

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2012-114607

(P2012-114607A)

(43) 公開日 平成24年6月14日(2012.6.14)

(51) Int.Cl.		F I	テーマコード (参考)
HO4J	99/00 (2009.01)	HO4J 15/00	5K022
HO4W	16/28 (2009.01)	HO4Q 7/00 233	5K067
HO4B	7/04 (2006.01)	HO4Q 7/00 234	5K159
		HO4B 7/04	

審査請求 未請求 請求項の数 14 O L (全 35 頁)

(21) 出願番号 特願2010-260803 (P2010-260803)
 (22) 出願日 平成22年11月24日 (2010.11.24)

(71) 出願人 000005049
 シャープ株式会社
 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号
 (74) 代理人 100112335
 弁理士 藤本 英介
 (74) 代理人 100101144
 弁理士 神田 正義
 (74) 代理人 100101694
 弁理士 宮尾 明茂
 (74) 代理人 100124774
 弁理士 馬場 信幸
 (72) 発明者 留場 宏道
 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号
 シャープ株式会社内

最終頁に続く

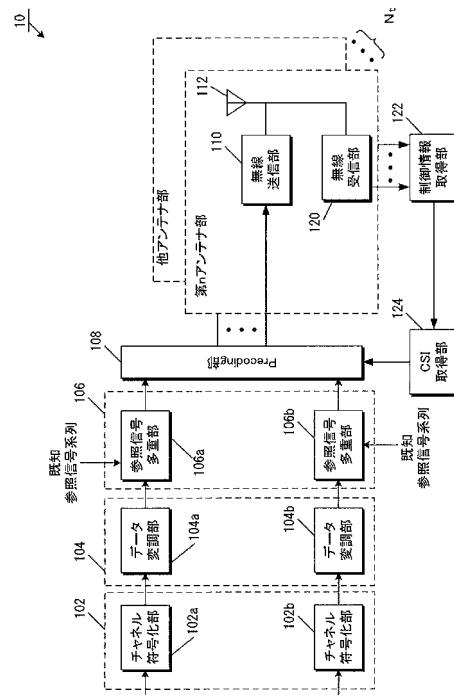
(54) 【発明の名称】 無線通信システム、基地局装置、移動局装置及び無線通信システムにおける通信方法

(57) 【要約】

【課題】 下りリンクMU-MIMO伝送において、CSIのフィードバック方式が異なる複数の移動局装置を同一無線リソースに空間多重できる新しい空間多重技術を実現する。

【解決手段】 複数のアンテナを有する基地局装置と、少なくとも一つのアンテナを有する複数の移動局装置とを含む無線通信システムであって、基地局装置は、複数の移動局装置における伝搬路情報を異なる複数の伝搬路情報形式のいずれか一つに基づいて取得し、伝搬路情報に基づいて、複数の移動局装置宛のデータ信号にそれぞれプリコーディングを行い、前記プリコーディング後の信号を空間多重して送信し、移動局装置は、プリコーディング後の信号を受信し、伝搬路情報に基づいて、多重された移動局装置宛の信号から所望のデータ信号を検出する。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

複数のアンテナを有する基地局装置と、少なくとも一つのアンテナを有する複数の移動局装置とを含む無線通信システムであって、

前記基地局装置は、

前記複数の移動局装置における伝搬路情報を異なる複数の伝搬路情報形式のいずれか一つに基づいて取得し、

前記伝搬路情報に基づいて、前記複数の移動局装置宛のデータ信号にそれぞれプリコーディングを行い、前記プリコーディング後の信号を空間多重して送信し、

前記移動局装置は、

前記プリコーディング後の信号を受信し、前記伝搬路情報に基づいて、多重された移動局装置宛の信号から所望のデータ信号を検出することを特徴とする無線通信システム。

10

【請求項 2】

前記複数の移動局装置として第 1 移動局装置と、第 2 移動局装置とが含まれており、

前記第 1 移動局装置は、第 1 伝搬路情報形式に基づいて、前記基地局装置との間の伝搬路情報を前記基地局装置に通知し、

前記第 2 移動局装置は第 2 伝搬路情報形式に基づいて、前記基地局装置との間の伝搬路情報を前記基地局装置に通知することを特徴とする請求項 1 に記載の無線通信システム。

【請求項 3】

前記第 1 伝搬路情報形式は、前記基地局装置と前記移動局装置との間の伝搬路情報を明示する情報形式であり、

20

前記基地局装置と前記移動局装置との間の複素伝搬路行列、前記基地局装置と前記移動局装置との間の複素伝搬路行列の共分散行列、前記基地局装置と前記移動局装置との間の複素伝搬路行列と前記移動局装置で適用される受信フィルタ行列との行列積で表現される複合伝搬路行列のいずれかの情報であることを特徴とする請求項 2 に記載の無線通信システム。

【請求項 4】

前記第 2 伝搬路情報形式は前記基地局装置と前記移動局装置と間の伝搬路情報を暗示する情報形式であり、

前記移動局装置が前記基地局装置に要求するプリコーディングに関連付けられた制御情報であることを特徴とする請求項 2 に記載の無線通信システム。

30

【請求項 5】

前記プリコーディングに関連付けられた制御情報は、前記基地局装置と前記移動局装置の間で既知のコードブックに含まれる複数の線形フィルタから、前記移動局装置が要求する線形フィルタを前記基地局装置に通知するための制御情報であることを特徴とする請求項 4 に記載の無線通信システム。

【請求項 6】

前記基地局装置は、

前記複数の移動局装置における伝搬路情報を前記異なる複数の伝搬路情報形式のいずれか一つに基づいて取得し、

40

前記伝搬路情報に基づいて第 1 線形フィルタを生成し、前記伝搬路情報と前記第 1 線形フィルタに基づいて前記複数の移動局装置宛のデータ信号にそれぞれプリコーディングを行い、前記プリコーディング後の信号を空間多重して送信し、前記第 1 線形フィルタに関連付けられた制御情報を前記移動局装置宛に通知することを特徴とする請求項 1 に記載の無線通信システム。

【請求項 7】

前記第 1 線形フィルタは、前記プリコーディング後の信号を送信するのに要求される送信電力を最小にする規範、または前記無線通信システムの通信容量を最大とする規範のいずれかの規範に基づき決定されることを特徴とする請求項 6 に記載の無線通信システム。

【請求項 8】

50

前記制御情報は、前記基地局装置と前記移動局装置の間で既知のコードブックに含まれる複数の線形フィルタから、前記第1線形フィルタを前記基地局装置から前記移動局装置に通知するための制御情報であることを特徴とする請求項6記載の無線通信システム。

【請求項9】

前記基地局装置は、前記複数の移動局装置における伝搬路情報を前記異なる複数の伝搬路情報形式のいずれか一つに基づいて取得し、

前記伝搬路情報と、更に前記第1伝搬路情報形式から算出される伝搬路行列が有する複数の固有値にそれぞれ関連付けられた複数の第二の線形フィルタに基づいて、前記複数の移動局装置宛のデータ信号にそれぞれプリコーディングを行い、前記プリコーディング後の信号を空間多重して送信し、

前記基地局装置は前記第2線形フィルタに関連付けられた制御情報を前記移動局装置宛に通知することを特徴とする請求項2記載の無線通信システム。

【請求項10】

前記基地局装置は、前記複数の第2線形フィルタから前記プリコーディングに用いる線形フィルタを決定することによって、利用するアンテナポートを決定することを特徴とする請求項9記載の無線通信システム。

【請求項11】

前記プリコーディングはModulo演算を含む非線形信号処理であることを特徴とする請求項1から10の何れか一項に記載の無線通信システム。

【請求項12】

少なくとも一つのアンテナを有する複数の移動局装置を含む無線通信システムに接続される複数のアンテナを有する基地局装置であって、

前記複数の移動局装置における伝搬路情報を異なる複数の伝搬路情報形式のいずれか一つに基づいて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、前記複数の移動局装置宛のデータ信号にそれぞれプリコーディングを行うプリコーディング部と、

前記移動局装置が、前記プリコーディング後の信号を受信した場合に、前記伝搬路情報に基づいて、多重された移動局装置宛の信号から所望のデータ信号を検出可能なプリコーディング後の信号を空間多重して送信する送信部と、

を備えることを特徴とする基地局装置。

【請求項13】

複数のアンテナを有する基地局装置と、少なくとも一つのアンテナを有する複数の移動局装置とを含む無線通信システムに接続される移動局装置であって、

前記基地局装置は、

前記複数の移動局装置における伝搬路情報を異なる複数の伝搬路情報形式のいずれか一つに基づいて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、前記複数の移動局装置宛のデータ信号にそれぞれプリコーディングを行い、前記プリコーディング後の信号を空間多重して送信する送信部と、

を備え、

前記移動局装置は、

前記プリコーディング後の信号を受信し、前記伝搬路情報に基づいて、多重された移動局装置宛の信号から所望のデータ信号を検出する検出部を備えることを特徴とする移動局装置。

【請求項14】

複数のアンテナを有する基地局装置と、少なくとも一つのアンテナを有する複数の移動局装置とを含む無線通信システムにおける通信方法であって、

前記基地局装置は、

前記複数の移動局装置における伝搬路情報を異なる複数の伝搬路情報形式のいずれか一つに基づいて取得するステップと、

前記伝搬路情報に基づいて、前記複数の移動局装置宛のデータ信号にそれぞれプリコー

10

20

30

40

50

ディングを行い、前記プリコーディング後の信号を空間多重して送信するステップと、
を有し、

前記移動局装置は、

前記プリコーディング後の信号を受信し、前記伝搬路情報に基づいて、多重された移動局装置宛の信号から所望のデータ信号を検出するステップを有することを特徴とする無線通信システムにおける通信方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、複数のアンテナを有する基地局装置と、少なくとも一つのアンテナを有する複数の移動局装置とを含む無線通信システム等に関する。

10

【背景技術】

【0002】

第3.9世代無線伝送方式として3rd Generation Partnership Project (3GPP)において標準化が進められたLong Term Evolution (LTE)では、第3世代無線伝送方式からの大幅な周波数利用効率の改善のために、複数の送受信アンテナを用いて無線伝送を行なうMultiple Input Multiple Output (MIMO)技術が仕様化された。

【0003】

MIMO技術の一つである空間多重(SM)技術により、周波数帯域幅を拡大することなく、伝送速度の向上が実現できる。また、現在、第4世代無線伝送方式の有力候補としてLTE-Advanced (LTE-A)が提案され、その標準化活動が活発に行なわれている。LTE-Aでは下りリンク(基地局装置 移動局装置)伝送のピーク伝送速度1Gbpsを達成するために、最大8ストリームを空間多重可能なシングルユーザMIMO(SU-MIMO)が検討されている。SU-MIMOは複数送信アンテナを有する基地局装置と複数受信アンテナを有する単一移動局装置とのMIMO伝送である。

20

【0004】

しかし、移動局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、同時接続する複数移動局装置を仮想的な大規模アンテナアレーとみなし、基地局装置から各移動局装置への送信信号を空間多重させるマルチユーザMIMO(MU-MIMO)の採用が周波数利用効率の改善に必須と考えられており、既にLTE Release 8 (Rel. 8)においてMU-MIMOが仕様化されている。Rel. 8で採用されているMU-MIMOは、線形フィルタを基地局装置にて乗算するビームフォーミングと呼ばれる方式である。線形フィルタを用いる線形MU-MIMOは、Rel. 9以降のシステムにおいても、採用が有力視されている。

30

【0005】

ところで、下りリンク線形MU-MIMO技術では、基地局装置と移動局装置間の伝搬路情報(Channel State Information (CSI))を基地局装置が把握している必要がある。上りリンク(移動局装置 基地局装置)伝送と下りリンク伝送とで搬送波周波数が異なる周波数分割複信(FDD)方式を複信方式として採用している場合、CSIは移動局装置が基地局装置にフィードバックする必要がある。

40

【0006】

また、上下リンクで同じ搬送波周波数を用いる時間分割複信(TDD)方式では、伝搬路の双対性を生かして基地局装置側でCSIを直接推定することも出来るが、基地局装置と移動局装置間でアンテナのキャリブレーションが必要となることから、TDD方式においてもFDD方式と同様に、CSIのフィードバックが必要となることがある。これまでにいくつかのCSIのフィードバック方式が検討されており、Implicit CSIフィードバック方式とExplicit CSIフィードバック方式が代表的な方法として知られている。

【0007】

50

Implicit CSIフィードバック方式は伝搬路情報そのものではなく、伝搬路情報を暗示する情報を通知している。Implicit CSIフィードバック方式のひとつに、LTE Rel. 8で採用されているフィードバック方式がある。

【0008】

LTE Rel. 8において、移動局装置は推定したCSIに基づいて、基地局装置が自局宛の送信信号に乗算してほしい送信線形フィルタを算出する。そして移動局装置と基地局装置とで共有している複数の線形フィルタが記載されているコードブックの中から、先に算出した送信線形フィルタと最も酷似した線形フィルタを抽出し、その番号を基地局装置に通知している。

【0009】

つまり、移動局装置が推定した伝搬路情報そのものを通知するのではなく、推定された伝搬路情報から、移動局装置が所望する送信符号化処理（プリコーディング）方法を基地局装置に通知していると言える。Implicit CSIフィードバック方式に基づいた線形MU-MIMOについては、例えば非特許文献1に記載されている。

【0010】

一方で、Explicit CSIフィードバック方式は伝搬路情報そのものを明示する情報を通知する方式である。具体的には、移動局装置が推定したCSIそのもの、又は推定されたCSIを量子化したのち、自局に対して最も望ましい量子化点を基地局装置に通知する方法が提案されている。Explicit CSIがフィードバックされている場合、プリコーディング方法は基地局装置が能動的に決定することも可能となる。Explicit CSIフィードバック方式に基づいた線形MU-MIMOについては、例えば非特許文献1及び非特許文献2に具体例が示されている。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0011】

【非特許文献1】3GPP R1-100501, NTT DOCOMO, "Performance of DL MU-MIMO based on implicit feedback scheme in LTE-Advanced," Jan. 2010.

