

【公報種別】公開特許公報の訂正
【部門区分】第7部門第3区分
【発行日】平成22年11月25日(2010.11.25)

【公開番号】特開2010-193477(P2010-193477A)

【公開日】平成22年9月2日(2010.9.2)

【年通号数】公開・登録公報2010-035

【出願番号】特願2010-64349(P2010-64349)

【訂正要旨】優先権記事第3番目、優先権主張番号の誤載により下記のとおり全文を訂正する。

【国際特許分類】

H 0 4 J 3/00 (2006.01)

H 0 4 J 99/00 (2009.01)

【F I】

H 0 4 J 3/00 H

H 0 4 J 15/00

【記】別紙のとおり

(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2010-193477
(P2010-193477A)

(43) 公開日 平成22年9月2日(2010.9.2)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO4J 3/00 (2006.01)	HO4J 3/00 H	5K022
HO4J 99/00 (2009.01)	HO4J 15/00	5K028

審査請求 有 請求項の数 12 O L 外国語出願 (全 88 頁)

(21) 出願番号	特願2010-64349 (P2010-64349)	(71) 出願人	595020643 クアルコム・インコーポレイテッド QUALCOMM INCORPORATED
(22) 出願日	平成22年3月19日 (2010.3.19)		
(62) 分割の表示	特願2004-547245 (P2004-547245)の分割		
原出願日	平成15年10月24日 (2003.10.24)		
(31) 優先権主張番号	60/421, 462	(74) 代理人	100108855 弁理士 蔵田 昌俊
(32) 優先日	平成14年10月25日 (2002.10.25)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100091351 弁理士 河野 哲
(31) 優先権主張番号	60/421, 309		
(32) 優先日	平成14年10月25日 (2002.10.25)	(74) 代理人	100088683 弁理士 中村 誠
(33) 優先権主張国	米国 (US)		
(31) 優先権主張番号	10/693, 169	(74) 代理人	100109830 弁理士 福原 淑弘
(32) 優先日	平成15年10月23日 (2003.10.23)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

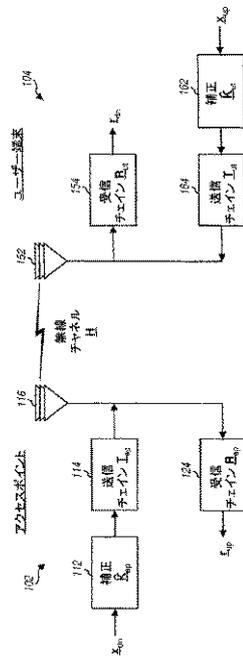
(54) 【発明の名称】 時分割複信通信システムのためのチャンネル校正

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 アクセスポイント及びユーザー端末での送信及び受信チェーンの周波数応答の差を補償するために下りリンク及び上りリンクチャンネルを校正する技術を提供する。

【解決手段】 パイロットが、それぞれ下りリンク及び上りリンクチャンネル上で送信され、下りリンク及び上りリンクチャンネル応答の推定値を導き出すために用いられる。次に、補正因子の2つのセットが、下りリンク及び上りリンクチャンネル応答の推定値に基づいて確定される。校正された下りリンクチャンネルが、下りリンクチャンネルのための第1の補正因子のセットを用いて形成され、校正された上りリンクチャンネルが、上りリンクチャンネルのための第2の補正因子のセットを用いて形成される。第1及び第2の補正因子のセットは、行列比計算または最小平均二乗誤差(MMSE)計算を用いて確定することができる。校正は、無線伝送に基づいてリアルタイムで行うことができる。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

無線通信システムにおいて下りリンクチャネルと上りリンクチャネルを校正する方法であって、

下りリンクチャネル応答の推定値を取得することと、

上りリンクチャネル応答の推定値を取得することと、

前記下りリンクチャネル応答の推定値及び前記上りリンクチャネル応答の推定値に基づいて第 1 の補正因子のセット及び第 2 の補正因子のセットを確定することと、

前記第 1 の補正因子のセット及び前記第 2 の補正因子のセットに基づいてそれぞれ前記下りリンクチャネルと前記上りリンクチャネルを校正し、校正された下りリンクチャネルと校正された上りリンクチャネルを形成することを含む方法。

10

【請求項 2】

前記第 1 の補正因子のセットは前記下りリンクチャネル上での伝送の前にシンボルをスケーリングするのに用いられ、前記第 2 の補正因子のセットは前記上りリンクチャネル上での伝送の前にシンボルをスケーリングするのに用いられる請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記第 1 の補正因子のセットは前記下りリンクチャネル上で受信したシンボルをスケーリングするのに用いられ、前記第 2 の補正因子のセットは前記上りリンクチャネル上で受信したシンボルをスケーリングするのに用いられる請求項 1 に記載の方法。

20

【請求項 4】

前記第 1 及び第 2 の補正因子のセットは、以下の式

【数 4 0 1】

$$\hat{\mathbf{H}}_{\text{up}} \hat{\mathbf{K}}_{\text{ur}} = (\hat{\mathbf{H}}_{\text{dn}} \hat{\mathbf{K}}_{\text{sp}})^T$$

ここで、

【数 4 0 2】

$$\hat{\mathbf{H}}_{\text{dn}}$$

30

は、前記下りリンクチャネル応答の推定のための行列、

【数 4 0 3】

$$\hat{\mathbf{H}}_{\text{up}}$$

40

は、前記上りリンクチャネル応答の推定のための行列、

【数 4 0 4】

$$\hat{\mathbf{K}}_{\text{sp}}$$

は、前記第 1 の補正因子のセットのための行列、

【数 4 0 5】

$$\hat{\mathbf{K}}_{ul}$$

10

は、前記第 2 の補正因子のセットのための行列、及び

「 \top 」は転置を示す

に基づいて確定される請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

20

前記第 1 及び第 2 の補正因子のセットを確定することは、

行列

【数 4 0 6】

$$\mathbf{C}$$

を行列

30

【数 4 0 7】

$$\hat{\mathbf{H}}_{dn}$$

にわたって行列

【数 4 0 8】

$$\hat{\mathbf{H}}_{up}$$

40

の成分に関する比として計算することと、

行列

【数 4 0 9】

$$\mathbf{C}$$

50

に基づいて行列

【数 4 1 0】

$$\hat{\underline{K}}_{ap}$$

及び

【数 4 1 1】

$$\hat{\underline{K}}_{ut}$$

10

を導き出すこととを含む請求項 4 に記載の方法。

【請求項 6】

前記行列

【数 4 1 2】

20

$$\hat{\underline{K}}_{ut}$$

を導き出すことは、

前記行列

【数 4 1 3】

30

$$\underline{C}$$

の複数の行のそれぞれを正規化することと、

前記行列

【数 4 1 4】

$$\underline{C}$$

40

の前記複数の正規化された行の平均値を確定することとを含み、前記行列

【数 4 1 5】

$$\hat{\underline{K}}_{ut}$$

は、前記複数の正規化された行の前記平均値に基づいて形成される請求項 5 に記載の方法

。

50

【請求項 7】
前記行列
【数 4 1 6】

$$\hat{\mathbf{K}}_{ap}$$

を導き出すことは、
前記行列
【数 4 1 7】

10

$$\mathbf{C}$$

の複数の列のそれぞれを正規化することと、
前記行列
【数 4 1 8】

20

$$\mathbf{C}$$

の前記複数の正規化された列の逆数の平均値を確定することを含み、前記行列
【数 4 1 9】

30

$$\hat{\mathbf{K}}_{ap}$$

は、前記複数の正規化された列の逆数の平均値に基づいて形成される請求項 5 に記載の方法。

【請求項 8】
前記行列
【数 4 2 0】

40

$$\hat{\mathbf{K}}_{ut}$$

及び
【数 4 2 1】

$$\hat{\mathbf{K}}_{ap}$$

50

は、最小平均二乗誤差 (M M S E) 計算に基づいて導き出される請求項 4 に記載の方法。

【請求項 9】

前記 M M S E 計算は、

【数 4 2 2】

$$|\hat{\mathbf{H}}_{up} \hat{\mathbf{K}}_{ul} - (\hat{\mathbf{H}}_{dn} \hat{\mathbf{K}}_{ap})^T|^2$$

で与えられる平均二乗誤差 (M S E) を最小化する請求項 8 に記載の方法。

10

【請求項 10】

さらに、前記下りリンクチャネル応答の推定値と前記上りリンクチャネル応答の推定値との平均差を示すスケーリング値を確定することを含む請求項 1 に記載の方法。

【請求項 11】

前記下りリンクチャネル応答の推定値と前記上りリンクチャネル応答の推定値は、受信機のノイズフロアを補償するために正規化される請求項 1 に記載の方法。

【請求項 12】

前記確定することは、ユーザー端末で行われる請求項 1 に記載の方法。

【請求項 13】

前記下りリンクチャネルのための第 1 の補正因子の行列のセットは、第 1 のサブ帯域のセットのために確定され、さらに、

20

第 2 のサブ帯域のセットのための前記下りリンクチャネルのための第 2 の補正因子の行列のセットを取得するために、前記第 1 の行列のセットを補間する請求項 4 に記載の方法。

【請求項 14】

前記下りリンクチャネル応答の推定値と前記上りリンクチャネル応答の推定値は、それぞれ複数のアンテナから送信され複数の直交系列で直交化されたパイロットに基づいて取得される請求項 1 に記載の方法。

【請求項 15】

前記上りリンクチャネル応答の推定値は、前記上りチャンネル上で送信されたパイロットに基づいて取得され、前記下りリンクチャネル応答の推定値は、前記下りチャンネル上で送信されたパイロットに基づいて取得される請求項 1 に記載の方法。

30

【請求項 16】

前記 T D D システムは、多入力多出力 (M I M O) システムである請求項 1 に記載の方法。

【請求項 17】

前記 T D D システムは、直交周波数分割多重 (O F D M) を利用する請求項 1 に記載の方法。

【請求項 18】

無線時分割複信 (T D D) 多入力多出力 (M I M O) 通信システムにおける下りリンクチャンネルと上りリンクチャンネルを校正する方法であって、

40

前記上りリンクチャンネル上でパイロットを送信することと、

前記上りリンクチャンネル上で送信された前記パイロットに基づいて導き出された上りリンクチャンネル応答の推定値を取得することと、

前記下りリンクチャンネル上でパイロットを受信することと、

前記下りリンクチャンネル上で受信された前記パイロットに基づいて導き出された下りリンクチャンネル応答の推定値を取得することと、

前記下りリンクチャンネル応答の推定値と前記上りリンクチャンネル応答の推定値に基づいて第 1 及び第 2 の補正因子のセットを取得することであり、前記下りリンクチャンネルのための前記第 1 の補正因子のセットを用いて、校正された下りリンクチャンネルが形成され、

50

前記上りリンクチャンネルのための前記第2の補正因子のセットを用いて、校正された上りリンクチャンネルが形成されることとを含む方法。

【請求項19】

前記第1及び第2の補正因子のセットは、最小平均二乗誤差(MMSE)計算に基づいて確定される請求項18に記載の方法。

【請求項20】

前記第1及び第2の補正因子のセットは、行列比計算に基づいて確定される請求項18に記載の方法。

【請求項21】

前記第1の補正因子のセットは、複数のユーザー端末での校正に基づいて更新される請求項18に記載の方法。

10

【請求項22】

前記下りリンク上での伝送の前に前記第1の補正因子のセットでシンボルをスケーリングする請求項18に記載の方法。

【請求項23】

前記上りリンクチャンネル上での伝送の前に前記第2の補正因子のセットでシンボルをスケーリングする請求項18に記載の方法。

【請求項24】

無線時分割複信(TDD)多入力多出力(MIMO)通信システムにおける装置であって、

20

下りリンクチャンネルの応答の推定値を取得する手段と、

上りリンクチャンネルの応答の推定値を取得する手段と、

前記下りリンクチャンネル応答の推定値と前記上りリンクチャンネル応答の推定値に基づいて第1及び第2の補正因子のセットを取得し、前記下りリンクチャンネルのための前記第1の補正因子のセットを用いて、校正された下りリンクチャンネルが形成され、前記上りリンクチャンネルのための前記第2の補正因子のセットを用いて、校正された上りリンクチャンネルが形成される装置。

【請求項25】

無線時分割複信(TDD)通信システムにおけるユーザー端末であって、

上りリンクチャンネル上で第1のパイロットを送信するよう機能するTX空間プロセッサと、

30

下りリンクチャンネル上で第2のパイロットを受信し、前記受信した第2のパイロットに基づいて下りリンクチャンネル応答の推定値を導き出すとともに、前記送信された第1のパイロットに基づいて導き出された上りリンクチャンネル応答の推定値を受信するよう機能するRX空間プロセッサと、

前記下りリンクチャンネル応答の推定値と前記上りリンクチャンネル応答の推定値に基づいて第1及び第2の補正因子のセットを確定し、前記下りリンクチャンネルのための前記第1の補正因子のセットを用いて、校正された下りリンクチャンネルが形成され、前記上りリンクチャンネルのための前記第2の補正因子のセットを用いて、校正された下りリンクチャンネルが形成されるよう機能するコントローラと、

40

を備えたユーザー端末。

【請求項26】

前記コントローラは、さらに前記第1及び第2の補正因子のセットを最小平均二乗誤差(MMSE)計算に基づいて確定するよう機能する請求項25に記載のユーザー端末。

【請求項27】

前記コントローラは、さらに前記第1及び第2の補正因子のセットを行列比計算に基づいて確定するよう機能する請求項25に記載のユーザー端末。

【請求項28】

無線システムにおける通信のための方法であって、

1つ以上の通信リンクと関連するチャンネル応答の推定値から導き出された1つ以上の補

50

正因子のセットに基づいて、複数のユーザー局と1つ以上のアクセスポイントとの間の1つ以上の通信リンクを校正することであり、前記複数のユーザー局は第1のユーザー局と第2のユーザー局を含むことと、

前記第1及び第2のユーザー局の間の校正を行うことなくステアリングを用いて前記第1及び第2のユーザー局の間の通信を確立することと、
を含む方法。

【請求項29】

前記第1及び第2のユーザー局の間の通信を確立することは、
前記第2のユーザー局との通信リンクを確立するために、パイロットと要求を前記第1のユーザー局から送ることと、

第1のユーザー局からの前記パイロットと前記要求の受信に応じて、ステアリングされたパイロットと肯定応答を前記第2のユーザー局から送ることと、

前記ステアリングされたパイロットに基づいてステアリングを用いて前記第1及び第2のユーザー局の間に情報を送信すること、

とを含む請求項28に記載の方法。

【請求項30】

前記通信を確立するための要求は、前記第1のユーザー局が属する基本サービスセットの識別子と前記第1のユーザー局の識別子とを含む請求項29に記載の方法。

【請求項31】

前記肯定応答は、前記第2のユーザー局の識別子、前記第2のユーザー局が属する基本サービスセットの識別子、及びデータレート指標を含む請求項29に記載の方法。

【請求項32】

前記1つ以上のアクセスポイントは、第1の基本サービスセット(BSS)に関連する第1のアクセスポイントと第2のBSSに関連する第2のアクセスポイントを含み、前記第1のユーザー局は、前記第1のアクセスポイントに対して校正され、前記第2のユーザー局は、前記第2のアクセスポイントに対して校正され、前記第1及び第2のユーザー局の間の通信を確立することは、

前記第2のユーザー局との通信リンクを確立するために、パイロットと要求を前記第1のユーザー局から送ることと、

第1のユーザー局からの前記パイロットと前記要求の受信に応じて、ステアリングされたパイロットと肯定応答を前記第2のユーザー局から送ることと、

異なるアクセスポイントに対する前記第1及び第2のユーザー局の校正により起こる位相回転を補償するよう調整されるステアリングを用いて前記第1及び第2のユーザー局の間に情報を送信することとを含む請求項28に記載の方法。

【請求項33】

前記位相回転は、前記第2のユーザー局から受信した前記ステアリングされたパイロットに基づいて確定される請求項32に記載の方法。

【請求項34】

1つ以上の通信リンクに関連するチャネル応答の推定値から導き出される1つ以上の補正因子のセットに基づいて、複数のユーザー局と1つ以上のアクセスポイントとの間の1つ以上の通信リンクを校正する手段であり、前記複数のユーザー局は第1のユーザー局と第2のユーザー局を含む手段と、

前記第1及び第2のユーザー局の間の校正を行うことなくステアリングを用いて前記第1及び第2のユーザー局の間の通信を確立する手段と、
を含む装置。

【請求項35】

前記第1及び第2のユーザー局の間の通信を確立することは、

前記第2のユーザー局との通信リンクを確立するために、パイロットと要求を前記第1のユーザー局から送る手段と、

第1のユーザー局からの前記パイロットと前記要求の受信に応じて、ステアリングされ

10

20

30

40

50

たパイロットと肯定応答を前記第 2 のユーザー局から送る手段と、

前記ステアリングされたパイロットに基づいてステアリングを用いて前記第 1 及び第 2 のユーザー局の間で情報を送信する手段と、

を含む請求項 3 4 に記載の装置。

【請求項 3 6】

前記通信を確立するための要求は、前記第 1 のユーザー局が属する基本サービスセットの識別子と前記第 1 のユーザー局の識別子とを含む請求項 3 5 に記載の装置。

【請求項 3 7】

前記肯定応答は、前記第 2 のユーザー局の識別子、前記第 2 のユーザー局が属する基本サービスセットの識別子、及びデータレート指標を含む請求項 3 5 に記載の装置。

10

【請求項 3 8】

前記 1 つ以上のアクセスポイントは、第 1 の基本サービスセット (B S S) に関連する第 1 のアクセスポイントと第 2 の B S S に関連する第 2 のアクセスポイントを含み、前記第 1 のユーザー局は、前記第 1 のアクセスポイントに対して校正され、前記第 2 のユーザー局は、前記第 2 のアクセスポイントに対して校正され、前記第 1 及び第 2 のユーザー局の間の通信を確立することは、

前記第 2 のユーザー局との通信リンクを確立するために、パイロットと要求を前記第 1 のユーザー局から送ることと、

第 1 のユーザー局からの前記パイロットと前記要求の受信に応じて、ステアリングされたパイロットと肯定応答を前記第 2 のユーザー局から送ることと、

20

異なるアクセスポイントに対する前記第 1 及び第 2 のユーザー局の校正により起こる位相回転を補償するよう調整されるステアリングを用いて前記第 1 及び第 2 のユーザー局の間で情報を送信することを含む請求項 3 4 に記載の装置。

【請求項 3 9】

前記位相回転は、前記第 2 のユーザー局から受信した前記ステアリングされたパイロットに基づいて確定される請求項 3 8 に記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【分野】

