

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5431331号
(P5431331)

(45) 発行日 平成26年3月5日(2014.3.5)

(24) 登録日 平成25年12月13日(2013.12.13)

(51) Int.Cl.	F I	
HO 4 J 99/00 (2009.01)	HO 4 J 15/00	
HO 4 J 11/00 (2006.01)	HO 4 J 11/00	Z
HO 4 B 7/04 (2006.01)	HO 4 B 7/04	

請求項の数 24 (全 29 頁)

(21) 出願番号	特願2010-525898 (P2010-525898)	(73) 特許権者	392026693
(86) (22) 出願日	平成20年9月12日 (2008.9.12)		株式会社 N T T ドコモ
(65) 公表番号	特表2010-539855 (P2010-539855A)		東京都千代田区永田町二丁目11番1号
(43) 公表日	平成22年12月16日 (2010.12.16)	(74) 代理人	100088155
(86) 国際出願番号	PCT/US2008/076252		弁理士 長谷川 芳樹
(87) 国際公開番号	W02009/039043	(74) 代理人	100113435
(87) 国際公開日	平成21年3月26日 (2009.3.26)		弁理士 黒木 義樹
審査請求日	平成23年9月12日 (2011.9.12)	(74) 代理人	100121980
(31) 優先権主張番号	60/973,625		弁理士 沖山 隆
(32) 優先日	平成19年9月19日 (2007.9.19)	(74) 代理人	100128107
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 深石 賢治
(31) 優先権主張番号	12/209,110	(72) 発明者	ゴマダム, クリシュナ
(32) 優先日	平成20年9月11日 (2008.9.11)		アメリカ合衆国, カリフォルニア州,
(33) 優先権主張国	米国 (US)		アーヴァイン, ヴェラノ プレイス 4 913

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マルチユーザ MIMO および双方向トレーニングに基づいた広帯域伝送のための方法および装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

K 個の一群の受信機と、
 N 個の一群の送信アンテナを有する少なくとも 1 つの送信機とを備え、
 前記少なくとも 1 つの送信機が、
 前記 K 個の一群の受信機のそれぞれからアップリンクパイロット信号を受信し、
 K 個のアップリンクパイロットシンボルであって、それぞれが前記 K 個の一群の受信機の
 うちの 1 つから前記アップリンクパイロット信号に含んで送信されたシンボルを基にチャ
 ンネルの推定を行い、
 一群の事前符号器に接続された符号器を用いて、前記 K 個の一群の受信機のそれぞれに向
 けた K 個のストリームデータを生成し、
 前記 K 個の一群の受信機のそれぞれに向けた前記ストリームデータを含むダウンリンク送
 信信号を、推定された前記チャンネルに基づいて導出された事前符号化を用いたマルチ
 ユーザ MIMO に基づいて、前記一群の事前符号器を用いて事前符号化し、
 前記 K 個の受信機においてそれぞれの有効チャンネルの推定を可能にするために、L 個の
 ダウンリンクパイロットシンボルを、複数のダウンリンクパイロット信号を介して、前記
 事前符号化を用いて、前記 K 個の受信機に送信し、
 前記ストリームデータの数 K は、同時に送信する前記ダウンリンクパイロットシンボル
 の数 L よりも多い、
 無線通信システム。

10

20

【請求項 2】

前記事前符号化が、相反性から導出された前記送信機におけるチャンネル状態情報 (CSIT) によって導出された 1 つまたはそれ以上の MU-MIMO 事前符号器を用いて実行される請求項 1 に記載の無線通信システム。

【請求項 3】

前記 CSIT が、前記 K 個の一組の受信機によって送信されたパイロットに基づいて前記送信機においてなされた測定によって取得される請求項 2 に記載の無線通信システム。

【請求項 4】

双方向トレーニングを調整する双方向トレーニングモジュールをさらに備える請求項 1 に記載の無線通信システム。

【請求項 5】

前記 K 個の一組の受信機および前記 N 個の一組の送信アンテナが、4 ステージ TDD ベーストレーニングおよび伝送プロトコルを使用する請求項 1 に記載の無線通信システム。

【請求項 6】

前記 4 ステージ TDD ベーストレーニングおよびデータ伝送プロトコルが、
受信された K 個のパイロットシンボルに基づいて前記送信機がチャンネルを直接に推定するステップであり、それぞれのパイロットシンボルが、前記 K 個の一組の受信機の中の 1 つによって送信される、前記推定するステップと、

前記チャンネル推定を用いて前記 MU-MIMO 事前符号器を導出するステップと、
前記 K 個の受信機がそれらの受信機のそれぞれの有効チャンネルを推定するのを可能にするために、前記 MU-MIMO 事前符号器を用いて前記送信機が 1 個 ~ K 個のパイロットシンボルを前記 K 個の一組の受信機へ送信するステップと、

前記 MU-MIMO 事前符号器を用いて前記送信機がユニキャストダウンリンク送信を実行するステップと、

を備える請求項 5 に記載の無線通信システム。

【請求項 7】

前記 1 個 ~ K 個のパイロットシンボルが、前記ダウンリンク送信のデータサンプル間に拡散される請求項 6 に記載の無線通信システム。

【請求項 8】

前記少なくとも 1 つの送信機が、複数の事前符号器を備え、前記複数の事前符号器のそれぞれが、1 つのチャンネル専用である請求項 1 に記載の無線通信システム。

【請求項 9】

前記少なくとも 1 つの送信機が、前記少なくとも 1 つの送信機によって生成されたチャンネル推定を用いて、複合事前符号化信号を生成し、前記複合事前符号化信号が、前記 K 個の一組の受信機内に存在するそれぞれの受信機がその受信機自身の信号しか復号化しないようなものである請求項 1 に記載の無線通信システム。

【請求項 10】

前記少なくとも 1 つの送信機が、チャンネルを直接に推定するためのユニットと時空間符号化システムとを備え、前記時空間符号化システムが、

情報保持信号を受け取るための入力と、

前記情報保持信号を符号化してビットストリームを生成するために前記入力に結合された 2 進外部符号器と、

前記ビットストリームを受け取るように結合されたビットインターリーバと、

前記ビットインターリーバに結合されたマッピング装置およびモデムであり、前記ビットインターリーバ、前記マッピング装置、および前記モデムが、ビットインターリーブ符号化変調を実行するために協力して動作する、前記マッピング装置およびモデムと、

前記送信機の前記ユニットによって直接に推定されたチャンネル推定を示すチャンネル状態情報に基づいて、送信するための信号を成形するための一組の事前符号器と、

送信するための複数のストリームを生成するために前記一組の事前符号器に結合された OFDM ベース内部直交時空間ブロック符号器と、

10

20

30

40

50

を備える請求項 1 に記載の無線通信システム。

【請求項 1 1】

前記モデムと前記一組の事前符号器とが、前記ビットインターリーブの出力をシリアル形式からパラレル形式に変換することのできるシリアル - パラレル変換器を介して結合された請求項 1 0 に記載の無線通信システム。

【請求項 1 2】

前記ユニットが、前記一組の事前符号器を導出する請求項 1 0 に記載の無線通信システム。

【請求項 1 3】

前記前記 K 個の一組の受信機の中の少なくとも 1 つが、
OFDM ベース内部直交時空間ブロック符号による復号化を実行してシンボルを生成する内部復号器を有する線形フロントエンドと、
外部復号器と、
を備え、
前記外部復号器が、
前記線形フロントエンドからのビットに対してシンボルごとにシンボルデマッピングを実行するための内部シンボルデマッピング装置と、
前記内部シンボルデマッピング装置から受け取られた前記デマッピングされたシンボルに対してデインターリーブを実行するためのビットデインターリーブと、
外部 MAP 復号器と、
を有する請求項 1 に記載の無線通信システム。

【請求項 1 4】

前記少なくとも 1 つの送信機が、基地局内に構成されている請求項 1 に記載の無線通信システム。

【請求項 1 5】

無線通信システムにおいて N 個の一組の送信アンテナを有する少なくとも 1 つの送信機と K 個の一組の受信機との間において、双方向チャンネルトレーニングを実行する方法であって、

前記少なくとも 1 つの送信器においてアップリンクパイロット信号をそれぞれの前記 K 個の受信機から受信し、

K 個のアップリンクパイロットシンボルであって、それぞれが前記 K 個の一組の受信機のうちの 1 つから前記アップリンクパイロット信号に含んで送信されたシンボルを基にチャンネルの推定を行い、

一組の事前符号器に接続された符号器を用いて、前記 K 個の一組の受信機のそれぞれに向けた K 個のストリームデータを生成し、

前記 K 個の一組の受信機のそれぞれに向けた前記ストリームデータを含むダウンリンク送信信号を、推定された前記チャンネルに基づいて導出された事前符号化を用いたマルチユーザ MIMO に基づいて、前記一組の事前符号器を用いて事前符号化し、

前記 K 個の受信機においてそれぞれの有効チャンネルの推定を可能にするために、L 個のダウンリンクパイロットシンボルを、複数のダウンリンクパイロット信号を介して、前記事前符号化を用いて、前記 K 個の受信機に送信し、

前記ストリームデータの数 K は、同時に送信する前記ダウンリンクパイロットシンボルの数 L よりも多い、

方法。

【請求項 1 6】

前記双方向チャンネルトレーニングを実行するステップが、前記少なくとも 1 つの送信機において前記 K 個の受信機のそれぞれから前記アップリンクパイロット信号を受信することを少なくとも含むアップリンクトレーニングを実行するステップと、前記少なくとも 1 つの送信機から前記 K 個の一組の受信機のそれぞれへ送信される前記 L 個のシンボルを用いてダウンリンクパイロット信号を送信することを少なくとも含むダウンリンクトレー

ニングを実行するステップとを備える請求項 15 に記載の方法。

【請求項 17】

前記事前符号化するステップが、相反性から導出された前記送信機におけるチャンネル状態情報 (C S I T) によって導出された 1 つまたはそれ以上の M U - M I M O 事前符号器を用いて実行される請求項 15 に記載の方法。

【請求項 18】

前記 K 個の一組の受信機と前記少なくとも 1 つの送信機との間において 4 ステージ T D D ベーストレーニングおよび伝送プロトコルを実行するステップをさらに備え、前記 4 ステージ T D D ベーストレーニングおよび伝送プロトコルが、少なくとも、

受信された K 個のパイロットシンボルに基づいて前記送信機がチャンネルを直接に推定するステップであり、それぞれの前記 K 個のパイロットシンボルが、前記 K 個の一組の受信機の中の 1 つによって送信される、前記推定するステップと、

