCSIと下りリンクのCSIとは、必ずしも同一とはならない。このようにして発生するCSIの誤差についても、以下では総じてフィードバック誤差と呼ぶこととする。

[0013] 以上説明してきたような、CSIのフィードバック誤差の影響が大きい環境下において、プリコーディング伝送の伝送特性を改善することを目的として、非特許文献3では、プリコーディングが施された受信信号が、端末装置に受信された時点における伝搬路情報を端末装置が改めて推定し、その伝搬路情報に基づいて、受信された信号に対して、改めて適切なチャネル等化処理を行なうことにより、フィードバック誤差による伝送特性の劣化を改善する方法が議論されている。しかし、非特許文献3による方法は、各端末装置に1データストリームのみを送る場合を想定しており、またプリコーディングも線形プリコーディングのみを考慮している。

先行技術文献

非特許文献

[0014] 非特許文献1: B. M. Hochwald, et. al., "A vector-perturbation technique for near-capacity multiantenna multiuser communication-Part II: Perturbation," IEEE Trans. Commun., Vol. 53, No. 3, pp.537-544, March 2005.

非特許文献2: M. Joham, et. al., "MMSE approaches to multiuser spatio-temporal Tomlinson-Harashima precoding", Proc. 5th Int. ITG Conf. on Source and Channel Coding, Erlangen, Germany, Jan. 2004.

非特許文献3: IEEE 802.11-09/1234r1, "Interference cancellation for downlink MU-MIMO," Qualcomm, March 2010.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0015] 非線形プリコーディングに基づく伝送システムにおいて、高い周波数利用効率を実現するためには、CSIのフィードバック誤差によって発生する伝送特性の劣化に対処する必要がある。しかし、非特許文献3による方法では、各端末装置に複数のデータストリームを送信することができず、また適用できるプリコーディングも線形プリコーディングに限定されてしまう。つまり、各端末装置に複数のデータストリームを送信し、かつ非線形プリコーディングが施された場合における、フィードバック誤差による伝送特性の劣化を改善する方法は、未だ明らかとなっていないのが実状である。

[0016] 本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、非線形プリコーディングを行なう無線通信システムにおいて、フィードバック誤差に起因する伝送特性の劣化を改善することができる基地局装置および端末装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0017] (1) 上記の目的を達成するために、本発明は、以下のような手段を講じた。すなわち、本発明の基地局装置は、複数のアンテナを備え、複数の端末装置宛の信号に非線形プリコーディングを施し空間多重して無線送信を行なう基地局装置であって、前記端末装置との間の伝搬路情報を取得する伝搬路

情報取得部と、前記伝搬路情報に基づいて生成された線形フィルタを用いて、前記複数の端末装置が受信するユーザ間干渉を抑圧する摂動ベクトルを探索する摂動ベクトル探索部と、前記生成された線形フィルタ、前記摂動ベクトルおよび送信データベクトルに基づいて送信信号ベクトルを算出する送信信号生成部と、を備えることを特徴とする。

[0018] (2) また、本発明の基地局装置において、前記摂動ベクトル探索部は、予め定められた数のガウス整数を用いて表される摂動項候補点より前記摂動ベクトルを探索する第1の方法、または、前記複数の端末装置の少なくとも一つの端末装置が受信するユーザ間干渉を抑圧する前記摂動ベクトルを探索する第2の方法を実行することを特徴とする。

[0019] (3) また、本発明の基地局装置において、前記摂動ベクトル探索部は、前記信号に適用される変調方式、符号化率または前記伝搬路情報のうちの少なくとも一つに基づいて、前記第1の方法または前記第2の方法を、同時に若しくは選択的に用いることを特徴とする。

[0020] (4) また、本発明の基地局装置において、前記摂動ベクトル探索部は、時間若しくは周波数領域において、前記複数の端末装置から前記ユーザ間干渉を抑圧する端末装置を周期的に割り当てることを特徴とする。

[0021] (5) また、本発明の基地局装置において、前記伝搬路情報取得部は、前記複数の端末装置より通知される第1の伝搬路情報に関連付けられた制御情報に基づいて、第1の伝搬路情報を取得すると共に、前記第1の伝搬路情報に基づいて、前記第1の伝搬路情報と前記制御情報との間の誤差情報若しくは前記第1の伝搬路情報と前記信号が無線信号として伝搬する伝搬路の第2の伝搬路情報との間の誤差情報を取得することを特徴とする。

[0022] (6) また、本発明の基地局装置において、前記伝搬路情報取得部は、前記複数の端末装置より通知される第1の伝搬路情報に関連付けられた制御情報に基づいて、第1の伝搬路情報を取得すると共に、前記複数の端末装置より通知される前記第1の伝搬路情報と前記制御情報との間の誤差情報若しくは前記第1の伝搬路情報と前記信号が無線信号として伝搬する伝搬路の第2

の伝搬路情報との間の誤差情報を取得することを特徴とする。

[0023] (7) また、本発明の基地局装置において、前記第1の伝搬路情報と前記誤差情報に基づいて、前記信号に非線形プリコーディングを施すことを特徴とする。

[0024] (8) また、本発明の基地局装置において、前記摂動ベクトル探索部は、前記誤差情報が大きい端末装置が受信するユーザ間干渉を抑圧する摂動ベクトルを探索することを特徴とする。

[0025] (9) また、本発明の端末装置は、複数のアンテナを備える基地局装置から非線形プリコーディングが施され空間多重された無線信号を受信する端末装置であって、前記無線信号よりデータ信号と参照信号を分離する参照信号分離部と、前記参照信号に基づき、前記基地局装置との間の第1の伝搬路情報を推定する伝搬路推定部と、前記第1の伝搬路情報から、前記基地局装置に通知する前記第1の伝搬路情報に関連付けられた制御情報を生成するフィードバック情報生成部と、前記制御情報を前記基地局装置に送信する無線送信部と、を備え、前記フィードバック情報生成部は、前記第1の伝搬路情報と前記制御情報との間の誤差情報を生成することを特徴とする。

[0026] (10) また、本発明の端末装置において、前記フィードバック情報生成部は、第1の時刻または周波数で受信された前記データ信号が伝搬する前記基地局装置との間の第2の伝搬路情報と、第2の時刻または周波数で受信された前記参照信号に基づいて推定された前記第1の伝搬路情報との間の誤差情報を生成することを特徴とする。

[0027] (11) また、本発明の無線通信システムは、上記(1)に記載の基地局装置と、上記(9)に記載の複数の端末装置とを備えることを特徴とする。

発明の効果

[0028] 本発明によれば、非線形プリコーディングを行なう無線通信システムにおいて、フィードバック誤差に起因する伝送特性の劣化を改善することができるため、周波数利用効率の大幅な改善に寄与できる。

図面の簡単な説明

[0029] [図1]本発明の第1の実施形態に係る無線通信システムの概略を示す図である。

[図2]本発明の第1の実施形態に係る基地局装置の構成を示すブロック図である。

[図3]本発明の第1の実施形態に係るプリコーディング部27の装置構成を示すブロック図である。

[図4A]本発明の第1の実施形態における、摂動ベクトル探索部27-2が候補とする摂動項について説明する複素平面図である。

[図4B]本発明の第1の実施形態における、摂動ベクトル探索部27-2が候補とする摂動項について説明する複素平面図である。

[図4C]本発明の第1の実施形態における、摂動ベクトル探索部27-2が候補とする摂動項について説明する複素平面図である。

[図4D]本発明の第1の実施形態における、摂動ベクトル探索部27-2が候補とする摂動項について説明する複素平面図である。

[図5A]本発明の第1の実施形態における、摂動ベクトル探索部27-2が候補とする摂動項について説明する別の複素平面図である。

[図5B]本発明の第1の実施形態における、摂動ベクトル探索部27-2が候補とする摂動項について説明する別の複素平面図である。

[図5C]本発明の第1の実施形態における、摂動ベクトル探索部27-2が候補とする摂動項について説明する別の複素平面図である。

[図5D]本発明の第1の実施形態における、摂動ベクトル探索部27-2が候補とする摂動項について説明する別の複素平面図である。

[図6]本発明の第1の実施形態に係るアンテナ部29の装置構成を示すブロック図である。

[図7]本発明の第1の実施形態に係る端末装置の構成を示すブロック図である。

[図8]本発明の第1の実施形態に係る端末アンテナ部51の構成を示すブロック図である。

[図9]プリコーディングを施す基地局装置と端末装置間の通信の様子を表すシーケンスチャートである。

[図10]プリコーディングを施す基地局装置と端末装置間の通信の様子を表すシーケンスチャートである。

発明を実施するための形態

[0030] 以下、図面を参照して本発明の無線通信システムを適用した場合における実施形態について説明する。なお、本実施形態において説明した事項は、発明を理解するための一態様であり、実施形態に限定して発明の内容が解釈されるものではない。特に断らない限り、以下では、 A^T は行列 A の転置行列、 A^H は行列 A の随伴（エルミート転置）行列、 A^{-1} は行列 A の逆行列、 A^+ は行列 A の疑似（もしくは一般）逆行列、 $\text{diag}(A)$ は行列 A の対角成分のみを抽出した対角行列、 $\text{floor}(c)$ は実部と虚部がそれぞれ複素数 c の実部と虚部の値を超えない最大のガウス整数を返す床関数、 $E[x]$ はランダム変数 x のアンサンブル平均、 $\text{abs}(c)$ は複素数 c の振幅を返す関数、 $\text{angle}(c)$ は複素数 c の偏角を返す関数、 $\|a\|$ はベクトル a のノルム、 $x \% y$ は整数 x を整数 y で除算したときの余り、 ${}_nC_m$ は異なる n 個から異なる m 個を選択する組み合わせの総数、をそれぞれ表すものとする。また、 $[A; B]$ は二つの行列 A および B を行方向に結合した行列、 $[A, B]$ は行列 A および B を列方向に結合した行列を、それぞれ表すものとする。また、 $Z[i]$ はガウス整数全体の集合を表すものとする。なお、ガウス整数とは、実部と虚部がそれぞれ整数で表される複素数を表す。

[0031] [1. 第1の実施形態]

図1は、本発明の第1の実施形態に係る無線通信システムの概略を示す図である。第1の実施形態においては、 N_t 本の送信アンテナを有し、非線形プリコーディングが可能な基地局装置1（無線送信装置とも呼ぶ）に対して、 N_r 本の受信アンテナを有する端末装置2（無線受信装置とも呼ぶ）が U 個（図1では端末装置2-1～2-4の4個）接続しているMU-MIMO伝送を対象とする。各端末装置2にはそれぞれ L 個のデータを同時に送信するも

のとし（同時送信するデータ数のことをランク数とも呼ぶ）、 $U \times L = N_t$ および $L = N_r$ であるものとする。

[0032] 以下では簡単のために、各端末装置2の受信アンテナ数およびランク数は全て同一で、 $L = N_r = 1$ として説明を行なうが、端末装置2毎に異なる受信アンテナ数およびランク数となっても構わない。また、 $U \times L \leq N_t$ および $L \leq N_r$ が満たされているのであれば、ランク数と受信アンテナ数が同一である必要も無い。

[0033] 伝送方式としては、 N_c 個の副搬送波（サブキャリア）を有する直交周波数分割多重(Orthogonal Frequency Division Multiplexing(OFDM))を仮定する。ただし、特別に断らない限り、以下で説明する信号処理は、サブキャリア毎に行なわれるものとする。また、複信方式は周波数分割複信(Frequency Division Duplex(FDD))を仮定する。基地局装置1は各端末装置2より通知される制御情報により各端末装置2までの伝搬路情報(Channel State Information(CSI))を取得し、その伝搬路情報に基づき、送信データに対してサブキャリア毎にプリコーディングを行なうものとする。

[0034] はじめに基地局装置1と端末装置2の間のCSIについて定義する。本実施形態においては、準静的周波数選択性フェージングチャネルを仮定する。ここで準静的とは、1 OFDM信号内で伝搬路が変動しないものとする。第 n 送信アンテナ($n = 1 \sim N_t$)と第 u 端末装置2- u ($u = 1 \sim U$)の第 m 受信アンテナ($m = 1 \sim N_r$)の間の第 t OFDM信号における第 k サブキャリアの複素チャネル利得を $h_{u,m,n}(k, t)$ としたとき、伝搬路行列 $H(k, t)$ を式(1)のように定義する。

[0035]

[数1]

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{H}(k, t) = \begin{pmatrix} \mathbf{h}_1(k, t) \\ \mathbf{h}_2(k, t) \\ \vdots \\ \mathbf{h}_U(k, t) \end{pmatrix} \\ \mathbf{h}_u(k, t) = \begin{pmatrix} h_{u,1,1}(k, t) & \cdots & h_{u,1,N_t}(k, t) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{u,N_r,1}(k, t) & \cdots & h_{u,N_r,N_t}(k, t) \end{pmatrix} \end{array} \right. \quad \dots (1)$$

$h_u(k, t)$ は第 u 端末装置 2 - u で観測される複素チャネル利得により構成される $N_r \times N_t$ の行列を表す。本実施形態において、特に断りが無い限り、 $\mathbf{CS I}$ は複素チャネル利得により構成される行列の事を指す。ただし、空間相関行列や、基地局装置 1 と各端末装置間で予め共有しているコードブック記載の線形フィルタを並べた行列を $\mathbf{CS I}$ とみなして、後述する信号処理を行なうことも可能である。また、端末装置 2 が推定した伝搬路行列に特異値分解（もしくは固有値分解）を施すことで得られる固有ベクトルを基地局装置 1 に通知する場合、基地局装置 1 は、固有ベクトルを並べた行列を $\mathbf{CS I}$ とみなしても良い。以下の説明では、第 u 端末装置 2 - u は時刻 t_1 における $\mathbf{CS I}$ $h_u(k, t_1)$ を推定し、量子化を施したのち、基地局装置 1 に通知するものとする。

[0036] ここで、第 u 端末装置 2 - u が基地局装置 1 に実際に通知する $\mathbf{CS I}$ を $h_{FB,u}(k, t_1)$ と定義する。以下では、 $h_{FB,u}(k, t_1)$ は $h_u(k, t_1)$ と同様に、 $N_r \times N_t$ の行列であるものとするが、必ずしも $N_r \times N_t$ である必要はない。例えば、 N_r 本の受信アンテナを備える第 u 端末装置 2 - u が、 $(N_r - 1)$ 本の受信アンテナに関する $\mathbf{CS I}$ のみを通知するような場合も考えられる。この場合、当然 $h_{FB,u}(k, t_1)$ は $(N_r - 1) \times N_t$ の行列となる。このとき

、基地局装置 1 は第 u 端末装置 2 - u が備える受信アンテナ数は $(N_r - 1)$ 本であるものとして、後述するプリコーディング等の送信信号処理を行なえば良い。

[0037] また、 $h_u(k, t_1)$ そのものではなく、 $h_u(k, t_1)$ に特異値分解を施すことによって得られる固有ベクトル、もしくは固有ベクトルと特異値の両方を通知するような場合も考えられる。この場合、固有ベクトルは要素数 N_t の列ベクトルが N_t 個存在することになる。ただし、ここで算出される固有ベクトルには、第 u 端末装置 2 - u 宛てにヌルビームを向ける線形フィルタとなり得るベクトルも含まれる。第 u 端末装置 2 - u は複数の固有ベクトルの中で任意の数の列ベクトルを通知するような制御を行なうことも可能である。例えば、第 u 端末装置 2 - u が固有ベクトルの中で Q 個の固有ベクトルを通知するのであれば、基地局装置 1 は第 u 端末装置 2 - u が備える受信アンテナ数は Q 本であるものとして、後述するプリコーディング等の送信信号処理を行なえば良い。

[0038] 本実施形態において、第 u 端末装置 2 - u が基地局装置 1 に $h_{FB,u}(k, t_1)$ を通知する方法については、何かに限定されるものではない。通知方法の具体例については、後述する。以下では、基地局装置 1 は $N_r \times N_t$ の行列で表される $h_{FB,u}(k, t_1)$ を理想的に把握可能であるものとして説明を行なう。

[0039] [1. 1. 基地局装置 1]

図 2 は、本発明の第 1 の実施形態に係る基地局装置 1 の構成を示すブロック図である。図 2 に示すように、基地局装置 1 は、チャネル符号化部 2 1 と、データ変調部 2 3 と、マッピング部 2 5 と、プリコーディング部 2 7 と、アンテナ部 2 9 と、制御情報取得部 3 1 と、伝搬路情報取得部 3 3 と、を含んで構成されている。プリコーディング部 2 7 はサブキャリア数 N_s 、アンテナ部 2 9 は送信アンテナ数 N_t だけそれぞれ存在する。

[0040] 初めに、制御情報取得部 3 1 は、接続している各端末装置 2 より通知される制御情報を取得し、そのうち、伝搬路情報に関連付けられた情報を伝搬路情報取得部 3 3 に向けて出力する。伝搬路情報取得部 3 3 では、制御情報取

得部 3 1 より入力された情報に基づき、各端末装置 2 から通知された $h_{FB,u}(k, t_1)$ を取得する。そして、伝搬路情報取得部 3 3 は、 $h_{FB,u}(k, t_1)$ に基づいて、式 (2) で表される量子化伝搬路行列 $H_{FB}(k, t_1)$ を算出する。

[0041] [数2]

$$H_{FB}(k, t_1) = \begin{pmatrix} \mathbf{h}_{FB,1}(k, t_1) \\ \vdots \\ \mathbf{h}_{FB,U}(k, t_1) \end{pmatrix} \quad \dots (2)$$