【0001】

本発明は、一般に通信に関し、特に、時分割複信 (T D D) 通信システムにおいて下りリンク及び上りリンクのチャネル応答を校正するための技術に関する。

30

【0002】

本出願は、「時分割複信通信システムのためのチャネル校正」と題された米国仮出願番号 60 / 421, 462 号と、「MIMO WLAN システム」と題された米国仮出願番号 60 / 421, 309 号との利益を主張する。これらはどちらも 2002 年 10 月 25 日に出願され、本願の譲受人に譲渡され、本明細書中に参照により組み込まれている。

【背景】

【0003】

無線通信システムにおいて、アクセスポイントとユーザー端末との間のデータ伝送は、無線チャネルにわたって起こる。システム設計により、同じまたは異なる周波数帯域を下りリンク及び上りリンク用に使うことができる。下りリンク (すなわち順リンク) は、アクセスポイントからユーザー端末への伝送を表し、上りリンク (すなわち逆リンク) は、ユーザー端末からアクセスポイントへの伝送を表す。2 つの周波数帯域を利用できる場合、下りリンクと上りリンクは、周波数分割複信 (F D D) を使って別々の周波数帯域で送信することができる。1 つの周波数帯域しか利用できない場合、下りリンクと上りリンクは、時分割複信 (T D D) を使って同じ周波数を共有することができる。

40

【0004】

高性能を実現するために、多くの場合、無線チャネルの周波数応答を知る必要がある。例えば、下りリンクチャネルの応答は、ユーザー端末への下りリンクデータ伝送のための空間処理 (後述する) を行うために、アクセスポイントにより必要とされ得る。下りリン

50

クチャネル応答は、アクセスポイントにより送信されるパイロットに基づいてユーザー端末により推定することができる。次にユーザー端末は、チャネル推定をアクセスポイントに使用するように送り戻すことができる。このチャネル推定方式のために、パイロットは下りリンク上で送信される必要があり、チャネル推定をアクセスポイントに送り戻すために付加的な遅延とリソースが生じる。

【 0 0 0 5 】

共有の周波数帯域を有する TDD システムのために、下りリンクチャネル応答及び上りリンクチャネル応答は、互いの逆数であると仮定できる。すなわち、

【 数 1 】

10

H

【 0 0 0 6 】

がアンテナアレー A からアンテナアレー B へのチャネル応答行列を表わす場合、逆のチャネルは、アレー B からアレー A への結合が

【 数 2 】

20

H^T

【 0 0 0 7 】

で与えられることを示す。ここで

【 数 3 】

30

M^T

【 0 0 0 8 】

は行列

【 数 4 】

M

40

【 0 0 0 9 】

の転置を指す。したがって、TDD システムのために、1つのリンクに対するチャネル応答は、他のリンク上で送られるパイロットに基づいて推定することができる。例えば、上りリンクチャネル応答は上りリンクパイロットに基づいて推定することができ、上りリンクチャネル応答推定の逆数は下りリンクチャネル応答の推定として使用することができる。

【 0 0 1 0 】

しかしながら、アクセスポイントでの送信チェーンと受信チェーンの周波数応答は、一般にユーザー端末での送信チェーンと受信チェーンの周波数応答と異なる。特に、上りリンク伝送に使用される送信 / 受信チェーンの周波数応答は、下りリンク伝送に使用される

50

送信 / 受信チェーンの周波数応答と異なるであろう。そして、「有効」下りリンクチャンネル応答（すなわち、送信 / 受信チェーンを含む）は、送信 / 受信チェーンにおける差のため、有効上りリンクチャンネル応答の逆数と異なることになる（すなわち、有効チャンネル応答は逆数ではない）。1つのリンクに対して得たチャンネル応答推定の逆数が他のリンク上での空間処理のために使用される場合、送信 / 受信チェーンの周波数応答におけるいかなる差も、確定されず補償されないと、性能を低下させる誤りを表わすことになる。

【0011】

そのためこの技術分野において、TDD通信システムにおける下りリンクチャンネルと上りリンクチャンネルを校正する技術が必要とされている。

【発明の概要】

【0012】

本明細書中には、アクセスポイント及びユーザー端末での送信チェーン及び受信チェーンの周波数応答の差を補償する（account for）ために下りリンクチャンネル及び上りリンクチャンネルを校正する技術が提供されている。校正の後、1つのリンクに対して得られたチャンネル応答の推定値を、他のリンクに対するチャンネル応答の推定値を取得するために用いることができる。そしてこれは、チャンネル推定と空間処理を簡略化する。

【0013】

一実施形態において、無線TDD多入力多出力（MIMO）通信システムにおける下りリンクチャンネルと上りリンクチャンネルを校正する方法が提供される。この方法に基づき、パイロットが上りリンクチャンネル上で送信され、上りリンクチャンネル応答の推定値を導き出すために用いられる。また、パイロットが下りリンクチャンネル上で送信され、下りリンクチャンネル応答の推定値を導き出すために用いられる。次に、補正因子の2つのセットが、下りリンク及び上りリンクチャンネル応答の推定値に基づいて確定される。校正された下りリンクチャンネルが、下りリンクチャンネルのための第1の補正因子のセットを用いて形成され、校正された上りリンクチャンネルが、上りリンクチャンネルのための第2の補正因子のセットを用いて形成される。適切な補正因子が、各送信機で、下りリンクチャンネル及び上りリンクチャンネルのために用いられることになる。校正された下りリンクチャンネル及び上りリンクチャンネルの応答は、補正因子の2つのセットのため、ほぼ逆数である。第1及び第2の補正因子のセットは、後述するように、行列比計算または最小平均二乗誤差（MMSE）計算を用いて確定することができる。

【0014】

校正は、無線伝送に基づいてリアルタイムで行うことができる。システムの各ユーザー端末は、それ自身で使うために第2の補正因子のセットを導き出すことができる。アクセスポイントのための第1の補正因子のセットは、複数のユーザー端末により導き出すことができる。直交周波数分割多重（OFDM）システムのために、校正を第1のサブ帯域のセットに対して行うことができ、セット内の各サブ帯域のための補正因子の2つのセットを取得することができる。他の「校正されない」サブ帯域のための補正因子は、「校正される」サブ帯域のために取得された補正因子に基づいて補間することができる。

【0015】

本発明の様々な観点と実施形態が、以下に詳しく述べられている。

【0016】

本発明の特徴、性質、および利点は、以下に述べる詳細な説明を図面とともに参照することにより明らかになる。図面全体を通じて同じ参照符号により対応付けがなされている。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】図1は、MIMOシステム内のアクセスポイントとユーザー端末における送信チェーンと受信チェーンを示す。

【図2】図2は、アクセスポイントとユーザー端末における送信 / 受信チェーンの差を補償する補正行列の適用を示す。

10

20

30

40

50

【図3】図3は、TDD MIMO-OFDMシステムにおいて下りリンクチャネル応答及び上りリンクチャネル応答を校正するためのプロセスを示す。

【図4】図4は、下りリンクチャネル応答推定値及び上りリンクチャネル応答推定値から補正ベクトルの推定値を導き出すプロセスを示す。

【図5】図5は、アクセスポイント及びユーザー端末のブロック図である。

【図6】図6は、TX空間プロセッサのブロック図である。

【詳細な説明】

【0018】

本明細書中で述べられる校正技術は、様々な無線通信システムのために使用することができる。さらに、これらの技術は1入力1出力(SISO)システム、多入力1出力(MISO)システム、1入力多出力(SIMO)システム、及び多入力多出力(MIMO)システムに使用することができる。

10

【0019】

MIMOシステムは、データ伝送のために多重(N_T)送信アンテナと多重(N_R)受信アンテナを用いる。 N_T 送信アンテナと N_R 受信アンテナにより形成されたMIMOチャネルは、 $N_S = \min\{N_T, N_R\}$ の状態では N_S 独立チャネルに分解することができる。また、各 N_S 独立チャネルは空間サブチャネルまたはMIMOチャネルの固有モードと呼ばれ、1つの次元に対応する。複数の送信及び受信アンテナにより作られた付加的な次元の数を利用した場合、MIMOシステムは性能を向上することができる(例えば、伝送容量が増える)。これは、一般に送信機と受信機間のチャネル応答を正確に推定する必要がある。

20

【0020】

図1は、MIMOシステム内のアクセスポイント102とユーザー端末104における送信チェーンと受信チェーンのブロック図を示す。このシステムのために、下りリンクと上りリンクは時分割複信法で同じ周波数帯域を共有する。

【0021】

下りリンクのために、アクセスポイント102では、シンボル(「送信」ベクトル

【数5】

$$\underline{x}_{dn}$$

30

【0022】

で表わされる)が送信チェーン(TMTR)114により処理され、 N_{ap} アンテナ116から無線チャネル上で送信される。ユーザー端末104では、下りリンク信号が N_{ut} アンテナ152により受信され、受信されたシンボル(「受信」ベクトル

【数6】

$$\underline{r}_{dn}$$

40

【0023】

で表わされる)を供給するために受信チェーン(RCVR)154により処理される。送信チェーン114による処理は、一般にデジタル-アナログ変換、増幅、フィルタリング、周波数アップコンバージョンなどを含む。受信チェーン154による処理は、一般に周波数ダウンコンバージョン、増幅、フィルタリング、アナログ-デジタル変換などを含む。

【0024】

50

上りリンクのために、ユーザー端末 104 では、シンボル（送信ベクトル
【数 7】

$$\underline{x}_{up}$$

【0025】

で表わされる) が送信チェーン 164 により処理され、 N_{ut} アンテナ 152 から無線チャネル上で送信される。アクセスポイント 102 では、上りリンク信号が N_{ap} アンテナ 116 により受信され、受信されたシンボル（受信ベクトル

10

【数 8】

$$\underline{r}_{up}$$

【0026】

で表わされる) を供給するために受信チェーン 124 で処理される。

20

【0027】

下りリンクのために、ユーザー端末での受信ベクトルは、

【数 9】

$$\underline{r}_{dn} = \underline{R}_{ut} \underline{HT}_{ap} \underline{x}_{dn} \quad \text{式(1)}$$

【0028】

で表わされる。ここで、

30

【数 10】

$$\underline{x}_{dn}$$

【0029】

は、アクセスポイントにおいて N_{ap} アンテナから送信されたシンボルのための N_{ap} エントリを有する送信ベクトル、

【数 11】

40

$$\underline{r}_{dn}$$

【0030】

は、ユーザー端末において N_{ut} アンテナ上で受信されたシンボルのための N_{ut} エントリを有する受信ベクトル、

【数 1 2】

$$\underline{\mathbf{T}}_{ap}$$

【0 0 3 1】

は、アクセスポイントにおける N_{ap} アンテナのための送信チェーンに関連する複素ゲインのためのエントリを有する $N_{ap} \times N_{ap}$ 対角行列、

10

【数 1 3】

$$\underline{\mathbf{R}}_{ut}$$

【0 0 3 2】

は、ユーザー端末における N_{ut} アンテナのための受信チェーンに関連する複素ゲインのためのエントリを有する $N_{ut} \times N_{ut}$ 対角行列、

20

【数 1 4】

$$\underline{\mathbf{H}}$$

【0 0 3 3】

は、下りリンクのための $N_{ut} \times N_{ap}$ チャンネル応答行列、である。送信 / 受信チェーンと無線チャンネルの応答は、一般に周波数の関数である。簡単にするために、フラットフェージングチャンネル（すなわち、フラットな周波数応答を有する）を想定する。

30

【0 0 3 4】

上りリンクのために、アクセスポイントにおける受信ベクトルは、

【数 1 5】

$$\underline{\mathbf{r}}_{up} = \underline{\mathbf{R}}_{ap} \underline{\mathbf{H}}^T \underline{\mathbf{T}}_{ut} \underline{\mathbf{x}}_{up} \quad \text{式(2)}$$

40

【0 0 3 5】

で表わされる。ここで、

【数 1 6】

$$\underline{\mathbf{x}}_{up}$$

【0 0 3 6】

は、ユーザー端末において N_{ut} アンテナから送信されたシンボルのための送信ベクトル、

50

【数 17】

$$\underline{\mathbf{r}}_{\text{up}}$$

【0037】

は、アクセスポイントにおいて N_{ap} アンテナ上で受信されたシンボルのための受信ベクトル、

【数 18】

10

$$\underline{\mathbf{T}}_{\text{ut}}$$

【0038】

は、ユーザー端末における N_{ut} アンテナのための送信チェーンに関連する複素ゲインのためのエントリを有する $N_{\text{ut}} \times N_{\text{ut}}$ 対角行列、

【数 19】

20

$$\underline{\mathbf{R}}_{\text{ap}}$$

【0039】

は、アクセスポイントにおける N_{ap} アンテナのための受信チェーンに関連する複素ゲインのためのエントリを有する $N_{\text{ap}} \times N_{\text{ap}}$ 対角行列、

【数 20】

30

$$\underline{\mathbf{H}}^T$$

【0040】

は、上りリンクのための $N_{\text{ap}} \times N_{\text{ut}}$ チャンネル応答行列、である。

【0041】

TDDシステムのために、下りリンクと上りリンクが同じ周波数帯域を共有するので、下りリンクチャンネル応答と上りリンクチャンネル応答の間には、高度の相関が常に存在する。このため、下りリンクチャンネル応答行列と上りリンクチャンネル応答行列は、互いの逆数（すなわち転置）であると想定でき、それぞれ式（1）及び（2）に示すように、

40

【数 21】

$$\underline{\mathbf{H}}$$

【0042】

50

及び

【数 2 2】

$$\underline{\mathbf{H}}^T$$

【0043】

と表わすことができる。しかしながら、アクセスポイントにおける送信/受信チェーンの応答は、一般にユーザー端末における送信/受信チェーンの応答と等しくない。そしてその差は次の不等式になる。

10

【数 2 3】

$$\underline{\mathbf{R}}_{ap} \underline{\mathbf{H}}^T \underline{\mathbf{T}}_{ut} \neq (\underline{\mathbf{R}}_{ut} \underline{\mathbf{H}} \underline{\mathbf{T}}_{ap})^T$$

【0044】

式(1)及び(2)から、適用できる送信チェーン及び受信チェーンの応答を含む「有効」下りリンクチャネル応答及び上りリンクチャネル応答、

【数 2 4】

20

$$\underline{\mathbf{H}}_{dn}$$

【0045】

及び

【数 2 5】

30

$$\underline{\mathbf{H}}_{up}$$

【0046】

は、

【数 2 6】

$$\underline{\mathbf{H}}_{dn} = \underline{\mathbf{R}}_{ut} \underline{\mathbf{H}} \underline{\mathbf{T}}_{ap} \quad \text{及び} \quad \underline{\mathbf{H}}_{up} = \underline{\mathbf{R}}_{ap} \underline{\mathbf{H}}^T \underline{\mathbf{T}}_{ut} \quad \text{式(3)}$$

40

【0047】

で表わすことができる。一組の式(3)の2つの式を結合することにより、以下の関係が得られる。

【数 27】

$$\underline{\mathbf{R}}_{\text{ut}}^{-1} \underline{\mathbf{H}}_{\text{dn}} \underline{\mathbf{T}}_{\text{ap}}^{-1} = (\underline{\mathbf{R}}_{\text{ap}}^{-1} \underline{\mathbf{H}}_{\text{up}} \underline{\mathbf{T}}_{\text{ut}}^{-1})^T = \underline{\mathbf{T}}_{\text{ut}}^{-1} \underline{\mathbf{H}}_{\text{up}}^T \underline{\mathbf{R}}_{\text{ap}}^{-1} \quad \text{式(4)}$$

【0048】

式(4)を再び整理すると、以下が得られる。

【数 28】

$$\underline{\mathbf{H}}_{\text{up}}^T = \underline{\mathbf{T}}_{\text{ut}} \underline{\mathbf{R}}_{\text{ut}}^{-1} \underline{\mathbf{H}}_{\text{dn}} \underline{\mathbf{T}}_{\text{ap}}^{-1} \underline{\mathbf{R}}_{\text{ap}} = \underline{\mathbf{K}}_{\text{ut}}^{-1} \underline{\mathbf{H}}_{\text{dn}} \underline{\mathbf{K}}_{\text{ap}}$$

10

【0049】

または

【数 29】

$$\underline{\mathbf{H}}_{\text{up}} = (\underline{\mathbf{K}}_{\text{ut}}^{-1} \underline{\mathbf{H}}_{\text{dn}} \underline{\mathbf{K}}_{\text{ap}})^T \quad \text{式(5)}$$

20

【0050】

ここで、

【数 30】

$$\underline{\mathbf{K}}_{\text{ut}} = \underline{\mathbf{T}}_{\text{ut}}^{-1} \underline{\mathbf{R}}_{\text{ut}}$$

【0051】

及び

【数 31】

$$\underline{\mathbf{K}}_{\text{ap}} = \underline{\mathbf{T}}_{\text{ap}}^{-1} \underline{\mathbf{R}}_{\text{ap}}$$

30

【0052】

である。また、式(5)は、

【数 32】

$$\underline{\mathbf{H}}_{\text{up}} \underline{\mathbf{K}}_{\text{ut}} = (\underline{\mathbf{H}}_{\text{dn}} \underline{\mathbf{K}}_{\text{ap}})^T \quad \text{式(6)}$$

40

【0053】

と表わすことができる。

【0054】

50

式(6)の左辺は、上りリンク上の校正されたチャネル応答を表わし、右辺は下りリンク上の校正されたチャネル応答の転置を表わす。式(6)に示すように対角行列

【数33】

$$\underline{\mathbf{K}}_{ut}$$

【0055】

及び

【数34】

10

$$\underline{\mathbf{K}}_{ap}$$

【0056】

を有効な下りリンクチャネル応答及び上りリンクチャネル応答へ適用することにより、下りリンク及び上りリンクのための校正されたチャネル応答を互いの転置として表わすことができる。アクセスポイントのための($N_{ap} \times N_{ap}$)対角行列

【数35】

20

$$\underline{\mathbf{K}}_{ap}$$

【0057】

は、受信チェーン応答

【数36】

$$\underline{\mathbf{R}}_{ap}$$

30

【0058】

と送信チェーン応答

【数37】

$$\underline{\mathbf{T}}_{ap}$$

40

【0059】

との比(すなわち、

【数 3 8】

$$\underline{\mathbf{K}}_{ap} = \frac{\underline{\mathbf{R}}_{ap}}{\underline{\mathbf{T}}_{ap}}$$