前記チャンネル推定を用いて M U - M I M O 事前符号器を導出するステップと、

前記 K 個の受信機がそれらの受信機のそれぞれの有効チャンネルを推定するのを可能にするために、前記 M U - M I M O 事前符号器を用いて前記送信機が L 個のパイロットシンボルを前記 K 個の一組の受信機へ送信するステップと、

前記 M U - M I M O 事前符号器を用いて前記送信機がユニキャストダウンリンク送信を実行するステップと、

を備える請求項 15 に記載の方法。

【請求項 19】

複数の事前符号器を備え、M U - M I M O 事前符号器を導出する前記送信器が、前記複数の事前符号器を使用する工程を備え、前記事前符号器は 1 つのチャンネル専用である請求項 18 に記載の方法。

【請求項 20】

複数のアンテナを有する少なくとも 1 つの送信機と K 個の一組の受信機とを有する無線通信システムにおいて使用するための方法であって、

K 個のアップリンクパイロット信号を前記 K 個の一組の受信機から前記送信機が受信するステップであり、前記 K 個の一組の受信機におけるそれぞれが、前記 K 個のアップリンクパイロット信号の 1 つを前記送信機に送信するステップと、

K 個のアップリンクパイロットシンボルであって、それぞれが前記一組の受信機のうちの 1 つから前記アップリンクパイロット信号に含んで受信されたシンボルに基づいて前記送信機においてチャンネルを直接に推定するステップと、

一組の事前符号器に接続された符号器を用いて、前記送信機で前記 K 個の一組の受信機のそれぞれに向けた K 個のストリームデータを生成し、

前記チャンネル推定を用いてマルチユーザ・マルチプルインプット・マルチプルアウトプット (M U - M I M O) 事前符号器 である前記一組の事前符号器を導出するステップと、

前記 K 個の一組の受信機におけるそれぞれがそれらの受信機のそれぞれの有効チャンネルを推定するのを可能にするために、前記 M U - M I M O 事前符号器を用いて L 個のダウンリンクパイロットシンボルを、複数のダウンリンクパイロット信号を介して前記 K 個の一組の受信機へ送信するステップと、

前記 M U - M I M O 事前符号器を用いて、前記 K 個の一組の受信機のそれぞれに向けた前記ストリームデータを含むダウンリンク伝送を前記 K 個の一組の受信機の中の 1 以上に送信するステップと、

を備え、

前記ストリームデータの数 K は、同時に送信する前記ダウンリンクパイロットシンボルの数 L よりも多い、

方法。

【請求項 21】

前記送信機は、それぞれが複数のチャンネルのうちの 1 つのために設けられた複数の事

前符号器を備え、MU-MIMO事前符号器を導出するステップは、前記複数のチャンネルのうちのそれぞれの1つのために設けられるように前記複数の事前符号器のそれぞれを使用する工程を備える請求項20に記載の方法。

【請求項22】

前記MU-MIMO事前符号器を導出するステップが、相反性から導出された前記送信機におけるチャンネル状態情報(CSI)を用いて実行される請求項20に記載の方法。

【請求項23】

前記MU-MIMO事前符号器が、複数の事前符号器を備え、前記複数の事前符号器のそれぞれが、1つのチャンネル専用である請求項20に記載の方法。

10

【請求項24】

前記ダウンリンク伝送を送信するステップが、前記少なくとも1つの送信機によって生成されたチャンネル推定を用いて、複合事前符号化信号を生成するステップを備え、前記複合事前符号化信号が、前記K個の1組の受信機内に存在するそれぞれの受信機がその受信機自身の信号しか復号化しないようなものである請求項20に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、無線通信の分野に関し、より詳細には、本発明は、送信機と受信機との間における双方向トレーニングを用いたマルチユーザ(MU)MIMOに基づいた無線伝送に関する。

20

【優先権】

この特許出願は、2007年9月19日に出願された、発明の名称が「A Method And Apparatus For Resource-Efficient Wideband Transmission Based On Multi-User MIMO and Two-Way Training」である対応する米国特許仮出願第60/973,625号に基づく優先権を主張するものであり、この米国特許仮出願第60/973,625号は、参照により本明細書に組み込まれる。

【背景技術】

【0002】

30

将来の無線システムは、所与の伝送帯域幅内で達成可能なデータ伝送速度を増加させるために、無線周波数スペクトルをきわめて効率的に使用しなければならない。これは、信号処理と組み合わせられた複数の送信アンテナと複数の受信アンテナを使用することによって実現されてもよい。最近開発された多くの技術および新しい標準は、基地局において複数のアンテナを使用することに基づくものであり、また、無線システムの有効データ伝送速度を低下させることなく、無線メディアを介したデータ通信の信頼性を改善するものである。いわゆる時空間ブロック符号(STBC)が、この目的を達成するために使用される。具体的には、無線通信の最近の発展は、シンボルが時間や基地局の複数の送信アンテナをまたがって合わせて符号化されることによって、信頼性(ダイバーシチ)利得を得ることができ、かつ、基地局からそれぞれのセルラユーザへの単位帯域幅ごとの有効データ伝送速度を増加させることができることを実証している。これらの多重化(スループット)利得およびダイバーシチ利得は、基地局において使用される時空間符号化技術に依存するものである。

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

多重化利得およびダイバーシチ利得は、システム内に配備される送信アンテナおよび受信アンテナの数が、基本的には、システム内の送信アンテナの数と受信アンテナの数とによって決定される多重化ダイバーシチトレードオフ曲線によって制限されるという意味において、本質的に、それらの送信アンテナおよび受信アンテナの数に依存する。音声、オ

50

ーディオ、画像、および、ビデオなどのメディアを提供する場合における伝送の効率 / 品質を増加させる相補的な方法は、不均一誤り保護 (UEP) 法を使用することである。

【0004】

今日、高データ伝送速度のシングルユーザMIMOシステムの種類が存在する。これらの方式は、OFDMによる時空間ビットインターリーブ符号化変調システムであり、空間、時間、および、周波数ダイバーシチを提供することができる。さらにまた、これらの方式は、本質的に、送信機における非配列アンテナ (non-colocated antenna) からの伝送によって生成される非同期性に対処することができる。さらにまた、速度互換パンクチャード符号 (RCC) を外部2進符号として使用することによって、柔軟性のあるUEPシステムが、メディア伝送のために実現される。しかしながら、これらのシステムに関する1つの欠点は、ほぼ最適な受信機が、場合によっては、きわめて複雑になることである。これに加えて、高い総スペクトル効率を伴うダウンリンクSU-MIMO方式を開発するためには、本質的に、移動局において多くの受信アンテナを使用しなければならない。

10

【0005】

図2および図3は、BICMおよびIDを利用するシングルユーザMIMO/OFDMシステムのための送信機および受信機のブロック図を示す。図4は、異なるOFDMトン/サブチャンネルに対するMIMO結合デマッピングユニットを有するMIMOデマッピング装置のブロック図である。

【0006】

20

マルチユーザMIMO (MU-MIMO) 方式は、SU-MIMOシステムの代わりとなる魅力的な代替物を提供する。また、MU-MIMOシステムは、高い総スループットを達成することができ、しかも、移動局における多数の受信アンテナを必要とせず、受信機の複雑さは程よいものである。

【0007】

SU-MIMOと異なり、マルチユーザMIMOの性能利得は、送信機および受信機におけるチャンネル状態情報に大きく依存する。これは、必然的に、送信機およびそれぞれの受信機の両方においてチャンネル状態情報を取得するという問題を発生させる。これは、トレーニングおよびチャンネル推定をもたらす、これは、帯域幅および電力などのシステム資源を浪費させるものであり、それによって、データ伝送のための正味時間を減少させる。さらに、送信機と受信機との間におけるチャンネル情報の不一致によって性能が妨げられる。

30

【課題を解決するための手段】

【0008】

MU-MIMOおよび双方向トレーニングに基づいた無線伝送のための方法、装置、およびシステムが、本明細書で開示される。一実施形態においては、システムは、K個の1組の受信機とN個の1組の送信アンテナを有する少なくとも1つの送信機とを備え、送信機は、K個の1組の受信機とN個の1組の送信アンテナとの間における双方向チャンネルトレーニングに基づいて導出された事前符号化を用いたマルチユーザMIMOに基づいて、K個の1組の受信機内に存在するそれぞれの受信機へダウンリンク送信するための信号を事前符号化することができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0009】

本発明は、以下に提供される本発明の様々な実施形態の詳細な説明および添付の図面からより完全に理解される。しかしながら、これらの説明および図面は、本発明を特定の実施形態に限定するものであると解釈されるべきではなく、ただ単に、本発明を説明および理解するためのものである。

【図1】複数の可能性がある基地局の複数のアンテナから移動受信機 (端末) に向けて、非同期で発生する可能性がある無線広帯域伝送を例示する図である。

【図2】OFDM変調とともにビットインターリーブ符号化変調 (BICM) によって時

50

空間符号化するための送信機の一実施形態を示すブロック図である。

【図3】シングルユーザMIMOシステムにおける任意の移動受信機における受信機構造の一実施形態を示すブロック図である。

【図4】MIMOデマッピング装置の一実施形態を示すブロック図である。

【図5】マルチユーザMIMO送信機の一実施形態を示すブロック図である。

【図6】マルチユーザMIMOのための受信機構造の一実施形態を示すブロック図である。

【図7】4ステージ事前符号化構成およびデータ伝送プロトコルの一実施形態を示す図である。

【図8A】送信機においてチャンネルを推定する設定を示す図である。

10

【図8B】事前符号化行列Uによって有効チャンネルがどのように変更されるかを示す図である。

【図9】サンプルシナリオを考察する図であり、1ユーザごとのユニキャストされる速度と機能停止中のユーザの数（すなわち、その速度において高い信頼性で復号化することのできないユーザの数）との関係を示す。

【図10】コンピュータシステムの一実施形態を示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

複数の送信アンテナおよび可能性としては複数であってもよい受信アンテナによって情報を送信／受信するのを管理するための無線通信システムが開示される。システムは、複数の送信アンテナを介して送信される信号を受信する（1つまたは複数のアンテナを用いることによって）端末（例えば、移動局）を含み、送信アンテナは、複数の基地局間に分散されてもよく、または分散されなくてもよい。（すなわち、アンテナは配列されてもよく、または配列されなくてもよい）。一実施形態においては、OFDMによる広帯域伝送が、外部2進畳み込み符号とともに使用され、この外部2進畳み込み符号は、ビットインターリーブ符号化変調に基づくものである。従来のシングルユーザMIMOシステムとは対照的に、双方向チャンネルトレーニングが使用され、また、ユーザに提供される総データ伝送速度を最適化するという目的を伴う瞬時復号可能な事前符号器法を設計するのに使用される。一実施形態においては、送信機において事前符号器が特定のチャンネルを実現するように設計および最適化されたこれらの種類のシステムは、マルチユーザMIMOシステムと呼ばれる。最後に、開示されるマルチユーザMIMO技術は、メディア信号に対する随意的な柔軟性のある不均一誤り保護に備えて用意されたものでもある。

