

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4860924号
(P4860924)

(45) 発行日 平成24年1月25日(2012.1.25)

(24) 登録日 平成23年11月11日(2011.11.11)

(51) Int.Cl.

F 1

H04J 99/00 (2009.01)
H04B 7/04 (2006.01)H04J 15/00
H04B 7/04

請求項の数 44 (全 42 頁)

(21) 出願番号 特願2004-547248 (P2004-547248)
 (86) (22) 出願日 平成15年10月24日 (2003.10.24)
 (65) 公表番号 特表2006-504339 (P2006-504339A)
 (43) 公表日 平成18年2月2日 (2006.2.2)
 (86) 國際出願番号 PCT/US2003/034519
 (87) 國際公開番号 WO2004/038984
 (87) 國際公開日 平成16年5月6日 (2004.5.6)
 審査請求日 平成18年10月24日 (2006.10.24)
 審判番号 不服2010-8575 (P2010-8575/J1)
 審判請求日 平成22年4月22日 (2010.4.22)
 (31) 優先権主張番号 60/421,309
 (32) 優先日 平成14年10月25日 (2002.10.25)
 (33) 優先権主張国 米国(US)
 (31) 優先権主張番号 10/693,429
 (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)

(73) 特許権者 595020643
 クアアルコム・インコーポレイテッド
 QUALCOMM INCORPORATED
 アメリカ合衆国、カリフォルニア州 92
 121-1714、サン・ディエゴ、モア
 ハウス・ドライブ 5775
 (74) 代理人 100108855
 弁理士 蔵田 昌俊
 (74) 代理人 100091351
 弁理士 河野 哲
 (74) 代理人 100088683
 弁理士 中村 誠
 (74) 代理人 100109830
 弁理士 福原 淑弘

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】複数の空間多重化モードを有するMIMOシステム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

無線多重アクセスの複数入力複数出力(MIMO)通信システムにおけるデータを送信する方法であって、以下を具備する方法：

データ送信のために少なくとも2つのユーザ端末を選択すること；

前記少なくとも2つのユーザ端末に使用するために、システムによってサポートされた、そのうちの1つはステアード空間多重化モードである複数の空間多重化モードのなかから1つのステアード空間多重化モードを選択すること；

前記少なくとも2つのユーザ端末のために、複数の空間チャネルを介して送信されることになっている複数のデータストリームに対するレートを選択すること；そして

選択されたレート及び選択された空間多重化モードでのデータ送信に対して前記少なくとも2つのユーザ端末をスケジュールすること。

【請求項2】

1つのユーザ端末がデータ送信のために選択され、選択された空間多重化モードはステアード空間多重化モードである請求項1記載の方法。

【請求項3】

1つのユーザ端末へ直交する空間チャネルで複数のデータストリームを送信するために複数のステアリングベクトルを有する複数のデータストリームを空間的に処理することをさらに具備する請求項2記載の方法。

【請求項4】

10

20

1つのユーザ端末がデータ送信のために選択され、選択された空間多重化モードは非ステアード空間多重化モードである請求項1記載の方法。

【請求項5】

複数のアンテナから1つのユーザ端末への送信のために複数のデータストリームを提供することをさらに具備する請求項4記載の方法。

【請求項6】

前記少なくとも2つのユーザ端末へ複数のデータストリームをステアするために複数のステアリングベクトルを有する複数のデータストリームを空間的に処理することをさらに具備する請求項1記載の方法。

【請求項7】

複数のユーザ端末によって送信された複数のデータストリームの推定値を得るために、複数の受信されたシンボルストリームに受信機空間処理を実行することであって、各データストリームはデータストリームをステアするためにそれぞれのステアリングベクトルで処理される受信機空間処理を実行することをさらに具備する請求項1記載の方法。

【請求項8】

複数のユーザ端末がデータ送信のために選択され、選択された空間多重化モードは非ステアード空間多重化モードである請求項1記載の方法。

【請求項9】

複数のユーザ端末によって送信された複数のデータストリームの推定値を得るために、複数の受信されたシンボルストリームに受信機空間処理を実行することをさらに具備する請求項8記載の方法。

10

【請求項10】

複数のアンテナからそれぞれが複数のアンテナを有する複数のユーザ端末への送信に対して複数のデータストリームを提供することをさらに具備する請求項8記載の方法。

20

【請求項11】

MIMOシステムは時分割二重化(TDD)システムである請求項1記載の方法。

【請求項12】

少なくとも1つのユーザ端末が調整されて、下りリンクのチャネル応答は上りリンクのチャネル応答と相反であるならば、選択された空間多重化モードはステアード空間多重化モードである請求項11記載の方法。

30

【請求項13】

少なくとも1つのユーザ端末が調整されていないで、下りリンクのチャネル応答は上りリンクのチャネル応答と相反ではないならば、選択された空間多重化モードは非ステアード空間多重化モードである請求項11記載の方法。

【請求項14】

複数のレートを選択することは、

複数の空間チャネルの信号対雑音及び干渉比(SNR)を推定することと、そして

複数の空間チャネルの推定されたSNRに基づいてレートを選択することとを含む請求項1記載の方法。

【請求項15】

40

無線多重アクセスの複数入力複数出力(MIMO)通信システムにおける装置であって、以下を具備する装置：

データ送信のために少なくとも2つのユーザ端末を選択するように動作する端末選択器；

前記少なくとも2つのユーザ端末に使用するために、システムによってサポートされた、そのうちの1つはステアード空間多重化モードである複数の空間多重化モードのなかからステアード空間多重化モードを選択するように動作するモード選択器；

前記少なくとも2つのユーザ端末のために、MIMOチャネルの複数の空間チャネルを介して送信されることになっている複数のデータストリームに対するレートを選択するように動作するレート選択器；そして

50

選択されたレート及び選択された空間多重化モードでのデータ送信に対して前記少なくとも2つのユーザ端末をスケジュールするように動作するスケジューラ。

【請求項16】

複数のアンテナから前記少なくとも2つのユーザ端末への送信に対して複数の送信シンボルストリームを得るために、選択された空間多重化モードに従って複数のデータストリームを空間的に処理するように動作する送信空間プロセッサをさらに具備する請求項15記載の装置。

【請求項17】

前記少なくとも2つのユーザ端末によって送信された複数のデータストリームの推定値を得るために、選択された空間多重化モードに従って複数の受信されたシンボルストリームを空間的に処理するように動作する受信空間プロセッサをさらに具備する請求項15記載の装置。

10

【請求項18】

無線多重アクセスの複数入力複数出力（MIMO）通信システムにおける装置であって、以下を具備する装置：

データ送信のために少なくとも2つのユーザ端末を選択するための手段；

前記少なくとも2つのユーザ端末に使用するために、システムによってサポートされた、そのうちの1つはステアード空間多重化モードである複数の空間多重化モードのなかからステアード空間多重化モードを選択するための手段；

20

前記少なくとも2つのユーザ端末のために、MIMOチャネルの複数の空間チャネルを介して送信されることになっている複数のデータストリームに対するレートを選択するための手段；そして

複数の選択されたレート及び選択された空間多重化モードでのデータ送信に対して前記少なくとも2つのユーザ端末をスケジュールするための手段。

【請求項19】

複数のアンテナから前記少なくとも1つのユーザ端末への送信に対して複数の送信シンボルストリームを得るために、選択された空間多重化モードに従って複数のデータストリームを空間的に処理するための手段をさらに具備する請求項18記載の装置。

【請求項20】

前記少なくとも1つのユーザ端末によって送信された複数のデータストリームの推定値を得るために、選択された空間多重化モードに従って複数の受信されたシンボルストリームを空間的に処理するための手段をさらに具備する請求項18記載の装置。

30

【請求項21】

無線の複数入力複数出力（MIMO）通信システムにおけるデータを受信する方法であって、以下を具備する方法：

第1の複数の復元されたデータシンボルストリームを得るために第1の空間多重化モードに従って第1の複数の受信されたシンボルストリームに受信機空間処理を実行すること；

第1の複数の復号されたデータストリームを得るために第1の複数のレートに従って第1の複数の復元されたデータシンボルストリームを復調及び復号すること；

40

第2の複数の復元されたデータシンボルストリームを得るために第2の空間多重化モードに従って第2の複数の受信されたシンボルストリームに受信機空間処理を実行すること；そして

第2の複数の復号されたデータストリームを得るために第2の複数のレートに従って第2の複数の復元されたデータシンボルストリームを復調及び復号すること。

【請求項22】

第1の空間多重化モードはステアード空間多重化モードであり、ユーザ端末のためにMIMOチャネルの複数の空間チャネルに対する複数の固有ベクトルで第1の複数の受信されたシンボルストリームが空間的に処理される請求項21記載の方法。

【請求項23】

50

第 2 の空間多重化モードは非ステアード空間多重化モードである請求項2_1記載の方法。
。

【請求項 2_4】

第 2 の複数の復号されたデータストリームは、単一のユーザ端末によって送信された複数のデータストリームの推定値である請求項2_3記載の方法。

【請求項 2_5】

第 2 の複数の復号されたデータストリームは、複数のユーザ端末によって同時に送信された複数のデータストリームの推定値である請求項2_3記載の方法。

【請求項 2_6】

第 2 の複数の受信されたシンボルストリームは、チャネル相關行列反転（C C M I）技術に基づいて空間的に処理される請求項2_3記載の方法。
10

【請求項 2_7】

第 2 の複数の受信されたシンボルストリームは、最小平均二乗誤差（M M S E）技術に基づいて空間的に処理される請求項2_3記載の方法。

【請求項 2_8】

第 2 の複数の受信されたシンボルストリームは、連続干渉除去（S I C）技術に基づいて空間的に処理される請求項2_3記載の方法。

【請求項 2_9】

無線の複数入力複数出力（M I M O）通信システムにおける装置であって、以下を具備する装置：
20

第 1 の複数の復元されたデータシンボルストリームを得るために第 1 の空間多重化モードに従って第 1 の複数の受信されたシンボルストリームに受信機空間処理を実行するように動作し、

第 2 の複数の復元されたデータシンボルストリームを得るために第 2 の空間多重化モードに従って第 2 の複数の受信されたシンボルストリームに受信機空間処理を実行するように動作する受信空間プロセッサ；そして

第 1 の複数の復号されたデータストリームを得るために第 1 の複数のレートに従って第 1 の複数の復元されたデータシンボルストリームを復調及び復号するように動作し、

第 2 の複数の復号されたデータストリームを得るために第 2 の複数のレートに従って第 2 の複数の復元されたデータシンボルストリームを復調及び復号するように動作する受信データプロセッサ。
30

【請求項 3_0】

無線の複数入力複数出力（M I M O）通信システムにおけるデータを送信する方法であって、以下を具備する方法：

データ送信に使用する空間多重化モード及び複数のレートを示している情報を受信することであって、空間多重化モードはシステムによってサポートされる複数の空間多重化モードのなかから選択され、複数のレートのそれぞれはシステムによってサポートされるレートのセットのなかから選択される受信すること；

複数のデータシンボルストリームを得るために複数のレートに従って複数のデータストリームを符号化及び変調すること；そして
40

複数のアンテナからの送信に対して複数の送信シンボルストリームを得るために空間多重化モードに従って複数のデータシンボルストリームを空間的に処理すること。

【請求項 3_1】

空間多重化モードはステアード空間多重化モードであり、M I M Oチャネルの複数の直交する空間チャネルで複数のデータシンボルストリームを送信するために複数のステアリングベクトルで複数のデータシンボルストリームが空間的に処理される請求項3_0記載の方法。

【請求項 3_2】

複数の直交する空間チャネルのそれぞれでステアードパイロットを送信することをさらに具備する請求項3_1記載の方法。
50

【請求項 3 3】

空間多重化モードは非ステアード空間多重化モードであり、複数のデータシンボルストリームは複数の送信シンボルストリームとして提供される請求項 3 0 記載の方法。

【請求項 3 4】

上りリンクのチャネル応答が下りリンクのチャネル応答に相反となるように調整を実行することをさらに具備する請求項 3 0 記載の方法。

【請求項 3 5】

無線の複数入力複数出力 (MIMO) 通信システムにおける装置であって、以下を具備する装置：

データ送信に使用する空間多重化モード及び複数のレートを示している情報を受信するように動作するコントローラであって、空間多重化モードはシステムによってサポートされる複数の空間多重化モードのなかから選択され、複数のレートのそれぞれはシステムによってサポートされるレートのセットのなかから選択されるコントローラ；

複数のデータシンボルストリームを得るために複数のレートに従って複数のデータストリームを符号化及び変調するように動作する送信データプロセッサ；そして

複数のアンテナからの送信に対して複数の送信シンボルストリームを得るために空間多重化モードに従って複数のデータシンボルストリームを空間的に処理するように動作する送信空間プロセッサ。

【請求項 3 6】

無線の複数入力複数出力 (MIMO) 通信システムにおけるデータを受信する方法であって、以下を具備する方法：

データ送信に使用するステアード空間多重化モード及び少なくとも 1 つのレートを示している情報を受信することであって、ステアード空間多重化モードはシステムによってサポートされるそのうちの 1 つは少なくとも 2 つの端末のためのステアード空間多重化モードである複数の空間多重化モードのなかから選択され、少なくとも 1 つのレートのそれぞれはシステムによってサポートされるレートのセットのなかから選択される受信すること；

少なくとも 1 つの復元されたデータシンボルストリームを得るためにステアード空間多重化モードに従って少なくとも 1 つの受信されたシンボルストリームを空間的に処理すること；そして

少なくとも 1 つの復号されたデータストリームを得るために少なくとも 1 つのレートに従って少なくとも 1 つの復元されたデータシンボルストリームを復調及び復号すること。

【請求項 3 7】

前記複数の空間多重化モードの 1 つは非ステアード空間多重化モードである請求項 3 6 記載の方法。

【請求項 3 8】

複数の復元されたデータシンボルストリームを得るために、チャネル相關行列反転 (CCM) 技術、最小平均二乗誤差 (MMSE) 技術、或いは連続干渉除去 (SIC) 技術に基づいて複数の受信されたシンボルストリームが空間的に処理される請求項 3 7 記載の方法。

【請求項 3 9】

1 つの復元されたデータシンボルストリームを得るためにチャネル利得の推定値で 1 つの受信されたシンボルストリームが処理される請求項 3 7 記載の方法。

【請求項 4 0】

無線の複数入力複数出力 (MIMO) 通信システムにおける装置であって、以下を具備する装置：

データ送信に使用するステアード空間多重化モード及び少なくとも 1 つのレートを示している情報を受信するように動作するコントローラであって、ステアード空間多重化モードはシステムによってサポートされるそのうちの 1 つは少なくとも 2 つの端末のためのステアード空間多重化モードである複数の空間多重化モードのなかから選択され、少なくと

10

20

30

40

50

も 1 つのレートのそれぞれはシステムによってサポートされるレートのセットのなかから選択されるコントローラ；

少なくとも 1 つの復元されたデータシンボルストリームを得るためにステアード空間多重化モードに従って少なくとも 1 つの受信されたシンボルストリームを空間的に処理するように動作する受信空間プロセッサ；そして

少なくとも 1 つの復号されたデータストリームを得るために少なくとも 1 つのレートに従って少なくとも 1 つの復元されたデータシンボルストリームを復調及び復号するように動作する受信データプロセッサ。

【請求項 4 1】

無線の複数入力複数出力 (MIMO) 通信システムにおけるデータを受信するための装置であって、以下を具備する装置：

データ送信に使用するステアード空間多重化モード及び少なくとも 1 つのレートを示している情報を受信するための手段であって、ステアード空間多重化モードはシステムによってサポートされるそのうちの 1 つは少なくとも 2 つの端末のためのステアード空間多重化モードである複数の空間多重化モードのなかから選択され、少なくとも 1 つのレートのそれぞれはシステムによってサポートされるレートのセットのなかから選択される手段；

少なくとも 1 つの復元されたデータシンボルストリームを得るためにステアード空間多重化モードに従って少なくとも 1 つの受信されたシンボルストリームを空間的に処理するための手段；そして

少なくとも 1 つの復号されたデータストリームを得るために少なくとも 1 つのレートに従って少なくとも 1 つの復元されたデータシンボルストリームを復調及び復号するための手段。

