

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2006-504341

(P2006-504341A)

(43) 公表日 平成18年2月2日(2006.2.2)

(51) Int. Cl.		F I		テーマコード (参考)
HO4J 15/00	(2006.01)	HO4J	15/00	5K018
HO4B 7/04	(2006.01)	HO4B	7/04	5K022
HO4L 5/16	(2006.01)	HO4L	5/16	5K059

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 59 頁)

(21) 出願番号	特願2004-547250 (P2004-547250)	(71) 出願人	595020643 クアルコム・インコーポレイテッド QUALCOMM INCORPORATED
(86) (22) 出願日	平成15年10月24日 (2003.10.24)		
(85) 翻訳文提出日	平成17年5月18日 (2005.5.18)		
(86) 国際出願番号	PCT/US2003/034567		
(87) 国際公開番号	W02004/038952		アメリカ合衆国、カリフォルニア州 92121-1714、サン・ディエゴ、モアハウス・ドライブ 5775
(87) 国際公開日	平成16年5月6日 (2004.5.6)		
(31) 優先権主張番号	60/421, 428	(74) 代理人	100058479 弁理士 鈴江 武彦
(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, 462		
(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	60/421, 309	(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)		

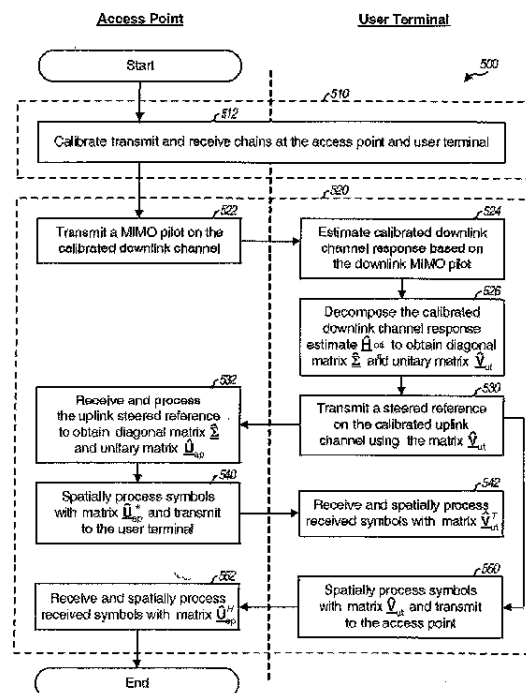
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 TDD MIMOシステムのためのチャネル推定および空間処理

(57) 【要約】

TDD MIMOシステムのためのチャネル推定および空間処理。

アクセスポイントおよびユーザ端末において、送信/受信チェーンの応答における差分に対処するために較正を実行してもよい(512)。通常操作中に、MIMOパイロットは第1リンク(522)上に送信され、第1リンクチャネル応答の推定を派生するために使用される(524)。第1リンクチャネル応答は、分解され、特異値の対角行列を得る。第1ユニタリ行列は、第1リンクの左固有ベクトルと第2リンクの右固有ベクトルの両方を含む(526)。スチアドリファレンスは、第1ユニタリ行列内の固有ベクトルを用いて第2リンク上に送信され(530)、処理され対角行列を得る。第2ユニタリ行列は、第2リンクの左固有ベクトルと第1リンクの右固有ベクトルの両方を含む(532)。各ユニタリ行列は、両方のリンクを介したデータ送受信のために空間処理を実行するために使用してもよい(540、542、550、552)。



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

下記を具備する、無線時分割二重化多重入力多重出力 (MIMO) 通信システムにおいて空間処理を実行するための方法：

第 1 のリンクを介して受信した第 1 の送信を処理し、前記第 1 のリンクを介して受信したデータ送信および第 2 のリンクを介して送信したデータ送信の両方のための空間処理のために使用可能な少なくとも 1 つの固有ベクトルを得る；および

前記第 2 のリンク上への送信前に少なくとも 1 つの固有ベクトルを有した第 2 の送信のための空間処理を実行する。

## 【請求項 2】

少なくとも 1 つの固有ベクトルを有した前記第 1 のリンクを介して受信した第 3 の送信に対して空間処理を実行することをさらに具備する、請求項 1 の方法。

## 【請求項 3】

前記第 1 の送信は、前記第 1 のリンクのための MIMO チャンネルの少なくとも 1 つの固有モードで受信したスチアドパイロットである、請求項 1 の方法。

## 【請求項 4】

前記第 1 の送信は、複数の送信アンテナから送信された複数のパイロット送信から構成される MIMO パイロットであり、各送信アンテナからの前記パイロット送信は、前記 MIMO パイロットの受信器により識別可能である、請求項 1 の方法。

## 【請求項 5】

第 1 の送信を処理することは、前記 MIMO パイロットに基づいて前記第 1 のリンクのためのチャンネル応答推定値を得ること、および前記チャンネル応答推定値を分解して前記第 1 リンクおよび第 2 リンクのための空間処理のために使用可能な複数の固有ベクトルを得ることを含む、請求項 4 の方法。

## 【請求項 6】

前記第 1 のリンクのための前記チャンネル応答推定値は、特異値分解を用いて分解される、請求項 5 の方法。

## 【請求項 7】

前記少なくとも 1 つの固有ベクトルを有するパイロットシンボルに対して空間処理を実行し、前記第 2 のリンクのための MIMO チャンネルの少なくとも 1 つの固有モードに関する送信のためのスチアドパイロットを発生することをさらに具備する、請求項 4 の方法。

## 【請求項 8】

前記第 2 の送信は、前記第 2 のリンクのための MIMO チャンネルの 1 つの固有モードで送信するために 1 つの固有ベクトルで空間的に処理される、請求項 1 の方法。

## 【請求項 9】

前記第 2 の送信は、前記第 2 のリンクのための MIMO チャンネルの 1 つの固有モードでの送信のために正規化された固有ベクトルで空間的に処理される、請求項 1 の方法。

## 【請求項 10】

前記第 1 の送信は、前記第 1 のリンクのための MIMO チャンネルの 1 つの固有モードのための正規化された固有ベクトルで発生されたスチアドパイロットであり、前記正規化された固有ベクトルは、同じ大きさを有する複数のエレメントを含み、前記第 1 のリンクおよび第 2 のリンクのための空間処理に使用可能な 1 つの固有ベクトルが得られる、請求項 1 の方法。

## 【請求項 11】

前記第 1 のリンクのためのチャンネル応答推定値が前記第 2 のリンクのためのチャンネル応答推定値と相互関係を表すように前記第 1 のリンクおよび第 2 のリンクを較正することをさらに具備する、請求項 1 の方法。

## 【請求項 12】

前記較正は、前記第 1 および第 2 のリンクのための前記チャンネル応答推定値に基づいて前記第 1 のリンクのための補正因子を得ること、および前記第 1 および第 2 のリンクのた

10

20

30

40

50

めの前記チャネル応答推定値に基づいて前記第2のリンクのための補正因子を求めることを含む、請求項11の方法。

【請求項13】

前記TDD MIMO通信システムは、直交周波数分割多重化(OFDM)を利用し、前記第1の送信のための処理および前記第2の送信のための前記空間処理は複数のサブバンドの各々に対して実行される、請求項1の方法。

【請求項14】

下記を具備する、無線時分割二重化(TDD)多重入力多重出力(MIMO)通信システム：

第1のリンクを介して受信した第1の送信を処理し、前記第1のリンクを介して受信したデータ送信および第2のリンクを介して送信したデータ送信の両方のための空間処理に使用可能な少なくとも1つの固有ベクトルを得る手段；および前記第2のリンク上に送信する前に前記少なくとも1つの固有ベクトルを有した第2の送信に対して空間処理を実行する手段。

【請求項15】

前記少なくとも1つの固有ベクトルを有する前記第1のリンクを介して受信した第3の送信に対して、空間処理を実行し、前記第3の送信のためのデータシンボルを回復する手段。

【請求項16】

前記第1の送信は、前記第1のリンクのためのMIMOチャネルの少なくとも1つの固有モードで受信したスチアドパイロットである、請求項14の装置。

【請求項17】

前記第1の送信は、複数の送信アンテナから送信された複数のパイロット送信から構成されるMIMOパイロットであり、各送信アンテナからの前記パイロット送信は、前記MIMOパイロットの受信器により識別可能である、請求項14の装置。

【請求項18】

前記MIMOパイロットに基づいて前記第1のリンクのためのチャネル応答推定値を得る手段；および

前記チャネル応答推定値を分解して、前記第1および第2リンクのための空間処理に使用可能な複数の固有ベクトルを得る手段をさらに具備する、請求項17の装置。

【請求項19】

下記を具備する、無線時分割二重化(TDD)多重入力多重出力(MIMO)通信システム：

第1のリンクを介して受信した第1の送信を処理し、前記第1のリンクを介して受信したデータ送信および第2のリンクを介して送信されたデータ送信の両方のための空間処理に使用可能な少なくとも1つの固有ベクトルを得るように機能的に作用するコントローラ；および

前記第2のリンク上への送信の前に少なくとも1つの固有ベクトルを有する第2の送信のための空間処理を実行するように機能的に作用する送信空間プロセッサ。

【請求項20】

少なくとも1つの固有ベクトルを有する前記第1のリンクを介して受信した第3の送信に対して空間処理を実行し、前記第3の送信のためのデータシンボルを回復するように機能的に作用する受信空間プロセッサをさらに具備する、請求項19の装置。

【請求項21】

前記第1の送信は、前記第1のリンクのためのMIMOチャネルの少なくとも1つの固有モードで受信したスチアドパイロットである、請求項19の装置。

【請求項22】

前記第1の送信は、複数の送信アンテナから送信された複数の送信から構成されるMIMOパイロットであり、各送信アンテナからの前記パイロット送信は、前記MIMOパイロットの受信器により識別可能である、請求項19の装置。

10

20

30

40

50

## 【請求項 23】

前記コントローラは、前記MIMOパイロットに基づいて前記第1のリンクのためのチャンネル応答推定値を得る、および前記チャンネル応答推定値を分解して前記第1および第2のリンクのための空間処理に使用可能な複数の固有ベクトルを得るように機能的に作用する、請求項22の装置。

## 【請求項 24】

下記を具備する、無線時分割二重化(TDD)多重入力多重出力通信システムにおける空間処理を実行する方法：

第1のリンクを介して受信したMIMOパイロットを処理し、前記第1のリンクを介して受信したデータ送信および第2のリンクを介して送信したデータ送信の両方のための空間処理に使用可能な複数の固有ベクトルを得る、前記MIMOパイロットは、複数の送信アンテナから送信された複数のパイロット送信を具備する；

および各送信アンテナからの前記パイロット送信は、前記MIMOパイロットの受信器により識別可能である；

前記複数の固有ベクトルを有する前記第1のリンクを介して受信した第1のデータ送信に対して空間処理を実行し前記第1のデータ送信のためのデータシンボルを回復する；

および前記第2のリンク上に送信する前に前記複数の固有ベクトルを有する第2のデータ送信のための空間処理を実行する。

## 【請求項 25】

前記固有ベクトルの少なくとも1つを備えたパイロットシンボルに対して空間処理を実行し、前記第2のリンクのためのMIMOチャンネルの少なくとも1つの固有モードで送信するためのスチアドパイロットを発生することをさらに具備する、請求項24の方法。

## 【請求項 26】

較正を実行して補正因子を得る；および

前記第2のリンク上に送信する前に前記補正因子を有する前記第2のデータ送信を拡大縮小する、請求項24の方法。

## 【請求項 27】

前記TDD MIMO通信システムは、直交周波数分割多重を利用し、前記空間処理は、複数のサブバンドの各々に対して実行される、請求項24の方法。

## 【請求項 28】

下記を具備する、無線時分割二重化(TDD)多重入力多重出力(MIMO)通信システムにおける装置：

第1のリンクを介して受信したMIMOパイロットを処理し、前記第1のリンクを介して受信したデータ送信および第2のリンクを介して送信されたデータ送信の両方のための空間処理に使用可能な複数の固有ベクトルを得る手段、前記MIMOパイロットは、複数の送信アンテナから送信された複数のパイロット送信を具備し、各送信アンテナからの前記パイロット送信は、前記MIMOパイロットの受信器により識別可能である；

最初のデータ伝送用データシンボルを回復するために多くの固有ベクトルとの最初のリンクによって受信された最初のデータ伝送上で空間の処理を行なうための手段；および

送信に先立って多くの固有ベクトルを備えた第2のデータ伝送のための空間の処理を介して行なうために第2のリンクを意味する。

## 【請求項 29】

前記固有ベクトルの少なくとも1つを有したパイロットシンボルに対して空間処理を実行し、前記第2のリンクのためのMIMOチャンネルのための少なくとも1つの固有モードで送信するためのスチアドパイロットを発生する手段をさらに具備する、請求項28の装置。

## 【請求項 30】

較正を実行して補正因子を得る手段；および

前記第2のリンク上に送信する前に前記補正因子を有した前記第2のデータ送信を拡大縮小する手段をさらに具備する、請求項28の装置。

10

20

30

40

50

## 【請求項 3 1】

下記を具備する、無線時分割二重化(TDD)多重入力多重出力(MIMO)通信システムにおける装置：

第1のリンクを介して受信したMIMOパイロットを処理し、前記第1のリンクを介して受信したデータ送信および第2のリンクを介して送信されたデータ送信の両方のための空間処理に使用可能な複数の固有ベクトルを得るように機能的に作用するコントローラ、前記MIMOパイロットは、複数の送信アンテナから送信された複数のパイロット送信を具備し、各送信アンテナからの前記パイロット送信は、前記MIMOパイロットの受信器により識別可能である；

前記複数の固有ベクトルを有した前記第1のリンクを介して受信した第1のデータ送信に対して空間処理を実行し、前記第1のデータ送信のためのデータシンボルを回復するように機能的に作用する受信空間処理；および

前記第2リンク上に送信する前に前記複数の固有ベクトルを有した第2データ送信のための空間処理を実行するように機能的に作用する送信空間プロセッサ。

## 【請求項 3 2】

前記送信空間プロセッサは、さらに前記固有ベクトルの少なくとも一つを有したパイロットシンボルに対して空間処理を実行し、前記第2のリンクのためのMIMOチャネルの少なくとも一つの固有モードで送信するためにスチアドパイロットを発生するように機能的に作用する、請求項31の装置。

## 【請求項 3 3】

前記コントローラは、さらに較正を実行し、補正因子を得るように機能的に作用し、前記送信空間プロセッサはさらに、前記第2のリンク上に送信する前に前記補正因子で前記第2のデータ送信を拡大縮小するように機能的に作用する、請求項31記載の装置。

## 【請求項 3 4】

下記を具備する、無線時分割二重化(TDD)多重入力多重出力(MIMO)通信システム：

第1のリンクのためのMIMOチャネルの少なくとも一つの固有モードを介して受信した最初のスチアドパイロットを処理し、前記第1のリンクを介して受信したデータ送信と、第2のリンクを介して送信されたデータ送信の両方のための空間処理に使用可能な少なくとも一つの固有ベクトルを得る；

前記少なくとも一つの固有ベクトルにおいて、前記第1のリンクを介して受信した第1のデータ送信に対して空間処理を実行する；および

前記第2のリンク上への送信の前に前記少なくとも一つの固有ベクトルを有した第2のデータ送信のための空間処理を実行する。

## 【請求項 3 5】

前記第2のリンク上に送信するためのMIMOパイロットを発生することをさらに具備し、前記MIMOパイロットは、複数の送信アンテナから送信された複数のパイロット送信を具備し、各送信アンテナからの前記パイロット送信は、MIMOパイロットの受信器により識別可能である、請求項34の方法。

## 【請求項 3 6】

下記を具備する、無線時分割二重化(TDD)多重入力多重出力通信システムにおける装置：

第1のリンクのためのMIMOチャネルの少なくとも一つの固有モードを介して受信したスチアドパイロットを処理し、前記第1のリンクを介して受信したデータ送信と、第2のリンクを介して送信されたデータ送信の両方のための空間処理に使用可能な少なくとも一つの固有ベクトルを得る手段；

少なくとも一つの固有ベクトルを有した第1のリンクを介して受信した第1のデータ送信に対して空間処理を実行する手段；および

前記第2のリンク上に送信する前に前記少なくとも一つの固有ベクトルを有する第2のデータ送信のための空間処理を実行する手段。

10

20

30

40

50

## 【請求項 37】

前記第2のリンク上に送信するためのMIMOパイロットを発生する手段をさらに具備し、前記MIMOパイロットは、複数の送信アンテナから送信された複数のパイロット送信を具備し、各送信アンテナからの前記パイロット送信は、前記MIMOパイロットの受信器により識別可能である、請求項36の装置。