本実施形態においては、 $N_r = 1$ が仮定されているため、 $H_{FB}(k, t_1)$ は $U \times N_t$ の行列となる。伝搬路情報取得部 3 3 は、算出した $H_{FB}(k, t_1)$ をプリコーディング部 2 7 に向けて出力する。

[0042] 次いで、チャンネル符号化部 2 1 が各端末装置 2 宛ての送信データ系列に対してチャンネル符号化を行なったのち、データ変調部 2 3 が、QPSK、16QAM等のデジタルデータ変調を施す。データ変調部 2 3 はデータ変調を施したデータ信号をマッピング部 2 5 に入力する。

[0043] マッピング部 2 5 は、各データを指定された無線リソース（リソースエレメント、もしくは単にリソースとも呼ぶ）に配置するマッピング（スケジューリングもしくはリソースアロケーションとも呼ぶ）を行なう。ここでの無線リソースとは、周波数、時間、符号および空間を主に指す。使用される無線リソースは、端末装置 2 で観測される受信品質や、空間多重される端末同士の伝搬路の直交性等に基づいて決定される。本実施形態においては、使用される無線リソースは予め定められているものとし、基地局装置 1 と各端末装置 2 の双方で把握できているものとする。なお、マッピング部 2 5 は、各端末装置 2 において伝搬路推定を行なうための既知参照信号系列の多重も行なう。

[0044] 各端末装置 2 宛ての参照信号については、受信した端末装置 2 において分

離可能なように、それぞれが直交するように多重されるものとする。また、参照信号には、伝搬路推定用の参照信号である $\text{CSI-reference signal}$ (CSI-RS) と復調用の固有参照信号である $\text{Demodulation reference signal}$ (DMRS) の二つの参照信号が多重されるものとするが、別の参照信号を更に多重する構成としても構わない。CSI-RS は、各端末装置 2 で観測される CSI を推定するためのものであり、DMRS は後述するプリコーディングの結果が反映された伝搬路情報を推定するためのものである。本発明において、マッピング部 25 は、データ信号、DMRS および CSI-RS を、それぞれ異なる時間もしくは周波数で送信するようにマッピングするものとする。また、マッピング部 25 は CSI-RS を送信アンテナ間で直交するように配置する。また、マッピング部 25 は、DMRS を、端末装置間および関連付けられているデータストリーム間で直交するように配置する。マッピング部 25 は、マッピングしたデータ情報等を、それぞれ対応するサブキャリアのプリコーディング部 27 に入力する。

[0045] 図 3 は、本発明の第 1 の実施形態に係るプリコーディング部 27 の装置構成を示すブロック図である。図 3 に示すように、プリコーディング部 27 は、線形フィルタ生成部 27-1 と、摂動ベクトル探索部 27-2 と、送信信号生成部 27-3 とを含んで構成されている。以下では、時刻 t_2 に送信される送信データに対するプリコーディング部 27 の信号処理について説明する。なお、 $t_2 > t_1$ であるものとする。

[0046] プリコーディング部 27 には、時刻 t_2 において第 k サブキャリアで送信される各端末装置 2 宛ての送信データを含むマッピング部 25 の出力 $d(k, t_2) = [d_1(k, t_2), \dots, d_U(k, t_2)]^T$ と、伝搬路情報取得部 33 出力の量子化伝搬路行列第 k サブキャリアの伝搬路行列 $H_{FB}(k, t_1)$ が入力される。以下の説明では、簡単のため、サブキャリアインデックス k と時間インデックス t_1 および t_2 は省略して記述する。

[0047] プリコーディング部 27 は、初めに線形フィルタ生成部 27-1 において

、 $|U|$ を抑圧するための線形フィルタ W を算出する。線形フィルタ W の算出方法については、何かに限定されるものではない。例えば、 $|U|$ を完全に抑圧するZF規範($W = H_{FB}^+$)や、送信信号と受信信号との平均二乗誤差を最小とするMMSE規範($W = H_{FB}^H (H_{FB} H_{FB}^H + \alpha I)^{-1}$)に基づいて計算すれば良い。ここで α は残留 $|U|$ の大きさを制御する制御項である。線形フィルタ生成部27-1は、送信電力や空間多重端末数および所望受信品質等に基づいて α を決定する。例えば、1端末装置当たりの平均受信信号対雑音電力比(Signal-to-Noise power Ratio(SNR))の逆数に α を設定すれば良い。なお、線形フィルタ生成部27-1は複数のサブキャリアの平均二乗誤差の総和を最小とするような線形フィルタ W を計算しても良い。また、以上の説明では、線形フィルタ生成部27-1は線形フィルタ W をサブキャリア毎に計算するものとしているが、複数のサブキャリアで同一の線形フィルタを用いても良い。線形フィルタ生成部27-1は、算出した線形フィルタ W を振動ベクトル探索部27-2および送信信号生成部27-3に向けて、それぞれ出力する。

[0048] 線形フィルタ生成部27-1で算出された W を、各端末装置2宛ての送信データを並べて表現される送信データベクトル d に乗算することで送信信号ベクトル $s = Wd$ が算出される。実際には、送信電力を一定とするための電力正規化係数 β が乗算された $s = \beta Wd$ が送信信号ベクトルとなる。電力正規化係数 β は式(3)で与えられる。

[0049] [数3]

$$\beta = \sqrt{\frac{P}{\text{tr}(WE[dd^H]W^H)}} \quad \dots(3)$$

ここで、 P は総送信電力を表す。 $\beta = 1$ であれば、プリコーディングを施

したことによる所要送信電力の増加は発生しないことを意味し、 $\beta < 1$ であることは、所要送信電力が増加してしまうこと意味している。 $\beta = 1$ となるのは、線形フィルタ W が直交行列となる場合である。

[0050] 基地局装置 1 が空間多重する端末装置 2 の組み合わせを適切に行なうことで、線形フィルタ W を直交行列とすることができる。しかし、そのような制御は、各端末装置 2 の通信機会の公平性を低下させてしまうから、端末装置 2 の組み合わせには制限を与えない方が望ましい。また、基地局装置 1 に接続されている端末装置 2 の数が少ない場合、線形フィルタ W を直交行列とするような端末装置 2 の組み合わせが存在しない場合もある。所要送信電力の増加を回避する方法として、摂動項を送信データに対して加算する方法が考えられる。送信データに摂動項を加算することを前提としたプリコーディングを非線形プリコーディングと呼ぶ。

[0051] 摂動項は予め決められた実数 2δ が任意のガウス整数に乗算された複素数として表現される。端末装置 2 が modulo 演算（モジュロ演算、または剰余演算とも呼ぶ）と呼ばれる信号処理を受信信号に施すことで、摂動項を取り除くことができる。実数 2δ は modulo 幅とも呼ばれ、基地局装置 1 と端末装置間で共有されているのであれば、如何なる値でも構わないが、最小信号点間距離が Ω の M 値直交振幅変調の場合、 $2\delta = \Omega \times M^{1/2}$ とすることが望ましい。例えば、QPSK（4QAM）変調であれば $2\delta = 2 \times 2^{1/2}$ 、16QAM 変調であれば、 $2\delta = 8 \times 10^{-1/2}$ とすれば良い。基地局装置 1 が無数に存在する摂動項から、電力正規化項 β を最も大きくできる摂動項を探索し、送信データに加算することで、端末装置 2 の組み合わせに依らず、常に一定の受信品質を保つことができる。周波数利用効率を最大化しようとした場合、基地局装置 1 が探索すべき摂動項は所要送信電力を最小化するものであるが、所望の周波数利用効率や受信品質が予め設定されている場合、所望の品質を達成できる摂動項を探索すれば十分である。また、以上の説明では、基地局装置 1 は全てのサブキャリアで摂動項の探索を行なうことにしているが、一部のサブキャリアについては、摂動項の探索を行なわずとも良い。

[0052] はじめに、従来方式における摂動ベクトル探索部 27-2 の摂動項の探索方法について説明する。基地局装置 1 に U 個の端末装置 2 が接続されている場合、空間多重される全送信データ数は U 個であり、それぞれに対して摂動項を加算することが可能である。また、摂動項は任意のガウス整数から選択できるから、仮に選択可能なガウス整数の数を K 個に制限したとしても、送信データに加算できる摂動項の組み合わせは全部で K^U 通りにもおよび、全てを探索するのは現実的ではない。

[0053] そこで、良く知られている方法として、Sphere encoding (SE) に基づく摂動項探索方法がある。この場合、摂動ベクトル探索部 27-2 は出力する最適な摂動項の組み合わせ（摂動ベクトル）である $2\delta z = 2\delta [z_1, \dots, z_U]^T$ は式 (4) を満たす。

[0054] [数4]

$$\mathbf{z} = \arg \min_{\{z_u \in \mathbf{Z}[i], u=1 \sim U\}} \|\mathbf{W}(\mathbf{d} + 2\delta \mathbf{z})\|^2 \quad \dots(4)$$

摂動ベクトル探索部 27-2 は、算出された摂動ベクトルを送信信号生成部 27-3 に向けて出力する。

[0055] 送信信号生成部 27-3 は、線形フィルタ生成部 27-1 で算出された線形フィルタ W と、摂動ベクトル探索部 27-2 において算出された摂動ベクトル z と、送信データベクトル d に基づいて、送信信号ベクトル $\mathbf{s} = \beta \mathbf{W}(\mathbf{d} + 2\delta \mathbf{z})$ を算出する。なお、このときの電力正規化項 β は、摂動ベクトル z を考慮して改めて算出されたものである。以下では、線形フィルタには電力正規化項 β も含めて考える。

[0056] ここで、従来方式に基づいて摂動ベクトルを探索した場合における受信信号について説明する。基地局装置 1 が送信信号ベクトル $\mathbf{s} = \mathbf{W}(\mathbf{d} + 2\delta \mathbf{z})$ を送信したとき、第 u 端末装置 2 が時刻 t_2 で第 k サブキャリア（表記は省略する）において観測する受信信号は式 (5) で与えられることになる。た

だし、雑音については記載を省略する。

[0057] [数5]

$$\begin{aligned}
 r_u(t_2) &= \mathbf{h}_u(t_2) \mathbf{W}(\mathbf{d}(t_2) + 2\delta \mathbf{z}(t_2)) \\
 &= \mathbf{h}_u(t_2) \mathbf{w}_u(d_u(t_2) + 2\delta z_u(t_2)) + \mathbf{h}_u(t_2) \sum_{i=1, i \neq u}^U \mathbf{w}_i(d_i(t_2) + 2\delta z_i(t_2)) \\
 &\quad \dots (5)
 \end{aligned}$$

ここで、第1項が所望信号成分、第2項がユーザ間干渉(IUI)成分となる。仮に、第u端末装置2-uが基地局装置1に $\mathbf{h}_u(t_2)$ を理想的に通知できるのであれば、基地局装置1のプリコーディング処理により、IUIを抑圧することが可能である。しかし、既に述べたように、第u端末装置2-uが通知できるのは、時刻 t_1 において推定した $\mathbf{h}_u(t_1)$ に基づいて算出される $\mathbf{h}_{FB,u}(t_1)$ である。基地局装置1の線形フィルタ生成部27-1が算出する線形フィルタは $\mathbf{h}_{FB,u}(t_1)$ に基づいているため、時刻 t_2 に送信される送信信号が引き起こすIUIを抑圧することはできない。つまり、基地局装置1において、プリコーディングを施すMU-MIMO伝送においても、IUIを0とすることは実質不可能である。

[0058] これは、時間複信方式(Time Division Duplex(TDD))に基づく通信システムにおいて、上下リンクの伝搬路の双対性に基づいてプリコーディングが適用される場合でも同様である。基地局装置1は、上リンク伝送の信号に含まれている参照信号により端末装置2との間の伝搬路行列を推定し、その伝搬路行列に基づいて下りリンク伝送の信号に対して、プリコーディングを施す。この場合、上りリンク伝送と下りリンク伝送は異なる時間で交互に行なわれるため、基地局装置1が上りリンク伝送の参照信号に基づいて推定した伝搬路行列と、プリコーディングを施した信号が実際に伝搬する伝搬路行列との間には、少なくとも時変動誤差が存在する。そのため、TDDシステムにおいても、FDDシステムと同様に、IUIを完全に0とすることはできない。

。

[0059] 以上のことから、実際の通信システムにおいては、 IU は存在するものとして、MURMIMO伝送を考える必要がある。ここで、非線形プリコーディングと線形プリコーディングにおける、 IU の性質の違いについて述べる。線形プリコーディングでは、 IU に含まれるのは、現時刻の伝搬路情報と、線形フィルタ W と、他端末装置2宛ての送信データである。一方、非線形プリコーディングでは、更に他端末装置2宛ての送信データに加算されている摂動項が加わる。よって、同じ量子化伝搬路行列に基づいてプリコーディングを行なったとしても、非線形プリコーディングの平均 IU 電力は、線形プリコーディングよりも大きくなってしまう。そのため、フィードバック誤差が大きい場合、非線形プリコーディングの伝送特性は、線形プリコーディングよりも劣ってしまうのである。本発明は、このような環境下において、非線形プリコーディングの伝送特性の劣化を軽減することを目的としている。

[0060] 以下では、本実施形態における、非線形プリコーディングの伝送特性の劣化を軽減する方法について述べる。従来方式と異なるのは、基地局装置1のプリコーディング部27の摂動ベクトル探索部27-2における信号処理となる。

[0061] 従来方式では、摂動ベクトル探索部27-2は、式(4)を満たす摂動ベクトルを探索している。このとき、式(4)でも述べているが、摂動ベクトル探索部27-2が候補とできる摂動項は任意のガウス整数である。そのため、電力正規化項 β を最大化できるのであれば、各端末装置2宛ての送信データに加算される摂動項については、極端に大きな値を用いても良いことになる。しかし、このようにして加算される摂動項が、各端末装置2で観測される IU を強調してしまうことは既に述べた。

[0062] そこで、本実施形態においては、摂動ベクトル探索部27-2が候補とできる摂動項に制限を与える。図4A~4Dは、本発明の第1の実施形態における、摂動ベクトル探索部27-2が候補とする摂動項について説明する複

素平面図である。図4 Aは、従来方式における摂動項候補を表しており、候補点(図中で○で表記)は複素平面全体に広がっている。図4 Bは、本実施形態における、摂動項候補の一例を表す図である。図4 Bに示すように、本実施形態においては、摂動項候補は複素平面全体には広がっておらず、 $2\delta \times \{0, 1, j, -1, -j\}$ の5点のみとなる。

[0063] 摂動ベクトル探索部27-2が図4 Bで示す5点を摂動項候補とした場合、当然、図4 Aで示す摂動項候補を用いた場合と比較して、電力正規化項 β の値は小さくなってしまう。つまり、受信信号対雑音電力比(Signal-to-Noise power Ratio(SNR))は低下してしまう。一方で、各端末装置2宛ての送信データに加算される摂動項の電力は小さくなるから、各端末装置2で観測される $|U|$ の電力は、従来方式と比較して小さくすることができる。つまり、受信信号対干渉電力比(Signal-to-Interference power Ratio(SIR))は向上する。実際の伝送特性は、受信信号対干渉プラス雑音電力比(Signal-to-Interference plus Noise power Ratio(SINR))に依存するから、最も望ましい手法は、SNRとSIRの両方を向上させる手法である。摂動項候補の数に制限を与えることは、SIRを向上させる一方で、SNRを低下させてしまう。しかし、フィードバック誤差が存在する環境下においては、伝送特性に与える影響はSIRの方が支配的である。よって、本実施形態による方法は、従来方式よりも良好な伝送特性を実現することができる。

[0064] 摂動項候補の制限の仕方については、図4 Bの方法に限定されるものではない。例えば、図4 Cや図4 Dに示すように、摂動項候補点に対する制限を更に厳しくする方法や、摂動項候補点数を若干増加させるような制限を与えても良い。摂動項候補の数に対し、SNRは比例し、SIRは反比例する。よって、基地局装置1の摂動ベクトル探索部27-2では、通信システムの所要品質に応じて、摂動項候補点数を制御してやれば良い。所要品質と摂動項候補点数の関連付けは、前もって計算機シミュレーション等によって行なっておけば良い。

[0065] また図5 A～5 Dに示すような制限の仕方もある。図5 A～5 Dは、本発

明の第1の実施形態における、摂動ベクトル探索部27-2が候補とする摂動項について説明する別の複素平面図である。これは、複素平面上において、摂動項が加算される送信データが存在する象限に応じて、摂動ベクトル探索部27-2が摂動項候補に与える制限の方法を変化させる手法である。図5Aは第1象限、図5Bは第2象限、図5Cは第3象限、図5Dは第4象限に、それぞれ送信データが存在する場合の摂動項候補点を示している。図4A~4Dと同様に○が摂動項候補点を示す。例えば、送信データが第1象限に存在するのではあれば、摂動項候補は $2\delta \times \{0, -1, -j, -1-j, -2, -2j\}$ とし、送信データが第2象限に存在するのではあれば、 $2\delta \times \{0, 1, -j, 1-j, 2, -2j\}$ を摂動項候補とする。これは、電力正規化項を最大化しようとした場合に、送信データに加算される摂動項は、送信データが存在する象限に対して点対象の象限に存在する確率が高いという性質に基づいている。この方法によれば、図4A~4Dに示すように、単純に摂動項候補点数に制限を加える場合と比較して、SNRの低下を小さくすることができる。各象限における摂動項候補点数については、図4A~4Dと同様に、所要品質等に応じて、決定すれば良い。