20

30

【0011】

以下の記述においては、本発明をより完全に説明するために、多くの細部が、説明される。しかしながら、当業者には、本発明がこれらの具体的な細部を伴うことなく実施されてもよいことは明らかなことである。場合によっては、本発明を曖昧なものにするのを避けるために、よく知られている構造および装置は、詳細図の形ではなくブロック図の形で示される。

【0012】

以下の詳細な説明のいくつかの部分は、コンピュータメモリ内のデータビットに施される処理のアルゴリズムおよび記号表現として提供される。これらのアルゴリズム的な記述および表現は、データ処理技術分野の当業者の研究の内容を最も効率的に別の当業者に伝達するためにそれらの当業者によって使用される手段である。アルゴリズムは、本明細書では、また一般的には、所望の結果をもたらす自己矛盾のない連続したステップであると考えられる。ステップは、物理的な量の物理的な操作を必要とするステップである。必ずしもそうであるとは限らないが、通常、これらの量は、記憶され、転送され、組み合わせられ、比較され、さもなければ、操作されることの可能な電氣的または磁氣的な信号の形をとる。場合によっては、主として慣用的な理由から、ビット、値、要素、シンボル、文字、用語、数値、などとしてこれらの信号に言及することは、都合がよいことが知られている。

40

50

【 0 0 1 3 】

しかしながら、これらのおよび類似するすべての用語は、適切な物理的な量に関連づけられ、そして、これらの量に適用される単なる便利なラベルにすぎないことに留意すべきである。特段の説明がなされない限り、あるいは、以下の説明から明らかなように、本明細書全体を通して、「処理する」、または、「コンピューティングする」、または、「計算する」、または、「決定する」、または、「表示する」、などの用語を使用する説明は、コンピュータシステムのレジスタおよびメモリ内の物理的な（電子的な）量として表現されたデータをコンピュータシステムのメモリまたはレジスタまたはそのような情報記憶装置、伝送装置、または表示装置内の物理的な量として同じように表現された別のデータに操作および変換するコンピュータシステムまたは類似する電子的コンピューティング装置の動作および処理に言及するものであることがわかる。

10

【 0 0 1 4 】

本発明は、また、本明細書で説明される処理を実行するための装置に関する。この装置は、要求される目的のために特別に構成されてもよく、あるいは、汎用コンピュータ内に記憶されたコンピュータプログラムによって選択的に活性化されまたは再構成される汎用コンピュータを備えてもよい。そのようなコンピュータプログラムは、限定はされないが、フロッピーディスク、光ディスク、CD-ROM、および、光磁気ディスクを含む任意の種類のディスク、リードオンリーメモリ（ROM）、ランダムアクセスメモリ（RAM）、EPROM、EEPROM、磁気カードまたは光カード、または、電子的命令を記憶するのに適した任意の種類の媒体などのコンピュータ読取可能な記憶媒体に記憶されてもよく、これらはコンピュータシステムバスに結合されてもよい。本明細書で説明されるアルゴリズムおよび表示装置は、本質的に、任意の特定のコンピュータまたはその他の装置に関連するものではない。様々な汎用システムが、本明細書で説明される教示に基づいたプログラムとともに使用されてもよく、あるいは、要求される方法ステップを実行するためにより特化された装置を構成することは、都合がよいことがわかるかもしれない。様々なこれらのシステムに要求される構造は、以下の説明から明らかとなる。さらに、本発明は、任意の特定のプログラミング言語に準拠して記述されるものではない。様々なプログラミング言語が、本明細書で説明される本発明の教示を実施するのに使用されてもよいことが理解される。

20

【 0 0 1 5 】

マシン読取可能な媒体は、マシン（例えば、コンピュータ）によって読み出すことのできる形で情報を記憶または伝送するための任意のメカニズムを含む。例えば、マシン読取可能な媒体は、リードオンリーメモリ（「ROM」）、ランダムアクセスメモリ（「RAM」）、磁気ディスク記憶媒体、光記憶媒体、フラッシュメモリ装置、などを含む。

30

【 0 0 1 6 】

（概説）

本明細書で説明される技術は、主として下りリンク、すなわち、基地局から移動局方向への伝送を取り扱う。1つ以上の基地局に存在する複数のアンテナから、典型的には1つまたは2つのアンテナをそれぞれが有する、可能性としては多数であってもよい指定された単純な移動受信機へ向けて、シンボルの情報保持ストリームを高い信頼性で伝送するための方法および装置が開示される。方法および装置は、送信機におけるチャンネル状態情報（CSI）を使用することによって、所望の目的である信頼性の高い伝送を達成する。一実施形態においては、これは、事前符号器を使用することによって実現される。基地局から移動局へのチャンネルは、チャンネル相反性（channel-reciprocity property）および時分割複信（TDD）手順を使用することによって、すなわち、逆方向チャンネル（すなわち、移動局から基地局へのチャンネル）を実証することによって、推定される。また、システムは、受信機における関連チャンネル状態情報（CSI-R）を提供するために、下りリンク（基地局から移動局へのリンク）におけるチャンネルトレーニングを使用する。一実施形態においては、可能性としてはきわめて多数であってもよい基地局アンテナ（場合によっては非配列の）が、無線システムに含まれる

40

50

。一実施形態においては、システムにおける受信機は、ただ1つの受信アンテナしか有しておらず、それほど複雑なものではない。

【0017】

一実施形態においては、システムは、(きわめて)多数のアンテナを使用する送信機から、きわめて少ないアンテナ、好ましくは1つのアンテナしか伴わない、複数の個々のユーザへ向けて、情報を同時高速配信するように設計される。これは、伝送する前にデータストリームを事前符号化(ビームフォーミング)するための方法を設計するときに、送信する基地局においてチャンネル状態情報を利用することによって(チャンネル状態推定を介して)可能となる。マルチユーザ伝送設定において事前符号化するためにチャンネル状態情報が送信機において使用されるこのような技術は、マルチユーザMIMO方式と呼ばれる。同時ユーザ(それぞれのユーザは、典型的には、ただ1つのアンテナを伴う)の数と比較して多数の送信アンテナが使用される場合、線形事前符号化は、高総伝送速度を提供するのに十分なものである。

【0018】

一実施形態においては、TDD相反性が仮定され、それによって、N個の送信アンテナとK人のユーザのアンテナとの間におけるすべての下りリンクチャンネルに対する送信機におけるチャンネル状態情報は、上りリンクにおいてK人のユーザによって送信されたパイロットに基づいて送信機でなされる測定によって取得される。送信機において結果として得られるチャンネル推定は、まとめて、送信機におけるチャンネル状態情報(CSI)と呼ばれる。CSI推定は、下りリンクチャンネルの「完璧な」推定ではないが、CSIは、ダウンリンク伝送のための事前符号化法を生成するのに使用される。一般的には、事前符号器の効率は、CSIの品質だけでなく、チャンネルコヒーレンス時間(そして、これは、ユーザ移動度レベルに依存する)、基地局における送信アンテナの数、および、ユーザの数Kのようなその他の関連するパラメータにも大きく依存する。MMSEまたは正規化ゼロフォーシングに基づいた線形事前符号器が、送信機において使用されてもよく、実用的利益の多くの場合に、ロバストかつ効率的なシステムをもたらす。事前符号器ユニットは、送信機において最も複雑なユニットであり、その複雑さは、最大で K^3 (すなわち、Kの3乗)に比例する。

【0019】

一実施形態においては、無線通信システムは、K個の一組の受信機とN個の一組の送信アンテナを有する少なくとも1つの送信機とを備え、ここで、送信機は、K個の一組の受信機とN個の一組の送信アンテナとの間における双方向チャンネルトレーニングに基づいて導出された事前符号化を用いたマルチユーザMIMOに基づいてK個の一組の受信機におけるそれぞれの受信機へのダウンリンク送信のための信号を事前符号化することができる。双方向トレーニングは、協働して動作させられてもよく、また、送信機における双方向トレーニングモジュールによって実行される部分であってもよい。一実施形態においては、双方向チャンネルトレーニングは、K個のパイロット信号を用いたアップリンクトレーニングおよび1~Kシンボルを用いたダウンリンクトレーニングを含む。一実施形態においては、事前符号化は、送信機における相反性導出チャンネル状態情報(CSI)によって導出された1つ以上のMU-MIMO事前符号器を用いて実行される。一実施形態においては、CSIは、K個の一組の受信機によって送信されたパイロットに基づいて送信機においてなされた測定によって取得される。

【0020】

一実施形態においては、K個の一組の受信機およびN個の一組の送信アンテナは、4ステージTDDベーストレーニングおよび伝送プロトコルを使用する。一実施形態においては、4ステージTDDベーストレーニングおよび伝送プロトコルは、それぞれのK個のパイロットシンボルがK個の一組の受信機の中の1つによって送信され、受信されたK個のパイロットシンボルに基づいて送信機が直接にチャンネルを推定するステップと、チャンネル推定を用いてMU-MIMO事前符号器を導出するステップと、K個の受信機がそれぞれの受信機の有効チャンネルを推定するのを可能にするために、MU-MIMO事前符

10

20

30

40

50

号器を用いて送信機がK個の一組の受信機へ1~Kパイロットシンボルを送信するステップと、MU-MIMO事前符号器を用いて送信機がユニキャストダウンリンク送信を実行するステップとを備える。ステージ1(アップリンクパイロット通知および送信機トレーニング)は、その他のすべてのステージに先行し、ステージ2(事前符号器設計)は、ステージ3およびステージ4に先行することに注意されたい。しかしながら、ステージ3とステージ4との間における因果関係要件は存在しない。すなわち、ダウンリンクトレーニングステージのためのサンプルは、任意の方法で、ダウンリンクデータ伝送ステージのサンプルと混ぜ合わされてもよい(そして、一般的には、そのようにすることが有益である)。

【0021】

一実施形態においては、双方向トレーニングユニットは、一組の事前符号器を導出する。一実施形態においては、送信機は、複数の事前符号器を備え、複数の事前符号器のそれぞれは、1つのチャンネル専用である。一実施形態においては、送信機は、少なくとも1つの送信機によって生成されたチャンネル推定を用いて、複合事前符号化信号を生成し、ここで、複合事前符号化信号は、K個の一組の受信機内に存在するそれぞれの受信機しか当該受信機自身の信号を復号化しないようなものである。