【0 0 6 0】

）であり、ここで比は成分を成分で割って得られる。同様に、ユーザー端末のための（ $N_{ut} \times N_{ut}$ ）対角行列

10

【数 3 9】

$$\underline{\mathbf{K}}_{ut}$$

【0 0 6 1】

は、受信チェーン応答

【数 4 0】

20

$$\underline{\mathbf{R}}_{ut}$$

【0 0 6 2】

と

送信チェーン応答

【数 4 1】

$$\underline{\mathbf{T}}_{ut}$$

30

【0 0 6 3】

との比である。

【0 0 6 4】

行列

【数 4 2】

$$\underline{\mathbf{K}}_{ap}$$

40

【0 0 6 5】

及び

【数 4 3】

 \underline{K}_{ut}

【0066】

は、アクセスポイントとユーザー端末における送信/受信チェーンの差の原因となり得る値を含む。そして、これにより1つのリンクに対するチャンネル応答を、式(6)に示すように、他のリンクに対するチャンネル応答により表わすことができる。

10

【0067】

校正は、行列

【数 4 4】

 \underline{K}_{ap}

20

【0068】

及び

【数 4 5】

 \underline{K}_{ut}

【0069】

を確定するために行うことができる。一般に、真のチャンネル応答

30

【数 4 6】

 \underline{H}

【0070】

と送信/受信チェーン応答は識別されていないし、またそれらを正確にまたは簡単に突き止めることもできない。その代わりに、有効な下りリンクチャンネル応答及び上りリンクチャンネル応答

40

【数 4 7】

 \underline{H}_{dn}

【0071】

及び

【数 4 8】

$$\underline{\mathbf{H}}_{np}$$

【0 0 7 2】

を、以下に述べるように、それぞれ下りリンク及び上りリンク上で送られるパイロットに基づいて推定することができる。次に、補正行列

10

【数 4 9】

$$\underline{\hat{\mathbf{K}}}_{ap}$$

【0 0 7 3】

及び

【数 5 0】

20

$$\underline{\hat{\mathbf{K}}}_{ut}$$

【0 0 7 4】

と呼ばれる行列

【数 5 1】

30

$$\underline{\mathbf{K}}_{ap}$$

【0 0 7 5】

及び

【数 5 2】

$$\underline{\mathbf{K}}_{ut}$$

40

【0 0 7 6】

の推定は、後述するように、下りリンクチャネル応答推定及び上りリンクチャネル応答推定

【数 5 3】

$$\underline{\hat{\mathbf{H}}}_{dn}$$

【0 0 7 7】

50

及び

【数 5 4】

$$\hat{\mathbf{H}}_{vp}$$

【0078】

に基づいて導き出すことができる。行列

10

【数 5 5】

$$\hat{\mathbf{K}}_{ap}$$

【0079】

及び

【数 5 6】

20

$$\hat{\mathbf{K}}_{ut}$$

【0080】

は、アクセスポイントとユーザー端末における送信 / 受信チェーンの差を補償することができる補正因子を含む。

【0081】

30

図 2 は、アクセスポイントとユーザー端末における送信 / 受信チェーンの差を補償することができる補正行列

【数 5 7】

$$\hat{\mathbf{K}}_{ap}$$

【0082】

及び

40

【数 5 8】

$$\hat{\mathbf{K}}_{ut}$$

【0083】

の適用を示している。下りリンク上で、送信ベクトル

【数 5 9】

$\underline{\mathbf{x}}_{dn}$

【0084】

は、まずユニット 1 1 2 により行列

【数 6 0】

$\hat{\mathbf{K}}_{ap}$

10

【0085】

を掛けられる。送信チェーン 1 1 4 と受信チェーン 1 5 4 による下りリンクのためのその後の処理は、図 1 に示したものと同一である。同様に、上りリンク上で、送信ベクトル

【数 6 1】

20

$\underline{\mathbf{x}}_{up}$

【0086】

は、まずユニット 1 6 2 により行列

【数 6 2】

$\hat{\mathbf{K}}_{ut}$

30

【0087】

を掛けられる。この場合もまた、送信チェーン 1 6 4 と受信チェーン 1 2 4 による上りリンクのためのその後の処理は、図 1 に示したものと同一である。

【0088】

次に、ユーザー端末及びアクセスポイントにより監視される「校正された」下りリンクチャンネル応答及び上りリンクチャンネル応答は、それぞれ

【数 6 3】

40

$$\underline{\mathbf{H}}_{cdn} = \underline{\mathbf{H}}_{dn} \hat{\mathbf{K}}_{ap} \quad \text{及び} \quad \underline{\mathbf{H}}_{cup} = \underline{\mathbf{H}}_{up} \hat{\mathbf{K}}_{ut} \quad \text{式(7)}$$

【0089】

で表わすことができる。ここで、

【数 6 4】

$$\underline{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}^T$$

【0 0 9 0】

及び

【数 6 5】

$$\underline{\mathbf{H}}_{\text{cup}}$$

10

【0 0 9 1】

は、式(6)における「真の」校正されたチャネル応答式の推定である。式(6)における式を用いて一組の式(7)における2つの式を結合することにより、

【数 6 6】

$$\underline{\mathbf{H}}_{\text{cup}} \approx \underline{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}^T$$

20

【0 0 9 2】

と表わすことができる。

【数 6 7】

$$\underline{\mathbf{H}}_{\text{cup}} \approx \underline{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}^T$$

30

【0 0 9 3】

の関係の精度は、行列

【数 6 8】

$$\hat{\mathbf{K}}_{\text{ap}}$$

40

【0 0 9 4】

及び

【数 6 9】

$$\hat{\mathbf{K}}_{\text{ut}}$$

【0 0 9 5】

の精度に依存し、そしてまた一般に下りリンクチャネル応答推定及び上りリンクチャネル

50

応答推定
【数 7 0】

$$\hat{H}_{dn}$$

【0 0 9 6】
及び
【数 7 1】

10

$$\hat{H}_{up}$$

【0 0 9 7】
の品位に依存する。
【0 0 9 8】

上記に示したように、校正は、アクセスポイントとユーザー端末における送信 / 受信チェーンの応答の差を確定し、その差を補償するために、TDDシステムで行うことができる。一度送信 / 受信チェーンが校正されると、1つのリンクのために得た校正されたチャネル応答推定（例えば、

20

【数 7 2】

$$\hat{H}_{cdn}$$

【0 0 9 9】
) は、他のリンク（例えば、
【数 7 3】

30

$$\hat{H}_{cup}$$

【0 1 0 0】
) のための校正されたチャネル応答の推定を確定するのに用いることができる。

【0 1 0 1】

本明細書中で述べた校正技術は、OFDMを採用する無線通信システムに用いることもできる。OFDMは、全システム帯域幅を複数の (N_F) 直交サブ帯域に有効に分割することができ、これらは周波数ビンまたはサブチャンネルとも呼ばれる。OFDMに関して、各サブ帯域は、データが変調され得る各副搬送波と関連する。OFDMを利用するMIMOシステム（すなわち、MIMO-OFDMシステム）のために、各固有モードの各サブ帯域は、独立送信チャンネルとみなすことができる。

40

【0 1 0 2】

校正は様々な方法で行うことができる。簡単にするために、以下にTDD MIMO-OFDMシステムのための特定の校正方式について述べる。このシステムのために、無線リンクの各サブ帯域は逆になると想定する。

【0 1 0 3】

50

図3は、TDD MIMO-OFDMシステムにおいて下りリンクチャネル応答及び上りリンクチャネル応答を校正するためのプロセス300の実施形態のフローチャートである。初めに、ユーザー端末は、本システムのために規定された取得手順を用いてアクセスポイントのタイミング及び周波数を取得する(ステップ310)。次にユーザー端末は、アクセスポイントで校正を開始するためにメッセージを送ることができる。すなわち、校正はアクセスポイントにより開始することができる。校正は、アクセスポイントにより、(例えば、呼設定の間に)ユーザー端末の登録/認証と平行して行うことができ、また保証されたときはいつでも行うことができる。

【0104】

校正は、データ伝送に使用することができる全てのサブ帯域に対して行うことができる(これを「データ」サブ帯域と呼ぶ)。データ伝送に使用されないサブ帯域(例えば、ガードサブ帯域)は、一般に校正される必要はない。しかしながら、アクセスポイントとユーザー端末における送信/受信チェーンの周波数応答は、一般に所定の帯域の大部分にわたってフラットであり、隣接するサブ帯域は互いに関係がありそうであるため、校正はデータサブ帯域の1つのサブセットだけに対して行うことができる。校正されたデータサブ帯域が全てのデータサブ帯域よりも少ないと、校正されるべきサブ帯域(「指定」サブ帯域と称す)を、アクセスポイントに信号で伝えることができる(例えば、校正を開始するために送られるメッセージ中に)。

10

【0105】

校正のために、ユーザー端末は指定されたサブ帯域上のMIMOパイロットをアクセスポイントに送信する(ステップ312)。MIMOパイロットの生成は、以下に詳しく述べる。上りリンクMIMOパイロット伝送の継続時間は、指定サブ帯域の数に依存することができる。例えば、校正が4つのサブ帯域のために行われる場合、8OFDMシンボルで十分であろうが、より多いサブ帯域のためにはより多くの(例えば20)OFDMシンボルが必要であろう。総伝送電力は一般的に決められているので、MIMOパイロットが少数のサブ帯域上で送られると、これらのサブ帯域のそれぞれのためにより多量の送信電力を使うことになり、各サブ帯域のためのSNRが高くなるであろう。逆に、MIMOパイロットが多数のサブ帯域上で送られると、各サブ帯域のためにより少量の送信電力を使うことになり、各サブ帯域に対するSNRが悪くなるであろう。各サブ帯域のSNRが十分に高くない場合、より多くのOFDMシンボルがMIMOパイロットのために送られ、サブ帯域に対するより高い全SNRを得るために受信機において統合されることになる。

20

30

【0106】

アクセスポイントは、上りリンクMIMOパイロットを受信し、各指定サブ帯域のために上りリンクチャネル応答の推定値

【数74】

$$\hat{\mathbf{H}}_{up}(k)$$

40

【0107】

を導き出す。ここで、 k はサブ帯域指数を表わす。MIMOパイロットに基づくチャネル推定を以下に述べる。上りリンクチャネル応答推定値は、量子化され、ユーザー端末に送られる(ステップ314)。各行列

【数 7 5】

$$\hat{\mathbf{H}}_{up}(k)$$

【0 1 0 8】

のエントリは、k 番目のサブ帯域に対する上りリンクのための $N_{u,t}$ 送信アンテナと $N_{a,p}$ 受信アンテナとの間の複素チャネルゲインである。全ての行列のためのチャネルゲインは、全ての指定サブ帯域にわたって共通である特定の倍率によりスケールされ (scaled)、望ましいダイナミックレンジを得ることができる。例えば、各行列

【数 7 6】

$$\hat{\mathbf{H}}_{up}(k)$$

【0 1 0 9】

のチャネルゲインは、指定サブ帯域のための全ての行列

【数 7 7】

$$\hat{\mathbf{H}}_{up}(k)$$

【0 1 1 0】

のための最も大きいチャネルゲインにより逆スケールすることができ、そのためその最も大きいチャネルゲインは大きさが 1 である。校正の目的は下りリンクと上りリンクの間のゲイン / 位相差を正規化することにあるので、絶対的なチャネルゲインは重要ではない。12 ビットの複素値 (すなわち、12 ビット同相 (I) 成分と 12 ビット直交 (Q) 成分を有する) がチャネルゲインのために使われると、下りリンクチャネル応答推定値は、 $3 \cdot N_{u,t} \cdot N_{a,p} \cdot N_{s,b}$ バイトでユーザー端末に送ることができる。ここで、「3」は I 成分及び Q 成分を表わすのに用いられる 24 の全ビットのためであり、 $N_{s,b}$ は指定サブ帯域の数である。

【0 1 1 1】

また、ユーザー端末はアクセスポイントにより送信される下りリンク MIMO パイロットを受信し (ステップ 3 1 6)、受信したパイロットに基づいて各指定サブ帯域のために下りリンクチャネル応答の推定値

【数 7 8】

$$\hat{\mathbf{H}}_{dn}(k)$$

【0 1 1 2】

を導き出す (ステップ 3 1 8)。次にユーザー端末は、上りリンクチャネル応答推定値及び下りリンクチャネル応答推定値

10

20

30

40

【数 7 9】

$$\hat{\mathbf{H}}_{\text{up}}(k)$$

【0 1 1 3】

及び

【数 8 0】

10

$$\hat{\mathbf{H}}_{\text{dn}}(k)$$

【0 1 1 4】

に基づく各指定サブ帯域に対して、補正因子

【数 8 1】

20

$$\hat{\mathbf{K}}_{\text{ap}}(k)$$

【0 1 1 5】

及び

【数 8 2】

$$\hat{\mathbf{K}}_{\text{ut}}(k)$$

30

【0 1 1 6】

を確定する(ステップ 3 2 0)。

【0 1 1 7】

補正因子を導くために、以下のように、アクセスポイントとユーザー端末における送信 / 受信チェーンの差を補償するためのゲイン / 位相補正をした状態で、各サブ帯域に対する下りリンクチャンネル応答及び上りリンクチャンネル応答は逆数であると想定する。

【数 8 3】

$$\mathbf{H}_{\text{up}}(k)\mathbf{K}_{\text{ut}}(k) = (\mathbf{H}_{\text{dn}}(k)\mathbf{K}_{\text{ap}}(k))^T, k \in K$$

式(8)

40

【0 1 1 8】

ここで、Kは全てのデータサブ帯域を有するセットを表わす。校正の間に、有効な下りリンクチャンネル応答及び上りリンクチャンネル応答の推定値だけを指定サブ帯域に利用できるため、式(8)は

【数 8 4】

$$\hat{\mathbf{H}}_{op}(k)\hat{\mathbf{K}}_{ut}(k) = (\hat{\mathbf{H}}_{on}(k)\hat{\mathbf{K}}_{ap}(k))^T, \quad k \in K' \quad \text{式(9)}$$

【0 1 1 9】

と書き換えることができる。ここで、 K' は全ての指定サブ帯域を有するセットを表わす。補正ベクトル

10

【数 8 5】

$$\hat{\mathbf{k}}_{ut}(k)$$

【0 1 2 0】

は、

【数 8 6】

20

$$\hat{\mathbf{K}}_{ut}(k)$$

【0 1 2 1】

の N_{ut} 対角成分だけを含むと定義できる。同様に、補正ベクトル

【数 8 7】

30

$$\hat{\mathbf{k}}_{ap}(k)$$

【0 1 2 2】

は、

【数 8 8】

$$\hat{\mathbf{K}}_{ap}(k)$$

40

【0 1 2 3】

の N_{ap} 対角成分だけを含むと定義できる。

【0 1 2 4】

補正因子

【数 8 9】

$$\hat{\mathbf{K}}_{ap}(k)$$

50

【 0 1 2 5 】

及び

【 数 9 0 】

$$\hat{\mathbf{K}}_{ut}(k)$$

【 0 1 2 6 】

は、行列比計算や最小平均二乗誤差 (M M S E) 計算による方法を含む様々な方法でチャンネル推定値

【 数 9 1 】

10

$$\hat{\mathbf{H}}_{du}(k)$$

【 0 1 2 7 】

及び

【 数 9 2 】

20

$$\hat{\mathbf{H}}_{vp}(k)$$

【 0 1 2 8 】

から導き出すことができる。これらの計算方法は、いずれも以下でより詳しく述べる。他の計算方法も用いることができ、これは本発明の範囲である。

30

【 0 1 2 9 】

A . 行列比計算

図 4 は行列比計算を用いて下りリンクチャンネル応答推定値及び上りリンクチャンネル応答推定値

【 数 9 3 】

$$\hat{\mathbf{k}}_{ut}(k)$$

40

【 0 1 3 0 】

及び

【 数 9 4 】

$$\hat{\mathbf{k}}_{sp}(k)$$

【 0 1 3 1 】

から補正ベクトル

50

【数 9 5】

$$\hat{\underline{H}}_{\text{up}}(k)$$

【 0 1 3 2】

及び

【数 9 6】

$$\hat{\underline{H}}_{\text{dn}}(k)$$

10

【 0 1 3 3】

を導き出すためのプロセス 3 2 0 a の実施形態のフローチャートである。プロセス 3 2 0 a は、図 3 のステップ 3 2 0 のために用いることができる。

【 0 1 3 4】

初めに、 $(N_{\text{ut}} \times N_{\text{ap}})$ 行列

【数 9 7】

20

$$\underline{C}(k)$$

【 0 1 3 5】

が、次のように各指定サブ帯域のために計算される（ステップ 4 1 2）。

【数 9 8】

30

$$\underline{C}(k) = \frac{\hat{\underline{H}}_{\text{up}}^T(k)}{\hat{\underline{H}}_{\text{dn}}(k)}, \quad k \in K'$$

式(10)

【 0 1 3 6】

ここで、比は成分を成分で割って得られる。したがって、

【数 9 9】

40

$$\underline{C}(k)$$

【 0 1 3 7】

の各成分は、

【数 1 0 0】

$$c_{i,j}(k) = \frac{\hat{h}_{vp,i,j}(k)}{\hat{h}_{dn,i,j}(k)}, \quad i = \{1 \dots N_m\} \text{ 及び } j = \{1 \dots N_{ap}\} \quad \text{式(11)}$$

【0 1 3 8】

と計算することができる。ここで、

【数 1 0 1】

10

$$\hat{h}_{vp,i,j}(k)$$

【0 1 3 9】

及び

【数 1 0 2】

20

$$\hat{h}_{dn,i,j}(k)$$

【0 1 4 0】

は、それぞれ

【数 1 0 3】

30

$$\hat{\mathbf{H}}_{vp}^T(k)$$

【0 1 4 1】

及び

【数 1 0 4】

$$\hat{\mathbf{H}}_{dn}(k)$$

式(10)

40

【0 1 4 2】

の (i , j) 番目 (行 , 列) の成分であり、 c_{i , j} (k) は

【数 1 0 5】

$$\underline{\mathbf{C}}(k)$$

【0 1 4 3】

の (i , j) 番目の成分である。

50

【 0 1 4 4 】

ある実施形態において、アクセスポイントのための補正ベクトル

【 数 1 0 6 】

$$\hat{\underline{\mathbf{k}}}_{ap}(k)$$

式(11)

【 0 1 4 5 】

は、

【 数 1 0 7 】

10

$$\underline{\mathbf{C}}(k)$$

【 0 1 4 6 】

の正規化された行の平均値に等しくあるよう規定され、ブロック 4 2 0 のステップにより導き出される。まず

【 数 1 0 8 】

20

$$\underline{\mathbf{C}}(k)$$

【 0 1 4 7 】

の各行は、その行の各 N_{ap} 成分をその行の一番目の成分でスケールリングすることで正規化される (ステップ 4 2 2)。したがって、

【 数 1 0 9 】

30

$$\underline{\mathbf{e}}_i(k) = [c_{i,1}(k) \dots c_{i,N_{ap}}(k)]$$

【 0 1 4 8 】

が

【 数 1 1 0 】

$$\underline{\mathbf{C}}(k)$$

40

【 0 1 4 9 】

の i 番目の行であると、正規化された行

【 数 1 1 1 】

$$\tilde{\underline{\mathbf{c}}}_i(k)$$

【 0 1 5 0 】

は、

50

【数 1 1 2】

$$\tilde{\underline{c}}_i(k) = [c_{i,1}(k)/c_{i,1}(k) \dots c_{i,j}(k)/c_{i,j}(k) \dots c_{i,N_{\text{ap}}}(k)/c_{i,j}(k)] \quad \text{式(12)}$$