【非特許文献2】3GPP R1-094242, NTT DOCOMO, "Investigation on enhanced DL MU-MIMO processing based on channel vector quantization for LTE-Advanced," Oct. 2009.

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

ここで、LTE Rel. 8では、比較的簡易な手法であり、かつオーバーヘッドが小さいという特徴を有していることから、Implicit CSIフィードバック方式が採用されており、現在のところ、その発展版であるLTE Rel. 9やLTE Rel. 10（LTE Rel. 10のことをLTE-Aと呼ぶこともある）でもImplicit CSIフィードバック方式の採用が決定、もしくは有力視されている。

【0013】

また、Implicit CSIに基づいて行われる線形MU-MIMOでは、周波数利用効率の改善には限界があるから、LTE Rel. 11以降を含めて、将来的にはImplicit CSIフィードバック方式以外のフィードバック方式が採用される可能性は非常に高いと言える。

【0014】

しかし、LTE Rel. 11以降にImplicit CSIではないフィードバック方式として、例えばExplicit CSIフィードバック方式が採用された場合に、Explicit CSIをフィードバックする移動局装置（第1移動局装置とも呼ぶこととする）とImplicit CSIをフィードバックする移動局装置（第2移動局装置とも呼ぶこととする）とが混在することになる。

【0015】

10

20

30

40

50

ここで、これまでに提案されているMU-MIMOは、総ての移動局装置が第1移動局装置である場合(図11(a))や、総ての移動局装置が第2移動局装置である場合(図11(b))を考慮しており、第1移動局装置と第2移動局装置とが混在して基地局装置と接続している場合(図11(c))においては、第1移動局装置と第2移動局装置とを空間多重することが出来ないといった問題があった。

【0016】

また、既に提案されている方式により、第1移動局装置同士だけ、もしくは第2移動局装置同士だけを空間多重することは出来るが、ユーザスケジューリング等に制限が発生してしまい、周波数利用効率の改善にも限界を与えてしまう。

【0017】

よって、Explicit CSIをフィードバックする移動局装置とImplicit CSIをフィードバックする移動局装置同士を空間多重させることが望ましいが、この両者を同一無線リソースにおいて空間多重する方法は発明されていないのが実情であった。

【0018】

このように、CSIのフィードバック方式が異なる移動局装置が混在する場合に、両者を同一無線リソースにおいて空間多重することが出来ない。このことは周波数利用効率の改善に限界を与えてしまうことを意味している。

【0019】

本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、下りリンクMU-MIMO伝送において、CSIのフィードバック方式が異なる複数の移動局装置を同一無線リソースに空間多重できる新しい空間多重技術を実現する無線通信システム等を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0020】

上述した課題に鑑み、本発明の無線通信システムは、
複数のアンテナを有する基地局装置と、少なくとも一つのアンテナを有する複数の移動局装置とを含む無線通信システムであって、

前記基地局装置は、

前記複数の移動局装置における伝搬路情報を異なる複数の伝搬路情報形式のいずれか一つに基づいて取得し、

前記伝搬路情報に基づいて、前記複数の移動局装置宛のデータ信号にそれぞれプリコーディングを行い、前記プリコーディング後の信号を空間多重して送信し、

前記移動局装置は、

前記プリコーディング後の信号を受信し、前記伝搬路情報に基づいて、多重された移動局装置宛の信号から所望のデータ信号を検出することを特徴とする。

【0021】

また、本発明の無線通信システムは、

前記複数の移動局装置として第1移動局装置と、第2移動局装置とが含まれており、

前記第1移動局装置は、第1伝搬路情報形式に基づいて、前記基地局装置との間の伝搬路情報を前記基地局装置に通知し、

前記第2移動局装置は第2伝搬路情報形式に基づいて、前記基地局装置との間の伝搬路情報を前記基地局装置に通知することを特徴とする。

【0022】

また、本発明の無線通信システムにおいて、

前記第1伝搬路情報形式は、前記基地局装置と前記移動局装置との間の伝搬路情報を明示する情報形式であり、

前記基地局装置と前記移動局装置との間の複素伝搬路行列、前記基地局装置と前記移動局装置との間の複素伝搬路行列の共分散行列、前記基地局装置と前記移動局装置との間の複素伝搬路行列と前記移動局装置で適用される受信フィルタ行列との行列積で表現される

10

20

30

40

50

複合伝搬路行列のいずれかの情報であることを特徴とする。

【0023】

また、本発明の無線通信システムにおいて、

前記第2伝搬路情報形式は前記基地局装置と前記移動局装置と間の伝搬路情報を暗示する情報形式であり、

前記移動局装置が前記基地局装置に要求するプリコーディングに関連付けられた制御情報であることを特徴とする。

【0024】

また、本発明の無線通信システムにおいて、

前記プリコーディングに関連付けられた制御情報は、前記基地局装置と前記移動局装置の間で既知のコードブックに含まれる複数の線形フィルタから、前記移動局装置が要求する線形フィルタを前記基地局装置に通知するための制御情報であることを特徴とする。

10

【0025】

また、本発明の無線通信システムにおいて、

前記基地局装置は、

前記複数の移動局装置における伝搬路情報を前記異なる複数の伝搬路情報形式のいずれか一つに基づいて取得し、

前記伝搬路情報に基づいて第1線形フィルタを生成し、前記伝搬路情報と前記第1線形フィルタに基づいて前記複数の移動局装置宛のデータ信号にそれぞれプリコーディングを行い、前記プリコーディング後の信号を空間多重して送信し、前記第1線形フィルタに関連付けられた制御情報を前記移動局装置宛に通知することを特徴とする。

20

【0026】

また、本発明の無線通信システムにおいて、

前記第1線形フィルタは、前記プリコーディング後の信号を送信するのに要求される送信電力を最小にする規範、または前記無線通信システムの通信容量を最大とする規範のいずれかの規範に基づき決定されることを特徴とする。

【0027】

また、本発明の無線通信システムにおいて、

前記制御情報は、前記基地局装置と前記移動局装置の間で既知のコードブックに含まれる複数の線形フィルタから、前記第1線形フィルタを前記基地局装置から前記移動局装置に通知するための制御情報であることを特徴とする。

30

【0028】

また、本発明の無線通信システムにおいて、

前記基地局装置は、前記複数の移動局装置における伝搬路情報を前記異なる複数の伝搬路情報形式のいずれか一つに基づいて取得し、

前記伝搬路情報と、更に前記第1伝搬路情報形式から算出される伝搬路行列が有する複数の固有値にそれぞれ関連付けられた複数の第二の線形フィルタに基づいて、前記複数の移動局装置宛のデータ信号にそれぞれプリコーディングを行い、前記プリコーディング後の信号を空間多重して送信し、

前記基地局装置は前記第2線形フィルタに関連付けられた制御情報を前記移動局装置宛に通知することを特徴とする。

40

【0029】

また、本発明の無線通信システムにおいて、

前記基地局装置は、前記複数の第2線形フィルタから前記プリコーディングに用いる線形フィルタを決定することによって、利用するアンテナポートを決定することを特徴とする。

【0030】

また、本発明の無線通信システムにおいて、

前記プリコーディングはModulo演算を含む非線形信号処理であることを特徴とする。

50

【 0 0 3 1 】

本発明の基地局装置は、

少なくとも一つのアンテナを有する複数の移動局装置を含む無線通信システムに接続される複数のアンテナを有する基地局装置であって、

前記複数の移動局装置における伝搬路情報を異なる複数の伝搬路情報形式のいずれか一つに基づいて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、前記複数の移動局装置宛のデータ信号にそれぞれプリコーディングを行うプリコーディング部と、

前記移動局装置が、前記プリコーディング後の信号を受信した場合に、前記伝搬路情報に基づいて、多重された移動局装置宛の信号から所望のデータ信号を検出可能なプリコーディング後の信号を空間多重して送信する送信部と、

を備えることを特徴とする。

10

【 0 0 3 2 】

本発明の移動局装置は、

複数のアンテナを有する基地局装置と、少なくとも一つのアンテナを有する複数の移動局装置とを含む無線通信システムに接続される移動局装置であって、

前記基地局装置は、

前記複数の移動局装置における伝搬路情報を異なる複数の伝搬路情報形式のいずれか一つに基づいて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、前記複数の移動局装置宛のデータ信号にそれぞれプリコーディングを行い、前記プリコーディング後の信号を空間多重して送信する送信部と、

を備え、

前記移動局装置は、

前記プリコーディング後の信号を受信し、前記伝搬路情報に基づいて、多重された移動局装置宛の信号から所望のデータ信号を検出する検出部を備えることを特徴とする。

20

【 0 0 3 3 】

本発明の無線通信システムにおける通信方法は、

複数のアンテナを有する基地局装置と、少なくとも一つのアンテナを有する複数の移動局装置とを含む無線通信システムにおける通信方法であって、

前記基地局装置は、

前記複数の移動局装置における伝搬路情報を異なる複数の伝搬路情報形式のいずれか一つに基づいて取得するステップと、

前記伝搬路情報に基づいて、前記複数の移動局装置宛のデータ信号にそれぞれプリコーディングを行い、前記プリコーディング後の信号を空間多重して送信するステップと、

を有し、

前記移動局装置は、

前記プリコーディング後の信号を受信し、前記伝搬路情報に基づいて、多重された移動局装置宛の信号から所望のデータ信号を検出するステップを有することを特徴とする。

30

【 発明の効果 】

【 0 0 3 4 】

本発明によれば、下りリンク M U - M I M O 伝送において、C S I のフィードバック方式が異なる複数の移動局装置を同一無線リソースに空間多重できる無線通信システム等を実現することができる。

40

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 3 5 】

【 図 1 】 本発明を適用した場合における無線通信システムの概要を説明するための図である。

【 図 2 】 第 1 実施形態における基地局装置の構成を説明するための図である。

【 図 3 】 第 1 実施形態における P r e c o d i n g 部の構成を説明するための図である。

【 図 4 】 第 1 実施形態における第 1 移動局装置の構成を説明するための図である。

50

【図5】第1実施形態における第2移動局装置の構成を説明するための図である。

【図6】第2実施形態における基地局装置の構成を説明するための図である。

【図7】第2実施形態におけるPrecoding部の構成を説明するための図である。

【図8】第2実施形態における移動局装置の構成を説明するための図である。

【図9】第3実施形態におけるPrecoding部の構成を説明するための図である。

【図10】第4実施形態におけるPrecoding部の構成を説明するための図である。

【図11】従来における無線通信システムを説明するための図である。

【発明を実施するための形態】

【0036】

10

以下、図面を参照して本発明を実施するための最良の形態について説明する。まず、図1は本発明を適用した場合における移動通信システムの概要を示した図である。移動通信システム1には、基地局装置10に、第1移動局装置20と、第2移動局装置30とが接続されている。以下、本移動通信システム1における各実施形態について説明する。

【0037】

〔第1実施形態〕

本発明による第1実施形態では、 N_t 本の送信アンテナを有する基地局装置10（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複数の移動局装置（受信装置、移動端末とも呼ぶ）が接続している通信を対象とするが、同一無線リソースにおいて空間多重される最大移動局装置数 U は2とする。

20

【0038】

ただし、 $N_t \leq R \times U$ （ R は後述するランク数）が満たされる限りの数だけの空間多重を行うことが出来るため、同一無線リソースにおいて空間多重される移動局装置数は2に限ったものではない。

【0039】

また、以下の説明では、簡単のため、各移動局装置には1データストリームだけを通信している状況を想定しているが、各ユーザの移動局装置が有する受信アンテナ数だけのデータストリームを同時に伝送することも可能である。

