

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5908307号  
(P5908307)

(45) 発行日 平成28年4月26日(2016.4.26)

(24) 登録日 平成28年4月1日(2016.4.1)

(51) Int.Cl.	F 1
HO4J 99/00	(2009.01) HO4J 15/00
HO4J 11/00	(2006.01) HO4J 11/00
HO4W 16/28	(2009.01) HO4W 16/28
HO4B 7/04	(2006.01) HO4B 7/04

請求項の数 5 (全 30 頁)

(21) 出願番号	特願2012-49149 (P2012-49149)
(22) 出願日	平成24年3月6日(2012.3.6)
(65) 公開番号	特開2013-187612 (P2013-187612A)
(43) 公開日	平成25年9月19日(2013.9.19)
審査請求日	平成27年3月2日(2015.3.2)

(73) 特許権者	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	100114258 弁理士 福地 武雄
(74) 代理人	100125391 弁理士 白川 洋一
(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
(72) 発明者	小野寺 賀 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】プリコーディング装置、無線送信装置、無線受信装置、無線通信システムおよび集積回路

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

複数の送信アンテナを備え、複数の無線受信装置のそれぞれに対して、データ信号と、第1の固有参照信号と、第2の固有参照信号を送信する無線送信装置であって、

前記複数の無線受信装置から取得した制御情報に基づいて、前記データ信号と、前記第1の固有参照信号と、前記第2の固有参照信号に対し、線形プリコーディングもしくは非線形プリコーディングのうち、いずれかのプリコーディング方式を選択的にまたは同時に用いてプリコーディングを施し、

前記データ信号に対し、前記線形プリコーディングを施す場合は、前記第1の固有参照信号および前記第2の固有参照信号に同一の位相回転量の位相回転を与える一方、

前記データ信号に対し、前記非線形プリコーディングを施す場合は、前記第1の固有参照信号および前記第2の固有参照信号にそれぞれ異なる位相回転量の位相回転を与える、前記データ信号と、前記第1の固有参照信号と、前記第2の固有参照信号を、同じリソースブロックに配置し、

前記リソースブロックの平均送信電力を一定とする電力正規化を行ない、

前記複数の前記無線受信装置宛てに送信するデータ信号の一部を、同一の無線リソースで空間多重して送信することを特徴とする無線送信装置。

## 【請求項 2】

無線送信装置と無線通信を行なう無線受信装置であって、

前記無線送信装置に対して、制御情報を通知し、

前記無線送信装置が、前記通知した制御情報に基づいて送信した、線形プリコーディングおよび非線形プリコーディングのいずれかのプリコーディング方式を選択的にまたは同時に用いたプリコーディングが施された自装置宛てのデータ信号と第1の固有参照信号と第2の固有参照信号を受信し、

前記第1の固有参照信号および前記第2の固有参照信号に同一の位相回転量の位相回転が与えられている場合は、前記データ信号に対し、前記線形プリコーディングが施されていると判断する一方、前記第1の固有参照信号および前記第2の固有参照信号にそれぞれ異なる位相回転量の位相回転が施されている場合は、前記データ信号に対し、非線形プリコーディングが施されていると判断し、

前記位相回転量に基づいたプリコーディング方式の判断に関わらず、前記受信したデータ信号に対し、非線形プリコーディングが施されているとして、前記データ信号を復調することを特徴とする無線受信装置。10

【請求項3】

所定の条件に基づいて、前記位相回転量に基づいたプリコーディング方式の判断により、前記データ信号に対し、非線形プリコーディングが施されていると判断し、前記データ信号に対し、`modulo`演算を含む非線形処理を行なうか、前記位相回転量に基づいたプリコーディング方式の判断に関わらず、前記受信したデータ信号に対し、非線形プリコーディングが施されているとして、前記データ信号に対し、`modulo`演算を含む非線形処理を行なうか、を切り替えることを特徴とする、請求項2に記載の無線受信装置。

【請求項4】

複数の無線受信装置と無線通信を行なう無線送信装置に実装され、前記無線送信装置に複数の機能を発揮させる集積回路であって、

前記複数の無線受信装置のそれぞれに対して、データ信号と、第1の固有参照信号と、第2の固有参照信号を送信する機能と、

前記複数の無線受信装置から取得した制御情報に基づいて、前記データ信号と、前記第1の固有参照信号と、前記第2の固有参照信号に対し、線形プリコーディングもしくは非線形プリコーディングのうち、いずれかのプリコーディング方式を選択的にまたは同時に用いてプリコーディングを施す機能と、

前記データ信号に対し、前記線形プリコーディングを施す場合は、前記第1の固有参照信号および前記第2の固有参照信号に同一の位相回転量の位相回転を与える一方、前記データ信号に対し、前記非線形プリコーディングを施す場合は、前記第1の固有参照信号および前記第2の固有参照信号にそれぞれ異なる位相回転量の位相回転を与える機能と、30

前記データ信号と、前記第1の固有参照信号と、前記第2の固有参照信号を、同じリソースブロックに配置する機能と、

前記リソースブロックの平均送信電力を一定とする電力正規化を行なう機能と、前記複数の前記無線受信装置宛てに送信するデータ信号の一部を、同一の無線リソースで空間多重して送信する機能と、を備える集積回路。

【請求項5】

無線送信装置と無線通信を行なう無線受信装置に実装され、前記無線受信装置に複数の機能を発揮させる集積回路であって、40

前記無線送信装置に対して、制御情報を通知する機能と、

前記無線送信装置が、前記通知した制御情報に基づいて送信した、線形プリコーディングおよび非線形プリコーディングのいずれかのプリコーディング方式を選択的にまたは同時に用いたプリコーディングが施された自装置宛てのデータ信号と第1の固有参照信号と第2の固有参照信号を受信する機能と、

前記第1の固有参照信号および前記第2の固有参照信号に同一の位相回転量の位相回転が与えられている場合は、前記データ信号に対し、前記線形プリコーディングが施されていると判断する一方、前記第1の固有参照信号および前記第2の固有参照信号にそれぞれ異なる位相回転量の位相回転が施されている場合は、前記データ信号に対し、非線形プリコーディングが施されていると判断する機能と、50

所定の条件に基づいて、前記位相回転量に基づいたプリコーディング方式の判断により、前記データ信号に対し、非線形プリコーディングが施されていると判断し、前記データ信号に対し、modulo演算を含む非線形処理を行なうか、前記判断に関わらず、前記受信したデータ信号に対し、非線形プリコーディングが施されているとして、前記データ信号に対し、modulo演算を含む非線形処理を行なうかを切り替える機能と、を備える集積回路。

**【発明の詳細な説明】**

**【技術分野】**

**【0001】**

10

本発明は、無線通信技術に関する。

**【背景技術】**

**【0002】**

無線通信システムでは、多様なプ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 **M u l t i p l e   i n p u t   m u l t i p l e   o u t p u t (MIMO)** 技術が注目を集めしており、セルラーシステムや無線 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。

20

**【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 **L o n g   t e r m   e v o l u t i o n (LTE)** 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 (以下では線形プリコーディングに基づく MU-MIMO を総じて線形 MU-MIMO とも呼ぶこととする)。また、次世代無線 LAN システムとして標準化が進められている **802.11ac** においても、線形 MU-MIMO の採用が有望視されている。

30

**【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、非線形信号処理を基地局装置側で行なう非線形プリコーディングに基づく MU-MIMO 技術が注目を集めている (以下では非線形プリコーディングに基づく MU-MIMO を総じて非線形 MU-MIMO とも呼ぶこととする)。端末装置において、剩余 (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。そこで、基地局装置と複数端末装置と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 **V e c t o r   p e r t u r b a t i o n (VP)** がある。VP は優れた伝送特性が実現できる一方で、空間多重端末数に比例して、演算量が指数関数的に増加してしまう。一方、非特許文献 2 記載の **T o m l i n s o n   H a r a s h i m a   p r e c o d i n g (THP)** では、演算量は線形プリコーディングとほぼ同等である一方で、伝送特性は VP に劣る。

40

**【0005】**

非線形 MU-MIMO は、MU-MIMO の周波数利用効率の改善に有効である。一方

50

で、標準規格の高度化が議論される場合、後方互換性を保つことが重要視される。このことは、将来の規格においてMU-MIMOの高度化のために非線形MU-MIMOが採用された場合、プリコーディング方式として、線形プリコーディングと非線形プリコーディングとが混在することを意味している。

#### 【0006】

また、非線形MU-MIMOでは、端末装置側で行なわれるmodulο演算に起因するmodulο損失と呼ばれる特有の特性劣化要因が存在する。modulο損失は、受信電力が極端に低下した場合や、データ変調方式として位相変調が用いられた場合等に特に顕著な影響が表れる。この問題を解決するため、非特許文献3では、THPを用いるMU-MIMO伝送を対象として、modulο演算の適用の有無を適応的に変更することで伝送特性を改善させるハイブリッドTHPが議論されている。この場合、端末装置には、信号の復調にmodulο演算が必要な信号と、modulο演算が必要でない信号とが、選択的に受信される。言い換えれば、線形プリコーディングに基づく信号と、非線形プリコーディングに基づく信号とが、選択的に受信されることになる。

10

#### 【先行技術文献】

#### 【非特許文献】

#### 【0007】

【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.

20

【非特許文献2】M. Joham, et. al., "MMSE approaches to multiuser spatio-temporal Tomlinson- Harashima precoding", Proc. 5th ITG SCC04, pp. 387-394, Jan. 2004.

【非特許文献3】中野, 他, "送信方法を適応的に制御するダウンリンクMU-MIMO THPに関する提案," IEICE 信学技法RCS2009-293, 2010年3月

【非特許文献4】IEEE 802.11-10/01119, "On DL precoding for 11ac," MediaTek, Sep. 2010.

20

#### 【発明の概要】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0008】

複数のプリコーディングが、選択的、もしくは同時に送信信号に施されている場合、端末装置が受信された信号より所望の信号を正しく復調するためには、自装置宛ての信号に施されたプリコーディングがいずれであるかを把握しておく必要がある。例えば、非特許文献4では、いずれのプリコーディング方式が用いられているかを明示的に示す制御情報を新たに通知することが議論されている。この方法によれば、端末装置は適用されているプリコーディング方式を正しく把握することができるが、オーバーヘッドを増加させてしまうという問題がある。

30

#### 【0009】

本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、複数のプリコーディングが選択的、もしくは同時に用いられる無線通信システムにおいて、オーバーヘッドを増加させることなく、端末装置がいずれのプリコーディングが施されているかを把握可能なプリコーディング装置、無線送信装置、無線受信装置、無線通信システムおよび集積回路を提供することを目的とする。

40

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0010】

(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、本発明のプリコーディング装置は、無線受信装置と無線通信を行なう無線送信装置に適用されるプリコーディング装置であって、前記無線受信装置から取得した制御情報に基づいて、データ信号および複数種類の固有参照信号にプリコーディングを施し、前記各種類の固有参照信号に位相回転を与え、前記位相回転の位相回転量を、前記無線受信装置に対して通知する情報を関連付けることを特徴としている。

50

**【 0 0 1 1 】**

このように、プリコーディング装置が、無線受信装置から取得した制御情報に基づいて、データ信号および複数種類の固有参照信号にプリコーディングを施し、各種類の固有参照信号に位相回転を与え、位相回転の位相回転量を、無線受信装置に対して通知する情報に関連付けるので、無線送信装置が一部のD M R S によって情報ビットを送信することが可能となることから、プリコーディングを行なうM I M O 伝送における更なる周波数利用効率の改善に寄与できる。