【0022】

一実施形態においては、送信機は、チャンネルを直接に推定するための双方向トレーニングユニットと時空間符号化システムとを備える。一実施形態においては、双方向トレーニングユニットは、チャンネル推定を事前符号器に供給する。一実施形態においては、時空間符号化システムは、情報保持信号を受け取るための入力と、情報保持信号を符号化してビットストリームを生成するために入力に結合された2進外部符号器と、ビットストリームを受け取るように結合されたビットインターリーバと、ビットインターリーバに結合されたマッピング装置およびモデムとを備え、ビットインターリーバ、マッピング装置、およびモデムは協力して、ビットインターリーブ符号化変調をもたらすように動作し、さらに、この時空間符号化システムは、送信機のユニットによって直接に推定されたチャンネル推定を示すチャンネル状態情報に基づいて、送信のために信号を成形するための一組の事前符号器ユニットと、送信のための複数のストリームを生成するために一組の事前符号器ユニットに結合されたOFDM伝送システム(例えば、OFDMベース内部直交時空間ブロック符号器)とを備える。一実施形態においては、OFDM伝送システムは、広帯域伝送をハンドリングするように設計され、かつ、非配列アンテナから受信された信号の非同期な可能性のある性質に対してロバストな性質を持つ。一実施形態においては、モデムと一組の事前符号器とは、ビットインターリーバの出力をシリアル形式からパラレル形式に変換することのできるシリアル-パラレル変換器を介して結合される。一実施形態においては、送信機は、基地局の一部である。

【0023】

事前符号器ユニットは、線形事前符号器または非線形事前符号器を構成し、この事前符号器は、すべてのユーザストリームに対する外部2進符号からなる出力を入力とし、そして、この事前符号器の出力は、OFDM伝送システムへの入力として使用される。利用できるチャンネル情報(チャンネル推定)に基づいて、事前符号器は、任意のユーザを対象にした信号がユーザによって復号化できるように、かつ、1つのアンテナを伴う簡単な受信機がこの目的に十分なものであるような形で、一緒に送信される信号を準備する。

【0024】

一実施形態においては、無線通信システムにおける受信機は、OFDMベース内部直交時空間ブロック符号による復号化を実行してシンボルを生成する内部復号器を有する線形フロントエンドと、外部復号器とを備え、この外部復号器は、線形フロントエンドからのビットに対してシンボルごとにシンボルデマッピングを実行するための内部シンボルデマッピング装置と、内部シンボルデマッピング装置から受け取られたデマッピングされたシンボルに対してデインターリーブを実行するためのビットデインターリーバと、外部MAP復号器とを有する。

【 0 0 2 5 】

一実施形態においては、本明細書で説明される無線通信システムは、以下の主たる利点を提供する。すなわち、大きいシステム総容量が、送信機において多数の送信アンテナおよびチャンネル状態情報を使用することによって達成され、これは、ビームフォーミング利点および空間多重化をもたらす。ユーザの数と比較してきわめて多数の送信アンテナの場合、線形事前符号器が、十分なものである。1つのアンテナしか伴わない受信機構造は、良好な性能および容量をもたらす、これにより、受信機の複雑さはきわめて小さくなり、受信機の形状要素 (f o r m f a c t o r) は好ましいものになる。性能を改善するために、反復復号化が、受信機において使用されてもよい。また、媒体伝送に対する不均一誤り保護もまた選択肢の一つである。

10

【 0 0 2 6 】

(シングルユーザおよびマルチユーザ M I M O システムのための送信機および受信機の例)

図 1 は、複数の基地局から移動受信機 (端末) に向けての非同期の可能性のある無線広帯域伝送を例示する。図 1 を参照すると、複数の基地局 $102_1 \sim n$ が示され、これらの基地局のそれぞれは、可能性として、移動受信機 103 などの移動受信機と通信するための複数のアンテナを有する。基地局 $102_1 \sim n$ の中の送信する基地局のそれぞれは、受信機 (1 つまたは複数) 103 へ通知されるべき同一情報保持シンボルストリームを有することができる。1つの特殊な対象の場合においては、情報保持信号は、ただ1つのサイトから送信される。

20

【 0 0 2 7 】

基地局 $102_1 \sim n$ を制御するために、中央制御装置 101 が、基地局 $102_1 \sim n$ に通信可能に結合される。一実施形態においては、制御装置 101 は、含まれる基地局 / 送信アンテナへのおよび基地局 / 送信アンテナからの情報の流れ (信号) だけでなく、チャンネル識別アルゴリズムをも管理する。制御装置 101 は、利用できる基地局の集合体から送信アンテナおよび基地局を選択する。一実施形態においては、制御装置 101 は、有線 (または、無線ブロードキャスト) によって、(送信する) 基地局 $102_1 \sim n$ と通信する。任意の2つのアンテナ (それらのアンテナが存在する基地局が同じであるか異なるかに関わらず) から送信される信号は、典型的には、配列送信アンテナを備えたシステムに対する既存の時空間符号設計による場合と同様に、同じものではないことに注意されたい。

30

【 0 0 2 8 】

・マルチユーザ M I M O 送信機の例

図 5 は、マルチユーザ M I M O 送信機の一実施形態のブロック図であり、K 人のユーザ、基地局における N 個の送信アンテナ、および O F D M システムにおける F 個のトーンを含む。

【 0 0 2 9 】

図 5 を参照すると、ユーザ k ($k = 1, 2, \dots, K$) への情報保持デジタル信号ストリーム、すなわち、 k 番目のユーザの入力ビット $b_k[n]$ 501 は、まず最初に、2進チャンネル符号器 502 を用いて、外部2進符号として符号化される。2進符号は、例えば、ブロック符号、L D P C 符号、畳み込み符号、U E P アプリケーションのための R C P C 符号、または、ターボ符号であってもよい。2進符号化の後に、ビットインターリーブ符号化変調 (B I C M) システムが、O F D M システムにおいて F 個のサブトーンを符号化することによって生成される (2進外部符号は、すべての O F D M トーンにおいて効率的に動作し、周波数選択性フェージングに有効であり、周波数ダイバーシチを提供する)。このために、2進チャンネル符号器 502 に続くのはビットインターリーブ 503 であり、このビットインターリーブ 503 に続くのはマッピング装置 / 変調装置 504 であり、これらは、当分野でよく知られている方法で動作する。一実施形態においては、インターリーブ 503 は、2進チャンネル符号器 502 からの符号化ビットをインターリーブして B I C M 符号化データを生成するランダムインターリーブである。マッピング装

40

50

置 / 変調装置 504 は、インターリーバ 503 からのビットを M - QAM (例えば、16 - QAM、64 - QAM、など) にマッピングする。そして、マッピング装置 / 変調装置 504 の出力は、シリアル - パラレル (S / P) 変換器 505 によって、ベクトルパラレルストリームに変換される。シリアル - パラレル (S / P) 変換器 505 の出力は、送信されるべきトーン 1 ~ F を表現する。

【0030】

そして、特定のトーンに関連づけられた K 個すべての符号化ユーザストリームは、その特定のトーンのために設計された事前符号器によって、一緒に事前符号化される。一実施形態においては、事前符号器 510 は、それぞれのチャンネルごとに 1 つずつ、複数の事前符号器ユニットを含む。すなわち、それぞれのチャンネルごとの事前符号器 (チャンネル 1 のための事前符号器、チャンネル 2 のための事前符号器、...、チャンネル F のための事前符号器) が、存在する。したがって、事前符号器によって実行される事前符号化は、それぞれのトーンに対して個々に実行される。

10

【0031】

それぞれのトーンに対して、以下で説明されるように、チャンネル相反性の概念を利用して (上りリンク送信および下りリンク送信が、チャンネルのコヒーレンス時間を備えていれば、2 つのチャンネルは、ほぼ同じものである)、同一のトーンの上りリンクにおけるパイロット送信によって得られる CSI T 情報を用いて事前符号化ユニットを導出することによって、事前符号器が、事前符号器 510 の事前符号器生成器 511 によって生成される。CSI T 情報は、双方向トレーニングユニット 520 からチャンネル状態情報として供給され、この双方向トレーニングユニット 520 は、K 個の受信パイロットシンボルに対応するデータを受信し、CSI T 情報を計算する。一実施形態においては、CSI T および CSI R (受信機におけるチャンネル状態情報) は、F 個のそれぞれのトーンごとに計算される。また、一実施形態においては、無線通信システムは移動度が低く、かつ、高データ伝送速度を伴うブロックフェージング型チャンネル環境であると仮定されることに注意されたい。

20

【0032】

所与のトーンに対して、事前符号器 510 は、次元 N を伴うベクトルを生成し、ここで、N は、基地局アンテナの数であり、i 番目の要素は、その特定のトーンに対して、i 番目のアンテナを介して送信される要素に対応する。チャンネル 1 ~ F に対するそれぞれの事前符号器からの出力ベクトルの i 番目の要素は、OFDM ベース直交時空間ブロック符号システム 506 に基づいて符号化され、当分野でよく知られている方法で、送信アンテナ 508₁ ~ 508_N を介して送信される。

30

【0033】

双方向トレーニングユニット 520 は、また、以下で説明される 4 ステージ事前符号化構成およびデータ伝送プロトコルの中のステージ 3 中に 1 ~ K ダウンリンクパイロットシンボルを送信機に送信させる。

【0034】

これらの図面およびそれに関連する説明を通して、 $N_t = N$ であり、かつ、 N_t および N_r はそれぞれ、送信アンテナおよび受信アンテナの数を意味し、また、F は、OFDM 周波数成分の数を意味することに注意されたい。

40

【0035】

・マルチユーザ MIMO 受信機の例

一実施形態においては、移動受信機において使用される受信機は、シンボルごとのモデムデマッピング装置判定をもたらす直交非 2 進時空間ブロック符号のための線形フロントエンド、デインターリーバ、および、外部畳み込み符号のための最大事後確率復号器を備える。一実施形態においては、反復復号化が、デマッピング装置を内部 MAP 復号器として使用することによって実行される。ビタビアルゴリズムに基づいた非反復受信機が、複雑さが低くする選択肢に対応し、使用されてもよい。