【0040】

また、各移動局装置が有する受信アンテナ数はそれぞれ異なる数でも良く、もちろん各移動局装置に送信するデータストリーム数も異なっていて良い。以降では、移動局装置あたりに基地局装置が送信しているデータストリーム数のことを「ランク数」と呼び、 R 個のデータストリームを伝送している場合には、ランク R の伝送を行っていると呼ぶこととする。

30

【0041】

複数の移動局装置は、異なる方法（形式）によりCSIをフィードバックしている。以下では、Explicit CSIをフィードバックする移動局装置を第1移動局装置20（受信装置）とし、Implicit CSIをフィードバックする移動局装置を第2移動局装置30（受信装置）とする。

【0042】

40

Implicit CSIとExplicit CSIの両方をフィードバックできる端末が存在する場合、この端末は第1移動局装置20とみなしても良いし、第2移動局装置30とみなしても良い。なお、Implicit CSIとExplicit CSIの具体例については後述する。以下ではExplicit CSIを第一の伝搬路情報形式、Implicit CSIを第二の伝搬路情報形式とも呼ぶこととする。

【0043】

〔基地局装置の構成〕

図2は本実施形態に係る基地局装置10の構成を示している。ここでは、空間多重される移動局装置は第1ユーザ及び第2ユーザが利用しているものであり、第1ユーザは第1移動局装置20を利用し、第2ユーザは第2移動局装置30を利用しているものとする。

50

そして、各移動局装置からのデータ系列がそれぞれ入力される。

【0044】

各移動局装置宛の送信データは、チャンネル符号化部102(102a、102b)及びデータ変調部104(104a、104b)に入力され、チャンネル符号化及びデータ変調が行われる。例えば、図2においては、チャンネル符号化部102a、データ変調部104aに第1移動局装置20からのデータ系列が入力され、チャンネル符号化部102b、データ変調部104bに第2移動局装置30からのデータ系列が入力されることとなる。

【0045】

なお、各移動局装置宛の送信データに適用されるチャンネル符号化率及びデータ変調方式は、事前に各移動局装置より通知される各移動局装置の受信品質に関連付けられた制御情報に基づいて、既に決定されているものとする。

10

【0046】

データ変調部104からの出力は参照信号多重部106(106a、106b)に入力され、各移動局装置において伝搬路推定を行うための既知参照信号系列が参照信号多重部106において多重される。

【0047】

なお、各移動局装置宛の参照信号については、受信した移動局装置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。以下の説明では、参照信号は任意の無線リソースに理想的に配置されたものとし、移動局装置では上記既知参照信号系列により、理想的に伝搬路推定が行われるものとする。参照信号多重部106の出力は、Precoding部108に入力される。

20

【0048】

ここで、Precoding部108の詳細な構成について図3を用いて説明する。図3に示すように、Precoding部108は、線形フィルタ生成部1082と、線形フィルタ乗算部1084とを含んで構成されている。

【0049】

ここで、参照信号多重部106より出力される第1移動局装置20及び第2移動局装置30の送信シンボルを d_1 及び d_2 とし、送信シンボルベクトル d を $d = [d_1, d_2]^T$ と定義する。

【0050】

Precoding部108では、はじめにCSI取得部124において取得された第1移動局装置20及び第2移動局装置30のCSI(伝搬路情報)が線形フィルタ生成部1082に入力され、線形フィルタが生成される。

30

【0051】

ここで、線形フィルタ生成部1082に入力されるCSIについて説明する。第1移動局装置20より通知されるCSIは、伝搬路情報を明示的に表すExplicit CSIという伝搬路情報形式に基づいたCSIであるが、ここでは、基地局装置10と第1移動局装置20との間の伝搬路行列 H_1 に、第1移動局装置20において受信信号に乗算される受信フィルタ $w_{r,1}$ との行列積で表される $h_{eff,1} = w_{r,1} \times H_1$ が通知されるものとする。

40

【0052】

今、第1移動局装置20にはランク1伝送を行っているから、受信フィルタ $w_{r,1}$ は $(1 \times N_r)$ の行ベクトルとなるが、ランク数 R の伝送を行っている場合には受信フィルタ $w_{r,1}$ は $(R \times N_r)$ の行列となる。伝搬路行列 H_1 は $(N_r \times N_t)$ の行列であるから、ランク数 R の伝送を行っている場合、通知される情報である $h_{eff,1}$ は $(R \times N_t)$ の行列となる。

【0053】

一方で、第2移動局装置30より通知されるCSIは伝搬路情報を暗示的に表すImplicit CSIという伝搬路情報形式に基づいたものである。本実施形態では、LTE Rel. 8と同様に、第2移動局装置30が、基地局装置10に要求する線形送信フ

50

フィルタ $w_{t,2}$ が入力されるものとする。第 1 移動局装置 20 と同様にランク 1 の伝送を行っている場合、線形送信フィルタ $w_{t,2}$ は $(N_t \times 1)$ の列ベクトルである。

【0054】

基地局装置 10 の線形フィルタ生成部 1082 では、各移動局装置より通知された情報より、各移動局装置と基地局装置間の伝搬路情報を推定し、所望の線形フィルタを生成する必要がある。これまでに開示されている方法は、各移動局装置より通知される伝搬路情報のフィードバック方法が同一で有る場合に限られている。例えば、全移動局装置が *Implicit CSI* をフィードバックしている場合などである。

【0055】

本実施形態では、各移動局装置から *CSI* について異なる伝搬路情報形式でフィードバックされている場合を想定し、以下では、*Implicit CSI* と *Explicit CSI* とが混在してフィードバックされてきた場合の伝搬路の推定方法及び線形フィルタの生成方法を新たに開示している。

【0056】

また、基地局装置 10 の線形フィルタ生成部 1082 では、第 1 移動局装置 20 の伝搬路については、第 1 移動局装置 20 より通知された $h_{eff,1}$ をそのまま第 1 移動局装置 20 の *CSI* とみなす。

【0057】

第 2 移動局装置 30 については、通知された $w_{t,2}$ にエルミート転置処理を与えた $w_{t,2}^H$ を伝搬路とみなす。以上のように伝搬路情報を推定することにより、見掛け上の伝搬路行列を定義できる。この見掛け上の伝搬路行列を H_{eff} としたとき、 H_{eff} は次式 (1) のように表すことができる。

【数 1】

$$H_{eff} = \begin{pmatrix} h_{eff,1} \\ w_{t,2}^H \end{pmatrix} \cdots (1)$$

「 H_{eff} 」は基地局装置 10 にて推定された伝搬路情報 ($h_{eff,1}$ や $w_{t,2}^H$) を列方向に結合することにより算出される。

【0058】

これは同時アクセスユーザ数が 3 以上となったり、各移動局装置に対して 2 ランク以上の伝送を行ったりする場合にも同様である。また、本実施形態では、*Implicit CSI* と *Explicit CSI* との 2 つのフィードバック方法を対象としているが、これら 2 つのフィードバック方法とは異なるフィードバック方法を用いる移動局装置が存在する場合も考えられる。

【0059】

その場合にも、その移動局装置からフィードバックされた *CSI* に適切な処理を施した後、*Implicit CSI* と *Explicit CSI* といったフィードバック方法を用いる移動局装置の *CSI* と式 (1) に示すような列方向の結合を行うことにより、等価的な伝搬路行列を算出することができる。算出された等価伝搬路行列 H_{eff} より、次式 (2) のように線形フィルタ W_{eff} を算出する。

【数 2】

$$W_{eff} = H_{eff}^+ = H_{eff}^H (H_{eff} H_{eff}^H)^{-1} \cdots (2)$$

ここで「 A^+ 」は行列 A の一般逆行列を表す。

【0060】

式 (2) で表される線形フィルタは移動局装置にて観測されるユーザ間干渉 (*IUI*) が発生しないようにする *Zero-forcing (ZF)* 規範に基づいている。

【0061】

ZF規格ではなく、受信信号と送信信号との平均二乗誤差を最小にする Minimum mean square error (MMSE) 規格や、ある移動局装置宛の送信信号が他の移動局装置に与える与干渉電力 (Leakage power) を最小とする Signal-to-leakage power ratio (SLR) 規格や、所望信号電力と与干渉+受信雑音電力の比を最大とする Signal-to-leakage plus noise power ratio (SLNR) 規格に基づいて線形フィルタを生成しても良い。

【0062】

線形フィルタ生成部 1082 で生成された線形フィルタ W_{eff} は線形フィルタ乗算部 1084 に入力され、線形フィルタ乗算部 1084 において、参照信号多重部 106 から入力された送信シンボルベクトル d に W_{eff} が乗算され、送信信号ベクトル $s = [s_1, \dots, s_{N_t}]^T$ が生成され、Precoding 部出力として無線送信部 110 に出力される。なお、 s_n は第 n 送信アンテナより送信される送信信号を表す。 s は次式で与えられる。

【数3】

$$s = W_{eff} d \quad \dots (3)$$

【0063】

なお、送信信号ベクトルを生成する場合には、 s の送信に要求される送信電力が、所定の送信電力を超えないように電力の正規化が併せて行われる。

【0064】

図2に戻り、Precoding 部 108 から出力された Precoding 部出力信号は、各送信アンテナの無線送信部 110 に入力される。無線送信部 110 において、ベースバンド帯の送信信号が無線周波数 (RF) 帯の送信信号に変換される。無線送信部 110 の出力信号は、送信アンテナ 112 より送信される。

【0065】

また、CSI 取得部 124 においては、各移動局装置より通知される情報より、Precoding 部 108 の線形フィルタ生成部 1082 に入力される伝搬路情報を取得するが、具体的な方法は後述する。

【0066】

[移動局装置の構成]

続いて、移動局装置の構成について図を用いて説明する。移動局装置としては、第1移動局装置 20 を図4に、第2移動局装置 30 を図5に表す。

【0067】

ここで、第1ユーザが利用する第1移動局装置 20、第2ユーザが利用する第2移動局装置 30 の2つの移動局装置の信号処理は、フィードバック情報生成部及び伝搬路補償部を除き同一の構成であるから、フィードバック情報生成部及び伝搬路補償部を除く構成部については同一の符号を付し説明は統一して行うこととする。

【0068】

移動局装置は、アンテナ数 (N_t 本) に対応するアンテナ部と、伝搬路補償部 210 (図4の第1移動局装置 20 においては第1伝搬路補償部 210a、図5の第2移動局装置 30 においては第2伝搬路補償部 210b) と、データ変調部 212 と、チャンネル復号部 214 と、フィードバック情報生成部 220 (図4の第1移動局装置 20 においては第1フィードバック情報生成部 220a、図5の第2移動局装置 30 においては第2伝搬路補償部 220b) とを備えて構成されている。また、アンテナ部は、アンテナ 202 と、無線受信部 204 と、参照信号分離部 206 と、伝搬路推定部 208 と、無線送信部 230 とを有して構成されている。

【0069】

10

20

30

40

50

移動局装置では、各受信アンテナ 202 で受信された信号が対応する無線受信部 204 に入力され、ベースバンド帯の信号に変換される。ベースバンド帯に変換された信号は、参照信号分離部 206 に入力される。参照信号分離部 206 では、受信信号はデータ系列と既知参照信号系列とに分離され、データ系列は伝搬路補償部 210 に入力され、既知参照信号系列は伝搬路推定部 208 に入力される。

【0070】

伝搬路推定部 208 では、入力された既知参照信号系列を用いて伝搬路推定が行われる。各移動局装置宛の既知参照信号系列はそれぞれ直交するように基地局装置 10 より送信されているから、第 1 移動局装置 20 では、伝搬路行列 H_1 を、第 2 移動局装置 30 では、伝搬路行列 H_2 を推定することができる。推定された伝搬路行列はそれぞれ伝搬路補償部 210 及びフィードバック情報生成部 220 に入力される。

10

【0071】

フィードバック情報生成部 220 では、各移動局装置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 10 にフィードバックする情報を生成する。

【0072】

第 1 ユーザが利用する第 1 移動局装置 20 は、伝搬路情報を明示的に表す情報形式で伝搬路情報をフィードバックする。初めに、伝搬路推定部 208 より出力された伝搬路情報 H_1 は第 1 フィードバック情報生成部 220 a に入力される。

【0073】

第 1 フィードバック情報生成部 220 a では、入力された伝搬路行列 H_1 に、第 1 伝搬路補償部 210 a において乗算される受信フィルタ $w_{r,1}$ が乗算された $w_{r,1} \times H_1$ を基地局装置 10 に通知する情報として出力する。

20

【0074】

出力された情報は無線送信部 230 に入力され、基地局装置 10 に通知されることになる。ここで、受信フィルタ $w_{r,1}$ については、第 1 移動局装置 20 が任意に設定できる。例えば、MMSE 規範に基づく線形フィルタを用いるようにしても良い。