[0066] 以上、説明してきた方法により、摂動ベクトル探索部27-2は適切な摂動ベクトル $2\delta z = 2\delta [z_1, \dots, z_U]^T$ を算出し、送信信号生成部27-3に向けて出力する。

[0067] 送信信号生成部27-3は、線形フィルタ生成部27-1で算出された線形フィルタWと、摂動ベクトル探索部27-2において算出された摂動ベクトル $2\delta z$ と、送信データベクトルdに基づき、送信信号ベクトル $s = W(d + 2\delta z)$ を算出する。

[0068] なお、以上の説明では、送信電力の正規化はサブキャリア毎に行なっているが、送信信号生成部27-3は複数のサブキャリアおよびOFDM信号の合計の送信電力を一定とするように電力正規化を行なっても良い。この場合、摂動ベクトル探索部27-2は複数のサブキャリアおよびOFDM信号の合計の所要送信電力を考慮して摂動ベクトルzの探索を行なっても良い。

[0069] 送信信号生成部 27-3 において算出された送信信号ベクトルは、プリコーディング部 27 の出力として、アンテナ部 29 に入力される。なお、CSI-RS がプリコーディング部 27 に入力された場合、プリコーディング処理は施されず、送信電力の調整だけが行なわれて、アンテナ部 29 に向けて出力されることになる。一方、DM-RS が入力された場合、線形フィルタ W だけが乗算される事になり、摂動項の加算は行なわれない。このとき、電力正規化項 β はデータ信号に乗算されたものと同じとすることが望ましい。そのため、DM-RS とプリコーディングが施されるデータ信号は、纏めて送信電力を正規化するように制御しても良い。

[0070] 図 6 は、本発明の第 1 の実施形態に係るアンテナ部 29 の装置構成を示すブロック図である。図 6 に示すように、アンテナ部 29 は、IFFT 部 29-1 と、GI 挿入部 29-2 と、無線送信部 29-3 と、無線受信部 29-4 と、アンテナ 29-5 とを含んで構成されている。各アンテナ部 29 では、初めに、IFFT 部 29-1 が、対応するプリコーディング部 27 より出力される信号に対して、 N_c ポイントの逆高速フーリエ変換 (IFFT)、もしくは逆離散フーリエ変換 (IDFT) を適用し、 N_c サブキャリアを有する OFDM 信号を生成し、GI 挿入部 29-2 に入力する。ここでは、サブキャリア数と IFFT のポイント数は同じものとして説明しているが、周波数領域にガードバンドを設定する場合、ポイント数はサブキャリア数よりも大きくなる。GI 挿入部 29-2 は入力された OFDM 信号にガードインターバルを付与したのち、無線送信部 29-3 に入力する。無線送信部 29-3 は、入力されたベースバンド帯の送信信号を無線周波数 (RF) 帯の送信信号に変換し、アンテナ 29-5 に入力する。アンテナ 29-5 は入力された RF 帯の送信信号を送信する。

[0071] [1. 2. 端末装置 2]

図 7 は、本発明の第 1 の実施形態に係る端末装置 2 の構成を示すブロック図である。図 7 に示すように、端末装置 2 は端末アンテナ部 51 と、伝搬路推定部 53 と、フィードバック情報生成部 55 と、チャネル等化部 57 と、

デマッピング部59とデータ復調部61と、チャネル復号部63とを含んで構成されている。そのうち、端末アンテナ部51は受信アンテナ数 N_r だけ存在する。ただし、以下の説明では、受信アンテナ数は $N_r=1$ であるものとし、基地局装置1に接続している複数の端末装置2のうち第 u 端末装置2- u に着目して説明を行なうが、他の端末装置2における信号処理も同一である。

[0072] 図8は、本発明の第1の実施形態に係る端末アンテナ部51の構成を示すブロック図である。図8に示すように、端末アンテナ部51は、無線受信部51-1と、無線送信部51-2と、GI除去部51-3と、FFT部51-4と、参照信号分離部51-5、アンテナ51-6と、を含んで構成されている。基地局装置1より送信された送信信号は、はじめに端末アンテナ部51のアンテナ51-6で受信されたのち、無線受信部51-1に入力される。無線受信部51-1は、入力された信号をベースバンド帯の信号に変換し、GI除去部51-3に入力する。GI除去部51-3は、入力された信号からガードインターバルを取り除き、FFT部51-4に入力する。FFT部51-4は、入力された信号に対して N_r ポイントの高速フーリエ変換（FFT）もしくは離散フーリエ変換（DFT）を適用し、 N_r 個のサブキャリア成分に変換したのち、参照信号分離部51-5に入力する。参照信号分離部51-5は、入力された信号を、データ信号成分とCSI-RS成分と、DMRS成分とに分離する。参照信号分離部51-5は、データ信号成分については、チャネル等化部57に入力し、CSI-RSとDMRSについては、伝搬路推定部53に入力する。以下で説明する信号処理は基本的にはサブキャリア毎に行なわれることになる。

[0073] なお、CSI-RSとDMRSは、ともに周期的に送信される。以下では、説明を簡単にするため、CSI-RSに関する信号処理は、時刻 t_1 に受信されたCSI-RSを対象とする。また、DMRSについては、データ信号成分と同様に、時刻 t_2 に受信されたDMRSを対象に説明を行なう。

[0074] 伝搬路推定部53は、入力された既知参照信号であるCSI-RSおよびDMRSに基づいて伝搬路推定を行なう。はじめに時刻 t_1 に受信されたCSI-RSを用いた伝搬路推定について説明する。CSI-RSは、プリコーディングを適用されずに送信されているため、式(1)で表されている伝搬路行列 $H(k, t_1)$ のうち、第 u 端末装置2-uに対応する行列 $h_u(k, t_1)$ を推定することが可能である。通常、CSI-RSは無線リソースに対して周期的に多重されるため、全てのサブキャリアの伝搬路情報を直接推定することはできない。しかし、標本化定理を満たすような時間間隔、および周波数間隔でCSI-RSが送信されれば、端末装置2は、適切な補間により全サブキャリアの伝搬路情報を推定することができる。具体的な伝搬路推定方法については、特に限定しないが、例えば二次元MMSE伝搬路推定を用いれば良い。

[0075] 第 u 端末装置2-uの伝搬路推定部53はCSI-RSに基づいて推定した伝搬路情報 $h_u(k, t_1)$ をフィードバック情報生成部55に入力する。フィードバック情報生成部55は、入力された伝搬路情報と各端末装置2がフィードバックする伝搬路情報形式に応じて、基地局装置1にフィードバックする情報、すなわち、 $h_{FB,u}(k, t_1)$ を生成する。本発明においては、伝搬路情報形式については何かに限定されるものではない。例えば、推定された伝搬路情報 $h_u(k, t_1)$ の各要素に対して、有限ビット数にて量子化を行ない、その量子化情報をフィードバックする方法が考えられる。また、基地局装置1との間で予め取り決めておいたコードブックに基づいてフィードバックを行なっても良い。

[0076] また、 $h_u(k, t_1)$ を直接量子化するのではなく、何らかの信号変換を施したのちに、量子化を行なっても良い。信号変換として、例えば、特異値分解を施す方法が考えられる。この場合、フィードバック情報生成部55は、特異値分解によって得られた固有ベクトル、もしくは固有ベクトルと特異値の両方を量子化することで、基地局装置1に通知する情報を生成する。

[0077] なお、本実施形態においては、伝搬路情報は全てサブキャリア毎、すなわ

ち、周波数領域の伝搬路情報を用いるものとしている。一方で、フィードバック情報生成部 55 は周波数領域で推定された伝搬路情報に対して、逆離散フーリエ変換もしくは逆離散コサイン変換を施すことで、時間領域の伝搬路情報に変換したのち、量子化を施しても良い。また、フィードバック情報生成部 55 は、時間領域に変換された伝搬路情報の一部のみをフィードバックするような制御を行なっても良い。

[0078] また、 $h_{FB,u}(k, t_1)$ が内包する時変動誤差を抑圧するために、フィードバック情報生成部 55 では、時刻 t_1 までに取得している複数の伝搬路情報 $h_u(k, t)$ に基づいて、外挿補間を行なって得た伝搬路情報に基づいて、フィードバック情報を生成しても良い。

[0079] また、1 次線形予測等の多項式補間に基づいて外挿を行なう場合、補間に用いた多項式の係数をフィードバック情報としても良い。例えば、端末装置が時刻 t における伝搬路情報 $H(t)$ を 1 次線形予測する場合、端末装置は $H(t) = A \times t + B$ で表される 1 次式に基づいて予測を行なう。ここで、 A および B は、最小二乗法や、平均二乗誤差最小法等に基づいて、各アンテナおよび各離散パスの複素チャネル利得毎に計算されることになる。この場合、フィードバック情報生成部 55 は、各アンテナおよび各離散パスの複素チャネル利得毎に計算された A および B をフィードバック情報としても良い。

[0080] また、伝搬路情報の予測は、周波数領域において行なっても良い。この場合、端末装置はサブキャリア毎に線形予測を行なっても良いし、複数のサブキャリアを纏めたりソースブロック毎に線形予測を行なっても良い。この場合においても、端末装置は、予測した伝搬路情報そのものではなく、予測に用いた多項式の係数をフィードバック情報としても良い。

[0081] 以上説明してきたように、端末装置がフィードバック情報として通知可能な情報は多岐にわたるが、基地局装置と端末装置との間でフィードバックの情報形式が共有されているのであれば、基地局装置は、フィードバックされた情報に基づき、チャネル情報を取得することが可能である。

[0082] フィードバック情報生成部 55 は、生成した信号を端末アンテナ部 51 の無線送信部 51-2 に入力する。無線送信部 51-2 は入力された信号を基地局装置 1 に送信するのに適した信号に変換し、端末アンテナ部 51 のアンテナ 51-6 に入力する。端末アンテナ部 51 のアンテナ 51-6 は入力された信号を基地局装置 1 に向けて送信する。なお、DMRS を用いた伝搬路推定については後述する。

[0083] チャネル等化部 57 における信号処理について説明する。今、第 u 端末装置 2-u に時刻 t_2 に受信される第 k サブキャリアのデータ信号成分を $r_u(t_2)$ で表すものとしたとき、 $r_u(t_2)$ は式 (6) で与えられる (サブキャリアインデックス k は省略する)。

[0084] [数6]

$$\begin{aligned} r_u(t) &= \mathbf{h}_u(t_2) \mathbf{W}(\mathbf{d}(t_2) + 2\delta \mathbf{z}(t_2)) + \eta_u(t_2) \\ &= \mathbf{h}_u(t_2) \mathbf{w}_u(d_u(t_2) + 2\delta z_u(t_2)) + \mathbf{h}_u(t_2) \sum_{i=1, i \neq u}^U \mathbf{w}_i(d_i(t_2) + 2\delta z_i(t_2)) + \eta_u(t_2) \\ &\quad \dots (6) \end{aligned}$$

以下では、データ信号および摂動項の時間インデックス t_2 については、記載を省略する。

[0085] 所望信号 ($d_u + 2\delta z_u$) は、伝搬路の時間および周波数選択性の影響を受けて、信号の振幅と位相が変動している。そのため、端末装置 2 が所望信号を正しく復調するためには、この影響を取り除くチャネル等化処理が必要となる。端末装置 2 がチャネル等化処理を行なうためには、信号の振幅と位相に影響を与えている伝搬路利得 ($h_u(t_2) \times w_u$) を必要とする。

[0086] そこで、伝搬路推定部 53 では、時刻 t_2 に送信された DMRS に基づき、チャネル等化のための伝搬路情報を推定する。DMRS はデータ信号と同様に、線形フィルタ W が乗算されて送信されており、また DMRS は端末装置間で直交するような無線リソースで送信されている。よって、第 u 端末装置 2-u は DMRS を用いることで、チャネル等化に必要な $h_u(t_2) \times w_u$ を推

定することが可能となる。伝搬路推定部 5 3 は D M R S に基づいて推定した伝搬路情報をチャネル等化部 5 7 に向けて出力する。

[0087] チャネル等化部 5 7 では、伝搬路推定部 5 3 より入力されたチャネル等化に必要な伝搬路情報 $\mathbf{h}_u(t_2) \times \mathbf{w}_u$ に基づいて、受信信号のデータ信号成分に対して、チャネル等化を行なう。チャネル等化の方法として、例えば、式 (7) のように行なえば良い。

[0088] [数7]

$$\begin{aligned} \hat{d}_u &= r_u(t_2) / \mathbf{h}_u(t_2) \mathbf{w}_u \\ &= (d_u + 2\delta z_u) + \frac{\mathbf{h}_u(t_2)}{\mathbf{h}_u(t_2) \mathbf{w}_u} \sum_{i=1, i \neq u}^U \mathbf{w}_i (d_i + 2\delta z_i) + \frac{1}{\mathbf{h}_u(t_2) \mathbf{w}_u} \eta_u(t_2) \end{aligned}$$

... (7)

チャネル等化部 5 7 では、チャネル等化後の受信信号 $\hat{d}_u$ から摂動項を取り除くための、modulo 演算をさらに施す。ここで、modulo 演算は式 (8) で与えられる信号処理である。

[0089] [数8]

$$\text{modulo}_{2\delta}(\hat{d}_u) = \hat{d}_u - 2\delta \cdot \text{floor}(\hat{d}_u / 2\delta + (1+j)/2)$$

... (8)

modulo 演算は入力に対して、出力の実部と虚部の大きさをそれぞれ $-\delta$ より大きく、 δ より小さくするものである。よって、残留 $|U|$ および雑音の電力が十分に小さい場合、modulo 演算は実部と虚部の大きさがそれぞれ 2δ 以上となる摂動項を取り除くことができる。チャネル等化部 5 7 では、チャネル等化および modulo 演算後の信号をデマッピング部 5 9 に向けて出力する。

[0090] デマッピング部 5 9 においては、端末装置 2 は、自装置宛ての送信データの送信に使われている無線リソースより、自装置宛ての送信データを抽出す

る。なお、参照信号分離部 51-5 の出力を、先にデマッピング部 59 に入力し、自装置に該当する無線リソース成分のみをチャネル等化部 57 に入力するような構成としても良い。デマッピング部 59 の出力は、その後、データ復調部 61 およびチャネル復号部 63 に入力され、データ復調とチャネル復号が行なわれる。

[0091] なお、チャネル復号部 63 が行なうチャネル復号の方法によっては、摂動項が加算された信号を用いて直接復号することも可能である。この場合、チャネル等化部 57 では modulo 演算を行なわなくても構わない。

[0092] また、非線形プリコーディングを用いる場合、端末装置 2 が受信信号の対数尤度比を求める場合、従来方式においては、全ての摂動項が等確率で発生することを前提としている。一方、本実施形態の場合、基地局装置 1 が選択できる摂動項には制限が存在するから、端末装置 2 は選択可能性のある摂動項のみを考慮して対数尤度比を求めるようにしても良い。

[0093] 本実施形態においては、OFDM 信号伝送を仮定し、プリコーディングはサブキャリア毎に行なうことを仮定したが、伝送方式（もしくはアクセス方式）やプリコーディングの適用単位に制限は無い。例えば、複数サブキャリアを一纏めとしたリソースブロック毎にプリコーディングが行なわれた場合も本実施形態は適用可能であり、同様に、シングルキャリアベースのアクセス方式（例えばシングルキャリア周波数分割多重アクセス（SC-FDMA）方式など）にも適用することが可能である。

[0094] 以上、説明してきた方法により、非線形プリコーディングに基づく下りリンク MU-MIMO 伝送において、伝搬路の時間変動に起因して発生する残留 IUI を抑圧することが可能となる。よって、伝搬路の時間変動が無視できない環境下においても、大きな伝送特性の劣化を引き起こすことなく、伝送を行なうことが可能となる。

[0095] [2. 第 2 の実施形態]

第 1 の実施形態においては、基地局装置 1 の摂動ベクトル探索部 27-2 が探索する摂動項の候補点数に制限を与えることで、残留 IUI を抑圧する

手法を明らかとした。第２の実施形態では、摂動項候補の選択規範に制限を与えることで、フィードバック誤差に起因して発生する残留 $|U|$ を抑圧する方法を対象とする。第１の実施形態と、第２の実施形態とで、基地局装置１および端末装置２の装置構成に違いは無く、異なるのは、基地局装置１の摂動ベクトル探索部２７－２における信号処理である。

[0096] [２．１ 基地局装置１の摂動ベクトル探索部２７－２の信号処理]

第１の実施形態では、図４Ａ～４Ｄおよび図５Ａ～５Ｄに示すような摂動項が選択可能であるという条件のもとで、式（４）で示されている最小化問題を解くことで、摂動ベクトルの探索を行っていた。

[0097] ところで、第 u 端末装置２－ u が観測する $|U|$ 電力は式（６）に基づいて計算することが可能であり、式（９）で表現される（時間インデックスは省略する）。

[0098] [数９]

$$\begin{aligned} \left\| \mathbf{h}_u \sum_{i=1, i \neq u}^U \mathbf{w}_i (d_i + 2\delta z_i) \right\|^2 &= \left\| \mathbf{h}_u(t_2) (\mathbf{W}_u (\mathbf{d} + 2\delta \mathbf{z})) \right\|^2 \\ \mathbf{W}_u &= [\mathbf{w}_1, \dots, \mathbf{w}_{u-1}, \mathbf{0}, \mathbf{w}_{u+1}, \dots, \mathbf{w}_U] \end{aligned}$$

... (9)