## 【請求項 38】

下記を具備する、無線時分割二重化(TDD)多重入力多重出力(MIMO)通信システム：

第1のリンクのためのMIMOチャネルの少なくとも1つの固有モードを介して受信したスチアドパイロットを処理し、前記第1のリンクを介して受信したデータ送信と、第2のリンクを介して送信されたデータ送信の両方のための空間処理に使用可能な少なくとも1つの固有ベクトルを得るように機能的に作用するコントローラ；

前記少なくとも1つの固有ベクトルを有した前記第1のリンクを介して受信した第1のデータ送信に対して空間処理を実行するように機能的に作用する受信空間プロセッサ；および

前記第2のリンク上に送信する前に、前記少なくとも1つの固有ベクトルを有した第2のデータ送信のための空間処理を実行するように機能的に作用する送信空間プロセッサ。

## 【請求項 39】

前記送信空間プロセッサは、さらに、前記第2のリンク上に送信するためのMIMOパイロットを発生するように機能的に作用し、前記MIMOパイロットは、複数の送信アンテナから送信された複数のパイロット送信を具備し、各送信アンテナからの前記パイロット送信は、前記MIMOパイロットの受信器により識別可能である、請求項38の装置。

## 【請求項 40】

下記を具備する、無線時分割二重化(TDD)多重入力多重出力(MIMO)通信システムにおいて空間処理を実行する方法：

MIMOチャネルの1つの固有モードのための正規化された固有ベクトルを有したパイロットシンボルに対して空間処理を実行し、前記MIMOチャネルの前記1つの固有モードを介して送信するための第1のスチアドパイロットを発生する、前記正規化された固有ベクトルは、同じ大きさの複数のエレメントを含む；および

前記MIMOチャネルの1つの固有モードで送信する前に前記正規化された固有ベクトルを有するデータシンボルに対して空間処理を実行する。

## 【請求項 41】

前記1つの固有モードのための非正規化された固有ベクトルを有するパイロットシンボルに対して空間処理を実行し、前記MIMOチャネルの前記1つの固有モードを介して送信するための第2のスチアドパイロットを発生することをさらに具備する、請求項40の方法。

## 【請求項 42】

下記を具備する、無線時分割二重化(TDD)多重入力多重出力(MIMO)直交周波数分割多重化(OFDM)通信システムにおいて空間処理を実行する方法：

第1のリンクを介して受信した第1の送信を処理し、複数のサブバンドの各々のための固有ベクトルの行列を得る、固有ベクトルの複数の行列は、前記複数のサブバンドに対して得られ、前記第1のリンクを介して受信したデータ送信および第2のリンクを介して送信されたデータ送信の両方のための空間処理に使用可能である；および

前記第2のリンク上に送信する前に固有ベクトルの前記複数の行列を有する第2の送信のための空間処理を実行する。

## 【請求項 43】

前記固有ベクトルに関連するチャネル利得に基づいて各行列における固有ベクトルを順番付けすることをさらに具備する、請求項42の方法。

## 【請求項 44】

前記第2の送信は、少なくとも1つの広帯域固有モードで送信され、前記複数の行列に

10

20

30

40

50

おける固有ベクトルのセットに関連する各広帯域固有モードは、前記順番付けの後同じ順番を有する、請求項 4 3 の方法。

【請求項 4 5】

下記を具備する、時分割二重化(TDD)多重入力多重出力(MIMO)通信システムにおける無線チャネルを推定する方法：

第 1 のリンクを介して受信したパイロット送信を処理し、前記第 1 のリンクのためのチャネル応答推定値を得る；および

前記チャネル応答推定値を分解し、前記第 1 のリンクを介して受信したデータ送信および第 2 のリンクを介して送信されたデータ送信の両方のための空間処理に使用可能な固有ベクトルの行列を得る。

10

【請求項 4 6】

下記を具備する、時分割二重化(TDD)多重入力多重出力(MIMO)通信システムにおける無線チャネルを推定する方法：

第 1 のリンクのための MIMO チャネルの少なくとも 1 つの固有モードでスチアドパイロットを受信する；および

前記受信したスチアドパイロットを処理し、前記第 1 のリンクを介して受信したデータ送信と、第 2 のリンクを介して送信されたデータ送信の両方のための空間処理に使用可能な少なくとも 1 つの固有ベクトルを得る。

【請求項 4 7】

前記処理は、前記スチアドパイロットを発生するために使用されるパイロットシンボルによる変調を除去するために前記受信したスチアドパイロットを復調することを含み、前記復調されたスチアドパイロットを処理して前記少なくとも 1 つの固有ベクトルを得る、請求項 4 6 の方法。

20

【請求項 4 8】

前記少なくとも 1 つの固有ベクトルは、最小平均二乗誤差(MMSE)技術に基づいて得られる、請求項 4 6 の方法。

【請求項 4 9】

複数の固有ベクトルが得られ、互いに直交するように強制される、請求項 4 6 の方法。

【請求項 5 0】

下記を具備する、アクセスポイントとユーザ端末を含む無線通信システムにおいて、データ処理を実行する方法：

30

前記アクセスポイントと前記ユーザ端末との間で、第 1 のリンクおよび第 2 のリンクを含む 1 つ以上の通信リンクを較正し、較正された第 1 のリンクおよび較正された第 2 のリンクを形成する；

前記較正された第 1 のリンク上に送信された 1 つ以上のパイロットに基づいて前記較正された第 1 のリンクのためのチャネル応答推定値を得る；および

前記チャネル応答推定値を分解し、前記 1 つ以上の通信リンクの空間処理に使用可能な 1 つ以上の固有ベクトルを得る。

【請求項 5 1】

較正は、下記を具備する請求項 5 0 の方法：

40

前記 1 つ以上の通信リンクのためのチャネル応答の推定値に基づいて補正因子の 1 つ以上のセットを決定する；および

前記 1 つ以上の補正因子を前記第 1 および第 2 のリンクに適用して前記較正された第 1 および第 2 のリンクを形成する。

【請求項 5 2】

前記較正された第 1 のリンクのための前記チャネル応答推定値を分解することにより得られる前記 1 つ以上の固有ベクトルを用いて前記第 1 および第 2 のリンク上のデータ送信のための空間処理を実行することをさらに具備する、請求項 5 0 の方法。

【請求項 5 3】

空間処理を実行することは、前記 1 つ以上の固有ベクトルを用いて前記第 2 のリンク上

50

にスチアドリファレンスを送信することを具備する、請求項 5 2 の方法。

【請求項 5 4】

前記 1 つ以上の固有ベクトルを有する 1 つ以上のパイロットシンボルに対して空間処理を実行し前記スチアドリファレンスを発生することをさらに具備する、請求項 5 3 の方法。

【請求項 5 5】

下記を具備する、アクセスポイント、およびユーザー端末を含む無線通信システムにおけるデータ処理を実行する装置：

前記アクセスリンクと前記ユーザー端末との間の第 1 のリンクおよび第 2 のリンクを含む 1 つ以上の通信リンクを較正し、較正された第 1 のリンクおよび較正された第 2 のリンクを形成する手段；

前記較正された第 1 のリンクに送信された 1 つ以上のパイロットに基づいて前記較正された第 1 のリンクのためにチャンネル応答推定値を得る手段；および

前記チャンネル応答推定値を分解し、前記 1 つ以上の通信リンクの空間処理に使用可能な 1 つ以上の固有ベクトルを得る手段。

10

【請求項 5 6】

較正は、前記 1 つ以上の通信リンクのためのチャンネル応答の推定値に基づいて補正因子の 1 つ以上のセットを決定する手段と；および

前記補正因子の 1 つ以上のセットを前記第 1 および第 2 のリンクに適用し、前記較正された第 1 および第 2 のリンクを形成する手段を具備する、請求項 5 5 の装置。

20

【請求項 5 7】

さらに、前記較正された第 1 のリンクのための前記チャンネル応答推定値を分解することから得られる前記 1 つ以上の固有ベクトルを用いて前記第 1 および第 2 のリンク上にデータ送信するために空間処理を実行することをさらに具備する請求項 5 5 の装置。

【請求項 5 8】

空間処理を実行することは、前記 1 つ以上の固有ベクトルを用いて前記第 2 のリンク上にスチアドリファレンスを送信することを具備する、請求項 5 7 の装置。

1 つ以上の固有ベクトルを使用して、第 2 のリンク上の操縦された参照を送信すること。

【請求項 5 9】

前記 1 つ以上の固有ベクトルを用いて 1 つ以上のパイロットシンボルに対して空間処理を実行し、前記スチアドリファレンスを発生することをさらに具備する、請求項 5 8 の装置。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

35U.S.C. 119に基づく優先権主張

この出願は、この出願の譲受人に譲渡され、参照することによりここに組み込まれる、すべてが2002年10月25日に提出された、

「TDD MIMOシステムのためのチャンネル推定および空間処理」(Channel Estimation and Spatial Processing for TDD MIMO)というタイトルの米国仮出願シリアル番号60/421,428、「時分割デュプレックス通信システムのためのチャンネル較正」(Channel Calibration for a Time Division Duplexed Communication System)というタイトルの米国仮出願シリアル番号60/421,462、および「MIMO WLANシステム」(MIMO WLAN System)というタイトルの米国仮出願シリアル番号60/421,309の利益を主張する。

40

【0002】

この発明は一般にデータ通信に関し、特に時間分割デュプレックス(TDD)複数入力-複数出力(MIMO)通信システムにおいてチャンネル推定と空間処理を実行するための技術に関する。

【背景技術】

50



## 【0003】

MIMOシステムはデータ送信のために複数( $N_T$ )の送信アンテナと複数( $N_R$ )の受信アンテナを採用する。 $N_T$ の送信アンテナと $N_R$ の受信アンテナにより形成されるMIMOチャネルは、 $N_S$ の独立したチャネルに分解してもよい。この場合、 $N_S = \min\{N_T, N_R\}$ である。 $N_S$ の独立チャネルの各々はまた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、次元に相当する。複数の送信および受信アンテナによって作られたさらなる次元が利用されるなら、MIMOシステムは、改良された性能(例えば、増大した送信能力)を提供することができる。

## 【0004】

MIMOチャネルの $N_S$ の固有モードの1つ以上にデータを送信するために、受信器において、および一般的には送信器においても空間処理を実行する必要がある。 $N_T$ の送信アンテナから送信されたデータストリームは、受信アンテナにおいて互いに干渉する。データストリームが個々に回復することができるように、空間処理は、受信器において、データストリームを分離しようと試みる。

10

## 【0005】

空間処理を実行するために、送信器と受信器との間のチャネル応答の正確な推定が一般的に必要である。TDD方式の場合、アクセスポイントとユーザー端末との間のダウンリンク(すなわち、フォワードリンク)およびアップリンク(すなわち、リバースリンク)は両方とも、同じ周波数帯域を共有する。この場合、アクセスポイントとユーザー端末において送信および受信チェーンにおける差分に対処するために(以下に記載されるように) 20  
 較正が行われた後に、ダウンリンクチャネル応答とアップリンクチャネル応答は互いに相互関係を表すように仮定してもよい。すなわち、 $\underline{H}$ が、アンテナアレイAからアンテナアレイBへのチャネル応答行列を表すなら、相互チャネルは、アレイBからアレイAへの結合は $\underline{H}^T$ により与えられ、この場合 $\underline{M}^T$ は、 $\underline{M}$ の転置を示す。

20

## 【0006】

MIMOシステムのためのチャネル推定および空間処理は、典型的にはシステムリソースの大部分を消費する。したがって、TDD MIMOシステムにおいて、チャネル推定および空間処理を効率的に実行する技術のための技術的必要性がある。

## 【発明の概要】

## 【0007】

TDD MIMOシステムにおいて、効率的な方法で、チャネル推定および空間処理を実行するための技術がここに提供される。TDD MIMOシステムの場合、相互のチャネル特性は送信器と受信器の両方においてチャネル推定および空間処理を簡単化するために利用することができる。最初に、システム内のアクセスポイントおよびユーザー端末は、較正を実行し、送信チェーンおよび受信チェーンの応答内の差分を決定して、差分に対処するために使用される補正因子を得るようにしてもよい。補正因子が適用された「較正された」チャネルが相互関係を表すことを保証するために較正を実行してもよい。このように、第1リンクのために派生された推定に基づいて第2リンクのより正確な推定を得てもよい。

30

## 【0008】

通常動作期間に、MIMOパイロットは(例えば、アクセスポイントにより)第1リンク(例えば、ダウンリンク)上に送信され第1リンクのためのチャネル応答の推定を派生するために使用される。次に、チャネル応答推定は、(例えば、特異値分解を用いて、ユーザー端末によって)分解され、特異値の対角行列を得てもよい。そして第1ユニタリ行列は、第1リンクの左固有ベクトルと第2リンク(例えば、アップリンク)の右固有ベクトルの両方を含む。従って、第1ユニタリ行列は、第1リンク上で受信されたデータ送信に対して、並びに第2リンク上に送信されるデータ送信に対して空間処理を実行するように使用してもよい。

40

## 【0009】

スチアドリファレンス(steered reference)は、第1ユニタリ行列内に固有ベクトルを

50

用いて第2リンク上に送信してもよい。スチアドリファレンス(またはスチアドパイロット)は、データ送信のために使用される固有ベクトルを用いて特定の固有モード上に送信されるパイロットである。次に、このスチアドリファレンスは(例えば、アクセスポイントにより)処理され対角行列を得てもよい。そして、第2ユニタリ行列は、第2リンクの左固有ベクトルと第1リンクの右固有ベクトルの両方を含む。従って、第2のユニタリ行列を用いて第2リンク上で受信したデータ送信並びに第1リンク上に送信すべきデータ送信に対して空間処理を実行してもよい。

【0010】

この発明の種々の観点および実施形態は以下に詳細に記載される。

【発明を実施するための最良の形態】

10

【0011】

この発明の種々の観点および特徴は、以下の図面と共に以下に記載される。

【0012】

図1は、TDD MIMOシステム100におけるアクセスポイント110およびユーザ端末150の一実施形態のブロック図である。アクセスポイント110はデータ送信/受信のための $N_{ap}$ の送信/受信アンテナを備え、ユーザ端末150は $N_{ut}$ の送信/受信アンテナを備えている。

【0013】

ダウンリンク上で、アクセスポイント110において、送信(TX)データプロセッサ114は、データソース112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130からシグナリングおよび他のデータを受信する。TXデータプロセッサ114は、データをフォーマット化し、符号化し、インターリーブし、および変調(すなわち、シンボルマッピング)し、変調シンボルを供給する。TX空間プロセッサ120はTXデータプロセッサ114から変調シンボルを受信し、空間処理を実行して、各アンテナに対して1つのストリームの割り合いで、 $N_{ap}$ の送信シンボルのストリームを供給する。また、TX空間プロセッサ120は、必要に応じて(例えば、較正および通常動作のために)パイロットシンボルにおいて多重化する。

20

【0014】

(送信チェーンを含む)各変調器(MOD)122は、それぞれの送信シンボルストリームを受信して処理し、対応するダウンリンク変調された信号を供給する。次に、変調器122a乃至122apからの $N_{ap}$ のダウンリンク変調された信号は、それぞれ $N_{ap}$ のアンテナ124a乃至124apから送信される。

30

【0015】

ユーザー端末150において、 $N_{ut}$ のアンテナ152a乃至152utは、送信されたダウンリンク変調された信号を受信し、各アンテナは、受信した信号をそれぞれの復調器(DEMOD)154に供給する。(受信チェーンを含む)各復調器154は、変調器122において実行される処理と相補的な処理を実行し、受信シンボルを供給する。次に、受信(RX)プロセッサ160は、すべての復調器154a乃至154utからの受信シンボルに空間処理を実行し、回復されたシンボルを供給する。回復されたシンボルは、アクセスポイントにより送信された変調シンボルの推定値である。RXデータプロセッサ170はさらに回復されたシンボルを処理し(例えば、シンボルデマッピング、デインターリーブ、およびデコード)、復号されたデータを供給する。復号されたデータは、回復されたトラヒックデータ、シグナリング、等を含んでもよい。これらは、記憶のためにデータシンク172に供給されてもよくおよび/またはさらなる処理のためにコントローラ180に供給されてもよい。

40

【0016】

アップリンクのための処理はダウンリンクのための処理と同じであってもよいし、異なってもよい。データおよびシグナリングは、TXデータプロセッサにより処理され(例えば、符号化され、インターリーブされ、および変調される)、さらにTX空間プロセッサ190により空間的に処理される。TX空間プロセッサ190は、必要に応じて(例