【0075】

なお、実際に $w_{r,1} \times H_1$ を基地局装置 10 に通知するには、通知する情報である $w_{r,1} \times H_1$ を有限ビット長の情報に量子化したのち、その情報を直接通知しても良いし、基地局装置 10 と第 1 移動局装置 20 との間で予め所定のコードブックを共有しておき、推定された伝搬路情報と最も近いコードの番号を基地局装置 10 に通知するようにしても良い。上記方法に限らず、基地局装置 10 が $w_{r,1} \times H_1$ を把握できるのであれば、第 1 移動局装置 20 はどのような方法により第 1 伝搬路情報形式に基づく伝搬路情報を基地局装置 10 に通知しても良い。

30

【0076】

第 1 移動局装置 20 が通知している Explicit CSI は伝搬路情報そのものであるから、もし、総ての移動局装置が第 1 移動局装置 20 の方式であれば、基地局装置 10 は、通知された情報から独自にプリコーディングの方法を決定することが出来る。つまり、Explicit CSI という伝搬路情報形式でフィードバックするということは、基地局装置 10 が単独でプリコーディングの方法を決定するに足る情報をフィードバックすることであると言え、プリコーディングの方法は基地局装置 10 が能動的に決定することが出来る。

40

【0077】

一方、第 2 ユーザが利用する第 2 移動局装置 30 は、伝搬路情報を暗示的に表す情報形式で伝搬路情報をフィードバックする。第 2 フィードバック情報生成部 210 b には第 1 移動局装置 20 と同様に、伝搬路推定部 208 より出力された伝搬路情報 H_2 が入力される。

【0078】

第 2 フィードバック情報生成部 210 b では、入力された伝搬路情報 H_2 に基づいて、自局にとって望ましい線形送信フィルタ $w_{t,2}$ を基地局装置 10 に通知する情報として

50

出力する。ランク 1 の伝送を仮定している第 1 実施形態においては、 $\|H_2 \times w_{t,2}\|^2$ が最大となる送信フィルタ $w_{t,2}$ を基地局装置 10 に通知する（ここで「 $\|a\|$ 」はベクトル a のノルム演算を表す）。

【0079】

これは、もし基地局装置 10 と通信しているのが第 2 移動局装置 30 だけであった場合に、第 2 移動局装置 30 の受信信号対雑音電力比 (SNR) を最大と出来るような送信フィルタを基地局装置 10 に通知していることになる。

【0080】

なお、実際に送信フィルタを基地局装置 10 に通知するには、通知する情報である $w_{t,2}$ を有限ビット長の情報に量子化したのち、その情報を直接通知しても良いし、基地局装置 10 と第 2 移動局装置 30 との間で予め所定のコードブックを共有しておき、要求する線形フィルタ $w_{t,2}$ と最も酷似しているコードの番号を基地局装置 10 に通知しても良い。

10

【0081】

コードブックによる方法は、例えば LTE Rel. 8 にて採用されている Precoding matrix indicator (PMI) を通知する方法で実現しても良い。上記方法に限らず、基地局装置 10 が $w_{t,2}$ を把握できるのであれば、第 2 移動局装置 30 はどのような方法により第 2 伝搬路情報形式に基づく伝搬路情報を基地局装置 10 に通知しても良い。

【0082】

第 2 移動局装置 30 が通知している Implicit CSI は、伝搬路情報そのものではなく、基地局装置 10 に行ってほしいプリコーディング方法に関する情報（本実施形態においては、基地局装置 10 が自局宛の信号に対して乗算してほしい線形フィルタの情報）である。

20

【0083】

そのため、Explicit CSI がフィードバックされている場合と異なり、Implicit CSI がフィードバックされた基地局装置 10 は、移動局装置からの要求に沿ったプリコーディングを行う必要がある。つまり、Implicit CSI という伝搬路情報形式でフィードバックするということは、移動局装置が能動的に基地局装置 10 で行われるプリコーディング方式を決定していると言える。

30

【0084】

ところで、送信電力を一定にするという制約条件のもとで $\|H_2 \times w_{t,2}\|^2$ を最大とする送信フィルタ $w_{t,2}$ は行列 $(H_2^H H_2)$ の最大固有値に対応する固有ベクトルとなることが知られている。

【0085】

本実施形態では、説明を簡単にするために、基地局装置 10 は第 2 移動局装置 30 より通知される情報に基づき、 $(H_2^H H_2)$ の最大固有値に対応する固有ベクトルが送信フィルタ $w_{t,2}$ として通知されてきたと把握できるものとして説明を行っている。

【0086】

しかし、例えば、コードブックを用いて送信フィルタ $w_{t,2}$ を基地局装置 10 に通知するような場合、実際のコードブックサイズは有限であるから、固有ベクトルそのものを通知することは出来ない。

40

【0087】

このとき、式 (2) で表される ZF フィルタを用いても、IUI を完全に抑圧することはできないが、コードブックのサイズを大きくしたり、基地局装置及び受信局装置が用いる線形フィルタを MMSE 規範に基づく重みとしたりすることで残留 IUI を抑圧することが可能である。

【0088】

なお、所定のコードブックにより線形フィルタ $w_{t,2}$ を基地局装置 10 に通知する場合、 $\|H_2 \times w_{t,2}\|^2$ が最大となる送信フィルタ $w_{t,2}$ について、上記のように実

50

際に固有ベクトルを求めるのではなく、コードブック記載の線形フィルタの中で、最も $\|H_2 \times w_{t,2}\|^2$ を大きく出来る線形フィルタを抽出し、それを基地局装置に通知するようにしても良い。

【0089】

また、本実施形態で対象としている Explicit CSI と Implicit CSI では、フィードバックに要するビット数が異なることがある。これは、先に述べたように、Explicit CSI は伝搬路情報そのものであり、例えば、 $h_{eff,1}$ の各要素をそれぞれ数ビットで量子化してフィードバックするような場合には、送信アンテナ数 $N_t \times$ 各要素のビット数が必要となるのに対し、Implicit CSI として、

10

【0090】

このように、本実施形態における2つのフィードバック方法は、フィードバック量(ビット数)が異なる方法であると言える場合もある。

【0091】

以上説明したように、各移動局装置のフィードバック情報生成部 220 (第1フィードバック情報生成部 220a 又は第2フィードバック情報生成部 220b) では、基地局装置 10 に通知すべき情報をそれぞれ異なる伝搬路情報形式に基づき生成する。生成された情報は、無線送信部 230 に入力され、基地局装置 10 に向けて通知される。

【0092】

20

基地局装置 10 では CSI 取得部 124 において、通知されてきた情報から、それぞれの情報形式に基づいて、伝搬路情報 ($h_{eff,1}$ 又は $w_{t,2}$) を取得し、取得された伝搬路情報が Precoding 部 108 の線形フィルタ生成部 1082 に入力されることになる。

【0093】

一方、受信データ系列については第1伝搬路補償部 210a 又は第2伝搬路補償部 210b に入力され、伝搬路推定部 208 より入力される伝搬路推定情報に基づいて算出される受信フィルタを乗算することにより、伝搬路補償が行われる。

【0094】

第1移動局装置 20 の場合、第1伝搬路補償部 210a においては、基地局装置 10 に伝搬路情報を通知する際に算出した受信フィルタ $w_{r,1}$ をそのまま用いることで伝搬路補償が出来る。また、残留 IUI を考慮して再度受信フィルタを算出しても良い。例えば MMSSE 規範に基づいた受信フィルタを用いる方法が考えられる。

30

【0095】

第2移動局装置 30 の場合、第2伝搬路補償部 210b では基地局装置 10 に通知した線形送信フィルタ $w_{t,2}$ と既に推定済みの伝搬路情報 H_2 に基づいて、 $w_{r,2} = (H_2 \times w_{t,2})^H$ を受信フィルタとして用いることで、受信 SNR を最大にすることが出来る。また、第1移動局装置 20 と同様に、残留 IUI を考慮した受信フィルタを別に算出し、それを用いても良い。

【0096】

40

なお、各移動局装置が再度受信フィルタを算出する場合には、基地局装置 10 が実際にどのような線形フィルタを用いているか移動局装置が把握している必要がある場合もある。そのような場合、基地局装置 10 は、各移動局装置が伝搬路情報を推定するための既知参照信号系列とは別の既知参照信号系列を送信するようにしても良い。

【0097】

このとき、別に送信する既知参照信号系列には、実際のデータ伝送に用いている線形フィルタ(例えば式(2)記載のZFフィルタ)を乗算したのち伝送を行う。移動局装置は、線形フィルタが乗算された既知参照信号系列に基づいて受信線形フィルタを再度算出するようにしても良い。

【0098】

50

第1伝搬路補償部210a及び第2伝搬路補償部210bの出力は、データ復調部212及びチャンネル復号部214に入力され、データ復調、チャンネル復号がそれぞれ適用されたのち、各移動局装置宛の送信データが検出される。

【0099】

本実施形態においては、伝送方式（もしくはアクセス方式）については制限を与えていない。例えば、LTEの下りリンク伝送に採用されている直交周波数分割多重アクセス（OFDMA）方式に適用することも可能である。この場合は、サブキャリア毎に本実施形態を適用すれば良く、また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本実施形態を適用しても良い。

【0100】

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）に適用することも可能であり、周波数成分毎に適用しても良いし、送信電力の強調を回避するために、全周波数帯域に渡って同一のプリコーディングを行うようにしても良い。

【0101】

本実施形態により、異なる情報形式によりCSIをフィードバックする移動局装置が混在する場合でも、下りリンクMU-MIMO伝送を実現することが可能となる。このことは現行のLTEシステムに対して、将来的にExplicit CSIをフィードバックする移動局装置が混在するような場合でも、既に存在するImplicit CSIをフィードバックする移動局装置とも問題無く下りリンクMU-MIMO伝送を実現できることを示唆しており、後方互換性を有しながら優れた周波数利用効率を達成することが可能となる。

【0102】

〔第2実施形態〕

続いて第2実施形態について説明する。ここで、第2実施形態は、第1実施形態で説明した構成要素には同一の符号を付すこととし、その詳細な説明を省略する。

【0103】

第1実施形態においては、基地局装置10はImplicit CSIをフィードバックする移動局装置とExplicit CSIをフィードバックする移動局装置とを空間多重する際に、各移動局装置から通知される情報にのみ基づいて空間多重を行っていた。

【0104】

通常、線形演算に基づく下りリンクMU-MIMOでは空間多重に適したユーザ同士を組み合わせる空間多重を行う。具体的には、式(2)で示されている、線形フィルタ $W_{e_{ff}}$ が直交行列に近くなるような移動局装置を組み合わせたり、所要送信電力が少なく済む移動局装置の組み合わせを探索し、空間多重を行ったりする。

【0105】

しかし、基地局装置10に接続している移動局装置数や各移動局装置の位置関係によっては、いずれの移動局装置の組み合わせでも線形フィルタ $W_{e_{ff}}$ が直交行列とはならない状況が発生する。第2実施形態では、線形フィルタ $W_{e_{ff}}$ をより直交行列とし易くする方法を示している。

【0106】

第2実施形態でも、第1実施形態と同様に、 N_t 本の送信アンテナを有する基地局装置12（図6）に対して、 N_r 本の受信アンテナを有する2つの移動局装置（第1移動局装置22（図8）及び第2移動局装置32とする）が同一無線リソースにおいて空間多重される場合を考える。そして第1ユーザが第1移動局装置22を利用し、第2ユーザが第2移動局装置32を利用するものとする。

【0107】

〔基地局装置の構成〕

第2実施形態に係る基地局装置12を図6に示す。各移動局装置宛の送信データは、チャンネル符号化部102及びデータ変調部104に入力されたのち、移動局装置において伝

10

20

30

40

50

搬路推定を行うための既知参照信号系列が参照信号多重部 106 において多重される。

【0108】

なお、参照信号については、移動局装置において、分離可能なように多重される。以下の説明では、参照信号は任意の無線リソースに理想的に配置されたものとし、移動局装置では上記既知参照信号系列により、理想的に伝搬路推定が行われるものとする。また、第1実施形態と同様に、後述する方法で算出される線形フィルタが乗算された既知参照信号系列を別に送信するようにしても良い。参照信号多重部 106 の出力は Precoding 部 308 に入力される。

【0109】

図7は第2実施形態に係る Precoding 部 308 の構成を示している。Precoding 部 308 では、はじめに CSI 取得部 124 において取得された第1移動局装置 22 及び第2移動局装置 32 の CSI が線形フィルタ生成部 3082 に入力され、線形フィルタが生成される。

【0110】

線形フィルタ生成部 3082 に入力される CSI について説明する。第1移動局装置 22 より通知される CSI は伝搬路情報を明示的に表す Explicit CSI に基づいているが、ここでは、第1実施形態とは異なり、基地局装置 12 と第1移動局装置 22 との間の伝搬路行列 H_1 そのものが通知されているものとする。

【0111】

一方で、第2移動局装置 32 より通知される CSI は第2移動局装置 30 と同様に、第2移動局装置 32 が基地局装置 12 に要求する線形送信フィルタ $w_{t,2}$ が入力されるものとする。第1実施形態でも述べたが、 $w_{t,2}$ は $H_2^H H_2$ の最大固有値に対応する固有ベクトル、もしくはそれに酷似したベクトルであるものとして以下の説明は行う。