【0036】

50

図6は、図5の符号器とともに使用するための移動受信機における受信機構造の一実施形態のブロック図である。図6を参照すると、受信機は、それぞれの受信機アンテナ601ごとにOFDM復調を実行する線形フロントエンド602を備える。アンテナ601は、送信アンテナから送信された信号の様々な組み合わせからなる信号を検知する。線形フロントエンド602は、受信機アンテナ601の対応する信号にFポイントFFTを施すためのFFTモジュールを含み、内部符号に対するF個のサブチャンネルを生成し、外部符号システムのための復号器がそれに続く。復調、キャリア/タイミング再生、および、ポーレートサンプリングの後に、線形受信機フロントエンド602は、チャンネル推定とそれぞれの送信アンテナから受信アンテナまでのチャンネルごとの到着推定の相対的遅延とを利用することによって、使用される。線形フロントエンド602の出力は、単一ポーレート系列であり、この単一ポーレート系列は、復調装置/デマッピング装置ユニット603によって復調され、デマッピングされ、デインターリーブされ、復調装置/デマッピング装置603の出力は、ビットデインターリーバ604に入力される。外部2進符号に対して軟ビット推定を提供する内部デマッピング装置MAP復号器603は、複雑さがきわめて少なく、多くのシングルユーザMIMOシステムにおける対応するユニットよりもかなり小さい。16QAM変調の場合、例えば、マルチユーザMIMOの場合におけるこのユニットは、16の選択肢を実行すればよい。デインターリーバ604および外部復号器606が、デマッピング装置603に続く。ビットデインターリーバ604は、ビットデインターリーブを実行する。ビットデインターリーバ604の出力は、外部復号器606に送出される。一実施形態においては、外部復号器606は、最大事後確率(MAP)型であり、情報保持信号607の推定を得る。新しいMAP推定は、ビットインターリーバ605によって生成された現在のMAP推定の再インターリーブされたバージョンをデマッピング装置への入力として使用することによって、反復的に得られ、現在のMAP推定の再インターリーブされたバージョンは、復調装置/デマッピング装置603に送出される。したがって、外部復号器606が、MAP型であれば、反復復号化(ID)も受信機において可能である(図6に示されるように)。

【0037】

MAP復号器606は、当分野でよく知られている方法で、MAP復号化処理を実行し、送信される情報ビットに対する軟出力値を生成する。MIMOデマッピング装置603によって反復処理を実行することによって、軟出力値は、より信頼性の高いものとなる。一実施形態においては、MAP復号器606は、発明の名称が「Adaptive Max Log MAP - Type Receiver Structures」である2008年5月15日に出願された米国特許第出願第12/121,634号に記載されたMAP復号器からなる。また、MIMOデマッピング装置605は、MAP、Max Log MAP、改善されたMax Log MAP、SOMA、または、その他の任意の複雑さが減らされた内部デマッピング装置アルゴリズムであってもよい。

【0038】

別の実施形態においては、非MAP(非反復)復号器が受信機に使用されてもよいことに注意されたい。

一実施形態においては、ユーザは、複数の受信アンテナを有する。例えば、 K_0 人のユーザの場合、 k 番目のユーザは、 $N_r(k)$ 個のアンテナを有する。したがって、システムは、 $K = \sum_{k=1}^{K_0} N_r(k)$ である仮想ユーザを有し、それぞれの仮想ユーザは、ただ1つの受信アンテナを備える(かつ、 k 番目の実ユーザは、そのユーザに送信される $N_r(k)$ 個の仮想ユーザストリームを有する)。これらの技術は、それぞれの仮想ユーザが個々の受信アンテナを表現するようなシステムに適用されてもよい。

【0039】

(4ステージ事前符号化構成およびデータ伝送プロトコル)

図7は、基地局においてチャンネル状態情報を得て事前符号器を設定するために、下りリンクにおいて受信機トレーニングを実行するために、そして、下りリンクにおいてデー

10

20

30

40

50

タを送信するために利用される４ステージ事前符号化構成およびデータ伝送プロトコルの一実施形態を例示する。トレーニングは、アップリンク（ＣＳＩＴ）およびダウンリンク（ＣＳＩＲ）の両方においてなされる。

【００４０】

図７を参照すると、４ステージ事前符号化構成およびデータ伝送プロトコル（これは、ＯＦＤＭシステムにおけるそれぞれのトーンに個々に適用される）において説明されるように、ステージ１（７０１）中に、Ｋ個のパイロットが上りリンクにおいて送信され、Ｎ個の基地局アンテナとＫ個のユーザアンテナとの間のすべてのチャンネルが推定される。ステージ２（７０２）において、基地局において、事前符号器が、これらの推定に基づいてコンピューティングされる。ステージ３（７０３）において、それぞれのユーザによつて認識される有効チャンネルを推定するために、事前符号器は、パイロットシンボルとともに、基地局からのダウンリンク送信に使用される。ステージ４（７０４）において、事前符号器は、基地局によってダウンリンクデータ送信に使用され（図５のシステムを使用する）、図６の受信機は、ステージ３において得られたチャンネル推定とともに、それぞれの受信機において使用される。再度、実際には、ステージ３およびステージ４に関連する伝送を混ぜ合わせることによってステージ３とステージ４とを１つの共通ステージとしてグループ化することは有益であることに注意されたい。

【００４１】

４ステージ事前符号化構成およびデータ伝送プロトコルを以下でより詳細に説明する。この説明は、システムモデルの説明から開始する。

・システムモデル

基地局におけるＮ個の送信アンテナおよびＫ人のシングルアンテナユーザを伴うフラットフェージング無線通信システムの下りリンクを考え（ここで、ＯＦＤＭによる広帯域システムのために、モデルは、所与のＯＦＤＭトーンに対するチャンネルモデルを表現する）、 s_k は、受信機 k に送信されるべきシンボルを意味し、また、

【数１】

$$\text{with } E[|s_k|^2] = P_F$$

の関係を有し、そして、 $s = [s_1 \dots s_K]^T$ とする。（ $N \times 1$ ）ベクトル x が、Ｎ個の基地局アンテナによって送信される s の事前符号化されたバージョンを意味する場合、 k 番目のユーザにおいて受信された信号は、

【数２】

$$y_k = h_k^T x + n_k \quad k=1,2,\dots,K \quad (1)$$

によって与えられ、ここで h_k は基地局アンテナと k 番目の受信機との間におけるチャンネル係数の（ $N \times 1$ ）ベクトルを意味し、 $n_k \sim \mathcal{CN}(0, 1)$ は、白色ガウス雑音を意味する。一実施形態においては、 h_k は、統計的に独立であり、かつ、 $h_k \sim \mathcal{CN}(0, I)$ であると仮定される。行列形式において、式（１）はまた、以下の式で表現することもできる。

$$y = Hx + n \quad (2)$$

ここで、 $y = [y_1 \dots y_K]^T$ 、 $H = [h_1 \dots h_K]^T$ 、および、 $n = [n_1 \dots n_K]^T$ 、である。一実施形態においては、準静的チャンネルモデルが仮定される。すなわち、チャンネル行列 H は、 T 個のシンボルからなるコヒーレンス間隔において一定のままであると仮定される。

・４ステージトレーニングプロトコル

１つのコヒーレンス間隔に対応する T シンボル期間中（および $T > 2K$ と仮定すると）、４ステージプロトコルは、図７に示されるように、双方向トレーニングおよびデータ伝送に利用される。プロトコルの第１のステージにおいて、Ｋ個のパイロットが、それぞれ

のユーザによって、上りリンクにおいて送信される。基地局において受信されたサンプルに基づいて、および上りリンク下りリンクチャンネル相反性を利用して、送信機はCSIを得る。すなわち、送信機は、式(2)におけるHの推定である；

【数3】

$$\hat{H}$$

を得る。そして、この推定は、MU-MIMO事前符号器を生成するのに使用される(ステージ2)。一実施形態においては、事前符号器は、線形事前符号器である。すなわち、

【数4】

$$x = Us = \sum_{k=1}^N u_k s_k, \quad (3)$$

である形式を有する事前符号器であり、ここで、下記式；

【数5】

$$U = U(\hat{H})$$

で表されるUは、(N×K)単位ノルム事前符号化行列である。すなわち、この行列は、以下のノルム拘束を満たす。

【数6】

$$\text{TR}(UU^\dagger) = 1 \quad (4)$$

ここで、 u_j は、Uのj番目の列を意味する。ステージの直後には、K個の受信機のいずれもが、

【数7】

$$\hat{H}$$

またはU(事前符号化法)を知らないことに注意されたい。ステージ3中に、受信機の有効チャンネル推定をそれらの受信機に提供するために、L個のパイロット(1〜L〜Kである場合)が、ステージ2中に設計された事前符号器を用いて、下りリンクにおいて送信される。基地局は、ステージ3中にそれぞれの受信機において得られた有効チャンネル推定を知らないことに注意されたい。最後に、ステージ4中に、ステージ2において設計された事前符号器は、K人のユーザのすべてにデータを送信するために再使用される。4ステージプロトコルのそれぞれは、以下でより詳細に説明される。

【0042】

・ステージ1：アップリンクトレーニング

第1のステージは、アップリンクチャンネル状態推定処理(図6の第1のステージ)である。ユーザは、少なくともK個のスロットからなる長さを有するパイロット系列を同時に送信する。このパイロット送信時の測定値を得た後、基地局は、基地局から移動局までのすべてのチャンネルの推定を受信されたパイロット系列から得るために(当分野でよく知られている方法で)、MMSEまたは類似するチャンネル推定方式を使用する。パイロットのよく知られている1つの例は、K個のパイロットベクトルを1ユーザごとに1個を使用することに対応し、それによって、それぞれのベクトルは、次元Kを有し(また、i番目の要素は、パイロットスロットi中に、何がユーザによって送信されたかを表現する)、そして、すべてのベクトルは同じ電力を有し、かつ、お互いに直交している。CSI(これは、典型的には、不完全なものであり、言い換えれば、チャンネルの推定は、当

10

20

30

40

50

該チャンネルに正確に等しいものではない)が、事前符号器を設計するのに使用される。

【 0 0 4 3 】

図 8 A は、基地局においてチャンネル推定を提供するために、ステージ 1 中に使用される上りリンクトレーニングを示す。K 個のスロットが上りリンクトレーニングに費やされると仮定され、 P_R は、それぞれの移動局における正規化パイロット電力レベルを意味する。AR が、 $(K \times K)$ 個の直交パイロット行列を意味する場合、 (i, j) 番目の成分は、スロット i 中にユーザ j によって送信されるパイロットを意味する。送信機におけるアップリンク - ダウンリンクチャンネル相反性および MMSE チャンネル推定を仮定すると、結果として得られる送信機チャンネル推定は、以下の式のようにモデル化することが出来る。