【請求項 4 2】

前記複数の空間多重化モードの 1 つは非ステアード空間多重化モードである請求項 4 1 記載の装置。

【請求項 4 3】

前記空間的に処理するための手段は、複数の復元されたデータシンボルストリームを得るために、チャネル相関行列反転 (CCMI) 技術、最小平均二乗誤差 (MMSE) 技術、或いは連続干渉除去 (SIC) 技術に基づいて空間的に処理するための手段を含む請求項 4 1 記載の装置。

【請求項 4 4】

前記復調及び復号するための手段は、1 つの復元されたデータシンボルストリームを得るためにチャネル利得の推定値で少なくとも 1 つの受信されたシンボルストリームを処理するための手段を含む請求項 4 1 記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本特許出願は、この譲受人に譲渡されここに参照として明確に組み込まれる、2002 年 10 月 25 日に出願された“MIMO WLAN システム (MIMO WLAN System)”と題される仮出願第 60/421,309 号に基づいて優先権を主張する。

【0002】

本発明は、一般に通信、より具体的には複数の送信モードを有する複数入力複数出力 (multiple-input multiple-output) (MIMO) 通信システムに関する。

【背景技術】

【0003】

MIMO システムはデータ送信のために複数の (N_T 個の) 送信アンテナ及び複数の (N_R 個の) 受信アンテナを用い、(N_T, N_R) システムと示される。 N_T 個の送信アンテナ及び N_R 個の受信アンテナによって形成される MIMO チャネルは N_S 個の空間チャ

10

20

30

40

50

セルへと分解されてよく、ここで $N_s = \min\{N_T, N_R\}$ である。より大きな全体のスループットを達成するために N_s 個の独立したデータストリームを送信するのに N_s 個の空間チャネルが用いられてよい。一般に、複数のデータストリームを同時に送信して復元するために、空間処理は送信機で実行されてもされなくてもよく通常は受信機で実行される。

【0004】

従来のMIMOシステムは複数のデータストリームを同時に送信するために特定の送信方式を通常用いる。この送信方式は、システムの要求、受信機から送信機へのフィードバックの量、送信機及び受信機の能力、その他、のようなさまざまな要因の間のトレードオフに基づいて選択されてよい。そして送信機、受信機、及びシステムは、選択された送信方式に従ってサポート及び動作するように設計される。この送信方式は通常、有利な特徴のみならず不利な特徴も有しており、それらはシステムの性能に影響を及ぼし得る。10

【0005】

それゆえ、改善された性能を達成する能力を有するMIMOシステムに対する技術への需要が存在する。

【発明の開示】

【0006】

[サマリー]

性能の向上及びより高い柔軟性のための複数の空間多重化モードをサポートするMIMOシステムがここで説明される。空間多重化とはMIMOチャネルの複数の空間チャネルを介した複数のデータストリームの同時の送信をさす。複数の空間多重化モードは以下を含んでよい、(1) 単一の受信機に直交する空間チャネルで複数のデータストリームを送信する単一ユーザのステアード(steered)モード、(2) 複数のアンテナから単一の受信機に送信機での空間処理無しに複数のデータストリームを送信する単一ユーザの非(non-)ステアードモード、(3) 送信機での空間処理を伴って複数の受信機に複数のデータストリームを同時に送信する複数ユーザのステアードモード、そして(4) (同等に配置されている(co-located)、或いは同等に配置されていない)複数のアンテナから(複数の)送信機での空間処理無しに複数のアンテナを有する(複数の)受信機へ複数のデータストリームを送信する複数ユーザの非ステアードモード。20

【0007】

下りリンク及び/又は上りリンクでのデータ送信のために少なくとも1つのユーザ端末からなるセットが選択される。そのユーザ端末のセットに対して、システムによってサポートされる複数の空間多重化モードの中から1つの空間多重化モードが選択される。ユーザ端末のセットに対して、MIMOチャネルの複数の空間チャネルを介して送信されることになっている複数のデータストリームに対して複数のレートがまた選択される。ユーザ端末のセットは、選択されたレート及び選択された空間多重化モードで下りリンク及び/又は上りリンクでのデータ送信のためにスケジュールされる。その後、複数のデータストリームは選択されたレートに従って処理され(例えば、符号化され、インターリーブされ(interleaved)、そして変調される)、さらに複数の空間チャネルを介した送信のために選択された空間多重化モードに従って空間的に処理される。40

【0008】

本発明の様々な態様及び実施形態は以下でさらに詳細に説明される。

【0009】

[詳細な説明]

“代表的”という言葉はここでは“例、実例、或いは例証として役立つ”を意味するように用いられる。ここで“代表的”として説明される任意の実施形態は他の実施形態よりも必ずしも好ましい或いは有利なものとして構成されるべきであるとは限らない。

【0010】

MIMOシステムはデータ送信のために単一のキャリア又は複数のキャリアを利用してよい。複数のキャリアは直交周波数分割多重化(OFDM)、他の複数キャリアの変調技50

術、或いは他の何らかの構成によって提供されてよい。O F D Mは全体のシステム帯域幅を効率的に複数の(N_F 個の)直交するサブバンドへと分割する。ふつう複数の(N_F 個の)直交するサブバンドはトーン(t o n e s)、ピン(b i n s)、キャリア、そして周波数チャネルとも呼ばれる。O F D Mでは、各サブバンドはデータと変調されてよいそれぞれのキャリアと関係付けられる。以下の説明はO F D Mを利用するM I M Oシステムのためである。しかしながら、ここで説明される考えは单一キャリアのM I M Oシステムに対しても等しく適用可能である。

【0011】

M I M Oシステムは性能の向上及びより高い柔軟性のための複数の空間多重化モードをサポートする。表1はサポートされた空間多重化モード及びそれらの短い説明を表にする。

【表1】

表1

空間多重化モード	説明
単一ユーザ ステアード	複数のデータストリームが直交する空間チャネルで单一の受信機へ送信される。
単一ユーザ 非ステアード	複数のデータストリームが複数のアンテナから单一の受信機へ送信機での空間処理無しに送信される。
複数ユーザ ステアード	複数のデータストリームが(1)单一の送信機から複数の受信機へ、又は(2)複数の送信機から单一の受信機へ、両方共(複数の)送信機での空間処理を伴って同時に送信される。
複数ユーザ 非ステアード	複数のデータストリームが(1)複数の送信機から单一の受信機へ、又は(2)单一の送信機から複数の受信機へ、両方共(複数の)送信機での空間処理無しに同時に送信される。

10

20

30

【0012】

M I M Oシステムは他の及び/又は異なった空間多重化モードをサポートしてもよく、それは本発明の範囲内にある。

【0013】

各空間多重化モードは異なった能力及び要件を有する。ステアード空間多重化モードはより良い性能を通常は達成することができるが、以下に説明されるように、分解(d e c o m p o s i t i o n)或いは他の何らかの技術を介して空間チャネルを直交化するために十分なチャネル状態の情報を送信機が有しているときにだけ使用することができる。非ステアード空間多重化モードは、複数のデータストリームを同時に送信するために殆ど情報を必要としないが、性能はステアード空間多重化モードほど良くはないだろう。利用できるチャネル状態の情報、送信機及び受信機の能力、システムの要件、そしてその他に依存して、使用するための適切な空間多重化モードが選択されてよい。これらの空間多重化モードのそれぞれは以下で説明される。

【0014】

1. 単一ユーザステアード空間多重化モード

N_T 個の送信アンテナ及び N_R 個の受信アンテナによって形成された周波数選択的なM I M Oチャネルは、それぞれ $N_R \times N_T$ の次元を伴い、 $k = 1 \dots N_F$ に対応した N_F 個の周波数領域のチャネル応答行列 $H(k)$ によって特徴付けられてよい。各サブバンドに対するチャネル応答行列は以下で表現されてよい：

40

【数1】

$$\underline{H}(k) = \begin{bmatrix} h_{1,1}(k) & h_{1,2}(k) & \cdots & h_{1,N_T}(k) \\ h_{2,1}(k) & h_{2,2}(k) & \cdots & h_{2,N_T}(k) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{N_R,1}(k) & h_{N_R,2}(k) & \cdots & h_{N_R,N_T}(k) \end{bmatrix} \quad \text{式(1)}$$

【0015】

10

ここで、 $i = 1 \dots N_R$ 、 $j = 1 \dots N_T$ 、そして $k = 1 \dots N_F$ に対応したエントリ (entry) $h_{i,j}(k)$ はサブバンド k の送信アンテナ j 及び受信アンテナ i の間の結合 (即ち、複素数の利得) である。

【0016】

各サブバンドに対するチャネル応答行列 $\underline{H}(k)$ はそのサブバンドに対する N_S 個の固有モードを得るために“対角化されて”よい。この対角化は、チャネル応答行列 $\underline{H}(k)$ の特異値分解 (singular value decomposition) 或いは、 $\underline{H}(k)$ の相関行列の固有値分解のいずれかを実行することによって達成されてよい。“ \underline{H}^H ”が共役の転置を示すとき、 $\underline{H}(k)$ の相関行列は $\underline{R}(k) = \underline{H}^H(k) \underline{H}(k)$ である。

20

【0017】

各サブバンドに対するチャネル応答行列 $\underline{H}(k)$ の特異値分解は以下で表現されてよい：

$$\underline{H}(k) = \underline{U}(k) \underline{\Lambda}(k) \underline{V}^H(k), \quad \text{式(2)}$$

ここで $\underline{U}(k)$ は $\underline{H}(k)$ の左固有ベクトルからなる ($N_R \times N_R$) のユニタリ行列であり；

$\underline{\Lambda}(k)$ は $\underline{H}(k)$ の特異値からなる ($N_R \times N_T$) の対角行列であり；そして $\underline{V}(k)$ は $\underline{H}(k)$ の右固有ベクトルからなる ($N_T \times N_T$) のユニタリ行列である。

【0018】

30

\underline{I} が単位行列であるときに、ユニタリ行列 \underline{M} は、 $\underline{M}^H \underline{M} = \underline{I}$ なる性質によって特徴づけられる。ユニタリ行列の列は互いに直交している。

【0019】

各サブバンドに対する $\underline{H}(k)$ の相関行列の固有値分解は以下で表現されてよい：

$$\underline{R}(k) = \underline{H}^H(k) \underline{H}(k) = \underline{V}(k) \underline{\Lambda}(k) \underline{V}^H(k) \quad \text{式(3)}$$

ここで $\underline{\Lambda}(k)$ は $\underline{R}(k)$ の固有値からなる ($N_T \times N_T$) の対角行列である。式(2) 及び(3)に示されるように、 $\underline{V}(k)$ の列は $\underline{H}(k)$ の右固有ベクトルであると同時に $\underline{R}(k)$ の固有ベクトルである。

【0020】

特異値分解及び固有値分解は、“線形代数とその応用 (Linear Algebra and Its Applications)” 第2版、アカデミックプレス (Academic Press)、1980年、と題される本の中でギルバート・ストラング (Gilbert Strang) によって説明される。單一ユーザステアード空間多重化モードは、特異値分解或いは固有値分解のいずれかで実現されてよい。明確さのために、以下の説明では特異値分解が用いられる。

40

【0021】

$\underline{H}(k)$ の右固有ベクトルは“ステアリング (steering)” ベクトルとも呼ばれ、 $\underline{H}(k)$ の N_S 個の固有モードでデータを送信するために送信機によって空間処理のために使用されてよい。 $\underline{H}(k)$ の左固有ベクトルは N_S 個の固有モードで送信されたデータを復元する (recover) ために受信機によって空間処理のために使用されてよ

50

い。固有モードは分解を通して得られた直交する空間チャネルとみなされてよい。対角行列 $\underline{H}(k)$ は対角線に沿って非負の実数値を、それ以外はゼロを含んでいる。これらの対角線のエントリは $\underline{H}(k)$ の特異値と呼ばれ、 $\underline{H}(k)$ の N_s 個の固有モードに対するチャネル利得を表す。 $\underline{H}(k)$ の特異値 $\{\lambda_1(k), \lambda_2(k), \dots, \lambda_{N_s}(k)\}$ は、 $\underline{R}(k)$ の固有値 $\{\lambda_1(k), \lambda_2(k), \dots, \lambda_{N_s}(k)\}$ の平方根でもある。ここで $\lambda_i(k) = \lambda_{i_s}(k)$ である。 N_F 個のサブバンドのそれぞれがそのサブバンドのための N_s 個の固有モードを決定するために、特異値分解はチャネル応答行列 $\underline{H}(k)$ で独立して実行されてよい。

【0022】

各サブバンドに対して、行列 $\underline{H}(k)$ の中の特異値は最も大きいものから最も小さいものへと並べられてよく、行列 $\underline{V}(k)$ 及び $\underline{U}(k)$ の中の固有ベクトルはそれに応じて並べられてよい。“広帯域 (wideband)” 固有モードは、並べた後に N_F 個の全てのサブバンドの同じ順番の (same-order) 固有モードの組として定義されてよい(即ち、広帯域固有モード m は全てのサブバンドの固有モード m を含む)。一般に、全ての或いは N_F より少ない個数のサブバンドが送信のために使用されてよく、使用されないサブバンドはゼロの信号値で満たされている。簡単さのために、以下の説明は N_F 個の全てのサブバンドが送信に使用されていると仮定する。

【0023】

單一ユーザステアード空間多重化モード(或いは、簡単に“單一ユーザステアードモード”)は MIMO チャネルの N_s 個の固有モードで N_s 個のデータシンボルストリームを送信する。これは送信機及び受信機の両方による空間処理を要求する。

【0024】

單一ユーザステアードモードのための各サブバンドに対する送信機における空間処理は以下のように表現されてよい：

$$\underline{x}_{s_u-s}(k) = \underline{V}(k) \underline{s}(k), \quad \text{式 (4)}$$

ここで $\underline{s}(k)$ はサブバンド k に対して N_s 個の固有モードで送信されることになっている N_s 個のデータシンボルに対する N_s 個の非ゼロのエントリを伴う ($N_T \times 1$) のベクトルであり；そして

$\underline{x}_{s_u-s}(k)$ はサブバンド k に対して N_T 個の送信アンテナから送られることになっている N_T 個の送信シンボルに対する N_T 個のエントリを伴う ($N_T \times 1$) のベクトルである。

【0025】

$\underline{s}(k)$ の N_s 個のエントリは N_s 個のデータシンボルストリームを表現することができ、 $\underline{s}(k)$ の残りのエントリがあるならば、それはゼロで満たされている。

【0026】

各サブバンドに対して受信機によって得られる受信されたシンボルは以下のように表現されてよい：

$$\underline{r}_{s_u-s}(k) = \underline{H}(k) \underline{x}_{s_u-s}(k) + \underline{n}(k) = \underline{H}(k) \underline{V}(k) \underline{s}(k) + \underline{n}(k), \quad \text{式 (5)}$$

ここで $\underline{r}_{s_u-s}(k)$ はサブバンド k に対して N_R 個の受信アンテナを介して得られた N_R 個の受信されたシンボルに対する N_R 個のエントリを伴う ($N_R \times 1$) のベクトルであり；そして

$\underline{n}(k)$ はサブバンド k に対する雑音のベクトルである。

【0027】

各サブバンドに対してデータベクトル $\underline{s}(k)$ を復元するための受信機における空間処理は以下のように表現されてよい：

【数2】

$$\begin{aligned}
 \hat{\underline{s}}_{su-s}(k) &= \underline{\Sigma}^{-1}(k) \underline{\mathbf{U}}^H(k) \underline{\mathbf{r}}_{su-s}(k), \\
 &= \underline{\Sigma}^{-1}(k) \underline{\mathbf{U}}^H(k) (\underline{\mathbf{H}}(k) \underline{\mathbf{V}}(k) \underline{s}(k) + \underline{\mathbf{n}}(k)), \\
 &= \underline{\Sigma}^{-1}(k) \underline{\mathbf{U}}^H(k) (\underline{\mathbf{U}}(k) \underline{\Sigma}(k) \underline{\mathbf{V}}^H(k) \underline{\mathbf{V}}(k) \underline{s}(k) + \underline{\mathbf{n}}(k)), \\
 &= \underline{s}(k) + \underline{\mathbf{n}}_{su-s}(k),
 \end{aligned} \tag{6}$$