【0112】

基地局装置 12 の線形フィルタ生成部 3082 では、各移動局装置より通知された情報より、各移動局装置と基地局装置 12 との間の伝搬路情報を推定する。第2移動局装置 32 については、第1実施形態と同様に通知された $w_{t,2}$ にエルミート転置を与えた $w_{t,2}^H$ を伝搬路とみなす。

【0113】

一方、第1移動局装置 22 の伝搬路については、第1移動局装置 22 より通知された H_1 に任意の線形フィルタ w_1 (第1線形フィルタ) を乗算することにより得られる $h_{eff,1} = w_1 \times H_1$ を伝搬路と見なす。以上のように伝搬路情報を推定することにより、見掛け上の伝搬路行列 H_{eff} を次式(4)のように表すことが出来る。

【数4】

$$H_{eff} = \begin{pmatrix} h_{eff,1} \\ w_{t,2}^H \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w_1 H_1 \\ w_{t,2}^H \end{pmatrix} \quad \dots (4)$$

【0114】

算出された等価伝搬路行列 H_{eff} より、次式(5)のように線形フィルタ W_{eff} を算出する。

【数5】

$$W_{eff} = H_{eff}^+ = H_{eff}^H (H_{eff} H_{eff}^H)^{-1} \quad \dots (5)$$

【0115】

式(5)は第1実施形態に用いたZF規範に基づく線形フィルタである。もちろん第1実施形態と同様にMMS E規範などの別の規範に基づいて線形フィルタを算出しても良い。

10

20

30

40

50

【0116】

ここで、第1移動局装置22の伝搬路情報を推定する際に乗算した任意の線形フィルタ w_1 について説明する。第1実施形態においては、 w_1 は第1移動局装置22が任意に定める受信フィルタであったが、第2実施形態においては、 w_1 は基地局装置12が決定する。

【0117】

例えば、送信電力の増幅を抑えられる線形フィルタ W_{eff} が生成されるような線形フィルタを w_1 として決定する。所要送信電力は $trace(W_{eff} W_{eff}^H)$ に比例するから(ここで、「 $trace(A)$ 」は行列Aに対するトレース演算を表す)、送信電力の増幅を抑えられる線形フィルタ w_1 は次式(6)で示すような最小化問題を解くことで算出することが出来る。

10

【数6】

$$w_1 = \arg \min_{w_1} (trace(W_{eff} W_{eff}^H)) \quad \dots (6)$$

ここで、「 $\arg \min_x (f(x))$ 」は評価関数 $f(x)$ を最小とする x を選択する関数である。

【0118】

なお、式(6)以外の規範に基づいて線形フィルタを算出しても良く、通信容量が最大となるような w_1 を選択するようにしても良い。また、予め複数の線形フィルタが記載されたコードブックを準備しておき、コードブック記載の線形フィルタの中から、所要送信電力を最も小さくできるものや、通信容量を最も大きくできるものを選択することで、線形フィルタ w_1 を決定しても良い。

20

【0119】

線形フィルタ生成部3082からは、生成された線形フィルタ W_{eff} が線形フィルタ乗算部3084に入力される。また、算出された w_1 は第1移動局装置22の受信フィルタ $w_{r,1}$ として第1移動局装置22に通知するために、この後で生成される送信信号ベクトルとは別に制御情報生成部330に入力される。

【0120】

線形フィルタ乗算部3084においては、送信シンボルベクトル d に入力された線形フィルタ W_{eff} が乗算され、送信信号ベクトル s が生成され、Precoding部308から出力される。

30

【0121】

図6に戻り、Precoding部308からの出力信号は、各アンテナ112に対応する無線送信部110に入力される。無線送信部110において、ベースバンド帯の送信信号が無線周波数(RF)帯の送信信号に変換される。無線送信部110の出力信号は、各アンテナ112よりそれぞれ送信される。また、送信信号ベクトルとは別に、線形フィルタ生成部3082より出力された線形フィルタ w_1 に関する情報も無線送信部110に入力され、第1移動局装置22に対して通知される。

【0122】

制御情報生成部330では、線形フィルタ w_1 が入力され、それに関連付けられた情報が出力され、無線送信部110に入力されたのち、第1移動局装置22に通知される。線形フィルタ w_1 に関連付けられた情報としては、線形フィルタ w_1 そのものを通知しても良いし、 w_1 を有限ビット長の情報に量子化したのち、その情報を通知しても良く、また、基地局装置12と第1移動局装置22間で予め所定のコードブックを共有しておき、算出された線形フィルタ w_1 と最も近いコードの番号を第1移動局装置22に通知するようにしても良い。

40

【0123】

所定のコードブックを共有している場合、Precoding部308において線形フィルタ w_1 を算出する際に、コードブック記載の線形フィルタのうちで、算出規範(所要

50

送信電力最小規範や通信容量最大規範)に最も即した線形フィルタを選択し、それを用いてプリコーディングを行っても良い。

【0124】

[移動局装置の構成]

続いて移動局装置の構成について説明する。図8は第1移動局装置22の構成を表すブロック図である。ここで、第2移動局装置32の構成は図5と同様であり、また実際の信号処理も同様であるため、第2移動局装置32における信号処理については説明を省略し、以下では、第1移動局装置22における信号処理の説明のみを行う。

【0125】

第1移動局装置22では、各アンテナ202で受信された信号が対応する無線受信部204に入力されベースバンド帯の信号に変換される。ベースバンド帯に変換された信号は、参照信号分離部206に入力される。参照信号分離部206では、受信信号はデータ系列と既知参照信号系列とに分離され、データ系列は第1伝搬路補償部210aに入力され、既知参照信号系列は伝搬路推定部208に入力される。

10

【0126】

無線受信部204においては、データ系列と既知参照信号系列とは別に、基地局装置12の制御情報生成部330より通知される線形フィルタ w_1 に関連付けられた情報も受信されるが、その情報については制御情報取得部350に入力されるものとする。

【0127】

制御情報取得部350では、入力された情報に基づいて、基地局装置12のPrecoding部308において生成された線形フィルタ w_1 を推定し、制御情報取得部350の出力として第1伝搬路補償部210aに入力する。

20

【0128】

伝搬路推定部208では、入力された既知参照信号系列を用いて伝搬路推定が行われる。第1移動局装置22では、伝搬路行列 H_1 を推定する。推定された伝搬路行列はそれぞれ第1伝搬路補償部210a及び第1フィードバック情報生成部220aに入力される。

【0129】

第1フィードバック情報生成部220aでは、第1実施形態とは異なり、基地局装置12に対しては、推定された伝搬路行列 H_1 をそのまま通知する情報として無線送信部230に対して出力する。なお、実際の通知の方法として、第1実施形態と同様に通知する情報を有限ビット長の情報に量子化したのち、その情報を直接通知してもよく、また、基地局装置12と第1移動局装置22間で予め所定のコードブックを共有しておき、推定された伝搬路情報と最も近いコードの番号を基地局装置12に通知するようにしても良い。

30

【0130】

第1伝搬路補償部210aに入力された受信データ系列については、制御情報取得部350により入力される線形フィルタ w_1 を受信フィルタ $w_{r,1}$ とみなし、それを受信信号に乗算することにより伝搬路補償を行うことが出来る。なお、第1実施形態と同様に、伝搬路推定部208において推定された伝搬路情報 H_1 に基づいて受信線形フィルタを新たに算出しても良い。

【0131】

第1伝搬路補償部210aの出力は、データ復調部212及びチャネル復号部214に入力され、データ復調、チャネル復号がそれぞれ適用されたのち、各移動局装置宛の送信データが検出される。

40

【0132】

本実施形態では、基地局装置12が第1移動局装置22の受信フィルタを制御することにより、基地局装置12のPrecoding部308で算出される線形フィルタ w_e をより直交性の高い行列とすることが出来るから、第1の実施形態よりも空間多重を可能な移動局装置の組み合わせ数を増加させることが出来る。

【0133】

MU-MIMOでは、同時空間多重ユーザ数を増加すれば増加させただけ周波数利用効

50

率を向上できるから、本実施形態の方法により、周波数利用効率の大幅な向上が期待できる。

【0134】

[第3実施形態]

続いて、第3実施形態について説明する。第2実施形態においては、Explicit CSIを通知する第1移動局装置22の受信フィルタを基地局装置12が制御することにより、Implicit CSIを通知する第2移動局装置32を利用するユーザも含めて、各移動局装置の空間多重機会を増加できる方法を示した。

【0135】

しかし、第2実施形態では、第1移動局装置22の受信ダイバーシチ利得が最大とはならず、システム全体の周波数利用効率が向上する一方で、第1移動局装置22自体の伝送特性は劣化してしまう可能性がある。

10

【0136】

第3実施形態では、第1移動局装置22自体の伝送特性を劣化させずに、第1移動局装置22と第2移動局装置30とを同時に空間多重させる方法を開示する。

【0137】

第3実施形態でも第1及び第2の実施形態と同様に、 N_t 本の送信アンテナを有する基地局装置12に対して、単一受信アンテナを有する2つの移動局装置(第1移動局装置22及び第2移動局装置30とする)が同一無線リソースにおいて空間多重される場合を考える。そして第1ユーザが第1移動局装置22を利用し、第2ユーザが第2移動局装置30

20

【0138】

[基地局装置の構成]

第3実施形態に係る基地局装置14は図6の構成において、Precoding部308を図9で示すPrecoding部408に置き換えた構成である。ここで、異なるのはPrecoding部における信号処理と、制御情報生成部330に出力される制御情報であり、それ以外の信号処理については、第2実施形態における基地局装置12の信号処理とほぼ同様である。以下では、Precoding部408と制御情報生成部330における処理についてのみ説明する。

【0139】

図9は本発明の第3実施形態に係るPrecoding部408の構成を示している。Precoding部408では、はじめにCSI取得部124において取得された第1移動局装置22及び第2移動局装置30のCSIが線形フィルタ生成部4082に入力され、線形フィルタが生成される。

30

【0140】

線形フィルタ生成部4082に入力されるCSIについて説明する。第1移動局装置22より通知されるCSIは伝搬路情報を明示的に表すExplicit CSIとなるが、ここでは、第2実施形態と同様に基地局装置14と第1移動局装置22との間の伝搬路行列 H_1 そのものが通知されているものとする。一方で、第2移動局装置30より通知されるCSIは第1実施形態と同様に第2移動局装置30が基地局装置12に要求する線形送信フィルタ $w_{t,2}$ が入力されるものとする。

40

【0141】

基地局装置14の線形フィルタ生成部4082では、各移動局装置より通知された情報より、各移動局装置と基地局装置間の伝搬路情報を推定する。第2移動局装置30については、第1実施形態と同様に通知された $w_{t,2}$ にエルミート転置を与えた $w_{t,2}^H$ を伝搬路とみなす。一方、第1移動局装置22の伝搬路については、線形フィルタ生成部4082では、初めに取得した伝搬路情報 H_1 に対して次式(7)に示されるような固有値分解を行う。

【数 7】

$$H_1^H H_1 = U_1 \Lambda_1 U_1^H \quad \dots (7)$$

ここで、「 Λ_1 」は対角要素に $H_1^H H_1$ の固有値を持ち、 $\Lambda_1 = \text{diag} \{ \lambda_{1,1}, \dots, \lambda_{1,N_r}, 0, \dots, 0 \}$ と表現される ($N_t \times N_t$) の対角行列である。

【0142】

ただし、 $N_t = N_r$ であるものとしている。一方、「 U_1 」は $U_1 = [u_{1,1}, \dots, u_{1,r}, \dots, u_{1,N_t}]$ と表現される ($N_t \times N_t$) のユニタリ行列である。 U_1 を構成する N_t 個の列ベクトルのうち、第 r 列ベクトル $u_{1,r}$ は第 r 固有値 (つまり $\lambda_{1,r}$) に対応する固有ベクトル (第二の線形フィルタ) となる。 10

【0143】

第 3 実施形態における線形フィルタ W_{eff} は主に、 Λ_1 と U_1 に基づいて行われる。なお、以下では、 Λ_1 の対角成分は値の大きな固有値より順番に並んでいるものとする。つまり、 $\lambda_{1,1} > \lambda_{1,2} > \dots > \lambda_{1,N_r} > 0$ であるものとする。

【0144】

なお、第 1 移動局装置 22 から、伝搬路情報 H_1 ではなく、 H_1 の共分散行列 R_t もしくはそれに関連付けられた制御情報が通知された場合、 $R_t = H_1^H H_1$ とみなして、同様の信号処理を行うようにしても良い。

【0145】

各移動局装置に対してランク 1 の伝送を仮定している本実施形態においては、算出すべき線形フィルタ W_{eff} は ($N_t \times 2$) の行列であり、第 1 列ベクトルは第 1 移動局装置 22 宛の送信データに乘算される線形フィルタ、第 2 列ベクトルは第 2 移動局装置 30 宛の送信データに乘算される線形フィルタを表す。 20