【0 1 5 1】

と表わすことができる。次に、正規化された行の平均値は、 N_{ut} で除算された N_{ut} 正規化行の合計として確定される（ステップ 4 2 4）。補正ベクトル

【数 1 1 3】

$$\hat{\underline{k}}_{\text{ap}}(k)$$

10

【0 1 5 2】

は、この平均値に等しく定められ（ステップ 4 2 6）、

【数 1 1 4】

$$\hat{\underline{k}}_{\text{ap}}(k) = \frac{1}{N_{\text{m}}} \sum_{i=1}^{N_{\text{m}}} \tilde{\underline{c}}_i(k), \quad k \in K' \quad \text{式(13)}$$

20

【0 1 5 3】

と表わすことができる。正規化のため、

【数 1 1 5】

$$\hat{\underline{k}}_{\text{ap}}(k)$$

30

【0 1 5 4】

の一番目の成分は単位元（unity）である。

【0 1 5 5】

ある実施形態において、ユーザー端末のための補正ベクトル

【数 1 1 6】

$$\hat{\underline{k}}_{\text{ut}}(k)$$

40

【0 1 5 6】

は、

【数 1 1 7】

$$\underline{C}(k)$$

50

【 0 1 5 7 】

の正規化された列の逆数の平均値に等しくなるよう規定され、ブロック 4 3 0 のステップにより導き出される。まず

【 数 1 1 8 】

$$\underline{C}(k)$$

【 0 1 5 8 】

の j 番目の各列は、その列の各成分をベクトル

10

【 数 1 1 9 】

$$\hat{\underline{k}}_{ap}(k)$$

【 0 1 5 9 】

の j 番目の成分でスケーリングすることで正規化され、これは $K_{ap,j,j}(k)$ で表わされる (ステップ 4 3 2)。したがって、

【 数 1 2 0 】

20

$$\underline{c}_j(k) = [c_{1,j}(k) \dots c_{N_w,j}(k)]^T$$

【 0 1 6 0 】

が

【 数 1 2 1 】

30

$$\underline{C}(k)$$

【 0 1 6 1 】

の j 番目の列である場合、正規化された列

【 数 1 2 2 】

40

$$\check{\underline{c}}_j(k)$$

【 0 1 6 2 】

は、

【数 1 2 3】

$$\underline{\tilde{c}}_j(k) = [c_{1,j}(k)/K_{ap,j,j}(k) \dots c_{i,j}(k)/K_{ap,j,j}(k) \dots c_{N_{ap},j}(k)/K_{ap,j,j}(k)]^T \quad \text{式(14)}$$

【0 1 6 3】

と表わすことができる。次に、正規化された列の逆数の平均値は、 N_{ap} で除算された N_{ap} 正規化列の逆数の合計として確定される（ステップ 4 3 4）。補正ベクトル

【数 1 2 4】

$$\hat{\underline{k}}_{ut}(k)$$

10

【0 1 6 4】

は、この平均値に等しく定められ（ステップ 4 3 6）、

【数 1 2 5】

$$\hat{\underline{k}}_{ut}(k) = \frac{1}{N_{ap}} \sum_{j=1}^{N_{ap}} \frac{1}{\underline{\tilde{c}}_j(k)}, \quad k \in K \quad \text{式(15)}$$

20

【0 1 6 5】

と表わすことができる。ここで、正規化された列

【数 1 2 6】

$$\underline{\tilde{c}}_j(k)$$

30

【0 1 6 6】

の反転は、成分に関して行われる。

【0 1 6 7】

B . M M S E 計算

M M S E 計算のために、校正された下りリンクチャネル応答と校正された上りリンクチャネル応答との間の平均二乗誤差（M S E）が最小になるように、補正因子

【数 1 2 7】

40

$$\hat{\underline{K}}_{ap}(k)$$

【0 1 6 8】

及び

【数 1 2 8】

$$\hat{\mathbf{K}}_{\text{ul}}(k)$$

【0 1 6 9】

が下りリンクチャネル応答推定値及び上りリンクチャネル応答推定値

【数 1 2 9】

$$\hat{\mathbf{H}}_{\text{dn}}(k)$$

10

【0 1 7 0】

及び

【数 1 3 0】

$$\hat{\mathbf{H}}_{\text{up}}(k)$$

【0 1 7 1】

20

から導き出される。この条件は、

【数 1 3 1】

$$\min \left| (\hat{\mathbf{H}}_{\text{dn}}(k)\hat{\mathbf{K}}_{\text{ap}}(k))^T - \hat{\mathbf{H}}_{\text{up}}(k)\hat{\mathbf{K}}_{\text{ul}}(k) \right|^2, \quad k \in K \quad \text{式(16)}$$

【0 1 7 2】

と表わすことができる。また、これは

【数 1 3 2】

30

$$\min \left| \hat{\mathbf{K}}_{\text{ap}}(k)\hat{\mathbf{H}}_{\text{dn}}^T(k) - \hat{\mathbf{H}}_{\text{up}}(k)\hat{\mathbf{K}}_{\text{ul}}(k) \right|^2, \quad k \in K$$

【0 1 7 3】

と書き換えることができる。ここで、

【数 1 3 3】

40

$$\hat{\mathbf{K}}_{\text{ap}}(k)$$

【0 1 7 4】

は対角行列であるため、

【数 1 3 4】

$$\hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ap}}^T(k) = \hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ap}}(k)$$

【0 1 7 5】

である。

【0 1 7 6】

式 (1 6) は、

【数 1 3 5】

10

$$\hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ap}}(k)$$

【0 1 7 7】

の先頭の成分が単位元と等しくなる (すなわち、

【数 1 3 6】

$$\hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ap},0,0}(k) = 1$$

20

【0 1 7 8】

) よう定められる制約を受ける。この制約なしに、自明な解が、0 に等しくなるよう定められる行列

【数 1 3 7】

$$\hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ap}}(k)$$

30

【0 1 7 9】

及び

【数 1 3 8】

$$\hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ut}}(k)$$

40

【0 1 8 0】

の全ての成分で得られることになる。式 (1 6) において、まず行列

【数 1 3 9】

$$\underline{\mathbf{Y}}(k)$$

【0 1 8 1】

50

が

【数 1 4 0】

$$\underline{\mathbf{Y}}(k) = \hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ap}}(k) \hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{dn}}^T(k) - \hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{up}}(k) \hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{m}}(k)$$

【0 1 8 2】

として得られる。次に、絶対値の二乗が行列

【数 1 4 1】

10

$$\underline{\mathbf{Y}}(k)$$

【0 1 8 3】

の各 $N_{\text{ap}} \cdot N_{\text{ut}}$ エントリのために得られる。次に、平均二乗誤差（または二乗誤差、 $N_{\text{ap}} \cdot N_{\text{ut}}$ による除算が省略されるため）が、全ての $N_{\text{ap}} \cdot N_{\text{ut}}$ 二乗値の合計に等しくなる。

【0 1 8 4】

MMSE 計算は、各指定サブ帯域に対して行われ、そのサブ帯域のための補正因子

20

【数 1 4 2】

$$\hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ap}}(k)$$

【0 1 8 5】

及び

【数 1 4 3】

30

$$\hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{m}}(k)$$

【0 1 8 6】

を得る。1つのサブ帯域に対するMMSE計算を以下に述べる。簡単にするために、サブ帯域指数 k は以下の説明で省略する。また簡単にするために、下りリンクチャネル応答推定値

【数 1 4 4】

$$\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{dn}}^T$$

40

【0 1 8 7】

の成分は $\{ a_{ij} \}$ で表わされ、上りリンクチャネル応答推定値

【数 1 4 5】

$$\hat{\mathbf{H}}_{up}$$

【0 1 8 8】

の成分は $\{b_{ij}\}$ で表わされ、行列

【数 1 4 6】

10

$$\hat{\mathbf{K}}_{ap}$$

【0 1 8 9】

の対角成分は $\{u_{ij}\}$ で表わされ、行列

【数 1 4 7】

20

$$\hat{\mathbf{K}}_{ut}$$

【0 1 9 0】

の対角成分は $\{v_j\}$ で表わされる。ここで、 $i = \{1 \dots N_{ap}\}$ 及び $j = \{1 \dots N_{ut}\}$ である。

【0 1 9 1】

平均二乗誤差は、式 (16) から次のように書き換えることができ、

【数 1 4 8】

30

$$\text{MSE} = \sum_{j=1}^{N_{ut}} \sum_{i=1}^{N_{ap}} |a_{ij}u_i - b_{ij}v_j|^2 \quad \text{式(17)}$$

【0 1 9 2】

再び $u_1 = 1$ の制約を受ける。最小二乗平均誤差は、 u 及び v に対して式 (17) の偏導関数を得て、この偏導関数を 0 に設定することで得ることができる。これらの演算の結果は、次の式のセットとなる。

【数 1 4 9】

$$\sum_{j=1}^{N_{ut}} (a_{ij}u_i - b_{ij}v_j) \cdot a_{ij}^* = 0, \quad i \in \{2 \dots N_{ap}\}, \text{ 及び} \quad \text{式(18a)}$$

$$\sum_{i=1}^{N_{ap}} (a_{ij}u_i - b_{ij}v_j) \cdot b_{ij}^* = 0, \quad j \in \{1 \dots N_{ut}\} \quad \text{式(18b)}$$

10

【0 1 9 3】

式(18a)において、この場合に偏導関数が無いように $u_i = 1$ とし、指数 i は 2 から N_{ap} に至る。

【0 1 9 4】

式のセット(18a)及び(18b)における $(N_{ap} + N_{ut} - 1)$ 式のセットは、

20

【数 1 5 0】

$$\underline{\mathbf{A}}\underline{\mathbf{y}} = \underline{\mathbf{z}} \quad \text{式(19)}$$

【0 1 9 5】

ここで、

30

【数 1 5 1】

$$\underline{\mathbf{A}} = \begin{bmatrix}
 \sum_{j=1}^{N_m} |a_{2j}|^2 & 0 & \dots & 0 & -b_{21} a_{21}^* & \dots & -b_{2N_{op}} a_{2N_{op}}^* \\
 0 & \sum_{j=1}^{N_m} |a_{3j}|^2 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 \dots & 0 & \dots & 0 & \dots & \dots & \dots \\
 0 & \dots & 0 & \sum_{j=1}^{N_m} |a_{N_{op}j}|^2 & -b_{N_{op}1} a_{N_{op}1}^* & \dots & -b_{N_{op}N_{op}} a_{N_{op}N_{op}}^* \\
 -a_{21} b_{21}^* & \dots & \dots & -a_{N_{op}1} b_{N_{op}1}^* & \sum_{i=1}^{N_{op}} |b_{i1}|^2 & 0 & \dots & 0 \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & \sum_{i=1}^{N_{op}} |b_{i2}|^2 & 0 & \dots \\
 -a_{2N_{op}} b_{2N_{op}}^* & \dots & \dots & -a_{N_{op}N_{op}} b_{N_{op}N_{op}}^* & 0 & \dots & 0 & \sum_{i=1}^{N_{op}} |b_{iN_{op}}|^2
 \end{bmatrix} \tag{10}$$

20

$$\underline{\mathbf{y}} = \begin{bmatrix} u_2 \\ u_3 \\ \dots \\ u_{N_{op}} \\ v_1 \\ v_2 \\ \dots \\ v_{N_m} \end{bmatrix} \quad \text{及び} \quad \underline{\mathbf{z}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \\ a_{11} b_{11}^* \\ a_{12} b_{12}^* \\ \dots \\ a_{1N_m} b_{1N_m}^* \end{bmatrix} \tag{30}$$

30

40

【 0 1 9 6 】
 である。
 【 0 1 9 7 】
 行列

【数 1 5 2】

A

【0 1 9 8】

は、 $(N_{a_p} + N_{u_t} - 1)$ 行を含み、第 1 の $N_{a_p} - 1$ 行は式のセット (1 8 a) からの $N_{a_p} - 1$ 式に相当し、最後の N_{u_t} 行は式のセット (1 8 b) からの N_{u_t} 式に相当する。特に、行列

10

【数 1 5 3】

A

【0 1 9 9】

の第 1 の行は、式のセット (1 8 a) から $i = 2$ で生成され、第 2 の行は $i = 3$ で生成され、以下同様である。行列

20

【数 1 5 4】

A

【0 2 0 0】

の N_{a_p} 番目の行は、式のセット (1 8 b) から $j = 1$ で生成され、以下同様であり、最後の行は $j = N_{u_t}$ で生成される。上記に示したように、行列

30

【数 1 5 5】

A

【0 2 0 1】

のエントリとベクトル

【数 1 5 6】

Z

【0 2 0 2】

のエントリは、行列

40

【数 1 5 7】

 \hat{H}_{db}^T

50

【 0 2 0 3 】

及び

【 数 1 5 8 】

$$\hat{\mathbf{H}}_{\text{up}}$$

【 0 2 0 4 】

のエントリに基づいて得ることができる。

10

【 0 2 0 5 】

補正因子はベクトル

【 数 1 5 9 】

$$\underline{\mathbf{y}}$$

【 0 2 0 6 】

に含まれ、これは

20

【 数 1 6 0 】

$$\underline{\mathbf{y}} = \underline{\mathbf{A}}^{-1} \underline{\mathbf{z}}$$

式(20)

【 0 2 0 7 】

で得られる。

【 0 2 0 8 】

M M S E 計算の結果は、式 (1 6) に示すように、校正された下りリンクチャネル応答及び上りリンクチャネル応答における平均二乗誤差を最小にする補正行列

30

【 数 1 6 1 】

$$\hat{\mathbf{K}}_{\text{ap}}$$

【 0 2 0 9 】

及び

【 数 1 6 2 】

$$\hat{\mathbf{K}}_{\text{ut}}$$

40

【 0 2 1 0 】

である。行列

【数 1 6 3】

$$\hat{\underline{K}}_{ap}$$

【 0 2 1 1 】

及び

【数 1 6 4】

10

$$\hat{\underline{K}}_{ut}$$

【 0 2 1 2 】

は、下りリンクチャネル応答推定値及び上りリンクチャネル応答推定値

20

【数 1 6 5】

$$\hat{\underline{H}}_{dn}$$

【 0 2 1 3 】

及び

【数 1 6 6】

30

$$\hat{\underline{H}}_{up}$$

【 0 2 1 4 】

に基づいて得られるので、補正行列

【数 1 6 7】

$$\hat{\underline{K}}_{ap}$$

【 0 2 1 5 】

及び

【数 1 6 8】

40

$$\hat{\underline{K}}_{ut}$$

【 0 2 1 6 】

の品位はチャネル推定値

【数 1 6 9】

$$\hat{\underline{H}}_{dn}$$

【 0 2 1 7 】

10

及び

【数 1 7 0】

$$\hat{\underline{H}}_{up}$$

【 0 2 1 8 】

20

の品位に依存する。MIMOパイロットは、

【数 1 7 1】

$$\hat{\underline{H}}_{dn}$$

【 0 2 1 9 】

及び

【数 1 7 2】

$$\hat{\underline{H}}_{up}$$

30

【 0 2 2 0 】

に対するより正確な推定値を得るために受信機で平均をとることができる。

【 0 2 2 1 】

M M S E 計算に基づいて得られた補正行列

【数 1 7 3】

$$\hat{\underline{K}}_{ap}$$

40

【 0 2 2 2 】

及び

【数 1 7 4】

$$\hat{\underline{K}}_{ul}$$

【 0 2 2 3 】

は、一般に行列比計算に基づいて得られた補正行列よりも良い。特にチャネルゲインの一

50

部が小さく、測定雑音がチャネルゲインを大いに劣化させることができる場合に良い。

【 0 2 2 4 】

C . 計算後

使用のために選択された特定の計算方法に関わらず、補正行列の計算の終了後、全ての指定サブ帯域に対して、ユーザー端末はアクセスポイントのための補正ベクトル

【 数 1 7 5 】

$$\hat{\underline{\mathbf{k}}}_{ap}(k)$$

10

【 0 2 2 5 】

をアクセスポイントに送る。12ビット複素値が

【 数 1 7 6 】

$$\hat{\underline{\mathbf{k}}}_{ap}(k)$$

20

【 0 2 2 6 】

における各補正因子のために用いられる場合、全ての指定サブ帯域に対する補正ベクトル

【 数 1 7 7 】

$$\hat{\underline{\mathbf{k}}}_{ap}(k)$$

30

【 0 2 2 7 】

は $3 \cdot (N_{ap} - 1) \cdot N_{sb}$ バイトでアクセスポイントに送ることができる。ここで、「3」はI成分及びQ成分用に用いられる24の全ビットのためであり、 $(N_{ap} - 1)$ は、単位元に等しくそれゆえ送られる必要がない各ベクトル

【 数 1 7 8 】

$$\hat{\underline{\mathbf{k}}}_{ap}(k)$$

40

【 0 2 2 8 】

における第1の成分により生じる。第1の成分が $2^9 - 1 = +511$ に設定される場合、12dBのヘッドルームを利用でき（正符号付きの12ビットの最大値は $2^{11} - 1 = +2047$ であるため）、これにより下りリンクと上りリンクの間の最大12dBのゲインの不整合を12ビットの値で吸収させることになる。下りリンクと上りリンクが12dB内で整合し、第1の成分が511の値に正規化される場合、他の成分は絶対値で $511 \cdot 4 = 2044$ よりも大きくならないはずであり、12ビットで表わすことができる。

【 0 2 2 9 】

補正ベクトル

【数 1 7 9】

$$\hat{\underline{k}}_{ap}(k)$$

【0 2 3 0】

及び

【数 1 8 0】

$$\hat{\underline{k}}_{ut}(k)$$

10

【0 2 3 1】

の対は、各指定サブ帯域のために得られる。全てのデータサブ領域よりも少ないデータサブ領域のために行われる場合、「校正されない」サブ領域のための補正因子は、指定サブ領域のために得られた補正因子を補間することにより得ることができる。補間は、 $k = K$ の場合に補正ベクトル