10
又は $\tilde{\underline{s}}_{su-s}(k) = \underline{\mathbf{U}}^H(k) \underline{\mathbf{r}}_{su-s}(k)$ 及び $\hat{\underline{s}}_{su-s}(k) = \underline{\Sigma}^{-1}(k) \tilde{\underline{s}}_{su-s}(k)$

【0028】

ここで $\underline{s}_{su-s}(k)$ はサブバンド k に対する N_s 個の検出されたデータシンボルを伴う ($N_T \times 1$) のベクトルであり；

$\underline{s}_{su-s}(k)$ はサブバンド k に対する N_s 個の復元されたデータシンボルを伴う ($N_T \times 1$) のベクトルであり；そして

$\underline{\mathbf{n}}_{su-s}(k)$ はサブバンド k に対する後処理された雑音のベクトルである。

【0029】

ベクトル $\underline{s}_{su-s}(k)$ はデータベクトル $\underline{s}(k)$ の正規化されていない推定であり、そしてベクトル $\underline{s}_{su-s}(k)$ は $\underline{s}(k)$ の正規化された推定である。式(6)における $\underline{\Sigma}^{-1}(k)$ による乗算は N_s 個の空間チャネルの（多分異なった）利得の原因となり、受信機の空間処理の出力を正規化し、その結果適切な大きさに復元されたデータシンボルは引き続く処理ユニットへ提供される。

【0030】

単一ユーザステアードモードの場合、各サブバンドのために送信機によって使用されるステアリングベクトルの行列 $\underline{\mathbf{F}}_{su-s}(k)$ は以下のように表現されてよい：

$$\underline{\mathbf{F}}_{su-s}(k) = \underline{\mathbf{V}}(k) \tag{7}$$

各サブバンドのために受信機によって使用される空間フィルタ行列は以下のように表現されてよい：

$$\underline{\mathbf{M}}_{su-s}(k) = \underline{\mathbf{U}}^H(k) \tag{8}$$

单一ユーザステアードモードは、送信機が $k = 1 \dots N_F$ に対してチャネル応答行列 $\underline{\mathbf{H}}(k)$ 、或いは $\underline{\mathbf{H}}(k)$ の右固有ベクトルの行列 $\underline{\mathbf{V}}(k)$ のいずれかに対するチャネル状態の情報を有している場合に使用されてよい。以下で説明されるように、送信機は受信機によって送信されたパイロットに基づいて各サブバンドに対して $\underline{\mathbf{H}}(k)$ 或いは $\underline{\mathbf{V}}(k)$ を推定できるか、或いは、フィードバックチャネルを介して受信機によってこの情報を提供されてもよい。受信機は通常、送信機によって送信されたパイロットに基づいて各サブバンドに対して $\underline{\mathbf{H}}(k)$ 或いは $\underline{\mathbf{U}}^H(k)$ を得ることができる。後処理されたチャネルの雑音 $\underline{\mathbf{n}}_{su-s}(k)$ によってのみ歪された N_s 個のデータシンボルストリーム $\underline{s}(k)$ は、送信機及び受信機の両方における適切な空間処理で单一ユーザのステアードモードに対して得られてよいことを式(6)は示す。

【0031】

单一ユーザのステアードモードに対して信号対雑音及び干渉比 (SNR) は以下のように表現されてよい：

$$\underline{s}_{su-s, m}(k) = P_m(k) \underline{s}_m(k) / \underline{n}^2(k), \quad m = 1 \dots N_s, \tag{9}$$

ここで $P_m(k)$ は広帯域固有モード m のサブバンド k で送信されたデータシンボルのために使用される送信電力であり；

$s_m(k)$ は $s(k)$ の m 番目の対角要素である、広帯域固有モード m のサブバンド k に対する固有値であり；そして

$s_{u-s,m}(k)$ は広帯域固有モード m のサブバンド k に対する S N R である。

【0032】

2. 単一ユーザ非ステアード空間多重化モード

送信機が十分なチャネル状態の情報を有さないか、或いは単一ユーザステアードを何らかの理由でサポートできない場合に、単一ユーザの非ステアード空間多重化モード（或いは簡単に、“単一ユーザ非ステアードモード”）は使用されてよい。単一ユーザ非ステアードモードは、送信機でのいかなる空間処理も伴わずに N_T 個の送信アンテナから N_S 個のデータシンボルストリームを送信する。

【0033】

単一ユーザ非ステアードモードの場合、各サブバンドに対して送信機によって使用されるステアリングベクトルからなる行列 $F_{n_s}(k)$ は以下のように表現されてよい：

$$F_{n_s}(k) = I \quad \text{式 (10)}$$

各サブバンドに対する送信機における空間処理は以下のように表現されてよい：

$$x_{n_s}(k) = s(k), \quad \text{式 (11)}$$

ここで $x_{n_s}(k)$ は単一ユーザ非ステアードモードに対する送信シンボルベクトルである。このモードのための“広帯域”の空間チャネルは、与えられた送信アンテナに対応する空間チャネルとして定義されてよい（即ち、単一ユーザ非ステアードモードのための広帯域の空間チャネル m は送信アンテナ m の全てのサブバンドを含む）。

【0034】

各サブバンドに対して受信機によって得られた受信されたシンボルは以下のように表現されてよい：

$$r_{n_s}(k) = H(k) x_{n_s}(k) + n(k) = H(k) s(k) + n(k) \quad \text{式 (12)}$$

チャネル相關行列反転（C C M I）技術（ゼロ-フォーシング（zero-forcing）技術とも通常呼ばれる）、最小平均二乗誤差（M M S E）技術、判定帰還形等化器（D F E）、連続干渉除去（s u c c e s s i v e i n t e r f e r e n c e cancellation）（S I C）技術、等のような、様々な受信機処理技術を用いて、受信機はデータベクトル $s(k)$ を復元できる。

【0035】

A. C C M I 空間処理

受信機はデータシンボルストリームを識別するために C C M I 技術を用いることができる。C C M I 受信機は、 $k = 1 \dots N_F$ に対して $M_{c c m i}(k)$ の応答を有する空間フィルタを利用する。 $M_{c c m i}(k)$ は以下のように表現されてよい：

$$M_{c c m i}(k) = [H^H(k) H(k)]^{-1} H^H(k) = R^{-1}(k) H^H(k) \quad \text{式 (13)}$$

単一ユーザ非ステアードモードに対する C C M I 受信機による空間処理は以下のように表現されてよい：

$$\begin{aligned} \underline{s}^{\wedge}_{c c m i}(k) &= M_{c c m i}(k) \underline{r}_{n_s}(k), \\ &= R^{-1}(k) H^H(k) (H(k) s(k) + n(k)), \end{aligned} \quad \text{式 (14)}$$

$$= s(k) + n_{c c m i}(k),$$

ここで $\underline{s}^{\wedge}_{c c m i}(k)$ はサブバンド k に対する N_S 個の復元されたデータシンボルを伴った ($N_T \times 1$) のベクトルであり；そして

$n_{c c m i}(k) = M_{c c m i}(k) n(k)$ はサブバンド k に対する C C M I のフィルタがかけられた (C C M I filterred) 雑音である。

【0036】

各サブバンドに対する C C M I のフィルタがかけられた雑音の自己共分散 $\underline{\underline{c c m i}}$ (

10

20

30

40

50

k) は以下のように表現されてよい :

$$\begin{aligned}
 \underline{\underline{n}}_{c c m i}(k) &= E[\underline{n}_{c c m i}(k) \underline{n}^H_{c c m i}(k)], \\
 &= \underline{M}_{c c m i}(k) \underline{\underline{n}}_{n n}(k) \underline{M}^H_{c c m i}(k), \\
 (15) \quad &= \underline{\underline{R}}^{-1}(k),
 \end{aligned}
 \quad \text{式}$$

ここで $E[x]$ は x の期待値である。式(15)の最後の等式は、雑音 $\underline{n}(k)$ が平均ゼロ、分散 $\underline{\underline{R}}^2$ 、自己共分散行列 $\underline{\underline{n}}_{n n}(k) = E[\underline{n}(k) \underline{n}^H(k)] = \underline{\underline{R}}^2 \underline{I}$ の加法的白色ガウス雑音 (AWGN) であることを仮定する。この場合、CCMI受信機に対するSNRは以下のように表現されてよい :

$$\underline{\underline{c}}_{c c m i, m} = P_m(k) / (\underline{r}_{m m}(k))^2, \quad m = 1 \dots N_s, \quad 10$$

式(16)

ここで $P_m(k)$ は広帯域空間チャネル m のサブバンド k で送信されるデータシンボルに対して使用される送信電力であり ;

$\underline{r}_{m m}(k)$ はサブバンド k に対する $\underline{\underline{R}}(k)$ の m 番目の対角要素であり ; そして $\underline{\underline{c}}_{c c m i, m}$ は広帯域空間チャネル m のサブバンド k に対する SNR である。

【0037】

$\underline{\underline{R}}(k)$ の構成に従って、CCMI技術は雑音を増幅してよい。

【0038】

B. M M S E 空間処理

受信機は、データシンボルストリームの間のクロストーク (cross talk) を抑制して復元されたデータシンボルストリームの SNR を最大化するために M M S E 技術を用いることができる。M M S E 受信機は、 $k = 1 \dots N_F$ に対して $\underline{M}_{m m s e}(k)$ の応答を有する空間フィルタを利用する。その応答は、空間フィルタから推定されたデータベクトルとデータベクトル $\underline{s}(k)$ との間の平均二乗誤差が最小化されるように導き出される。この M M S E 基準は以下のように表現されてよい :

【数3】

$$\min_{\underline{M}_{m m s e}(k)} E[(\underline{M}_{m m s e}(k) \underline{r}_{n s}(k) - \underline{s}(k))^H (\underline{M}_{m m s e}(k) \underline{r}_{n s}(k) - \underline{s}(k))] \quad \text{式(17)}$$

20

【0039】

式(17)で示された最適化問題の解はさまざまなやり方で得られてよい。ある代表的な方法では、各サブバンドに対する M M S E 空間フィルタ行列 $\underline{M}_{m m s e}(k)$ は以下のように表現されてよい :

$$\begin{aligned}
 \underline{M}_{m m s e}(k) &= \underline{H}^H(k) [\underline{H}(k) \underline{H}^H(k) + \underline{\underline{n}}_{n n}(k)]^{-1}, \\
 &= \underline{H}^H(k) [\underline{H}(k) \underline{H}^H(k) + \underline{\underline{R}}^2 \underline{I}]^{-1}.
 \end{aligned} \quad \text{式(18)}$$

18)

式(18)の中の第2の等式は、雑音のベクトル $\underline{n}(k)$ が平均ゼロで分散 $\underline{\underline{R}}^2$ の AWGN であることを仮定する。

【0040】

40

単一ユーザ非ステアードモードのための M M S E 受信機による空間処理は2つのステップから構成される。以下のように、第1のステップで、 N_s 個の検出されたシンボルストリームのためのベクトル $\underline{s}_{m m s e}(k)$ を得るために、M M S E 受信機は N_R 個の受信されたシンボルストリームのためのベクトル $\underline{r}_{n s}(k)$ を M M S E 空間フィルタ行列 $\underline{M}_{m m s e}(k)$ で乗算する :

$$\begin{aligned}
 \underline{s}_{m m s e}(k) &= \underline{M}_{m m s e}(k) \underline{r}_{n s}(k), \\
 &= \underline{M}_{m m s e}(k) (\underline{H}(k) \underline{s}(k) + \underline{n}(k)), \\
 (19) \quad &= \underline{Q}(k) \underline{s}(k) + \underline{n}_{m m s e}(k),
 \end{aligned} \quad \text{式(19)}$$

ここで $\underline{n}_{m m s e}(k) = \underline{M}_{m m s e}(k) \underline{n}(k)$ は M M S E のフィルタがかけられた

50

雑音であり、 $\underline{Q}(k) = \underline{M}_{m m s e}(k) \underline{H}(k)$ である。 N_s 個の検出されたシンボルストリームは N_s 個のデータシンボルストリームの正規化されていない推定である。

【0041】

以下のように、第2のステップで、 N_s 個の復元されたデータシンボルストリームのためのベクトル $\underline{s}^{\wedge}_{m m s e}(k)$ を得るために、M M S E 受信機はベクトル $\underline{s}^{\sim}_{m m s e}(k)$ をスケーリング行列 $\underline{D}_{m m s e}^{-1}(k)$ で乗ずる：

$$\underline{s}^{\wedge}_{m m s e}(k) = \underline{D}_{m m s e}^{-1}(k) \underline{s}^{\sim}_{m m s e}(k),$$

式(20)

ここで $\underline{D}_{m m s e}(k)$ はその対角要素が $\underline{Q}(k)$ の対角要素である対角行列である。即ち、 $\underline{D}_{m m s e}(k) = \text{diag}[\underline{Q}(k)]$ である。 N_s 個の復元されたデータシンボルストリームは N_s 個のデータシンボルストリームの正規化された推定である。

【0042】

行列の逆恒等性(inverse identity)を用いて、行列 $\underline{Q}(k)$ は以下のように書き換えることができる：

$$\begin{aligned} \underline{Q}(k) &= \underline{H}^H(k) \underline{n}_n^{-1}(k) \underline{H}(k) [\underline{H}^H(k) \underline{n}_n^{-1}(k) \underline{H}(k) \\ &+ \underline{I}]^{-1}, \\ &= \underline{H}^H(k) \underline{H}(k) [\underline{H}^H(k) \underline{H}(k) + \underline{n}_n^2 \underline{I}]^{-1}. \end{aligned} \quad \text{式(21)}$$

式(21)の中の第2の等式は、雑音が平均ゼロで分散 \underline{n}_n^2 の A W G N であることを仮定する。

【0043】

M M S E 受信機に対する S N R は以下のように表現されてよい：

$$\underline{n}_{m m s e, m}(k) = q_{m m}(k) P_m(k) / (1 - q_{m m}(k)), \quad m = 1 \dots N_s, \quad \text{式(22)}$$

ここで $q_{m m}(k)$ はサブバンド k に対する $\underline{Q}(k)$ の m 番目の対角成分であり；そして $\underline{n}_{m m s e, m}(k)$ は広帯域空間チャネル m のサブバンド k に対する S N R である。

【0044】

C. 連続干渉除去受信機処理

受信機は N_s 個のデータシンボルストリームを復元するために S I C 技術を用いて N_R 個の受信されたシンボルストリームを処理することができる。S I C 技術の場合、受信機は最初に N_R 個の受信されたシンボルストリームでの空間処理を実行し(例えば、C C M I、M M S E、或いは他の何らかの技術を用いて)、1つの復元されたデータシンボルストリームを得る。受信機はこの復元されたデータシンボルストリームをさらに処理して(例えば、復調し、デインターリープし(deinterleaves)、そして復号する)復号されたデータストリームを得る。そして受信機は、このストリームが他の $N_s - 1$ 個のデータシンボルストリームに引き起こす干渉を推定し、 N_R 個の修正されたシンボルストリームを得るために N_R 個の受信されたシンボルストリームから推定された干渉を除去する。次に受信機は別のデータシンボルストリームを復元するために N_R 個の修正されたシンボルストリームで同じ処理を繰り返す。

【0045】

S I C 受信機の場合、 $1 = 1 \dots N_s$ であってステージ1に対する入力(即ち、受信された、或いは修正された)シンボルストリームは以下のように表現されてよい：

$$\underline{r}_{s i c}^{-1}(k) = \underline{H}^{-1}(k) \underline{x}_{n_s}^{-1}(k) + \underline{n}(k) = \underline{H}^{-1}(k) \underline{s}^{-1}(k) + \underline{n}(k), \quad \text{式(23)}$$

ここで $\underline{r}_{s i c}^{-1}(k)$ はステージ1のサブバンド k に対する N_R 個の修正されたシンボルのベクトルであり、そして一番目のステージに対して $\underline{r}_{s i c}^{-1}(k) = \underline{r}_{n_s}(k)$ であり；

$\underline{s}^{-1}(k)$ はステージ1のサブバンド k に対するまだ復元されていない($N_T - 1 + 1$) 個のデータシンボルのベクトルであり；そして

10

20

30

40

50

$\underline{H}^1(k)$ はステージ 1 のサブバンド k に対する $N_R \times (N_T - 1 + 1)$ の縮小したチャネル応答行列である。