【0146】

本実施形態においては、第 1 移動局装置 22 宛の送信データに乘算される線形フィルタは先ほど算出された固有ベクトルのうち、最大固有値に対応する固有ベクトル $u_{1,1}$ を用いることとする。

【0147】

次いで、第 2 移動局装置 30 宛の送信データに乘算される線形フィルタであるが、これは式 (7) に基づいて算出された第 1 移動局装置 22 の伝搬路情報に関連付けられた固有ベクトルのうち、最大固有値に対応する固有ベクトル以外の固有ベクトルの中で、第 2 移動局装置 30 より通知された所望の送信線形フィルタ $w_{t,2}$ に最も近い固有ベクトルを選択し、それを第 2 移動局装置 30 宛の送信データに乘算する。ここでは簡単のため、 $w_{t,2}$ と $u_{1,2}$ が一致していたものとする。このとき、算出すべき線形フィルタは、 30

【数 8】

$$W_{eff} = (u_{1,1} \quad u_{1,2}) \quad \dots (8-1)$$

である。 40

【0148】

しかし、通常通知された送信線形フィルタ $w_{t,2}$ と $u_{1,2}$ が完全に一致することは無く、また、基地局装置 14 と第 2 移動局装置 30 とで共有されているコードブックのサイズが有限であることから、基地局装置 14 が取得した $w_{t,2}$ が第 2 移動局装置 30 が真に所望する線形フィルタであるとは限らない。

【0149】

ところで、第 1 及び第 2 実施形態も含め、本実施形態では簡単のため説明は省略しているが、通常、各移動局装置から基地局装置には CSI に関連付けられた情報とは別に、受信品質に関連付けられた情報 (例えば LTE Rel. 8 では受信品質を表す Channel quality indicator (CQI) や所望のデータストリーム数を表す Rank Indicator (RI) 50

と呼ばれる制御情報)を通知し、基地局装置は、受信品質に関連付けられた情報に基づいて、変調方式、チャンネル符号化率、ランク数及びユーザスケジューリング等を決めている。

【0150】

このとき、受信品質に関連付けられた情報は、基地局装置に通知されているCSIに関連付けられた情報にも基づいている。

【0151】

例えば、第2移動局装置30の場合、基地局装置14に通知した所望の送信線形フィルタ $w_{t,2}$ が使われることを前提として、CQI等を算出している。よって式(8-1)のように $w_{t,2}$ に基づかない線形フィルタを用いてしまうと、基地局装置14に通知されている受信品質と、実際の受信品質との誤差が大きくなってしまふ。

10

【0152】

そのため、通知された送信線形フィルタ $w_{t,2}$ と $u_{1,2}$ が完全に一致していない場合は、次式に示すように線形フィルタには、 $u_{1,2}$ ではなく $w_{t,2}$ を用いるようにしても良い。

【数9】

$$W_{eff} = (u_{1,1} \quad w_{t,2}) \quad \dots \quad (8-2)$$

【0153】

また、第3実施形態においても第1及び第2実施形態同様に、見掛け上の伝搬路行列 H_{eff} を定義するようにしても良い。この場合、 H_{eff} は次式のように定義する。

20

【数10】

$$H_{eff} = \begin{pmatrix} u_{1,1}^H \\ w_{t,2}^H \end{pmatrix} \quad \dots \quad (9)$$

算出された等価伝搬路行列 H_{eff} より、次式のように線形フィルタ W_{eff} を算出する。

30

【数11】

$$W_{eff} = H_{eff}^+ = H_{eff}^H (H_{eff} H_{eff}^H)^{-1} \quad \dots \quad (10)$$

【0154】

式(10)はZF規範に基づく線形フィルタである。もちろん第1実施形態と同様にMSE規範などの別の規範に基づいて線形フィルタを算出しても良い。なお、 $w_{t,2}$ と $u_{1,2}$ が完全に一致しているとき、式(10)は式(8-1)に一致する。

【0155】

以上が、第3実施形態における線形フィルタ W_{eff} の生成方法となる。本実施形態においては、空間多重する移動局装置は第1移動局装置22と第2移動局装置30であるものとして説明したが、第2移動局装置30に属する他の移動局装置が通知してきた所望線形フィルタが、第1移動局装置22の最大固有値に対応する固有ベクトル以外の固有ベクトルのいずれかに一致、もしくは酷似している場合に、第2移動局装置30の代わりにその移動局装置を多重するようにしても良い。

40

【0156】

逆に第2移動局装置30が通知してきた線形フィルタと一致もしくは近い固有ベクトルを算出することが可能な伝搬路情報を通知してきた、第1移動局装置22以外の第1移動局装置22に属する移動局装置が存在する場合に、第1移動局装置22の代わりに、その移動局装置と第2移動局装置30とを多重するようにしても良い。

50

【 0 1 5 7 】

また、通常、第 1 移動局装置 2 2 の受信品質を最良とするためには、最大固有値に対応する固有ベクトル $u_{1,1}$ を第 1 移動局装置 2 2 宛の送信データに乗算する線形フィルタとして用いる必要がある。なぜならば、第 1 移動局装置 2 2 の受信品質は線形フィルタとして用いた固有ベクトルに対応する固有値の大きさに比例するためである。

【 0 1 5 8 】

しかし、もし第 1 移動局装置 2 2 が 2 番目に大きい固有値による伝送でも所望の伝送品質を実現できるような場合、第 1 移動局装置 2 2 宛の送信データに乗算する線形フィルタとして、2 番目に大きい固有値に対応する固有ベクトル $u_{1,2}$ を用いることにより、第 2 移動局装置 3 0 が通知してきた送信線形フィルタが $u_{1,1}$ と一致している場合にも空間多重を行うことが可能となる。

10

【 0 1 5 9 】

このことは、各移動局装置に対してランク 2 以上の伝送を行う場合にも同様の事が言える。例えば、ランク 2 の送信を第 1 移動局装置 2 2 に行う場合、通常第 1 移動局装置 2 2 に使う線形フィルタは最大及び 2 番目に大きい固有値に対応する固有ベクトル $u_{1,1}$ 及び $u_{1,2}$ を用いる。

【 0 1 6 0 】

この場合に、同じくランク 2 の送信を行う第 2 移動局装置 3 0 が通知してきた線形フィルタが固有ベクトル $u_{1,1}$ 及び $u_{1,2}$ と一致してしまっている場合、本実施形態の方法では第 2 移動局装置 3 0 と第 1 移動局装置 2 2 を空間多重することは出来ない。

20

【 0 1 6 1 】

しかし、第 1 移動局装置 2 2 が 3 番目及び 4 番目に大きい固有値でも所望の伝送品質が達成できるのであれば、第 1 移動局装置 2 2 に対して、3 番目及び 4 番目に大きい固有値に対応する固有ベクトル $u_{1,3}$ 及び $u_{1,4}$ を線形フィルタとして用いることが出来る。この場合は第 1 移動局装置 2 2 と第 2 移動局装置 3 0 とを空間多重することが可能となる。

【 0 1 6 2 】

つまり、第 1 移動局装置 2 2 が実際の伝送に用いる固有ベクトルの選択を工夫することにより、空間多重できる移動局装置の選択肢を増加させることも本実施形態では可能である。

30

【 0 1 6 3 】

これまで説明してきたように、本実施形態では、第 1 移動局装置 2 2 に対して最大固有値を与える固有ベクトルを線形フィルタとして用いているとは限らない。

【 0 1 6 4 】

しかし、第 1 移動局装置 2 2 の移動局装置では、線形フィルタとして用いている固有ベクトルがいずれであるかを把握していないと正しく信号を復調することは出来ない。

【 0 1 6 5 】

よって、本実施形態においては、実際に線形フィルタとして用いている固有ベクトルがいずれかであるかを第 1 移動局装置 2 2 に対して通知する必要があるから、線形フィルタ生成部 4 0 8 2 からは生成された線形フィルタが線形フィルタ乗算部 4 0 8 4 に入力される一方で、用いている固有ベクトルに関連付けられた制御情報（ここでは固有値番号）が図 6 における制御情報生成部 3 3 0 に向けて出力される。

40

【 0 1 6 6 】

Pre coding 部 4 0 8 ではその後、線形フィルタ乗算部 4 0 8 4 においては、送信シンボルベクトル d に入力された線形フィルタ W_{eff} が乗算され、送信信号ベクトル s が生成され、Pre coding 部 4 0 8 の出力信号として出力される。

【 0 1 6 7 】

Pre coding 部 4 0 8 の出力信号は、各アンテナの無線送信部 1 1 0 に入力される。無線送信部 1 1 0 において、ベースバンド帯の送信信号が無線周波数 (RF) 帯の送信信号に変換される。無線送信部 1 1 0 の出力信号は、各アンテナ 1 1 2 よりそれぞれ送

50

信される。

【0168】

また、送信信号ベクトルとは別に、制御情報生成部330より実際に用いている固有ベクトルに関連付けられた制御情報が無線送信部110に入力され、第1移動局装置22に対して通知される。

【0169】

通知される制御情報としては、固有ベクトルの番号(何番目に大きい固有値の固有ベクトルを用いているかを示す情報であり、固有ベクトルを算出するアルゴリズムが基地局装置と移動局装置とで共通化できる場合には、何番目に算出される固有ベクトルを用いているかが分かる情報等)を通知しても良く、また実際に用いている固有ベクトルを有限ビット長の情報に量子化したのち、その情報を直接通知してもよく、また、基地局装置14と第1移動局装置22間で予め所定のコードブックを共有しておき、算出された線形フィルタ w_1 と最も近いコードの番号を第1移動局装置22に通知するようにしても良い。

10

【0170】

なお、第1移動局装置22が線形フィルタとして用いる固有ベクトルの選択方法を予め基地局装置14と決めている場合(例えば、いかなる場合においても最大固有値に対応する固有ベクトルを用いるなど)には制御情報生成部330で生成される制御情報については第1移動局装置22に通知しなくても良い。

【0171】

また、移動局装置に送信する既知参照信号系列について、Precoding部408で算出された線形フィルタが乗算された既知参照信号系列を別に送信している場合、その情報に基づいて、第1移動局装置22が実際に使用されている固有値の番号を推定するようにしても良い。

20

【0172】

また、複数ランクの伝送を行っている場合、基地局装置14が実際に伝送する際に用いるアンテナポートの番号と送信ストリームの番号が関連付けられている場合がある。この場合、固有ベクトルの番号と送信ストリームは関連付けられた情報であるから、本実施形態のように、受信品質等に応じて固有ベクトルを決定しているということは、利用するアンテナポートを受信品質に応じて決定しているとも言える。よって、基地局装置14が各移動局装置宛のデータ送信に用いるアンテナポート番号を通知することにより、第1移動局装置22に対して、用いている固有ベクトルの番号を通知するように制御することでも、本発明は実現可能である。

30

【0173】

[移動局装置の構成]

続いて、移動局装置について説明する。移動局装置について、第2移動局装置30は図5と同様であり、また行われる信号処理も第1実施形態(第2実施形態)において説明したものと一緒であるから説明は省略する。

【0174】

一方、第1移動局装置22は第2実施形態で用いた図8と構成は同じであるが、制御情報取得部350及び第1伝搬路補償部210aにおける信号処理が異なるため、以下では前記2つの構成部における信号処理の説明のみを行うものとし、それ以外の構成部に関する説明については省略する。

40

【0175】

初めに制御情報取得部350について説明する。制御情報取得部350に入力される情報は、第2実施形態とは異なり、基地局装置12のPrecoding部408において、いずれの固有ベクトルを用いているかに関連付けられた情報である。

【0176】

制御情報取得部350では入力された情報に基づき、基地局装置12が使用している固有値ベクトルの番号を第1伝搬路補償部210aに入力する。なお、第1移動局装置22が線形フィルタとして用いる固有ベクトルの選択方法を予め基地局装置14と決めている

50

場合には、制御情報取得部 350 からは特に制御情報は第 1 伝搬路補償部 210a には入力されない。

【0177】

次いで、第 1 伝搬路補償部 210a における信号処理について説明する。第 1 伝搬路補償部 210a に入力された受信データ系列については、伝搬路推定部 208 より入力される伝搬路情報 H_1 と制御情報取得部 350 より通知される制御情報に基づいて算出される受信フィルタを乗算することにより、伝搬路補償が行われる。

【0178】

第 1 伝搬路補償部 210a では、初めに、式(7)に示されているように、入力された伝搬路情報 H_1 に対して、固有値分解を行い、固有ベクトルを算出する。その後、伝送さ
10
れているランク数と制御情報取得部 350 より通知される情報に基づいて受信フィルタが算出される。今、ランク 1 の送信であり、制御情報取得部 350 からは最大固有値に対応する固有ベクトルが基地局装置 12 の Precoding 部 408 で使用されたことが分かる制御情報が入力されているとき、受信フィルタ $w_{r,1}$ は次式で与えられる。