【 数 8 】

$$\hat{H} = \frac{P_R}{P_H + 1} H + \frac{\sqrt{P_R}}{P_R + 1} V$$

ここで、 V は、独立した $CN(0, 1)$ 成分を備えた $(K \times N)$ 雑音行列である。また、下記式；

【 数 9 】

$$\Delta H = H - \hat{H}$$

がチャンネル推定誤差行列を意味する場合、 H の成分は、下記式；

【 数 1 0 】

$$CN\left(0, \frac{1}{P_N + 1}\right)$$

で与えられる独立した確率変数であることに注意されたい。任意の事前符号器 U を考慮すると、式 (2) における y は、下記式のように表現することができる。

【 数 1 1 】

$$y = (\hat{H} + \Delta H)U(\hat{H})s + n \quad (5)$$

【 数 1 2 】

$$= \hat{H} \sum_{j=1}^K u_j s_j + \Delta H \sum_{j=1}^K u_j s_j + n, \quad (6)$$

したがって、 k 番目のユーザにおいて受信された信号は、以下のようになる。

【 数 1 3 】

$$\begin{aligned} y_k &= h_k^T u_k s_k + \sum_{j=1, j \neq k}^K h_k^T u_j s_j + n_k \\ &= (\hat{h}_k^T u_k + \Delta h_k^T u_k) s_k + \sum_{j \neq k} (\hat{h}_k^T u_j + \Delta h_k^T u_j) s_j + n_k \end{aligned} \quad (7)$$

【 数 1 4 】

$$= (a_{kk} + \Delta a_{kk}) s_k + \sum_{j \neq k} (\hat{a}_{kj} + \Delta a_{kj}) s_j + n_k. \quad (8)$$

10

20

30

40

50

図 8 B は、式 (8) の図的表現であり、事前符号化ストラテジーがマルチユーザ M I M O チャンネルを K 個の送信機と K 個の受信機を備えた干渉チャンネルにどのように変換するかを示す。事前符号化処理全体は、 $T(\cdot)$ によって表される。図 8 B に示される有効チャンネルは、事前符号化ストラテジーに大きく依存する。下記推定；

【数 1 5】

$$\hat{H}$$

と、C S I T 品質 (P_R によって決定される) の知識とを考慮すると、送信機も、すべての $j, k \in \{1 \dots K\}$ に対して、下記の有効チャンネル平均値

【数 1 6】

$$\hat{a}_{kj}$$

および a_{kj} の統計的特徴に関する知識を有することに注意されたい。

【0044】

・ステージ 2：事前符号器設計

線形事前符号器の選択は、結果として得られる有効チャンネル利得 $\{a_{kj}\}$ の観点から、M U - M I M O 利得に影響を与える。最も一般的に研究された線形事前符号器は、線形ゼロフォーシング (Z F) 事前符号器である。この事前符号器は、以下の式の形をとる。

【数 1 7】

$$U_{zf} = \frac{1}{\sqrt{\text{Tr}(\left(\hat{H}\hat{H}^\dagger\right)^{-1})}} \hat{H}^\dagger \left(\hat{H}\hat{H}^\dagger\right)^{-1}. \quad (9)$$

の形を有する。完璧な C S I T の場合、ゼロフォーシングは、 $a_{kj} = 0$ 及び

【数 1 8】

$$\forall j \neq k$$

をもたらす。ゼロフォーシングは、最大空間多重化利得をもたらすが、以下の制限を有する。すなわち、K および N が大きく、かつ、K が N に近い場合、チャンネル係数は、k 番目の受信機における信号成分、すなわち、

【数 1 9】

$$a_{kk} = \frac{1}{\sqrt{\text{Tr}(\left(\hat{H}\hat{H}^\dagger\right)^{-1})}}$$

に関連づけられ、下記式の最小固有値に支配される量である。

【数 2 0】

$$\hat{H}\hat{H}^\dagger$$

ユーザの数が増加するにつれて、信号の項は、ゼロに近づき、逆元を正規化しなければならないことを示唆している。実際の C S I T の存在下においては、チャンネル推定に雑音が存在するならば、干渉を無効にするゼロフォーシングの望ましい特性が損なわれる。

【 0 0 4 5 】

C S I T 品質とシステム内のユーザの数とを考慮に入れた 2 つのロバストな線形事前符号器が設計される。これらの事前符号器のいずれかが使用されてもよい。

1) 関連するアップリンクシナリオからの M M S E フィルター。完璧な C S I T によって、ダウンリンクのための最適な線形フィルターが、双対的なアップリンク問題を解決することによって、得られる。しかしながら、アップリンク - ダウンリンクの双対性 (d u a l i t y) は、一般的には維持されないもので、最適性は、完璧でない C S I T によっては保証されない。以下において、ダウンリンクに密接に関連づけられたアップリンクチャンネルが考察されるが、それらのチャンネルは、双対的なものではない。アップリンク問題のための受信機におけるチャンネル状態情報 (C S I R) は、ダウンリンクにおける C S I T の品質と同じ品質であると仮定される。ユーザ k に対して以下の線形 M M S E 事前符号化ベクトルを得ることができる。

10

【 数 2 1 】

$$u_k = \left(\sum_{j \neq k} \hat{h}_j^* \hat{h}_j^T + \frac{K}{P_R + 1} I + \frac{K}{P_F} I \right)^{-1} \hat{h}_k^* \quad (7)$$

ここで、 \hat{h}_j は、チャンネル推定 H の j 番目の列である。

2) S u m - M S E 最小化。ゼロフォーシングを正規化することが、M M S E 最小化問題に密接に関連づけられる。以下の最適化問題を考察する。

20

【 数 2 2 】

$$\min_{U, \beta} E \left[\left\| (\beta y - s) \right\|^2 \right]$$

【 数 2 3 】

$$\text{such that } E \left[\left\| (Us) \right\|^2 \right] = P_F.$$

30

となり、この解は、

【 数 2 4 】

$$U = c \left(\hat{H}^T \hat{H} + \frac{K}{P_R + 1} I + \frac{K}{P_F} I \right)^{-1} \hat{H}^T, \quad (11)$$

をもたらす。ここで、c は、電力制限を遵守することを保証し、また、H は、送信機におけるチャンネル推定からなる K 行および N 列の行列である。K は、ユーザの数を意味する。N は、送信アンテナの数を意味する。 P_R は、上りリンク信号対雑音比 (S N R) を意味する (この量は、C S I T 品質を得るのに使用される) 。 P_F は、下りリンク S N R を意味する (C S I R を得るのに使用され、また、データ送信に使用される) 。上述した事前符号器のための解は、すべての受信機の S u m - M S E を最小化する。

40

【 0 0 4 6 】

事前符号器の k 番目の列は、以下の式によって与えられる。

【 数 2 5 】

$$u_k = c_k \left(\sum_{j=1}^K \hat{h}_j^* \hat{h}_j^T + \frac{K}{P_R + 1} I + \frac{K}{P_F} I \right)^{-1} \hat{h}_k^*. \quad (12)$$

【 0 0 4 7 】

シングルユーザ (S U) ビームフォーミング方式が使用されてもよい。すなわち、k 番

50

目の受信機に関連づけられたベクトルチャンネルの方向に沿ってビームフォーミングすることによって、事前符号化ベクトル u_k が選択された（他のすべてのユーザのチャンネルから独立して）方式が使用されてもよい。すなわち、

【数 2 6】

$$U_{ct} = \frac{\hat{H}^\dagger}{\sqrt{\text{Tr}(\hat{H}\hat{H}^\dagger)}} \quad (13)$$

【 0 0 4 8 】

・ステージ 3：ダウンリンクトレーニング

ステージ 3 中に、送信機は、下りリンクにおけるトレーニングのためのステージ 2 において導出された事前符号器を介して、パイロットを送信する。ダウンリンクチャンネル推定ステージは、長さ L を有するパイロット系列からなり、ここで、 L の値は、チャンネルのコヒーレンス間隔に依存する設計パラメータである。一般的には、 L は、0（トレーニング無し）から無限大までの値をとることができるが、実際に検知することのできる L の値は、1 から K までの範囲である。 L 個のパイロットを伴う典型的なチャンネル推定方式が、以下に説明される。

パイロット系列に応じて、それぞれの受信機は、実際のチャンネル係数の推定、すなわち、送信機チャンネル推定；

【数 2 7】

$$\hat{a}_{kj}$$

ではなく、下記式；

【数 2 8】

$$a_{kj} = \hat{a}_{kj} + \Delta a_{kj}$$

の推定を得る。一実施形態においては、ダウンリンクトレーニング方式が使用され、この方式においては、 L 個の直交（ $K \times 1$ ）パイロットベクトルは、ステージ 2 において設計された事前符号器を介したものであり、ここで、 $1 \leq L \leq K$ である。 L が K の因数である場合、そのような一組のパイロットベクトルの 1 つは、以下の形式をとる。

【数 2 9】

$$x^p(n) = \sqrt{c_n} \sum_{j=(n-1)K/L+1}^{nK/L} \sqrt{LP_F} u_j, \quad n \in \{1 \cdots L\},$$

ここで、 c_n は、ピーク電力制限を遵守することを保証する。興味深い「大きい N 」の場合においては、事前符号器の対称構造のために、

【数 3 0】

$$\left\| \sum_{j=(n-1)K/L+1}^{nK/L} \sqrt{LP_F} u_j \right\|^2 \approx LP_F \frac{K}{L} \frac{1}{K} = P_F,$$

という結果になり、これは、

【数 3 1】

$$c_n \approx 1$$

をもたらす。ここで、 u_j は、事前符号器（線形または非線形）の j 番目の列である。 n

番目のトレーニングスロット中に k 番目の受信機において受信されたサンプルは、以下の式によって与えられる。

【数 3 2】

$$y_k^p(n) \approx \sqrt{c_n} \sum_{j=(n-1)K/L+1}^{nK/L} a_{kj} \sqrt{LP_F + n_k(n)}.$$

一実施形態においては、受信機 k は、受信されたパイロット；

【数 3 3】

$$y_k^p \left(\left\lceil \frac{Lk}{K} \right\rceil \right)$$

10

からその受信機の望ましい信号チャンネルを推定し、ここで、

【数 3 4】

$$\lceil x \rceil$$

は、x 以上の最も小さい整数を出力する。パイロットの残りは、それぞれのパイロット内における干渉信号のチャンネルの 1 つを推定するのに使用されてもよい。すなわち、(K - 1) 個の干渉チャンネルの中から (L - 1) 個が、(L - 1) 個のパイロットによって推定される。