【0046】

式(23)は(1-1)の前のステージで復元されたデータシンボルストリームは除去されることを仮定する。チャネル応答行列 $\underline{H}(k)$ の次元は、1つのデータシンボルストリームが復元及び除去されるごとに各ステージで1列ずつ連続的に縮小する。ステージ1で、縮小したチャネル応答行列 $\underline{H}^1(k)$ は、元の行列 $\underline{H}(k)$ の中の前に復元された(1-1)個のデータシンボルストリームに対応する(1-1)個の列を取り除くことによって得られる。即ち、 $\underline{H}^1(k) = [\underline{h}_{j,1}(k) \underline{h}_{j,2}(k) \dots \underline{h}_{j,N_T}(k)]$ であり、ここで $\underline{h}_{j,n}(k)$ は送信アンテナ j_n と N_R 個の受信アンテナとの間のチャネル応答に対する $N_R \times 1$ のベクトルである。ステージ1で、前のステージで復元された(1-1)個のデータシンボルストリームは $\{j_1, j_2, \dots, j_{1-1}\}$ の指標が与えられ、まだ復元されていない $(N_T - 1 + 1)$ 個のデータシンボルストリームは $\{j_1, j_{1+1}, \dots, j_{N_T}\}$ の指標が与えられる。

【0047】

ステージ1で、式(13)で示されるCCM1技術、式(18)で示されるMMSE技術、或いは他の何らかの技術を用いて、(元の行列 $\underline{H}(k)$ の代わりに)縮小したチャネル応答行列 $\underline{H}^1(k)$ に基づいて、 $k = 1 \dots N_F$ に対して SIC 受信機は空間フィルタ行列 $\underline{M}_{s_i c}^{-1}(k)$ を導き出す。行列 $\underline{M}_{s_i c}^{-1}(k)$ は $(N_T - 1 + 1) \times N_R$ の次元を有する。各ステージに対して $\underline{H}^1(k)$ は異なっているので、各ステージに対して空間フィルタ行列 $\underline{M}_{s_i c}^{-1}(k)$ も異なっている。

【0048】

以下に示すように、 $(N_T - 1 + 1)$ 個の検出されたシンボルストリームに対してベクトル $\underline{s}_{s_i c}^{-1}(k)$ を得るために、SIC 受信機は N_R 個の修正されたシンボルストリームのためのベクトル $\underline{r}_{s_i c}^{-1}(k)$ を空間フィルタ行列 $\underline{M}_{s_i c}^{-1}(k)$ と乗ずる：

$$\begin{aligned} \underline{s}_{s_i c}^{-1}(k) &= \underline{M}_{s_i c}^{-1}(k) \underline{r}_{s_i c}^{-1}(k), \\ &= \underline{M}_{s_i c}^{-1}(k) (\underline{H}^1(k) \underline{s}^{-1}(k) + \underline{n}^{-1}(k)), \end{aligned}$$

式(24)

$$= \underline{Q}_{s_i c}^{-1}(k) \underline{s}^{-1}(k) + \underline{n}_{s_i c}^{-1}(k),$$

ここで $\underline{n}_{s_i c}^{-1}(k) = \underline{M}_{s_i c}^{-1}(k) \underline{n}^{-1}(k)$ はステージ1のサブバンド k に対するフィルタがかけられた雑音であり、 $\underline{n}^{-1}(k)$ は $\underline{n}(k)$ の縮小したベクトルであり、 $\underline{Q}_{s_i c}^{-1}(k) = \underline{M}_{s_i c}^{-1}(k) \underline{H}^1(k)$ である。そして SIC 受信機は復元のために、検出されたシンボルストリームの1つを選択する。各ステージではただ1つだけのデータシンボルストリームが復元されるので、データシンボルストリーム $\{s_{j,1}\}$ がステージ1で復元されるために、SIC 受信機は単に1つの($1 \times N_R$)の空間フィルタの行ベクトル $\underline{m}_{j,1}^{-1}(k)$ を導き出すことができる。行ベクトル $\underline{m}_{j,1}^{-1}(k)$ は行列 $\underline{M}_{s_i c}^{-1}(k)$ の1つの行である。この場合、データシンボルストリーム $\{s_{j,1}\}$ を復元するためのステージ1での空間処理は以下のように表現されてよい：

$$\underline{s}_{j,1}^{-1}(k) = \underline{m}_{j,1}^{-1}(k) \underline{r}_{s_i c}^{-1}(k) = \underline{q}_{j,1}^{-1}(k) \underline{s}^{-1}(k) + \underline{m}_{j,1}^{-1}(k) \underline{n}(k),$$

式(25)

ここで $\underline{q}_{j,1}^{-1}(k)$ はデータシンボルストリーム $\{s_{j,1}\}$ に対応する $\underline{Q}_{s_i c}^{-1}(k)$ の行である。

【0049】

いずれの場合も、受信機は復元されたデータシンボルストリーム $\{s_{j,1}\}$ を得るために検出されたシンボルストリーム $\{s_{j,1}\}$ を調整し、復号されたデータストリーム $\{d_{j,1}\}$ を得るためにそのストリーム $\{s_{j,1}\}$ をさらに処理する(例えば、復調し、デインターリーブし、そして復号する)。また受信機は、このストリームがまだ復元されていない他のデータシンボルストリームに引き起こす干渉の推定を形成する。干渉を推定するために、受信機は復号されたデータストリーム $\{d_{j,1}\}$ を送信機で実行され

10

20

30

40

50

たのと同じやり方で再符号化し、インターリープし、そしてシンボル写像し、“再変調された”シンボルのストリーム $\{s_{j_1}\}$ を得る。 $\{s_{j_1}\}$ はちょうど復元されたデータシンボルストリームの推定である。ストリーム $\{s_{j_1}\}$ に対してこのストリームによってもたらされる N_R 個の干渉成分 $i_{j_1}(k)$ を得るために、受信機は次に、再変調されたシンボルストリームをチャネル応答ベクトル $h_{j_1}(k)$ の中の N_R 個の要素のそれぞれと畳み込む。そして N_R 個の干渉成分がステージ 1 で N_R 個の修正されたシンボルストリーム $r_{s_{i_1}}^1(k)$ から引かれて、次のステージ 1 + 1 での N_R 個の修正されたシンボルストリーム $r_{s_{i_1}}^{1+1}(k)$ を得る。即ち、 $r_{s_{i_1}}^{1+1}(k) = r_{s_{i_1}}^1(k) - i_{j_1}(k)$ である。修正されたシンボルストリーム $r_{s_{i_1}}^{1+1}(k)$ は、データシンボルストリーム $\{s_{j_1}\}$ が送信されなかつたならば受信されていたストリームを表す（即ち、干渉除去が効果的に実行されたと仮定する）。 10

【0050】

SIC 受信機は N_S の連続するステージで N_R 個の受信されたシンボルストリームを処理する。各ステージで、SIC 受信機は、（1）1つの復元されたデータシンボルストリームを得るために N_R 個の受信されたシンボルストリーム或いは前のステージからの N_R 個の修正されたシンボルストリームのいずれかに対して空間処理を実行する、（2）対応する復号されたデータストリームを得るためにこの復元されたデータシンボルストリームを復号する、（3）このストリームに起因する干渉を推定及び除去する、そして（4）次のステージのために N_R 個の修正されたシンボルストリームを得る。各データストリームに起因する干渉を正確に推定して除去することができるならば、その後に復元されたデータストリームはより少ない干渉を経験し、より高い SNR を達成することができるだろう。 20

【0051】

SIC 技術の場合、復元されたデータシンボルストリームそれぞれの SNR は、（1）各ステージで使用される空間処理技術（例えば、CCMI 或いは MMSE）、（2）データシンボルストリームが復元される特定のステージ、そして（3）後のステージで復元されるデータシンボルストリームに起因する干渉の量、に依存する。CCMI を備えた SIC 受信機の SNR は以下で表現されてよい：

$$s_{i_1} - c_{c_m}, m(k) = P_m(k) / (r_{m_m}^1(k))^2, m = 1 \dots N_S \quad , \text{式 (26)} \quad 30$$

ここで $r_{m_m}^1(k)$ はサブバンド k に対する $[R^1(k)]^{-1}$ の m 番目の対角要素であり、 $R^1(k) = [H^1(k)]^H H^1(k)$ である。

【0052】

MMSE を備えた SIC 受信機の SNR は以下で表現されてよい：

$$s_{i_1} - m_{m_s}, m(k) = q_{m_m}^1(k) P_m(k) / (1 - q_{m_m}^1(k)), m = 1 \dots N_S, \text{式 (27)} \quad 30$$

ここで $q_{m_m}^1(k)$ はサブバンド k に対する $Q_{s_{i_1}}^1(k)$ の m 番目の対角要素であり、 $Q_{s_{i_1}}^1(k)$ は式 (21) で示されるように導き出されるが、元の行列 $H(k)$ の代わりに縮小したチャネル応答行列 $H^1(k)$ に基づいている。

【0053】

一般に、後のステージで復元されるデータシンボルストリームに対して SNR は次第に改善する。なぜなら前のステージで復元されたデータシンボルストリームから干渉が除去されているからである。そしてこれが後に復元されるデータシンボルストリームに対してより高いレートが用いられることを可能にする。

【0054】

3. 複数ユーザステアード空間多重化モード

複数ユーザステアード空間多重化モード（或いは単に、“複数ユーザステアードモード”）は、受信機の“空間サイン（signatures）”に基づいて单一の送信機から複数の受信機へのデータ送信を同時にサポートする。受信機に対する空間サインは、 N_T 個の送信アンテナと受信機の各受信アンテナとの間の（各サブバンドに対する）チャネル 50

応答ベクトルによって与えられる。以下で説明されるように、送信機は受信機に対する空間サインを得てもよい。そして送信機は(1)同時データ送信のための受信機のセットを選択してよく、そして(2)受信機で送信ストリームの混信(cross talk)が十分抑制されるように、選択された受信機へ送信されることになっているデータシンボルストリームに対するステアリングベクトルを導き出してよい。

【0055】

複数ユーザステアードモードに対するステアリングベクトルはさまざまなやり方で導き出されてよい。2つの代表的な方式が以下で説明される。簡単のため、以下の説明は1つのサブバンドに対するものであり、また各受信機に1つのアンテナが備えられていると仮定する。

10

【0056】

チャネル反転(inversion)方式では、送信機はチャネル反転を用いて複数の受信機のためのステアリングベクトルを得る。送信機は同時送信のために、最初に N_T 個の単一アンテナの受信機を選択する。送信機は、選択された受信機それぞれに対して $1 \times N_T$ のチャネル応答の行ベクトル $\underline{h}_i(k)$ を得て、そして N_T 個の受信機に対して N_T 個の行ベクトルで $N_T \times N_T$ のチャネル応答行列 $\underline{H}_{mu-s}(k)$ を形成する。そして送信機は、以下のように、 N_T 個の選択された受信機に対する N_T 個のステアリングベクトルからなる行列 $\underline{F}_{mu-s}(k)$ を得るためにチャネル反転を用いる：

$$\underline{F}_{mu-s}(k) = \underline{H}_{mu-s}^{-1}(k) \quad \text{式(2)}$$

8)

20

複数ユーザステアードモードでの各サブバンドに対する送信機での空間処理は以下のように表現されてよい：

$$\underline{x}_{mu-s}(k) = \underline{F}_{mu-s}(k) \underline{s}(k) \quad \text{式(2)}$$

9)

21

ここで $\underline{x}_{mu-s}(k)$ は複数ユーザステアードモードに対する送信シンボルベクトルである。

【0057】

各サブバンドに対する N_T 個の選択された受信機での受信されたシンボルは以下のように表現されてよい：

$$\underline{r}_{mu-s}(k) = \underline{H}_{mu-s}(k) \underline{x}_{mu-s}(k) + \underline{n}(k), \quad \text{式(30)}$$

$$= \underline{H}_{mu-s}(k) \underline{F}_{mu-s}(k) \underline{s}(k) + \underline{n}(k), \quad \text{式(30)}$$

$$= \underline{s}(k) + \underline{i}(k) + \underline{n}(k),$$

ここで $\underline{r}_{mu-s}(k)$ は N_T 個の選択された受信機でのサブバンド k に対する($N_T \times 1$)の受信されたシンボルベクトルであり、 $\underline{i}(k)$ は送信機での $\underline{F}_{mu-s}(k)$ の不完全な推定に起因する混信の干渉を表す。選択された受信機のそれぞれは各受信アンテナに対して、ベクトル $\underline{r}_{mu-s}(k)$ のただ1つのエントリを得るだろう。送信機での空間処理が有効ならば、 $\underline{i}(k)$ の電力は小さく、そして回復されたデータシンボルストリームのそれぞれは、他の受信機に送信される($N_T - 1$)個の他のデータシンボルストリームからの僅かな混信しか経験しない。

30

【0058】

以下で説明されるように、送信機は選択された受信機のそれぞれにステアードパイロットを送信することもできる。そして各受信機はチャネルの利得及び位相を推定するためにそのステアードパイロットを処理し、復元されたデータシンボルを得るためにチャネルの利得及び位相の推定を伴ったその単一のアンテナから受信されたシンボルをコヒーレントに(coherent)復調するだろう。

40

【0059】

複数ユーザステアードモードに対して達成されたSNRはチャネル応答行列 $\underline{H}_{mu-s}(k)$ の自己共分散の関数である。“互換性のある(compatible)”ユーザ端末を選択することによって、より高いSNRを達成することが出来る。ユーザ端末の異な

50

った、セット及び／又は組み合わせは評価されてよく、そして最も高いS N Rを有するセット／組み合わせがデータ送信に選択されてよい。

【0060】

チャネル反転法はその単純さにおいて魅力的ではあるが、一般に良い性能をもたらさない。なぜならば、式(29)の中のチャネル応答の逆行列でデータシンボルストリームを条件付けることは、送信機にその電力の大半をMIMOチャネルの最も悪い固有モードに割り当てる強いるからである。また、いくつかのチャネル、特にH_{m u - s}(k)の要素の間で大きな相関を有するチャネルでは、チャネル応答行列は最大の階数(r an k)より小さく、そして逆行列の計算が不可能である。

【0061】

引き続く方式において、送信機はN_T個の選択された受信機へ送信されることになっているN_T個のデータシンボルストリームを事前符号化し(p re c o d e s)、その結果これらのデータシンボルストリームは受信機で殆ど混信を経験しない。送信機はN_T個の選択された受信機に対して、チャネル応答行列H_{m u}(k)を形成することができる。そして送信機はH_{m u}(k) = F_{t r i}(k)Q_{m u}(k)となるようにH_{m u}(k)に対してQR分解(f a c t o r i z a t i o n)を実行する。ここでF_{t r i}(k)は左下三角行列であり、Q_{m u}(k)はユニタリ行列である。

【0062】

送信機は、送信されることになっているデータシンボルベクトルs(k) = [s₁(k) s₂(k) . . . s_{N T}(k)]^T、に事前符号化する操作を行い、以下のような事前符号化されたシンボルベクトルa(k) = [a₁(k) a₂(k) . . . a_{N T}(k)]^Tを得る：

【数4】

$$a_t(k) = \frac{1}{f_{tt}(k)} \left(s_t(k) - \sum_{i=1}^{\ell-1} f_{ti}(k) a_i(k) \right) \bmod(M/2), \ell = 1 \dots N_T \text{ に対して 式(31)}$$

【0063】

ここでMはQ A M信号の正方の配置(c o n s t e l l a t i o n)の同相或いは直交の次元における単位間隔で間が隔てられたレベルの数であり；そして

f_{1 i}(k)はF_{t r i}(k)のi行j列の要素である。

【0064】

モジュロ(m o d u l o)(m o d)操作はMの十分な数の整数倍を変数(a r g u m e n t)に加え、それによってその結果がa₁(k) [-M/2, M/2]を満たす。この事前符号化の操作の後、送信シンボルベクトルx_{m u - p c}(k) = Q_{m u}^H(k)a(k)を生成するために事前符号化されたシンボルベクトルa(k)をユニタリスティアリング行列Q_{m u}(k)で処理することによって、送信シンボルは計算される。