**【 0 0 1 2 】**

( 2 ) また、本発明のプリコーディング装置において、前記データ信号および複数種類の固有参照信号に対し、複数種類のプリコーディング方式のうちいずれかのプリコーディング方式を選択的にまたは同時に用いてプリコーディングを施し、前記位相回転の位相回転量が、前記用いられたプリコーディング方式を示すことを特徴としている。10

**【 0 0 1 3 】**

このように、位相回転の位相回転量が、用いられたプリコーディング方式を示すので、線形プリコーディングと非線形プリコーディングとを選択的に用いる伝送において、無線送信装置が実際に適用されているプリコーディング方法を制御情報により通知することなく、無線受信装置が正しく把握することが可能となるから、受信された信号より所望の信号を正しく復調することが可能となる。

**【 0 0 1 4 】**

( 3 ) また、本発明のプリコーディング装置において、前記データ信号に対し、線形プリコーディングを施す場合は、第1の固有参照信号および第2の固有参照信号に同一の位相回転量の位相回転を与える一方、前記データ信号に対し、非線形プリコーディングを施す場合は、第1の固有参照信号および第2の固有参照信号にそれぞれ異なる位相回転量の位相回転を与えることを特徴としている。20

**【 0 0 1 5 】**

このように、プリコーディング装置が、データ信号に対し、線形プリコーディングを施す場合は、第1の固有参照信号および第2の固有参照信号に同一の位相回転量の位相回転を与える一方、データ信号に対し、非線形プリコーディングを施す場合は、第1の固有参照信号および第2の固有参照信号にそれぞれ異なる位相回転量の位相回転を与えるので、線形プリコーディングと非線形プリコーディングとを選択的に用いる伝送において、無線送信装置が実際に適用されているプリコーディング方法を制御情報により通知することなく、無線受信装置が正しく把握することが可能となるから、受信された信号より所望の信号を正しく復調することが可能となる。30

**【 0 0 1 6 】**

( 4 ) また、本発明の無線送信装置は、上記(1)から(3)のいずれかに記載のプリコーディング装置と、複数の送信アンテナとを備え、複数の無線受信装置のそれぞれに対して、データ信号および固有参照信号を送信する無線送信装置であって、複数の前記無線受信装置宛てに送信するデータ信号の一部および前記固有参照信号に対して、複数の前記無線受信装置から通知される制御情報に基づいて、前記無線受信装置で観測される干渉を抑制するプリコーディングを施し、複数の前記無線受信装置宛てに送信するデータ信号の一部を、同一の無線リソースで空間多重して送信することを特徴としている。40

**【 0 0 1 7 】**

このように、無線送信装置は、複数の無線受信装置宛てに送信するデータ信号の一部および固有参照信号に対して、複数の無線受信装置から通知される制御情報に基づいて、無線受信装置で観測される干渉を抑制するプリコーディングを施し、複数の無線受信装置宛てに送信するデータ信号の一部を、同一の無線リソースで空間多重して送信するので、M U - M I M O 伝送の場合において、後方互換性を保ちつつ新たなプリコーディング方式を追加していくことが可能となるから、無線通信システムの高度化に寄与することができ、ひいては周波数利用効率の改善に寄与できる。

**【 0 0 1 8 】**

(5) また、本発明の無線受信装置は、無線送信装置と無線通信を行なう無線受信装置であって、前記無線送信装置に対して、制御情報を通知し、前記無線送信装置から、前記通知した制御情報に基づいてプリコーディングされた自装置宛てのデータ信号および複数種類の固有参照信号を受信し、前記各種類の固有参照信号に与えられた位相回転の位相回転量を抽出し、前記抽出した位相回転量に関連付けられた情報を獲得することを特徴としている。

【0019】

このように、無線受信装置が、各種類の固有参照信号に与えられた位相回転の位相回転量を抽出し、前記抽出した位相回転量に関連付けられた情報を獲得するので、無線送信装置は一部の DMR S によって情報ビットを送信することが可能となることから、プリコーディングを行なう MIMO 伝送における更なる周波数利用効率の改善に寄与できる。

10

【0020】

(6) また、本発明の無線受信装置において、前記データ信号および複数種類の固有参照信号は、複数種類のプリコーディング方式のうちいずれかのプリコーディング方式を選択的にまたは同時に用いたプリコーディングが施されており、前記位相回転量に基づいて、前記用いられたプリコーディング方式を認識し、前記受信したデータ信号を復調することを特徴としている。

【0021】

このように位相回転量に基づいて、用いられたプリコーディング方式を認識し、受信したデータ信号を復調するので、線形プリコーディングと非線形プリコーディングとを選択的に用いる伝送において、無線送信装置が実際に適用されているプリコーディング方法を制御情報により通知することなく、無線受信装置が正しく把握することが可能となるから、受信された信号より所望の信号を正しく復調することが可能となる。

20

【0022】

(7) また、本発明の無線受信装置において、第1の固有参照信号および第2の固有参照信号に同一の位相回転量の位相回転が与えられている場合は、前記データ信号に対し、線形プリコーディングが施されていると判断する一方、第1の固有参照信号および第2の固有参照信号にそれぞれ異なる位相回転量の位相回転が施されている場合は、前記データ信号に対し、非線形プリコーディングが施されていると判断し、前記受信したデータ信号を復調することを特徴としている。

30

【0023】

このように、無線受信装置が、第1の固有参照信号および第2の固有参照信号に同一の位相回転量の位相回転が与えられている場合は、データ信号に対し、線形プリコーディングが施されていると判断する一方、第1の固有参照信号および第2の固有参照信号にそれぞれ異なる位相回転量の位相回転が施されている場合は、データ信号に対し、非線形プリコーディングが施されていると判断するので、線形プリコーディングと非線形プリコーディングとを選択的に用いる伝送において、無線送信装置が実際に適用されているプリコーディング方法を制御情報により通知することなく、無線受信装置が正しく把握することが可能となるから、受信された信号より所望の信号を正しく復調することが可能となる。

【0024】

40

(8) また、本発明の無線受信装置において、前記位相回転量に基づいたプリコーディング方式の判断に関わらず、前記受信したデータ信号に対し、非線形プリコーディングが施されているとして、前記データ信号を復調することを特徴としている。

【0025】

このように、無線受信装置が、位相回転量に基づいたプリコーディング方式の判断に関わらず、受信したデータ信号に対し、非線形プリコーディングが施されているとして、データ信号を復調するので、より安定した伝送特性を得ることが出来る。

【0026】

(9) また、本発明の無線受信装置は、前記受信したデータ信号に対し、非線形プリコーディングが施されているとした場合は、modul 演算を含む非線形処理を行なうこ

50

とを特徴としている。

【0027】

このように、無線受信装置が、受信したデータ信号に対し、非線形プリコーディングが施されているとした場合は、`modul`演算を含む非線形処理を行なうので、線形プリコーディングと非線形プリコーディングとを選択的に用いる伝送において、無線送信装置が実際に適用されているプリコーディング方法を制御情報により通知することなく、無線受信装置が正しく把握することが可能となるから、受信された信号より所望の信号を正しく復調することが可能となる。

【0028】

(10) また、本発明の無線通信システムは、上記(4)記載の無線送信装置と、上記(5)から(9)のいずれかに記載の無線受信装置と、から構成されることを特徴としている。

【0029】

このように、無線通信システムが、上記(4)記載の無線送信装置と、上記(5)から(9)のいずれかに記載の無線受信装置と、から構成されるので、無線送信装置が一部のD M R Sによって情報ビットを送信することが可能となることから、プリコーディングを行なうM I M O伝送における更なる周波数利用効率の改善に寄与できる。

【0030】

(11) また、本発明の集積回路は、無線受信装置と無線通信を行なう無線送信装置に実装され、前記無線送信装置に複数の機能を発揮させる集積回路であって、前記無線受信装置から制御情報を取得する機能と、前記制御情報に基づいて、データ信号および複数種類の固有参照信号に対し、線形プリコーディング方式または非線形プリコーディング方式のうちいずれかのプリコーディング方式を選択的にまたは同時に用いてプリコーディングを施す機能と、前記データ信号に対し、線形プリコーディングを施す場合は、第1の固有参照信号および第2の固有参照信号に同一の位相回転量の位相回転を与える一方、前記データ信号に対し、非線形プリコーディングを施す場合は、第1の固有参照信号および第2の固有参照信号にそれぞれ異なる位相回転量の位相回転を与える機能と、を少なくとも有し、前記位相回転の位相回転量が、前記用いられたプリコーディング方式を示すことを特徴としている。

【0031】

このように、無線送信装置が、データ信号に対し、線形プリコーディングを施す場合は、第1の固有参照信号および第2の固有参照信号に同一の位相回転量の位相回転を与える一方、データ信号に対し、非線形プリコーディングを施す場合は、第1の固有参照信号および第2の固有参照信号にそれぞれ異なる位相回転量の位相回転を与えるので、線形プリコーディングと非線形プリコーディングとを選択的に用いる伝送において、無線送信装置が実際に適用されているプリコーディング方法を制御情報により通知することなく、無線受信装置が正しく把握することが可能となるから、受信された信号より所望の信号を正しく復調することが可能となる。

【0032】

(12) また、本発明の集積回路は、無線送信装置と無線通信を行なう無線受信装置に実装され、前記無線受信装置に複数の機能を発揮させる集積回路であって、前記無線送信装置に対して、制御情報を通知する機能と、前記無線送信装置から、前記通知した制御情報に基づいて線形プリコーディングまたは非線形プリコーディングされた自装置宛てのデータ信号並びに第1の固有参照信号および第2の固有参照信号を受信する機能と、前記第1の固有参照信号および前記第2の固有参照信号に同一の位相回転量の位相回転が与えられている場合は、前記データ信号に対し、線形プリコーディングが施されていると判断する一方、前記第1の固有参照信号および前記第2の固有参照信号にそれぞれ異なる位相回転量の位相回転が施されている場合は、前記データ信号に対し、非線形プリコーディングが施されていると判断する機能と、前記判断の結果に基づいて、前記受信したデータ信号を復調する機能と、を少なくとも有することを特徴としている。

10

20

30

40

50

## 【0033】

このように、無線受信装置が、第1の固有参照信号および第2の固有参照信号に同一の位相回転量の位相回転が与えられている場合は、データ信号に対し、線形プリコーディングが施されていると判断する一方、第1の固有参照信号および第2の固有参照信号にそれぞれ異なる位相回転量の位相回転が施されている場合は、データ信号に対し、非線形プリコーディングが施されていると判断するので、線形プリコーディングと非線形プリコーディングとを選択的に用いる伝送において、無線送信装置が実際に適用されているプリコーディング方法を制御情報により通知することなく、無線受信装置が正しく把握することが可能となるから、受信された信号より所望の信号を正しく復調することが可能となる。

## 【発明の効果】

10

## 【0034】

本発明によれば、オーバーヘッドを増加させることなく、複数のプリコーディングを選択的、もしくは同時に用いることが可能となる。よって、既に特定のプリコーディング方式が規格化されているシステムに対して、新たなプリコーディング方式を追加することが可能となるから、システムの周波数利用効率の改善に寄与できる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0035】

【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1の構成を示すブロック図である。

【図3】本発明の第1の実施形態におけるD M R Sとデータ信号のリソースアロケーションの一例を示した図である。

20

【図4】本発明の第1の実施形態に係るアンテナ部109の装置構成を示すブロック図である。

【図5】本発明の第1の実施形態に係るプリコーディング部107Aの装置構成を示すブロック図である。

【図6】本発明の第1の実施形態に係る端末装置3の構成を示すブロック図である。

【図7】本発明の第1の実施形態に係る伝搬路推定部411におけるD M R Sに対する信号処理を説明するフローチャートである。

【図8】本発明の第2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9】本発明の第2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。