20

【数 3 5】

$$\bar{a}_{kk}$$

および

【数 3 6】

$$\left(\sigma_{\delta a_{kk}}^2 \right)$$

30

が、受信機におけるチャンネル推定および推定誤差の平均 2 乗推定誤差を意味するとする。受信推定；

【数 3 7】

$$\bar{a}_{kk}$$

は、 a_{kk} の送信機推定である

【数 3 8】

$$\hat{a}_{kk}$$

40

とは異なる。L の値は、チャンネルコヒーレンス時間間隔に適合されてもよい。典型的には、遅いフェージングチャンネルの場合、L = K 個のパイロットが使用されてもよく、完璧な CSIR の場合に等しい性能をもたらす。速いフェージングチャンネルの場合、1 つのパイロットシンボルが、良好な性能を達成するのに十分であることがわかる（すなわち、オーバーヘッドトレーニングとチャンネル推定品質との間における良好なトレードオフを達成する）。

【0049】

図 9 は、N = 100 および K = 50 に対してランダムチャンネルを実現する場合に、高

50

い信頼性で復号化するためのしきい値速度に対する機能停止中のユーザの数を示す。 $L = 1, 2, 5, 50$ のダウンリンクチャンネル推定方式のロバストネスが、評価される。これの代わりとして、 K と同じ大きさほどの任意の L を与えれば、パイロットが、 K 個の行および列を有する直交行列の L 個の列を考え、かつ、残りの行列 (K 個の行および L 個の列) の k 番目の行に存在する n 番目のサンプルを、 n 番目のスロットにおける事前符号器の k 番目のステアリングベクトル (steering vector) 上に送信されるべきパイロットとして使用することによって、得ることができることに注意されたい。さらに、 L の値は、システム要件に応じて最適化されてもよい。例えば、差動 PSK が使用されるならば、「 $L = 0$ 」(すなわち、ダウンリンクトレーニング無し)である場合でも、依然として、価値があり得る。

10

【0050】

・ステージ4：ダウンリンク送信

プロトコルの最後のステージにおいて、すべてのユーザにデータをユニキャストするために、送信機は、ステージ2において設計された事前符号器を使用する。そして、それぞれのユーザは、そのユーザのデータを復号化するために、ステージ3中に得られた有効チャンネル推定に基づいて、受信機を使用する。実際には、ステージ3およびステージ4は、任意の方法で混ぜ合わされてもよい。具体的には、単一ステージが、共通ステージ上に均一に拡散された「ステージ3」に対応する L 個のサンプルとともに使用されてもよい。しかしながら、一般的には、それぞれの受信機においては、受信機のチャンネルは、最初に、この受信機が受信した L 個のステージ3サンプルに基づいて推定され、その後、データが、共通ステージ伝送からの残りの受信サンプルを観測することに基づいて、復号化される。したがって、ステージ3サンプルは、ステージ4のデータサンプル上に拡散されてもよい。

20

【0051】

(事前符号器の導出)

以下において、上述した式(10)および式(12)によって所与の事前符号器が、導出される。

A. 双対性法

それぞれのユーザが送信電力；

【数39】

30

$$\frac{P_F}{K}$$

を備えた K 人のユーザによる多重アクセスチャンネルを考える。

下記式；

【数40】

$$H^{\dagger}$$

40

は、受信機におけるチャンネル推定；

【数41】

$$\hat{H}^{\dagger}$$

を備えたチャンネル行列であるとする。推定誤差；

【数42】

$$(H^{\dagger} - \hat{H}^{\dagger})$$

50

の成分は、i . i . d . (互いに独立で同一の分布に従う) ;

【数 4 3】

$$\text{CN}\left(0, \frac{1}{P_{R+1}}\right)$$

である。チャンネル推定品質は、ダウンリンクの場合と同じようにして導出されることに注意されたい。その結果として、アップリンクの受信機において受信された信号は、

【数 4 4】

$$y = \sum_{j=1}^N (\hat{h}_j^* + \Delta h_j^*) x_j + n$$

10

と書くことができる。

【0 0 5 2】

チャンネル推定誤差を別の干渉項とみなすことによって、k 番目のユーザに対する信号対干渉・雑音比 (S I N R) を最大化する組み合わせベクトルは、

【数 4 5】

$$u_k = \left(\sum_{j \neq k} \hat{h}_j^* \hat{h}_j^T \frac{P_F}{K} K E [\Delta h_j^* \Delta h_j^T] \frac{P_F}{K} + I \right)^{-1} \hat{h}_k^*$$

20

となる。この結果として、

【数 4 6】

$$u_k = c_k \left(\sum_{j \neq k} \hat{h}_j^* \hat{h}_j^T \frac{P_F}{K} + \frac{P_F}{P_R + 1} I + I \right)^{-1} \hat{h}_k^* \quad (20)$$

となり、ここで、スケーリング定数 c_k が、下記式；

【数 4 7】

$$\|u_k\| = 1$$

30

を満たすように選択される。

【0 0 5 3】

B . M M S E 最小化

問題定義は、

【数 4 8】

$$\min_{U, \beta} E \left[\|(\beta y - s)\|^2 \right] \quad \text{s.t.} \quad E \left[\|U s\|^2 \right] = P_F U,$$

40

である。以下の式を考える。

【数 4 9】

$$\begin{aligned} E \left[\|(\beta y - s)\|^2 \right] &= E \left[\left\| \beta (\hat{H} + \Delta H) U s - s \right\|^2 \right] \\ &= \text{Tr} \left(\beta P_F \hat{H} U U^\dagger \hat{H}^\dagger - \beta P_F \hat{H} U - \beta P_F U^\dagger \hat{H}^\dagger P_F I \right) \\ &\quad + \beta^2 P_F E \left[\text{Tr} \left(\Delta \hat{H} U U^\dagger \Delta H^\dagger \right) \right] + \beta^2 \text{Tr} (I) \end{aligned}$$

50

電力制限は、

【数 5 0】

$$E\left[\|U_s\|^2\right]P_F\text{Tr}(UU^\dagger). \quad (21)$$

に簡素化できる。以下に示されるラグランジュ公式が、開始するのに使用される。

【数 5 1】

$$\begin{aligned} L(U, \beta, \lambda) = & \text{TR}(\beta^2 P_F \hat{H} U U^\dagger - \beta P_F \hat{H} U) \\ & - \text{TR}(\beta P_F U^\dagger \hat{H}^\dagger - P_F I) + \beta^2 P_F E\left[\text{Tr}(\Delta H U U^\dagger \Delta H^\dagger)\right] \\ & + \beta^2 \text{Tr}(I) + \lambda(P_F \text{Tr}(U U^\dagger)). \end{aligned} \quad (22)$$

10

$$\begin{aligned} = & \text{TR}\left(P_F U^\dagger \left(\beta^2 \hat{H}^\dagger \hat{H} \frac{K\beta^2}{P_R + 1} I + \lambda I\right) U - \beta P_F \hat{H} U\right) \\ & - \text{TR}(\beta P_F U^\dagger \hat{H}^\dagger) + -\text{Tr}(P_F I + \beta^2 I) \\ = & \|A - B\|^2 - P_F \text{Tr}\left(\hat{H}(\hat{H}^\dagger H + \mu I)^{-1} \hat{H}^\dagger - (P_F + \beta^2) I\right) \end{aligned}$$

20

ここで、

【数 5 2】

$$A = \sqrt{\beta}(\hat{H}^\dagger \hat{H} + \mu I)^{\frac{1}{2}} U$$

【数 5 3】

$$B = (\hat{H}^\dagger \hat{H} + \mu I)^{\frac{1}{2}} \hat{H}^\dagger \frac{1}{\sqrt{\beta}}$$

30

【数 5 4】

$$\mu = \frac{\lambda}{\beta^2} + \frac{K}{P_R + 1}.$$

この結果として、

【数 5 5】

$$U^{\text{opt}} = \frac{(\hat{H}^\dagger \hat{H} + \mu I)^{-1} \hat{H}^\dagger}{\beta^*} \quad (23)$$

40

ここで、 β^* は、事前符号器電力制限を満たす。 μ に関する M S E の制限されない最小化は、

【数 5 6】

$$\mu^* = \frac{K}{P_F} + \frac{K}{P_R + 1}$$

50

をもたらす。

【0054】

(本発明の実施形態の利点)

本発明の実施形態に関連する多くの利点が存在する。シングルユーザMIMOシステムに対する本発明の実施形態の1つの利点は、マルチユーザMIMO受信機が、同じスペクトル効率を伴う対応するシングルユーザMIMO受信機よりも、実施するのがきわめて簡素となることである。内部復号器において複数のストリームを一緒にデマッピングしなくてもよいから、複雑さが大きく減少する。

【0055】

また、複雑さは、マルチユーザMIMO受信機においてさらに減少する。なぜなら、ユーザが総伝送速度において復調しなければならない従来のシングルユーザMIMOシステムと違って、それぞれのマルチユーザMIMO受信機は、それ自身の信号だけを復号化するためである。また、受信機の形状要素は、より一層に管理しやすいものである。それぞれの受信機においてただ1つのアンテナを伴うことによって、本明細書で説明されるマルチユーザMIMO設計は、速い総データ伝送速度を提供することができ、それどころか、 6×6 、さらには 12×12 のシングルユーザMIMOシステム（これらは、それぞれ、受信機において6個および2個のアンテナ素子を必要とする）よりも速い総データ伝送速度を提供することができる。

【0056】

マルチユーザMIMOシステムにおいては、複雑さは、受信機から送信機に移される。送信機は、移動局である必要のない共通資源であるので、このことはシステムの利点である。さらにまた、(基地局)事前符号器の複雑さは、指数関数的に増大するのではなく、最大でも K の3乗に比例して増大する。

【0057】

1つの革新は、図7に示される一般的な4ステージのトレーニングおよび伝送であり、 L 個のパイロットによるダウンリンクチャネル推定方式を含む。この方式は、 $L=1$ であるパイロットの場合でさえも、ロバストな性能を提供する。また、この方式は、ほんの数個のパイロットによって、完璧なCSIRスループットに近づくことができる。例えば、 $N=100$ および $K=50$ である場合、 $L=5$ は、完璧なCSIRケースにきわめて近づくのに十分なものである。理想的には、これは、50個のパイロットを必要とする。したがって、トレーニング期間の減少は、性能の大きな損失を伴うことなく、約90%となる。

【0058】

本発明の一実施形態のさらなる利点は、送信アンテナの数 N が K よりも相当に大きい場合に、複雑さの低い線形事前符号器を使用することができるという事実である。 K と N とが近接していれば、例えば、「ダーティーペーパー符号化」技術を使用する事前符号器のように、非線形型の事前符号器が、使用されるべきである。事前符号器は、CSIT品質に対して、また、ある程度のユーザ数の増加に対して、ロバストなものである。

【0059】

(コンピュータシステムの一実施形態の例)