【0065】

事前符号化の方式のための受信シンボルベクトルは以下のように表現できる：

$$\underline{r}_{m u - p c}(k) = \underline{H}_{m u}(k) \underline{Q}_{m u}^H(k) \underline{a}(k) + \underline{n}(k) = \underline{F}_{t r i}(k) \underline{a}(k) + \underline{n}(k) \quad \text{式(32)}$$

F_{t r i}(k)a(k) mod(M/2) = s(k)を示すことが出来る。それゆえ、データシンボルベクトルはs[^]_{m u - p c}(k) = r_{m u - p c}(k) mod(M/2)として推定できる。N_T個の選択された受信機のそれぞれはr_{m u - p c}(k)のN_T個の要素の中の1つだけを得て、その受信されたシンボルにmod(M/2)の操作を実行することによってそれに送信されたデータシンボルを推定できる。

【0066】

複数ユーザステアードモードにおいて送信機は、複数アンテナの受信機に複数のデータシンボルストリームを送信することもできる。そしてチャネル応答行列H_{m u}(k)は、複数アンテナの受信機の各受信アンテナに対して1つの行ベクトルを含むだろう。

【0067】

複数ユーザステアードモードは複数の複数アンテナの送信機から単一の受信機へのデータ送信もサポートする。複数アンテナの送信機のそれぞれはそのデータシンボルストリームに空間処理を実行してそのストリームを受信機の方へ向ける。各送信機はまた、ステアードパイロットを受信機へ送信する。受信機に対して、各送信機は単一の送信のように見える。受信機は全ての送信機からステアードデータシンボルストリームを復元するために、空間処理（例えば、CCM1、MMSE、等）を実行する。

【0068】

4. 複数ユーザ非ステアード空間多重化モード

複数ユーザ非ステアード空間多重化モード（或いは単に、“複数ユーザ非ステアードモード”）は、（1）単一の送信機による複数の受信機への（例えば、下リンクに対する）、そして（2）複数の送信機による単一の受信機への（例えば、上リンクに対する）データの同時送信をサポートする。

10

【0069】

単一の送信機から複数の受信機への非ステアード送信の場合、送信機は1つの受取人である受信機に対して各送信アンテナから1つのデータシンボルストリームを送信する。1つ或いは複数のデータシンボルストリームが各受取人である受信機に対して送信されてよい。各受取人である受信機は少なくとも N_T 個の受信アンテナを備え、その（複数の）データシンボルストリームを分離して復元するために空間処理を実行できる。データ送信を望んでいる各受信機は N_T 個の送信アンテナのそれぞれに対するSNRを推定して、その N_T 個のSNRの推定値を送信機に送る。送信機は、データ送信を望んでいる全ての受信機からのSNRの推定値に基づいてデータ送信のための受信機のセットを選択する（例えば、全体のスループットを最大化するために）。

20

【0070】

複数の送信機から単一の受信機への非ステアード送信の場合、送信機はそれらのアンテナから（即ち、空間処理無しに）データシンボルストリームを送信し、その結果これらのストリームは受信機においてほぼ時間が揃えられて（time-aligned）到着する。受信機は全ての送信機に対するチャネル応答行列を、あたかもそれらが単一の送信機であるかのように推定できる。受信機は、単一ユーザ非ステアードモードに対して上で説明された技術（例えば、CCM1、MMSE、そしてSIC技術）のいずれを用いてもこれら複数の送信機によって送信された複数のデータシンボルストリームを復元できる。

30

【0071】

5. 空間処理

表2は、上で説明した4つの空間多重化モードのための送信機及び受信機における空間処理を要約する。非ステアードモードの場合、CCM1やMMSE以外の受信機処理技術が用いられてもよい。表2の最終列は、受信機でSIC技術が使用されてよいかどうかを示す。

【表2】

表2

空間多重化モード	送信 $\underline{F}(k)$	受信 $\underline{M}(k)$	調整	SIC
単一ユーザステアード	$\underline{V}(k)$	$\underline{U}^H(k)$	$\underline{\Sigma}^{-1}(k)$	不可
単一ユーザ非ステアード	\underline{I}	$\underline{M}_{ccmi}(k)$ $\underline{M}_{mmse}(k)$	$\underline{D}_{mmse}^{-1}(k)$	可
複数ユーザステアード (単一の送信機から 複数の受信機へ)	$\underline{H}_{mu-s}^{-1}(k)$	-	-	不可
複数ユーザ非ステアード (複数の送信機から 単一の受信機へ)	\underline{I}	$\underline{M}_{ccmi}(k)$ $\underline{M}_{mmse}(k)$	$\underline{D}_{mmse}^{-1}(k)$	可

10

20

【0072】

簡単のため、複数の送信機から単一の受信機への複数ユーザステアードモード及び単一の送信機から複数の受信機への複数ユーザ非ステアードモードのための空間処理は表2に示されない。

【0073】

以降の説明では、広帯域空間チャネルは以下に相当し得る、(1)ステアード空間多重化モードの場合、広帯域固有モード、(2)非ステアード空間多重化モードの場合、送信アンテナ、或いは(3)1つ或いはそれ以上のサブバンドの1つ或いはそれ以上の空間チャネルの組み合わせ。広帯域空間チャネルは1つの独立したデータストリームを送信するために使用することができる。

30

【0074】

6. MIMOシステム

図1は、多数のユーザ端末(UT)120に対して通信を提供する多数のアクセスポイント(AP)110を伴った多重アクセスのMIMOシステム100を示す。簡単のため、2つのアクセスポイント110a及び110bのみが図1に示される。一般にはアクセスポイントはユーザ端末と通信する固定局であり、基地局或いは他の何らかの用語で呼ばれてもよい。ユーザ端末は固定でも移動でもよく、移動局、無線装置、或いは他の何らかの用語で呼ばれてもよい。システムコントローラ130はアクセスポイント110に接続し、アクセスポイント110のための調整及び制御を提供する。

40

【0075】

MIMOシステム100は、時分割二重化(TDD)システム或いは周波数分割二重化(FDD)システムであってよい。下りリンク及び上りリンクは(1)TDDシステムの場合は同じ周波数帯域を共有し(2)FDDシステムの場合は異なった周波数帯域を使用する。以下の説明ではMIMOシステム100はTDDシステムであると仮定する。

【0076】

MIMOシステム100は異なったタイプのデータを送信するためにトランスポート(transport)チャネルのセットを利用する。トランスポートチャネルは様々なやり方で実現されてよい。

【0077】

図2はMIMOシステム100に使用されてよい代表的なフレームとチャネルの構成

2

50

00を示す。データ送信はTDDフレームで生じる。各TDDフレームは予め定められた時間間隔（例えば、2 msec）にわたり、下りリンクフェーズ及び上りリンクフェーズに分割される。各フェーズは複数のトランスポートチャネルのために、複数の部分210、220、230、240、そして250へとさらに分割される。

【0078】

下りリンクのフェーズで、放送チャネル（BCH）は、ビーコン（beacon）パイロット214、MIMOパイロット216、そしてBCHメッセージ218を運ぶ。ビーコンパイロットはタイミング及び周波数の取得に使用される。MIMOパイロットはチャネル推定のために使用される。BCHメッセージはユーザ端末のためにシステムパラメータを運ぶ。前方制御チャネル（FCH）は、下りリンク及び上りリンクのリソースの割り当てのためのスケジューリング情報を運び、ユーザ端末のために他のシグナリング（signaling）を運ぶ。前方向チャネル（FCH）は下りリンクでFCHプロトコルデータユニット（PDU）を運ぶ。FCH PDU232aはパイロット234a、データパケット236aを含み、FCH PDU232bはデータパケット236bだけを含む。上りリンクのフェーズで、逆方向チャネル（RCH）は上りリンクでRCH PDUを運ぶ。RCH PDU242aはデータパケット246aのみを含み、RCH PDU242bはパイロット244b及びデータパケット246bを含む。ランダムアクセスチャネル（RACH）は、システムへのアクセスを得て上りリンクで短いメッセージを送るためにユーザ端末によって使用される。RACHで送られるRCH PDU252はパイロット254とメッセージ256を含む。

10

20

【0079】

図3は、MIMOシステム100のアクセスポイント110x及び2つのユーザ端末120x及び120yのプロック図を示す。アクセスポイント110xは図1のアクセスポイントの1つであり、324aから324apの複数(N_{ap})のアンテナを備えている。ユーザ端末120xは単一のアンテナ352xを備えており、ユーザ端末120yは352aから352utの複数(N_{ut})のアンテナを備えている。

【0080】

下りリンクで、アクセスポイント110xにおいてTXデータプロセッサ310は、データソース308から1つ或いはそれ以上のユーザ端末のためのトラヒックデータを、コントローラ330からコントロールデータを、そしてあるいはスケジューラ334から他のデータを受け取る。様々なタイプのデータは異なったトランスポートチャネルで送信されてよい。TXデータプロセッサ310は、データシンボルの N_s 個のストリームを得るために1つ或いはそれ以上の符号化及び変調方式に基づいて異なったタイプのデータを処理する（例えば、符号化し、インターリーブし、そしてシンボル写像する）。ここで用いられるように、“データシンボル”はデータの変調シンボルをさし、“パイロットシンボル”はパイロットの変調シンボルをさす。TX空間プロセッサ320はTXデータプロセッサ310から N_s 個のデータシンボルストリームを受け取り、そのデータシンボルに $k = 1, \dots, N_F$ に対して行列 $E_{ap}(k)$ で空間処理を実行し、パイロットシンボルの中に多重化し、 N_{ap} 個のアンテナに対して送信シンボルの N_{ap} 個のストリームを提供する。行列 $E_{ap}(k)$ は、使用のために選択された空間多重化モードに従って導き出される。TXデータプロセッサ310及びTX空間プロセッサ320による処理は以下に説明される。

30

40

【0081】

各変調器（MOD）322はOFDMのシンボルのストリームを得るためにそれぞれの送信シンボルストリームを受信及び処理し、そして下りリンクの信号を生成するためにOFDMシンボルストリームをさらに調整する（例えば、增幅し、フィルタにかけ、そして周波数アップコンバートする（upconverts））。322aから322apまでの N_{ap} 個の変調器は、324aから324apまでの N_{ap} 個のアンテナからの送信のための N_{ap} 個の下りリンクの信号をユーザ端末へそれぞれ提供する。

【0082】

50

各ユーザ端末 120において、1つ或いは複数のアンテナ 352は N_{ap} 個の下りリンク信号を受信し、そして各アンテナは受信された信号をそれぞれの復調器 (DEMOD) 354に提供する。各復調器 354は、変調器 322によって実行されたのと相補的な処理を実行し、受信されたシンボルのストリームを提供する。単一アンテナのユーザ端末 120xの場合、RX 空間プロセッサ 360xは単一の復調器 354xからの受信されたシンボルストリームのコヒーレントな復調を実行し、復元されたデータシンボルの1つのストリームを提供する。複数アンテナのユーザ端末 120yの場合、RX 空間プロセッサ 360yは、 $k = 1 \dots N_F$ に対して空間フィルタ行列 $M_{ut}(k)$ で N_{ut} 個の復調器 354からの N_{ut} 個の受信されたシンボルストリームに空間処理を実行し、復元されたデータシンボルの N_{ut} 個のストリームを提供する。いずれの場合も、それぞれの復元されたデータシンボルストリーム $\{s^m\}$ は、アクセスポイント 110xによってそのユーザ端末 120 に送信されたデータシンボルストリーム $\{s_m\}$ の推定である。RX データプロセッサ 370は、復元されたデータシンボルを受信して適切なトランスポートチャネルへと逆多重化する (demultiplexes)。各トランスポートチャネルのための復元されたデータシンボルは次に処理され (例えば、逆写像され (demapped)、デインターリーブされ、そして復号される) そのトランスポートチャネルのための復号されたデータを得る。各トランスポートチャネルのための復号されたデータは、復元されたトラヒックデータ、制御データ、及びその他を含んでよく、それらは記憶のためにデータシンク (sink) 372及び/又は、更なる処理のためにコントローラ 380に提供されてよい。10

【0083】

各ユーザ端末 120において、チャネル推定器 378は下りリンクのチャネル応答を推定し、チャネル推定値を提供する。チャネル推定値はチャネル利得の推定値、SNR の推定値、その他を含んでよい。コントローラ 380はチャネル推定値を受信し、送信及び受信パスでの空間処理のために使用されるベクトル及び/又は係数を導き出し、下りリンクでの各データシンボルストリームのための適切なレートを決定する。例えば、複数アンテナのユーザ端末 120yのためのコントローラ 380yは $k = 1 \dots N_F$ に対して下りリンクのチャネル応答行列 $H_{dn}(k)$ に基づいて、下りリンクのための空間フィルタ行列 $M_{ut}(k)$ 及び上りリンクのためのステアリングベクトルからなる行列 $F_{ut}(k)$ を導き出してよい。コントローラ 380は下りリンクで受信される各パケット/フレームの状態も受信してもよく、アクセスポイント 110xのためのフィードバック情報を集めてもよい。フィードバック情報及び上りリンクのデータは TX データプロセッサ 390によって処理され、(もしユーザ端末 120 に有るならば) TX 空間プロセッサ 392によって空間的に処理され、バイロットシンボルで多重化され、1つ或いはそれ以上の変調器 354によって調節され、1つ或いはそれ以上のアンテナ 352を介してアクセスポイント 110xへ送信される。30

【0084】

アクセスポイント 110xで、送信された上りリンクの信号はアンテナ 324によって受信され、復調器 322によって復調され、そして RX 空間プロセッサ 340 及び RX データプロセッサ 342 によってユーザ端末 120 で実行されたのと相補的なやり方で処理される。復元されたフィードバック情報はコントローラ 330 及びスケジューラ 334 へ提供される。スケジューラ 334 は以下のようない複数の機能を実行するためにフィードバック情報を使用してよい、(1)上りリンク及び下りリンクでのデータ送信のためのユーザ端末のセットをスケジュールすること、(2)スケジュールされた端末に利用可能な下りリンク及び上りリンクのリソースを割り当てること。40

【0085】

コントローラ 330 及び 380 は、アクセスポイント 110x 及びユーザ端末 120 における様々な処理ユニットの動作をそれぞれ制御する。例えば、コントローラ 380 は、ユーザ端末 120 に対して下りリンクでの空間チャネルによってサポートされる最も高いレートを決定してよい。コントローラ 330 は、スケジュールされたユーザ端末それぞれ50

の各空間チャネルに対してレート、ペイロードサイズ、そしてOFDMシンボルサイズを選択してよい。

【0086】

上りリンクに対するアクセスポイント110xとユーザ端末120x及び120yにおける処理は、下りリンクに対する処理と同じでも異なっていてもよい。明確にするために、下りリンクのための処理を以下で詳細に説明する。

【0087】

図4は、アクセスポイント110xにおけるTXデータプロセッサ310の実施形態のブロック図を示す。この実施形態の場合、TXデータプロセッサ310は、 N_s 個のデータストリームのそれぞれに対して、符号器412、チャネルインターリーバ(interleaver)414、そしてシンボル写像ユニット416の1つのセットを備える。 $m = 1 \dots N_s$ において、各データストリーム $\{d_m\}$ に対して、符号器412はそのストリームに対して選択された符号化方式に基づいてデータストリームを受信及び符号化し、符号ビットを提供する。符号化方式は、CRC、畳み込み、ターボ、低密度パリティチェック(LDPC)、ブロック、及び他の符号化、或いはそれらの組み合わせを含んでよい。チャネルインターリーバ414はインターリービング(interleaving)方式に基づいて符号ビットをインターリーブする(即ち、再配列する)。シンボル写像ユニット416はそのストリームに対して選択された変調方式に基づいてインターリーブされたビットを写像し、データシンボルのストリーム $\{s_m\}$ を提供する。ユニット416は、B=1の場合にBビットのバイナリの値を形成するためにB個のインターリーブされたビットのセットのそれをグループにし、さらにBビットのバイナリの値を選択された変調方式(例えば、 $M = 2^B$ であって、QPSK、M-PSK、或いはM-QAM)に基づいて特定のデータシンボルへと写像する。各データストリームに対する符号化及び変調は、コントローラ330によって提供される符号化及び変調の制御に従って実行される。