50

えば、較正および通常の動作のため)パイロットシンボルにおいて多重化する。TX空間プロセッサ190からのパイロットおよび送信シンボルは、変調器154a乃至154u<sub>t</sub>によりさらに処理され、N<sub>u<sub>t</sub></sub>のアップリンク変調された信号を発生する。次に、このアップリンク変調された信号は、アンテナ152a乃至152u<sub>t</sub>を介してアクセスポイントに送信される。

【0017】

アクセスポイント110において、アップリンク変調された信号は、ユーザ端末において実行された処理と相補的な方法で、アンテナ124a乃至124a<sub>p</sub>により受信され、復調器122a乃至122a<sub>p</sub>により復調され、およびRX空間プロセッサ140およびRXデータプロセッサ142により処理される。アップリンクのために復号されたデータは、記憶のためにデータシンク144に供給されてもよいし、および/またはさらなる処理のためにコントローラ130に供給されてもよい。

【0018】

コントローラ130および180は、それぞれアクセスポイントとユーザ端末で種々の処理装置の動作を制御する。メモリユニット132および182は、それぞれコントローラ130および180により使用されるデータおよびプログラムコードを記憶する。

【0019】

1. 較正

TDDシステムの場合、ダウンリンクとアップリンクは、同じ周波数帯域を共有するので、ダウンリンクチャネル応答とアップリンクチャネル応答との間に高度の相関が通常存在する。したがって、ダウンリンクおよびアップリンクチャネル応答行列は互いに相互に関係を表す(すなわち、転置)であると仮定してもよい。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、ユーザ端末における送信/受信チェーンの応答と一般的に等しくない。改良された性能のために、差分を決定し較正を介して対処してもよい。

【0020】

図2Aは、この発明の一実施形態に従う、アクセスポイント110とユーザ端末150における送信チェーンおよび受信チェーンのブロック図を示す。ダウンリンクの場合、アクセスポイント110において、(「送信」ベクトル $\underline{x}_{dn}$ により示される)シンボルは、送信チェーン214により処理されN<sub>a<sub>p</sub></sub>アンテナ124からMIMOチャネル上に送信される。ユーザ端末150において、ダウンリンク信号はN<sub>u<sub>t</sub></sub>のアンテナ152により受信され、受信チェーン254により処理され、(「受信」ベクトル $\underline{r}_{dn}$ により示される)受信シンボルを供給する。アップリンクの場合、ユーザ端末150において、(送信ベクトル $\underline{x}_{up}$ により示される)シンボルは、送信チェーン264により処理され、N<sub>u<sub>t</sub></sub>アンテナ152からMIMOチャネル上に送信される。アクセスポイント110において、アップリンク信号は、N<sub>a<sub>p</sub></sub>アンテナ124により受信され、受信チェーン224により処理され(受信ベクトル $\underline{r}_{up}$ により示される)受信シンボルを供給する。

【0021】

ダウンリンクの場合、(雑音が無い場合に)ユーザ端末において受信ベクトル $\underline{r}_{dn}$ は、以下のように表してもよい。

【数1】

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

【0022】

但し、 $\underline{x}_{dn}$ は、ダウンリンクのためのN<sub>a<sub>p</sub></sub>のエントリを有する送信ベクトルである。

【0023】

$\underline{r}_{dn}$ は、N<sub>u<sub>t</sub></sub>のエントリを有する受信ベクトルである。T<sub>a<sub>p</sub></sub>は、アクセスポイントにおいて、N<sub>a<sub>p</sub></sub>のアンテナのための送信チェーンに関連する複素利得のためのエントリを有するN<sub>a<sub>p</sub></sub> × N<sub>a<sub>p</sub></sub>の対角行列である。R<sub>u<sub>t</sub></sub>は、ユーザ端末においてN<sub>u<sub>t</sub></sub>のアンテナのための受信

10

20

30

40

50

チェーンに関連する複素利得のためのエントリを有する  $N_{ut} \times N_{ut}$  の対角行列である。H は、ダウンリンクのための  $N_{ut} \times N_{ap}$  のチャンネル応答行列である。送信 / 受信チェーンおよび MIMO チャンネルの応答は、一般的に周波数の関数である。簡単にするために、以下の導出に対して、フラットフェージングチャンネル (すなわち、フラット周波数応答を有する) が仮定される。

【 0 0 2 4 】

アップリンクの場合、(雑音が無い場合に) アクセスポイントにおいて、受信ベクトル  $\underline{r}_{up}$  は、以下のように表してもよい。

【数 2】

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

10

【 0 0 2 5 】

但し、 $\underline{x}_{up}$  は、アップリンクのための  $N_{ut}$  のエントリを有する送信ベクトルである。 $\underline{r}_{up}$  は  $N_{ap}$  のエントリを有する受信ベクトルである。 $\underline{T}_{ut}$  は、ユーザ端末において  $N_{ut}$  のアンテナのための送信チェーンに関連する複素利得のためのエントリを有する  $N_{ut} \times N_{ut}$  の対角行列である。 $\underline{R}_{ap}$  は、アクセスポイントにおいて、 $N_{ap}$  のアンテナのための受信チェーンに関連する複素利得のためのエントリを有する  $N_{ap} \times N_{ap}$  の対角行列である。

【 0 0 2 6 】

$\underline{H}^T$  は、アップリンクのための  $N_{ap} \times N_{ut}$  のチャンネル応答行列である。

20

【 0 0 2 7 】

方程式 ( 1 ) および ( 2 ) から、適用可能な送信チェーンおよび受信チェーンの応答を含む「実効的」なダウンリンクおよびアップリンクチャンネル応答は、以下のように表してもよい。

【数 3】

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

【 0 0 2 8 】

式 ( 3 ) に示すように、アクセスポイントにおける送信 / 受信チェーンの応答がユーザ端末における送信 / 受信チェーンの応答に等しくなければ、実効的なダウンリンクおよびアップリンクチャンネル応答は互いに相互関係を表さない。すなわち、

30

【数 4】

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

【 0 0 2 9 】

である。

【 0 0 3 0 】

方程式セット ( 3 ) 中の 2 つの方程式を組み合わせることにより、以下の関係を得てもよい。

40

【数 5】

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

【 0 0 3 1 】

方程式 ( 4 ) を再整理すると、以下が得られる。

【数 6】

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

又は

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

【0032】

但し、

【数 7】

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

10

【0033】

である。なぜならば、 $\underline{\mathbf{T}}_{ut}$ 、 $\underline{\mathbf{R}}_{ut}$ 、 $\underline{\mathbf{T}}_{ap}$ 、および $\underline{\mathbf{R}}_{ap}$ は対角行列であり、 $\underline{\mathbf{K}}_{ap}$ および $\underline{\mathbf{K}}_{ut}$ も対角行列だからである。方程式(5)は、以下のように表してもよい。

【数 8】

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

20

【0034】

行列 $\underline{\mathbf{K}}_{ap}$ および $\underline{\mathbf{K}}_{ut}$ は、アクセスポイントおよびユーザ端末において、送信/受信チェーン内の差分に対処することができる「補正因子」を含むものとして見てもよい。従って、方程式(5)に示すように、一方のリンクのためのチャンネル応答は、他方のリンクのためのチャンネル応答により表すことができるであろう。

【0035】

行列 $\underline{\mathbf{K}}_{ap}$ および $\underline{\mathbf{K}}_{ut}$ を決定するために較正を行ってもよい。一般的には、真のチャンネル応答 $\underline{\mathbf{H}}$ および送信/受信チェーン応答は知られておらず、またそれらは、正確にまたは容易に解明することができない。その代わりに、実効的なダウンリンクおよびアップリンクチャンネル応答 $\underline{\mathbf{H}}_{dn}$ および $\underline{\mathbf{H}}_{up}$ は、それぞれダウンリンクおよびアップリンク上に送信された MIMOパイロットに基づいて推定してもよい。MIMOパイロットの発生と使用は、上述の米国特許出願シリアル番号60/421,309に詳細に記載されている。

30

【0036】

補正行列

【数 9】

$$\hat{\underline{\mathbf{K}}}_{ap} \quad \text{および} \quad \hat{\underline{\mathbf{K}}}_{ut}$$

【0037】

と呼ばれる行列 $\underline{\mathbf{K}}_{ap}$ および $\underline{\mathbf{K}}_{ut}$ の推定値は、行列比計算および最小平均2乗誤差(MMSE)計算を含む種々の方法でダウンリンクおよびアップリンクチャンネル応答推定値

40

【数 10】

$$\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{dn} \quad \text{および} \quad \hat{\underline{\mathbf{H}}}_{up}$$

【0038】

に基づいて導き出してもよい。行列比計算の場合、 $(N_{ut} \times N_{ap})$ 行列 $\underline{\mathbf{C}}$ は、アップリンクおよびダウンリンクチャンネル応答の比として以下のように最初に計算される。

【数 1 1】

$$\underline{C} = \frac{\hat{\underline{H}}_{up}^T}{\hat{\underline{H}}_{dn}} \quad \text{式 (7)}$$

【0 0 3 9】

但し、比はエレメントごとにとられる。従って、 $\underline{C}$ の各エレメントは以下のように計算してもよい。

【数 1 2】

$$c_{i,j} = \frac{\hat{h}_{up,i,j}}{\hat{h}_{dn,i,j}}, \text{ 但し } i = \{1 \dots N_u\} \text{ および } j = \{1 \dots N_{ap}\}$$

10

【0 0 4 0】

但し、

【数 1 3】

$$\hat{h}_{up,i,j} \text{ および } \hat{h}_{dn,i,j}$$

20

【0 0 4 1】

は、それぞれ

【数 1 4】

$$\hat{\underline{H}}_{up}^T \text{ および } \hat{\underline{H}}_{dn}$$

【0 0 4 2】

の  $(i, j)$  番目のエレメントであり、 $c_{i,j}$  は  $\underline{C}$  の  $(i, j)$  番目のエレメントである。

【数 1 5】

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

30

【0 0 4 3】

の  $N_{ap}$  の対角行列のみを含む、アクセスポイントの補正行列

【数 1 6】

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

【0 0 4 4】

は  $\underline{C}$  の正規化された行の平均に等しくなるように定義してもよい。 $\underline{C}$ 、 $\underline{c}_i$  の各行は、行の各エレメントを行の第 1 エレメントで割ることにより正規化され、対応する正規化された行

40

【数 1 7】

$$\tilde{\underline{c}}_i$$

【0 0 4 5】

を得る。従って、

【数 1 8】

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

【0 0 4 6】

が  $\underline{C}$  の  $i$  番目の行なら、正規化された行

【数 1 9】

$$\tilde{\underline{c}}_i$$

【0 0 4 7】

は以下のように表してもよい。

【数 2 0】

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

10

【0 0 4 8】

従って、補正ベクトル

【数 2 1】

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

20

【0 0 4 9】

は、 $\underline{C}$  の  $N_{ut}$  の正規化された行の平均に等しく設定され、以下のように表してもよい。

【数 2 2】

$$\hat{\underline{k}}_{ap} = \frac{1}{N_{ut}} \sum_{i=1}^{N_{ut}} \tilde{\underline{c}}_i \quad \text{式 (8)}$$

【0 0 5 0】

正規化のために、

【数 2 3】

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

30

【0 0 5 1】

の第 1 エレメントは 1 である。 $N_{ut}$  の対角エレメント

【数 2 4】

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

40

【0 0 5 2】

のみを含む、ユーザ端末

【数 2 5】

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

【0 0 5 3】

のための補正ベクトル

【数 2 6】

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

【0 0 5 4】

は  $\underline{C}$  の正規化された列の逆数の平均に等しくなるように定義してもよい。  $\underline{C}$  ,  $\underline{c}_j$  の各列は、  $K_{ap,j,j}$  として示されるベクトル

【数 2 7】

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

10

【0 0 5 5】

の  $j$  番目のエレメントで列の各エレメントを拡大縮小することにより最初に正規化され、対応する正規化された列

【数 2 8】

$$\tilde{\underline{c}}_j$$

【0 0 5 6】

を得る。従って

20

【数 2 9】

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

【0 0 5 7】

が  $\underline{C}$  の  $j$  番目の列であるなら、正規化された列

【数 3 0】

$$\tilde{\underline{c}}_j$$

30

【0 0 5 8】

は以下のように表してもよい。

【数 3 1】

$$\tilde{\underline{c}}_j = [c_{1,j}/K_{ap,j,j} \dots c_{i,j}/K_{ap,j,j} \dots c_{N_w,j}/K_{ap,j,j}]^T$$

【0 0 5 9】

従って、補正ベクトル

【数 3 2】

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

40

【0 0 6 0】

は、  $\underline{C}$  の  $N_{ap}$  の正規化された列の逆数の平均に等しく設定され、以下のように表してもよい。

【数 3 3】

$$\hat{\underline{k}}_{ut} = \frac{1}{N_{ap}} \sum_{j=1}^{N_{ap}} \frac{1}{\tilde{\underline{c}}_j} \quad \text{式 (9)}$$

50



【 0 0 6 1 】

但し、正規化された列

【 数 3 4 】

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

【 0 0 6 2 】

の転置は、エレメントに関して実行される。較正は、それぞれアクセスポイントおよびユーザ端末に対して、補正ベクトル

【 数 3 5 】

$$\hat{\underline{\mathbf{k}}}_{ap} \text{ および } \hat{\underline{\mathbf{k}}}_{ut}$$

【 0 0 6 3 】

または対応する補正行列

【 数 3 6 】

$$\hat{\underline{\mathbf{K}}}_{ap} \text{ および } \hat{\underline{\mathbf{K}}}_{ut}$$

【 0 0 6 4 】

を供給する。補正行列

【 数 3 7 】

$$\hat{\underline{\mathbf{K}}}_{ap} \text{ および } \hat{\underline{\mathbf{K}}}_{ut}$$

【 0 0 6 5 】

のための M M S E 計算は、上述した米国特許出願シリアル番号 6 0 / 4 2 1 , 4 6 2 に詳細に記載される。図 2 B は、この発明の一実施形態に従って、アクセスポイントとユーザ端末における送信 / 受信チェーンにおける差分に対処するための補正行列のアプリケーションを図解する。ダウンリンク上で、送信ベクトル  $\underline{x}_{dn}$  は、最初にユニット 2 1 2 により行列

【 数 3 8 】

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

【 0 0 6 6 】

と乗算される。ダウンリンクのための送信チェーン 2 1 4 と受信チェーン 2 5 4 により次の処理は図 2 A に示すように同じである。同様に、アップリンク上において、送信ベクトル  $\underline{x}_{up}$  は、ユニット 2 6 2 により行列

【 数 3 9 】

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

【 0 0 6 7 】

と最初に乗算される。この場合も先と同様に、アップリンクのための送信チェーン 2 6 4 と受信チェーン 2 2 4 により次の処理は、図 2 A に示すように同じである。

【 0 0 6 8 】

それぞれユーザ端末とアクセスポイントによって観察される、「較正された」ダウンリンクおよびアップリンクチャネル応答は、以下のように表してもよい。

10

20

30

40

50

【数 4 0】

$$\underline{\mathbf{H}}_{\text{cdn}} = \underline{\mathbf{H}}_{\text{dn}} \hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ap}} \text{ および } \underline{\mathbf{H}}_{\text{cup}} = \underline{\mathbf{H}}_{\text{up}} \hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ut}} \quad \text{式(10)}$$

【0 0 6 9】

但し、

【数 4 1】

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

10

【0 0 7 0】

は、方程式(6)における「真」の較正されたチャネル応答式の推定値である。方程式(6)および(10)から、

【数 4 2】

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

【0 0 7 1】

であることがわかる。関係式

【数 4 3】

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

20

【0 0 7 2】

の精度は、推定値

【数 4 4】

$$\hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ap}} \text{ および } \hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ut}}$$

【0 0 7 3】

の推定値に依存し、この推定値は、次には、ダウンリンクおよびアップリンクチャネル応答推定値

【数 4 5】

$$\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{dn}} \text{ および } \hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{up}}$$

30

【0 0 7 4】

の品質に依存する。上に示すように、送信/受信チェーンが較正されると、一方のリンク(例えば、

【数 4 6】

$$\hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{cdn}}$$

40

【0 0 7 5】

)に対して得られる較正されたチャネル応答推定値は、他方のリンク(例えば、

【数 4 7】

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

【0 0 7 6】

50

)に対して得られる較正されたチャネル応答の推定値として使用してもよい。

【0077】

TDD MIMOシステムのための較正は、上述した米国特許出願シリアル番号60/421,309および米国特許出願シリアル番号60/421,462に詳細に記載されている。