【数 12】

$$w_{r,1} = (H_1 u_{1,1})^H \quad \dots (11-1)$$

【0179】

このように、第 3 実施形態において、第 1 移動局装置 22 が用いる受信フィルタは、伝
20
搬路情報 H_1 に基地局装置 14 が Precoding 部 408 において用いている固有ベクトルを乗算することにより生成される。例えば、ランク 2 の送信を行っている場合に、基地局装置 14 が最大固有値と 3 番目に大きい固有値に対応する固有ベクトルである $u_{1,1}$ 、 $u_{1,2}$ と $u_{1,3}$ を送信フィルタに用いているのであれば、受信フィルタは、

【数 13】

$$w_{r,1} = (H_1 [u_{1,1}, u_{1,3}])^H \quad \dots (11-2)$$

となる。

【0180】

なお、固有ベクトルを新たに算出するのではなく、第 1 実施形態や第 2 実施形態と同様に、直接 MMS E 規範に基づく受信フィルタを算出し、それを用いても良い。

【0181】

以上が、制御情報取得部 350 及び第 1 伝搬路補償部 210a における信号処理の説明となる。それ以外の構成部における信号処理は第 2 実施形態と同様であるから説明は省略する。

【0182】

第 3 実施形態においては、Explicit CSI をフィードバックする第 1 移動局装置 22 と、Implicit CSI をフィードバックする第 2 移動局装置 30 とを同一無線リソースにおいて空間多重する際に、基地局装置 14 にて用いられる線形フィルタ
40
を第 1 移動局装置 22 から通知される伝搬路情報に主に基づいて算出する方法を対象とした。第 3 実施形態では、第 2 実施形態とは異なり、第 1 移動局装置 22 の受信品質を低下させること無く第 1 移動局装置 22 と第 2 移動局装置 30 とを空間多重させることが可能となる。

【0183】

〔第 4 実施形態〕

第 1 から第 3 実施形態においては、基地局装置 12 の Precoding 部において行
われている信号処理は線形演算のみであり、このような MU-MIMO 伝送は線形 MU-MIMO 伝送と呼ばれている。LTE Rel. 8 で採用されている MU-MIMO 伝送は線形 MU-MIMO 伝送である。第 4 実施形態では、Precoding 部において非
50

線形信号処理を行う非線形MU-MIMO伝送を対象とする。

【0184】

第4実施形態でも第1、第2及び第3の実施形態と同様に、 N_t 本の送信アンテナを有する基地局装置16に対して、単一受信アンテナを有する2つの移動局装置（第1移動局装置20及び第2移動局装置30とする）が同一無線リソースにおいて空間多重される場合を考える。そして第1ユーザは第1移動局装置20を利用し、第2ユーザは第2移動局装置30を利用するものとする。

【0185】

[基地局装置の構成]

第4実施形態に係る基地局装置16は第1実施形態の基地局装置10とほぼ同様であり、Precoding部308に換えて図10のPrecoding部508を備えていることである。具体的には、異なるのはPrecoding部508における信号処理であり、それ以外の信号処理については、第1の実施形態における基地局装置の信号処理とほぼ同様である。以下では、Precoding部508における処理についてのみ説明する。

10

【0186】

第4実施形態における基地局装置16におけるPrecoding部508の構成を図10に示す。Precoding部508は、線形フィルタ生成部5082、線形フィルタ乗算部5084に加えて、非線形信号処理部5086を含んでいる。

【0187】

初めに線形フィルタ生成部5082における信号処理について説明する。線形フィルタ生成部5082に入力されるCSIは第1実施形態と同様であり、第1移動局装置20より通知される情報は、基地局装置16と第1移動局装置20との間の伝搬路行列 H_1 に、第1移動局装置20の受信装置において受信信号に乗算される受信フィルタ $w_{r,1}$ との行列積で表される $h_{eff,1} = w_{r,1} \times H_1$ であるものとし、第2移動局装置30より通知されるCSIは第2移動局装置30が基地局装置16に要求する線形送信フィルタ $w_{t,2}$ であるものとする。

20

【0188】

基地局装置16の線形フィルタ生成部5082では、各移動局装置より通知された情報より、各移動局装置と基地局装置間の伝搬路情報を推定する必要がある。推定された見掛け上の伝搬路行列 H_{eff} を次式のように定義する。

30

【数14】

$$H_{eff} = \begin{pmatrix} w_{t,2}^H \\ h_{eff,1} \end{pmatrix} \cdots (12-1)$$

【0189】

式(1)と同様であるが、行成分が入れ替わっている。つまり、第1行に第2移動局装置30の伝搬路情報が入り、第2行に第1移動局装置20の伝搬路情報が入る。

40

【0190】

推定された伝搬路情報 H_{eff} より、線形フィルタ w_{eff} を生成する。第1、第2及び第3実施形態で生成された線形フィルタ w_{eff} は基本的に、ある移動局装置宛の送信信号が他の移動局装置において干渉とならないように制御する線形フィルタであり、そのような線形フィルタは例えば H_{eff} の逆行列演算により求めることが可能である。しかし、 H_{eff} の形状によっては、 H_{eff} の逆行列を線形フィルタとして用いると、必要となる送信電力が膨大となってしまう場合がある。

【0191】

一方で、非線形演算処理で算出する線形フィルタは H_{eff} の逆行列とは限らない。以下では、非線形MU-MIMO方式の一例として、Tomlinson-Harashi

50

ma Precoding (THP) と呼ばれる干渉抑圧技術を用いる場合について説明する。

【0192】

THPを用いる場合、生成される線形フィルタ W_{eff} は伝搬路情報 H_{eff} を下三角行列に変換するような行列である。そのような行列は、 H_{eff} の随伴行列 H_{eff}^H にQR分解を適用することにより求めることが出来る。すなわち、 $H_{eff}^H = QR$ とQR分解したとき (Q がユニタリ行列、 R が上三角行列である)、 Q が線形フィルタ W_{eff} となる。なお、

【数15】

$$\begin{aligned} H_{eff} W_{eff} &= H_{eff} Q \\ &= R^H = \begin{pmatrix} r_{1,1} & 0 \\ r_{2,1} & r_{2,2} \end{pmatrix} \cdots (13-1) \end{aligned}$$

10

であるものとする。

【0193】

このようにして生成された線形フィルタ W_{eff} を用いた場合、 $H_{eff} W_{eff}$ が対角行列とはならず、第2移動局装置30宛の送信信号が、第1移動局装置20に干渉信号として受信されてしまう。そこで、第4実施形態のPrecoding部508では、この第1移動局装置20に観測される干渉信号を予め非線形信号処理部5086において減算する。

20

【0194】

非線形信号処理部5086における信号処理について説明する。非線形信号処理部5086には、Precoding部508に入力された変調シンボル d と線形フィルタ生成部5082より出力される H_{eff} 及び W_{eff} が入力される。非線形信号処理部5086においては、前述した第1移動局装置20において観測される干渉信号を予め減算する信号処理が行われる。具体的には、第1移動局装置20宛の送信信号 d_1 に対して次式に示すような信号処理を行う。

30

【数16】

$$d_1 - [(DIAG(H_{eff} W_{eff}))^{-1} H_{eff} W_{eff} - I]_{2,1} d_2 = x_1 \cdots (14-1)$$

【0195】

ここで、「 $DIAG(A)$ 」は対角行列であり、その対角要素は行列 A の対角要素であるものとする。また、「 $[A]_{i,j}$ 」は行列 A の第 i 行第 j 列成分を表す。「 I 」は単位行列である。

【0196】

式(14-1)で算出される信号 x_1 を d_1 の代わりに、第1移動局装置20宛の送信信号として用いることで、仮に $W_{eff} = Q$ を線形フィルタとして用いても、第2移動局装置30宛の送信信号が第1移動局装置20に干渉信号として受信されることは無い。しかし、伝搬路情報 H_{eff} の状態によっては、 x_1 の大きさが、 d_1 よりも大きくなってしまい、膨大な送信電力を必要としまう可能性がある。そこで、THPでは、 x_1 に対して、modulo演算と呼ばれる非線形信号処理を行う。

40

【0197】

modulo演算「 $Mod_M(x)$ 」は、ある入力 x に対して、その出力が M より大きく、かつ M 以下に収まるようにするものである。ここで「 M 」はmodulo幅と呼ばれ、入力される信号の変調方式等に応じて設定される。

50

【 0 1 9 8 】

例えば Q P S K 変調信号が入力される場合には、 $M = \text{sqrt}(2)$ と設定される。実際に、式 (1 4 - 1) で表される信号 x_1 に modulo 演算を施した場合、その出力は次式で与えられる。

【 数 1 7 】

$$\text{Mod}_M(x_1) = d_1 - \frac{r_{2,1}}{r_{2,2}} d_2 + 2Mz \quad \dots (14-2)$$

【 0 1 9 9 】

ここで、「 z 」は実部と虚部がそれぞれ整数となる複素数であり、式 (1 4 - 2) の右辺の実部と虚部がそれぞれ $-M$ より大きく、かつ、 M 以下に収まるように選択される。なお、 $2Mz$ は摂動ベクトルと呼ばれることもある。式 (1 4 - 2) は次式のように表現することも可能である。

【 数 1 8 】

$$\text{Mod}_M(x_1) = x_1 - 2M \cdot \text{floor}\left(\frac{\text{Re}(x_1)}{2M} + \frac{1}{2}\right) - j2M \cdot \text{floor}\left(\frac{\text{Im}(x_1)}{2M} + \frac{1}{2}\right) \quad \dots (14-3)$$

【 0 2 0 0 】

ここで、「 $\text{floor}(x)$ 」は実数 x を超えない最大の整数を返す関数であり、床関数とも呼ばれる。また、「 $\text{Re}(c)$ 」及び「 $\text{Im}(c)$ 」はそれぞれ、複素数 c の実数及び虚数を返す関数である。 modulo 演算を施すことにより、伝搬路情報 H_{eff} の状態に依らず、 x_1 の大きさを常に一定とすることが出来る。

【 0 2 0 1 】

このように算出された x_1 (modulo 演算も含む) が第 1 移動局装置 2 0 宛の送信シンボルとして非線形信号処理部 5 0 8 6 より出力される。なお、第 2 移動局装置 3 0 宛の送信シンボルについては特に信号処理は行われない。

【 0 2 0 2 】

その後、非線形信号処理部 5 0 8 6 の出力は線形フィルタ乗算部 5 0 8 4 に入力され、線形フィルタ生成部 5 0 8 2 より入力された線形フィルタ $W_{\text{eff}} = Q$ が乗算されたのち、Precoding 部 5 0 8 から出力 s として出力されることになる。Precoding 部 5 0 8 以外の基地局装置 1 0 の信号処理については、第 1 実施形態と同様であるから説明は省略する。

【 0 2 0 3 】

以上、Precoding 部 5 0 8 における信号処理について説明した。第 4 実施形態では THP MU-MIMO を用いる方法を説明したが、これは Explicit CSI を通知する第 1 移動局装置 2 0 については、移動局装置で観測される被干渉成分を基地局装置 1 0 で高精度に推定可能である事に着目している。

【 0 2 0 4 】

そのため、例えば、第 1 移動局装置 2 0 を利用する 2 ユーザ (ここでは第 1 及び第 3 ユーザとする) と第 2 移動局装置 3 0 を利用する 2 ユーザ (ここでは第 2 及び第 4 ユーザとする) の計 4 ユーザを多重しようとした場合、式 (1 3 - 1) に示されているように QR 分解を適用しただけでは線形フィルタは算出することは出来ない。このとき、線形フィルタ生成部では、次のように見掛け上の伝搬路行列 H_{eff} を定義する。

10

20

30

40

【数 19】

$$H_{eff} = \begin{pmatrix} w_{t,2}^H \\ w_{t,4}^H \\ h_{eff,1} \\ h_{eff,3} \end{pmatrix} \quad \dots \quad (12-2)$$

10

【0205】

生成すべき線形フィルタ W_{eff} は、式 (12-2) で表される伝搬路行列を次のように変換する行列である。

【数 20】

$$H_{eff} W_{eff} = \begin{pmatrix} r_{1,1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & r_{2,2} & 0 & 0 \\ r_{3,1} & r_{3,2} & r_{3,3} & 0 \\ r_{4,1} & r_{4,2} & r_{4,3} & r_{4,4} \end{pmatrix} \quad \dots \quad (13-2)$$

20

【0206】

つまり、基本的には Implicit CSI を通知してきたユーザには残留干渉が残らないようにし、Explicit CSI を通知してきたユーザには残留干渉を供するような行列変換をするということである。このような線形フィルタ W_{eff} は、 H_{eff}^H に対する QR 分解及び、 H_{eff} から、第 1 移動局装置 20 を利用するユーザに関する伝搬路情報を取り除いた行列、すなわち、