ここで、 $\mathbf{W}_u$ は線形フィルタ $\mathbf{W}$ の第 u 列に零ベクトルを代入した行列である。

[0099] 式（９）を最小化することで、第 u 端末装置２－ u で観測される $|U|$ を最小化することができる。そこで、第２の実施形態の摂動ベクトル探索部２７－２では、式（９）を最小化する摂動ベクトルを探索する。

[0100] 具体的には、第 u 端末装置２－ u で観測される $|U|$ を最小化する摂動ベクトルは式（１０）を満たす。

[0101]

[数10]

$$\mathbf{z} = \arg \min_{\{z_j \in \mathbf{Z}[i], j=1 \sim U\}} \|\mathbf{W}_u(\mathbf{d} + 2\delta\mathbf{z})\|^2 = \arg \min_{\{z_j \in \mathbf{Z}[i], j=1 \sim U\}} \alpha_u$$

$$\alpha_u = \|\mathbf{W}_u(\mathbf{d} + 2\delta\mathbf{z})\|^2$$

...(10)

摂動ベクトル探索部 27-2 が式 (10) を満たす摂動ベクトルを探索すれば、第 u 端末装置 2-u で観測される $|\mathbf{U}|$ を抑圧することができる。しかし、第 u 端末装置 2-u 以外の端末装置 2 で観測される $|\mathbf{U}|$ は抑圧されない。そこで、本実施形態では、基地局装置 1 の摂動ベクトル探索部 27-2 は、各端末装置 2 で観測される $|\mathbf{U}|$ の平均電力を抑圧するような摂動ベクトルを探索する。具体的には、摂動ベクトル探索部 27-2 は、式 (11) を満たす摂動ベクトルを探索する。

[0102] [数11]

$$\mathbf{z} = \arg \min_{\{z_j \in \mathbf{Z}[i], j=1 \sim U\}} \sum_{u=1}^U \alpha_u$$

...(11)

式 (11) を満たす摂動ベクトルを、摂動ベクトル探索部 27-2 が探索することで、各端末装置 2 で観測される $|\mathbf{U}|$ の平均電力を抑圧することが可能となる。なお、式 (10) で示すように、摂動ベクトル探索部 27-2 は、任意の端末装置 2 の $|\mathbf{U}|$ のみを抑圧するように制御しても構わない。また、全端末装置 2 ではなく、任意の複数の端末装置 2 の $|\mathbf{U}|$ の平均電力を抑圧するように制御しても構わない。このとき、 $|\mathbf{U}|$ を抑圧する端末装置 2 を、時間および周波数領域において、周期的に切り替えても良い。例えば、摂動ベクトル探索部 27-2 は時刻 t_3 では第 1 の端末装置 2-1 の $|\mathbf{U}|$

I を抑圧し、時刻 t_4 では第 2 の端末装置 2-2 の $|U|$ を抑圧するような制御をしても構わない。

[0103] なお、本実施形態においては、各端末装置 2 宛ての送信データに加算する摂動項の候補点については、制限を与える必要はない。この点は、摂動項候補点に制限を与える第 1 の実施形態との相違点となるが、もちろん、本実施形態においても、第 1 の実施形態と同様に、摂動項候補点数に制限を与えても構わない。

[0104] また、基地局装置 1 は、符号化率や変調多値数等に応じて、第 1 の実施形態の方法（第 1 の方法）と、第 2 の実施形態の方法（第 2 の方法）とを、同時にもしくは選択的に用いるように制御しても良い。さらに、摂動項候補点数や、摂動項探索規範に制限を与えない従来の方法を加えて、これらの方法を、同時にもしくは選択的に用いるように制御しても良い。また、基地局装置 1 は、送信電力や、各端末装置 2 より通知される伝搬路情報に基づき、第 1 の方法と第 2 の方法とを、同時にもしくは選択的に用いても良い。例えば、伝搬路情報から、ユーザ間干渉が大きくなることが想定される場合、第 2 の方法を用いて、ユーザ間干渉があまり大きくない場合には、第 1 の方法を用いるような制御をしても良い。

[0105] 第 2 の実施形態の方法によれば、フィードバック誤差に起因して発生するユーザ間干渉を抑圧することができるため、非線形 MU-MIMO の周波数利用効率を改善させることができる。

[0106] [3. 第 3 の実施形態]

第 1 および第 2 の実施形態では、摂動項候補点数、もしくは摂動ベクトルの選択規範に制限を与えることで、各端末装置で観測される $|U|$ を抑圧する。ところで、第 1 および第 2 の実施形態では、各端末装置 2 が基地局装置 1 に通知している伝搬路情報 $h_{FB,u}(k, t_1)$ と実際の伝搬路情報 $h_u(k, t_2)$ との間に存在するフィードバック誤差の統計的性質が全端末装置 2 で同一であることを想定している。ここで、フィードバック誤差の統計的性質が同一という状況について、例えば、全端末装置 2 が同じ伝搬路情報形式に基づ

き $h_{FB,u}(k, t_1)$ を算出している状況や、全端末装置 2 の移動速度がほぼ同一である状況が該当する。第 3 の実施形態では、フィードバック誤差の統計的性質が端末装置 2 毎に異なる状況を対象とする。

[0107] [3. 1 端末装置 2]

第 3 の実施形態に係る端末装置 2 の装置構成は、第 1 および第 2 の実施形態と同様である。異なるのは、フィードバック情報生成部 55 における信号処理のみである。よって、以下では、端末装置 2 のフィードバック情報生成部 55 における信号処理についてのみ説明を行なう。

[0108] フィードバック情報生成部 55 では 2 つの情報を生成する。1 つは、第 1 および第 2 の実施形態と同様で、基地局装置 1 と端末装置間の伝搬路情報 $h_u(k, t_1)$ に基づいて算出される、基地局装置 1 に通知する伝搬路情報 $h_{FB,u}(k, t_1)$ である。 $h_{FB,u}(k, t_1)$ の算出方法については、第 1 および第 2 の実施形態と同様であるから、説明は省略する。

[0109] フィードバック情報生成部 55 で生成する 2 つ目の情報は、伝搬路情報 $h_{FB,u}(k, t_1)$ と、実際の伝搬路情報 $h_u(k, t_1)$ もしくは $h_u(k, t_2)$ との間のフィードバック誤差に関連付けられた情報である。ここで、誤差に関連付けられた情報とは、基地局装置 1 が実際に把握できる $h_{FB,u}(k, t_1)$ が内包するフィードバック誤差の大きさを基地局装置 1 が把握可能な情報である。例えば、 $h_u(k, t_1)$ と $h_{FB,u}(k, t_1)$ との正規化平均二乗誤差を通知する方法が考えられる。基地局装置 1 は、正規化平均二乗誤差が大きければ、 $h_{FB,u}(k, t_1)$ のフィードバック誤差が大きいと判断することが可能である。また、端末装置 2 の移動速度を基地局装置 1 に通知する方法が考えられる。端末装置 2 は、自装置に受信される受信信号の周波数スペクトラムから最大ドップラー周波数を推定することが可能であるから、端末装置 2 は基地局装置 1 に最大ドップラー周波数を通知してやれば良い。この場合、基地局装置 1 は、最大ドップラー周波数が高い端末装置 2 については、フィードバック誤差が大きくなると判断することが可能である。なぜならば、移動速度が大きい場合、時変動誤差が大きくなるためである。

[0110] また、端末装置 2 が $h_{FB,u}(k, t_1)$ を算出する際に用いた伝搬路情報形式に関する情報を通知する方法も考えられる。例えば、 $h_u(k, t_1)$ から、 $h_{FB,u}(k, t_1)$ に量子化を施す場合、量子化ビット数が大きければ大きいほど、 $h_{FB,u}(k, t_1)$ のフィードバック誤差は小さくなる。一方で、 $h_{FB,u}(k, t_1)$ の通知に係る情報量が増加することになるから、量子化ビット数は、所要の通信品質や、許容情報量に応じて最適化する必要がある。そこで、端末装置 2 は、その量子化ビット数を、フィードバック誤差に関連付けられた情報としても構わない。

[0111] また、端末装置 2 は、全てのサブキャリアの $h_{FB,u}(k, t_1)$ を通知するのではなく、複数のサブキャリアで構成されるリソースブロック単位で $h_{FB,u}(k, t_1)$ を通知する場合も考えられる。この場合、1 リソースブロックを構成するサブキャリア数が大きい場合や、複数リソースブロック単位での通知を行なう場合、 $h_{FB,u}(k, t_1)$ が内包する誤差が大きくなる。よって、端末装置 2 のフィードバック情報生成部 55 は、リソースブロックを構成するサブキャリア数や、リソースブロック数を、誤差に関連付けられた情報として出力するようにしてもよい。

[0112] また、フィードバック情報生成部 55 は、 $h_{FB,u}(k, t_1)$ が基づく伝搬路情報形式ではなく、 $h_u(k, t_1)$ の推定精度をフィードバック誤差に関連付けられた情報としても構わない。例えば、 $h_u(k, t_1)$ の推定精度は、参照信号(CSI-RS)の受信電力に応じて決定されるから、フィードバック情報生成部 55 は、CSI-RS の受信電力をフィードバック誤差に関連付けられた情報として出力してもよい。

[0113] 以上説明してきた方法に基づき、端末装置 2 のフィードバック情報生成部 55 は、 $h_{FB,u}(k, t_1)$ のフィードバック誤差に関連付けられた情報を生成し、端末アンテナ部 51 の無線送信部 51-2 に向けて出力する。なお、端末装置 2 の他の構成装置における信号処理については、第 1 および第 2 の実施形態と同様であるから、説明は省略する。

[0114] [3. 2 基地局装置 1]

第3の実施形態に係る基地局装置1の装置構成は、第1および第2の実施形態と同様である。異なるのは、制御情報取得部31、伝搬路情報取得部33およびプリコーディング部27における信号処理である。はじめに、制御情報取得部31および伝搬路情報取得部33における信号処理について説明する。制御情報取得部31は、まず第1および第2の実施形態と同様に、接続している各端末装置2より通知される制御情報を取得し、そのうち、伝搬路情報に関連付けられた情報を伝搬路情報取得部33に向けて出力する。更に、制御情報取得部31は、各端末装置2より通知される、 $h_{FB,u}(k, t_1)$ のフィードバック誤差に関連付けられた情報を、制御情報から取得し、伝搬路情報取得部33に向けて出力する。

- [0115] 伝搬路情報取得部33では、はじめに、第1および第2の実施形態と同様に、制御情報取得部31より入力された情報に基づき、各端末装置2から通知された $h_{FB,u}(k, t_1)$ を取得する。そして、 $h_{FB,u}(k, t_1)$ に基づいて、式(2)で表される伝搬路行列 $H_{FB}(k, t_1)$ を算出する。次いで、伝搬路情報取得部33では、 $h_{FB,u}(k, t_1)$ のフィードバック誤差に関連付けられた情報を取得し、接続している端末装置2それぞれが通知している $h_{FB,u}(k, t_1)$ のフィードバック誤差を取得する。以下では、フィードバック誤差に関連付けられた情報として、 $h_{FB,u}(k, t_1)$ と $h_u(k, t_1)$ との間の正規化平均二乗誤差が通知されたものとする。そして、第 u 端末装置2- u が通知してきた正規化平均二乗誤差を e_u と定義する。この場合、 e_u が大きい端末装置2は、 $h_{FB,u}(k, t_1)$ のフィードバック誤差が大きいということになる。
- [0116] なお、正規化平均二乗誤差以外の情報が通知された場合でも、 $h_{FB,u}(k, t_1)$ のフィードバック誤差の大きさは e_u で表すものとする。例えば、各端末装置2が移動速度を通知してきた場合、 e_u には移動速度をそのまま入力すれば良い。また、量子化ビット数を各端末装置2が通知してきた場合、 e_u には量子化ビット数の逆数を入力すれば良い。以上述べてきたように、 e_u には、その値が大きければ、 $h_{FB,u}(k, t_1)$ のフィードバック誤差が大きいということを基地局装置1が判断可能である情報が入力されれば十分である。

- [0117] 伝搬路情報取得部 33 では、量子化伝搬路行列 $H_{FB}(k, t_1)$ と各端末装置 2 の誤差情報 $\{e_u; u = 1 \sim U\}$ をプリコーディング部 27 に向けて出力する。
- [0118] 最後に、第 3 の実施形態に係るプリコーディング部 27 における信号処理について説明する。装置構成は第 1 および第 2 の実施形態とほぼ同様であるから、図 3 を参照しながら説明を行なう。ただし、伝搬路情報取得部 33 出力は、線形フィルタ生成部 27-1 のみではなく、摂動ベクトル探索部 27-2 にも入力されることになる。
- [0119] プリコーディング部 27 において、線形フィルタ生成部 27-1 と、送信信号生成部 27-3 における信号処理は、第 1 および第 2 の実施形態と同様である。一方、摂動ベクトル探索部 27-2 では、線形フィルタ生成部 27-1 から入力される線形フィルタ W と、マッピング部 25 より入力される送信データベクトル $d(k, t_2)$ に加えて、さらに、伝搬路情報取得部 33 より入力される誤差情報 $\{e_u; u = 1 \sim U\}$ に基づいて、摂動ベクトルの探索を行なう。
- [0120] 摂動ベクトル探索部 27-2 では、基本的には従来方式と同様に、所要送信電力を最小化できる摂動ベクトルの探索を行なうが、入力される誤差情報 $\{e_u; u = 1 \sim U\}$ の値に応じて、摂動項候補点数や、摂動項探索規範に制限を加える。
- [0121] 基本的には、摂動ベクトル探索部 27-2 は各端末装置 2 より通知される誤差情報に応じて、 $|U|$ を優先的に抑圧すべき端末装置 2 を判断する。そして、その判断に基づき、摂動ベクトル探索部 27-2 は摂動ベクトルを探索するということになる。
- [0122] 実際の探索方法の一つとして、各端末装置 2 の送信データに加算される摂動項の候補点数を、誤差情報 $\{e_u; u = 1 \sim U\}$ の大きさに比例させる方法がある。すなわち、誤差情報が大きい端末装置 2 に対する摂動項の候補点数は大きくとるのに対して、誤差情報が小さい端末装置 2 については、摂動項の候補点数を小さくとるものである。各端末装置 2 で観測される $|U|$ に影

響を与えるのは、他の端末装置 2 宛ての送信データに加算されている摂動項であるから、誤差情報の大きい端末装置 2 以外の端末装置 2 宛ての送信データに加算する摂動項の大きさに制限を与えることで $|U|$ を抑圧することが可能となる。ただし、誤差情報が大きい端末装置数が多い場合には、この方法では、あまり大きな特性改善効果は望めない。

[0123] 誤差情報が大きい端末装置 2 が複数存在する場合は、誤差情報 $\{e_u; u = 1 \sim U\}$ の平均値に基づいて、全ての端末装置 2 について、摂動項の候補点数に制限を与えてやれば良い。なお、誤差情報の大きさを判断するために、ある閾値を定義し、その閾値と e_u との大小関係に基づいて、誤差情報の大きさを判断すれば良い。閾値の大きさについては、事前に計算機シミュレーション等により決定しておけば良い。

[0124] また、誤差情報 $\{e_u; u = 1 \sim U\}$ の大きさに応じて、摂動項探索規範に制限を与えることも可能である。例えば、 $U = 4$ の端末装置 2 が同時接続している状況下で、第 1 および第 2 の端末装置 2-1、2-2 が通知してきた誤差情報 e_1 および e_2 が大きい場合、摂動ベクトル探索部 27-2 は式 (12) に基づいて摂動ベクトルの探索を行なう。

[0125] [数12]

$$\mathbf{z} = \arg \min_{\{z_j \in \mathbf{Z}[i], j=1 \sim U\}} (\alpha_1 + \alpha_2) \quad \dots (12)$$

式 (12) は第 2 の実施形態で用いた摂動ベクトル探索規範 (式 (11)) とは異なり、第 1 および第 2 の端末装置 2-1、2-2 で観測される $|U|$ を抑圧する規範となっている。つまり、第 2 の実施形態では、全端末装置 2 で観測される $|U|$ を平均的に抑圧していたのに対して、式 (12) では、誤差情報の大きい端末装置 2 で観測される $|U|$ のみを抑圧することを目的としている。これは、誤差情報が小さい端末装置 2 については、観測される $|U|$ がそもそも小さくなるためである。

[0126] 式(12)では、基地局装置1に接続している複数の端末装置2を、 $|U|$ を抑圧する端末装置2と、 $|U|$ を抑圧しない端末装置2の二つのグループに分けて、摂動ベクトル探索部27-2が摂動ベクトルを探索することになる。一方で、第 u 端末装置2- u で観測される $|U|$ は α_u の大きさに依存するから、式(13)のように、 α_u に適切な重みづけを行なって、摂動ベクトル探索規範としても構わない。

[0127] [数13]

$$\mathbf{z} = \arg \min_{\{z_j \in \mathbf{Z}[i], j=1 \sim U\}} \sum_{u=1}^U e_u \alpha_u \quad \dots (13)$$

すなわち、摂動ベクトル探索部27-2は、誤差情報が大きい端末装置2の $|U|$ を優先的に抑圧する。 α_u に対する重みづけの方法は、式(13)に限定されるものではなく、 e_u の二乗値や平方根などに基づいて重みづけを行っても良い。なお、基地局装置1の他の構成装置における信号処理については、第1および第2の実施形態と同様であるから、説明は省略する。

[0128] ところで、以上の説明では、 $h_{FB,u}(k, t_1)$ が内包する誤差は、各端末装置2が通知することを前提として説明を行ってきた。一方で、各端末装置2が誤差情報を通知することなく、基地局装置1が単独で誤差情報を推定することも可能である。