30

【図10】本発明の第2の実施形態において、送信アンテナ数 $N_t$ を4、接続している端末装置3の数Uを4とした場合の、送信データとD M R SとC R Sのマッピングの一例を示した図である。

【図11】本発明の第2の実施形態に係るプリコーディング部107Bの装置構成を示すブロック図である。

【図12】本発明の第3の実施形態に係るプリコーディング部107Cの装置構成を示すブロック図である。

【図13】本発明の第3の実施形態に係る端末装置3の構成を示すブロック図である。

【図14】本発明の第3の実施形態に係る端末装置3の伝搬路推定部801において、D M R Sが入力された場合の信号処理を説明するフローチャートである。

40

## 【発明を実施するための形態】

## 【0036】

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。

## 【0037】

以下では、 $A^T$ は行列Aの転置行列、 $A^H$ は行列Aの隨伴（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

50

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、 $[A, B]$  は列方向に結合した行列を、それぞれ表すものとする。

#### 【0038】

##### [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、線形プリコーディングと非線形プリコーディングが可能な基地局装置（無線送信装置とも呼ぶ）1に対して、端末装置（無線受信装置とも呼ぶ）3が1個接続している1対1の伝送を対象とする。端末装置3には、基地局装置1から送信された信号（希望信号もしくは所望信号）と、干渉源5から発信された干渉信号が受信される環境を想定している。ここで干渉信号とは、希望信号と同じ無線リソースで送信されている、希望信号とは異なる信号を指す。例えば、周波数繰り返しを行なうセルラーシステムにおける同一周波数干渉（もしくはセル間干渉）等が該当する。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。基地局装置1は端末装置3より通知される制御情報により端末装置3に受信される干渉信号の情報を取得し、その干渉信号情報に基づき、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。なお、基地局装置1と端末装置3にはそれぞれ1本のアンテナが備わっているものとし、基地局装置1と端末装置3の間の伝搬路は端末装置3において印加される熱雑音のみを考慮するAWGNチャネルであるものとする。

#### 【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101と、データ変調部103と、マッピング部105と、プリコーディング部107A（以下、プリコーディング部107A、107B、107C、…を合わせてプリコーディング部107とも表す）と、アンテナ部109と、制御情報取得部111と、干渉情報取得部113とを含んで構成されている。プリコーディング部107Aはサブキャリア数 $N_c$ だけ存在する。端末装置3宛ての送信データ系列はチャネル符号化部101において、チャネル符号化が行なわれたのち、データ変調部103において、QPSK、16QAM等のデジタルデータ変調が施される。データ変調部103からの出力はマッピング部105に入力される。

#### 【0040】

マッピング部105では、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）が行なわれる。ここで無線リソースとは、周波数、時間を主に指す。使用される無線リソースは、端末装置3で観測される受信品質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と端末装置3の双方で把握できているものとする。なお、マッピング部105では、端末装置3において伝搬路推定を行なうための既知参照信号系列も多重される。

#### 【0041】

端末装置3宛ての参照信号については、受信した端末装置3においてデータ信号と分離可能なように、それぞれが直交するように多重されるものとする。本実施形態においては、復調用の固有参照信号であるDemodulation reference signal (DMRS) 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。DMRSは時間および周波数リソースそれぞれに対して、周期的に送信されるものとする。

#### 【0042】

10

20

30

40

50

図3は、本発明の第1の実施形態におけるD M R Sとデータ信号のリソースアロケーションの一例を示した図である。横軸は時間(OFDM信号の番号)を表し、縦軸は周波数(サブキャリア番号)を表す。図3で示されているのは、全無線リソースの中の一部となるが、この配置が時間および周波数方向に繰り返されていると考えれば良い。網線で修飾されたリソースにおいてD M R Sが送信されているが、破線で囲まれたD M R S(以下ではこれを第2のDMRSと呼ぶ)は、実線で囲まれたD M R S(以下ではこれを第1のDMRSと呼ぶ)とは異なり、後述するプリコーディング方式に応じた位相回転が施されることになる。詳細は後述する。

#### 【0043】

図2に戻り、マッピング部105の出力は、それぞれ対応するサブキャリアのプリコーディング部107Aに入力される。プリコーディング部107Aにおける信号処理の説明は後述するものとし、以下では、プリコーディング部107Aの出力に対する信号処理について先に説明する。各サブキャリアのプリコーディング部107Aの出力は、それぞれ対応する送信アンテナのアンテナ部109に入力される。

#### 【0044】

図4は、本発明の第1の実施形態に係るアンテナ部109の装置構成を示すブロック図である。図4に示すように、アンテナ部109は、IFFT部201と、G I挿入部203と、無線送信部205と、無線受信部207と、アンテナ209とを含んで構成されている。各アンテナ部109では、対応するプリコーディング部107Aの出力がIFFT部201に入力され、 $N_c$ 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)が適用されて、 $N_c$ サブキャリアを有するOFDM信号が生成され、IFFT部201より出力される。ここでは、サブキャリア数と逆離散フーリエ変換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。IFFT部201の出力はG I挿入部203に入力され、ガードインターバルが付与されたのち、無線送信部205に入力される。無線送信部205において、ベースバンド帯の送信信号が無線周波数(Radio Frequency(RF))帯の送信信号に変換される。無線送信部205の出力信号は、アンテナ209よりそれぞれ送信される。

#### 【0045】

無線受信部207には、端末装置3にて推定される干渉信号に関連付けられた情報が受信され、制御情報取得部111に向けて出力される事になる。

#### 【0046】

##### [1.2.プリコーディング部107A]

プリコーディング部107Aにおいて行なわれる信号処理について説明する。以下では、第kサブキャリアのプリコーディング部107Aについて説明するものとし、はじめにマッピング部105の出力のうち、データ信号成分が入力された場合について説明する。

#### 【0047】

図5は、本発明の第1の実施形態に係るプリコーディング部107Aの装置構成を示すブロック図である。図5に示すように、プリコーディング部107Aは、干渉抑圧部301と、Modulo演算部303と、プリコーディング切替部305と、スイッチ307Aと、スイッチ307Bと、DMRS位相制御部309とを含んで構成されている。プリコーディング部107Aには、端末装置3宛ての送信データを含むマッピング部105の出力の第kサブキャリア成分{d(k)}と、端末装置3に受信される干渉信号{i(k)}が入力される。以下の説明では、干渉信号{i(k)}は理想的に干渉情報取得部113にて取得されるものとし、簡単のため、インデックスkは省略して記述する。

#### 【0048】

はじめに干渉抑圧部301において、送信データdに対する干渉抑圧処理が施される。具体的には、送信データdから干渉信号iを減算することで得られる送信信号 $x$ (=d-i)と、送信信号xに電力正規化項 $\alpha$ を乗算することで得られる送信信号s(=(d-i))が干渉抑圧部301の出力として出力される。このうち、送信信号xはプリコーディング部107Aに入力される。

10

20

30

40

50

イング切替部 305 に入力される。なお、送信データが干渉抑圧部 301 に入力されている場合、D M R S 位相制御部 309 からは特に情報は入力されない。

【0049】

プリコーディング切替部 305 では、入力された送信符号  $x$  の電力、すなわち  $P_x = |d - i|^2$  を計算する。  $P_x$  は干渉信号  $i$  に応じて変化することになる。  $P_x$  が予め定められた閾値より大きい場合、干渉抑圧部 301 より送信符号  $x$  を M o d u l o 演算部 303 に向けて出力するようにスイッチ 307A およびスイッチ 307B を制御する。  $P_x$  が閾値より小さい場合、送信信号  $s$  を干渉抑圧部 301 よりアンテナ部 109 に向けて出力するようにスイッチ 307A およびスイッチ 307B を制御する。閾値は事前に計算機シミュレーション等により決定することができる。また、どのようにスイッチを切り替えたかに関する情報が、D M R S 位相制御部 309 に入力される事になる。 10

【0050】

プリコーディング切替部 305 より送信符号  $x$  が M o d u l o 演算部 303 に入力された場合、M o d u l o 演算部 303 では、送信符号  $x$  に対して m o d u l o 幅 の m o d u l o 演算が施される。

【0051】

m o d u l o 幅 の m o d u l o 演算 m o d (  $x$  ) は、任意の入力された複素数  $x$  に対して、任意のガウス整数を加算することで、実部と虚部がそれぞれ - より大きく より小さくなる複素数を返す演算である。数式で表すと、式 (1) で表される。

【0052】

【数1】

$$\begin{aligned} \text{mod}_\delta(x) &= x - 2\delta \text{floor} \left( \frac{x}{2\delta} + \frac{1+j}{2} \right) = x + 2\delta z \\ z &= -\text{floor} \left( \frac{x}{2\delta} + \frac{1+j}{2} \right) \end{aligned} \quad 30$$

…(1)

【0053】

式 (1) で表される m o d u l o 演算出力の平均電力は、元々の送信データの平均電力に対して、 $(2/3)x^2$  となるから、干渉電力の値に依らず、一定の平均送信電力とすることができます。このことは送信信号に対して電力正規化項 として  $= ((2/3)x^2)^{-1/2}$  を乗算したものとみなすことに等しい。なお、この値は、基地局装置 1 と端末装置 3 とで共有されているのであれば、何かに限定されるものではないが、通常、与えられた送信電力に対して、最も平均ビット誤り率(Bit Error Rate(BER))を小さくする値が選択される。その値は  $d$  に施されるデータ変調方式に依存し、例えば Q P S K 変調であれば  $2^{1/2}$ 、16 Q A M であれば  $4 \times 10^{-1/2}$  と設定される。 40

【0054】

以下では、m o d u l o 演算を行なう場合を非線形プリコーディング、m o d u l o 演算を行なわない場合を線形プリコーディングと呼ぶこととする。つまり、プリコーディング切替部 305 は、入力された送信符号の電力に基づき、線形プリコーディングと非線形プリコーディングとを切り替えている。M o d u l o 演算部 303 の出力、もしくは干渉抑圧部 301 の出力はプリコーディング部 107A の出力として、アンテナ部 109 に向けて出力される事になる。 50

## 【0055】

プリコーディングは、無線リソース毎に切り替えて構わないが、端末装置3はどのプリコーディングが施されたかを把握しておく必要があるから、あまり短い周期でプリコーディングを切り替えることは望ましくない。以下では、図3で示した14OFDMシンボルに含まれる12サブキャリアで構成される168個の無線リソースを1ブロックとするリソースブロック(Resource block (RB))単位でプリコーディングは切り替えるものとして説明する。ただし、RBに含まれるリソース数はこの限りではない。

## 【0056】

線形プリコーディングと非線形プリコーディングのいずれが用いられるかは、干渉信号の電力に応じて決定される。干渉信号が時間もしくは周波数方向に変動している場合、プリコーディング方式もまた、時間もしくは周波数方向で変化することになる。適用されているプリコーディング方式において、後述する端末装置3の信号復調方法は変化するから、端末装置3はいずれのプリコーディングが施されているかを把握する必要がある。そこで、本実施形態においては、端末装置3に送信するDMRSに用いる信号系列の位相を変化させることで、適用されているプリコーディング方式がいずれであるかを端末装置3が把握できるようにする。