【数 1 8 1】

$$\hat{\underline{k}}_{ap}(k)$$

20

【0 2 3 2】

を得るためにアクセスポイントにより行うことができる。同様に、補間は、 $k = K$ の場合に補正ベクトル

【数 1 8 2】

30

$$\hat{\underline{k}}_{ut}(k)$$

【0 2 3 3】

を得るためにユーザー端末により行うことができる。

【0 2 3 4】

その後、アクセスポイントとユーザー端末は、 $k = K$ の場合にそれぞれ補正ベクトル

【数 1 8 3】

40

$$\hat{\underline{k}}_{ap}(k)$$

【0 2 3 5】

及び

【数 1 8 4】

$$\hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{dl}}(k)$$

【 0 2 3 6】

または対応する補正行列

【数 1 8 5】

$$\hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{up}}(k)$$

10

【 0 2 3 7】

及び

【数 1 8 6】

$$\hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ul}}(k)$$

【 0 2 3 8】

20

を使い、後述するように、無線チャネル上で伝送する前に変調シンボルをスケーリングする。そしてユーザー端末が認識する有効な下りリンクチャネルは、

【数 1 8 7】

$$\underline{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k) = \underline{\mathbf{H}}_{\text{dn}}(k)\hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{up}}(k)$$

30

【 0 2 3 9】

となるであろう。

【 0 2 4 0】

上述した校正方式は、それによって補正因子のベクトルが各アクセスポイント及びユーザー端末のために得られ、校正が様々なユーザー端末により行われた場合に、「互換性がある」補正ベクトルがアクセスポイントのために導き出されることを可能にする。アクセスポイントが（例えば、1つ以上の他のユーザー端末により）すでに校正されている場合、現時の補正ベクトルは新たに導かれた補正ベクトルで更新することができる。

【 0 2 4 1】

40

例えば、2つのユーザー端末が同時に校正手続きを行う場合、これらのユーザー端末からの校正結果は、性能を向上させるために平均化することができる。しかしながら、校正は一般に一時に1つのユーザー端末に対して行われる。そのため、2番目のユーザー端末は、すでに適用された1番目のユーザー端末のための補正ベクトルを用いて下りリンクを監視する。この場合、2番目の補正ベクトルと前の補正ベクトルとの積を新しい補正ベクトルとして用いることができるか、「重み付け平均」（後述する）も用いることができる。アクセスポイントは、一般に全てのユーザー端末のために単一の補正ベクトルを使い、異なるユーザー端末のために異なるものを使わない（これも実行され得るが）。複数のユーザー端末からの更新または1つのユーザー端末からの連続した更新は、同じ方法で処理することができる。更新されたベクトルは（積演算により）直接適用することができる。

50

その代わりに、測定雑音を減少することが望まれる平均化がある場合、重み付け平均を以下に述べるように用いることができる。

【 0 2 4 2 】

したがって、アクセスポイントが、ユーザー端末が新たな補正ベクトル
【数 1 8 8】

$$\hat{\underline{\mathbf{k}}}_{\text{ap2}}(k)$$

10

【 0 2 4 3 】

を確定する M I M O パイロットを送信するために補正ベクトル
【数 1 8 9】

$$\hat{\underline{\mathbf{k}}}_{\text{ap1}}(k)$$

【 0 2 4 4 】

を使う場合、更新された補正ベクトル
【数 1 9 0】

20

$$\hat{\underline{\mathbf{k}}}_{\text{ap3}}(k)$$

【 0 2 4 5 】

は、現時の補正ベクトルと新たな補正ベクトルとの積である。補正ベクトル
【数 1 9 1】

$$\hat{\underline{\mathbf{k}}}_{\text{ap1}}(k)$$

30

【 0 2 4 6 】

及び
【数 1 9 2】

$$\hat{\underline{\mathbf{k}}}_{\text{ap2}}(k)$$

【 0 2 4 7 】

は、同一のまたは異なるユーザー端末により導き出すことができる。

40

【 0 2 4 8 】

1つの実施形態において、更新された補正ベクトルは、

【数 1 9 3】

$$\hat{\underline{k}}_{ap3}(k) = \hat{\underline{k}}_{ap1}(k) \cdot \hat{\underline{k}}_{ap2}(k)$$

【0 2 4 9】

10

と定義される。ここで、乗算は成分掛ける成分である。他の実施形態において、更新された補正ベクトルは、

【数 1 9 4】

$$\hat{\underline{k}}_{ap3}(k) = \hat{\underline{k}}_{ap1}(k) \cdot \hat{\underline{k}}_{ap2}^{\alpha}(k)$$

【0 2 5 0】

20

と再定義することができる。ここで、 α は重み付け平均を行うのに用いられる因子である（例えば、 $0 < \alpha < 1$ ）。校正の更新があまり行われな場合、 α に近い α を行うのが最も良いであろう。校正の更新が頻繁に行われるものの雑音がある場合、 α にはより小さい値がより良い。そして更新された補正ベクトル

【数 1 9 5】

$$\hat{\underline{k}}_{ap3}(k)$$

【0 2 5 1】

30

は、再び更新されるまで、アクセスポイントにより用いることができる。

【0 2 5 2】

上述したように、校正は全てのデータサブ帯域よりも少ないサブ帯域に対して行うことができる。例えば、校正は全ての n 番目のサブ帯域のために行うことができる。ここで、 n は送信 / 受信チェーンの予期される応答により確定することができる（例えば、 n は 2, 4, 8, 16, 以下同様とすることができる）。また校正は、不均一な分散サブ帯域のために行うことができる。例えば、通過帯域の端部で、送信 / 受信チェーンにおいてより多くの不整合を生み出し得るより多くのフィルタロールオフがあることがあるので、帯域端部近くのより多くのサブ帯域を校正することができる。一般に、かなりの数のどんな分布のサブ帯域でも校正することができ、これは本発明の範囲内である。

40

【0 2 5 3】

上記の説明において、 $k = K'$ の場合の補正ベクトル

【数 1 9 6】

$$\hat{\underline{k}}_{ap}(k)$$

【0 2 5 4】

及び

【数 1 9 7】

$$\hat{\underline{k}}_{ut}(k)$$

【 0 2 5 5】

はユーザー端末により導き出され、ベクトル

【数 1 9 8】

$$\hat{\underline{k}}_{ap}(k)$$

10

【 0 2 5 6】

はアクセスポイントに送り戻される。この方式は、多元接続システムのためにユーザー端末の間で校正処理を有利に割り当てる。しかしながら、補正ベクトル

【数 1 9 9】

$$\hat{\underline{k}}_{sp}(k)$$

20

【 0 2 5 7】

及び

【数 2 0 0】

30

$$\hat{\underline{k}}_{ut}(k)$$

【 0 2 5 8】

は、アクセスポイントにより導き出すこともでき、これはベクトル

【数 2 0 1】

$$\hat{\underline{k}}_{ut}(k)$$

40

【 0 2 5 9】

をユーザー端末に送り戻すことになり、これは本発明の範囲内である。

【 0 2 6 0】

上述した校正方式は、各ユーザー端末が無線伝送を通じてリアルタイムでその送信/受信チェーンを校正することを可能にする。これは、異なる周波数応答を有するユーザー端末が厳格な周波数応答仕様を必要とせずに高性能を実現すること、または工場で校正を行うことを可能にする。アクセスポイントは、精度を向上するために複数のユーザー端末により校正することができる。

【 0 2 6 1】

D. ゲイン考察

50

校正は、下りリンクチャンネルまたは上りリンクチャンネルのために「正規化された」ゲインに基づいて行うことができ、それらは受信機におけるノイズフロアに関して得られるゲインである。正規化されたゲインを使うことにより、下りリンクと上りリンクが校正された後、1つのリンクの特性（チャンネルゲインと固有モード当りのSNRを含む）を、他のリンクに対するゲイン測定に基づいて得ることが可能になる。

【0262】

アクセスポイントとユーザー端末は、初めに、アクセスポイントとユーザー端末のための受信経路上の雑音レベルがほぼ同じになるように、それらの受信機入力レベルのバランスをとることができる。このバランスは、ノイズフロアを推定すること、すなわち、特定の継続時間（例えば、1または2シンボル期間）にわたって最小平均電力を有する受信したTDDフレームの部分（すなわち、下りリンク/上りリンク伝送の単位）を見つけることにより、とることができる。一般に、どの上りリンクデータもアクセスポイントにより受信される必要があり、アクセスポイントが下りリンク上で送信する前に受信/送信ターンアラウンドタイムを必要とするので、各TDDフレームの開始直前の時間は伝送がされていない。干渉環境により、ノイズフロアは複数のTDDフレームに基づいて確定することができる。次に、下りリンクチャンネル応答及び上りリンクチャンネル応答は、このノイズフロアに関して測定される。特に、所定の送信/受信アンテナ対の所定のサブ帯域のためのチャンネルゲインが、例えば、その送信/受信アンテナ対のそのサブ帯域のための送信されたパイロットシンボルに対する受信されたパイロットシンボルの比として、最初に得られる。そして、正規化されたゲインは、ノイズフロアで除算された測定ゲインである。

10

20

【0263】

アクセスポイントのための正規化されたゲインとユーザー端末のための正規化されたゲインとの大きな差は、単位元から大きく異なっているユーザー端末のための補正因子となることがある。アクセスポイントのための補正因子は、行列

【数202】

$$\hat{\mathbf{K}}_{ap}$$

【0264】

の1番目の成分が1に設定されるので、単位元に近い。

30

【0265】

ユーザー端末のための補正因子が単位元から大きく異なる場合、ユーザー端末は計算された補正因子を適用することができない可能性がある。これは、ユーザー端末がその最大送信電力に制約があり、大きな補正因子のためにその送信電力を増やすことができない可能性があるからである。さらに、小さな補正因子のための送信電力の減少は、実現可能なデータレートを低減させる可能性があるため、一般に望ましくない。

【0266】

したがって、ユーザー端末は計算された補正因子のスケーリング版を用いて送信することができる。スケーリングされた校正因子は、計算された補正因子を、下りリンクチャンネル応答と上りリンクチャンネル応答との間のゲインデルタ（差または比）に等しく設定することができる特定のスケール値でスケールすることにより得ることができる。ゲインデルタは、下りリンクと上りリンクのための正規化されたゲインの間の差（すなわちデルタ）の平均値として計算することができる。ユーザー端末のための補正因子に用いられるスケール値（すなわちゲインデルタ）は、アクセスポイントのための計算された補正因子と共に、アクセスポイントに送ることができる。

40

【0267】

補正因子及びスケール値すなわちゲインデルタにより、下りリンクチャンネル特性は測定された上りリンクチャンネル応答から確定することができ、逆の場合の同様である。アクセスポイントまたはユーザー端末でのノイズフロアが変わると、ゲインデルタは更新さ

50

れることができ、更新されたゲインデルタはメッセージ中で他のエンティティに送ることができる。

【0268】

上記の説明において、校正は各サブ帯域のための補正因子の2つのセット（すなわちベクトルまたは行列）となり、1つのセットは下りリンクデータ送信のためにアクセスポイントにより用いられ、他のセットは上りリンクデータ送信のためにユーザー端末により用いられる。また、校正は補正因子の2つのセットが各サブ帯域に供給されるよう行われ、1つのセットは上りリンクデータ受信のためにアクセスポイントにより用いられ、他のセットは下りリンクデータ受信のためにユーザー端末により用いられる。また、校正は補正因子の1つのセットが各サブ帯域のために得られるように行うことができ、このセットはアクセスポイントまたはユーザー端末で用いることができる。一般に校正は、補正因子がどこに適用されるかに関わらず、校正された下りリンクチャネル応答及び上りリンクチャネル応答が互いの逆数であるよう行われる。

10

【0269】

2. MIMOパイロット

校正のために、MIMOパイロットがユーザー端末により上りリンク上で送信され、アクセスポイントが上りリンクチャネル応答を推定することを可能にし、MIMOパイロットがアクセスポイントにより下りリンク上で送信され、ユーザー端末が下りリンクチャネル応答を推定することを可能にする。同一のまたは異なるMIMOパイロットを下りリンク及び上りリンクのために使うことができ、使われるMIMOパイロットは、アクセスポイントとユーザー端末の両方で識別される。

20

【0270】

ある実施形態において、MIMOパイロットは、各 N_T 送信アンテナから送信される特定のOFDMシンボル（「P」で示される）を含んでいる。ここで下りリンクに対して $N_T = N_{a_p}$ であり、上りリンクに対して $N_T = N_{u_t}$ である。各送信アンテナのために、同じP OFDMシンボルが、MIMOパイロット伝送のために指定された各シンボル期間で送信される。しかしながら、各アンテナのためのP OFDMシンボルは、そのアンテナに割り当てられた異なるNチップウォルシュ系列でカバーされる。ここで下りリンクに対して N_{a_p} であり、上りリンクに対して N_{u_t} である。ウォルシュカバーリングは、 N_T 送信アンテナ間の直交性を維持し、受信機が個々の送信アンテナを識別することを可能にする。

30

【0271】

P OFDMシンボルは、各 N_{s_b} 指定サブ帯域のための1つの変調シンボルを含む。そのためP OFDMシンボルは、受信機によりチャネル推定を容易にするために選択することができる N_{s_b} 変調シンボルの特定の「ワード」を含む。またこのワードは、送信されたMIMOパイロットにおけるピークから平均値の変動を最小にするよう定義される。そして、これは送信/受信チェーンにより生成される歪みと非直線性の量を低減し、これによりチャネル推定のための精度を向上することができる。

【0272】

明確にするために、特定のMIMO-OFDMシステムのために特定のMIMOパイロットについて以下に述べる。このシステムのために、アクセスポイントとユーザー端末は、それぞれ4つの送信/受信アンテナを有している。システム帯域幅は、64の直交サブ帯域（すなわち、 $N_F = 64$ ）に分割され、これらには+31から-32の指標が割り当てられる。これら64のサブ帯域のうち、48のサブ帯域（例えば、 $\pm\{1, \dots, 6, 8, \dots, 20, 22, \dots, 26\}$ の指標を有する）がデータのために使われ、4つのサブ帯域（例えば、 $\pm\{7, 21\}$ の指標を有する）がパイロットと考えられるシグナリングのために使われ、DCサブ帯域（0の指標を有する）は使われず、残りのサブ帯域も使われずにガードサブ帯域として役立つ。このOFDMサブ帯域構造は、IEEE規格802.11a用の文書であり、「Part 11: 無線LAN媒体アクセス制御(MAC)及び物理層(PHY)仕様: 5GHz帯域における高速物理層」、1999年9月、により詳しく

40

50

単純に繰り返される。このウォルッシュ系列のセットのために、MIMOパイロット伝送が4つのシンボル期間の整数倍で起こり、4つの送信アンテナ間の直交性を確保する。

【0278】

受信機は、相補的な処理を行うことにより、受信したMIMOパイロットに基づいてチャンネル応答の推定値を導き出すことができる。特に、送信アンテナ*i*から送られ受信アンテナ*j*により受信されたパイロットを回復するために、まず受信アンテナ*j*により受信されたパイロットが、送信機で行われたウォルッシュカバリングへの相補的な方法で、送信アンテナ*i*に割り当てられたウォルッシュ系列で処理される。次に、MIMOパイロットのための全ての N_{ps} シンボル期間のためにディカパーされたOFDMシンボルが蓄積され、MIMOパイロットを搬送するのに使われる52のサブ帯域のそれぞれのために個別に蓄積が行われる。蓄積の結果は、 $k = \pm \{ 1, \dots, 26 \}$ の場合に

10

$$\hat{h}_{i,j}(k)$$

【0279】

であり、これは52のデータ及びパイロットサブ帯域のための送信アンテナ*i*から受信アンテナ*j*への有効なチャンネル応答（すなわち、送信/受信チェーンのための応答を含む）の推定値である。

20

【0280】

同じ処理を、各受信アンテナにおいて各送信アンテナからのパイロットを回復するために行うことができる。パイロット処理は、有効なチャンネル応答の推定値

【数204】

$$\hat{\mathbf{H}}_{up}(k)$$

30

【0281】

または

【数205】

$$\hat{\mathbf{H}}_{dn}(k)$$

【0282】

の成分である $N_{ap} \cdot N_{ut}$ 値を52のサブ帯域のそれぞれに供給する。

40

【0283】

上述したチャンネル推定は、校正の間にアクセスポイントとユーザー端末の両方により行ない、その後上述した補正因子を導き出すために用いられる有効な上りリンクチャンネル応答推定値

【数206】

$$\hat{\mathbf{H}}_{up}(k)$$

【0284】

50

と有効な下りリンクチャネル応答推定値

【数 2 0 7】

$$\hat{\underline{H}}_{dn}(k)$$

【0 2 8 5】

とをそれぞれ得ることができる。

【0 2 8 6】

3. 空間処理

下りリンクチャネル応答と上りリンクチャネル応答との間の相関関係は、TDD MIMO システム及び MIMO-OFDM システムのためのアクセスポイント及びユーザー端末でのチャネル推定及び空間処理を簡単にするために利用することができる。この簡略化は、校正が送信/受信チェーンにおける差を補償するために行われた後に可能である。上述したように、校正されたチャネル応答は、10

下りリンクのために

【数 2 0 8】

$$\underline{H}_{cdn}(k) = \underline{H}_{dn}(k) \hat{\underline{K}}_{ap}(k) \quad \text{式(21a)}$$

20

【0 2 8 7】

上りリンクのために

【数 2 0 9】

$$\underline{H}_{cup}(k) = (\underline{H}_{dn}(k) \hat{\underline{K}}_{ap}(k))^T \cong \underline{H}_{up}(k) \hat{\underline{K}}_{ut}(k) \quad \text{式(21b)}$$

【0 2 8 8】

となる。式(21b)の最後の相等性は、有効な下りリンクチャネル応答及び上りリンクチャネル応答の間の関係

【数 2 1 0】

30

$$\underline{H}_{up}(k) = (\underline{K}_{ut}^{-1}(k) \underline{H}_{dn}(k) \underline{K}_{ap}(k))^T$$

【0 2 8 9】

を用いることで得られる。

【0 2 9 0】

各サブ帯域のためのチャネル応答行列

【数 2 1 1】

40

$$\underline{H}(k)$$

【0 2 9 1】

は、そのサブ帯域のための N_s 固有モードを得るために「対角化」することができる。これは、チャネル応答行列

【数 2 1 2】

$$\underline{\mathbf{H}}(k)$$

【0 2 9 2】

上の特異値分解、または

【数 2 1 3】

$$\underline{\mathbf{H}}(k)$$

10

【0 2 9 3】

の相関行列上の固有値分解を行うことで実現でき、これは

【数 2 1 4】

$$\underline{\mathbf{R}}(k) = \underline{\mathbf{H}}^H(k)\underline{\mathbf{H}}(k)$$