【0078】

2. 空間処理

[0040] MIMOシステムの場合、データは、MIMOチャネルの1つ以上の固有モード上に送信してもよい。空間多重化モードは、複数の固有モード上のデータ送信をカバーするように定義してもよく、ビームステアリングモードは、単一の固有モード上のデータ送信をカバーするように定義してもよい。両方の動作モードは、送信器と受信器において空間処理を必要とする。

10

【0079】

ここに記載されるチャネル推定技術および空間処理技術は、OFDMを伴う場合および伴わない場合にMIMOシステムに対して使用してもよい。OFDMは、全体のシステム帯域幅を多数の(NF)直交サブバンドに効率的に分割する。直交サブバンドは、周波数ビンまたはサブチャネルとも呼ばれる。OFDMと伴う場合、各サブバンドは、データを変調してもよいそれぞれのサブキャリアと関連している。OFDMを利用するMIMOシステム(すなわち、MIMO-OFDMシステム)の場合、各サブバンドの各固有モードは、独立した送信チャネルと見てもよい。明確にするために、チャネル推定技術と空間処理技術は、TDD MIMO-OFDMシステムの場合について以下に記載される。このシステムの場合、無線チャネルの各サブバンドは、相互関係を表すとみなしてもよい。

20

【0080】

ダウンリンクチャネル応答とアップリンクチャネル応答との間の相関関係を利用して、TDDシステムの場合におけるアクセスポイントとユーザ端末におけるチャネル推定技術および空間処理技術を簡単にしてもよい。この単純化は、送信/受信チェーンにおける差分に対処するために較正が実行された後で有効である。較正されたチャネル応答は、以下のように周波数の関数として表してもよい。

【数48】

$$\underline{\mathbf{H}}_{\text{cdn}}(k) = \underline{\mathbf{H}}_{\text{dn}}(k) \hat{\mathbf{K}}_{\text{ap}}(k), \quad \text{但し } k \in K, \text{ および} \quad \text{式(11)}$$

30

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

【0081】

但し、kは、データ送信のために使用してもよいすべてのサブバンドのセット(すなわち、「データサブバンド」)を表す。較正は、データサブバンドの各々に対して、行列

【数49】

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

40

【0082】

が得られるように実行してもよい。あるいは、上述の米国特許出願シリアル番号60/421,462に記載するように、較正は、すべてのデータサブバンドのサブセットのみに対して実行してもよい。この場合、「較正されていない」サブバンドのための行列

【数50】

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

【0083】

50

は、「校正された」サブバンドのための行列を補間することにより得てもよい。

【0084】

各サブバンドのためのチャネル応答行列  $\underline{H}(k)$  は、そのサブバンドのための  $N_s$  の固有モードを得るために、「対角行列」にしてもよい。これは、チャネル応答行列  $\underline{H}(k)$  上で特異値分解を実行するか、または相関行列  $\underline{H}(k)$  上で固有値分解を実行することにより達成してもよい。これは、

【数51】

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

10

【0085】

である。明確にするために、以下の記載において、特異値分解を使用する。

【0086】

校正されたアップリンクチャネル応答行列、 $\underline{H}_{cup}(k)$  は、以下のように表してもよい。

【数52】

$$\underline{H}_{cup}(k) = \underline{U}_{ap}(k)\underline{\Sigma}(k)\underline{V}_{ut}^H(k), \text{ 但し } k \in K \quad \text{式(12)}$$

【0087】

但し、 $\underline{U}_{ap}(k)$  は、 $\underline{H}_{cup}(k)$  の左固有ベクトルの  $(N_{ap} \times N_{ap})$  ユニタリ行列である。 $\underline{\Sigma}(k)$  は、 $\underline{H}_{cup}(k)$  の特異値の  $(N_{ap} \times N_{ap})$  の対角行列である。 $\underline{V}_{ut}(k)$  は、 $\underline{H}_{cup}(k)$  の右固有ベクトルの  $(N_{ut} \times N_{ut})$  ユニタリ行列である。ユニタリ行列は特性  $\underline{M}^H \underline{M} = \underline{I}$  により特徴づけられる。 $\underline{I}$  は、単位行列である。

20

【0088】

相応して、校正されたダウンリンクチャネル応答行列  $\underline{H}_{cdn}(k)$  は、以下のように表してもよい。

【数53】

$$\underline{H}_{cdn}(k) = \underline{V}_{ut}^*(k)\underline{\Sigma}(k)\underline{U}_{ap}^T(k), \text{ 但し } k \in K \quad \text{式(13)}$$

30

【0089】

但し、行列

【数54】

$$\underline{V}_{ut}^*(k) \text{ および } \underline{U}_{ap}^*(k)$$

【0090】

は、 $\underline{H}_{cdn}(k)$  のそれぞれ左および右固有ベクトルのユニタリ行列である。方程式(12)および(13)に示すようにそして上述の記載に基づいて、一方のリンクのための左および右固有ベクトルの行列は、他方のリンクのためのそれぞれ右および左固有ベクトルの行列の複素共役である。行列

40

【数55】

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

【0091】

は、行列  $\underline{V}_{ut}(k)$  の異なる形態であり、行列

【数 5 6】

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

【0092】

も行列  $\underline{U}_{ap}(k)$  の異なる形態である。簡単にするために、以下の記載における行列  $\underline{U}_{ap}(k)$  および  $\underline{V}_{ut}(k)$  は、種々の他の形態に言及してもよい。行列  $\underline{U}_{ap}(k)$  および  $\underline{V}_{ut}(k)$  は、それぞれアクセスポイントおよびユーザ端末により空間処理のために使用され、添え字によってそのようなものとして示される。固有ベクトルもしばしば「ステアリング」ベクトルと呼ばれる。

10

【0093】

特異値分解は、ギルバートストラング (Gilbert Strang) が書いた「線形代数学およびその応用」(Linear Algebra and Its Applications) 第 2 版、アカデミックプレス、1980 年というタイトルの本にさらに詳細に記載されている。

【0094】

ユーザ端末は、アクセスポイントによって送信された MIMO パイロットに基づいて、較正されたダウンリンクチャネル応答を推定することができる。次に、ユーザ端末は、較正されたダウンリンクチャネル応答推定値

【数 5 7】

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

20

【0095】

のための特異値分解を実行し、

【数 5 8】

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

【0096】

の左固有ベクトルの対角マトリクス

30

【数 5 9】

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

【0097】

および行列

【数 6 0】

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

40

【0098】

を得てもよい。

【0099】

この特異値分解は、

【数 6 1】

$$\hat{\underline{H}}_{cdn}(k) = \hat{\underline{V}}_{ut}^*(k) \hat{\underline{\Sigma}}(k) \hat{\underline{U}}_{ap}^T(k)$$

【0100】

として与えられてもよい。但し、各行列の上のハット

50

【数 6 2】

(“^”)

【0 1 0 1】

は、実際の行列の推定値であることを示す。

【0 1 0 2】

同様にアクセスポイントは、ユーザ端末により送信される MIMO パイロットに基づいて、較正されたアップ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、較正されたアップリンクチャネル応答推定値

10

【数 6 3】

$\hat{\underline{H}}_{\text{cup}}(k)$ , 但し  $k \in K$

【0 1 0 3】

に対して特異値分解を実行し、

【数 6 4】

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

20

【0 1 0 4】

の左固有ベクトルの対角行列

【数 6 5】

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

【0 1 0 5】

および行列

【数 6 6】

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

30

【0 1 0 6】

を得るようにしてもよい。この特異値分解は、

【数 6 7】

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

【0 1 0 7】

として与えられてもよい。

40

【0 1 0 8】

しかしながら、相互チャネルと較正のために、特異値分解は、ユーザ端末またはアクセスポイントにより実行される必要があるのみである。ユーザ端末により実行されるなら、行列

【数 6 8】

$\hat{\underline{V}}_{\text{ut}}(k)$ , 但し  $k \in K$

【0 1 0 9】

が、ユーザ端末において、空間処理のために使用され、行列

50

【数 6 9】

$$\underline{\hat{U}}_{ap}(k), \text{但し } k \in K$$

【0 1 1 0】

は、直接形態（すなわち、行列

【数 7 0】

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

10

【0 1 1 1】

のエントリを送信することにより)、または間接形態（例えば以下に記載するスチアドリファレンスを介して)で、アクセスポイントに供給してもよい。

【0 1 1 2】

各行列

【数 7 1】

$$\underline{\hat{\Sigma}}(k), \text{但し } k \in K$$

【0 1 1 3】

内の特異値は、第 1 列が最も大きな特異値を含み、第 2 列が次に大きな特異値を含み、以下同様であるように順番付けしてもよい（すなわち、 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{N_s}$ 、ただし、 $\lambda_i$  は、順番付けした後の

20

【数 7 2】

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

【0 1 1 4】

の  $i$  番目の列である)。

【0 1 1 5】

各行列

【数 7 3】

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

30

【0 1 1 6】

のための特異値が順番づけられると、そのサブバンドのための関連するユニタリ行列

【数 7 4】

$$\underline{\hat{V}}_{m}(k) \text{ および } \underline{\hat{U}}_{ap}(k)$$

40

【0 1 1 7】

の固有ベクトル（または列）も対応して順番づけられる。「広帯域」の固有モードは、順番付けの後のすべてのサブバンドの同位の固有モードのセットとして定義してもよい（すなわち、 $m$  番目の広帯域固有モードは、すべてのサブバンドの  $m$  番目の固有モードを含む）。各広帯域固有モードは、サブバンドのすべてのための固有ベクトルのそれぞれのセットに関連している。原理広帯域固有モードは、順序付けの後の各行列

【数 7 5】

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

50

【 0 1 1 8 】

における最大の特異値に関連する固有モードである。

【 0 1 1 9 】

A . アップリンク空間処理

アップリンク送信のためのユーザ端末による空間処理は、以下のように表してもよい。

【 数 7 6 】

$$\underline{\mathbf{x}}_{\text{up}}(k) = \hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ut}}(k) \hat{\underline{\mathbf{V}}}_{\text{ut}}(k) \underline{\mathbf{s}}_{\text{up}}(k) , \text{ 但し } k \in K \quad \text{式 (14)}$$

【 0 1 2 0 】

但し、 $\underline{\mathbf{x}}_{\text{up}}(k)$ は、 $k$ 番目のサブバンドのためのアップリンクのための送信ベクトルである。 $\underline{\mathbf{s}}_{\text{up}}(k)$ は、 $k$ 番目のサブバンドの $N_s$ の固有モード上で送信される変調シンボルのための $N_s$ のノンゼロエントリまでを有する「データ」ベクトルである。アクセスポイントにおいて受信したアップリンク送信は以下のように表してもよい。

【 数 7 7 】

$$\underline{\mathbf{r}}_{\text{up}}(k) = \underline{\mathbf{H}}_{\text{up}}(k) \underline{\mathbf{x}}_{\text{up}}(k) + \underline{\mathbf{n}}_{\text{up}}(k) , \text{ 但し } k \in K \quad \text{式 (15)}$$

$$= \underline{\mathbf{H}}_{\text{up}}(k) \hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ut}}(k) \hat{\underline{\mathbf{V}}}_{\text{ut}}(k) \underline{\mathbf{s}}_{\text{up}}(k) + \underline{\mathbf{n}}_{\text{up}}(k)$$

$$\approx \hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{cup}}(k) \hat{\underline{\mathbf{V}}}_{\text{ut}}(k) \underline{\mathbf{s}}_{\text{up}}(k) + \underline{\mathbf{n}}_{\text{up}}(k)$$

$$= \hat{\underline{\mathbf{U}}}_{\text{ap}}(k) \hat{\underline{\Sigma}}(k) \hat{\underline{\mathbf{V}}}_{\text{ut}}^H(k) \hat{\underline{\mathbf{V}}}_{\text{ut}}(k) \underline{\mathbf{s}}_{\text{up}}(k) + \underline{\mathbf{n}}_{\text{up}}(k)$$

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

【 0 1 2 1 】

但し、 $\underline{\mathbf{r}}_{\text{up}}(k)$ は、 $k$ 番目のサブバンドのアップリンクのための受信ベクトルである。 $\underline{\mathbf{n}}_{\text{up}}(k)$ は、 $k$ 番目のサブバンドの加法的白色ガウス雑音 (AWGN) である。方程式 (15) は以下の関係を使用する。

【 数 7 8 】

$$\underline{\mathbf{H}}_{\text{up}}(k) \hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ut}}(k) = \underline{\mathbf{H}}_{\text{cup}}(k) \approx \hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{cup}}(k) \text{ および } \hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{cup}}(k) = \hat{\underline{\mathbf{U}}}_{\text{ap}}(k) \hat{\underline{\Sigma}}(k) \hat{\underline{\mathbf{V}}}_{\text{ut}}^H(k)$$

【 0 1 2 2 】

ユーザ端末からのアップリンク送信のための重み付けされた整合フィルタ行列 $\underline{\mathbf{M}}_{\text{ap}}(k)$ は以下のように表してもよい。

【 数 7 9 】

$$\underline{\mathbf{M}}_{\text{ap}}(k) = \hat{\underline{\Sigma}}^{-1}(k) \hat{\underline{\mathbf{U}}}_{\text{ap}}^H(k) , \text{ 但し } k \in K \quad \text{式 (16)}$$

【 0 1 2 3 】

受信したアップリンク送信のためのアクセスポイントにおける空間処理 (整合フィルタリング) は以下のように表してもよい。

10

20

30

40



【数 8 0】

$$\begin{aligned}
 \hat{\underline{s}}_{\text{up}}(k) &= \hat{\underline{\Sigma}}^{-1}(k) \hat{\underline{U}}_{\text{ap}}^H(k) \underline{\mathbf{r}}_{\text{up}}(k) \\
 &= \hat{\underline{\Sigma}}^{-1}(k) \hat{\underline{U}}_{\text{ap}}^H(k) (\hat{\underline{U}}_{\text{ap}}(k) \hat{\underline{\Sigma}}(k) \underline{\mathbf{s}}_{\text{up}}(k) + \underline{\mathbf{n}}_{\text{up}}(k)), \text{ 但し } k \in K \quad \text{式 (17)} \\
 &= \underline{\mathbf{s}}_{\text{up}}(k) + \tilde{\underline{\mathbf{n}}}_{\text{up}}(k)
 \end{aligned}$$

【0 1 2 4】

但し、

【数 8 1】

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

10

【0 1 2 5】

は、アップリンク上でユーザ端末により送信されるデータベクトル  $\underline{s}_{\text{up}}(k)$  の推定値であり、

【数 8 2】

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

20

【0 1 2 6】

は、事後処理された雑音である。

【0 1 2 7】

B . ダウンリンク空間処理

ダウンリンク送信のためのアクセスポイントによる空間処理は、以下のように表してもよい。

【数 8 3】

$$\underline{\mathbf{x}}_{\text{dn}}(k) = \hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ap}}(k) \hat{\underline{U}}_{\text{ap}}^*(k) \underline{\mathbf{s}}_{\text{dn}}(k), \text{ 但し } k \in K \quad \text{式 (18)}$$

30

【0 1 2 8】

但し、 $\underline{\mathbf{x}}_{\text{dn}}(k)$  は、送信ベクトルであり、 $\underline{s}_{\text{dn}}(k)$  はダウンリンクのためのデータベクトルである。

【0 1 2 9】

ユーザ端末における受信したダウンリンク送信は、以下のように表してもよい。

【数 8 4】

$$\begin{aligned}
 \underline{\mathbf{r}}_{\text{dn}}(k) &= \underline{\mathbf{H}}_{\text{dn}}(k) \underline{\mathbf{x}}_{\text{dn}}(k) + \underline{\mathbf{n}}_{\text{dn}}(k) \\
 &= \underline{\mathbf{H}}_{\text{dn}}(k) \hat{\underline{\mathbf{K}}}_{\text{ap}}(k) \hat{\underline{U}}_{\text{ap}}^*(k) \underline{\mathbf{s}}_{\text{dn}}(k) + \underline{\mathbf{n}}_{\text{dn}}(k) \\
 &\approx \hat{\underline{\mathbf{H}}}_{\text{cdn}}(k) \hat{\underline{U}}_{\text{ap}}^*(k) \underline{\mathbf{s}}_{\text{dn}}(k) + \underline{\mathbf{n}}_{\text{dn}}(k) \\
 &= \hat{\underline{\mathbf{V}}}_{\text{ut}}^*(k) \hat{\underline{\Sigma}}(k) \hat{\underline{U}}_{\text{ap}}^T(k) \hat{\underline{U}}_{\text{ap}}^*(k) \underline{\mathbf{s}}_{\text{dn}}(k) + \underline{\mathbf{n}}_{\text{dn}}(k) \\
 &= \hat{\underline{\mathbf{V}}}_{\text{ut}}^*(k) \hat{\underline{\Sigma}}(k) \underline{\mathbf{s}}_{\text{dn}}(k) + \underline{\mathbf{n}}_{\text{dn}}(k), \text{ 但し } k \in K \quad \text{式 (19)}
 \end{aligned}$$