## 【0057】

プリコーディング部107AにDMRSが入力された場合について説明する。図3に戻り、DMRSは時間方向で時間・周波数方向に周期的に送信されているものとする。図3において、実線で囲まれている第1のDMRSについては、信号系列として、 $C_{DMRS} = \{c_1, c_2, \dots, c_{N_p}\}$ を用いるものとする。 $\{c_n\}$ は任意の複素数で良いが、基地局装置1と端末装置3の双方で既知である必要がある。 $N_p$ はDMRSの信号系列長を表し、図3を例にとれば $N = 12$ となる。そして、破線で囲まれている第2のDMRSについては、データ信号成分に適用されるプリコーディング方式に応じて用いる信号系列を変化させる。そのために、DMRS位相制御部309ではプリコーディング切替部305から入力される、送信データに施されたプリコーディング方式に関する情報に基づき、第2のDMRSに与える位相回転量を決定し、その情報を干渉抑圧部301に入力する。干渉抑圧部301ではDMRS位相制御部309から入力される情報に基づき、第2のDMRSに位相回転を施す。例えば、プリコーディング方式が線形プリコーディングである場合、信号系列として $C_{DMRS}$ をそのまま用いる。プリコーディング方式が非線形プリコーディングである場合、信号系列として、 $C_{DMRS}$ にだけ位相回転を与えた系列である $\{c_1, -c_2, c_3, -c_4, \dots, c_N\}$ を信号系列として用いるなどすれば良い。ここでは、位相回転量をとしたが、基地局装置1と端末装置3の双方で既知でさえあれば、いかなる位相回転量としても良い。また、信号系列長も任意の長さとして良い。

## 【0058】

DMRSは端末装置3が受信信号より所望の信号を復調するための情報(伝搬路情報)を推定するためのものである。第1の実施形態の場合、端末装置3が推定したい情報は送信信号に乗算されている電力正規化項である。よって、既知の信号であるDMRSにデータ信号と同様の干渉抑圧処理をプリコーディング部107Aにおいて施してやれば、端末装置3は電力正規化項を推定することが可能となる。このとき、プリコーディング切替部305が、 $C_{DMRS}$ に位相回転を与えるか否かを決定することになる。ただし、非線形プリコーディングを施す場合、DMRSにもmodulo演算を施すことになる。この場合、DMRSに摂動項を加算した信号が端末装置3に受信されてしまうため、電力正規化項を正しく推定する出来ない。よって、DMRSについては、仮にデータ信号に非線形プリコーディングが施されていたとしても、線形プリコーディングにより送信する。このとき、電力正規化項はデータ信号と同一とする必要があるから、DMRSの送信電力はデータ信号よりも若干増加することになる。なお、別の方法により、端末装置3がDMRSに加算された摂動項を正しく推定できるのであれば、DMRSにも非線形プリコーディングを施しても良い。

10

20

30

40

50

## 【0059】

なお、以上の説明では、第1のD M R Sと第2のD M R Sとが、全無線リソースに占める割合は同じものとしているが、両者の割合は必ずしも共通としなくても良い。また、電力正規化も必ずしも各無線リソースで行なう必要が無く、複数の無線リソース毎（例えば1 R B毎）の平均送信電力を一定とするような正規化を行なっても良い。

## 【0060】

## [ 1 . 3 . 端末装置 3 ]

図6は、本発明の第1の実施形態に係る端末装置3の構成を示すブロック図である。図6に示すように、端末装置3はアンテナ401と、無線受信部403と、G I除去部405と、FFT部407と、参照信号分離部409と、伝搬路推定部411と、フィードバック情報生成部413と、無線送信部414と、伝搬路補償部415と、デマッピング部417とデータ復調部419と、チャネル復号部421とを含んで構成されている。

10

## 【0061】

端末装置3においては、アンテナ401で受信された信号が、無線受信部403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、G I除去部405に入力され、ガードインターバルが取り除かれた後、FFT部407に入力される。FFT部407では、入力された信号に対して、 $N_c$ 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)が適用され、 $N_c$ 個のサブキャリア成分に変換される。FFT部407の出力は参照信号分離部409に入力される。参照信号分離部409では入力された信号を、データ信号成分とD M R S成分とに分離する。そして、データ信号成分については、伝搬路補償部415に向けて出力され、D M R Sについては、伝搬路推定部411に向けて出力される。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。

20

## 【0062】

伝搬路推定部411では、入力された既知参照信号であるD M R Sに基づいて、伝搬路推定が行なわれるとともに、今基地局装置1で適用されているプリコーディング方式の推定が行なわれる。

## 【0063】

図7は、本発明の第1の実施形態に係る伝搬路推定部411におけるD M R Sに対する信号処理を説明するフローチャートである。以下では、図7に記載のフローチャートに基づき、D M R Sに対する信号処理について説明する。

30

## 【0064】

伝搬路推定部411では、初めに、第1のD M R Sに基づいて伝搬路推定を行なう（ステップS101）。第1のD M R Sには信号系列として $C_{D M R S}$ が用いられているから、 $C_{D M R S}$ によって逆変調を行なうことで伝搬路情報 $H$ を推定することができる。

## 【0065】

一方、第2のD M R Sでは、データ信号に適用されているプリコーディング方式に応じて、 $C_{D M R S}$ そのもの、もしくは $C_{D M R S}$ に位相回転が施された系列のいずれかが用いられている。そこで、伝搬路推定部411では、第2のD M R Sが受信されている無線リソースに対して、それぞれの系列に基づいて、逆変調を施し、2つの伝搬路推定値 $H_{L P}$ と $H_{N L P}$ の二つの伝搬路推定値を算出する（ステップS102およびステップS103）。

40

## 【0066】

次いで、第2のD M R Sによって推定された $H_{L P}$ と $H_{N L P}$ それぞれと、第1のD M R Sによって推定された伝搬路情報 $H$ との誤差 $H_{L P}$ と $H_{N L P}$ をそれぞれ算出する（ステップS104）。誤差を表す情報としてはどのような情報でも構わないが、例えば、 $H_{L P}$ と $H$ との二乗誤差を計算すれば良い。また本実施形態のように、D M R Sが複数の無線リソースで送信されている場合、複数個推定される $H_{L P}$ と $H$ との平均二乗誤差を計算すれば良い。

## 【0067】

50

次いで、算出された誤差  $L_P$  と  $N_{LP}$  に基づき、基地局装置 1 が行なっているプリコーディング方式を推定する。具体的に  $L_P < N_{LP}$  であれば（ステップ S 105：YES）、用いられているプリコーディング方式は線形プリコーディングであると判断し、そうでなければ（ステップ S 105：NO）、プリコーディング方式は非線形プリコーディングであると判断する。最終的に、第 1 および第 2 の DMR S によって推定された伝搬路情報と、プリコーディング方式の推定結果を、伝搬路推定部 411 の出力として、伝搬路補償部 415 に向けて出力することになる（ステップ S 106 およびステップ S 107）。例えば、線形プリコーディングであると判断した場合、 $H$  と  $H_{LP}$  を用いて最終的な伝搬路推定値を出力する。両者を平均化したものでも良いし、何かしらの補間を適用した結果を出力するようにすれば良い。非線形プリコーディングであると判断した場合は、 $H$  と  $H_{LP}$  とから最終的な伝搬路推定値を出力する。

#### 【0068】

なお、受信電力が極めて小さい場合や、算出された誤差（ $L_P$  と  $N_{LP}$  との差）が極めて小さい場合、プリコーディング方式の推定精度は、極めて悪いものとなる。よって、予め決められた閾値よりも  $L_P$  と  $N_{LP}$  との差が小さい場合、伝搬路推定部 411 では、データ信号に施されたプリコーディング方式は非線形プリコーディングであると判断するようにも良い。既に述べたように、端末装置 3 がプリコーディング方式毎に定められた適切な復調方法により信号を復調しないと伝送特性は劣化してしまう。しかし、線形プリコーディングが施された信号を非線形プリコーディングが施されたものとして復調した場合の伝送特性の劣化量は、非線形プリコーディングが施された信号を線形プリコーディングが施されたものとして復調した場合の伝送特性の劣化量よりも小さい。よって、プリコーディング方式の推定精度が極めて悪い場合、常に非線形プリコーディングが施されたものとして信号の復調を行なった方が、より安定した伝送特性を得ることができる。

#### 【0069】

なお、伝搬路推定部 411 では、干渉信号の推定も行なわれる。干渉信号を推定するためには、基地局装置 1 より何ら信号を送らない無線リソース（キャリアホール）を一部設定することや、DMRS とは別にプリコーディングを施さない既知参照信号を送信することで推定することが可能である。推定された干渉信号はフィードバック情報生成部 413 に出力され、基地局装置 1 に通知可能な信号に変換される。ここでは、推定された干渉信号を有限ビット数で量子化しても良いし、推定された干渉信号をそのまま送信信号として送信しても構わない。フィードバック情報生成部 413 の出力は、無線送信部 414 に送られ、最終的に基地局装置 1 に向けて送信される事になる。以上が、伝搬路推定部 411 における信号処理となる。

#### 【0070】

図 6 に戻り、伝搬路補償部 415 には、データ信号成分と、伝搬路推定部 411 において推定された伝搬路推定値とプリコーディング方式の推定値とが入力される。伝搬路補償部 415 では、初めに伝搬路推定値を用いたチャネル等化処理が施される。本実施形態の場合、チャネル等化処理は、受信信号から伝搬路推定値を除算する単純な同期検波を行なえば良い。チャネル等化処理が施されたのち、プリコーディング方式の推定結果に基づいた信号処理が施される。

#### 【0071】

プリコーディング方式として、線形プリコーディングが施されたものと推定された場合、チャネル等化処理された信号を、そのまま伝搬路補償部 415 の出力として、デマッピング部 417 に向けて出力する。一方、非線形プリコーディングが施されたものと推定された場合、チャネル等化処理された信号に対して、基地局装置 1 のプリコーディング部 107A で施された modul o 演算と同じ modul o 幅による modul o 演算を施し、modul o 演算結果を伝搬路補償部 415 の出力として、デマッピング部 417 に向けて出力する。

#### 【0072】

10

20

30

40

50

デマッピング部417においては、端末装置3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409の出力を、先にデマッピング部417に入力し、自装置に該当する無線リソース成分のみを伝搬路補償部415に入力するような構成としても良い。デマッピング部417の出力は、その後、データ復調部419およびチャネル復号部421に入力され、データ復調とチャネル復号が行なわれる。

【0073】

なお、チャネル復号部421において行なわれる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、伝搬路推定部411において、非線形プリコーディングが基地局装置1で行なわれたものと推定された場合でも、伝搬路補償部415では $modulo$ 演算を行なわず、プリコーディングの方法がいずれであったかを示す推定情報はチャネル復号部421に入力される事になる。チャネル復号部421では、プリコーディング方法の推定結果に基づき、チャネル復号方法を決定すれば良い。

10

【0074】

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。

20

【0075】

以上、説明してきた方法により、線形プリコーディングと非線形プリコーディングとを選択的に用いる伝送において、実際に適用されているプリコーディング方法を制御情報により通知することなく、端末装置3が正しく把握することが可能となるから、受信された信号より所望の信号を正しく復調することが可能となる。

【0076】

【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と端末装置3がそれぞれ1装置ずつの1対1の伝送を対象とした。第2の実施形態では、複数の送信アンテナを備える基地局装置と、複数の端末装置とが、同一無線リソースによって同時通信を行なうマルチユーチャンネル（MU-MIMO）伝送を対象とする。

30

【0077】

図8は、本発明の第2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2の実施形態においては、 $N_t$ 本の送信アンテナを有し、線形プリコーディングと非線形プリコーディングが可能な基地局装置（無線送信装置）1に対して、1本の受信アンテナを有する端末装置（無線受信装置）3がU個（図8では、U=4で、端末装置3-1、3-2、3-3、3-4を合わせて端末装置3とも表す）接続しているMU-MIMO伝送を対象とし、 $N_t = U$ であるものとする。基地局装置1は各端末装置3より通知される制御情報により各端末装置3までの伝搬路情報を取得し、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。なお、端末装置3の受信アンテナ数は1に限定されるものではない。また、本実施形態においては、各端末装置3に送信されるデータストリーム数（ランク数とも呼ぶ）は1としているが、ランク数が2以上の場合も本実施形態には含まれる。