[0129] 誤差情報を推定する方法の一つとして、基地局装置1が各端末装置2から送信される上りリンク信号から、最大ドップラー周波数を推定する方法である。基地局装置1は、各端末装置2から送信される上りリンク信号に含まれている参照信号等に基づいて、自己相関関数を求めることが可能である。よって、その自己相関関数より、各端末装置2で観測される最大ドップラー周波数、すなわち、移動速度を推定することが可能である。この場合、基地局装置1は、推定した移動速度を誤差情報として用いれば良い。これは、TD

Dシステムに基づく無線通信システムでも適用可能である。

[0130] また、基地局装置 1 が各端末装置 2 に対して、 $h_{FB,u}(k, t_1)$ を計算する

際の伝搬路情報形式を指定することで、誤差情報を把握することができる。

例えば、基地局装置 1 が各端末装置 2 に対して、量子化ビット数を指定するような通信システムでは、基地局装置 1 は、各端末装置 2 に指定した量子化ビット数の逆数を誤差情報として用いれば良い。

[0131] また、各端末装置 2 の所要品質に応じて、誤差情報を決定する方法も考えられる。これは、伝送品質等に応じて、適応的に変調方式や符号化率を設定する適応変調技術が用いられる通信システムを対象とした方法である。通常、多値数の大きい場合や、符号化率が高い場合、つまり周波数利用効率が大きい信号ほど、 $|U|$ の影響を強く受ける傾向にある。そこで、基地局装置 1 は、周波数利用効率の高い伝送方式が設定された端末装置 2 については、誤差情報が大きい端末装置 2 を判断することにより、周波数利用効率の高い伝送方式が設定された端末装置 2 が観測する $|U|$ を抑圧することが可能となる。これは、TDDシステムに基づく無線通信システムでも適用可能である。

[0132] 以上、説明してきた方法によれば、各端末装置 2 で観測される $|U|$ の大きさに応じて、基地局装置 1 の摂動ベクトル探索部 27-2 では、適切な摂動ベクトルの探索を行なうことが可能となる。

[0133] (1) また、本実施形態は、以下のような態様を採ることも可能である。すなわち、本実施形態の基地局装置は、複数のアンテナを備え、複数の端末装置宛の信号に非線形プリコーディングを施し空間多重して無線送信を行なう基地局装置であって、前記端末装置との間の伝搬路情報を取得する伝搬路情報取得部と、前記伝搬路情報に基づいて生成された線形フィルタを用いて、前記複数の端末装置が受信するユーザ間干渉を抑圧する摂動ベクトルを探索する摂動ベクトル探索部と、前記生成された線形フィルタ、前記摂動ベクトルおよび送信データベクトルに基づいて送信信号ベクトルを算出する送信信号生成部と、を備えることを特徴とする。

[0134] このように、基地局装置は、端末装置との間の伝搬路情報を取得する伝搬路情報取得部と、伝搬路情報に基づいて生成された線形フィルタを用いて、複数の端末装置が受信するユーザ間干渉を抑圧する摂動ベクトルを探索する摂動ベクトル探索部と、生成された線形フィルタ、摂動ベクトルおよび送信データベクトルに基づいて送信信号ベクトルを算出する送信信号生成部と、を備えるので、非線形プリコーディングを行なう無線通信システムにおいて、フィードバック誤差に起因する伝送特性の劣化を改善することができ、周波数利用効率の大幅な改善に寄与できる。

[0135] (2) また、本実施形態の基地局装置において、前記摂動ベクトル探索部は、予め定められた数のガウス整数を用いて表される摂動項候補点より前記摂動ベクトルを探索する第1の方法、または、前記複数の端末装置の少なくとも一つの端末装置が受信するユーザ間干渉を抑圧する前記摂動ベクトルを探索する第2の方法を実行することを特徴とする。

[0136] このように、摂動ベクトル探索部は、予め定められた数のガウス整数を用いて表される摂動項候補点より摂動ベクトルを探索する第1の方法、または、複数の端末装置の少なくとも一つの端末装置が受信するユーザ間干渉を抑圧する摂動ベクトルを探索する第2の方法を実行するので、非線形プリコーディングに基づく下りリンクMU-MIMO伝送において、伝搬路の時間変動に起因して発生する残留IUIを抑圧することが可能となる。よって、伝搬路の時間変動が無視できない環境下においても、大きな伝送特性の劣化を引き起こすことなく、伝送を行なうことが可能となる。また、フィードバック誤差に起因して発生するユーザ間干渉を抑圧することができるため、非線形MU-MIMOの周波数利用効率を改善させることができる。

[0137] (3) また、本実施形態の基地局装置において、前記摂動ベクトル探索部は、前記信号に適用される変調方式、符号化率または前記伝搬路情報のうちの少なくとも一つに基づいて、前記第1の方法または前記第2の方法を、同時に若しくは選択的に用いることを特徴とする。

[0138] このように、摂動ベクトル探索部は、信号に適用される変調方式、符号化

率または伝搬路情報のうちの少なくとも一つに基づいて、第1の方法または第2の方法を、同時に若しくは選択的に用いるので、非線形プリコーディングに基づく下りリンクMU-MIMO伝送において、伝搬路の時間変動に起因して発生する残留IUIを抑圧することが可能となる。よって、伝搬路の時間変動が無視できない環境下においても、大きな伝送特性の劣化を引き起こすことなく、伝送を行なうことが可能となる。また、フィードバック誤差に起因して発生するユーザ間干渉を抑圧することができるため、非線形MU-MIMOの周波数利用効率を改善させることができる。

[0139] (4) また、本実施形態の基地局装置において、前記摂動ベクトル探索部は、時間若しくは周波数領域において、前記複数の端末装置から前記ユーザ間干渉を抑圧する端末装置を周期的に割り当てることを特徴とする。

[0140] このように、摂動ベクトル探索部は、時間若しくは周波数領域において、複数の端末装置からユーザ間干渉を抑圧する端末装置を周期的に割り当てるので、フィードバック誤差に起因して発生するユーザ間干渉を抑圧することができ、非線形MU-MIMOの周波数利用効率を改善させることができる。

[0141] (5) また、本実施形態の基地局装置において、前記伝搬路情報取得部は、前記複数の端末装置より通知される第1の伝搬路情報に関連付けられた制御情報に基づいて、第1の伝搬路情報を取得すると共に、前記第1の伝搬路情報に基づいて、前記第1の伝搬路情報と前記制御情報との間の誤差情報若しくは前記第1の伝搬路情報と前記信号が無線信号として伝搬する伝搬路の第2の伝搬路情報との間の誤差情報を取得することを特徴とする。

[0142] このように、伝搬路情報取得部は、複数の端末装置より通知される第1の伝搬路情報に関連付けられた制御情報に基づいて、第1の伝搬路情報を取得すると共に、第1の伝搬路情報に基づいて、第1の伝搬路情報と制御情報との間の誤差情報若しくは第1の伝搬路情報と信号が無線信号として伝搬する伝搬路の第2の伝搬路情報との間の誤差情報を取得するので、各端末装置で観測されるIUIの大きさに応じて、基地局装置の摂動ベクトル探索部では

、適切な摂動ベクトルの探索を行なうことが可能となる。

[0143] (6) また、本実施形態の基地局装置において、前記伝搬路情報取得部は、前記複数の端末装置より通知される第1の伝搬路情報に関連付けられた制御情報に基づいて、第1の伝搬路情報を取得すると共に、前記複数の端末装置より通知される前記第1の伝搬路情報と前記制御情報との間の誤差情報若しくは前記第1の伝搬路情報と前記信号が無線信号として伝搬する伝搬路の第2の伝搬路情報との間の誤差情報を取得することを特徴とする。

[0144] このように、伝搬路情報取得部は、複数の端末装置より通知される第1の伝搬路情報に関連付けられた制御情報に基づいて、第1の伝搬路情報を取得すると共に、複数の端末装置より通知される第1の伝搬路情報と制御情報との間の誤差情報若しくは第1の伝搬路情報と信号が無線信号として伝搬する伝搬路の第2の伝搬路情報との間の誤差情報を取得するので、各端末装置で観測される $|U|$ の大きさに応じて、基地局装置の摂動ベクトル探索部では、適切な摂動ベクトルの探索を行なうことが可能となる。

[0145] (7) また、本実施形態の基地局装置において、前記第1の伝搬路情報と前記誤差情報に基づいて、前記信号に非線形プリコーディングを施すことを特徴とする。

[0146] このように、基地局装置は、第1の伝搬路情報と誤差情報に基づいて、信号に非線形プリコーディングを施すので、各端末装置で観測される $|U|$ の大きさに応じて、基地局装置の摂動ベクトル探索部では、適切な摂動ベクトルの探索を行なうことが可能となる。

[0147] (8) また、本実施形態の基地局装置において、前記摂動ベクトル探索部は、前記誤差情報が大きい端末装置が受信するユーザ間干渉を抑圧する摂動ベクトルを探索することを特徴とする。

[0148] このように、摂動ベクトル探索部は、誤差情報が大きい端末装置が受信するユーザ間干渉を抑圧する摂動ベクトルを探索するので、各端末装置で観測される $|U|$ の大きさに応じて、基地局装置の摂動ベクトル探索部では、適切な摂動ベクトルの探索を行なうことが可能となる。

[0149] (9) また、本実施形態の端末装置は、複数のアンテナを備える基地局装置から非線形プリコーディングが施され空間多重された無線信号を受信する端末装置であって、前記無線信号よりデータ信号と参照信号を分離する参照信号分離部と、前記参照信号に基づき、前記基地局装置との間の第1の伝搬路情報を推定する伝搬路推定部と、前記第1の伝搬路情報から、前記基地局装置に通知する前記第1の伝搬路情報に関連付けられた制御情報を生成するフィードバック情報生成部と、前記制御情報を前記基地局装置に送信する無線送信部と、を備え、前記フィードバック情報生成部は、前記第1の伝搬路情報と前記制御情報との間の誤差情報を生成することを特徴とする。

[0150] このように、端末装置は、第1の伝搬路情報から、基地局装置に通知する第1の伝搬路情報に関連付けられた制御情報を生成するフィードバック情報生成部と、制御情報を基地局装置に送信する無線送信部と、を備え、フィードバック情報生成部は、第1の伝搬路情報と制御情報との間の誤差情報を生成するので、各端末装置で観測される $|U|$ の大きさに応じて、基地局装置の摂動ベクトル探索部では、適切な摂動ベクトルの探索を行なうことが可能となる。

[0151] (10) また、本実施形態の端末装置において、前記フィードバック情報生成部は、第1の時刻または周波数で受信された前記データ信号が伝搬する前記基地局装置との間の第2の伝搬路情報と、第2の時刻または周波数で受信された前記参照信号に基づいて推定された前記第1の伝搬路情報との間の誤差情報を生成することを特徴とする。

[0152] このように、フィードバック情報生成部は、第1の時刻または周波数で受信されたデータ信号が伝搬する基地局装置との間の第2の伝搬路情報と、第2の時刻または周波数で受信された参照信号に基づいて推定された第1の伝搬路情報との間の誤差情報を生成するので、各端末装置で観測される $|U|$ の大きさに応じて、基地局装置の摂動ベクトル探索部では、適切な摂動ベクトルの探索を行なうことが可能となる。

[0153] (11) また、本実施形態の無線通信システムは、上記(1)に記載の基

地局装置と、上記（９）に記載の複数の端末装置とを備えることを特徴とする。

[0154] このように、基地局装置は、端末装置との間の伝搬路情報を取得する伝搬路情報取得部と、伝搬路情報に基づいて生成された線形フィルタを用いて、複数の端末装置が受信するユーザ間干渉を抑圧する摂動ベクトルを探索する摂動ベクトル探索部と、生成された線形フィルタ、摂動ベクトルおよび送信データベクトルに基づいて送信信号ベクトルを算出する送信信号生成部と、を備えるので、非線形プリコーディングを行なう無線通信システムにおいて、フィードバック誤差に起因する伝送特性の劣化を改善することができ、周波数利用効率の大幅な改善に寄与できる。

[0155] [４．全実施形態共通]

以上、この発明の実施形態について図面を参照して詳述してきたが、具体的な構成はこの実施形態に限られるものではなく、この発明の要旨を逸脱しない範囲の設計等も特許請求の範囲に含まれる。

[0156] なお、本発明は上述の実施形態に限定されるものではない。本発明の端末装置２は、セルラーシステム等の移動局装置への適用に限定されるものではなく、屋内外に設置される据え置き型、または非可動型の電子機器、たとえば、ＡＶ機器、キッチン機器、掃除・洗濯機器、空調機器、オフィス機器、自動販売機、その他生活機器などに適用できることは言うまでもない。

[0157] 本発明に関わる移動局装置および基地局装置１で動作するプログラムは、本発明に関わる上記実施形態の機能を実現するように、ＣＰＵ等を制御するプログラム（コンピュータを機能させるプログラム）である。そして、これら装置で取り扱われる情報は、その処理時に一時的にＲＡＭに蓄積され、その後、各種ＲＯＭやＨＤＤに格納され、必要に応じてＣＰＵによって読み出し、修正・書き込みが行なわれる。プログラムを格納する記録媒体としては、半導体媒体（例えば、ＲＯＭ、不揮発性メモリカード等）、光記録媒体（例えば、ＤＶＤ、ＭＯ、ＭＤ、ＣＤ、ＢＤ等）、磁気記録媒体（例えば、磁気テープ、フレキシブルディスク等）等のいずれであってもよい。また、ロードしたプログラ

ムを実行することにより、上述した実施形態の機能が実現されるだけでなく、そのプログラムの指示に基づき、オペレーティングシステムあるいは他のアプリケーションプログラム等と共同して処理することにより、本発明の機能が実現される場合もある。

[0158] また市場に流通させる場合には、可搬型の記録媒体にプログラムを格納して流通させたり、インターネット等のネットワークを介して接続されたサーバコンピュータに転送したりすることができる。この場合、サーバコンピュータの記憶装置も本発明に含まれる。また、上述した実施形態における移動局装置および基地局装置 1 の一部、または全部を典型的には集積回路である L S I として実現してもよい。移動局装置および基地局装置 1 の各機能ブロックは個別にプロセッサ化してもよいし、一部、または全部を集積してプロセッサ化してもよい。また、集積回路化の手法は L S I に限らず専用回路、または汎用プロセッサで実現しても良い。また、半導体技術の進歩により L S I に代替する集積回路化の技術が出現した場合、当該技術による集積回路を用いることも可能である。

符号の説明

- [0159] 1 基地局装置
- 2、2-1、2-2、2-3、2-4、2-u 端末装置
 - 21 チャネル符号化部
 - 23 データ変調部
 - 25 マッピング部
 - 27 プリコーディング部
 - 27-1 線形フィルタ生成部
 - 27-2 摂動ベクトル探索部
 - 27-3 送信信号生成部
 - 29 アンテナ部
 - 29-1 I F F T 部
 - 29-2 G I 挿入部

- 2 9 - 3 無線送信部
- 2 9 - 4 無線受信部
- 2 9 - 5 アンテナ
- 3 1 制御情報取得部
- 3 3 伝搬路情報取得部
- 5 1 端末アンテナ部
- 5 1 - 1 無線受信部
- 5 1 - 2 無線送信部
- 5 1 - 3 G I 除去部
- 5 1 - 4 F F T 部
- 5 1 - 5 参照信号分離部
- 5 1 - 6 アンテナ
- 5 3 伝搬路推定部
- 5 5 フィードバック情報生成部
- 5 7 チャネル等化部
- 5 9 デマッピング部
- 6 1 データ復調部
- 6 3 チャネル復号部

請求の範囲

- [請求項1] 複数のアンテナを備え、複数の端末装置宛の信号に非線形プリコーディングを施し空間多重して無線送信を行なう基地局装置であって、
前記端末装置との間の伝搬路情報を取得する伝搬路情報取得部と、
前記伝搬路情報に基づいて生成された線形フィルタを用いて、前記複数の端末装置が受信するユーザ間干渉を抑圧する摂動ベクトルを探索する摂動ベクトル探索部と、
前記生成された線形フィルタ、前記摂動ベクトルおよび送信データベクトルに基づいて送信信号ベクトルを算出する送信信号生成部と、
を備えることを特徴とする基地局装置。
- [請求項2] 前記摂動ベクトル探索部は、予め定められた数のガウス整数を用いて表される摂動項候補点より前記摂動ベクトルを探索する第1の方法、または、前記複数の端末装置の少なくとも一つの端末装置が受信するユーザ間干渉を抑圧する前記摂動ベクトルを探索する第2の方法を実行することを特徴とする請求項1記載の基地局装置。
- [請求項3] 前記摂動ベクトル探索部は、前記信号に適用される変調方式、符号化率または前記伝搬路情報のうちの少なくとも一つに基づいて、前記第1の方法または前記第2の方法を、同時に若しくは選択的に用いることを特徴とする請求項2記載の基地局装置。
- [請求項4] 前記摂動ベクトル探索部は、時間若しくは周波数領域において、前記複数の端末装置から前記ユーザ間干渉を抑圧する端末装置を周期的に割り当てることを特徴とする請求項2記載の基地局装置。
- [請求項5] 前記伝搬路情報取得部は、前記複数の端末装置より通知される第1の伝搬路情報に関連付けられた制御情報に基づいて、第1の伝搬路情報を取得すると共に、前記第1の伝搬路情報に基づいて、前記第1の伝搬路情報と前記制御情報との間の誤差情報若しくは前記第1の伝搬路情報と前記信号が無線信号として伝搬する伝搬路の第2の伝搬路情報との間の誤差情報を取得することを特徴とする請求項1から請求項