20

【0 2 9 4】

である。

【0 2 9 5】

校正された上りリンクチャネル応答行列の特異値分解

【数 2 1 5】

$$\underline{\mathbf{H}}_{\text{cup}}(k)$$

30

【0 2 9 6】

は、

【数 2 1 6】

$$\underline{\mathbf{H}}_{\text{cup}}(k) = \underline{\mathbf{U}}_{\text{ap}}(k)\underline{\mathbf{\Sigma}}(k)\underline{\mathbf{V}}_{\text{ut}}^H(k), \quad k \in K \quad \text{式(22)}$$

40

【0 2 9 7】

と表わすことができる。ここで、

【数 2 1 7】

$$\underline{\mathbf{U}}_{\text{ap}}(k)$$

【0 2 9 8】

50

は、

【数 2 1 8】

$$\underline{H}_{\text{cup}}(k)$$

【0 2 9 9】

の左固有ベクトルの $(N_{\text{ut}} \times N_{\text{ut}})$ ユニタリ行列、

【数 2 1 9】

10

$$\underline{\Sigma}(k)$$

【0 3 0 0】

は、

【数 2 2 0】

$$\underline{H}_{\text{cup}}(k)$$

20

【0 3 0 1】

の特異値の $(N_{\text{ut}} \times N_{\text{ap}})$ 対角行列、

【数 2 2 1】

$$\underline{V}_{\text{ut}}(k)$$

【0 3 0 2】

は、

【数 2 2 2】

30

$$\underline{H}_{\text{cup}}(k)$$

【0 3 0 3】

の右固有ベクトルの $(N_{\text{ap}} \times N_{\text{ap}})$ ユニタリ行列
である。

【0 3 0 4】

ユニタリ行列 M は、特性

40

【数 2 2 3】

$$\underline{\mathbf{M}}^H \underline{\mathbf{M}} = \underline{\mathbf{I}}$$

【0 3 0 5】

で特徴づけられ、ここで

【数 2 2 4】

10

$$\underline{\mathbf{I}}$$

【0 3 0 6】

は単位行列である。同様に、校正された下りリンクチャネル応答行列の特異値分解

【数 2 2 5】

$$\underline{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k)$$

【0 3 0 7】

は、

【数 2 2 6】

20

$$\underline{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k) = \underline{\mathbf{V}}_{\text{ut}}^*(k) \underline{\Sigma}(k) \underline{\mathbf{U}}_{\text{ap}}^T(k), \quad k \in K \quad \text{式(23)}$$

【0 3 0 8】

と表わすことができる。したがって、行列

【数 2 2 7】

$$\underline{\mathbf{V}}_{\text{ut}}^*(k)$$

30

【0 3 0 9】

及び

【数 2 2 8】

$$\underline{\mathbf{U}}_{\text{ap}}^T(k)$$

【0 3 1 0】

も、それぞれ

【数 2 2 9】

40

$$\underline{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k)$$

【0 3 1 1】

の左固有ベクトルと右固有ベクトルの行列である。行列

【数 2 3 0】

$$\underline{\mathbf{V}}_{\text{ut}}(k), \underline{\mathbf{V}}_{\text{ut}}^*(k), \underline{\mathbf{V}}_{\text{ut}}^T(k)$$

【0 3 1 2】

及び

【数 2 3 1】

10

$$\underline{\mathbf{V}}_{\text{ut}}^H(k)$$

【0 3 1 3】

は、行列

【数 2 3 2】

$$\underline{\mathbf{V}}_{\text{ut}}(k)$$

20

【0 3 1 4】

の異なる形であり、行列

【数 2 3 3】

$$\underline{\mathbf{U}}_{\text{ap}}(k), \underline{\mathbf{U}}_{\text{ap}}^*(k), \underline{\mathbf{U}}_{\text{ap}}^T(k)$$

【0 3 1 5】

及び

【数 2 3 4】

30

$$\underline{\mathbf{U}}_{\text{ap}}^H(k)$$

【0 3 1 6】

も、行列

【数 2 3 5】

40

$$\underline{\mathbf{U}}_{\text{ap}}(k)$$

【0 3 1 7】

の異なる形である。簡単にするために、以下の説明において行列

【数 2 3 6】

$$\underline{U}_{ap}(k)$$

【0 3 1 8】

及び

【数 2 3 7】

10

$$\underline{V}_{ut}(k)$$

【0 3 1 9】

への言及も、それらの様々な他の形を参照する。行列

【数 2 3 8】

$$\underline{U}_{ap}(k)$$

20

【0 3 2 0】

及び

【数 2 3 9】

$$\underline{V}_{ut}(k)$$

【0 3 2 1】

30

は、空間処理のためにそれぞれアクセスポイントとユーザー端末により用いられ、それらの下付き文字によって示される。

【0 3 2 2】

特異値分解は、Gilbert Strangによる題名「線形代数及びその応用」、第2版、アカデミックプレス、1980年にさらに詳しく述べられている。

【0 3 2 3】

ユーザー端末は、アクセスポイントにより送られたMIMOパイロットに基づいて校正された下りリンクチャネル応答を推定することができる。次にユーザー端末は、校正された下りリンクチャネル応答推定値

【数 2 4 0】

40

$$\hat{\underline{H}}_{cdn}(k)$$

【0 3 2 4】

、 k K 、の特異値分解を行い、

【数 2 4 1】

$$\hat{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k)$$

【0 3 2 5】

の左固有ベクトルの対角行列

10

【数 2 4 2】

$$\hat{\Sigma}(k)$$

【0 3 2 6】

と行列

20

【数 2 4 3】

$$\mathbf{V}_{\text{ut}}^*(k)$$

【0 3 2 7】

を得ることができる。この特異値分解は、

【数 2 4 4】

$$\hat{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k) = \mathbf{V}_{\text{ut}}^*(k) \hat{\Sigma}(k) \hat{\mathbf{U}}_{\text{cp}}^T(k)$$

30

【0 3 2 8】

で与えることができ、ここで各行列の上のハット（「^」）は、それが実行列の推定値であることを示す。

【0 3 2 9】

同様に、アクセスポイントはユーザー端末により送られたMIMOパイロットに基づいて校正された上りリンクチャネル応答を推定することができる。次にアクセスポイントは、校正された上りリンクチャネル応答推定値

【数 2 4 5】

40

$$\hat{\mathbf{H}}_{\text{cup}}(k)$$

【0 3 3 0】

、 $k = 1, \dots, K$ の特異値分解を行い、

【数 2 4 6】

$$\hat{\underline{H}}_{\text{cup}}(k)$$

【0 3 3 1】

、 $k \in K$ の左固有ベクトルの対角行列

【数 2 4 7】

10

$$\hat{\underline{\Sigma}}(k)$$

【0 3 3 2】

と行列

【数 2 4 8】

20

$$\hat{\underline{U}}_{\text{ap}}(k)$$

【0 3 3 3】

を得ることができる。この特異値分解は、

【数 2 4 9】

30

$$\hat{\underline{H}}_{\text{cup}}(k) = \hat{\underline{U}}_{\text{ap}}(k) \hat{\underline{\Sigma}}(k) \hat{\underline{V}}_{\text{ut}}^H(k)$$

【0 3 3 4】

で与えることができる。

【0 3 3 5】

相互のチャネルと校正のため、特異値分解は行列

【数 2 5 0】

$$\hat{\underline{V}}_{\text{ut}}(k)$$

40

【0 3 3 6】

及び

【数 2 5 1】

$$\hat{\underline{U}}_{\text{ap}}(k)$$

【0 3 3 7】

50

の両方を得るために、ユーザー端末またはアクセスポイントにより行われる必要があるだけである。ユーザー端末により行われる場合、行列

【数 2 5 2】

$$\hat{\underline{V}}_{ut}(k)$$

【0 3 3 8】

はユーザー端末において空間処理のために用いられ、行列

10

【数 2 5 3】

$$\hat{\underline{U}}_{ap}(k)$$

【0 3 3 9】

はアクセスポイントに送り戻すことができる。

20

【0 3 4 0】

またアクセスポイントは、行列

【数 2 5 4】

$$\hat{\underline{U}}_{ap}(k)$$

【0 3 4 1】

及び

30

【数 2 5 5】

$$\hat{\underline{\Sigma}}(k)$$

【0 3 4 2】

を、ユーザー端末により送られたステアリングされた基準 (steered reference) に基づいて得ることができる。同様にユーザー端末も、行列

40

【数 2 5 6】

$$\hat{\underline{V}}_{ut}(k)$$

【0 3 4 3】

及び

【数 2 5 7】

$$\underline{\hat{\Sigma}}(k)$$

【0 3 4 4】

を、アクセスポイントにより送られたにステアリングされた基準に基づいて得ることができる。ステアリングされた基準については、前述の仮米国特許出願番号 6 0 / 4 2 1 , 3 0 9 号に詳しく述べられている。

10

【0 3 4 5】

行列

【数 2 5 8】

$$\underline{\hat{U}}_{ap}(k)$$

【0 3 4 6】

及び

【数 2 5 9】

20

$$\underline{\hat{\Sigma}}(k)$$

【0 3 4 7】

は、MIMOチャネルの N_s 固有モード上の独立データストリームを送信するのに用いることができ、ここで、 $N_s = \min \{ N_{ap}, N_{ut} \}$ である。下りリンクと上りリンク上で多重のデータストリームを送信する空間処理について以下に述べる。

30

【0 3 4 8】

A. 上りリンク空間処理

上りリンク伝送のためのユーザー端末による空間処理は、

【数 2 6 0】

$$\underline{\mathbf{x}}_{up}(k) = \underline{\hat{\mathbf{K}}}_{ut}(k) \underline{\hat{\mathbf{V}}}_{ut}(k) \underline{\mathbf{s}}_{up}(k), \quad k \in K$$

式(24)

40

【0 3 4 9】

と表わすことができる。ここで、

【数 2 6 1】

$$\underline{\mathbf{x}}_{up}(k)$$

【0 3 5 0】

50

は、 k 番目のサブ帯域のための上りリンク用の送信ベクトル、

【数 2 6 2】

$$\underline{s}_{up}(k)$$

【0 3 5 1】

は、 k 番目のサブ帯域の N_s 固有モード上で送信されるべき変調シンボルのための最大 N_s 非ゼロエントリを有する「データ」ベクトルである。

【0 3 5 2】

付加的な処理を伝送の前に変調シンボル上で行うこともできる。例えば、受信した $S N R$ が全てのデータサブ帯域にわたってほぼ等しくなるように、チャンネル反転をデータ副帯域にわたって（例えば、各固有モードに）適用することができる。そして空間プロセスは、

【数 2 6 3】

$$\underline{x}_{up}(k) = \underline{\hat{K}}_{ut}(k) \underline{\hat{V}}_{ut}(k) \underline{W}_{up}(k) \underline{s}_{up}(k), \quad k \in K \quad \text{式(25)}$$

10

20

【0 3 5 3】

と表わすことができ、ここで、

【数 2 6 4】

$$\underline{W}_{up}(k)$$

【0 3 5 4】

は、（任意の）上りリンクチャンネル反転のための重みを有する行列である。

30

【0 3 5 5】

また、チャンネル反転は変調が起こる前に送信電力を各サブ帯域に割り当てることにより行うことができ、この場合にはベクトル

【数 2 6 5】

$$\underline{s}_{up}(k)$$

40

【0 3 5 6】

はチャンネル反転係数を含み、行列

【数 2 6 6】

$$\underline{W}_{up}(k)$$

50

【 0 3 5 7 】

は式(25)から省くことができる。以下の説明において、式で行列

【 数 2 6 7 】

$$\underline{W}_{\text{up}}(k)$$

【 0 3 5 8 】

を使うことは、チャンネル反転係数がベクトル

【 数 2 6 8 】

10

$$\underline{s}_{\text{up}}(k)$$

【 0 3 5 9 】

に組み込まれないことを示す。式で行列

【 数 2 6 9 】

$$\underline{W}_{\text{up}}(k)$$

20

【 0 3 6 0 】

が無いことにより、(1)チャンネル反転が行われないうち、(2)チャンネル反転が行われベクトル

【 数 2 7 0 】

$$\underline{s}_{\text{up}}(k)$$

30

【 0 3 6 1 】

に組み込まれていることを示すことができる。

【 0 3 6 2 】

チャンネル反転は、前述した仮米国特許出願番号60/421,309号、及び2002年8月27日に本出願の譲受人に譲渡された米国特許出願番号10/229,209号、題名「固有モードごとに適用された選択的チャンネル反転を有する符号化MIMOシステム」に述べられており、これは本明細書中に参照により組み込まれている。

【 0 3 6 3 】

アクセスポイントにおける受信された上りリンク送信は、

【 数 2 7 1 】

40

$$\underline{\mathbf{r}}_{\text{up}}(k) = \underline{\mathbf{H}}_{\text{up}}(k)\underline{\mathbf{x}}_{\text{up}}(k) + \underline{\mathbf{n}}(k), \quad k \in K \quad \text{式(26)}$$

$$\approx \hat{\underline{\mathbf{U}}}_{\text{up}}(k)\hat{\underline{\Sigma}}(k)\underline{\mathbf{s}}_{\text{up}}(k) + \underline{\mathbf{n}}(k)$$

【 0 3 6 4 】

と表わすことができ、ここで、

50

【数 2 7 2】

$$\underline{\mathbf{r}}_{\text{up}}(k)$$

【0 3 6 5】

は、k 番目のサブ帯域のための上りリンク用の受信されたベクトル、

【数 2 7 3】

10

$$\underline{\mathbf{n}}(k)$$

【0 3 6 6】

は、k 番目のサブ帯域のための加法的ガウス白色雑音 (AWGN) であり、

【数 2 7 4】

$$\underline{\mathbf{x}}_{\text{up}}(k)$$

20

【0 3 6 7】

は、式 (24) に示す通りである。

【0 3 6 8】

受信した上りリンク送信のためのアクセスポイントでの空間処理 (すなわちマッチングされたフィルタリング) は、

【数 2 7 5】

$$\begin{aligned} \hat{\underline{\mathbf{s}}}_{\text{up}}(k) &= \hat{\underline{\Sigma}}^{-1}(k) \hat{\underline{\mathbf{U}}}_{\text{ap}}^H(k) \underline{\mathbf{r}}_{\text{up}}(k) \\ &= \hat{\underline{\Sigma}}^{-1}(k) \hat{\underline{\mathbf{U}}}_{\text{ap}}^H(k) (\hat{\underline{\mathbf{U}}}_{\text{ap}}(k) \hat{\underline{\Sigma}}(k) \underline{\mathbf{s}}_{\text{up}}(k) + \underline{\mathbf{n}}(k)), \quad k \in K \quad \text{式(27)} \\ &= \underline{\mathbf{s}}_{\text{up}}(k) + \tilde{\underline{\mathbf{n}}}(k) \end{aligned}$$

30

【0 3 6 9】

と表わすことができる。ここで、

【数 2 7 6】

$$\hat{\underline{\Sigma}}_{\text{up}}(k)$$

40

【 0 3 7 0 】

は上りリンク上でユーザー端末により送信されたベクトル

【 数 2 7 7 】

$$\underline{s}_{\text{up}}(k)$$

【 0 3 7 1 】

の推定値であり、

【 数 2 7 8 】

10

$$\tilde{\underline{n}}(k)$$

【 0 3 7 2 】

は処理後の雑音である。式(27)は、送信機でチャネル反転が行われておらず、しかも受信されたベクトル

【 数 2 7 9 】

20

$$\underline{\underline{s}}_{\text{up}}(k)$$

【 0 3 7 3 】

が式(26)に示す通りであることを想定している。

【 0 3 7 4 】

B. 下りリンク空間処理

下りリンク伝送のためのアクセスポイントによる空間処理は

【 数 2 8 0 】

30

$$\underline{\underline{x}}_{\text{dn}}(k) = \hat{\underline{\underline{K}}}_{\text{ap}}(k) \hat{\underline{\underline{U}}}_{\text{ap}}^*(k) \underline{\underline{s}}_{\text{dn}}(k), \quad k \in K \quad \text{式(28)}$$

【 0 3 7 5 】

と表わすことができる。ここで、

【 数 2 8 1 】

$$\underline{\underline{x}}_{\text{dn}}(k)$$

40

【 0 3 7 6 】

は伝送ベクトル、

【数 2 8 2】

$$\underline{s}_{dn}(k)$$

【0 3 7 7】

は下りリンクのためのデータベクトルである。

10

【0 3 7 8】

再び、付加的な処理（例えば、チャネル反転）を、伝送の前に変調シンボル上で行うこともできる。そして、空間処理は、

【数 2 8 3】

$$\underline{x}_{dn}(k) = \hat{\underline{K}}_{ap}(k) \hat{\underline{U}}_{ap}^*(k) \underline{W}_{dn}(k) \underline{s}_{dn}(k), \quad k \in K \quad \text{式(29)}$$

20

【0 3 7 9】

と表わすことができる。ここで、

【数 2 8 4】

$$\underline{W}_{dn}(k)$$

【0 3 8 0】

は（任意の）下りリンクチャネル反転のための重みを有する行列である。

【0 3 8 1】

30

ユーザー端末で受信された下りリンク伝送は、

【数 2 8 5】

$$\underline{r}_{dn}(k) = \underline{H}_{dn}(k) \underline{x}_{dn}(k) + \underline{n}(k), \quad k \in K \quad \text{式(30)}$$

$$= \hat{\underline{V}}_{ut}^*(k) \hat{\underline{\Sigma}}(k) \underline{s}_{dn}(k) + \underline{n}(k)$$

【0 3 8 2】

と表わすことができる。ここで、

40

【数 2 8 6】

$$\underline{x}_{dn}(k)$$

【0 3 8 3】

は、式(28)で表わされるように送信ベクトルである。

【0 3 8 4】

受信した下りリンク伝送のためのユーザー端末での空間処理（すなわちマッチングされたフィルタリング）は、

50

【数 2 8 7】

$$\begin{aligned}
 \hat{\underline{s}}_{dn}(k) &= \hat{\underline{\Sigma}}^{-1}(k) \hat{\underline{V}}_{ul}^T(k) \underline{r}_{dn}(k) \\
 &= \hat{\underline{\Sigma}}^{-1}(k) \hat{\underline{V}}_{ul}^T(k) (\hat{\underline{V}}_{ul}^*(k) \hat{\underline{\Sigma}}(k) \underline{s}_{dn}(k) + \underline{n}(k)), \quad k \in K \quad \text{式(31)} \\
 &= \underline{s}_{dn}(k) + \tilde{\underline{n}}(k)
 \end{aligned}$$