40

【0078】

なお、第2の実施形態においては同一セル内干渉が支配的となるから第1の実施形態で想定した同一セル間干渉については、無視して考える。

【0079】

第2の実施形態における基地局装置1および端末装置3で行なわれる信号処理について説明する前に、基地局装置1と端末装置3の間の伝搬路情報（以下では、Channel State

50

Information(CSI)とも呼ぶ)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。第n送信アンテナ( $n = 1 \sim N_t$ )と第u端末装置3-u間( $u = 1 \sim U$ )の第kサブキャリアの複素チャネル利得を $h_{u,n}(k)$ としたとき、伝搬路行列 $H(k)$ を、式(2)のように定義する。なお、 $h_u(k) = [h_{u,1}, \dots, h_{u,N_t}]$ は第u端末装置3-uで観測される複素チャネル利得により構成される伝搬路行ベクトルを表す。

【0080】

【数2】

$$H(k) = \begin{pmatrix} h_{1,1}(k) & \cdots & h_{1,N_t}(k) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{U,1}(k) & \cdots & h_{U,N_t}(k) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{h}_1(k) \\ \vdots \\ \mathbf{h}_U(k) \end{pmatrix} \quad 10$$

…(2)

20

【0081】

【2.1. 基地局装置1】

図9は、本発明の第2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9に示すように、基地局装置1は、チャネル符号化部101と、データ変調部103と、マッピング部105とプリコーディング部107Bと、アンテナ部109と、制御情報取得部111と、伝搬路情報取得部501とを含んで構成されている。プリコーディング部107Bはサブキャリア数 $N_c$ 、アンテナ部109は送信アンテナ数 $N_t$ だけそれぞれ存在する。各端末装置3宛ての送信データ系列はチャネル符号化部101において、チャネル符号化が行なわれたのち、データ変調部103において、QPSK、16QAM等のディジタルデータ変調が施される。データ変調部103からの出力はマッピング部105に入力される。30

【0082】

マッピング部105においては、第1の実施形態と同様に、送信データおよび固有参照信号を、それぞれ適切な無線リソースにマッピングすることになるが、第2の実施形態では、複数の端末装置3に向けて同時に送信データおよび固有参照信号(DMRS)を送信する必要がある。また、式(2)で表される伝搬路情報を推定するためのCell-specific reference signal(CRS)も送信する必要がある(CRSは基本的にプリコーディングを施すことなく送信する参照信号である。以下では、このような参照信号のことをサウンディング信号とも呼ぶこととする)。CRSとDMRSの多重方法については、特に限定されない。しかし、CRSは各送信アンテナ間で直交するように配置され、DMRSは接続している端末装置3の間で直交するように配置される。直交させる方法としては、時間直交、周波数直交、空間直交、符号直交のいずれか、もしくは複数の直交技術の組み合わせが考えられる。以下、本実施形態においては、データ信号と参照信号とは時間・周波数直交されるものとし、端末装置3ではそれぞれ所望の情報が理想的に推定可能なものとして説明を行なう。40

【0083】

図10は、本発明の第2の実施形態において、送信アンテナ数 $N_t$ を4、接続している端末装置3の数Uを4とした場合の、送信データとDMRSとCRSのマッピングの一例を示した図である。各軸の定義は図3と同じである。#nで示されている無線リソースからは第n送信アンテナよりCRSが送信され、他の送信アンテナからは信号は送信されな50

い。一方、\* u で示されている無線リソースからは第 u 端末装置 3 - u 宛ての D M R S のみが送信されることになる。その他の無線リソースにおいては、それぞれ送信データ、制御信号、もしくは別の参照信号が送信されており、それぞれ一部の情報については、同一無線リソースで複数の端末装置 3 に向けて送信されることになる。

#### 【 0 0 8 4 】

なお、説明の詳細は省くが、第 u 端末装置 3 - u 宛ての D M R S は本来、第 u 端末装置 3 - u にのみ意味のある情報を推定するためのものである。しかし、該当無線リソースの受信信号を把握することにより、第 u 端末装置 3 - u 宛ての D M R S を他の端末装置 3 が把握することが可能である。この情報を使うことで、端末装置 3 は後述する伝搬路補償部において、干渉キャンセラ等の I U I 抑圧処理を行なうことが可能となる。ただし、以下では、干渉キャンセラの詳細な説明は省略する。 10

#### 【 0 0 8 5 】

なお、第 1 の実施形態と同様に、破線で囲んだ第 2 の D M R S については、後述するプリコーディングの手法に応じて、信号系列に与える位相回転を変化させる。詳細は後述する。

#### 【 0 0 8 6 】

図 9 に戻り、マッピング部 1 0 5 の出力は、それぞれ対応するサブキャリアのプリコーディング部 1 0 7 B に入力される。プリコーディング部 1 0 7 B における信号処理の説明は後述するものとし、以下では、プリコーディング部 1 0 7 B の出力に対する信号処理について先に説明する。各サブキャリアのプリコーディング部 1 0 7 B の出力は、それぞれ対応する送信アンテナのアンテナ部 1 0 9 に入力される。 20

#### 【 0 0 8 7 】

本実施形態に係るアンテナ部 1 0 9 の装置構成は、図 4 で示した装置構成と同じ構成であり、また行なっている信号処理もほぼ同じであるから、説明は省略する。ただし、第 2 の実施形態においては、アンテナ部 1 0 9 が複数存在することになり、また制御情報取得部 1 1 1 に向けて出力されるのは干渉信号に関連付けられた情報ではなく、式 ( 2 ) で与えられる伝搬路情報に関連付けられた情報であることが、第 1 の実施形態のアンテナ部 1 0 9 とは異なる点となる。

#### 【 0 0 8 8 】

##### [ 2 . 2 . プリコーディング部 1 0 7 B ]

30 続いて、プリコーディング部 1 0 7 B における信号処理について説明する。

#### 【 0 0 8 9 】

図 1 1 は、本発明の第 2 の実施形態に係るプリコーディング部 1 0 7 B の装置構成を示すブロック図である。図 1 1 に示すように、プリコーディング部 1 0 7 B は、線形フィルタ生成部 6 0 1 と、プリコーディング切替部 6 0 3 と、撮動ベクトル探査部 6 0 5 と、送信信号生成部 6 0 7 と、D M R S 位相制御部 6 0 9 とを含んで構成されている。はじめにプリコーディング部 1 0 7 B にデータ信号が入力された場合の信号処理について説明する。このとき、各端末装置 3 宛ての送信データを含むマッピング部 1 0 5 の出力の第 k サブキャリア成分 { d \_ u ( k ) ; u = 1 ~ U } と、伝搬路情報取得部 5 0 1 の出力の第 k サブキャリアの伝搬路行列 H ( k ) が入力される。H ( k ) は上述した C R S に基づき、端末装置 3 にて推定され、基地局装置 1 に通知される。以下の説明では、H ( k ) は理想的に伝搬路情報取得部 5 0 1 にて取得されるものとし、簡単のため、インデックス k は省略して記述する。 40

#### 【 0 0 9 0 】

プリコーディング部 1 0 7 B では初めに I U I を抑圧するための線形フィルタ W が算出される。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が、例えば、I U I を完全に抑圧するゼロフォーシング ( ZF ) に基づく線形フィルタを算出すれば良い。このとき、線形フィルタは  $W = H^H ( H H^H )^{-1}$  で与えられる。なお、各端末装置 3 に向けて、複数のデータストリームを送信するような構成となった場合、各端末装置 3 には I U I に加えて、自端末装置 3 宛ての複数のデータストリームがお互いに干渉し合うアンテナ間干 50

涉(Inter-antenna interference(IAI))の影響も受ける。この場合、IUIとIAIをともに抑圧する線形フィルタとしても良いし、IUIのみ、もしくはIAIのみを抑圧するような線形フィルタとしても良い。

【0091】

続いて、摂動ベクトル探査部605において、摂動項の探査が行なわれる。摂動項の探査方法は、所望の伝送品質や、基地局装置1が有する演算装置が実現可能な演算量に応じて決定される。例えば、最も高い受信品質が達成できるVector perturbation (VP)を用いる場合、摂動項は式(3)で表される最小化問題を解くことで得ることができる。

【0092】

【数3】

$$\mathbf{z}_t = \arg \min_{\mathbf{z}_t \in \mathbf{Z}[i]^U} \{ \| \mathbf{W}(\mathbf{d} + 2\delta \mathbf{z}_t) \|^2 \}$$

…(3)

10

【0093】

ここで、 $\mathbf{z}_t = [z_{t,1}, \dots, z_{t,u}]^T$ であり、 $z_{t,u}$ が第u端末装置3-u宛ての送信データに加算される摂動項となる。

【0094】

ところで、式(3)は、基地局装置1に接続している全端末装置3がmodulo演算を可能としている場合を想定している。しかし、実際のシステムにおいては、modulo演算をサポートしている端末とサポートしていない端末とが混在する場合がある。また、摂動項を加算することは、システム全体のチャネル容量を最大化するためには有効であるが、各端末装置3それが達成できるチャネル容量を必ずしも最大化するものではないことがある。例えば、データ変調方式がQPSKであり、受信信号対雑音電力比(Signal-to-Noise power Ratio(SNR))が比較的小さい環境下においては、摂動項を加算しない方が、優れた伝送特性を取り得ることが報告されている。つまり、各端末装置3宛ての送信データの全てに摂動項を加算することなく、一部の送信データには摂動項を加算しないように制御した方が、周波数利用効率の改善の上では有効である場合があることを意味している。

【0095】

そこで、第2の実施形態に係るプリコーディング部107Bでは、プリコーディング切替部603において、各端末装置3に摂動項を加算すべきか否かを制御している。例えば、データ変調方式としてQPSK変調を用いている端末装置3宛ての送信データには摂動項を加算しないように制御する、等の処理を行なうことになる。極端な例を挙げれば、あるRBでは全端末装置3に線形プリコーディングを施し、別のRBでは全端末装置3に非線形プリコーディングを施しても構わない。送信データに施されたプリコーディングの情報は摂動ベクトル探査部605とDMRS位相制御部609に入力される。以下では、送信データに対して摂動項が加算されなかった端末装置3については、線形プリコーディングが施されたと記載し、摂動項が加算された端末装置3については、非線形プリコーディングが施されたと記載していく。

【0096】

なお、詳細は後述するが、端末装置3において正しく所望信号を復調するためには、自装置宛ての送信信号にどのプリコーディングが施されているかを正しく知る必要がある。そのため、プリコーディングの切替の周期をあまり短くすることは望ましくない。以下の

30

40

50

説明では、第1の実施形態と同様に、図10に示す168無線リソースから構成されるRB毎にプリコーディングを切り替えるものとする。

#### 【0097】

プリコーディング切替部603からの制御情報に基づき、摂動ベクトル探査部605において、適切に摂動ベクトル $z_t = [z_{t,1}, \dots, z_{t,u}]^T$ の探査が行なわれたものとする(つまり、 $z_{t,u}$ の一部が0となっている)。探査された摂動ベクトルは送信信号生成部607に入力され、送信信号 $s = W(d + 2z_t)$ が生成されることになる。ここで $d$ は送信電力を一定にするための電力正規化項である。電力の正規化はどの無線リソース単位で行なっても構わないが、後述するDPRSに対するプリコーディングのためにも、ある一定数の無線リソースの平均送信電力を一定とするような電力正規化を行なうことが望ましい。以下では、プリコーディングを切り替える単位であるRB毎に電力正規化も行なうものとする。