3のいずれかに記載の基地局装置。

[請求項6] 前記伝搬路情報取得部は、前記複数の端末装置より通知される第1の伝搬路情報に関連付けられた制御情報に基づいて、第1の伝搬路情報を取得すると共に、前記複数の端末装置より通知される前記第1の伝搬路情報と前記制御情報との間の誤差情報若しくは前記第1の伝搬路情報と前記信号が無線信号として伝搬する伝搬路の第2の伝搬路情報との間の誤差情報を取得することを特徴とする請求項1から請求項3のいずれかに記載の基地局装置。

[請求項7] 前記第1の伝搬路情報と前記誤差情報に基づいて、前記信号に非線形プリコーディングを施すことを特徴とする請求項5または請求項6に記載の基地局装置。

[請求項8] 前記摂動ベクトル探索部は、前記誤差情報が大きい端末装置が受信するユーザ間干渉を抑圧する摂動ベクトルを探索することを特徴とする請求項7記載の基地局装置。

[請求項9] 複数のアンテナを備える基地局装置から非線形プリコーディングが施され空間多重された無線信号を受信する端末装置であって、

前記無線信号よりデータ信号と参照信号を分離する参照信号分離部と、

前記参照信号に基づき、前記基地局装置との間の第1の伝搬路情報を推定する伝搬路推定部と、

前記第1の伝搬路情報から、前記基地局装置に通知する前記第1の伝搬路情報に関連付けられた制御情報を生成するフィードバック情報生成部と、

前記制御情報を前記基地局装置に送信する無線送信部と、を備え、

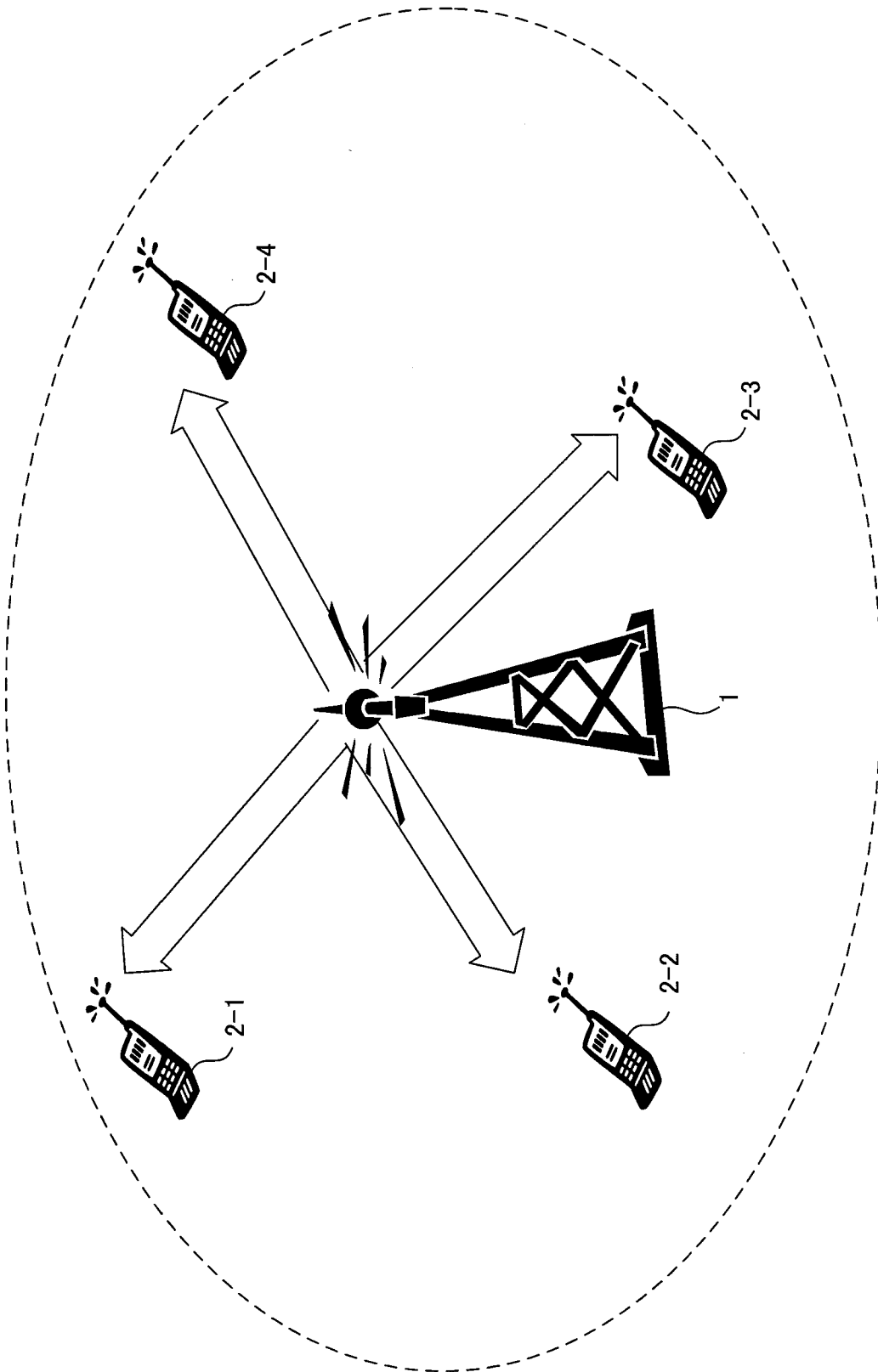
前記フィードバック情報生成部は、前記第1の伝搬路情報と前記制御情報との間の誤差情報を生成することを特徴とする端末装置。

[請求項10] 前記フィードバック情報生成部は、第1の時刻または周波数で受信された前記データ信号が伝搬する前記基地局装置との間の第2の伝搬

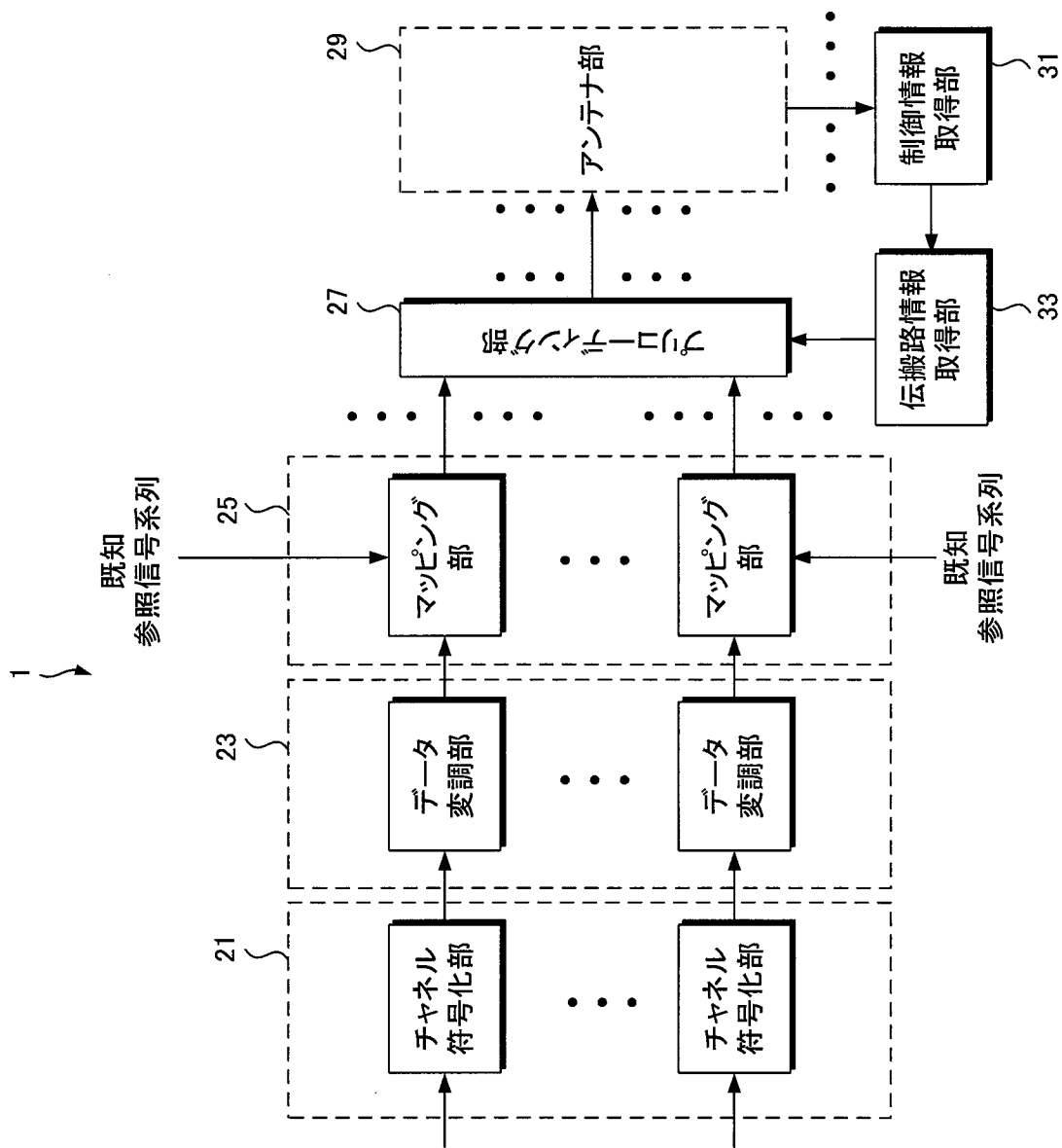
路情報と、第 2 の時刻または周波数で受信された前記参照信号に基づいて推定された前記第 1 の伝搬路情報との間の誤差情報を生成することを特徴とする請求項 9 記載の端末装置。

[請求項 11] 請求項 1 に記載の基地局装置と、請求項 9 に記載の複数の端末装置とを備えることを特徴とする無線通信システム。

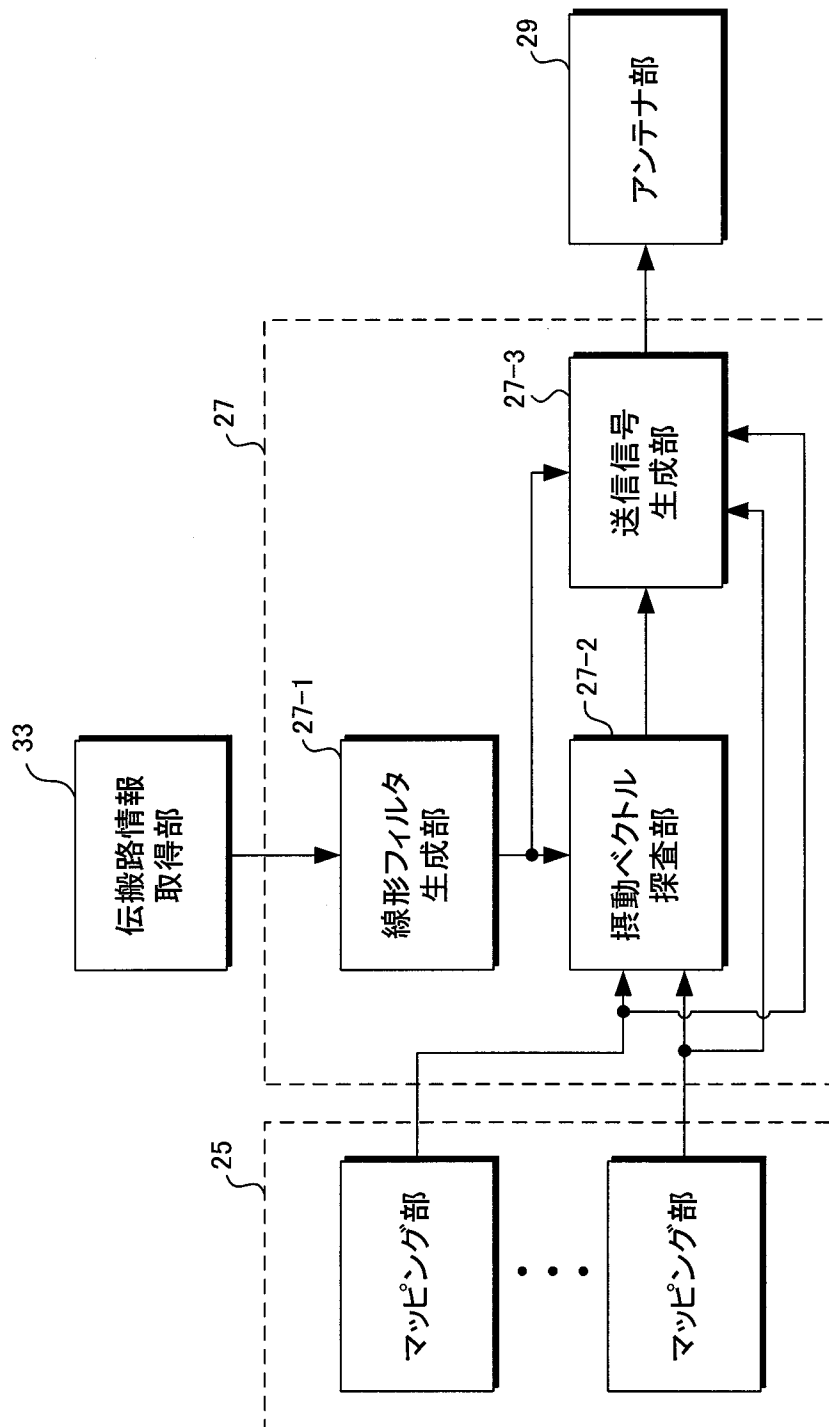
[図1]



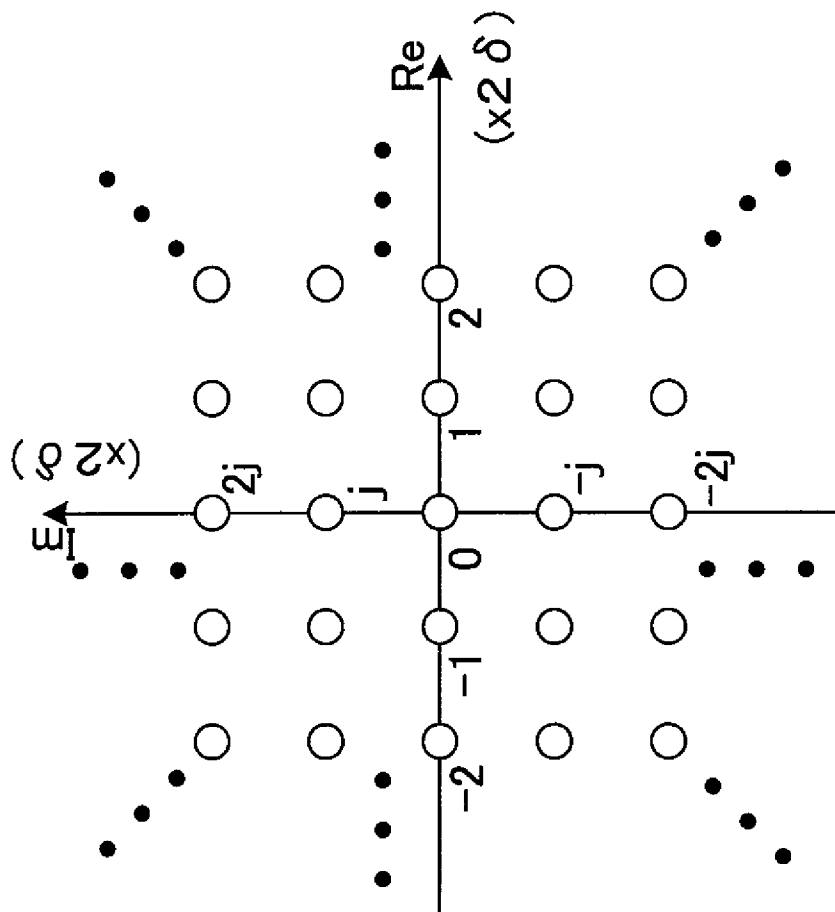
[図2]



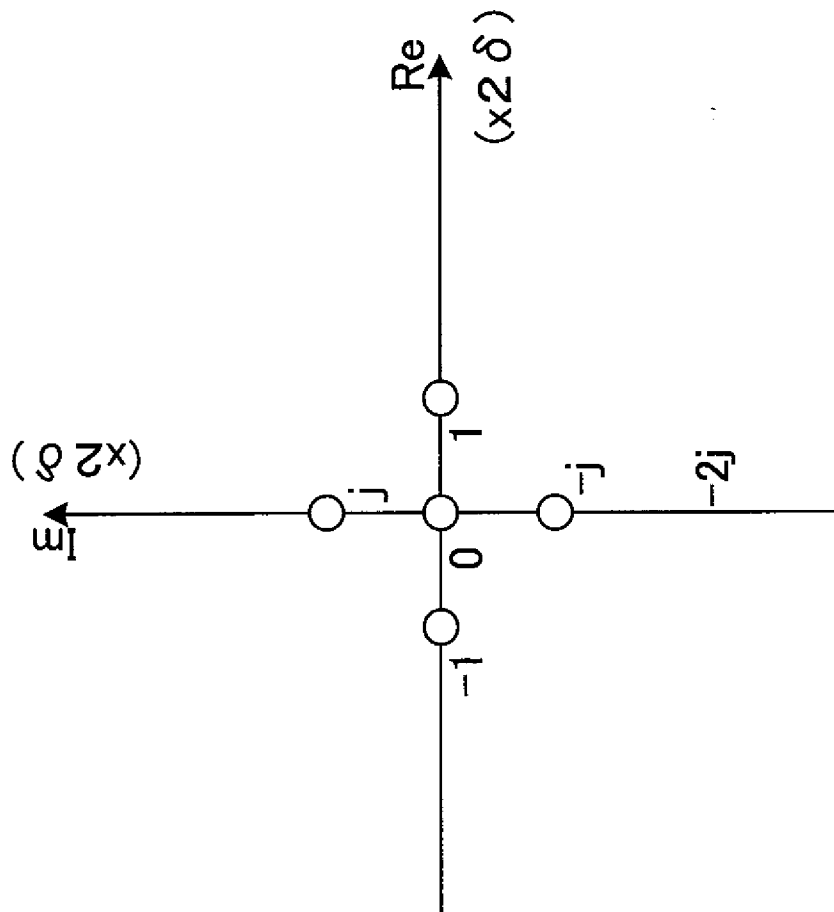
[図3]