【0088】

図5は、アクセスポイント110xにおけるTX空間プロセッサ320及び変調器322aから322apまでの実施形態のブロック図を示す。この実施形態の場合、TX空間プロセッサ320は、 N_s 個の逆多重化器(demultiplexers)(Demux)510aから510s、 N_f 個のTXサブバンド空間プロセッサ520aから520f、そして N_{ap} 個の多重化器(Mux)530aから530apを備える。各逆多重化器510はTX空間プロセッサ320からそれぞれのデータシンボルストリーム $\{s_m\}$ を受け取り、 N_f 個のサブバンドに対して N_f 個のデータシンボルサブストリームへとそのストリームを逆多重化し、そして N_f 個のサブストリームを N_f 個の空間プロセッサ520aから520fに提供する。各空間プロセッサ520は、 N_s 個のデータシンボルサブストリームをそのサブバンドに対して N_s 個の逆多重化器510aから510sから受け取り、これらのサブストリームに送信機空間処理を実行し、そして N_{ap} 個のアクセスポイントのアンテナに対して N_{ap} 個の送信シンボルサブストリームを提供する。各空間プロセッサ520は、送信ベクトル $\underline{x}_{dn}(k)$ を得るためにデータベクトル $\underline{s}_{dn}(k)$ を行列 $\underline{F}_{ap}(k)$ で乗ずる。行列 $\underline{F}_{ap}(k)$ は、(1)単一ユーザステアードモードの場合は $\underline{H}_{dn}(k)$ の右固有ベクトルからなる行列 $\underline{V}_{dn}(k)$ に、(2)複数ユーザステアードモードの場合は行列 $\underline{F}_{mu}(k)$ に、或いは(3)単一ユーザ非ステアードモードの場合は単位行列 \underline{I} に、等しい。

【0089】

各多重化器530は、 N_f 個の空間プロセッサ520aから520fから N_f 個の送信シンボルサブストリームをその送信アンテナのために受け取り、これらのサブストリーム及びパイロットシンボルを多重化し、その送信アンテナのために送信シンボルストリーム $\{\underline{x}_j\}$ を提供する。パイロットシンボルは、周波数で(即ち、いくつかのサブバンドで)、時間で(即ち、いくつかのシンボル期間で)、そして/或いは、符号空間で(即ち、直交符号で)、多重化されてよい。 N_{ap} 個の多重化器530aから530apは、 N_a

p 個のアンテナ 324a から 324ap のために、 $j = 1 \dots N_{ap}$ に対して、 N_{ap} 個の送信シンボルストリーム $\{x_j\}$ を提供する。

【0090】

図 5 で示される実施形態に対して、各復調器 322 は、高速逆フーリエ変換 (IFFT) ユニット 542、巡回接頭部 (cyclic prefix) 生成器 544、そして TX RF ユニット 546 を備える。IFFT ユニット 542 及び巡回接頭部生成器 544 は OFDM 变調器を形成する。各变調器 322 は TX 空間プロセッサ 320 からそれぞれの送信シンボルストリーム $\{x_j\}$ を受け取り、 N_F 個のサブバンドに対して N_F 個の送信シンボルのそれぞれのセットをグループ化する。IFFT ユニット 542 は、 N_F 点の高速逆フーリエ変換を用いて N_F 個の送信シンボルの各セットを時間領域へ変換し、 N_F 個のチップを含む対応する変換されたシンボルを提供する。巡回接頭部生成器 544 は、各変換されたシンボルの一部を繰返し、 $N_F + N_{cp}$ 個のチップを含む対応する OFDM シンボルを得る。繰り返された部分 (即ち、巡回接頭部) は、周波数選択性フェージングによって引き起こされるマルチパスの遅延広がりの存在下で OFDM シンボルがその直交性を保持することを保証する。TX RF ユニット 546 は生成器 544 から OFDM シンボルストリームを受け取って調節し、下りリンクの変調された信号を生成する。 N_{ap} 個の下りリンクの変調された信号は、 N_{ap} 個のアンテナ 324a から 324ap までからそれぞれ送信される。

【0091】

図 6 は、複数アンテナのユーザ端末 120y の復調器 354a から 354ut と RX 空間プロセッサ 360y の実施形態のブロック図を示す。ユーザ端末 120y で N_{ut} 個のアンテナ 352a から 352ut は、アクセスポイント 110x によって送信された N_{ap} 個の変調された信号を受け取り、 N_{ut} 個の受信された信号を N_{ut} 個の復調器 354a から 354ut へそれぞれ提供する。各復調器 354 は、RX RF ユニット 612、巡回接頭部除去ユニット 614、そして高速フーリエ変換 (FFT) ユニット 616 を備える。ユニット 614 及び 616 は OFDM 復調器を形成する。各復調器 354 の中で、RX RF ユニット 612 は、それぞれの受信された信号を受信し、調節し、デジタル化し (digitizes)、チップのストリームを提供する。巡回接頭部除去ユニット 614 は受信された OFDM シンボルのそれぞれの中の巡回接頭部を取り除き、受信された変換されたシンボルを得る。次に FFT ユニット 616 は、受信された変換されたシンボルのそれぞれを N_F 点の高速フーリエ変換で周波数領域に変換し、 N_F 個のサブバンドに対して N_F 個の受信されたシンボルを得る。FFT ユニット 616 は、受信されたシンボルのストリームを RX 空間プロセッサ 360y へ提供し、受信されたパイロットシンボルをチャネル推定器 378y へ提供する。

【0092】

図 6 で示される実施形態の場合、RX 空間プロセッサ 360y は、ユーザ端末 120y における N_{ut} 個のアンテナのための N_{ut} 個の逆多重化器 630a から 630ut、 N_F 個のサブバンドのための N_F 個の RX サブバンド空間プロセッサ 640a から 640f 及び N_F 個の調整 (scaling) ユニット 642a から 642f、 N_s 個のデータストリームのための N_s 個の多重化器 650a から 650s を備える。RX 空間プロセッサ 360y は、復調器 354a から 354ut から、 $i = 1 \dots N_{ut}$ に対する N_{ut} 個の受信されたシンボルストリーム $\{r_i\}$ を得る。各復調器 630 は、それぞれの受信されたシンボルストリーム $\{r_i\}$ を受信し、そのストリームを N_F 個のサブバンドのために N_F 個の受信されたシンボルサブストリームへと逆多重化し、そしてその N_F 個のサブストリームを N_F 個の空間プロセッサ 640a から 640f に提供する。各空間プロセッサ 640 は、 N_{ut} 個の逆多重化器 630a から 630ut からそのサブバンドのために N_{ut} 個の受信されたシンボルサブストリームを得て、これらのサブストリームで受信機空間処理を実行し、そのサブバンドのために N_s 個の検出されたシンボルサブストリームを提供する。各空間プロセッサ 640 は、検出されたシンボルベクトル $\underline{s}_{dn}(k)$ を得るために受信されたベクトル $\underline{r}_{dn}(k)$ に行列 $\underline{M}_{ut}(k)$ を乗ずる。行列 $\underline{M}_{ut}($

10

20

30

40

50

k) は、(1) 単一ユーザステアードモードの場合は、 $\underline{H}_{d_n}(k)$ の左固有ベクトルからなる行列 $\underline{U}_{d_n}^H(k)$ 、又は、(2) 単一ユーザ非ステアードモードの場合は、行列 $\underline{M}_{c c m i}(k)$ 、 $\underline{M}_{m m s e}(k)$ 或いは何らかの他の行列、に等しい。

【 0 0 9 3 】

各調整ユニット 642 はそのサブバンドのために N_s 個の検出されたシンボルサブストリームを受信し、これらのサブストリームを調整し、そのサブバンドのために N_s 個の復元されたデータシンボルサブストリームを提供する。各調整ユニット 642 は、検出されたシンボルベクトル $\underline{s}_{d_n}(k)$ の信号の調整を対角行列 $\underline{D}_{u_t}^{-1}(k)$ で実行し、復元されたデータシンボルベクトル $\underline{s}_{d_n}(k)$ を提供する。各多重化器 650 は、 N_F 個の復元されたデータシンボルサブストリームをそのデータストリームのために N_F 個の調整ユニット 642a から 642f までから受信及び多重化し、復元されたデータシンボルストリームを提供する。 N_s 個の多重化器 650a から 650s は、 $m = 1 \dots N_s$ に対して N_s 個の復元されたデータシンボルストリーム $\{s_m\}$ を提供する。

【 0 0 9 4 】

図 7 は、ユーザ端末 120y での RX データプロセッサ 370y の実施形態のブロック図を示す。RX データプロセッサ 370y は、 N_s 個のデータストリームのそれぞれに対して、シンボル逆写像ユニット 712、チャネルデインターリーバ 714、及び復号器 716 の 1 つのセットを備える。 $m = 1 \dots N_s$ の各復元されたデータシンボルストリーム $\{s_m\}$ に対して、シンボル逆写像ユニット 712 は復元されたデータシンボルをそのストリームに対して使用された変調方式に従って復調し、復調されたデータを提供する。チャネルデインターリーバ 714 は、アクセスポイント 110x によってそのストリームに対して実行されたインターリービングとは相補的なやり方で復調されたデータをデインターリーブする。次に復号器 716 は、そのストリームに対してアクセスポイント 110x によって実行された符号化とは相補的なやり方でデインターリーブされたデータを復号する。例えば、ターボ或いは畳み込み符号化がそれぞれアクセスポイント 110x で実行されるならば、ターボ復号器或いはビタビ復号器が復号器 716 に対して使用されてよい。復号器 716 は、受信されたデータパケットのそれぞれに対して復号されたパケットを提供する。復号器 716 はさらに、復号されたパケットのそれぞれをチェックしてパケットが正しく復号されたのか或いは誤って復号されたのか判断し、そして復号されたパケットの状態 (status) を提供する。各復元されたデータシンボルストリームに対する復調及び復号は、コントローラ 380y によって提供された変調及び復号の制御に従って実行される。

【 0 0 9 5 】

図 8 は、SIC 技術を実行する、RX 空間プロセッサ 360z 及び RX データプロセッサ 370z のブロック図を示す。RX 空間プロセッサ 360z 及び RX データプロセッサ 370z は、 N_s 個のデータシンボルストリームに対して N_s 個の連続した (即ち、カスケード化された (cascaded)) 受信機処理のステージを実現する。ステージ 1 から $N_s - 1$ のそれぞれは、空間プロセッサ 810、干渉キャンセラ (canceler) 820、RX データストリームプロセッサ 830、そして TX データストリームプロセッサ 840 を備える。最後のステージは、空間プロセッサ 810s と RX データストリームプロセッサ 830s のみを備える。図 7 に示されるように、各 RX データストリームプロセッサ 830 は、シンボル逆写像ユニット 712、チャネルデインターリーバ 714、及び復号器 716 を備える。図 4 に示されるように、各 TX データストリームプロセッサ 840 は、符号器 412、チャネルインターリーバ 414、そしてシンボル写像ユニット 416 を備える。

【 0 0 9 6 】

ステージ 1 で、空間プロセッサ 810a は、 N_{u_t} 個の受信されたシンボルストリームに受信機空間処理を実行し、1 つの復元されたデータシンボルストリーム $\{s_{j_1}\}$ を提供する。ここで添え字 j_1 はデータシンボルストリーム $\{s_{j_1}\}$ を送信するために使用されたアクセスポイントのアンテナを示す。RX データストリームプロセッサ 830a

10

20

30

40

50

は、復元されたデータシンボルストリーム $\{s^j_1\}$ を復調し、デインターリープし、復号し、そして対応する復号されたデータストリーム $\{d^j_1\}$ を提供する。TXデータストリームプロセッサ 840a は、復号されたデータストリーム $\{d^j_1\}$ をそのストリームに対してアクセスポイント 110x によって実行されたのと同じやり方で符号化し、インターリープし、変調し、そして再変調されたシンボルストリーム $\{s^-_j\}$ を提供する。干渉キャンセラ 820a は、アクセスポイント 110x によって（もしあるならば）実行されたのと同じやり方で再変調されたシンボルストリーム $\{s^-_j\}$ に空間処理を実行し、そしてデータシンボルストリーム $\{s_j\}$ に起因する N_{u_t} 個の干渉成分を得るためにチャネル応答行列 $H_{d_n}(k)$ で結果をさらに処理する。 N_{u_t} 個の干渉成分は N_{u_t} 個の受信されたシンボルストリームから引かれて N_{u_t} 個の修正されたシンボルストリームを得る。 N_{u_t} 個の修正されたシンボルストリームはステージ 2 に提供される。10

【0097】

ステージ 2 から $N_s - 1$ のそれぞれは、 N_{u_t} 個の受信されたシンボルストリームの代わりに先行するステージからの N_{u_t} 個の修正されたシンボルストリームに対するにもかかわらず、ステージ 1 と同じ処理を実行する。最後のステージは、ステージ $N_s - 1$ からの N_{u_t} 個の修正されたシンボルストリームに空間処理及び復号を実行し、干渉の推定及び除去は実行しない。20

【0098】

空間プロセッサ 810a から 810s はそれぞれ、CCMI、MMSE、或いは何らかの他の受信機処理技術を実行してよい。各空間プロセッサ 810 は、入力（受信された或いは修正された）シンボルベクトル $r_{d_n}^{-1}(k)$ を行列 $M_{u_t}^{-1}(k)$ で乗じて検出されたシンボルベクトル $s_{d_n}^{-1}(k)$ を得て、検出されたシンボルストリームの 1 つを選択及び調整し、そしてそのステージに対して復元されたデータシンボルストリームとして調整されたシンボルストリームを提供する。行列 $M_{u_t}^{-1}(k)$ は、そのステージの縮小したチャネル応答行列 $H_{d_n}^{-1}(k)$ に基づいて導き出される。20

【0099】

上りリンクに対するアクセスポイント 110x 及びユーザ端末 120y における処理ユニットは、下りリンクに対して上で説明されたように実現されてよい。TXデータプロセッサ 390y 及び TX 空間プロセッサ 392y は、図 4 での TX データプロセッサ 310 及び図 5 での TX 空間プロセッサ 320 で、それぞれ実現されてよい。RX 空間プロセッサ 340 は RX 空間プロセッサ 360y 或いは 360z で実現されてよく、RX データプロセッサ 342 はデータプロセッサ 370y 或いは 370z で実現されてよい。30

【0100】

単一アンテナのユーザ端末 120x の場合、RX 空間プロセッサ 360x はチャネルの推定値で 1 つの受信されたシンボルストリームのコヒーレントな復調を実行し 1 つの復元されたデータシンボルストリームを得る。

【0101】

A. チャネル推定

下りリンク及び上りリンクのチャネル応答は、MIMO パイロット或いはステアードバイロットを用いる様な様々なやり方で推定されてよい。TDD MIMO システムの場合、チャネル推定を単純化するためにいくつかの技術が使用されてよい。40

【0102】

下りリンクの場合、アクセスポイント 110x はユーザ端末 120 に MIMO パイロットを送信できる。MIMO パイロットは、 N_{a_p} 個のアクセスポイントのアンテナからの N_{a_p} 個のパイロット送信からなり、各アンテナからのパイロット送信は異なる直交系列（例えば、ウォルシュ系列）で“カバーされ（covered）”ている。カバーリング（Covering）は、 L 個のカバーされたシンボルを得るために、送信されることになっている与えられた変調シンボル（或いは、同じ値の L 個の変調シンボルのセット）が L チップの直交系列の L 個全てのチップによって乗せられる過程である。そして L 個の力50

バーされたシンボルは送信される。カバーリングは、 N_{a_p} 個のアクセスポイントのアンテナから送られた N_{a_p} 個のパイロット送信の間の直交性を達成し、ユーザ端末が各アンテナからのパイロット送信を区別するのを可能にする。