【数 21】

$$\bar{H}_{eff} = \begin{pmatrix} w_{t,2}^H \\ w_{t,4}^H \\ 0_{1 \times N_t} \\ 0_{1 \times N_t} \end{pmatrix} \quad \dots \quad (12-3)$$

30

に対する逆行列演算により求めることが出来る。なお、「 $0_{N \times M}$ 」は構成要素が全て 0 である N 行 M 列の零行列を表す。

40

【0207】

H_{eff}^H に対する QR 分解から生成されるユニタリ行列のうちの第 3 及び第 4 列ベクトル成分、及び式 (12-3) で表される行列の一般逆行列の第 1 列及び第 2 列ベクトル成分をそれぞれ抽出し、列方向に結合したものが、算出すべき線形フィルタ W_{eff} となる。なお、 W_{eff} の生成方法はこれに限ったものではなく、式 (13-2) を満足しさえすれば良い。

【0208】

[移動局装置の構成]

次いで、移動局装置について説明する。第 4 実施形態に係る移動局装置の構成は第 1 実

50

施形態に係る移動局構成（図4及び図5）と同様である。特に第2移動局装置30における信号処理は第1実施形態と同様であるため、説明は省略する。第1移動局装置20における信号処理もほぼ同様であるが、第1伝搬路補償部210aにおける信号処理については少し異なる。

【0209】

第1伝搬路補償部210aでは、第1実施形態と同様の信号処理を行うが、第1伝搬路補償部210aの出力に対して、基地局装置10の非線形信号処理部5086において適用したものと同一modulo演算を適用する必要がある。そのため、modulo演算に必要なmodulo幅については、基地局装置と移動局装置との間で共有しておく必要がある。第1伝搬路補償部210aを除いた他の構成部における信号処理については、第1実施形態と同様であるから、説明は省略する。

10

【0210】

第4実施形態では、第1、第2及び第3実施形態と異なり、非線形信号処理5086を行う場合を対象とした。非線形MU-MIMOは線形MU-MIMOよりも優れた周波数利用効率が達成できることが報告されており、Explicit CSIをフィードバックする移動端末と、Implicit CSIをフィードバックする移動端末とが混在する本実施形態においても、非線形信号処理を併せて用いることにより、更なる周波数利用効率の改善が期待できる。

【0211】

〔変形例〕

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。

20

【0212】

本発明に関わる移動局装置及び基地局装置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。

【0213】

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。

30

【0214】

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。

40

【0215】

また、上述した実施形態における移動局装置及び基地局装置の一部、または全部を典型的には集積回路であるLSIとして実現してもよい。移動局装置及び基地局装置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LSI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LSI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。

【0216】

以上、この発明の実施形態を、図面を参照して詳述してきたが、具体的な構成はこの実

50

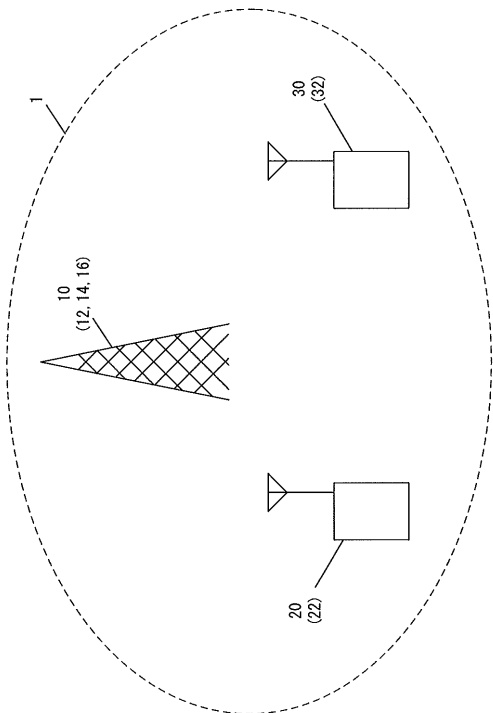
施形態に限られるものではなく、この発明の要旨を逸脱しない範囲の設計等も特許請求の範囲に含まれる。

【符号の説明】

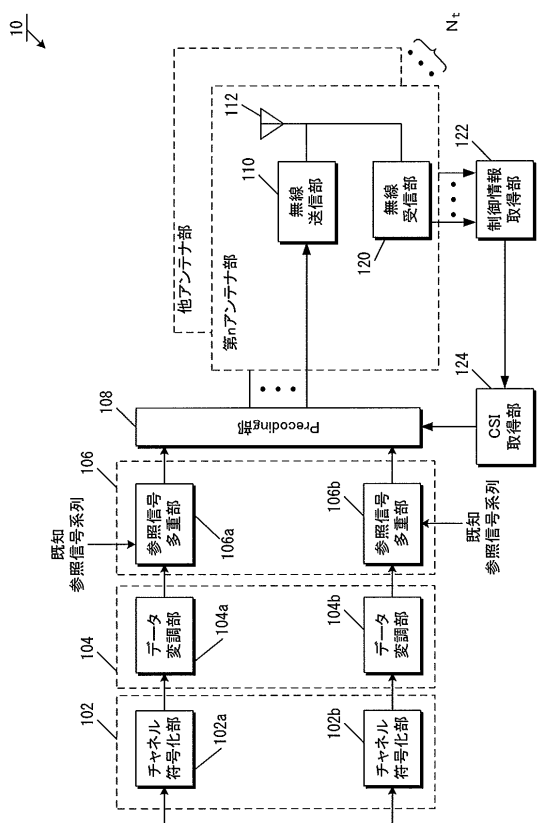
【0217】

- 10、12、14、16 基地局装置
- 102、102a、102b チャンネル符号化部
- 104、104a、104b データ変調部
- 106、106a、106b 参照信号多重部
- 108 Precoding部
- 1082 線形フィルタ生成部 10
- 1084 線形フィルタ乗算部
- 110 無線通信部
- 112 アンテナ
- 120 無線受信部
- 122 制御情報取得部
- 124 CSI取得部
- 20 第1移動局装置
- 202 アンテナ
- 204 無線受信部
- 206 参照信号分離部 20
- 208 伝搬路推定部
- 210a 第1伝搬路補償部
- 212 データ復調部
- 214 チャンネル復号部
- 220a 第1フィールドバック情報生成部
- 230 無線送信部
- 30 第2移動局装置
- 210b 第2伝搬路補償部
- 220b 第2フィールドバック情報生成部

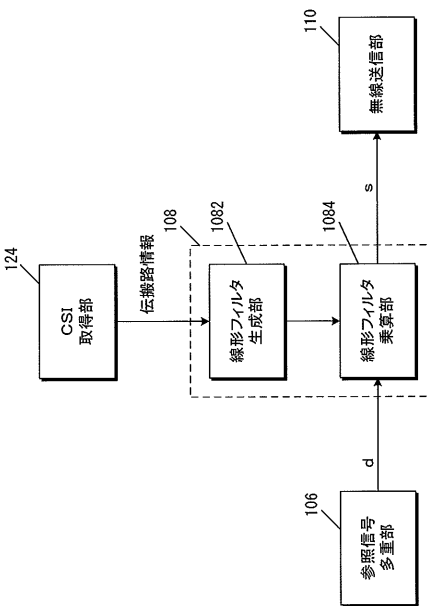
【図 1】



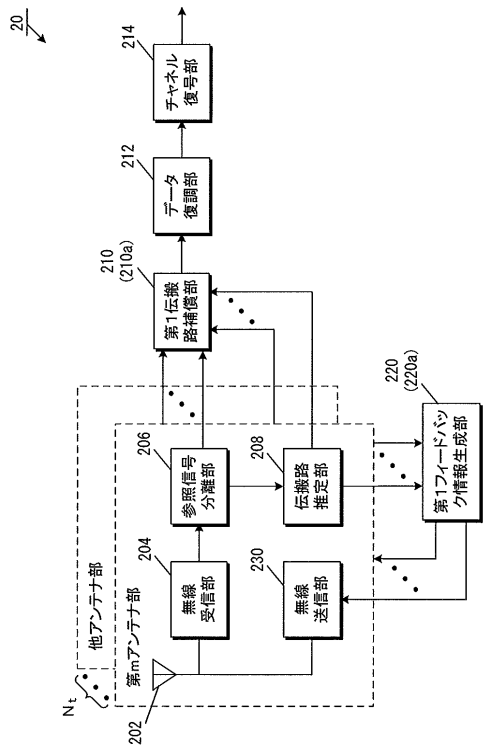
【図 2】



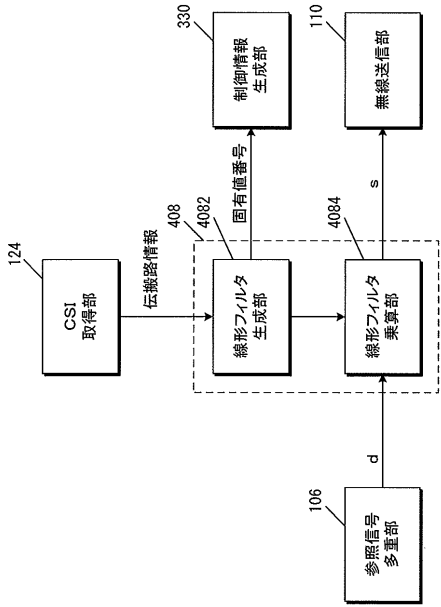
【図 3】



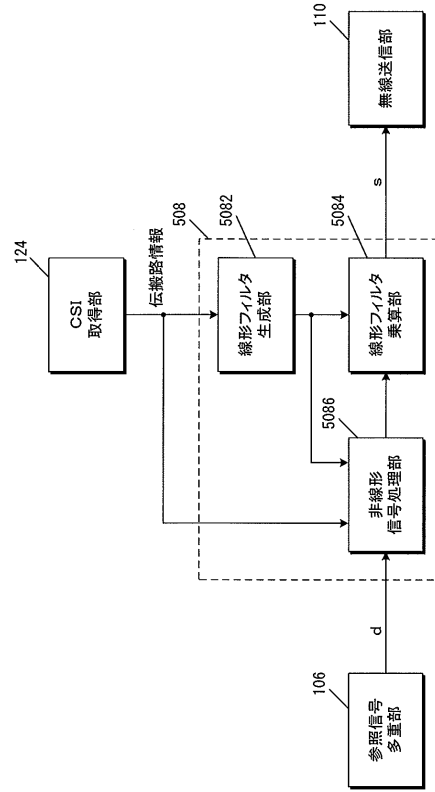
【図 4】



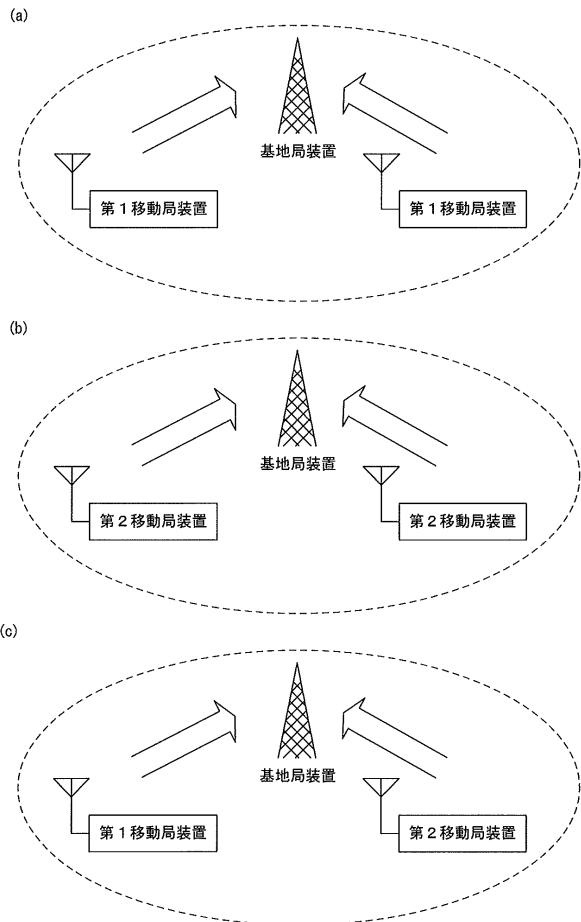
【図9】



【図10】



【図11】



フロントページの続き

- (72)発明者 藤 晋平
大阪府大阪市阿倍野区长池町2-2番2-2号 シャープ株式会社内
- (72)発明者 小野寺 毅
大阪府大阪市阿倍野区长池町2-2番2-2号 シャープ株式会社内
- (72)発明者 難波 秀夫
大阪府大阪市阿倍野区长池町2-2番2-2号 シャープ株式会社内
- (72)発明者 中野 博史
大阪府大阪市阿倍野区长池町2-2番2-2号 シャープ株式会社内
- (72)発明者 ルイズ デルガド アルバロ
大阪府大阪市阿倍野区长池町2-2番2-2号 シャープ株式会社内

Fターム(参考) 5K022 FF00

5K067 AA13 BB01 BB21 CC01 EE02 EE10 EE22 GG01 KK03

5K159 EE02