#### 【0098】

続いて、DPRSがプリコーディング部107Bに入力された場合の信号処理について説明する。第1の実施形態と同様に、DPRSにはデータ信号と同様のプリコーディングが施される事になる。しかし、本実施形態で対象としているようなリソースアロケーションを行なっている場合、DPRSの空間多重は行なわれないことになるから、プリコーディングは基本的に線形フィルタWの乗算のみを行ない、摂動項の加算は行なわない。また電力正規化については、データ信号と一緒に行なうことになる。なお、DPRSについても空間多重を行なうようにしても構わないが、この場合、DPRSに加算される摂動項を各端末装置3が推定可能なようにするか、もしくは摂動項の加算を行なわないように制御する必要がある。

#### 【0099】

ただし、プリコーディング切替部603から送信データに施されたプリコーディングの情報を入力されたDPRS位相制御部609では、データ信号への摂動項の加算の有無に応じて、第2のDPRSの信号系列に対して、位相回転を与えるように制御する。具体的には、データ信号に線形プリコーディングが施された端末装置3宛てに送信されるDPRSについては、位相回転は与えられない。一方で、データ信号に非線形プリコーディングが施された端末装置3宛てに送信されるDPRSについては、ある一定の位相回転を与えるように制御される。与える位相回転量については、第1の実施形態と同様に $d$ としても良いが、任意の値を与えて構わない。ただし、位相回転量は基地局装置1と各端末装置3の間で共有しておく必要がある。なお、共有が為されているのであれば、各端末装置3で位相回転量を変化させても構わない。また、RB毎に与える位相回転量を変化させるように制御しても構わない。

#### 【0100】

プリコーディングおよび電力正規化が施されたDPRSはデータ信号と同様に、アンテナ部109に向けて出力される事になる。なお、CRSについては、何らプリコーディングを施されることなく送信される事になる。ただし、電力正規化については、データ信号やDPRSと同様に行なっても良い。

#### 【0101】

##### [2.3.端末装置3]

第2の実施形態に係る端末装置3の装置構成は図6と同じであり、各装置における信号処理も第1の実施形態とほぼ同じであるため、説明は省略する。ただし、伝搬路推定部411については、新たにCRSが入力される事になる。伝搬路推定部411は受信されたCRSに基づき、伝搬路情報(式(2)参照)を推定し、その推定結果をフィードバック情報生成部413に入力する。フィードバック情報生成部413では、入力された伝搬路推定値を基地局装置1に通知可能な信号に変換する。最終的には、無線送信部414より基地局装置1に向けて送信される事になる。

#### 【0102】

フィードバック情報の生成方法としては、何かに限定されるものではないが、例えば、

10

20

30

40

50

伝搬路推定値を直接有限ビット数で量子化し、ディジタル変調した後送信しても良いし、基地局装置1と端末装置3の間で共用するコードブックを用いて通知しても構わない。

#### 【0103】

なお、同じRBにおいて空間多重されている全端末装置3が同じプリコーディング方式が施される場合、これまで説明してきたようにDPRSに位相回転を与えるのではなく、CRS等のサウンディング信号に位相回転を与えることで、プリコーディング方式を通知することも可能である。この場合、一部のCRSにのみ位相回転を施し、位相回転を施していないCRSと、位相回転を施したCRSとから推定された伝搬路情報の誤差をそれぞれ比較することでプリコーディング方式を推定することが可能となる。

#### 【0104】

以上説明してきたように、第2の実施形態では、基地局装置1に接続している複数の端末装置3と同時に通信を行なうMU-MIMO伝送を対象に、複数のプリコーディング方式が選択的、もしくは同時に用いられる伝送において、DPRSの位相回転量を変化させることで、適用されているプリコーディング方式を各端末装置3に正確に通知する方法を対象とした。なお、以上の説明では、複数のプリコーディングの一例として、線形プリコーディングと非線形プリコーディングの2つを例に取り上げて説明してきたが、本発明が対象とするプリコーディングはこの組み合わせに限ったものではない。

#### 【0105】

例えば、線形プリコーディングに限った場合でも、線形フィルタの算出規範として、ZF規範や、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、送信信号電力と、他の端末送信電力に与える干渉電力との比を最大とするSLR規範など様々にある。また、本実施形態では、端末装置3の伝搬路補償部415で行なわれるチャネル等化処理が単純な同期検波で済むようなプリコーディングを施したが、端末装置3の伝搬路補償部415において、空間検出処理が必要となるようなプリコーディング（例えば、プロック対角化法等）も存在する。

#### 【0106】

本実施形態で対象とするのは、このように様々なプリコーディングが選択的もしくは同時に用いられた場合に、DPRSに与えた位相回転により、端末装置3が今施されているプリコーディングがいずれであるかを把握するような無線通信システムである。なお、基地局装置1が可能なプリコーディングの方法が3つ以上である場合、DPRSに与える位相回転量と、プリコーディング方式とを関連付けておけば良い。例えば、プリコーディングとしてA、B、Cの3つが適用可能である場合、プリコーディングAの場合は位相回転を与える、Bの場合は、 $\pi/2$ の位相回転を与え、Cの場合は、 $3\pi/2$ の位相回転を与えるようにすれば良い。

#### 【0107】

端末装置3の伝搬路推定部411においては、第2のDPRSに対して、可能性のある全ての位相回転量を考慮した伝搬路推定値を算出し、第1のDPRSによって推定された伝搬路推定値との誤差を図ることで、どのプリコーディングが施されたかを把握することが可能となる。

#### 【0108】

第2の実施形態では、MU-MIMO伝送を対象に、複数のプリコーディングが選択的、もしくは同時に施される場合を対象とした。本実施形態によれば、後方互換性を保ちつつ新たなプリコーディング方式を追加していくことが可能となるから、無線通信システムの高度化に寄与することができ、ひいては周波数利用効率の改善に寄与できる。

#### 【0109】

##### [3. 第3の実施形態]

第1および第2の実施形態では、DPRSに対して与えた位相回転量により、受信された信号に施されているプリコーディングがいずれであるかを、端末装置3が把握する場合を対象してきた。このことは、本来伝搬路状態情報を推定することが目的であるDPRSを使って、伝搬路情報以外の情報を基地局装置1より端末装置3に送信していると捉え

10

20

30

40

50

ることができる。第3の実施形態では、D M R Sの位相情報を用いて、任意の情報を通知する場合を対象とする。

【0110】

[3.1.基地局装置1]

基地局装置1の構成は、第1および第2の実施形態と同様であり、異なるのは、プリコーディング部107がプリコーディング部107Cとなる点のみであるから、以下では、第3の実施形態に係るプリコーディング部107Cにおける信号処理について説明する。

【0111】

[3.2.プリコーディング部107C]

図12は、本発明の第3の実施形態に係るプリコーディング部107Cの装置構成を示すブロック図である。図12に示す通り、プリコーディング部107Cは、線形フィルタ生成部601と、プリコーディング切替部603と、摂動ベクトル探査部605と、送信信号生成部607と、D M R S位相制御部701とを含んで構成されている。各装置の信号処理は、D M R S位相制御部701を除き、図11と同様であり、データ信号が入力された場合の信号処理は、第2の実施形態とほぼ同様となるから説明は省略する（データ信号が入力されたとき、DMRS位相制御部701は何ら信号処理を行なわない）。ただし、第3の実施形態においては、必ずしも複数のプリコーディング方法を選択的、もしくは同時に用いる必要は無いから、プリコーディング切替部603は無くても構わない。また、摂動ベクトル探査部605が摂動項の探査を一切行なわない、すなわち、線形プリコーディングを施すように制御しても構わない。

【0112】

続いて、D M R Sが入力された場合の信号処理について説明する。詳細な説明の前に、ここで、第u端末装置3-uが受信するデータ信号および第1のD M R S（つまり、特別な位相回転が与えられていないDMRS）について考える。両者はそれぞれ式（4）で与えられる。

【0113】

【数4】

$$\begin{cases} r_{u,DATA} = \beta(d_u + 2\delta z_{t,u}) + \eta_{u,DATA} & , \text{for data signal} \\ r_{u,DMRS} = \beta p_u + \eta_{u,DMRS} & , \text{for DMRS} \end{cases}$$

10

20

30

…(4)

【0114】

ここで、 $r_u$ はそれぞれの受信信号に印加される白色性ガウス雑音である。なお、データ信号には非線形プリコーディングが施されている一方で、D M R Sについては、空間多重は行なわずに送信したものとしている。通常、端末装置3は、 $r_{u,DMRS}$ から既知信号である $p_u$ を除算することで、電力正規化項 $\beta$ を推定し、その推定結果を用いて、 $r_{u,DATA}$ から $\beta$ を除算し、その後でmodulo演算を施すことで所望信号 $d_u$ を復調する。

【0115】

このとき、 $\beta$ は実数であるから、受信S N Rが十分に高く、また $|\beta| = 1$ であれば、 $abs(r_{u,DMRS})$ の計算結果が $r_{u,DATA}$ から推定した情報そのものであることが分かる。つまり、D M R Sには基地局装置1と端末装置3の間で共有せずに任意の位相回転を与えて良いことを意味している。ただし、実際のシステムにおいては、 $r_{u,DATA}$ から推定すべき情報は電力正規化項 $\beta$ だけではなく、伝搬路情報のフィードバックから、データ信号が受信されるまでに変動してしまった伝搬路情報成分や、基地局装

40

50

置 1 と端末装置 3 の発振器の周波数が異なることから発生する位相回転に関する情報も含まれている。以下では、このことを踏まえつつ、D M R S に与えた位相回転情報より任意の情報を基地局装置 1 より端末装置 3 に通知する方法を示す。

【 0 1 1 6 】

リソースアロケーションとしては、第 2 の実施形態で例として取り上げた図 1 0 で示されたものを用いるものとする。ただし、理由は後述するが、実際は、第 1 の D M R S と第 2 の D M R S とは、同じ O F D M 信号内に存在することが望ましい。

【 0 1 1 7 】

まず第 1 の D M R S がプリコーディング部 1 0 7 C に入力された場合については、第 1 および第 2 の実施形態と同様に、特別な位相回転等を与えることなくデータ信号と同様のプリコーディングを施す。そして第 2 の D M R S がプリコーディング部 1 0 7 C に入力されたとき、D M R S 位相制御部 7 0 1 は、基地局装置 1 が各端末装置 3 に送りたい情報に基づき、D M R S に対して位相回転を与える。

【 0 1 1 8 】

位相回転の与え方として、本発明においては、何かに限定されるものではないが、例えば、Q P S K 変調と同様の変調を施せば良い。つまり、本実施形態において例として挙げているリソースアロケーションによれば、第 2 の D M R S は、各端末装置 3 に対して 1 R B 当たり 6 無線リソース確保されているから、もしそれぞれに対して、Q P S K 変調が施された信号を送信してやれば、6 ビットの情報を通知することが可能となる。電力正規化等の他の信号処理については、第 1 の D M R S と同様であるから説明は省略する。

【 0 1 1 9 】

[ 3 . 3 . 端末装置 3 ]

図 1 3 は、本発明の第 3 の実施形態に係る端末装置 3 の構成を示すブロック図である。図 1 3 に示すように、端末装置 3 は、アンテナ 4 0 1 と、無線受信部 4 0 3 と、G I 除去部 4 0 5 と、F F T 部 4 0 7 と、参照信号分離部 4 0 9 と、伝搬路推定部 8 0 1 と、フィードバック情報生成部 4 1 3 と、無線送信部 4 1 4 と、伝搬路補償部 4 1 5 と、デマッピング部 4 1 7 とデータ復調部 4 1 9 と、チャネル復号部 4 2 1 と、情報復調部 8 0 3 とを含んで構成されている。端末装置 3 の構成は図 6 とほぼ同じであり、各装置で行なわれる信号処理もほぼ同じであるが、情報復調部 8 0 3 と伝搬路推定部 8 0 1 における信号処理および、その出力が異なるから、以下では、伝搬路推定部 8 0 1 と情報復調部 8 0 3 における信号処理についてのみ説明をする。