【0103】

各ユーザ端末 120 において、ユーザ端末のアンテナ i と N_{a_p} 個のアクセスポイントのアンテナのそれぞれとの間の複素数のチャネル利得の推定を得るために N_{a_p} 個のアンテナに対してアクセスポイント 110 \times によって使用された同じ N_{a_p} 個の直交系列で各ユーザ端末のアンテナ i のために、チャネル推定器 378 は受信されたパイロットシンボルの“カバーをはずす (decovers)”。カバーをはずすことは、カバーリングに対して相補的であり、そして L 個のカバーをはずされたシンボルを得るために L チップの直交系列の L 個のチップで受信された(パイロット)シンボルが乗せられる過程である。
そして L 個のカバーをはずされたシンボルは、送信された(パイロット)シンボルの推定を得るために累算される。チャネル推定器 378 は、パイロット送信のために使用された各サブバンドに対して同じパイロット処理を実行する。パイロットシンボルが N_F 個のサブバンドの部分集合でのみ送信されるならば、パイロット送信を伴わないサブバンドに対するチャネル応答推定を得るために次にチャネル推定器 378 は、パイロット送信を伴ったサブバンドに対するチャネル応答推定で補間を実行できる。単一アンテナのユーザ端末 120 \times の場合、チャネル推定器 378 \times は単一アンテナ 352 のために、 $k = 1 \dots N_F$ に対して、推定された下リンクのチャネル応答ベクトル $\underline{h}^{\wedge}_{d_n}(k)$ を提供する。
複数アンテナのユーザ端末 120 y の場合、チャネル推定器 378 y は N_{u_t} 個の全てのアンテナ 352 a から 352 u_t に対して同じパイロット処理を実行し、 $k = 1 \dots N_F$ に対して推定された下リンクのチャネル応答行列 $\underline{H}^{\wedge}_{d_n}(k)$ を提供する。各ユーザ端末 120 は、受信されたパイロットシンボルに基づいて下リンクに対する雑音の分散を推定することもでき、下リンクの雑音の推定値 $\hat{\sigma}_{d_n}^2$ を提供する。

【0104】

上りリンクの場合、複数アンテナのユーザ端末 120 y は、ユーザ端末 120 y に対する上りリンクのチャネル応答 $\underline{H}^{\wedge}_{u_p}(k)$ を推定するためにアクセスポイント 110 \times が使用できるMIMOパイロットを送信できる。単一アンテナのユーザ端末 120 \times はその単一アンテナからパイロットを送信できる。複数の単一アンテナのユーザ端末 120 は上りリンクで直交するパイロットを同時に送信できる。上りリンクでは直交性は時間及び/又は周波数で達成できてよい。各ユーザ端末に、そのユーザ端末に割り当てられた異なった直交系列でその上りリンクのパイロットをカバーさせることによって時間の直交性が得られる。各ユーザ端末に、サブバンドの異なるセットでその上りリンクのパイロットを送信されることによって周波数の直交性が得られる。複数のユーザ端末からの上りリンクのパイロットの同時送信は、アクセスポイント 120 \times で近似的に時間が揃えられるべきである(例えば、巡回接頭部の中で時間が揃えられる)。

【0105】

TDD MIMOシステムの場合、下リンク及び上りリンクに対するチャネル応答の間に通常、高い程度の相関が存在する。なぜなら、これらのリンクは同じ周波数帯域を共有するからである。しかしながら、アクセスポイントにおける送信/受信チェイン (chains) の応答は、ユーザ端末における送信/受信チェインの応答とは通常同じではない。差異が測定され、調整 (calibration) を経て補償されるならば、下リンク及び上りリンクの全体のチャネル応答は互いに相反である (reciprocal) (即ち、転置 (transpose)) と仮定してよい。

【0106】

図9は、アクセスポイント 110 \times 及びユーザ端末 120 y における送信/受信チェインを示す。アクセスポイント 110 \times において、送信パスは $N_{a_p} \times N_{a_p}$ の行列 $\underline{T}_{a_p}(k)$ によってモデル化され、受信パスは $N_{a_p} \times N_{a_p}$ の行列 $\underline{R}_{a_p}(k)$ によってモデル化される。ユーザ端末 120 y において、受信パスは $N_{u_t} \times N_{u_t}$ の行列 $\underline{R}_{u_t}(k)$ によってモデル化され、送信パスは $N_{u_t} \times N_{u_t}$ の行列 $\underline{T}_{u_t}(k)$ によってモ

ル化される。各サブバンドに対する下りリンク及び上りリンクのための受信されたシンボルベクトルは以下のように表現されてよい：

$$\underline{r}_{d_n}(k) = \underline{R}_{u_t}(k) \underline{H}(k) \underline{T}_{a_p}(k) \underline{x}_{d_n}(k), \text{ そして 式 (33)}$$

$\underline{r}_{u_p}(k) = \underline{R}_{a_p}(k) \underline{H}^T(k) \underline{T}_{u_t}(k) \underline{x}_{u_p}(k),$
ここで “ T ” は転置を示す。式 (34) は、下りリンク及び上りリンクが互いに転置であることを仮定する。各サブバンドに対する “ 有効な ” 下りリンク及び上りリンクのチャネル応答 $\underline{H}_{e_d_n}(k)$ 及び $\underline{H}_{e_u_p}(k)$ は、送信及び受信チェインの応答を含み、以下のように表現されてよい：

$$\underline{H}_{e_d_n}(k) = \underline{R}_{u_t}(k) \underline{H}(k) \underline{T}_{a_p}(k) \text{ 及び } \underline{H}_{e_u_p}(k) = \underline{R}_{a_p}(k) \underline{H}^T(k) \underline{T}_{u_t}(k). \text{ 式 (34)}$$

下りリンク及び上りリンクの送信 / 受信チェインの応答が互いに等しくないならば、有効な下りリンク及び上りリンクのチャネル応答は互いに相反でない (即ち、 $\underline{H}_{e_d_n}(k) = \underline{H}_{e_u_p}^T(k)$) 。

【 0 1 0 7 】

アクセスポイント $110x$ 及びユーザ端末 $120y$ は、各サブバンドに対して補正行列 $\underline{K}_{a_p}(k)$ 及び $\underline{K}_{u_t}(k)$ を得るために調整を実行できる。 $\underline{K}_{a_p}(k)$ 及び $\underline{K}_{u_t}(k)$ は以下のように表現されてよい：

$$\underline{K}_{a_p}(k) = \underline{T}_{a_p}^{-1}(k) \underline{R}_{a_p}(k) \text{ 及び } \underline{K}_{u_t}(k) = \underline{T}_{u_t}^{-1}(k) \underline{R}_{u_t}(k). \text{ 式 (35)}$$

下りリンク及び上りリンクの両方で MIMO のパイロットを送信し、MMSE 基準或いは何らかの他の技術を用いて補正行列を導き出すことによって、補正行列は得られてよい。図 9 で示されるように、補正行列 $\underline{K}_{a_p}(k)$ 及び $\underline{K}_{u_t}(k)$ はアクセスポイント $110x$ 及びユーザ端末 $120y$ において、それぞれ適用される。“調整された (calibrated) ” 下りリンク及び上りリンクのチャネル応答、 $\underline{H}_{c_d_n}(k)$ 及び $\underline{H}_{c_u_p}(k)$ は互いに相反であり、以下のように表現されてよい：

$$\underline{H}_{c_u_p}(k) = \underline{H}_{u_p}(k) \underline{K}_{u_t}(k) = (\underline{H}_{d_n}(k) \underline{K}_{a_p}(k))^T = \underline{H}_{c_d_n}^T(k). \text{ 式 (36)}$$

各サブバンドに対する、調整された上りリンク及び下りリンクチャネル応答行列 $\underline{H}_{c_u_p}(k)$ 及び $\underline{H}_{c_d_n}(k)$ の特異値分解は以下のように表現されてよい：

$$\underline{H}_{c_u_p}(k) = \underline{U}_{a_p}(k) \underline{V}_{u_t}(k) \underline{V}_{u_t}^H(k), \text{ そして 式 (37)}$$

$\underline{H}_{c_d_n}(k) = \underline{V}_{u_t}^*(k) \underline{U}_{a_p}(k) \underline{U}_{a_p}^H(k).$
式の組 (37) で示されるように、 $\underline{H}_{c_d_n}(k)$ の左及び右固有ベクトルからなる行列 $\underline{V}_{u_t}^*(k)$ 及び $\underline{U}_{a_p}^*(k)$ は、 $\underline{H}_{c_u_p}(k)$ の右及び左固有ベクトルからなる行列 $\underline{V}_{u_t}(k)$ 及び $\underline{U}_{a_p}(k)$ の複素共役である。行列 $\underline{U}_{a_p}(k)$ はアクセスポイント $110x$ によって、送信及び受信の空間処理の両方に使用することができる。行列 $\underline{V}_{u_t}(k)$ はユーザ端末 $120y$ によって、送信及び受信の空間処理の両方に使用することができる。

【 0 1 0 8 】

TDD MIMO システムに対する MIMO チャネルの相反的性質のために、送信 / 受信チェインにおける差を補償するために調整が実行された後に、ユーザ端末 $120y$ 或いはアクセスポイント $110x$ のいずれかによって特異値分解のみが実行される必要がある。ユーザ端末 $120y$ によって実行されるならば、 $k = 1 \dots N_F$ に対する行列 $\underline{V}_{u_t}(k)$ はユーザ端末における空間処理のために使用され、 $k = 1 \dots N_F$ に対する行列 $\underline{U}_{a_p}(k)$ は、直接的な形式 (例えば、行列 $\underline{U}_{a_p}(k)$ のエントリを送ることによって) 或いは間接的な形式 (例えば、ステアードパイロットを介して) のいずれかでアクセスポイントへ提供されてよい。実際ユーザ端末 $120y$ は、 $\underline{H}_{c_d_n}(k)$ の推定である $\underline{H}^{\wedge}_{c_d_n}(k)$ を得ることだけでき、 $\underline{V}_{u_t}(k)$ 、 $\underline{U}^{\wedge}(k)$ 、 $\underline{U}_{a_p}(k)$ それぞれの推定である $\underline{V}^{\wedge}_{u_t}(k)$ 、 $\underline{U}^{\wedge}(k)$ 、 $\underline{U}^{\wedge}_{a_p}(k)$ を導き出すことだけできる。

10

20

30

40

50

簡単のため、ここでの説明は誤り無しのチャネル推定を仮定する。

【0109】

ユーザ端末120yによって送られる上りリンクのステアードパイロットは以下のように表現されてよい：

$$\underline{x}_{u p, m}(k) = \underline{K}_{u t}(k) \underline{v}_{u t, m}(k) p(k), \quad \text{式 (38)}$$

ここで $\underline{v}_{u p, m}(k)$ は $\underline{v}_{u t}(k)$ の m 番目の列であり、 $p(k)$ はパイロットシンボルである。アクセスポイント110xで受信された上りリンクのステアードパイロットは以下のように表現されてよい：

$$\underline{r}_{u p, m}(k) = \underline{u}_{a p, m}(k) \underline{m} p(k) + \underline{n}_{u p}(k). \quad \text{式 (39)}$$

式(40)は、ユーザ端末120yからの上りリンクのステアードパイロットに基づいて、一度に1つのベクトルずつ、アクセスポイント110xが行列 $\underline{U}_{a p}(k)$ を得ることができることを示す。

【0110】

ユーザ端末120yが上りリンクでMIMOパイロットを送信し、アクセスポイント110xが特異値分解を実行して下りリンクでステアードパイロットを送信する、相補的な処理が実行されてもよい。下りリンク及び上りリンクに対するチャネル推定は、他のやり方で実行されてもよい。

【0111】

各ユーザ端末120において、チャネル推定器378は下りリンクのチャネル応答を(例えば、アクセスポイント110xによって送られたMIMOパイロット或いはステアードパイロットに基づいて)推定することができ、コントローラ380に下りリンクのチャネル推定値を提供することができる。単一アンテナのユーザ端末120xの場合、コントローラ380xはコヒーレントな復調のために使用される複素数のチャネル利得を導き出すことができる。複数アンテナのユーザ端末120yの場合、コントローラ380yは下りリンクのチャネル推定値に基づいて、受信空間処理のために使用される行列 $\underline{M}_{u t}(k)$ 及び送信空間処理のために使用される行列 $\underline{F}_{u t}(k)$ を導き出すことができる。アクセスポイント110xで、チャネル推定器378は上りリンクのチャネル応答を(例えば、ユーザ端末120によって送られたステアードパイロット或いはMIMOパイロットに基づいて)推定することができ、コントローラ380に上りリンクのチャネル推定値を提供することができる。コントローラ380は上りリンクのチャネル推定値に基づいて、送信空間処理のために使用される行列 $\underline{F}_{a p}(k)$ 及び受信空間処理のために使用される行列 $\underline{M}_{a p}(k)$ を導き出すことができる。

【0112】

図9は、1つのサブバンドkに対する下りリンク及び上りリンクのためのアクセスポイント110x及びユーザ端末120yにおける空間処理を示す。下りリンクの場合、アクセスポイント110xにおけるTX空間プロセッサ320の中でデータベクトル $\underline{s}_{d n}(k)$ は、ユニット910によって最初に行列 $\underline{F}_{a p}(k)$ で乗せられ、ユニット912によってさらに補正行列 $\underline{K}_{a p}(k)$ で乗せられて、送信ベクトル $\underline{x}_{d n}(k)$ を得る。ベクトル $\underline{x}_{d n}(k)$ は、復調器322の中の送信チェイン914によって処理され、MIMOチャネル上でユーザ端末120yへと送信される。ユニット910及び912は下りリンクのための送信空間処理を実行し、図5のTXサブバンド空間プロセッサ520の中で実現されてもよい。

【0113】

ユーザ端末120yにおいて、下りリンクの信号は復調器354の中の受信チェイン954によって処理され受信ベクトル $\underline{r}_{d n}(k)$ を得る。RX空間プロセッサ360yの中で受信ベクトル $\underline{r}_{d n}(k)$ は、ユニット956によって最初に行列 $\underline{M}_{u t}(k)$ で乗せられ、ユニット958によってさらに逆対角行列 $\underline{D}_{u t}^{-1}(k)$ で調整されてベクトル $\underline{s}_{d n}(k)$ を得る。 $\underline{s}_{d n}(k)$ はデータベクトル $\underline{s}_{d n}(k)$ の推定値である

10

20

30

40

50

。ユニット956及び958は下りリンクのために受信空間処理を実行し、図6のRXサブバンド空間プロセッサ640の中で実現されてよい。

【0114】

上りリンクの場合、ユーザ端末120yにおけるTX空間プロセッサ392yの中で、データベクトル $s_{u_p}(k)$ は、ユニット960によって最初に行列 $F_{u_t}(k)$ で乗せられ、ユニット962によってさらに補正行列 $K_{u_t}(k)$ で乗せられて送信ベクトル $x_{u_p}(k)$ を得る。ベクトル $x_{u_p}(k)$ は変調器354内の送信チェイン964によって処理され、MIMOチャネル上でアクセスポイント110xへと送信される。ユニット960及び962は上りリンクのために送信空間処理を実行する。

【0115】

アクセスポイント110xで、上りリンクの信号は復調器322の中の受信チェイン924によって処理され受信ベクトル $r_{u_p}(k)$ を得る。RX空間プロセッサ340の中で受信ベクトル $r_{u_p}(k)$ は、ユニット926によって最初に行列 $M_{a_p}(k)$ で乗せられ、ユニット928によってさらに逆対角行列 $D_{a_p}^{-1}(k)$ で調整されてベクトル $s_{u_p}(k)$ を得る。 $s_{u_p}(k)$ はデータベクトル $s_{u_p}(k)$ の推定値である。ユニット926及び928は上りリンクのための受信空間処理を実行する。

10

【0116】

B. TDD MIMOシステムのための空間処理

表3は、TDD MIMOシステムにおける様々な空間多重化モードに対して、下りリンク及び上りリンクでのデータ送信のためにアクセスポイント及びユーザ端末によって実行される代表的なパイロット送信及び空間処理をまとめる。単一ユーザステアードモードの場合、アクセスポイントはユーザ端末が下りリンクのチャネル応答を推定することを可能にするためにMIMOパイロットを送信する。ユーザ端末はアクセスポイントが上りリンクのチャネル応答を推定することを可能にするためにステアードパイロットを送信する。アクセスポイントは $U_{a_p}(k)$ で送信及び受信空間処理を実行する。ユーザ端末は $V_{u_t}(k)$ で送信及び受信空間処理を実行する。

20

【0117】

単一ユーザ非ステアードモードの場合、下りリンクのデータ送信に対して、アクセスポイントは全てのアンテナからMIMOパイロットを送信し、各アンテナからデータシンボルストリームを送信する。ユーザ端末は、MIMOパイロットで下りリンクのチャネル応答を推定し、下りリンクのチャネル推定値を用いて受信機空間処理を実行する。上りリンクのデータ送信に対して相補的な処理が生ずる。