10

【0 3 8 5】

と表わすことができる。式(31)は、送信機でチャネル反転が行われておらず、しかも受信されたベクトル

【数 2 8 8】

20

$$\underline{r}_{dn}(k)$$

【0 3 8 6】

が式(30)に示す通りであることを想定している。

【0 3 8 7】

表2は、データ送信及び受信のためのアクセスポイントとユーザー端末での空間処理をまとめている。表2は、

【数 2 8 9】

30

$$\underline{W}(k)$$

【0 3 8 8】

による付加的な処理が送信機で行われることを想定している。しかしながら、この付加的な処理が行われない場合、

【数 2 9 0】

40

$$\underline{W}(k)$$

【0 3 8 9】

は単位行列とみなすことができる。

【表 2】

表 2

	上りリンク	下りリンク
ユーザ 端末	送信： $\underline{\mathbf{x}}_{\text{up}}(k) = \hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ut}}(k) \hat{\underline{\mathbf{V}}}_{\text{ut}}(k) \underline{\mathbf{W}}_{\text{up}}(k) \underline{\mathbf{s}}_{\text{up}}(k)$	受信： $\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{\text{dn}}(k) = \hat{\underline{\Sigma}}^{-1}(k) \hat{\underline{\mathbf{V}}}_{\text{ut}}^T(k) \underline{\mathbf{r}}_{\text{dn}}(k)$
アクセス ポイント	送信： $\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{\text{up}}(k) = \hat{\underline{\Sigma}}^{-1}(k) \hat{\underline{\mathbf{U}}}_{\text{ap}}^H(k) \underline{\mathbf{r}}_{\text{up}}(k)$	受信： $\underline{\mathbf{x}}_{\text{dn}}(k) = \hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ap}}(k) \hat{\underline{\mathbf{U}}}_{\text{ap}}^*(k) \underline{\mathbf{W}}_{\text{dn}}(k) \underline{\mathbf{s}}_{\text{dn}}(k)$

10

【0390】

上記の説明及び表 2 で示すように、補正行列

【数 291】

$$\hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ap}}(k)$$

20

【0391】

及び

【数 292】

$$\hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ut}}(k)$$

30

【0392】

は、それぞれアクセスポイントとユーザ端末での送信空間処理に用いられる。これは、変調シンボルがともかくスケーリングされる必要があり得て（例えば、チャンネル反転のために）、補正行列

【数 293】

$$\hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ap}}(k)$$

40

【0393】

及び

【数 294】

$$\hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ut}}(k)$$

【0394】

が重み行列

【数 2 9 5】

$$\underline{W}_{dn}(k)$$

【0 3 9 5】

及び

【数 2 9 6】

$$\underline{W}_{up}(k)$$

10

【0 3 9 6】

と結合され、ゲイン行列

【数 2 9 7】

$$\underline{G}_{dn}(k)$$

20

【0 3 9 7】

及び

【数 2 9 8】

$$\underline{G}_{up}(k)$$

30

【0 3 9 8】

を得ることができるため、全空間処理を簡略化できる。ここで、

【数 2 9 9】

$$\underline{G}_{dn}(k) = \underline{W}_{dn}(k) \hat{\underline{K}}_{ap}(k)$$

【0 3 9 9】

及び

【数 3 0 0】

$$\underline{G}_{up}(k) = \underline{W}_{up}(k) \hat{\underline{K}}_{ut}(k)$$

40

【0 4 0 0】

である。この処理は、補正行列が（送信空間処理の代わりに）受信空間処理に用いられるよう、行うこともできる。

50

【 0 4 0 1 】

4 . M I M O - O F D M システム

図 5 は、T D D M I M O - O F D M システム内のアクセスポイント 5 0 2 及びユーザー端末 5 0 4 の一実施形態のブロック図である。簡単にするために、以下の説明ではアクセスポイントとユーザー端末がそれぞれ 4 つの送信 / 受信アンテナを備えているものとする。

【 0 4 0 2 】

下りリンク上で、アクセスポイント 5 0 2 において、送信 (T X) データプロセッサ 5 1 0 はデータソース 5 0 8 からトラヒックデータ (すなわち情報ビット) を受信し、コントローラ 5 3 0 からシグナリング及び他の情報を受信する。T X データプロセッサ 5 1 0 は、データをフォーマットし、符号化し、インタリーブし、変調して (すなわち、シンボルマップ)、データ伝送に用いられる各固有モードのために変調シンボルのストリームを供給する。T X 空間プロセッサ 5 2 0 は、T X データプロセッサ 5 1 0 から変調シンボルストリームを受信して、4 つの送信シンボルのストリームを各アンテナに 1 つずつ供給するために、空間処理を行う。また T X 空間プロセッサ 5 2 0 は、必要に応じてパイロットシンボル中で多重化する (例えば校正のために) 。

10

【 0 4 0 3 】

各変調器 (M O D) 5 2 2 は、各送信シンボルを受信して処理し、対応する O F D M シンボルのストリームを供給する。さらに各 O F D M シンボルストリームは、変調器 5 2 2 内の送信チェーンにより処理され、対応する下りリンク変調信号を供給する。次に、変調器 5 2 2 a 乃至 5 2 2 d からの 4 つの下りリンク変調信号は、それぞれ 4 つのアンテナ 5 2 4 a 乃至 5 2 4 d から送信される。

20

【 0 4 0 4 】

ユーザー端末 5 0 4 において、アンテナ 5 2 2 は、送信された下りリンク変調信号を受信し、各アンテナは受信した信号を各復調器 (D E M O D) 5 5 4 に供給する。各復調器 (D E M O D) 5 5 4 (受信チェーンを含む) は、変調器 5 2 2 で行われたことに対して相補的な処理を行い、受信したシンボルを供給する。次に受信 (R X) 空間プロセッサ 5 6 0 は、全ての復調器 5 5 4 からの受信シンボル上で空間処理を行い、アクセスポイントから送られた変調シンボルの推定値である回復信号を供給する。校正の間、R X 空間プロセッサ 5 6 0 は、アクセスポイントにより送信された M I M O パイロットに基づいて、校正された下りリンクチャネル推定値

30

【 数 3 0 1 】

$$\hat{H}_{\text{cdn}}(k)$$

【 0 4 0 5 】

を供給する。

【 0 4 0 6 】

R X データプロセッサ 5 7 0 は、回復されたシンボルを処理し (例えば、シンボル逆マップ、デインタリーブ、及び復号)、復号データを供給する。復号データは、回復されたトラヒックデータ、シグナリングなどを含むことができ、それらは保存のためにデータシンク 5 7 2 に供給され、かつ / またはさらなる処理のためにコントローラ 5 8 0 に供給される。校正の間、R X データプロセッサ 5 7 0 は、アクセスポイントにより導き出され下りリンク上で送られた校正された上りリンクチャネル推定値

40

【数 3 0 2】

$$\hat{\underline{H}}_{\text{cup}}(k)$$

【0 4 0 7】

を供給する。

【0 4 0 8】

コントローラ 5 3 0 及び 5 8 0 は、それぞれアクセスポイントとユーザー端末において 10
 様々な処理ユニットの動作を制御する。校正の間、コントローラ 5 8 0 は、チャンネル応答
 推定値

【数 3 0 3】

$$\hat{\underline{H}}_{\text{cdn}}(k)$$

20

【0 4 0 9】

及び

【数 3 0 4】

$$\hat{\underline{H}}_{\text{cup}}(k)$$

30

【0 4 1 0】

を受信し、補正行列

【数 3 0 5】

$$\hat{\underline{K}}_{\text{ap}}(k)$$

【0 4 1 1】

及び

【数 3 0 6】

40

$$\hat{\underline{K}}_{\text{ut}}(k)$$

【0 4 1 2】

を導き出し、行列

【数 3 0 7】

$$\hat{\mathbf{K}}_{\text{m}}(k)$$

【0 4 1 3】

を上りリンク伝送のために TX 空間プロセッサ 5 9 2 に供給し、行列

【数 3 0 8】

10

$$\hat{\mathbf{K}}_{\text{ap}}(k)$$

【0 4 1 4】

をアクセスポイントに戻す伝送のために TX データプロセッサ 5 9 0 に供給することができる。メモリユニット 5 3 2 及び 5 8 2 は、それぞれコントローラ 5 3 0 及び 5 8 0 により用いられるデータとプログラムコードを記憶する。

【0 4 1 5】

上りリンクのための処理は、下りリンクのための処理と同じか異なる。データとシグナリングは、TX データプロセッサ 5 9 0 により処理され（例えば、符号化、インタリーブ、及び変調）、さらに校正の間にパイロットシンボル中で多重化する TX 空間プロセッサ 5 9 2 により空間的に処理される。パイロットシンボルと変調シンボルはさらに変調器 5 5 4 で処理され、上りリンク変調信号を生成し、そしてこれらはその後アンテナ 5 5 2 を介してアクセスポイントに送信される。

20

【0 4 1 6】

アクセスポイント 1 1 0 において、ユーザー端末で行われたことに対して相補的に、上りリンク変調信号がアンテナ 5 2 4 により受信され、復調器 5 2 2 により復調され、RX 空間プロセッサ 5 4 0 と RX データプロセッサ 5 4 2 により処理される。また校正の間、RX 空間プロセッサ 5 6 0 は、ユーザー端末により送信された MIMO パイロットに基づいて、校正された上りリンクチャネル推定値

30

【数 3 0 9】

$$\hat{\mathbf{H}}_{\text{cup}}(k)$$

【0 4 1 7】

を供給する。行列

【数 3 1 0】

40

$$\hat{\mathbf{H}}_{\text{cup}}(k)$$

【0 4 1 8】

は、コントローラ 5 3 0 により受信され、次にユーザー端末に戻す伝送のために TX デー

50

タプロセッサ 5 1 0 に供給される。

【 0 4 1 9 】

図 6 は、T X 空間プロセッサ 5 2 0 a のブロック図であり、これは図 5 における T X 空間プロセッサ 5 2 0 及び 5 9 2 に用いることができる。簡単にするために、以下の説明では 4 つの固有モードの全てが用いるために選択されたものとする。

【 0 4 2 0 】

プロセッサ 5 2 0 a 内で、デマルチプレクサ 6 3 2 は、4 つの固有モード上で送信されるべき 4 つの変調シンボルストリーム ($S_1(n)$ 乃至 $S_4(n)$ で表わされる) を受信し、各ストリームを N_D データサブ帯域のための N_D サブストリームに逆多重化し、各データサブ帯域のための 4 つの変調シンボルを各 T X サブ帯域空間プロセッサ 6 4 0 に供給する。各プロセッサ 6 4 0 は、1 つのサブ帯域に対して、式 (2 4)、(2 5)、(2 8)、または (2 9) に示す処理を行う。

10

【 0 4 2 1 】

各 T X サブ帯域空間プロセッサ 6 4 0 内で、4 つの変調シンボルサブストリーム ($S_1(k)$ 乃至 $S_4(k)$ で表わされる) が 4 つの乗算器 6 4 2 a 乃至 6 4 2 d に供給され、これらは関連するサブ帯域の 4 つの固有モードのためのゲイン $g_1(k)$ 、 $g_2(k)$ 、 $g_3(k)$ 、及び $g_4(k)$ も受信する。下りリンクのために、各データサブ帯域のための 4 つのゲインは、対応する行列

【 数 3 1 1 】

20

$$\underline{\mathbf{G}}_{dn}(k)$$

【 0 4 2 2 】

の対角成分であり、ここで、

【 数 3 1 2 】

$$\underline{\mathbf{G}}_{dn}(k) = \underline{\hat{\mathbf{K}}}_{ap}(k)$$

30

【 0 4 2 3 】

または

【 数 3 1 3 】

$$\underline{\mathbf{G}}_{dn}(k) = \underline{\mathbf{W}}_{dn}(k) \underline{\hat{\mathbf{K}}}_{ap}(k)$$

【 0 4 2 4 】

である。上りリンクのために、ゲインは行列

40

【 数 3 1 4 】

$$\underline{\mathbf{G}}_{up}(k)$$

【 0 4 2 5 】

の対角成分であり、ここで、

【数 3 1 5】

$$\underline{\mathbf{G}}_{\text{up}}(k) = \underline{\hat{\mathbf{K}}}_{\text{ul}}(k)$$

【0 4 2 6】

または

【数 3 1 6】

10

$$\underline{\mathbf{G}}_{\text{up}}(k) = \underline{\mathbf{W}}_{\text{up}}(k)\underline{\hat{\mathbf{K}}}_{\text{ul}}(k)$$

【0 4 2 7】

である。各乗算器 6 4 2 は、その変調シンボルをそのゲイン $g_m(k)$ でスケーリングし、スケーリングされた変調シンボルを供給する。乗算器 6 4 2 a 乃至 6 4 2 d は、それぞれ 4 つのスケーリングされた変調シンボルサブストリームを 4 つのビーム形成器 6 5 0 a 乃至 6 5 0 d に供給する。

20

【0 4 2 8】

各ビーム形成器 6 5 0 は、1 つのサブ帯域の 1 つの固有モード上で 1 つのシンボルサブストリームを送信するために、ビーム形成を行う。各ビーム形成器 6 5 0 は、1 つのスケーリングされたシンボルサブストリーム $s_m(k)$ を受信し、関連する固有モードのための固有ベクトル

【数 3 1 7】

$$\underline{\mathbf{y}}_m(k)$$

30

【0 4 2 9】

を用いてビーム形成を行う。各ビーム形成器 6 5 0 内で、スケーリングされた変調シンボルは 4 つの乗算器 6 5 2 a 乃至 6 5 2 d に供給され、これらは関連する固有モードのための固有ベクトル

【数 3 1 8】

$$\underline{\mathbf{y}}_m(k)$$

【0 4 3 0】

の 4 つの成分 $v_{m,1}(k)$ 、 $v_{m,2}(k)$ 、 $v_{m,3}(k)$ 、及び $v_{m,4}(k)$ も受信する。固有ベクトル

40

【数 3 1 9】

$$\underline{\mathbf{v}}_m(k)$$

【0 4 3 1】

は、下りリンクのための行列

【数 3 2 0】

$$\hat{\mathbf{U}}_{ap}^*(k)$$

【0 4 3 2】

の m 番目の列であり、上りリンクのための行列

【数 3 2 1】

$$\hat{\mathbf{V}}_{ur}(k)$$

10

【0 4 3 3】

の m 番目の列である。次に各乗算器 6 5 2 は、スケーリングされた変調シンボルをその固有ベクトル値 $v_{m,j}(k)$ で乗算し、「ビーム形成」シンボルを供給する。乗算器 6 5 2 a 乃至 6 5 2 d は、それぞれ 4 つのビーム形成シンボルサブストリーム（これらは 4 つのアンテナから送信される）を加算器 6 6 0 a 乃至 6 6 0 d に供給する。

【0 4 3 4】

各加算器 6 6 0 は、各シンボル期間にわたる 4 つの固有モードのための 4 つのビーム形成シンボルを受信して合計し、関連する送信アンテナに向け予め調整されたシンボルを供給する。加算器 6 6 0 a 乃至 6 6 0 d は、4 つの送信アンテナに向け予め調整されたシンボルの 4 つのサブストリームを、それぞれバッファ/マルチプレクサ 6 7 0 a 乃至 6 7 0 d 供給する。

20

【0 4 3 5】

各バッファ/マルチプレクサ 6 7 0 は、 N_D データサブ帯域に対して、TX サブ帯域空間プロセッサ 6 4 0 からパイロットシンボルと調整されたシンボルを受信する。次に、各バッファ/マルチプレクサ 6 7 0 は、それぞれパイロットシンボルと、予め調整されたシンボルと、パイロットサブ帯域、データサブ帯域、及び使用されないサブ帯域のためのゼロとを多重化し、そのシンボル期間にわたる N_F 送信シンボルの系列を形成する。校正の間、パイロットシンボルは指定されたサブ帯域上で送信される。マルチプレクサ 6 6 8 a 乃至 6 6 8 d は、上記で説明し表 1 に示したように、それぞれ 4 つのアンテナのためのパイロット信号を 4 つのアンテナに割り当てられたウォルシュ系列 W_1 乃至 W_4 でカバーする。各バッファ/マルチプレクサ 6 7 0 は、送信シンボル $x_i(n)$ のストリームを 1 つの送信アンテナに向け供給し、ここで送信シンボルストリームは N_F 送信シンボルの連接系列を含む。

30

【0 4 3 6】

空間処理及び OFDM 変調については、前述した仮米国特許出願番号 6 0 / 4 2 1 , 3 0 9 号にさらに詳しく述べられている。

【0 4 3 7】

本明細書中で述べる本発明の様々な実施形態において、同じ基本サービスセット (BSS) または異なる BSS における様々なユーザー端末 (UT または STA) 間のピアツーピア通信を以下に述べるように実施できる。単一のアクセスポイント (AP) で校正する UT または STA は、基本サービスセット (BSS) のメンバーである。単一のアクセスポイントは、BSS における全ての UT に対するコモンモードである。上述した校正方法は、以下のタイプの通信を容易にする。

40

【0 4 3 8】

(1) BSS における UT は、上りリンク (UL) 上で AP と直接通信するために TX ステアリングを用いることができ、AP は下りリンク (DL) 上で UT と通信するために TX ステアリングを用いることができる。

【0 4 3 9】

(2) BSS における UT は、ステアリングを用いて同じ BSS における他の UT と直接通信することができる。この場合、このピアツーピア通信は、どちらの UT もそれらの

50

間のチャンネルを識別しないので、ブートストラップされなければならない。様々な実施形態において、ブートストラップ手順は以下のように動作する。

【0440】

- ピアツーピアリンクのイニシエータは、指定AP(DAP)であり、他のUTは指定UT(DUT)である。

【0441】

- DAPは、リンクを確立するための要求に合わせてMIMOパイロットをDUTに送り、これはBSS IDに加えてDAP IDを含む。この要求はコモンモードで送られる必要がある(すなわちTXダイバーシティ)。

【0442】

- DUTは、ステアリングされた(steered)MIMOパイロットにDUT ID、そのBSS ID、及び使用するDAPのためのいくつかの速度指標を含む肯定応答を加えて送り戻すことにより応答する。

【0443】

- その後DAPは、DL上のステアリングを用いることができ、DUTはUL上のステアリングを用いることができる。速度制御及びトラッキングは、処理を可能にさせるために、DLセグメント及びULセグメントへの伝送をそれらの間に十分な時間をもって中断することにより、適用することができる。

【0444】

(3) 1つのBSS(例えばBSS1)に属するUTは、それぞれが異なるAPで校正したとしても、他のBSS(BSS2)に属するUTに向かうことができる。しかしながら、この場合に(サブ帯域あたりに)位相回転のあいまいさが生じる。これは、上述した校正手続きが、それにより校正したAPに特有の基準を確立するからである。この基準は、複素定数