40

【0 1 3 0】

アクセスポイントからのダウンリンクのための重み付けされた整合フィルタ行列  $\underline{\mathbf{M}}_{\text{ut}}(k)$

50

は、以下のように表してもよい。

【数 8 5】

$$\underline{\mathbf{M}}_{ut}(k) = \hat{\underline{\Sigma}}^{-1}(k) \hat{\underline{\mathbf{V}}}_{ut}^T(k), \text{ 但し } k \in K \tag{20}$$

【0 1 3 1】

受信したダウンリンク送信のための、ユーザ端末における空間処理（または整合フィルタリング）は、以下のように表してもよい。

【数 8 6】

$$\begin{aligned} \hat{\underline{\mathbf{s}}}_{dn}(k) &= \hat{\underline{\Sigma}}^{-1}(k) \hat{\underline{\mathbf{V}}}_{ut}^T(k) \underline{\mathbf{r}}_{dn}(k) \\ &= \hat{\underline{\Sigma}}^{-1}(k) \hat{\underline{\mathbf{V}}}_{ut}^T(k) (\hat{\underline{\mathbf{V}}}_{ut}^*(k) \hat{\underline{\Sigma}}(k) \underline{\mathbf{s}}_{dn}(k) + \underline{\mathbf{n}}_{dn}(k)), \text{ 但し } k \in K \\ &= \underline{\mathbf{s}}_{dn}(k) + \tilde{\underline{\mathbf{n}}}_{dn}(k) \end{aligned} \tag{21}$$

【0 1 3 2】

表 1 は、データ送信および受信のためのアクセスポイントおよびユーザ端末における空間処理を要約する。

【表 1】

表 1

	アップリンク	ダウンリンク
ユーザ 端末	送信： $\underline{\mathbf{x}}_{up}(k) = \hat{\underline{\mathbf{K}}}_{ut}(k) \hat{\underline{\mathbf{V}}}_{ut}(k) \underline{\mathbf{s}}_{up}(k)$	受信： $\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{dn}(k) = \hat{\underline{\Sigma}}^{-1}(k) \hat{\underline{\mathbf{V}}}_{ut}^T(k) \underline{\mathbf{r}}_{dn}(k)$
アクセス ポイント	受信： $\hat{\underline{\mathbf{s}}}_{up}(k) = \hat{\underline{\Sigma}}^{-1}(k) \hat{\underline{\mathbf{U}}}_{ap}^H(k) \underline{\mathbf{r}}_{up}(k)$	送信： $\underline{\mathbf{x}}_{dn}(k) = \hat{\underline{\mathbf{K}}}_{ap}(k) \hat{\underline{\mathbf{U}}}_{ap}^*(k) \underline{\mathbf{s}}_{dn}(k)$

【0 1 3 3】

上述の記載において、および表 1 に示すように、補正行列

【数 8 7】

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

【0 1 3 4】

は、それぞれアクセスポイントとユーザ端末において送信側に適用される。補正行列

【数 8 8】

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

【0 1 3 5】

は、他の対角行列（例えば、チャネル反転層を達成するために使用される重み行列  $\underline{\mathbf{W}}_{dn}(k)$  および  $\underline{\mathbf{W}}_{up}(k)$  のような）と結合してもよい。しかしながら、補正行列は、送信側の代わりに受信側に適用してもよく、これはこの発明の範囲内である。

【0 1 3 6】

図 3 は、この発明の一実施形態に従って、空間多重化モードのためのダウンリンクおよ

10

20

30

40

50

びアップリンクのための空間処理のブロック図である。

【0137】

ダウンリンクの場合、アクセスポイント110xにおける送信(TX)空間プロセッサ120x内で、データベクトル $\underline{s}_{dn}(k)$ 、但し $k = 0, \dots, K-1$ は、最初にユニット310により行列

【数89】

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

【0138】

と乗算され、さらに、ユニット312により補正行列

【数90】

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

【0139】

と乗算され、送信ベクトル $\underline{x}_{dn}(k)$ を得る。ベクトル $\underline{x}_{dn}(k)$ 、但し $k = 0, \dots, K-1$ は、変調器122x内の送信チェーン314により処理され、MIMOチャネルを介してユーザ端末150xに送信される。ユニット310は、ダウンリンクデータ送信のための空間処理を実行する。ユーザ端末150xにおいて、ダウンリンク信号は復調器154x内の受信チェーン354により処理され受信ベクトル $\underline{r}_{dn}(k)$ 、但し $k = 0, \dots, K-1$ を得る。RX空間プロセッサ160x内において、受信器ベクトル $\underline{r}_{dn}(k)$ 、但し $k = 0, \dots, K-1$ は、最初にユニット356により行列

【数91】

$$\underline{\hat{V}}_{ur}^T(k)$$

【0140】

と乗算され、さらにユニット358により逆対角行列

【数92】

$$\underline{\hat{\Sigma}}^{-1}(k)$$

【0141】

により拡大縮小され、ベクトル

【数93】

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

【0142】

を得る。このベクトルは、ベクトル $\underline{s}_{dn}(k)$ の推定値である。ユニット356は、ダウンリンク整合フィルタリングのための空間処理を実行する。アップリンクの場合、ユーザ端末150xにおけるTX空間プロセッサ190x内において、データベクトル $\underline{s}_{up}(k)$ 、ただし $k = 0, \dots, K-1$ は、最初にユニット360により行列

【数94】

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

【0143】

10

20

30

40

50

と乗算され、さらにユニット 3 6 2 により補正行列

【数 9 5】

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

【0 1 4 4】

と乗算される送信ベクトル  $\underline{x}_{up}(k)$  を得る。次に、ベクトル  $\underline{x}_{up}(k)$ 、ただし  $k = 0, \dots, K-1$  は、変調器 1 5 4 x 内の送信チェーン 3 6 4 により処理され、MIMO チャンネルを介してアクセスポイント 1 1 0 x に送信される。ユニット 3 6 0 は、アップリンクデータ送信のための空間処理を実行する。アクセスポイント 1 1 0 x において、アップリンク信号は、復調器 1 2 2 x 内の受信チェーン 3 2 4 により処理され受信ベクトル  $\underline{r}_{up}(k)$ 、ただし  $k = 0, \dots, K-1$  を得る。R X 空間プロセッサ 1 4 0 x 内において、受信ベクトル  $\underline{r}_{up}(k)$ 、ただし  $k = 0, \dots, K-1$  は最初にユニット 3 2 6 により行列

10

【数 9 6】

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

【0 1 4 5】

と乗算され、さらにユニット 3 2 8 により逆対角行列

【数 9 7】

$$\hat{\underline{\Sigma}}^{-1}(k)$$

20

【0 1 4 6】

によりさらに拡大縮小され、ベクトル

【数 9 8】

$$\hat{\underline{S}}_{up}(k)$$

【0 1 4 7】

を得る。このベクトルは、データベクトル  $\underline{s}_{up}(k)$  の推定値である。ユニット 3 2 6 および 3 2 8 は、アップリンク整合フィルタリングのための空間処理を実行する。

30

【0 1 4 8】

### 3. ビームステアリング

あるチャンネル条件の場合、唯一の広帯域固有モード、一般的には、最良のまたは主要な広帯域固有モード上でデータを送信することがよい。他のすべての広帯域固有モードのための受信信号対雑音比 (SNRS) が十分に質が悪く、主要な広帯域固有モード上の利用可能な送信電力のすべてを用いて改良された性能が達成されるなら、それがこの場合である。1つの広帯域固有モード上のデータ送信は、ビームフォーミングまたはビームステアリングを用いて達成してもよい。ビームフォーミングの場合、変調シンボルは、主要な広帯域固有モードに対して (すなわち、順番付けの後の

40

【数 9 9】

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

【0 1 4 9】

の第 1 列)、固有ベクトル

【数 1 0 0】

 $\hat{\underline{v}}_{ur,l}(k)$  又は  $\hat{\underline{u}}_{ap,l}(k)$ , 但し  $k \in K$ 

【0 1 5 0】

を用いて空間的に処理される。ビームステアリングの場合、変調シンボルは、主要な広帯域モードに対して、「正規化された」（または「飽和された」）固有ベクトル

【数 1 0 1】

 $\tilde{\underline{v}}_{ur}(k)$  又は  $\tilde{\underline{u}}_{ap}(k)$ , 但し  $k \in K$ 

10

【0 1 5 1】

のセットを用いて空間的に処理される。明確にするために、ビームステアリングは、アップリンクのために以下に記載する。

【0 1 5 2】

アップリンクの場合、主要な広帯域固有モードに対する各固有ベクトル

【数 1 0 2】

 $\hat{\underline{v}}_{ur,l}(k)$ , 但し  $k \in K$ 

20

【0 1 5 3】

は異なる大きさを有していてもよい。従って、サブバンド  $k$  のための変調シンボルをサブバンド  $k$  のための固有ベクトル

【数 1 0 3】

 $\hat{\underline{v}}_{ur,l}(k)$ 

【0 1 5 4】

の要素と乗算することにより得られる各サブバンドのためのあらかじめ条件づけされたシンボルは、異なる大きさを持っていてもよい。従って、アンテナごとの送信ベクトルは異なる大きさを有していてもよく、その各々は、所定の送信アンテナに対してすべてのデータサブバンドのためのあらかじめ条件づけされたシンボルを含む。各送信アンテナのための送信電力が（例えば、電力増幅器の制限により）制限されるなら、ビームフォーミングは、各アンテナに利用可能な合計電力を完全に使用しないかもしれない。ビームステアリングは、主要な広帯域モードに対して固有ベクトル

30

【数 1 0 4】

 $\hat{\underline{v}}_{ur,l}(k)$ , 但し  $k \in K$ 

【0 1 5 5】

から位相情報のみを使用し、固有ベクトルのすべての要素が等しい大きさを有するように各固有ベクトルを正規化する。  $k$  番目のサブバンドの正規化された、固有ベクトル

40

【数 1 0 5】

 $\tilde{\underline{v}}_{ur}(k)$ 

【0 1 5 6】

は以下のように表してもよい。

【数 1 0 6】

$$\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k) = [Ae^{j\theta_1(k)} Ae^{j\theta_2(k)} \dots Ae^{j\theta_{N_m}(k)}]^T \quad \text{式 (22)}$$

【0 1 5 7】

但し A は定数 (例えば、A = 1) である。そして  $\theta_i(k)$  は i 番目の送信アンテナの k 番目のサブバンドのための位相である。これは以下のように与えられる。

【数 1 0 7】

$$\theta_i(k) = \angle \hat{v}_{ut,i}(k) = \tan^{-1} \left( \frac{\text{Im}\{\hat{v}_{ut,i}(k)\}}{\text{Re}\{\hat{v}_{ut,i}(k)\}} \right) \quad \text{式 (23)} \quad 10$$

【0 1 5 8】

式 (23) に示すように、ベクトル

【数 1 0 8】

$$\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k)$$

【0 1 5 9】

内の各エレメントの位相は、固有ベクトル

【数 1 0 9】

$$\hat{\mathbf{v}}_{ut,i}(k)$$

【0 1 6 0】

の対応するエレメントから得られる。(すなわち、 $\theta_i(k)$  は、

【数 1 1 0】

$$\hat{v}_{ut,i}(k), \text{ 但し } \hat{\mathbf{v}}_{ut,i}(k) = [\hat{v}_{ut,i,1}(k) \hat{v}_{ut,i,2}(k) \dots \hat{v}_{ut,i,N_m}(k)]^T$$

30

【0 1 6 1】

から得られる。

【0 1 6 2】

A . アップリンクビームステアリング

アップリンク上のビームステアリングのためのユーザ端末による空間処理は以下のよう  
に表してもよい。

【数 1 1 1】

$$\tilde{\mathbf{x}}_{up}(k) = \hat{\mathbf{K}}_{ut} \tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k) s_{up}(k), \text{ 但し } k \in K \quad \text{式 (24)}$$

40

【0 1 6 3】

但し  $S_{up}(k)$  は k 番目のサブバンド上に送信される変調シンボルである。

【数 1 1 2】

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

【0 1 6 4】

は、ビームステアリングのための k 番目のサブバンドのための送信ベクトルである。式 (22) に示すように、各サブバンドのための正規化されたステアリングベクトル

【数 1 1 3】

$$\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k)$$

【0 1 6 5】

の  $N_{ut}$  エレメントは、等しい大きさを有するがおそらく異なる位相を有する。従ってビームステアリングは、各サブバンドに対して1つの送信ベクトル

【数 1 1 4】

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

10

【0 1 6 6】

を発生する。

【数 1 1 5】

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

【0 1 6 7】

の  $N_{ut}$  エレメントは、同じ大きさを有するがおそらく異なる位相を有する。

【0 1 6 8】

ビームステアリングのためのアクセスポイントにおける受信したアップリンク送信は、以下のように表してもよい。

20

【数 1 1 6】

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{r}}_{up}(k) &= \mathbf{H}_{up}(k)\tilde{\mathbf{x}}_{up}(k) + \mathbf{n}_{up}(k) \quad , \text{但し } k \in K \quad \text{式 (25)} \\ &= \mathbf{H}_{up}(k)\hat{\mathbf{K}}_{ut}(k)\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k)s_{up}(k) + \mathbf{n}_{up}(k) \\ &= \mathbf{H}_{cup}(k)\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k)s_{up}(k) + \mathbf{n}_{up}(k) \end{aligned}$$

30

【0 1 6 9】

但し、

【数 1 1 7】

$$\tilde{\mathbf{r}}_{up}(k)$$

【0 1 7 0】

は、ビームステアリングのための  $k$  番目のサブバンドのためのアップリンクのための受信ベクトルである。

【0 1 7 1】

ビームステアリングを用いたアップリンク送信のための整合フィルタ行ベクトル

40

【数 1 1 8】

$$\tilde{\mathbf{m}}_{ap}(k)$$

【0 1 7 2】

は、以下のように表してもよい。

【数 1 1 9】

$$\tilde{\mathbf{m}}_{ap}(k) = (\mathbf{H}_{cup}(k)\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k))^H, \text{ 但し } k \in K \quad \text{式 (26)}$$

【0 1 7 3】

整合フィルタベクトル

【数 1 2 0】

$$\tilde{\mathbf{m}}_{ap}(k)$$

10

【0 1 7 4】

は、以下に記載するように得てもよい。ビームステアリングを有した受信したアップリンク送信のためのアクセスポイントにおける空間処理（または整合フィルタリング）は、以下のように表してもよい。

【数 1 2 1】

$$\begin{aligned} \hat{s}_{up}(k) &= \tilde{\lambda}_{up}^{-1}(k)\tilde{\mathbf{m}}_{ap}(k)\tilde{\mathbf{r}}_{up}(k) \\ &= \tilde{\lambda}_{up}^{-1}(k)(\mathbf{H}_{cup}(k)\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k))^H(\mathbf{H}_{cup}(k)\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k)s_{up}(k) + \mathbf{n}_{up}(k)), \text{ 但し } k \in K \quad \text{式 (27)} \\ &= s_{up}(k) + \tilde{n}_{up}(k) \end{aligned}$$

20

$$\text{但し } \tilde{\lambda}_{up}(k) = (\mathbf{H}_{cup}(k)\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k))^H(\mathbf{H}_{cup}(k)\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k))$$

【0 1 7 5】

(すなわち、

【数 1 2 2】

$$\tilde{\lambda}_{up}(k)$$

【0 1 7 6】

は、

【数 1 2 3】

$$\tilde{\mathbf{m}}_{ap}(k)$$

30

【0 1 7 7】

とその共役転置の内積である)。

【数 1 2 4】

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

40

【0 1 7 8】

は、アップリンク上のユーザ端末により送信される変調シンボル  $s_{up}(k)$  の推定値である。

【数 1 2 5】

$$\tilde{n}_{up}(k)$$

【0 1 7 9】

は、事後処理された雑音である。

50



【 0 1 8 0 】

B . ダウンリンクビームステアリング

ダウンリンク上のビームステアリングのためのアクセスポイントにより空間処理は、以下のように表してもよい。

【 数 1 2 6 】

$$\tilde{\mathbf{x}}_{\text{dn}}(k) = \hat{\mathbf{K}}_{\text{ap}} \tilde{\mathbf{u}}_{\text{ap}}(k) s_{\text{dn}}(k), \text{ 但し } k \in K \quad \text{式 (28)}$$