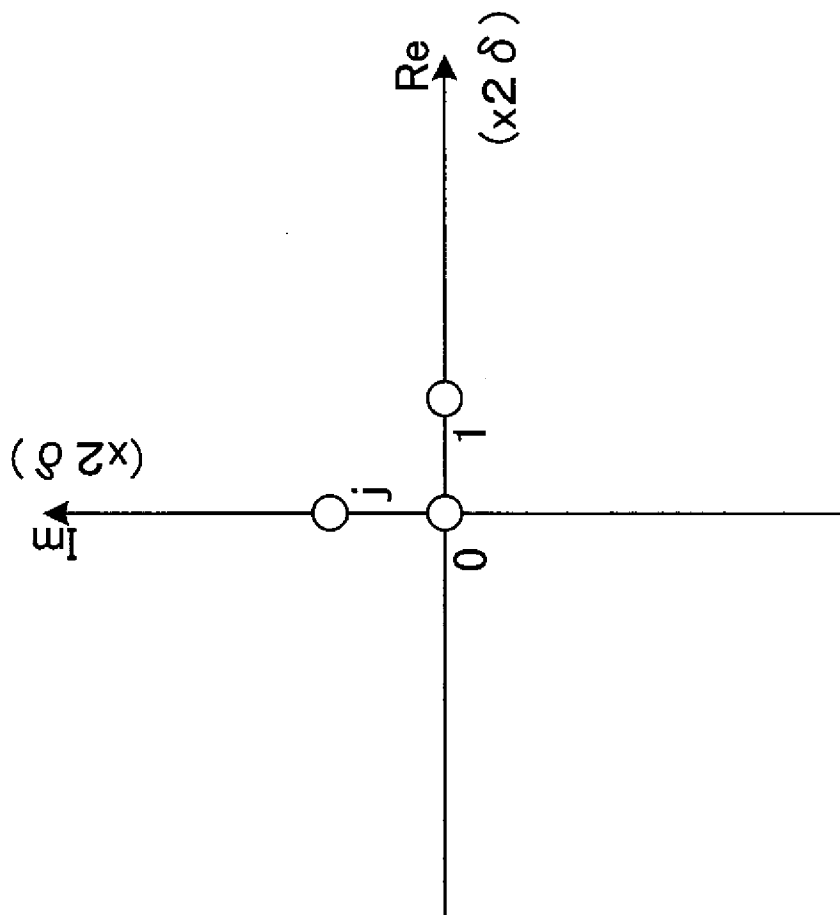
[図4A]



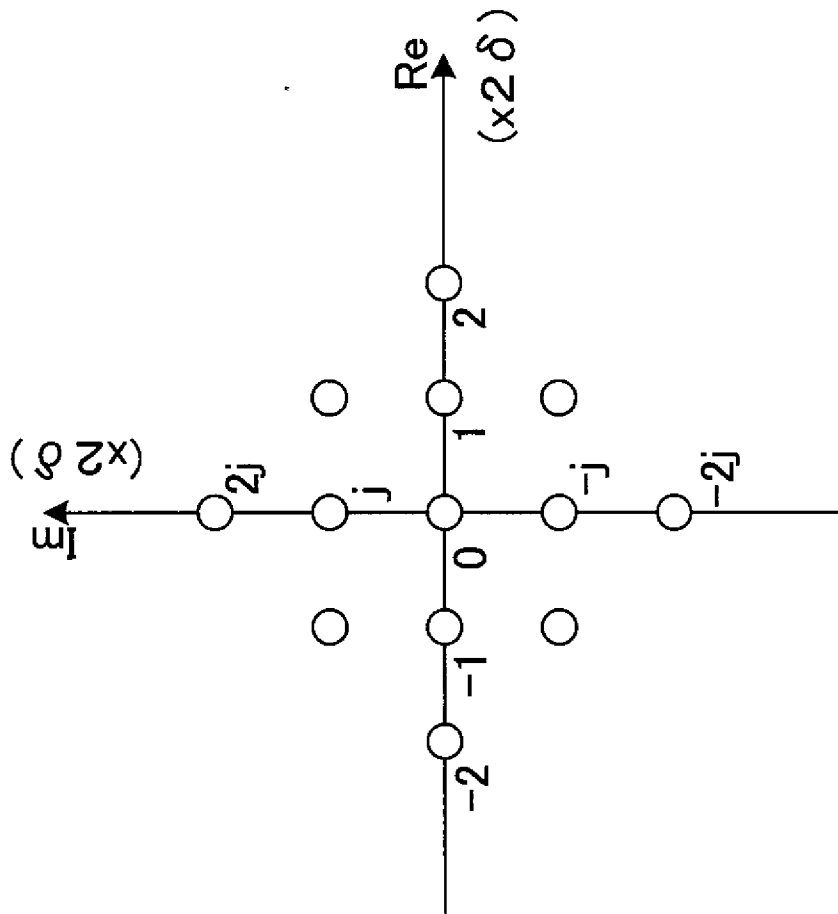
[図4B]



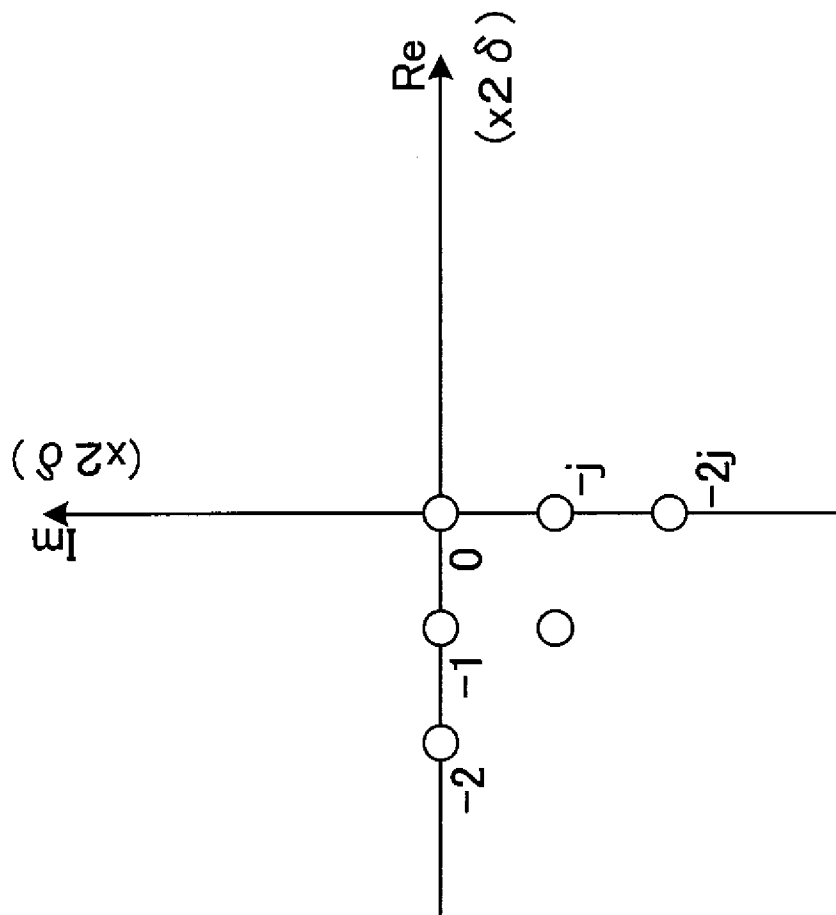
[図4C]



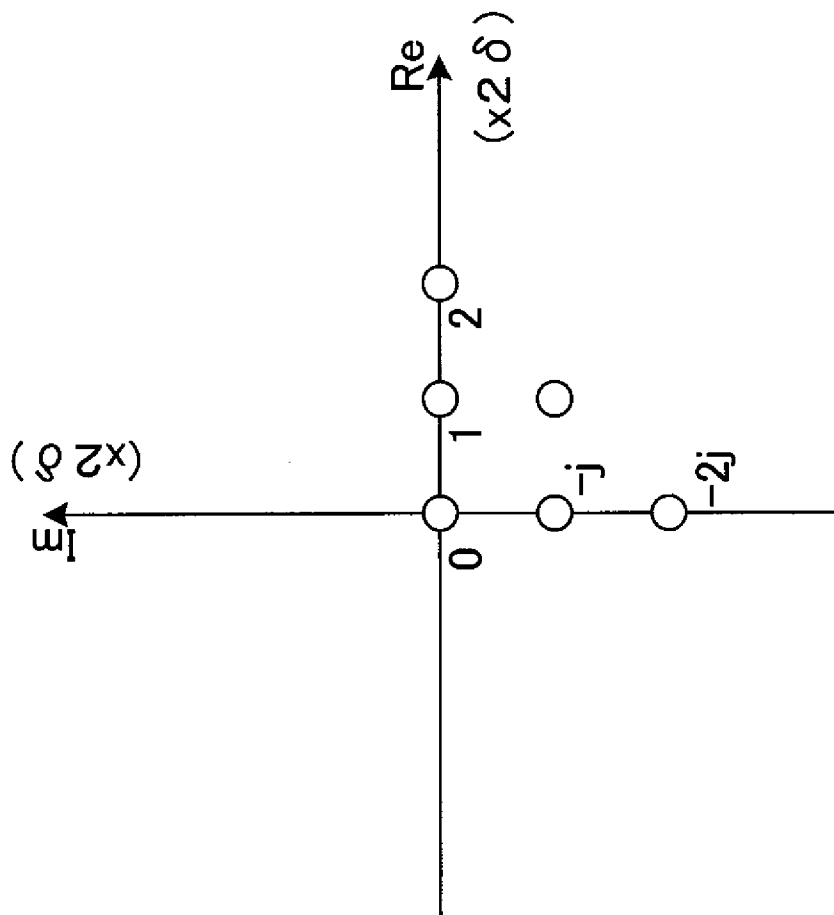
[図4D]



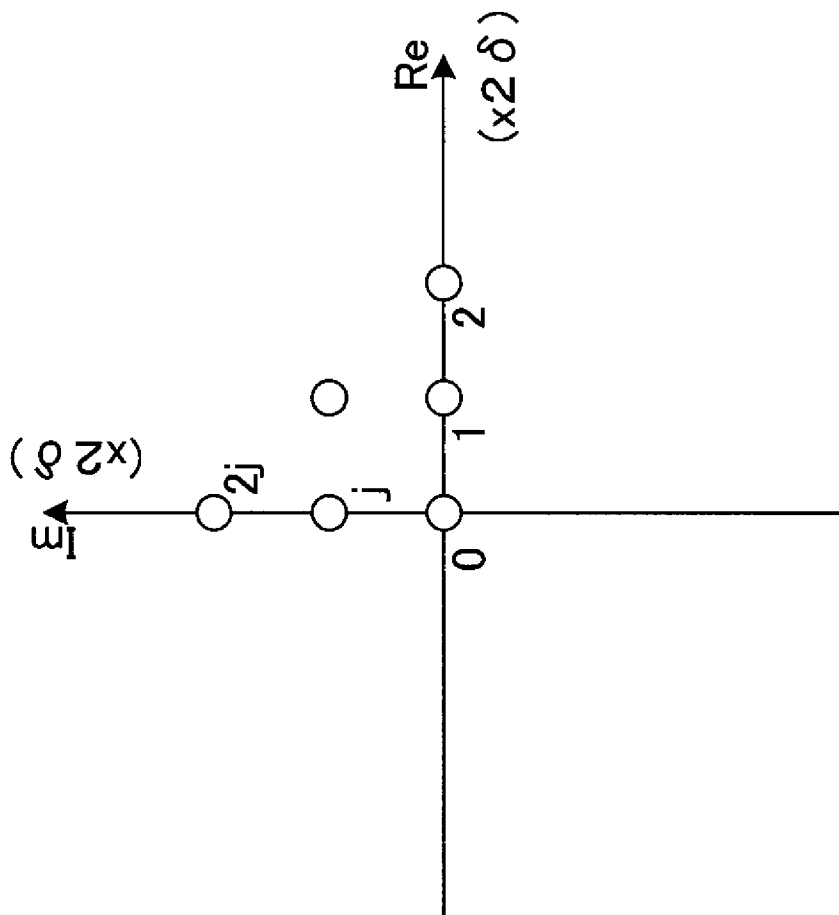
[図5A]



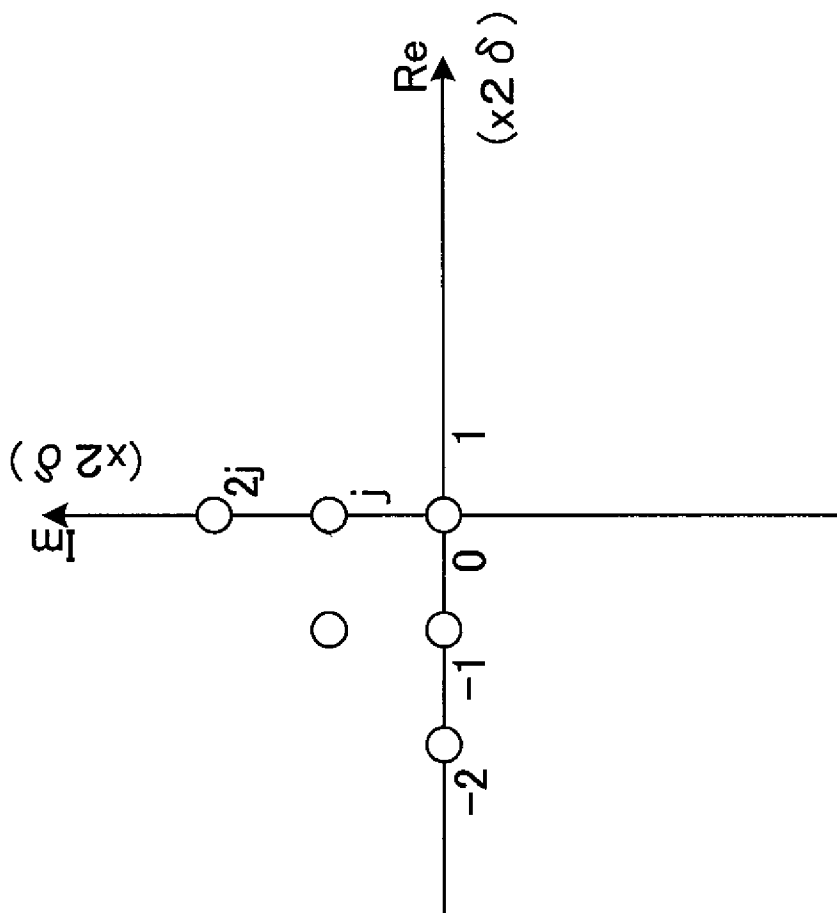
[図5B]



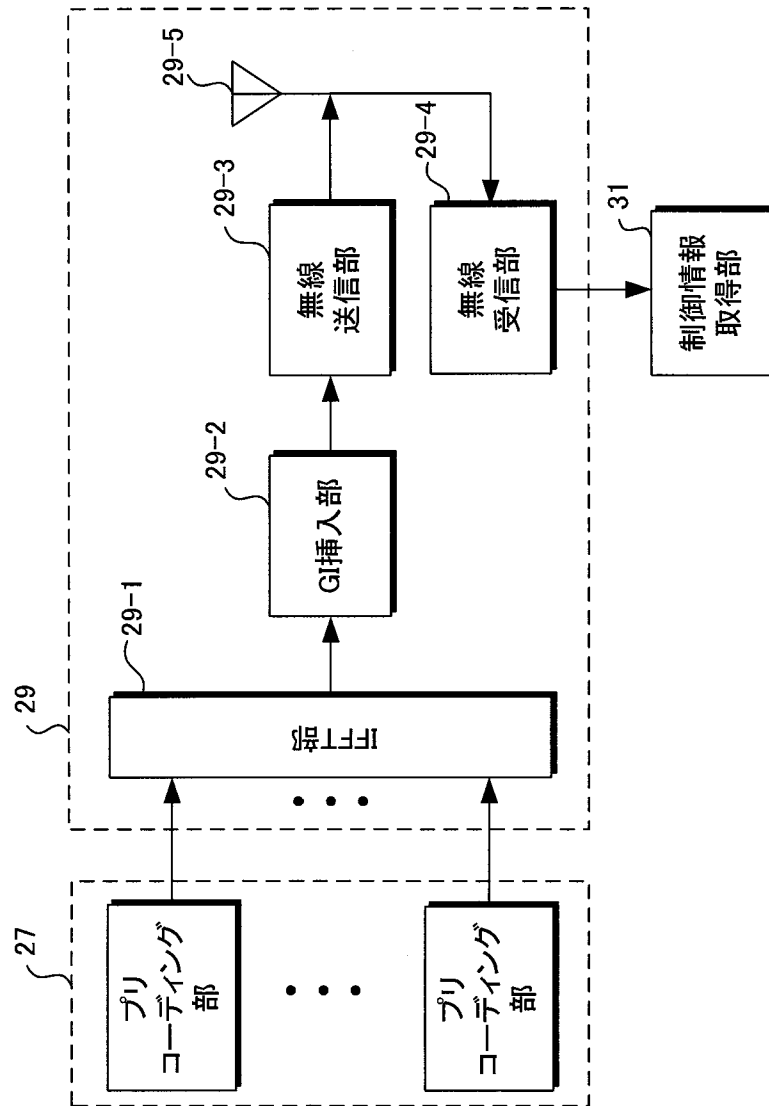
[図5C]