図10は、本明細書で説明された処理の1つまたは複数を実行してもよい典型的なコンピュータシステムのブロック図である。図10を参照すると、コンピュータシステム1000は、典型的なクライアントコンピュータシステムまたはサーバーコンピュータシステムを備えてもよい。コンピュータシステム1000は、情報を通信するための通信機構または通信バス1011、および、情報を処理するためのバス1011に結合されたプロセッサ1012を備える。プロセッサ1012は、例えば、Pentium(商標)、PowerPC(商標)、Alpha(商標)、などのマイクロプロセッサを含んでもよいが、マイクロプロセッサに限定されるものではない。

【0060】

システム1000は、さらに、バス1011に結合されたランダムアクセスメモリ(R

10

20

30

40

50

AM) またはその他の動的記憶装置 1004 (メインメモリと呼ばれる) を備え、情報とプロセッサ 1012 によって実行されるべき命令とを記憶する。メインメモリ 1004 はまた、プロセッサ 1012 によって命令が実行されている間に、一時的な変数またはその他の中間情報を記憶するのに使用されてもよい。

【0061】

コンピュータシステム 1000 はまた、静的情報およびプロセッサ 1012 のための命令を記憶するバス 1011 に結合されたリードオンリーメモリ (ROM) および / またはその他の静的記憶装置 1006 と、磁気ディスクまたは光ディスクのようなデータ記憶装置 1007 およびそれに対応するディスクドライブとを備える。データ記憶装置 1007 は、バス 1011 に結合され、情報および命令を記憶する。コンピュータシステム 1000 は、さらに、情報をコンピュータユーザに表示するためにバス 1011 に結合されたブラウン管 (CRT) または液晶ディスプレイ (LCD) などの表示装置 1021 に結合されてもよい。また、英数字およびその他のキーを含む英数字入力装置 1022 が、情報およびコマンド選択をプロセッサ 1012 に通知するために、バス 1011 に結合されてもよい。さらなるユーザ入力装置は、方向情報およびコマンド選択をプロセッサ 1012 に通知するために、および、表示装置 1021 上におけるカーソルの移動を制御するためにバス 1011 に結合された、マウス、トラックボール、トラックパッド、スタイラスペン、または、カーソル方向キーなどのカーソル制御装置 1023 である。

10

【0062】

バス 1011 に結合されてもよいさらなる装置は、ハードコピー装置 1024 であり、このハードコピー装置 1024 は、紙、フィルム、または、それらに類似する種類の媒体などに情報を記録するのに使用されてもよい。バス 1011 に結合されてもよいさらなる装置は、電話またはハンドヘルドパーム装置と通信するための有線 / 無線通信機能 1025 である。

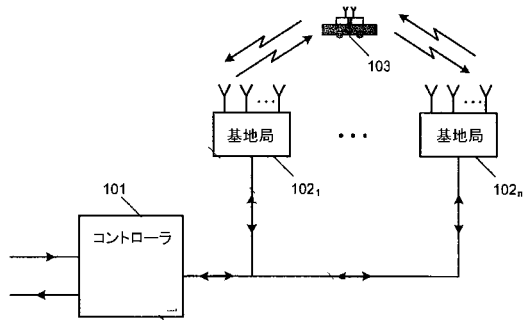
20

【0063】

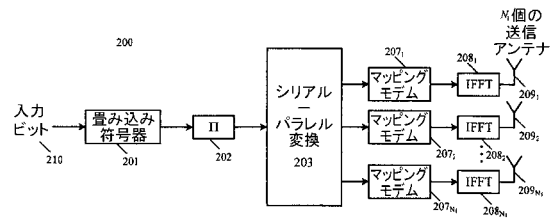
システム 1000 の構成要素のいずれかまたはすべて、およびそれらに関連するハードウェアが本発明において使用されてもよいことに注意されたい。しかしながら、コンピュータシステムのその他の構成はこれらの装置のいくつかまたはすべてを含んでもよいことがわかるはずである。当然ながら、これまでの説明を読めば、本発明の多くの変形および変更が当業者には明らかとなるが、例として図示され説明された特定の実施形態は、本発明を限定するものであると解釈されることを決して意図するものではないことがわかるはずである。したがって、様々な実施形態の細部に言及したことは、本発明に不可欠であると考えられる本発明の特徴を記載する特許請求の範囲を限定しようとするものではない。

30

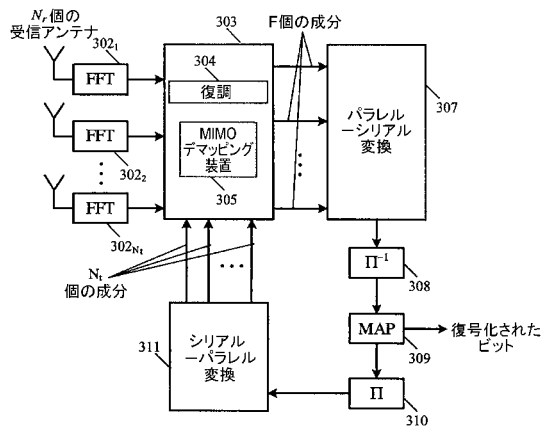
【図 1】



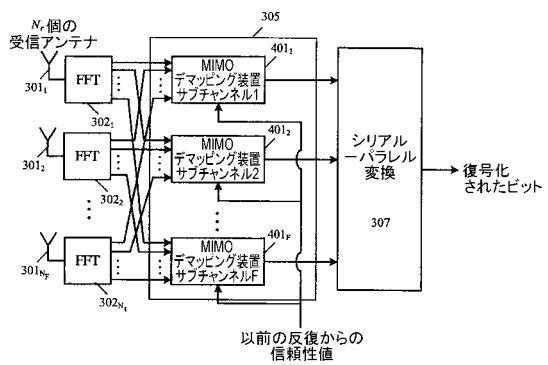
【図 2】



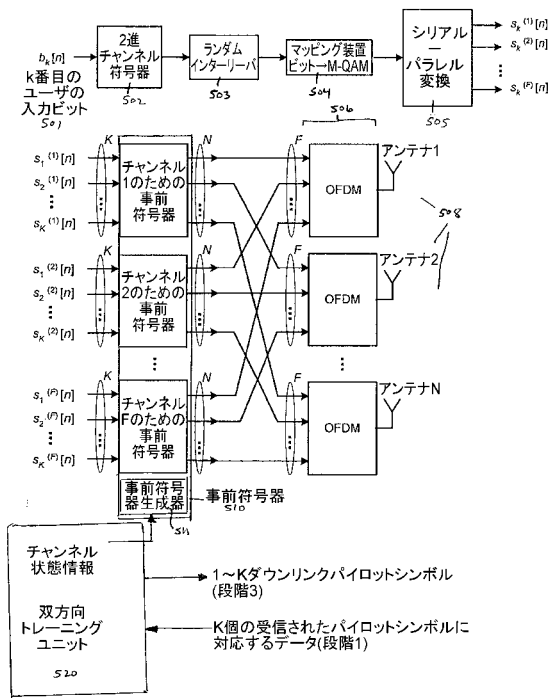
【図 3】



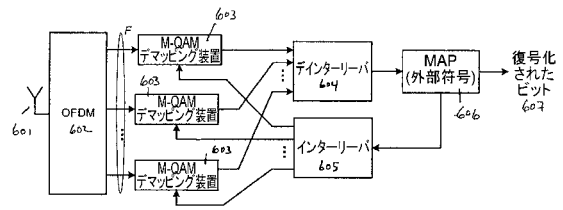
【図 4】



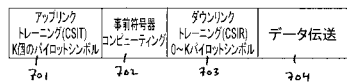
【図5】



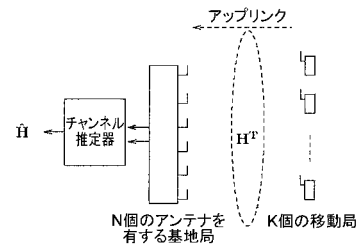
【図6】



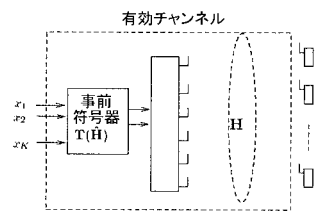
【図7】



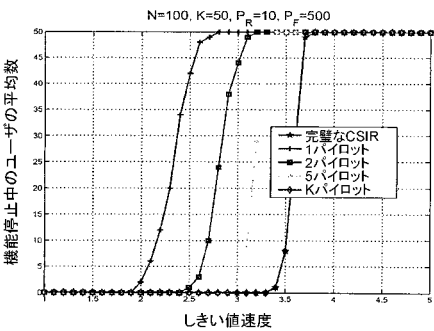
【図8A】



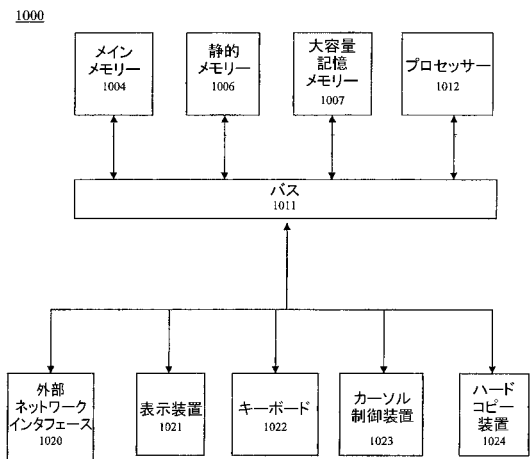
【図 8 B】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

- (72)発明者 パパドボウロス, ハララボス
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, サン ホゼ, サウス サイプレス アヴェニュー 3
9 0
- (72)発明者 サンドバーグ, カール エリック, ダブリュ.
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, サニーヴェイル, アパートメント 1107, アノ
ヌエヴォ アヴェニュー 395

審査官 藤江 大望

- (56)参考文献 特表2006-504339(JP,A)
CATT, Non-codebook based pre-coding for E-UTRA TDD Downlink[online], 3GPP TSG-RAN WG
1#46b R1-062792, インターネット<URL:http://www.3gpp.org/ftp/tsg_ran/WG1_RL1/TSGR1_46bis/Docs/R1-062792.zip>
Frank A. Dietrich, Peter Breun, Wolfgang Utschick, Robust Tomlinson-Harashima Precoding
for the Wireless Broadcast Channel, IEEE TRANSACTIONS ON SIGNAL PROCESSING, 2007年2月, Volume:55, Issue: 2, Pages: 631 - 644
Dongming Wang, Jingyu Hua, Xiqi Gao, Xiaohu You, Woogoo Park, Low Complexity Iterative
Receiver for Multiuser STBC Block Transmission Systems, Global Telecommunications Conference, 2004, 2004年11月, Volume: 2, Pages: 1086 - 1090

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H04J 99/00
H04B 7/04