【 0 1 8 1 】

但し、

【 数 1 2 7 】

$$\tilde{\mathbf{u}}_{\text{ap}}(k)$$

10

【 0 1 8 2 】

は、k 番目のサブバンドのための正規化された固有ベクトルである。これは、上述したように主要な広帯域固有モードのための固有ベクトル

【 数 1 2 8 】

$$\hat{\mathbf{u}}_{\text{ap},1}^*(k)$$

20

【 0 1 8 3 】

に基づいて発生される。

【 0 1 8 4 】

ビームステアリングを用いたダウンリンク送信のための整合フィルタ行ベクトル

【 数 1 2 9 】

$$\tilde{\mathbf{m}}_{\text{ut}}(k)$$

【 0 1 8 5 】

は、以下のように表してもよい。

【 数 1 3 0 】

$$\tilde{\mathbf{m}}_{\text{ut}}(k) = (\mathbf{H}_{\text{cdn}}(k) \tilde{\mathbf{u}}_{\text{ap}}(k))^H, \text{ 但し } k \in K \quad \text{式 (29)}$$

30

【 0 1 8 6 】

受信したダウンリンク送信のためのユーザ端末における空間処理（または整合フィルタリング）は以下のように表してもよい。

【 数 1 3 1 】

$$\begin{aligned} \hat{s}_{\text{dn}}(k) &= \tilde{\lambda}_{\text{dn}}^{-1}(k) \tilde{\mathbf{m}}_{\text{ut}}(k) \tilde{\mathbf{r}}_{\text{dn}}(k) \\ &= \tilde{\lambda}_{\text{dn}}^{-1}(k) (\mathbf{H}_{\text{cdn}}(k) \tilde{\mathbf{u}}_{\text{ap}}(k))^H (\mathbf{H}_{\text{cdn}}(k) \tilde{\mathbf{u}}_{\text{ap}}(k) s_{\text{dn}}(k) + \mathbf{n}_{\text{dn}}(k)), \text{ 但し } k \in K \quad \text{式 (30)} \\ &= s_{\text{dn}}(k) + \tilde{n}_{\text{dn}}(k) \end{aligned}$$

40

【 0 1 8 7 】

但し、

【数 1 3 2】

$$\tilde{\lambda}_{dn}(k) = (\underline{H}_{cdn}(k)\tilde{\underline{u}}_{ap}(k))^H (\underline{H}_{cdn}(k)\tilde{\underline{u}}_{ap}(k))$$

【0 1 8 8】

(すなわち、

【数 1 3 3】

$$\tilde{\lambda}_{dn}(k)$$

10

【0 1 8 9】

は、

【数 1 3 4】

$$\tilde{\underline{m}}_{ut}(k)$$

【0 1 9 0】

と共役転置との内積である。)

ビームステアリングは、1つの固有モードのための唯一の固有ベクトルがデータ送信のために使用され、この固有ベクトルは、等しい大きさを有するように正規化される、空間

20

【0 1 9 1】

図 4 は、この発明の一実施形態に従って、ビームステアリングモードのためのダウンリンクおよびアップリンクのための空間処理のブロック図である。

【0 1 9 2】

ダウンリンクの場合、アクセスポイント 1 1 0 y の TX 空間プロセッサ 1 2 0 y において、変調シンボル  $k$  は、最初に装置 4 1 0 により正規化された固有ベクトル

【数 1 3 5】

$$\tilde{\underline{u}}_{ap}(k)$$

30

【0 1 9 3】

と乗算され、さらに、装置 4 1 2 により補正行列

【数 1 3 6】

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

【0 1 9 4】

と乗算され、送信ベクトル

【数 1 3 7】

40

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

【0 1 9 5】

を得る。

【0 1 9 6】

ベクトル

【数 1 3 8】

$$\tilde{\mathbf{x}}_{dn}(k)$$

【0 1 9 7】

但し  $k = K$  は、変調器 1 2 2 y 内の送信チェーン 4 1 4 により処理され、MIMOチャネルを介して端末 1 5 0 y に送信される。装置 4 1 0 は、ビームステアリングモードのためのダウンリンクデータ送信のための空間処理を実行する。

【0 1 9 8】

ユーザ端末 1 5 0 y において、ダウンリンク信号は、復調器 1 5 4 y 内の受信チェーン 4 5 4 により処理され、受信ベクトル

【数 1 3 9】

$$\tilde{\mathbf{r}}_{dn}(k)$$

【0 1 9 9】

ただし、 $k = K$  を得る。

【0 2 0 0】

R X 空間プロセッサ 1 6 0 y 内において、装置 4 5 6 は、受信ベクトル

【数 1 4 0】

$$\tilde{\mathbf{r}}_{dn}(k)$$

【0 2 0 1】

但し  $k = K$  と整合フィルタベクトル

【数 1 4 1】

$$\tilde{\mathbf{m}}_{ur}(k)$$

【0 2 0 2】

との内積を実行する。

【0 2 0 3】

内積結果は、装置 4 5 8 により、

【数 1 4 2】

$$\tilde{\lambda}_{dn}^{-1}(k)$$

【0 2 0 4】

だけ拡大縮小され、シンボル

【数 1 4 3】

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

【0 2 0 5】

を得る。これは、変調シンボル  $s_{dn}(K)$

の推定値である。ユニット 4 5 6 および 4 5 8 は、ビームステアリングのためのダウンリンク整合フィルタリングのための空間処理を実行する。アップリンクの場合、ユーザ端末 1 5 0 y における T X 空間プロセッサ 1 9 0 y 内において、変調シンボル  $s_{up}(k)$ 、但し  $k = K$  は、最初に装置 4 6 0 により正規化された固有ベクトル

10

20

30

40

【数 1 4 4】

$$\tilde{\mathbf{y}}_{\text{ut}}(k)$$

【0 2 0 6】

と乗算され、さらに装置 4 6 2 により補正行列

【数 1 4 5】

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

10

【0 2 0 7】

と乗算され送信ベクトル

【数 1 4 6】

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

【0 2 0 8】

を得る。

【0 2 0 9】

次に、ベクトル

20

【数 1 4 7】

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

【0 2 1 0】

但し  $k = K$  は変調器 1 5 4 y 内の送信チェーンにより処理され MIMO チャンネルを介してアクセスポイント 1 1 0 y に送信される。装置 4 6 0 は、ビームステアリングモードのためのアップリンクデータ送信のための空間処理を実行する。

【0 2 1 1】

アクセスポイント 1 1 0 y において、アップリンク信号は、復調器 1 2 4 y 内の受信チェーン 4 2 4 により処理され受信ベクトル

30

【数 1 4 8】

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

【0 2 1 2】

ただし、 $k = K$  を得る。R X 空間プロセッサ 1 4 0 y 内において、装置 4 2 6 は、受信ベクトル

【数 1 4 9】

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

40

【0 2 1 3】

ただし、 $k = K$  と整合フィルタベクトル

【数 1 5 0】

$$\tilde{\mathbf{m}}_{\text{ap}}(k)$$

【0 2 1 4】

との間の内部積を実行する。内積結果は装置 4 2 8 により

50

【数 1 5 1】

$$\tilde{\lambda}_{\text{up}}^{-1}(k)$$

【0 2 1 5】

だけ拡大縮小され、シンボル

【数 1 5 2】

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

10

【0 2 1 6】

を得る。これは、変調シンボル  $s_{\text{up}}(k)$  の推定値である。装置 4 2 6 および 4 2 8 は、ビームステアリングモードのためのアップリンク整合フィルタリングのための空間処理を実行する。

【0 2 1 7】

4 . スチアドリファレンス

[ 0 0 7 9 ] 式 ( 1 5 ) に示すように、アクセスポイントにおいて、雑音が無い場合の受信アップリンクベクトル

【数 1 5 3】

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

20

【0 2 1 8】

ただし  $k = K$  は、

【数 1 5 4】

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

【0 2 1 9】

により変換されたデータベクトル  $\underline{s}_{\text{up}}(k)$  に等しい。これは、特異値の対角行列

30

【数 1 5 5】

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

【0 2 2 0】

により拡大縮小される左固有ベクトル

【数 1 5 6】

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

40

【0 2 2 1】

の行列

【数 1 5 7】

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

【0 2 2 2】

である。

【0 2 2 3】

式 ( 1 7 ) と ( 1 8 ) に示すように、相互チャネルおよび較正のために、行列

50

【数 1 5 8】

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

【0 2 2 4】

とその転置は、それぞれダウンリンク送信の空間処理と受信アップリンク送信の空間処理（整合フィルタリング）に使用される。

【0 2 2 5】

スチアドリファレンス（またはスチアドパイロット）は、ユーザ端末により送信してもよく、MIMOチャネルを推定する必要なく、または特異値分解を実行することなく、アクセスポイントにより使用されて、両方

【数 1 5 9】

$$\hat{\underline{U}}_{ap}(k) \text{ および } \hat{\underline{\Sigma}}(k), \text{ 但し } k \in K$$

【0 2 2 6】

の推定値を得る。同様に、スチアドポイントは、アクセスポイントにより送信してもよく、ユーザ端末により使用され、両方

【数 1 6 0】

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

20

【0 2 2 7】

を得る。

【0 2 2 8】

スチアドリファレンスは、（アップリンクのための）ユーザ端末における  $N_{ut}$  アンテナのすべてまたは（ダウンリンクのための）アクセスポイントにおける  $N_{ap}$  アンテナのすべてから送信される（パイロットまたは「P」OFDMシンボルと呼ばれる）特定のOFDMシンボルを含む。POFDMシンボルは、広帯域固有モードのための固有ベクトルのセットを用いて空間処理を実行することにより唯一の広帯域固有モード上で送信される。

【0 2 2 9】

A. アップリンクスチアドリファレンス

ユーザ端末により送信されるアップリンクスチアドリファレンスは、以下のように表してもよい。

【数 1 6 1】

$$\underline{x}_{up,m}(k) = \hat{\underline{K}}_{ut}(k) \hat{\underline{v}}_{ut,m}(k) p(k), \text{ 但し } k \in K \quad \text{式 (31)}$$

【0 2 3 0】

ただし、 $\underline{x}_{up,m}(k)$  は、 $m$  番目の広帯域固有モードの  $k$  番目のサブバンドのための送信ベクトルである。

【数 1 6 2】

$$\hat{\underline{v}}_{ut,m}(k)$$

【0 2 3 1】

は、 $m$  番目の広帯域固有モードの  $k$  番目のサブバンドのための固有ベクトルである。

【0 2 3 2】

$p(k)$  は、 $k$  番目のサブバンドで送信されるパイロット変調シンボルである。

【0 2 3 3】

50

固有ベクトル

【数 1 6 3】

$$\hat{\underline{\mathbf{v}}}_{ut,m}(k)$$

【0 2 3 4】

は、行列

【数 1 6 4】

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

10

【0 2 3 5】

の m 番目の列である。ただし

【数 1 6 5】

$$\hat{\underline{\mathbf{V}}}_{ut}(k) = [\hat{\underline{\mathbf{v}}}_{ut,1}(k) \ \hat{\underline{\mathbf{v}}}_{ut,2}(k) \ \dots \ \hat{\underline{\mathbf{v}}}_{ut,N_{ur}}(k)]$$

【0 2 3 6】

アクセスポイントにおける受信アップリンクスチアドリファレンスは、以下のように表してもよい。

20

【数 1 6 6】

$$\underline{\mathbf{r}}_{up,m}(k) = \underline{\mathbf{H}}_{up}(k)\underline{\mathbf{x}}_{up,m}(k) + \underline{\mathbf{n}}_{up}(k) \quad , \text{但し } k \in K \quad \text{式 (32)}$$

$$= \underline{\mathbf{H}}_{up}(k)\hat{\underline{\mathbf{K}}}_{ut}(k)\hat{\underline{\mathbf{v}}}_{ut,m}(k)p(k) + \underline{\mathbf{n}}_{up}(k)$$

$$\approx \hat{\underline{\mathbf{H}}}_{cup}(k)\hat{\underline{\mathbf{v}}}_{ut,m}(k)p(k) + \underline{\mathbf{n}}_{up}(k)$$

$$= \hat{\underline{\mathbf{U}}}_{ap}(k)\hat{\underline{\Sigma}}(k)\hat{\underline{\mathbf{V}}}_{ut}^H(k)\hat{\underline{\mathbf{v}}}_{ut,m}(k)p(k) + \underline{\mathbf{n}}_{up}(k)$$

$$= \hat{\underline{\mathbf{u}}}_{ap,m}(k)\sigma_m(k)p(k) + \underline{\mathbf{n}}_{up}(k)$$

30

【0 2 3 7】

但し、

【数 1 6 7】

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

【0 2 3 8】

は、M 番目の広帯域固有モードの k 番目のサブバンドのためのアップリンクスチアドリファレンスのための受信ベクトルである。

40

【0 2 3 9】

$m(k)$  は、m 番目の広帯域固有モードの k 番目のサブバンドの特異値である。

【0 2 4 0】

スチアドリファレンスに基づいてチャネル応答を推定するための技術は、以下にさらに詳細に記載される。

【0 2 4 1】

B . ダウンリンクスチアドリファレンス

アクセスポイントにより送信されるダウンリンクスチアドリファレンスは、以下のように表してもよい。

50

【数 1 6 8】

$$\underline{x}_{dn,m}(k) = \underline{\hat{K}}_{ap}(k) \underline{\hat{u}}_{ap,m}^*(k) p(k), \text{ 但し } k \in K \quad \text{式 (33)}$$

【0 2 4 2】

ただし、 $\underline{x}_{dn,m}(k)$  は、 $m$  番目の固有モードの  $k$  番目のサブバンドの送信ベクトルである。

【数 1 6 9】

$$\underline{\hat{u}}_{ap,m}^*(k)$$

10

【0 2 4 3】

は、 $m$  番目の固有モードの  $k$  番目のサブバンドの固有ベクトルである。

【0 2 4 4】

ステアリングベクトル

【数 1 7 0】

$$\underline{\hat{u}}_{ap,m}^*(k)$$

【0 2 4 5】

は、行列

【数 1 7 1】

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

20

【0 2 4 6】

の  $m$  番目の列である。ただし、

【数 1 7 2】

$$\underline{\hat{U}}_{ap}^*(k) = [\underline{\hat{u}}_{ap,1}^*(k) \ \underline{\hat{u}}_{ap,2}^*(k) \ \dots \ \underline{\hat{u}}_{ap,N_{ap}}^*(k)]$$

30

【0 2 4 7】

ダウンリンクスチアドリファレンスは、種々の目的のためにユーザ端末により使用してもよい。例えば、ダウンリンクスチアドリファレンスは、(アクセスポイントはチャンネルの推定値を有するので) MIMO チャンネルに対してどういう種類の推定値をアクセスポイントが有するかをユーザ端末が決定可能にする。ダウンリンクスチアドリファレンスはまたダウンリンク送信の受信した SNR を推定するために、ユーザ端末により使用してもよい。

【0 2 4 8】

40

C. ビームステアリングのためのスチアドリファレンス

ビームステアリングモードの場合、送信側の空間処理は、主要な広帯域固有モードのための正規化された固有ベクトルのセットを用いて実行される。正規化された固有ベクトルを有する全体の伝達関数は、正規化されていない固有ベクトルを有する全体の伝達関数とは異なる(すなわち、

【数 1 7 3】

$$\underline{H}_{cup}(k) \underline{\hat{v}}_{ut,j}(k) \neq \underline{H}_{cup}(k) \underline{\tilde{v}}_{ut}(k)$$

50



【 0 2 4 9 】

)従って、すべてのサブバンドのための正規化された固有ベクトルのセットを用いて発生されたスチアドリファレンスは、送信器により送信され受信器により使用されて、ビームステアリングモードの場合のこれらのサブバンドのための整合フィルタベクトルを派生する。

【 0 2 5 0 】

アップリンクの場合、ビームステアリングモードのためのスチアドリファレンスは、以下のように表してもよい。

【 数 1 7 4 】

$$\tilde{\mathbf{x}}_{\text{up},sr}(k) = \hat{\mathbf{K}}_{\text{ut}}(k)\tilde{\mathbf{v}}_{\text{ut}}(k)p(k), \text{ 但し } k \in K \quad \text{式 (34)}$$

10

【 0 2 5 1 】

アクセスポイントにおいて、ビームステアリングモードのための受信アップリンクスチアドリファレンスは、以下のように表してもよい。

【 数 1 7 5 】

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{r}}_{\text{up},sr}(k) &= \mathbf{H}_{\text{up}}(k)\tilde{\mathbf{x}}_{\text{up},sr}(k) + \mathbf{n}_{\text{up}}(k), \text{ 但し } k \in K \quad \text{式 (35)} \\ &= \mathbf{H}_{\text{up}}(k)\hat{\mathbf{K}}_{\text{ut}}(k)\tilde{\mathbf{v}}_{\text{ut}}(k)p(k) + \mathbf{n}_{\text{up}}(k) \\ &= \mathbf{H}_{\text{cup}}(k)\tilde{\mathbf{v}}_{\text{ut}}(k)p(k) + \mathbf{n}_{\text{up}}(k) \end{aligned}$$