【 0 1 2 0 】

図 1 4 は、本発明の第 3 の実施形態に係る端末装置 3 の伝搬路推定部 8 0 1 において、D M R S が入力された場合の信号処理を説明するフローチャートである。以下では、図 1 4 に基づき、伝搬路推定部 8 0 1 における信号処理について説明する。なお、C R S が入力された場合の信号処理については、第 2 の実施形態における伝搬路推定部 4 1 1 と同様であるから、説明は省略する。

【 0 1 2 1 】

まず、第 1 の D M R S に基づき伝搬路推定値  $H$  を取得する（ステップ S 2 0 1）。ここで、第 1 の D M R S が受信されたときの、第  $u$  端末装置 3 -  $u$  の受信信号は式（5）で与えられるものとする。

【 0 1 2 2 】

【 数 5 】

$$r_{u,DMRS1} = \beta \beta' \exp(j\phi) p_u + \eta_{u,DMRS1}$$

…(5)

10

20

30

40

50

## 【0123】

ここで、 $\alpha$  および  $\beta$  は、伝搬路の時間変動や、発振器の周波数オフセットによって発生した受信信号に対する振幅および位相の変動成分を表している（理想的な環境であれば、 $\alpha = 1$  および  $\beta = 0$  となる）。以下では、雑音成分については記載を省略して説明していく。このとき、伝搬路推定値  $H$  は  $\alpha \times \beta \times \exp(j\phi)$  で与えられることになる。

## 【0124】

続いて、 $\text{angle}(r_{u, \text{DMRS}_1})$  を計算し、位相変動成分  $\exp(j\phi)$  を推定する（ステップ S 202）。

## 【0125】

次いで、第 2 の D M R S に対する信号処理を行なう。第  $u$  端末装置 3 -  $u$  の第 2 の D M R S の受信信号は式（6）で与えられる。

## 【0126】

## 【数 6】

$$r_{u, \text{DMRS2}} = \beta \beta' \exp(j\phi) p_u \exp(j\alpha_u)$$

10

20

... (6)

## 【0127】

ここで、 $\alpha_u$  は基地局装置 1 が第  $u$  端末装置 3 -  $u$  に通知したかった情報に基づいて決定される位相回転量であり、第  $u$  端末装置 3 -  $u$  にとっては未知の情報となる。伝搬路推定部 801 では、第 2 の D M R S の受信信号  $r_{u, \text{DMRS}_2}$  に、先ほど推定された結果を用いて  $\exp(-j\phi)$  を乗算することで、位相変動成分を取り除かれた受信信号  $r_{u, \text{DMRS}_2}'$  を算出する（ステップ S 203）。位相変動成分は本来時間変動する値であるから、この信号処理が高精度に行なわれるためには、第 1 の D M R S と第 2 の D M R S とは、可能な限り互いの時間相関が高い無線リソースにおいて、送信される事が望ましい。

30

## 【0128】

次いで、 $\text{angle}(r_{u, \text{DMRS}_2}')$  を計算することで、 $\alpha_u$  を推定する（ステップ S 204）。

## 【0129】

続いて、 $\text{abs}(r_{u, \text{DMRS}_2}) = \alpha$  と  $\text{angle}(r_{u, \text{DMRS}_2} \times \exp(-j\alpha_u)) = \beta$  を計算することで、第 1 の D M R S と同様の伝搬路推定値  $H' = \alpha' \times \beta' \times \exp(j\phi)$  を推定する（ステップ S 205）。最後に、第 1 の D M R S と第 2 の D M R S から推定された伝搬路推定値に対して、平均化等の適切な補間処理を施したのち、伝搬路補償部 415 に向けて出力する（ステップ S 206）。なお、ステップ S 204 で推定された  $\alpha_u$  は情報復調部 803 に入力される。

40

## 【0130】

続いて、情報復調部 803 における信号処理について説明する。情報復調部 803 では、予め基地局装置 1 と各端末装置 3 の間で取り決めていた方法により、 $\alpha_u$  より情報を抽出する。例えば、第 1 および第 2 の実施形態のように、複数のプリコーディングが選択的、もしくは同時に用いられる通信システムにおいては、 $\alpha_u$  の値と、各端末装置 3 宛てのデータ信号に用いられているプリコーディング方法を関連付ける方法が考えられる。この場合、情報復調部 803 の出力は伝搬路補償部 415、もしくはチャネル復号部 421 に向けて出力される事になる（図13では、伝搬路補償部 415 に向けて出力した場合を示している）また、第 2 の D M R S について、Q P S K 等の位相変調信号を用いるものとすれば

50

、基地局装置 1 は各端末装置 3 に対して、任意の情報を送信することが可能であり、この場合、情報復調部 803 の出力は、そのまま第 u 端末装置 3 宛ての情報として出力されることになる。

【 0131 】

以上が、第 3 の実施形態に係る伝搬路推定部 801 と情報復調部 803 における DMR S に対する信号処理となる。第 1 の DMR S と第 2 の DMR S が送信されている無線リソース間の時間相関が十分に大きく、また、受信 SNR が十分に大きい環境下であれば、第 2 の DMR S により基地局装置 1 から各端末装置 3 に向けて新たに任意の情報ビットを通知することが可能となる。

【 0132 】

第 2 の DMR S によって送信される情報ビットにも、チャネル符号化を行なうことは可能であり、元々データ信号として送信している情報ビットと一緒にチャネル符号化を行なっても構わない。ただし、第 2 の DMR S によって、プリコーディング方法などを通知している場合、チャネル復号が行なわれるまで、伝搬路補償部 415 における信号処理が行なわれないことを示唆している。よって、制御情報を通知する場合、同一信号を複数回送信する等の、単純かつ復号遅延があまり発生しない方法により誤り制御を行なうことが望ましい。

【 0133 】

第 3 の実施形態では、基地局装置 1 から各端末装置 3 に向けて第 2 の DMR S により任意の情報ビットを通知する場合を対象とした。第 3 の実施形態の方法によれば、一部の DMR S によって情報ビットを送信することも可能となることから、プリコーディングを行なう MIMO 伝送における更なる周波数利用効率の改善に寄与できる。

【 0134 】

[ 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。

【 0135 】

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。

【 0136 】

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 LSI 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 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。

【 符号の説明 】

10

20

30

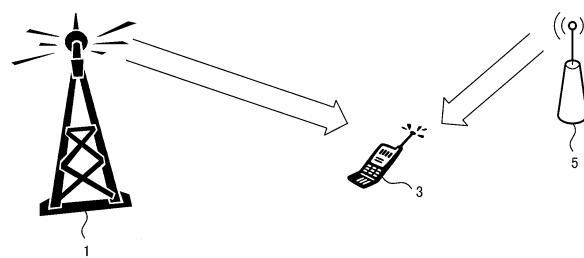
40

50

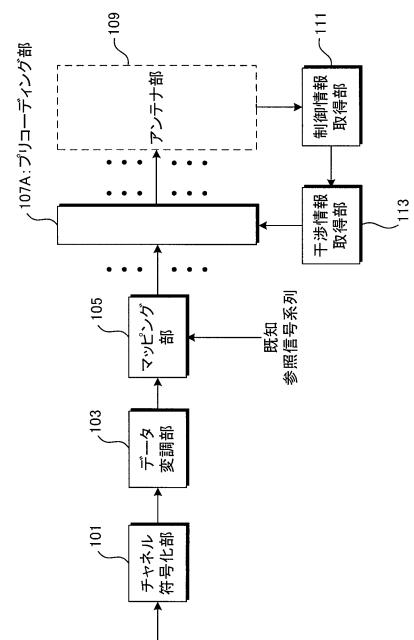
## 【0137】

1	基地局装置	
3、3-1、3-2、3-3、3-4	端末装置	
5	干渉源	
101	チャネル符号化部	
103	データ変調部	
105	マッピング部	
107、107A、107B、107C	プリコーディング部	
109	アンテナ部	10
111	制御情報取得部	
113	干渉情報取得部	
201	I F F T 部	
203	G I 挿入部	
205	無線送信部	
207	無線受信部	
209	アンテナ	
301	干渉抑圧部	
303	M o d u l o 演算部	
305	プリコーディング切替部	
307A、307B	スイッチ	20
309	D M R S 位相制御部	
401	アンテナ	
403	無線受信部	
405	G I 除去部	
407	F F T 部	
409	参照信号分離部	
411	伝搬路推定部	
413	フィードバック情報生成部	
414	無線送信部	
415	伝搬路補償部	30
417	デマッピング部	
419	データ復調部	
421	チャネル復号部	
501	伝搬路情報取得部	
601	線形フィルタ生成部	
603	プリコーディング切替部	
605	撮動ベクトル探査部	
607	送信信号生成部	
609	D M R S 位相制御部	
701	D M R S 位相制御部	40
801	伝搬路推定部	
803	情報復調部	