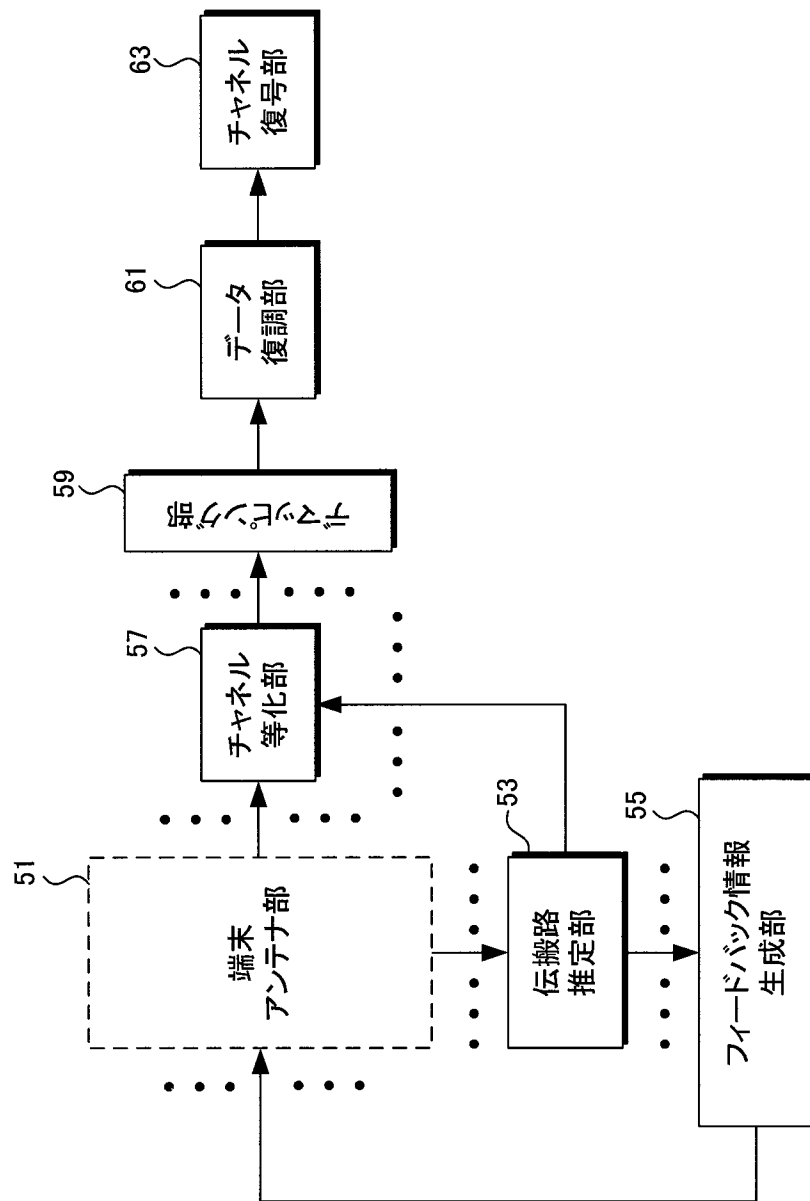
[図5D]



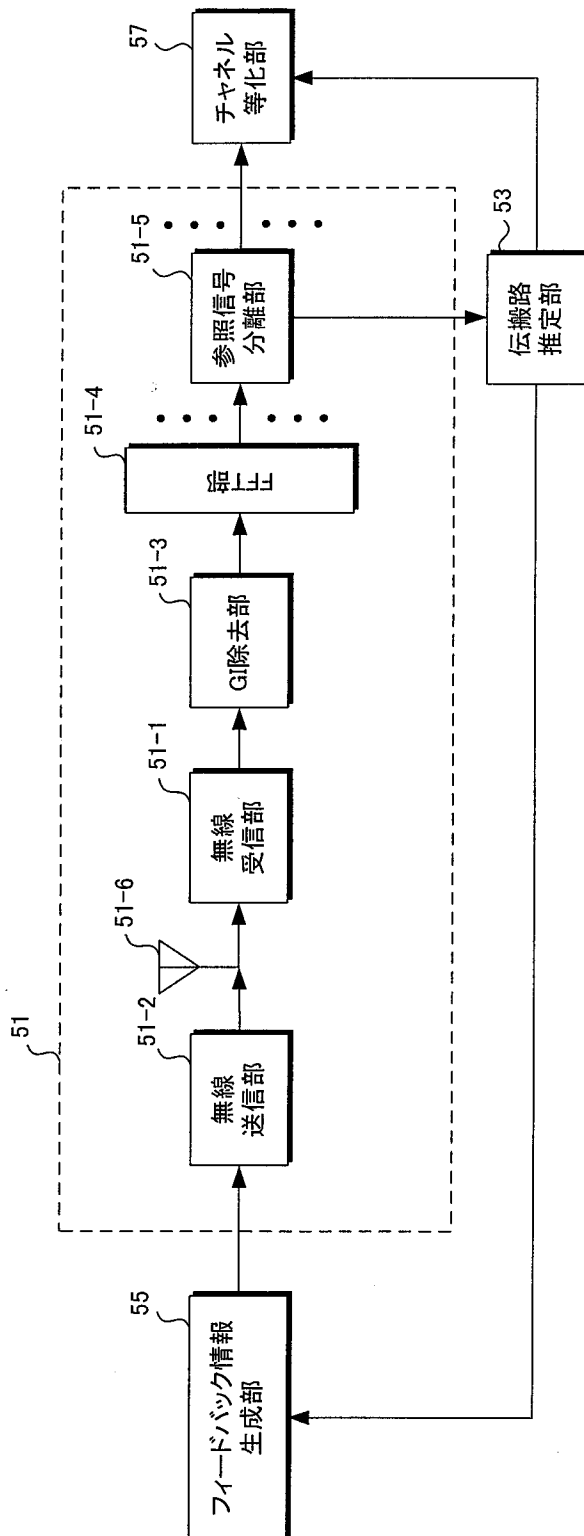
[図6]



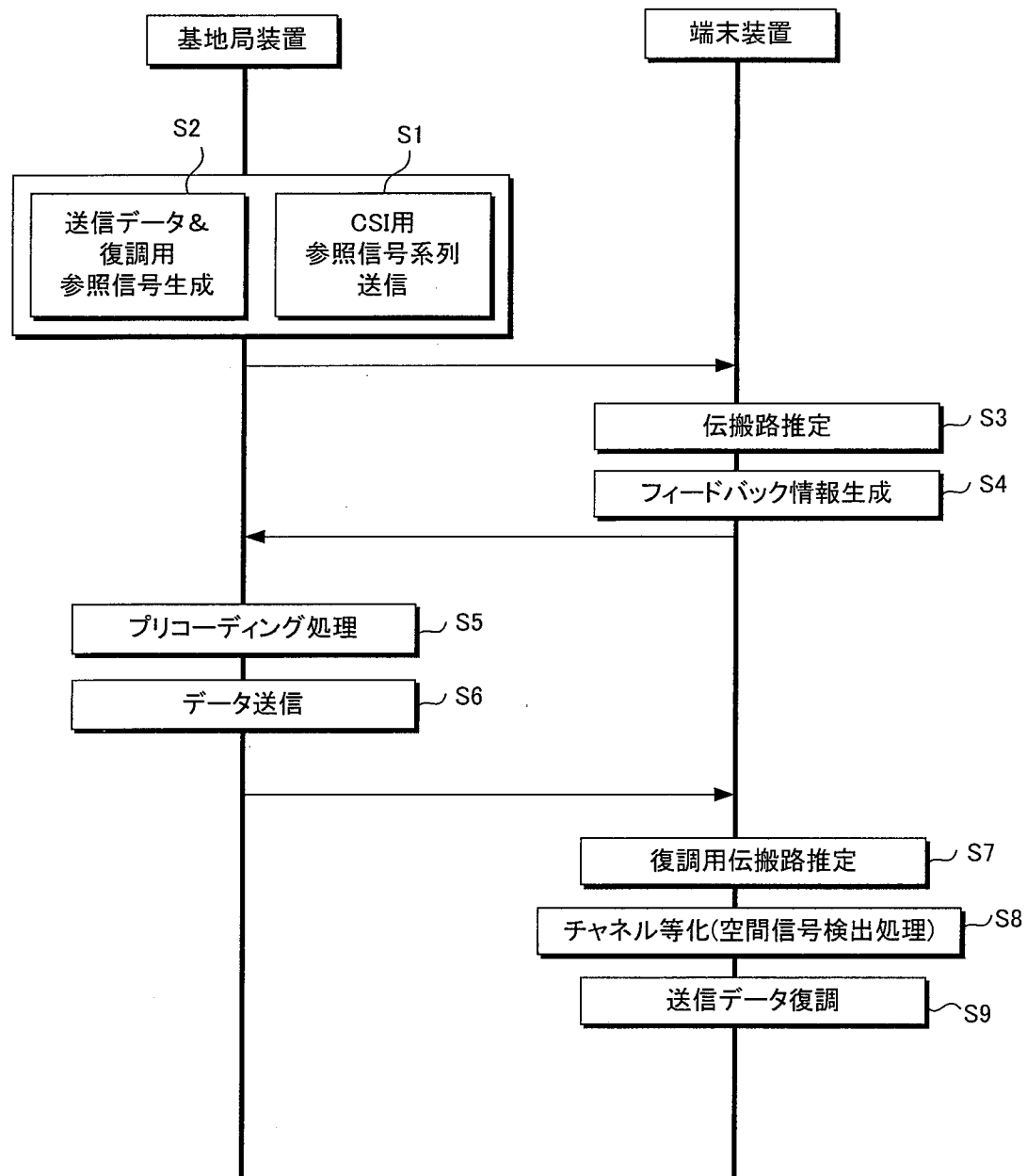
[図7]



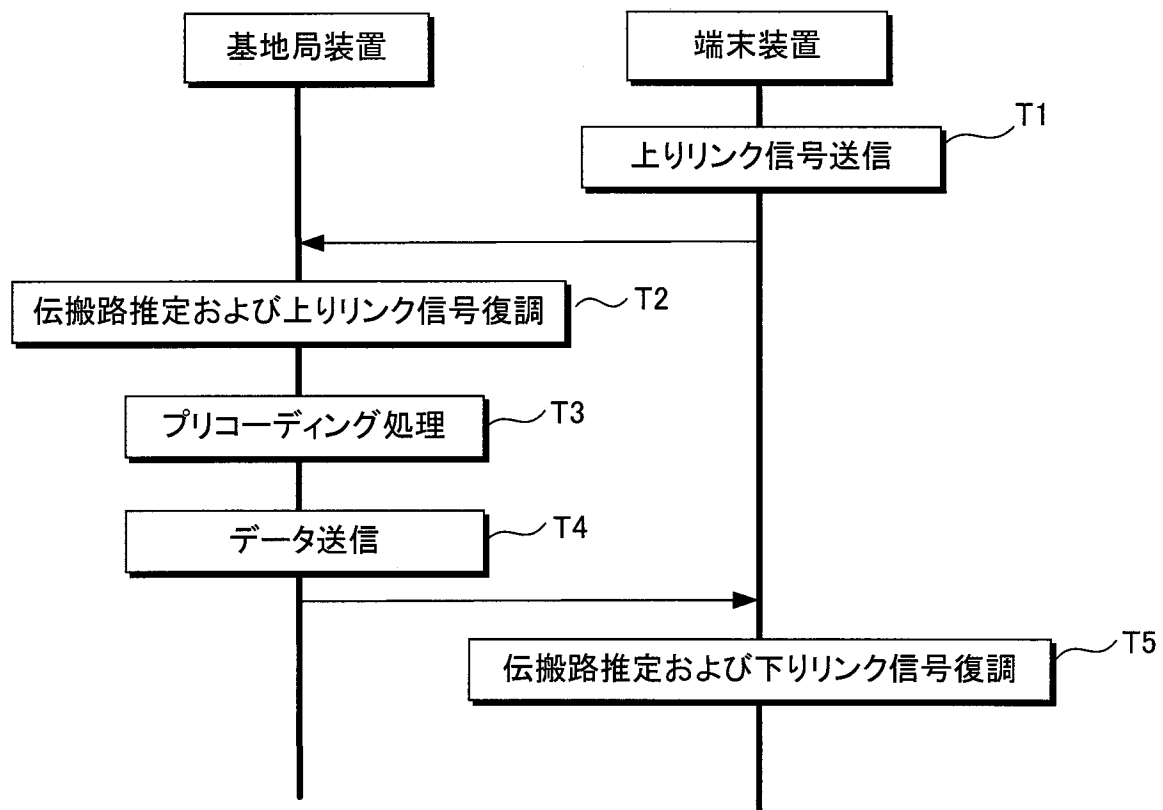
[図8]



[図9]



[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/078378

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04J99/00(2009.01)i, H04B7/04(2006.01)i, H04J11/00(2006.01)i, H04W16/28(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, H04J11/00, H04W16/28

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	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	Wee Seng Chua, A Continuous Vector-Perturbation for Multi-Antenna Multi-User Communication, Vehicular Technology Conference, 2007. VTC2007-Spring. IEEE 65th, 2007.04.25, P.1806-1810	1, 2 5-7, 11
X Y	JP 2010-537598 A (Alcatel-Lucent), 02 December 2010 (02.12.2010), claims 1, 2, 7; paragraphs [0004], [0005], [0053] to [0075] & JP 5220859 B & US 2010/0306613 A1 & EP 2187533 A1 & WO 2009/030102 A1 & CN 101378277 A & KR 10-2010-0057879 A	9 5-7, 11



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
08 November, 2013 (08.11.13)

Date of mailing of the international search report
19 November, 2013 (19.11.13)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/078378

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2009-177616 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.), 06 August 2009 (06.08.2009), paragraphs [0021], [0022], [0034] to [0036], [0041] to [0043], [0048]; fig. 1 (Family: none)	9, 10 5, 6, 11
X Y	JP 2011-188446 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.), 22 September 2011 (22.09.2011), paragraphs [0008] to [0009], [0036], [0057] to [0059], [0098]; fig. 1 (Family: none)	9, 10 5, 6, 11
X Y	WO 2011/021261 A1 (Hitachi, Ltd.), 24 February 2011 (24.02.2011), paragraphs [0007], [0009], [0012] to [0013], [0020] to [0021], [0033], [0048], [0067], [0068], [0074]; fig. 1 to 4 (Family: none)	9 5, 6, 11
A	JP 2009-290449 A (Toshiba Corp.), 10 December 2009 (10.12.2009), paragraphs [0006] to [0007], [0014] to [0015], [0029] to [0035], [0060] to [0062]; fig. 6 & US 2009/0296656 A1	1-8, 11

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H04J99/00(2009.01)i, H04B7/04(2006.01)i, H04J11/00(2006.01)i, H04W16/28(2009.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H04J99/00, H04B7/04, H04J11/00, H04W16/28

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 3 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 3 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 3 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	Wee Seng Chua, A Continuous Vector-Perturbation for Multi-Antenna Multi-User Communication, Vehicular Technology Conference, 2007. VTC2007-Spring. IEEE 65th, 2007.04.25, P.1806-1810	1, 2
Y		5-7, 11
X	JP 2010-537598 A（アルカテルルーセント）2010.12.02, [請求項 1], [請求項 2], [請求項 7], [0004], [0005], [0053]-[0075]	9
Y	& JP 5220859 B & US 2010/0306613 A1 & EP 2187533 A1 & WO 2009/030102 A1 & CN 101378277 A & KR 10-2010-0057879 A	5-7, 11

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 8 . 1 1 . 2 0 1 3

国際調査報告の発送日

1 9 . 1 1 . 2 0 1 3

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

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）

羽岡 さやか

5 K

3 1 4 9

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 5 5 6

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	JP 2009-177616 A (日本電信電話株式会社) 2009. 08. 06, [0021], [0022], [0034]-[0036], [0041]-[0043], [0048], 第 1 図 (ファミリーなし)	9, 10
Y		5, 6, 11
X	JP 2011-188446 A (日本電信電話株式会社) 2011. 09. 22, [0008]-[0009], [0036], [0057]-[0059], [0098], 第 1 図 (ファミリーなし)	9, 10
Y		5, 6, 11
X	WO 2011/021261 A1 (株式会社日立製作所) 2011. 02. 24, [0007], [0009], [0012]-[0013], [0020]-[0021], [0033], [0048], [0067], [0068], [0074], 第 1 図-第 4 図 (ファミリーなし)	9
Y		5, 6, 11
A	JP 2009-290449 A (株式会社東芝) 2009. 12. 10, [0006]-[0007], [0014]-[0015], [0029]-[0035], [0060]-[0062], 第 6 図 & US 2009/0296656 A1	1-8, 11