20

【 0 2 5 2 】

ビームステアリングを有したアップリンク送信のための整合フィルタ行ベクトル

【 数 1 7 6 】

$$\tilde{\mathbf{m}}_{\text{up}}(k)$$

【 0 2 5 3 】

を得るために、スチアドリファレンスのための受信ベクトル

【 数 1 7 7 】

$$\tilde{\mathbf{r}}_{\text{up},sr}(k)$$

30

【 0 2 5 4 】

は最初に

【 数 1 7 8 】

$$p^*(k)$$

40

【 0 2 5 5 】

と乗算される。次に結果が複数の受信したスチアドリファレンスにわたって積分され、

【 数 1 7 9 】

$$\mathbf{H}_{\text{cup}}(k)\tilde{\mathbf{v}}_{\text{ut}}(k)$$

【 0 2 5 6 】

の推定値を形成する。従って、ベクトル

【数 1 8 0】

$$\tilde{\mathbf{m}}_{ap}(k)$$

【0 2 5 7】

は、この推定値の共役転置である。

【0 2 5 8】

ビームステアリングモードで作動している間、ユーザ端末はスチアドリファレンスの複数のシンボルを送信してもよい。例えば正規化された固有ベクトル

【数 1 8 1】

$$\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k)$$

10

【0 2 5 9】

を用いた1つ以上のシンボル、主要な固有モードのための固有ベクトル

【数 1 8 2】

$$\hat{\mathbf{v}}_{ut,1}(k)$$

【0 2 6 0】

を用いた1つ以上のシンボル、およびおそらく、他の固有モードのための固有ベクトルを用いた1つ以上のシンボルである。

【数 1 8 3】

$$\tilde{\mathbf{v}}_{ut}(k)$$

20

【0 2 6 1】

を用いて発生されたスチアドリファレンスシンボルは、アクセスポイントにより使用され、整合フィルタベクトル

【数 1 8 4】

$$\tilde{\mathbf{m}}_{ap}(k)$$

30

【0 2 6 2】

を派生してもよい。

【数 1 8 5】

$$\hat{\mathbf{v}}_{ut,1}(k)$$

【0 2 6 3】

を用いて発生されたスチアドリファレンスシンボルを使用して

【数 1 8 6】

$$\hat{\mathbf{u}}_{ap,1}(k)$$

40

【0 2 6 4】

を得るようにしてもよい。これを用いて、ダウンリンク上のビームステアリングに使用される正規化された固有ベクトル

【数 1 8 7】

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

【0 2 6 5】

派生してもよい。

【0 2 6 6】

他の固有モードのための固有ベクトル

【数 1 8 8】

10

$$\hat{\mathbf{v}}_{ur,2}(k) \text{ 及至 } \hat{\mathbf{v}}_{ur,N_s}(k)$$

【0 2 6 7】

を用いて発生されたスチアドリファレンスシンボルをアクセスポイントにより使用して、

【数 1 8 9】

$$\underline{\hat{\mathbf{u}}}_{ap,2}(k) \text{ 及至 } \underline{\hat{\mathbf{u}}}_{ap,N_s}(k)$$

【0 2 6 8】

20

およびこれらの他の固有モードのための特異値を得てもよい。この情報は次にアクセスポイントにより使用され、データ送信のために空間多重化モードを使用するかまたはビームステアリングモードを使用するかを決定するようにしてもよい。

【0 2 6 9】

ダウンリンクの場合、ユーザ端末は、較正されたダウンリンクチャネル応答推定値

【数 1 9 0】

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

【0 2 7 0】

30

に基づいてビームステアリングモードのための整合フィルタベクトル

【数 1 9 1】

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

【0 2 7 1】

を派生してもよい。

【0 2 7 2】

特に、ユーザ端末は、

【数 1 9 2】

40

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

【0 2 7 3】

の特異値分解からの

【数 1 9 3】

$$\underline{\hat{\mathbf{u}}}_{ap,1}(k)$$

【0 2 7 4】

50

を有し、正規化された固有ベクトル

【数 1 9 4】

$$\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$$

【0 2 7 5】

を派生することができる。

【0 2 7 6】

次に、ユーザ端末は、

【数 1 9 5】

10

$$\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$$

【0 2 7 7】

を

【数 1 9 6】

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

20

【0 2 7 8】

と乗算することができ、

【数 1 9 7】

$$\hat{\mathbf{H}}_{cdn}(k)\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$$

【0 2 7 9】

を得ることができる。そして、

【数 1 9 8】

$$\hat{\mathbf{H}}_{cdn}(k)\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$$

30

【0 2 8 0】

にもとづいて

【数 1 9 9】

$$\mathbf{m}_{ui}(k)$$

【0 2 8 1】

を得ることができる。あるいは、スチアドリファレンスは、正規化された固有ベクトル

40

【数 2 0 0】

$$\tilde{\mathbf{u}}_{ap}(k)$$

【0 2 8 2】

を用いてアクセスポイントにより送信してもよく、このスチアドリファレンスは、

【数 2 0 1】

$$\tilde{\mathbf{m}}_{ul}(k)$$

【0 2 8 3】

を得るために上述した方法でユーザ端末により処理してもよい。

【0 2 8 4】

D. スチアドリファレンスに基づいたチャネル推定

式(32)に示すように、アクセスポイントにおいて、) (雑音が無い場合に) 受信したアップリンクスチアドリファレンスはおよそ

10

【数 2 0 2】

$$\hat{\mathbf{u}}_{ap,m}(k)\sigma_m(k)p(k)$$

【0 2 8 5】

である。従って、アクセスポイントは、ユーザ端末により送信されたスチアドリファレンスに基づいてアップリンクチャネル応答の推定値を得ることができる。種々の推定技術を用いてチャネル応答推定値を得てもよい。

【0 2 8 6】

一実施形態において、

20

【数 2 0 3】

$$\hat{\mathbf{u}}_{ap,m}(k)$$

【0 2 8 7】

の推定値を得るために、m番目の固有モードのためのスチアドリファレンスのための受信ベクトル

【数 2 0 4】

$$\mathbf{r}_{up,m}(k)$$

30

【0 2 8 8】

が最初にスチアドリファレンスのために使用されるパイロット変調シンボル

【数 2 0 5】

$$p^*(k)$$

【0 2 8 9】

の複素共役と乗算される。結果は、各広帯域固有モードのための受信した複数のスチアドリファレンスシンボルにわたって積分され、

40

【数 2 0 6】

$$\hat{\mathbf{u}}_{ap,m}(k)\sigma_m(k)$$

【0 2 9 0】

を得る。これは、m番目の広帯域固有モードのための

【数 2 0 7】

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

【0 2 9 1】

の拡大縮小された左固有ベクトルである。

【数 2 0 8】

$$\hat{\mathbf{u}}_{\text{ap},m}(k)$$

【0 2 9 2】

の  $N_{\text{ap}}$  の各々は、 $\underline{r}_{\text{up},m}(k)$  のための  $N_{\text{ap}}$  エントリの対応する 1 つに基づいて得られる。但し、 $\underline{r}_{\text{up},m}(k)$  の  $N_{\text{ap}}$  のエントリは、アクセスポイントにおいて、 $N_{\text{ap}}$  のアンテナから得た受信シンボルである。固有ベクトルは単位電力を有するので、特異値  $\lambda_m(k)$  は、スチアドリファレンスの受信電力に基づいて推定してもよい。これは、各広帯域固有モードの各サブバンドに対して測定することができる。

【0 2 9 3】

他の実施形態において、最小平均 2 乗誤差 (MMSE) 技術を用いて、スチアドリファレンスのための受信ベクトル  $\underline{r}_{\text{up},m}(k)$  に基づいて

【数 2 0 9】

$$\hat{\mathbf{u}}_{\text{ap},m}(k)$$

【0 2 9 4】

の推定値を得る。

【0 2 9 5】

パイロット変調シンボル  $p(k)$  は周知なので、(受信ベクトル  $\underline{r}_{\text{up},m}(k)$  に整合フィルタリングを実行した後) に得た) 受信パイロットシンボルと、送信されたパイロットシンボルとの間の平均 2 乗誤差が最小になるようにアクセスポイントは、

【数 2 1 0】

$$\hat{\mathbf{u}}_{\text{ap},m}(k)$$

【0 2 9 6】

の推定値を派生することができる。

【0 2 9 7】

受信器における空間処理のための MMSE 技術の使用は、2001 年 11 月 6 日に出願された、「多重アクセス多重入力多重出力 (MIMO) 通信システム」(Multiple-Access Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) Communication System) というタイトルの同一出願人による米国特許出願シリアル番号 09/993,087 に詳細に記載されている。

【0 2 9 8】

[0095] スチアドリファレンスは、任意の与えられた期間に 1 つの広帯域固有モードに対して送信され、次にこれを用いてその広帯域固有モードの各サブバンドのための 1 つの固有ベクトルの推定値を得てもよい。従って、受信器は、任意の与えられたシンボル期間に、ユニタリ行列において、1 つの固有ベクトルの推定値を得ることができる。ユニタリ行列のための複数の固有ベクトルの推定値は、異なるシンボル期間にわたって得られるので、そして、送信路における雑音および他の劣化のソースにより、ユニタリ行列のための推定された固有ベクトルは、直交では、あり得ない。その後、推定された固有ベクトルが、他のリンク上のデータ送信の空間処理のために使用されるなら、これらの推定された固有ベクトルにおける直交性の任意の誤差は、固有モード間でクロストークを生じるであ

10

20

30

40

50

ろう。これは、性能を劣化させるかもしれない。

【0299】

一実施形態において、各ユニタリ行列のための推定された固有ベクトルは、互いに直交するように強制される。固有ベクトルの直交化は、ギルバート・ストラング(Gilbert Strang)著の上述の文献に詳細に記載されるグラムシュミット(Gram-Schmidt)技術を用いてまたはその他の技術を用いて達成してもよい。スチアドリファレンスに基づいてチャネル応答を推定するための他の技術を用いてもよく、この発明の範囲内である。従って、アクセスポイントは、アップリンクチャネル応答を推定したり、

【数211】

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

10

【0300】

に対して特異値分解を実行したりする必要なく、ユーザ端末により送信されるスチアドリファレンスに基づいて両方

【数212】

$$\hat{\mathbf{U}}_{\text{ap}}(k) \text{ および } \hat{\mathbf{\Sigma}}(k)$$

20

【0301】

を推定することができる。

【0302】

$N_{\text{ut}}$ の広帯域固有モードのみが任意の電力を有するので、

【数213】

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

【0303】

の左固有ベクトルの行列

30

【数214】

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

【0304】

は効率的に  $(N_{\text{ap}} \times N_{\text{ut}})$  であり、行列

【数215】

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

40

【0305】

は、 $(N_{\text{ut}} \times N_{\text{ut}})$  であると考えてもよい。

【0306】

ダウンリンクスチアドリファレンスに基づいて、行列

【数216】

$$\hat{\mathbf{V}}_{\text{in}}(k) \text{ および } \hat{\mathbf{\Sigma}}(k)$$

【0307】

を推定するためのユーザ端末における処理は、アップリンクスチアドリファレンスに対し

50

て上述したそれと同様に実行してよい。

【0308】

#### 5. チャネル推定および空間処理

図5は、この発明の一実施形態に従って、アクセスポイントとユーザ端末におけるチャネル推定および空間処理を実行するためのプロセス500の特定の実施形態のフロー図である。プロセス500は2つの部分の較正(ブロック510)と通常動作(ブロック520)を含む。

【0309】

最初にアクセスポイントとユーザ端末は、較正を実行して、送信チェーンおよび受信チェーンの応答における差分を決定し、および補正行列

10

【数217】

$$\hat{\mathbf{K}}_{ap}(k) \text{ および } \hat{\mathbf{K}}_{ut}(k), \text{ 但し } k \in K$$

【0310】

を得る(ブロック512において)。較正は(例えば、通信セッションの開始時に、またはユーザ端末に電源が入った極最初の時間に)一度だけ実行すればよい。

【0311】

上述したように、補正行列

【数218】

20

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

【0312】

はその後、送信側でそれぞれアクセスポイントとユーザ端末により使用される。

【0313】

通常動作期間に、アクセスポイントは、MIMOパイロットを較正されたダウンリンクチャンネルに送信する(ブロック522において)。ユーザ端末は、MIMOパイロットを受信して処理し、受信したMIMOパイロットに基づいて、較正されたダウンリンクチャンネル応答を推定し、較正されたダウンリンクチャンネル応答の推定値を維持する(ブロック524において)。チャンネル応答推定値が正確であるとき、性能は、より良くなる(すなわち、劣化が少なくなる)ことがわかる。正確なチャンネル応答推定値は、複数の受信したMIMOパイロット送信から派生した推定値を平均化することにより得てもよい。次に、ユーザ端末は、較正されたダウンリンクチャンネル応答推定値

30

【数219】

$$\hat{\mathbf{H}}_{cdn}(k), \text{ 但し } k \in K$$

【0314】

を分解し、対角行列

40

【数220】

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

【0315】

およびユニタリ行列

【数221】

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

50



【 0 3 1 6 】

を得る（ブロック 5 2 6 において）。

【 0 3 1 7 】

行列

【 数 2 2 2 】

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

【 0 3 1 8 】

は、

【 数 2 2 3 】

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

【 0 3 1 9 】

の左固有ベクトルを含み、

【 数 2 2 4 】

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

【 0 3 2 0 】

は、

【 数 2 2 5 】

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

【 0 3 2 1 】

の右固有ベクトルを含む。

【 0 3 2 2 】

従って、行列

【 数 2 2 6 】

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

【 0 3 2 3 】

は、ユーザ端末により使用され、ダウンリンク上で受信したデータ送信に対して並びにアップリンク上に送信したデータ送信に対して空間処理を実行することができる。

【 0 3 2 4 】

次に、ユーザ端末は、式 (3 1) に示すように、行列

【 数 2 2 7 】

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

【 0 3 2 5 】

内の固有ベクトルを用いてアップリンク上のスチアドリファレンスをアクセスポイントに送信する（ブロック 5 3 0 において）。

【 0 3 2 6 】

アクセスポイントは、アップリンクスチアドリファレンスを受信して処理し、対角行列

10

20

30

40

【数 2 2 8】

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

【0 3 2 7】

およびユニタリ行列

【数 2 2 9】

$$\hat{U}_{ap}(k), \text{ 但し } k \in K$$

10

【0 3 2 8】

を得る（ブロック 5 3 2 において）。

【0 3 2 9】

行列

【数 2 3 0】

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

【0 3 3 0】

は、

【数 2 3 1】

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

20

【0 3 3 1】

の左固有ベクトルを含み、

【数 2 3 2】

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

30

【0 3 3 2】

は、

【数 2 3 3】

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

【0 3 3 3】

の右固有ベクトルを含む。

【0 3 3 4】

従って、行列

【数 2 3 4】

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

40

【0 3 3 5】

をアクセスポイントにより使用して、アップリンク上で受信したデータ送信並びにダウンリンク上に送信されたデータ送信に対して空間処理を実行することができる。行列

【数 2 3 5】

$$\hat{\underline{U}}_{ap}(k), \text{ 但し } k \in K$$

【0 3 3 6】

は、アップリンクスチアドリファレンスの推定値に基づいて得られる。アップリンクスチアドリファレンスは、次に、較正されたダウンリンクチャネル応答の推定値に基づいて得られる固有ベクトルを用いて発生される。