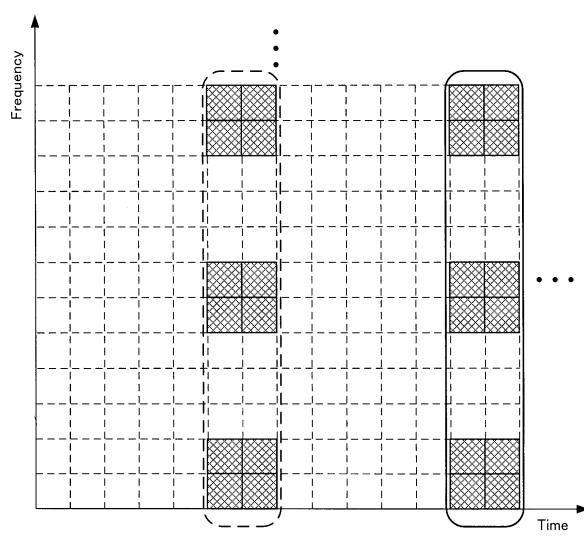
【図1】



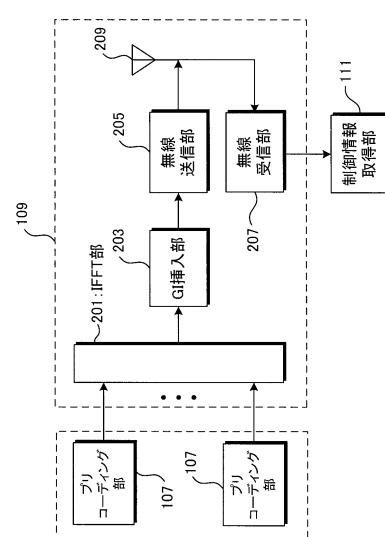
【図2】



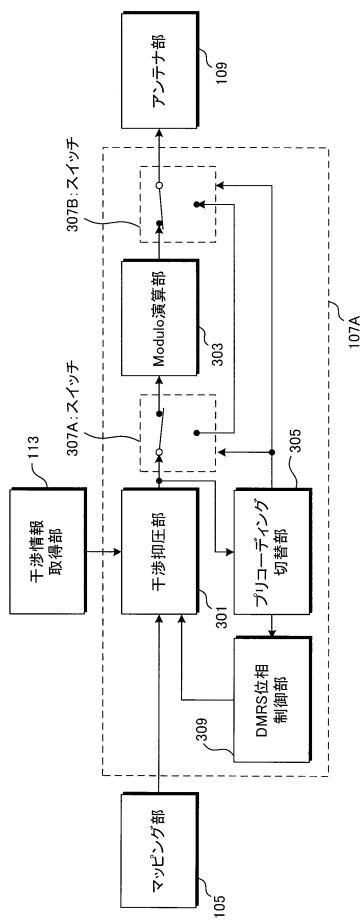
【図3】



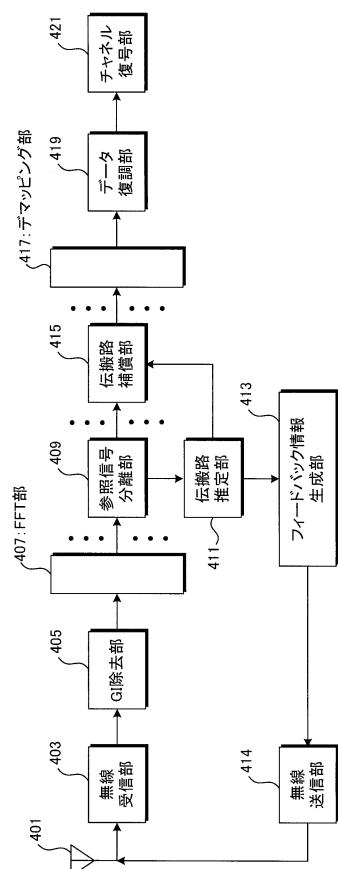
【図4】



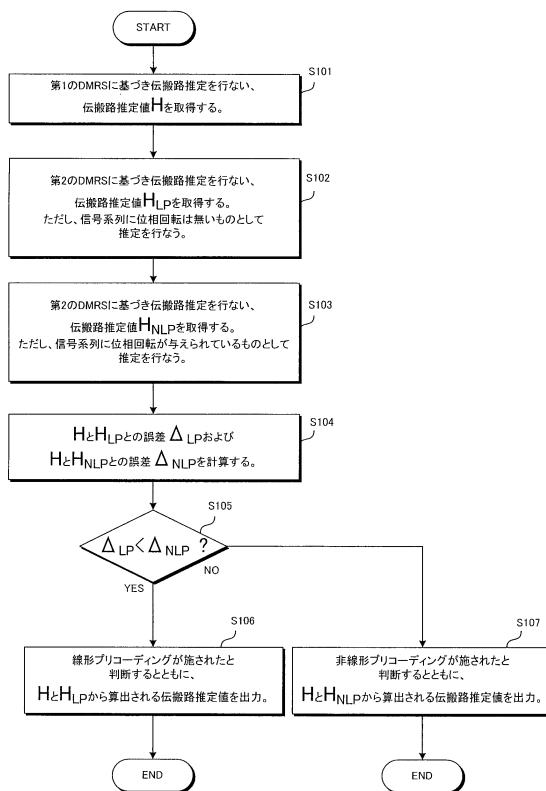
【図5】



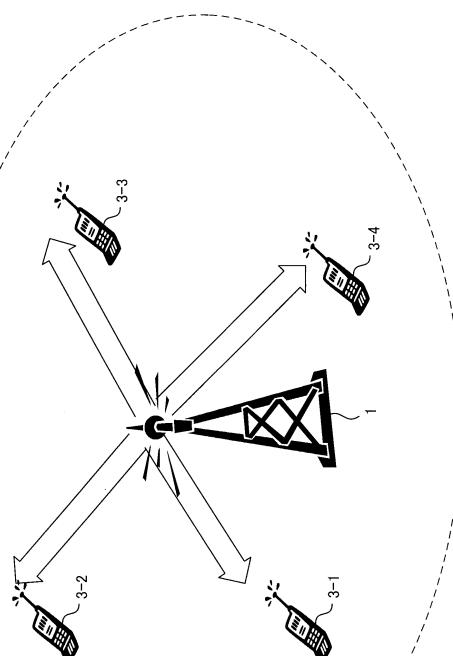
【図6】



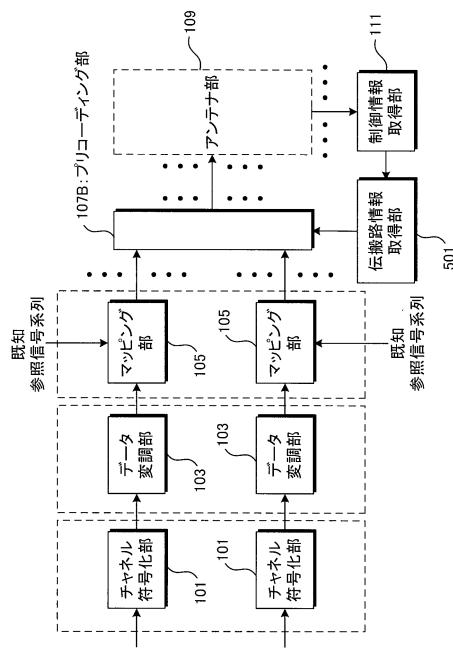
【図7】



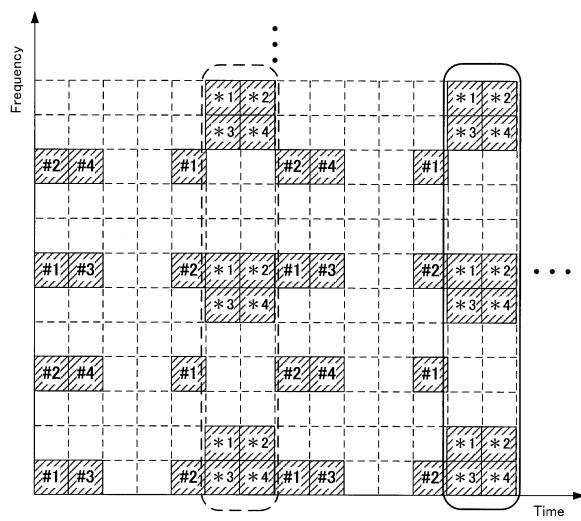
【図8】



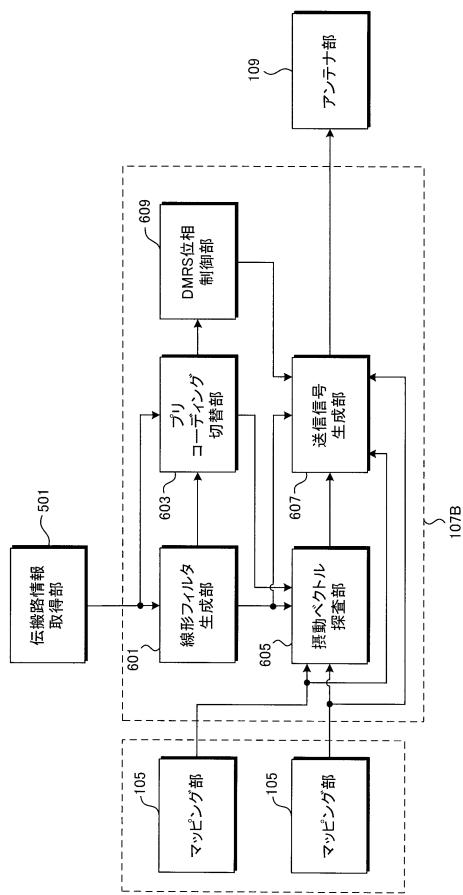
【図 9】



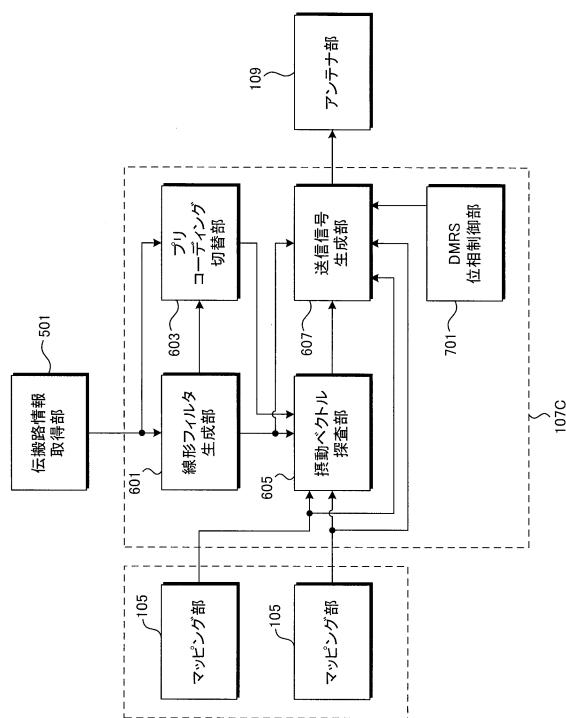
【図 10】



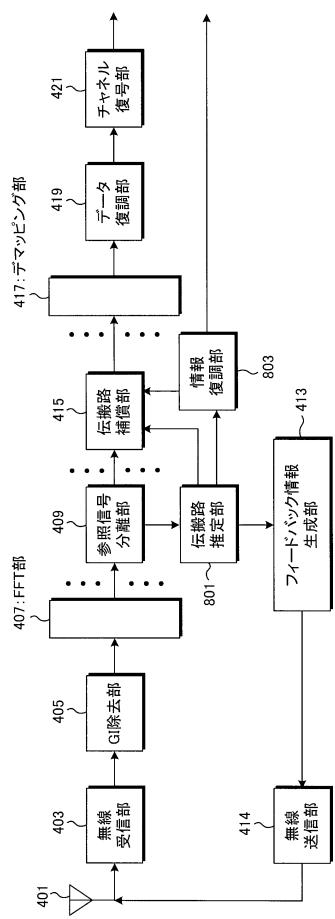
【図 11】



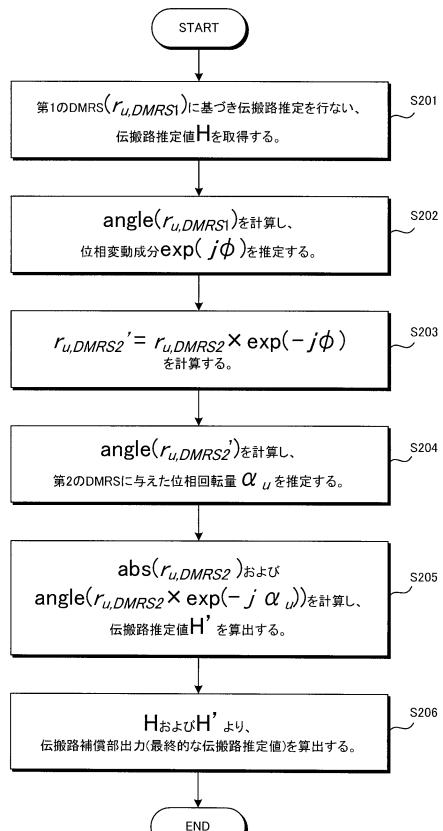
【図 12】



【図13】



【 図 1 4 】



---

フロントページの続き

(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長池町22番22号 シャープ株式会社内  
(72)発明者 窪田 稔  
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

審査官 岡 裕之

(56)参考文献 国際公開第2012/017818 (WO, A1)  
国際公開第2010/109518 (WO, A1)  
特表2011-502454 (JP, A)  
特開平09-181701 (JP, A)  
国際公開第2007/049760 (WO, A1)  
特開2013-066065 (JP, A)  
特開2013-042350 (JP, A)  
Yu Fu et al., Non-linear limited-feedback precoding for ICI reduction in closed-loop multiple-antenna OFDM systems, Global Telecommunications Conference, 2005. GLOBECOM '05. IEEE, 2005年12月 2日, Vol.5, pp.3087-3091  
松本 知子 他, CSI圧縮フィードバック方式を用いた線形・非線形MU-MIMOのスループット特性, 2012年電子情報通信学会総合大会講演論文集 通信1, 2012年 3月 6日, p.449, B-5-50

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 04 J 99/00  
H 04 B 7/04  
H 04 J 11/00  
H 04 W 16/28  
I E E E X p l o r e  
C i N i i  
3 G P P T S G R A N W G 1 - 4  
S A W G 1 - 2  
C T W G 1