【数322】

$$\alpha(k, j) = \frac{\delta_{APT\ X}(0)}{\delta_{APR\ X}(0)}$$

10

20

30

40

【0445】

であり、ここでkはサブ帯域指標、jはAP指標、0はAPで用いられる基準アンテナ(例えばアンテナ0)の指標である。一実施形態において、この定数は所定のBBSにおける全てのUTに共通であるが、異なるBBSに対しては独立している。

【0446】

結果として、BSS1からのUTがBSS2のUTと通信する場合、この定数に対する補正または補償を伴わないステアリングは、全体的な固有系の位相回転と振幅スケールングをもたらす。位相回転は(ステアリングされたまたはステアリングされていない)パイロットを用いて確定し、各UTの受信機内で除去することができる。一実施形態において、振幅補正または補償は、単にSNRスケールングとすることができ、かつ各受信機においてノイズフロアの推定により除去することができ、速度選択に影響を与えることができる。

【0447】

様々な実施形態において、異なるBBSに属するUT間のピアツーピア変換は、以下のように動作する。

【0448】

- ピアツーピアリンクのイニシエータ(例えばBSS1におけるUT)は、指定AP(DAP)であり、他のUT(例えばBSS2におけるUT)は指定UT(DUT)である。

50

【0449】

- DAPは、リンクを確立するための要求に合わせてMIMOパイロットをDUTに送り、これはそれぞれのBSS IDに加えてDAP IDを含む。この要求はコモンモードで送られる必要がある(すなわちTXダイバーシティ)。

【0450】

- DUTは、ステアリングされたMIMOパイロットにDUT ID、そのBSS ID、及び使用するDAPのためのいくつかの速度指標を含む肯定応答を加えて送り戻すことにより応答する。

【0451】

- DAP受信機(Rx)は、上りリンク(UL)上の位相回転を推定し、補正定数を各サブ帯域に適用することができる。その後DAPは、下りリンク(DL)上のステアリングを用いることができるが、DUT受信機(Rx)が各サブ帯域に対するDL上の位相回転に対して補正または補償することを可能にするために、少なくとも最初のステアリングされたパケット上のステアリングされた基準のプリアンブルを含む必要がある。それに続くDL伝送は、ステアリングされた基準のプリアンブルを要求しなくてよい。速度制御及びトラッキングは、処理を可能にさせるために、DLセグメント及びULセグメントへの伝送をそれらの間に十分な時間をもって中断することにより、適用することができる。

10

【0452】

本明細書中で述べた校正技術は、様々な手段により実施できる。例えば、これらの技術はハードウェア、ソフトウェア、またはそれらの組み合わせで実施できる。ハードウェアの実施のために、この技術をアクセスポイント及びユーザー端末において、1つ以上の特定用途向け集積回路(ASIC)、デジタル信号プロセッサ(DSP)、デジタル信号処理装置(DSPD)、プログラム可能論理回路(PLD)、フィールドプログラム可能ゲートアレイ(FPGA)プロセッサ、コントローラ、マイクロコントローラ、マイクロプロセッサ、本明細書中で述べた機能を実行するために設計された他の電子ユニット、またはそれらの組み合わせの中で実施することができる。

20

【0453】

ソフトウェアの実施のために、本校正技術の本明細書中で述べた機能を実行するモジュール(例えば、手続き、機能、その他)で実施することができる。ソフトウェアコードは、メモリユニット(例えば、図5におけるメモリユニット532及び582)に記憶することができ、プロセッサ(例えば、必要に応じてコントローラ530及び580)により実行することができる。メモリユニットは、プロセッサ内、またはプロセッサの外部で実施することができる。この場合、当技術分野で知られている様々な手段を介してプロセッサと通信可能に結合することができる。

30

【0454】

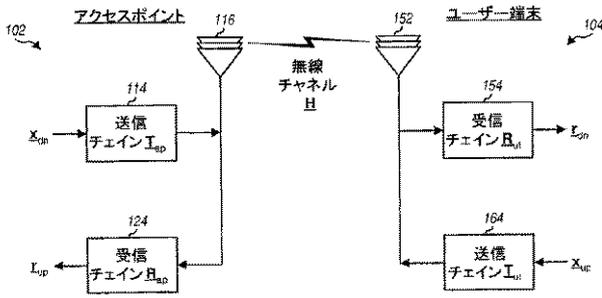
本明細書中では見出しが、参照のため、さらにある項目を捜すのを助けるために含まれている。これらの見出しは、それ以下で述べられた概念の範囲を制限することを意図しておらず、これらの概念は本明細書全体の中の他の項目に適用可能である。

【0455】

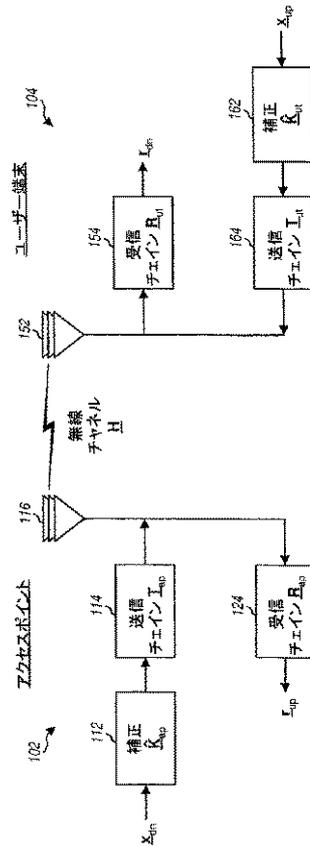
開示した実施形態の上記の説明は、任意の当業者が本発明を行いまたは使用できるように提供されている。これらの実施形態の様々な変更は当業者にとって容易に明らかとなり、明細書中で規定された一般的な原理は、本発明の精神と範囲を逸脱することなく他の実施形態に適用することができる。したがって本発明は、明細書中で示された実施形態に限定されることは意図されておらず、明細書中で開示された原理と新規な特徴に沿う最も広い範囲に適合することになる。

40

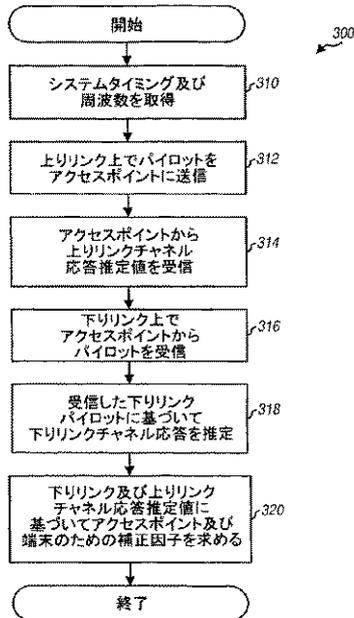
【 図 1 】



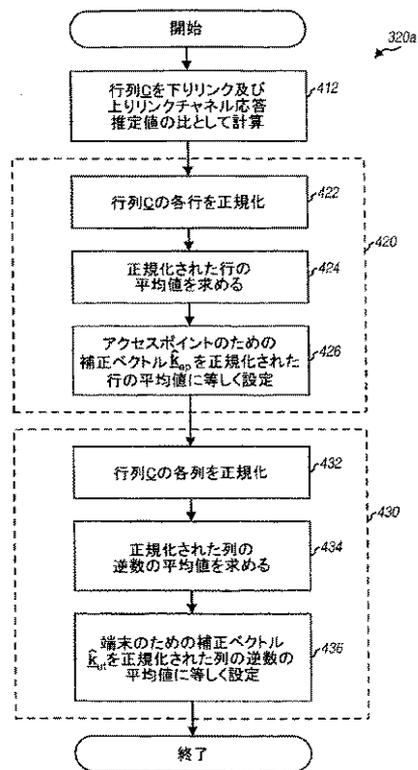
【 図 2 】



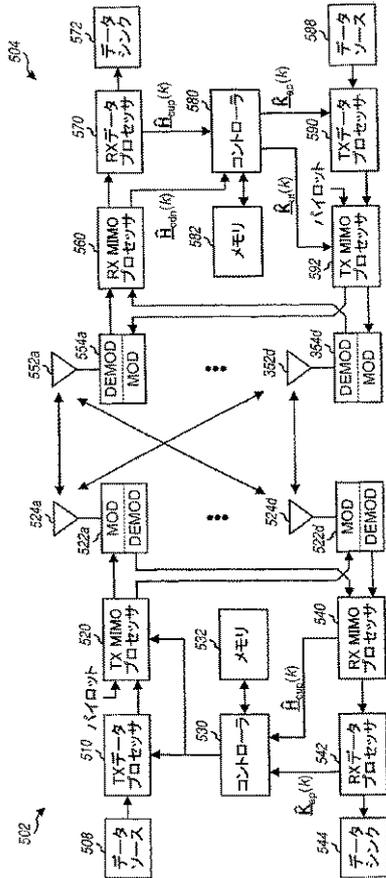
【 図 3 】



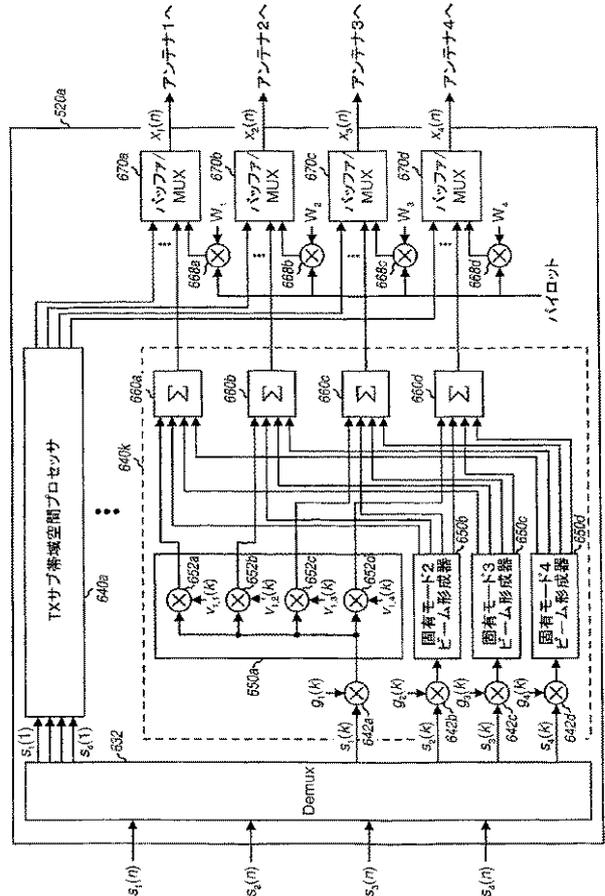
【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】



【 手続 補正 書 】

【 提出 日 】 平成 22 年 4 月 19 日 (2010.4.19)

【 手続 補正 1 】

【 補正 対 象 書 類 名 】 特 許 請 求 の 範 囲

【 補正 対 象 項 目 名 】 全 文

【 補正 方 法 】 変 更

【 補正 の 内 容 】

【 特 許 請 求 の 範 囲 】

【 請 求 項 1 】

無 線 シ ス テ ム に お け る 通 信 の た め の 方 法 に 於 っ て、

1 つ 以 上 の 通 信 リ ン ク と 関 連 す る チ ャ ネ ル 応 答 の 推 定 値 か ら 導 き 出 さ れ た 1 つ 以 上 の 補 正 因 子 の セ ッ ト に 基 づ い て、 複 数 の ユ ー ザ ー 局 と 1 つ 以 上 の ア ク セ ス ポ イ ン ト と の 間 の 1 つ 以 上 の 通 信 リ ン ク を 校 正 す る こ と で あ り、 前 記 複 数 の ユ ー ザ ー 局 は 第 1 の ユ ー ザ ー 局 と 第 2 の ユ ー ザ ー 局 を 含 む こ と と、

前 記 第 1 及 び 第 2 の ユ ー ザ ー 局 の 間 の 校 正 を 行 う こ と な く ス テ ア リ ン グ を 用 い て 前 記 第 1 及 び 第 2 の ユ ー ザ ー 局 の 間 の 通 信 を 確 立 す る こ と と、
を 含 む 方 法。

【 請 求 項 2 】

前 記 第 1 及 び 第 2 の ユ ー ザ ー 局 の 間 の 通 信 を 確 立 す る こ と は、

前 記 第 2 の ユ ー ザ ー 局 と の 通 信 リ ン ク を 確 立 す る た め に、 パ イ ロ ッ ト と 要 求 を 送 る こ と と、

第 1 の ユ ー ザ ー 局 か ら の 前 記 パ イ ロ ッ ト と 前 記 要 求 の 受 信 に 応 じ て、 ス テ ア リ ン グ さ れ た パ イ ロ ッ ト と 肯 定 応 答 を 前 記 第 2 の ユ ー ザ ー 局 か ら 送 る こ と と、

前 記 ス テ ア リ ン グ さ れ た パ イ ロ ッ ト に 基 づ い て ス テ ア リ ン グ を 用 い て 前 記 第 1 及 び 第 2 の ユ ー ザ ー 局 の 間 で 情 報 を 送 信 す る こ と と、

を含む請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記通信を確立するための要求は、前記第 1 のユーザー局が属する基本サービスセットの識別子と前記第 1 のユーザー局の識別子を含む請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記肯定応答は、前記第 2 のユーザー局の識別子、前記第 2 のユーザー局が属する基本サービスセットの識別子、及びデータレート指標を含む請求項 2 に記載の方法。

【請求項 5】

前記 1 つ以上のアクセスポイントは、第 1 の基本サービスセット (B S S) に関連する第 1 のアクセスポイントと第 2 の B S S に関連する第 2 のアクセスポイントを含み、前記第 1 のユーザー局は、前記第 1 のアクセスポイントに対して校正され、前記第 2 のユーザー局は、前記第 2 のアクセスポイントに対して校正され、前記第 1 及び第 2 のユーザー局の間の通信を確立することは、

前記第 2 のユーザー局との通信リンクを確立するために、パイロットと要求を前記第 1 のユーザー局から送ることと、

第 1 のユーザー局からの前記パイロットと前記要求の受信に応じて、ステアリングされたパイロットと肯定応答を前記第 2 のユーザー局から送ることと、

異なるアクセスポイントに対する前記第 1 及び第 2 のユーザー局の校正により起こる位相回転を補償するよう調整されるステアリングを用いて前記第 1 及び第 2 のユーザー局の間で情報を送信することを含む請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

前記位相回転は、前記第 2 のユーザー局から受信した前記ステアリングされたパイロットに基づいて確定される請求項 5 に記載の装置。

【請求項 7】

無線システムにおける通信のための装置であって、

1 つ以上の通信リンクに関連するチャネル応答の推定値から導き出される 1 つ以上の補正因子のセットに基づいて、複数のユーザー局と 1 つ以上のアクセスポイントとの間の 1 つ以上の通信リンクを校正する手段であり、前記複数のユーザー局は第 1 のユーザー局と第 2 のユーザー局を含む手段と、

前記第 1 及び第 2 のユーザー局の間の校正を行うことなくステアリングを用いて前記第 1 及び第 2 のユーザー局の間の通信を確立する手段と、

を含む装置。

【請求項 8】

前記第 1 及び第 2 のユーザー局の間の通信を確立することは、

前記第 2 のユーザー局との通信リンクを確立するために、パイロットと要求を前記第 1 のユーザー局から送る手段と、

第 1 のユーザー局からの前記パイロットと前記要求の受信に応じて、ステアリングされたパイロットと肯定応答を前記第 2 のユーザー局から送る手段と、

前記ステアリングされたパイロットに基づいてステアリングを用いて前記第 1 及び第 2 のユーザー局の間で情報を送信する手段と、

を含む請求項 7 に記載の装置。

【請求項 9】

前記通信を確立するための要求は、前記第 1 のユーザー局が属する基本サービスセットの識別子と前記第 1 のユーザー局の識別子とを含む請求項 8 に記載の装置。

【請求項 10】

前記肯定応答は、前記第 2 のユーザー局の識別子、前記第 2 のユーザー局が属する基本サービスセットの識別子、及びデータレート指標を含む請求項 8 に記載の装置。

【請求項 11】

前記 1 つ以上のアクセスポイントは、第 1 の基本サービスセット (B S S) に関連する第 1 のアクセスポイントと第 2 の B S S に関連する第 2 のアクセスポイントを含み、前記

第 1 のユーザー局は、前記第 1 のアクセスポイントに対して校正され、前記第 2 のユーザー局は、前記第 2 のアクセスポイントに対して校正され、前記第 1 及び第 2 のユーザー局の間の通信を確立することは、

前記第 2 のユーザー局との通信リンクを確立するために、パイロットと要求を前記第 1 のユーザー局から送ることと、

第 1 のユーザー局からの前記パイロットと前記要求の受信に応じて、ステアリングされたパイロットと肯定応答を前記第 2 のユーザー局から送ることと、

異なるアクセスポイントに対する前記第 1 及び第 2 のユーザー局の校正により起こる位相回転を補償するよう調整されるステアリングを用いて前記第 1 及び第 2 のユーザー局の間で情報を送信することを含む請求項 7 に記載の装置。

【請求項 1 2】

前記位相回転は、前記第 2 のユーザー局から受信した前記ステアリングされたパイロットに基づいて確定される請求項 1 1 に記載の装置。

フロントページの続き

- (74)代理人 100075672
弁理士 峰 隆司
- (74)代理人 100095441
弁理士 白根 俊郎
- (74)代理人 100084618
弁理士 村松 貞男
- (74)代理人 100103034
弁理士 野河 信久
- (74)代理人 100119976
弁理士 幸長 保次郎
- (74)代理人 100153051
弁理士 河野 直樹
- (74)代理人 100140176
弁理士 砂川 克
- (74)代理人 100101812
弁理士 勝村 紘
- (74)代理人 100124394
弁理士 佐藤 立志
- (74)代理人 100112807
弁理士 岡田 貴志
- (74)代理人 100111073
弁理士 堀内 美保子
- (74)代理人 100134290
弁理士 竹内 将訓
- (74)代理人 100127144
弁理士 市原 卓三
- (74)代理人 100141933
弁理士 山下 元
- (72)発明者 マーク・ウォーレス
アメリカ合衆国、マサチューセッツ州 0 1 7 3 0、ベッドフォード、モデル・レーン 4
- (72)発明者 ジョン・ダブリュ．・ケッチャム
アメリカ合衆国、マサチューセッツ州 0 1 4 5 1、ハーバード、キャンドルベリー・レーン 3
7
- (72)発明者 ジェイ．．ロドニー・ワルトン
アメリカ合衆国、マサチューセッツ州 0 1 8 8 6、ウェストフォード、レッジウッド・ドライブ
7
- (72)発明者 スティーブン・ジェイ．．ハワード
アメリカ合衆国、マサチューセッツ州 0 1 7 2 1、アシュランド、ヘリテージ・アベニュー 7
5
- Fターム(参考) 5K022 FF00
5K028 BB04 HH00 SS00

【外国語明細書】

2010193477000001.pdf