【0 3 3 7】

従って、行列

【数 2 3 6】

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

【0 3 3 8】

は推定値の有効な推定値である。

【0 3 3 9】

アクセスポイントは、アップリンクスチアドリファレンス送信を平均して実際の行列

【数 2 3 7】

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

【0 3 4 0】

のより正確な推定値を得てもよい。

【0 3 4 1】

ユーザ端末とアクセスポイントがそれぞれ行列

【数 2 3 8】

$$\hat{\underline{V}}_{ur}(k) \text{ および } \hat{\underline{U}}_{ap}(k)$$

【0 3 4 2】

を得ると、データ送信をダウンリンクおよび/またはアップリンク上で開始することができる。

【0 3 4 3】

ダウンリンクデータ送信の場合、アクセスポイントは、

【数 2 3 9】

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

【0 3 4 4】

の右固有ベクトルの行列

【数 2 4 0】

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

【0 3 4 5】

を有したシンボルに空間処理を実行し、ユーザ端末に送信する（ブロック 5 4 0 において）。

【0 3 4 6】

次に、ユーザ端末は、行列

10

20

30

40

50

【数 2 4 1】

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

【0 3 4 7】

を有するダウンリンクデータ送信を受信して空間的に処理する。この行列は、

【数 2 4 2】

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

10

【0 3 4 8】

の左固有ベクトルの行列

【数 2 4 3】

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

【0 3 4 9】

の共役転置である（ブロック 5 4 2 において）。アップリンクデータ送信の場合、ユーザ端末は、

【数 2 4 4】

20

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

【0 3 5 0】

の右固有ベクトルの行列

【数 2 4 5】

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

【0 3 5 1】

を有するシンボルに対して空間処理を実行する（ブロック 5 5 0 において）。次に、アクセスポイントは、行列

【数 2 4 6】

30

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

【0 3 5 2】

を有するアップリンクデータ送信を受信し、空間的に処理する。この行列は、

【数 2 4 7】

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

40

【0 3 5 3】

の左固有ベクトルの行列

【数 2 4 8】

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

【0 3 5 4】

の共役転置である（ブロック 5 5 2 において）。ダウンリンクおよび/またはアップリン

50

クデータ送信は、アクセスポイントまたはユーザ端末により終了されるまで続けることができる。ユーザ端末がアイドル状態（すなわち、送信または受信すべきデータが無い）である場合、MIMOパイロットおよび/またはスチアドリファレンスは依然として、アクセスポイントおよびユーザ端末が、それぞれ、ダウンリンクチャンネル応答およびアップリンクチャンネル応答の最新の推定値を維持することができるように送信される。従って、これによりデータ送信は、再開されるならおよび再開されるとき、迅速に開始されることが可能になる。

**【0355】**

明確にするために、チャンネル推定および空間処理技術は、ユーザ端末がダウンリンクMIMOパイロットに基づいて、較正されたダウンリンクチャンネル応答を推定し、特異値分解を行なう特定の実施形態について記載した。チャンネル推定と特異値分解もアクセスポイントによって行ってもよく、これはこの発明の範囲内である。一般に、TDDシステムのための相互チャンネルのために、チャンネル推定は、リンクの一端において実行すればよい。

10

**【0356】**

ここに記載された技術は、較正を伴ってもよいし、伴わなくてもよい。

**【0357】**

較正はチャンネル推定を改善するために行なってもよい。従って、これは、システム性能を改善する。

**【0358】**

ここに記載された技術は、また、他の空間処理技術とともに使用してもよい。例えば、広帯域固有モード間の送信電力割り当てのための水充填および各広帯域固有モードのサブバンド間の送信電力割り当てのためのチャンネル反転のような技術である。チャンネル反転および水充填は、上述した米国特許出願シリアル番号60/421,309に記載されている。

20

**【0359】**

ここに記述されたチャンネル推定および空間処理技術は、様々な手段によって実施してもよい。例えば、これらの技術は、ハードウェア、ソフトウェアあるいはそれらの組合せで実施してもよい。ハードウェアで実施する場合、ここに記載した技術を実施するために使用されるエレメントは、1つ以上の特定用途向け集積回路（ASICs）、デジタルシグナルプロセッサ（DSPs）、デジタルシグナル処理装置（DSPDs）、プログラマブルロジック装置（PLDs）、フィールドプログラマブルゲートアレイ（FPGAs）、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、ここに記載した機能を実行するように設計された他の電子装置またはそれらの組み合わせで実施してもよい。

30

**【0360】**

[00112] ソフトウェアで実施する場合、チャンネル推定および空間処理技術は、ここに記載した機能を実行するモジュール（例えば、手続き、機能等）で実施してもよい。

**【0361】**

ソフトウェアコードは、メモリユニット（例えば、図1のメモリユニット132および182）に記憶してもよく、プロセッサ（例えば、コントローラ130および180）により実行してもよい。メモリユニットは、プロセッサ内部またはプロセッサ外部で実行してもよい。プロセッサ外部で実施する場合、メモリユニットは、技術的に周知な様々な手段を介してプロセッサ通信可能に接続することができる。

40

**【0362】**

見出しは、参照のためにそしてあるセクションの場所を見つけるのを助けるためにここに含まれる。これらの見出しは、そこに記載された概念の範囲を制限することを意図したものではなく、これらの概念は、明細書全体を通して、他のセクションにおける適用可能性を有していてもよい。

**【0363】**

開示された実施形態の上述の記載は、当業者がこの発明を製作または使用可能にするた

50

めに提供される。これらの実施形態への様々な変更は、当業者に容易に明白であり、ここに定義される一般的原理は、この発明の精神または範囲から逸脱することなく他の実施形態に適用してもよい。

【図面の簡単な説明】

【0364】

【図1】図1は、この発明の一実施形態に従う、TDD MIMOシステムにおけるアクセスポイントとユーザ端末のブロック図である。

【図2A】図2Aは、この発明の一実施形態に従う、アクセスポイントとユーザ端末における送信チェーンおよび受信チェーンのブロック図を示す。

【図2B】図2Bは、この発明の一実施形態に従う、アクセスポイントとユーザ端末における送信/受信チェーンにおける差分に対処するための補正行列のアプリケーションを示す。

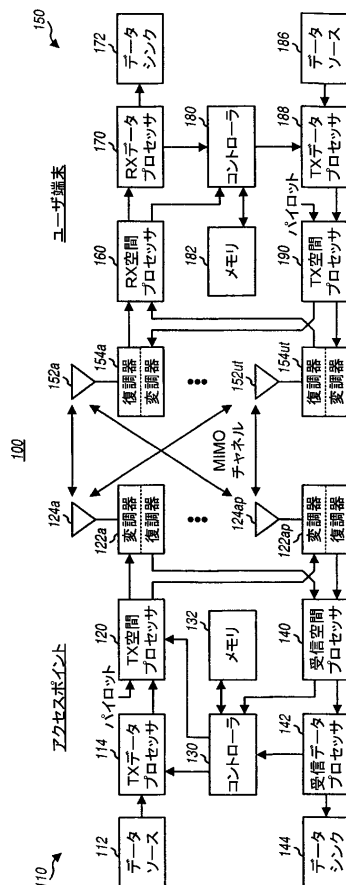
【図3】図3は、この発明の一実施形態に従う、空間多重化モードのためのダウンリンクとアップリンクのための空間処理を示す。

【図4】図4は、この発明の一実施形態に従う、ビームステアリングモードのためのダウンリンクおよびアップリンクのための空間処理を示す。

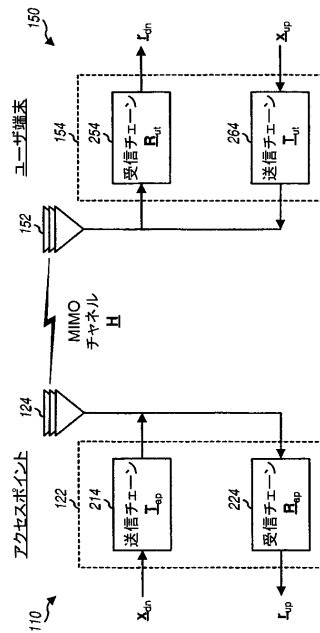
【図5】図5は、この発明の一実施形態に従う、アクセスポイントとユーザ端末においてチャンネル推定および空間処理を実行するためのプロセスを示す。

10

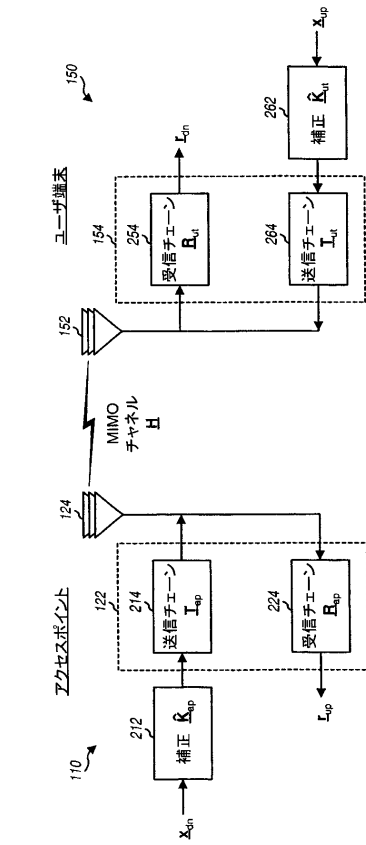
【図1】



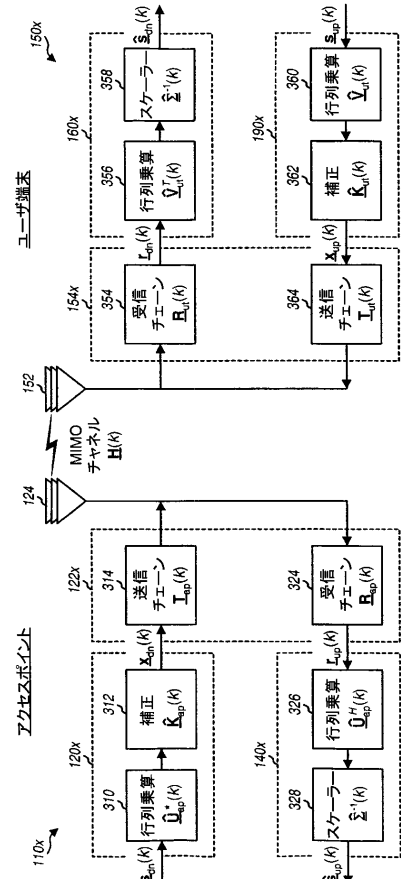
【図2A】



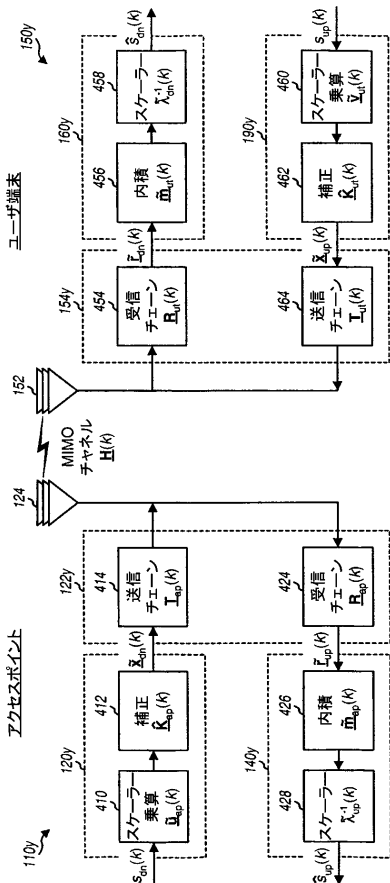
【図2B】



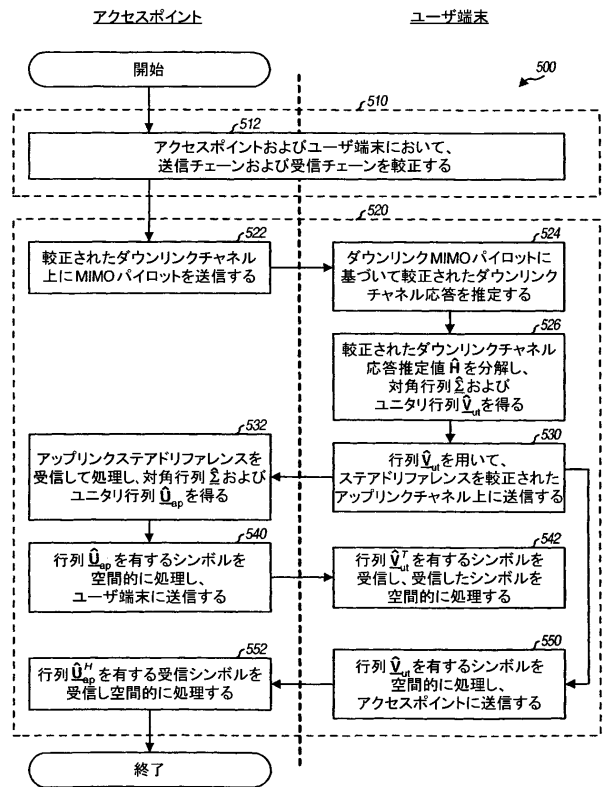
【図3】



【図4】



【図5】



## 【 国際調査報告 】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

 International Application No  
 PCT/US 03/34567

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> IPC 7 H04B7/08 H04B7/06		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 H04B H04L		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, INSPEC		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 02 078211 A (QUALCOMM INC) 3 October 2002 (2002-10-03) paragraphs '1027!', '1042!', '1062!', '1068!', '1094!'	1-59
Y	US 6 452 981 B1 (POLLACK MICHAEL A ET AL) 17 September 2002 (2002-09-17) column 29, line 48 - line 63 column 31, line 24 - line 52 column 35, line 20 - line 24	1-59
A	WO 01 76110 A (QUALCOMM INC) 11 October 2001 (2001-10-11) page 21, line 1 - page 24, line 25 page 26, line 3 - line 9	1-59
	-/-	
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C.		<input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.
* Special categories of cited documents :		
'A' document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance 'E' earlier document but published on or after the international filing date 'L' document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) 'O' document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means 'P' document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		'T' later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention 'X' document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone 'Y' document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. '&' document member of the same patent family
Date of the actual completion of the International search 26 March 2004		Date of mailing of the International search report 27/04/2004
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Sieben, S



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/US 03/34567

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 1 087 545 A (UNIV SINGAPORE) 28 March 2001 (2001-03-28) paragraph '0005! paragraphs '0014!-'0018! paragraphs '0027!-'0029! paragraph '0056! -----	1-59

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No.

PCT/US 03/34567

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 02078211	A	03-10-2002	US 2002191703 A1	19-12-2002
			EP 1371147 A2	17-12-2003
			WO 02078211 A2	03-10-2002
			US 2003003880 A1	02-01-2003
US 6452981	B1	17-09-2002	US 6144711 A	07-11-2000
			US 2003072382 A1	17-04-2003
			US 6377631 B1	23-04-2002
			AU 4238697 A	19-03-1998
			CA 2264170 A1	05-03-1998
			CA 2302289 A1	05-03-1998
			DE 69725995 D1	11-12-2003
			EP 0920738 A1	09-06-1999
			EP 0931388 A2	28-07-1999
			JP 2001505723 T	24-04-2001
			WO 9809385 A2	05-03-1998
			WO 9809381 A1	05-03-1998
			WO 9809395 A1	05-03-1998
WO 0176110	A	11-10-2001	US 6473467 B1	29-10-2002
			AU 4592101 A	15-10-2001
			BR 0109693 A	13-01-2004
			CA 2402152 A1	11-10-2001
			EP 1269665 A2	02-01-2003
			JP 2003530010 T	07-10-2003
			NO 20024634 A	20-11-2002
			TW 508922 B	01-11-2002
WO 0176110 A2	11-10-2001			
EP 1087545	A	28-03-2001	SG 80071 A1	17-04-2001
			EP 1087545 A1	28-03-2001
			JP 2001144677 A	25-05-2001
			US 6694155 B1	17-02-2004

## フロントページの続き

(31)優先権主張番号 10/693,171

(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)

(81)指定国 AP(GH,GM,KE,LS,MW,MZ,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT, BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HU,IE,IT,LU,MC,NL,PT,RO,SE,SI,SK,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA, GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ, EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KP,KR,KZ,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LV,MA,MD,MG,MK,M N,MW,MX,MZ,NI,NO,NZ,OM,PG,PH,PL,PT,RO,RU,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SY,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,UZ,VC,VN,YU,ZA ,ZM,ZW

(74)代理人 100075672

弁理士 峰 隆司

(74)代理人 100109830

弁理士 福原 淑弘

(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 100092196

弁理士 橋本 良郎

(74)代理人 100100952

弁理士 風間 鉄也

(72)発明者 ケッチャム、ジョン・ダブリュ・

アメリカ合衆国、マサチューセッツ州 01451、ハーバード、キャンドルベリー・レーン 37

(72)発明者 ウォーレス、マーク

アメリカ合衆国、マサチューセッツ州 01730、ベッドフォード、マデル・レーン 4

(72)発明者 ワルトン、ジェイ・ロドニー

アメリカ合衆国、マサチューセッツ州 01886、ウェストフォード、レッジウッド・ドライブ 7

(72)発明者 ハワード、スティーブン・ジェイ・

アメリカ合衆国、マサチューセッツ州 01721、アシュランド、ヘリテージ・アベニュー 75

Fターム(参考) 5K018 AA04 DA01 GA01

5K022 FF00 FF01

5K059 CC01