30

【表3】

表3

空間 多重化 モード	下りリンクデータ送信	上りリンクデータ送信
単一ユーザ ステアード	APIはMIMOパイロットを送信する UTはステアードパイロットを送信する APIは $U_{ap}(k)$ でデータを送信する UTは $V_{ut}(k)$ でデータを受信する	APIはMIMOパイロットを送信する UTはステアードパイロットを送信する UTは $V_{ut}(k)$ でデータを送信する APIは $U_{ap}(k)$ でデータを受信する
単一ユーザ 非ステアード	APIはMIMOパイロットを送信する APIは各アンテナからデータを送信する UTはCCMI、MMSE、他を用いる	UTはMIMOパイロットを送信する UTは各アンテナからデータを送信する APIはCCMI、MMSE、他を用いる
複数ユーザ ステアード	UTは直交するパイロットを送信する APIはステアードデータを送信する APIはステアードパイロットを送信する UTはステアードパイロットで受信する	APIはMIMOパイロットを送信する UTはステアードパイロットを送信する UTはステアードデータを送信する APIはCCMI、MMSE、他を用いる
複数ユーザ 非ステアード	APIはMIMOパイロットを送信する UTは各APのアンテナに対して レートを送る APIは各アンテナからデータを送信する UTはCCMI、MMSE、他を用いる	UTは直交パイロットを送信する APIは互換性のあるUTを選択する UTは各アンテナからデータを送信する APIはCCMI、MMSE、他を用いる

【0118】

複数ユーザステアードモードの場合、單一アンテナ及び／又は複数アンテナのユーザ端末への下りリンクのデータ送信に対して、ユーザ端末はアクセスポイントが下りリンクのチャネル応答を推定するのを可能にするために上りリンクで直交するパイロットを送信する。單一アンテナのユーザ端末はステアされていない (unsteered) パイロットを送信し、複数アンテナのユーザ端末はステアードパイロットを送信する。アクセスポイントは直交する上りリンクのパイロットに基づいて下りリンクのステアリングベクトルを導き出す、そして選択されたユーザ端末へステアードパイロット及びステアードデータシンボルストリームを送信するためにステアリングベクトルを用いる。各ユーザ端末は、ユーザ端末へ送られたステアードデータシンボルストリームを受信するためにステアードパイロットを使用する。複数アンテナのユーザ端末からの上りリンクのデータ送信の場合、アクセスポイントはMIMOパイロットを送信する。各複数アンテナのユーザ端末は、上りリンクでステアードパイロット及びステアードデータシンボルストリームを送信する。アクセスポイントは、データシンボルストリームを復元するために受信機空間処理（例えば、CCMI、MMSE、その他）を実行する。

【0119】

複数ユーザ非ステアードモードの場合、複数アンテナのユーザ端末への下りリンクのデータ送信に対して、アクセスポイントは下りリンクでMIMOパイロットを送信する。各ユーザ端末は、各アクセスポイントのアンテナからそれが受信出来るレートを決定して送り返す。アクセスポイントはユーザ端末のセットを選択し、アクセスポイントのアンテナから選択されたユーザ端末に対してデータシンボルストリームを送信する。複数アンテナのユーザ端末のそれぞれは、そのデータシンボルストリームを復元するために受信機空間処理（例えば、CCMI、MMSE、その他）を実行する。單一アンテナ及び／又は複数アンテナのユーザ端末からの上りリンクのデータ送信の場合、ユーザ端末は上りリンクで直交した（ステアされていない）パイロットを送信する。アクセスポイントは、上りリンク

10

20

30

40

50

クのパイロットに基づいて上りリンクのチャネル応答を推定し、互換性のあるユーザ端末のセットを選択する。選択されたユーザ端末のそれぞれは、ユーザ端末のアンテナからデータシンボルストリームを送信する。アクセスポイントは、データシンボルストリームを復元するために受信機空間処理（例えば、CCM1、MMSE、その他）を実行する。

【0120】

C. レート選択

下りリンク及び上りリンクに対する各データストリームは、空間多重化モードの1つを用いた広帯域空間チャネルmで送信される。また各データストリームはあるレートで送信され、そのレートはそのストリームに対して性能の目標レベル（例えば、1パーセントのパケット誤りレート（PER））を達成できるように選択される。各データストリームに対するレートはそのストリームに対して受信機で達成されるSNR（即ち、受信されたSNR）に基づいて決定することができる。上で説明したように、ここでのそのSNRは送信機及び受信機において実行される空間処理に依存する。

【0121】

代表的なレート選択方式において、広帯域空間チャネルmに対するレートを決定し、上で説明されたように、広帯域空間チャネルの各サブバンドkに対する（例えば、dB単位での）SNR推定値 $\gamma_m(k)$ が最初に得られる。次に平均SNR、 $\gamma_{avg,m}$ が以下のように広帯域空間チャネルmに対して計算される：

【数5】

$$\gamma_{avg,m} = \frac{1}{N_F} \sum_{k=1}^{N_F} \gamma_m(k) \quad \text{式(40)}$$

20

【0122】

SNR推定値の分散 $\sigma_{\gamma_m}^2$ は、また以下のように計算される：

【数6】

$$\sigma_{\gamma_m}^2 = \frac{1}{N_F - 1} \sum_{k=1}^{N_F} (\gamma_m(k) - \gamma_{avg,m})^2 \quad \text{式(41)}$$

30

【0123】

SNRのバックオフ（back-off）係数（factor）、 b_o, m は、平均SNR及びSNRの分散の関数 $F(\gamma_{avg,m}, \gamma_m^2)$ に基づいて決定される。例えば、関数 $F(\gamma_{avg,m}, \gamma_m^2) = K_b \cdot \gamma_m^2$ が使用されてもよく、ここで K_b は、データストリームに対して使用されるインターリービング、パケットサイズ、及び/又は符号化方式のようなMIMOシステムの1つ或いはそれ以上の特徴に基づいて選択されてよい調整係数である。SNRのバックオフ係数は広帯域空間チャネルでのSNRの変動を補償する。広帯域空間チャネルmに対する動作しているSNR、 $\gamma_{op,m}$ が以下のように次に計算される：

$$\gamma_{op,m} = \gamma_{avg,m} - b_o, m \quad \text{式(42)}$$

40

そしてデータストリームに対するレートは動作しているSNRに基づいて決定される。例えば、ルックアップ（look-up）表（LUT）は、MIMOシステムによってサポートされるレートのセット、及びそれらの要求されたSNRを保持してよい。各レートに対して要求されたSNRは、計算機シミュレーション、経験的測定、その他によって決定されてよく、AWGNチャネルの過程に基づいてよい。動作しているSNRに等しい、或いはそれより低い要求されたSNRを伴うルックアップ表の中の最高レートは、広帯域空間チャネルmで送られるデータストリームに対するレートとして選択される。

【0124】

50

様々な他のレート選択方式も使用されてよい。

【0125】

D. 閉ループレート制御

複数の広帯域空間チャネルで送信されたデータストリームのそれぞれに対して閉ループレート制御が使用されてよい。閉ループレート制御は1つ或いは複数のループで達成されてよい。

【0126】

図10は閉ループレート制御機構1000の実施形態のブロック図を示す。閉ループレート制御機構1000は外側のループ1020と共に動作する内側のループ1010を含む。内側のループ1010は、チャネル条件を推定し、各広帯域空間チャネルによってサポートされるレートを決定する。外側のループ1020は各広帯域空間チャネルで受信されたデータ送信の品質を推定し、それに応じて内側のループの動作を調整する。簡単のため、1つの下リンクの広帯域空間チャネルmに対するループ1010及び1020の動作が図10に示され、以下で説明される。

【0127】

内側のループ1010の場合、ユーザ端末120におけるチャネル推定器378は広帯域空間チャネルmを推定し、チャネル推定値（例えば、チャネル利得の推定値及び雑音の分散の推定値）を提供する。コントローラ380内のレート選択器1030は広帯域空間チャネルmによってサポートされたレートを以下に基づいて決定する、（1）チャネル推定器378からのチャネル推定値、（2）品質推定器1032からの広帯域空間チャネルmに対するS N R バックオフ係数及び/又はレート調整、そして（3）MIMOシステムによってサポートされるレート及びそれらの要求されたS N R からなるルックアップ表（LUT）1036。広帯域空間チャネルmに対してサポートされたレートはコントローラ380によってアクセスポイント110へ送られる。アクセスポイント110において、コントローラ330は広帯域空間チャネルmに対してサポートされたレートを受信し、この空間チャネルで送られることになっているデータストリームに対するデータレート、符号化、変調制御を決定する。そしてデータストリームは、T X データプロセッサ310によってこれらの制御に従って処理され、T X 空間プロセッサ320によって空間的に処理されてパイラットシンボルで多重化され、変調器322によって調節され、そしてユーザ端末120へと送信される。

【0128】

外側のループ1020は、広帯域空間チャネルmで受信された復号されたデータストリームの品質を推定し、内側のループ1010の動作を調整する。広帯域空間チャネルmに対して受信されたシンボルはR X 空間プロセッサ360によって空間的に処理され、R X データプロセッサ370によってさらに処理される。R X データプロセッサ370は、広帯域空間チャネルmで受信された各パケットの状態及び/又は復号器のメトリクス（metrics）を品質推定器1032へ提供する。外側のループ1020は、内側のループ1010の動作を制御するために使用される異なったタイプの情報（例えば、S N R バックオフ係数、レート調整、その他）を提供することができる。

【0129】

ゆえに、上で説明した閉ループレート制御は、下リンク及び上リンクの広帯域空間チャネルのそれぞれに対して独立して実行されてよい。下リンク及び上リンクの広帯域空間チャネルのそれぞれは、（1）単一ユーザステアードモードの場合は、広帯域固有モード、（2）単一ユーザ或いは複数ユーザの非ステアードモードの場合は、送信アンテナ、に対応し得る。

【0130】

E. ユーザ端末のスケジューリング

図11は、コントローラ330と下リンク及び上リンクでのデータ送信に対してユーザ端末をスケジュールするためのスケジューラ334との実施形態のブロック図を示す。コントローラ330の中でリクエストプロセッサ1110は、R A C H 上でユーザ端末

10

20

30

40

50

120によって送信されたアクセスリクエストを受信し、場合によっては他のソースからのアクセスリクエストを受信する。これらのアクセスリクエストは、下りリンク及び/又は上りリンクでのデータ送信のためのものである。リクエストプロセッサ1110は受信されたアクセスリクエストを処理し、リクエストしている全てのユーザ端末の識別（*identities*）（IDs）及び状態を提供する。ユーザ端末に対する状態は、端末で利用可能なアンテナの数、端末が調整されているかどうか、その他、を示してよい。

【0131】

上で説明したようにレート選択器1120は、チャネル推定器328からのチャネル推定値を受け取り、リクエストしているユーザ端末に対して下りリンク及び/又は上りリンクの広帯域空間チャネルによってサポートされるレートを決定する。下りリンクの場合、10 上で説明したように、各ユーザ端末120はその広帯域空間チャネルのそれぞれによってサポートされるレートを決定できる。サポートされたレートは、性能の目標レベルを達成するために広帯域空間チャネルでのデータ送信のために使用されてよい最大レートである。各ユーザ端末120は、その下りリンクの広帯域空間チャネルの全てに対してサポートされるレートを、例えばRACHを介して、アクセスポイント110へ送ることができる。或いは、（1）下りリンク及び上りリンクが相反であり、（2）アクセスポイント110にユーザ端末120における雑音の分散或いは雑音のフロア（*floor*）が提供されるならば、アクセスポイント110は、下りリンクの広帯域空間チャネルに対してサポートされるレートを決定できる。上りリンクの場合、アクセスポイント110は、リクエストしているユーザ端末120のそれぞれのために各広帯域空間チャネルに対してサポートされるレートを決定できる。20

【0132】

ユーザ選択器1140は、下りリンク及び/又は上りリンクでの可能なデータ送信のために、リクエストしている全てのユーザ端末の中から1つ或いはそれ以上のユーザ端末からなる異なるセットを選択する。ユーザ端末は、システムの要求、ユーザ端末の能力及びサポートされるレート、ユーザの優先度、送信されるデータの量、その他等の様々な基準に基づいて選択されてよい。複数ユーザの空間多重化モードの場合、各セットに対するユーザ端末はそれらのチャネル応答ベクトルに基づいて選択されてもよい。

【0133】

モード選択器1130はユーザ端末の各セットに対して使用するための特定の空間多重化モードを、そのセットの中のユーザ端末の動作状態及び能力と場合によっては他の要因に基づいて選択する。例えば、單一ユーザステアードモードは調整を実行した“調整された（*calibrated*）”複数アンテナのユーザ端末に対して使用されてよく、その結果1つのリンク（例えば、下りリンク）に対するチャネル応答は他のリンク（例えば、上りリンク）を介して受信された（例えば、ステアード）パイロットに基づいて推定することができる。單一ユーザ非ステアードモードは調整を実行していない、或いは何らかの理由で單一ユーザステアードモードをサポートできない“調整されていない（*uncalibrated*）”複数アンテナのユーザ端末に対して使用されてよい。複数ユーザステアードモードは、複数のユーザ端末への下りリンクの送信に使用されてよい。複数のユーザ端末のそれぞれは1つ或いはそれ以上のアンテナを備えている。複数ユーザ非ステアードモードは複数のユーザ端末による上りリンクの送信に使用されてよい。3040

【0134】

スケジューラ334は、ユーザ選択器1140からユーザ端末のセットを受信し、モード選択器1130から各ユーザ端末のセットのために選択された空間多重化モードを受信し、レート選択器1120から各ユーザ端末のセットのために選択されたレートを受信する。スケジューラ334は、下りリンク及び/又は上りリンクでのデータ送信のためにユーザ端末をスケジュールする。スケジューラ334は各TDDフレームに対して、下りリンクでのデータ送信に対してユーザ端末の1つ又はそれ以上のセットを選択し、上りリンクでのデータ送信に対してユーザ端末の1つ又はそれ以上のセットを選択する。各セットは、1つ或いはそれ以上のユーザ端末を含み、TDDフレーム内の指定された送信間隔の50

中のデータ送信に同時にスケジュールされる。

【0135】

スケジューラ334は下りリンク及び/又は上りリンクでのデータ送信にスケジュールされる各ユーザ端末のための情報要素(IE)を形成する。各情報要素は以下を含む、(1)データ送信のために使用される空間多重化モード、(2)各広帯域空間チャネルで送信されるデータストリームに対して使用するためのレート、(3)データ送信の開始及び持続期間、(4)あるいは他の情報(例えば、データ送信と共に送信されているパイロットのタイプ)。スケジューラ334はFCCHを介して、スケジュールされた全てのユーザ端末に対する情報要素を送る。各ユーザ端末はその情報要素を復元するためにFCCHを処理し、その後、下りリンクの送信を受信する、及び/あるいは受信されたスケジューリング情報に従って上りリンクの送信を送る。10

【0136】

図11は、複数の空間多重化モードがサポートされているときのデータ送信のためのユーザ端末のスケジューリングの実施形態を示す。スケジューリングは他のやり方で実行されてもよく、これは本発明の範囲の中にある。

【0137】

図12は、MIMOシステム100の中でのデータ送信のためにユーザ端末をスケジュールするための処理1200の流れ図を示す。少なくとも1つのユーザ端末からなるセットが、下りリンク及び/又は上りリンクでのデータ送信のために選択される(ブロック1212)。システムによってサポートされる複数の空間多重化モードの中からユーザ端末のセットのために空間多重化モードが選択される(ブロック1214)。ユーザ端末のセットのために複数の空間チャネルを介して送信されることになっている複数のデータストリームに対して複数のレートも選択される(ブロック1216)。ユーザ端末のセットは、選択されたレート及び選択された空間多重化モードで下りリンク及び/又は上りリンクでのデータ送信にスケジュールされる(ブロック1218)。20

【0138】

図13は、MIMOシステム100の下りリンクでデータを送信するための処理1300の流れ図を示す。処理1300はアクセスポイント110xによって実行されてよい。第1の複数のデータストリームは第1の複数のレートに従って符号化及び変調されて、第1の複数のデータシンボルストリームを得る(ブロック1312)。單一ユーザステアードモードの場合、第1の複数のデータシンボルストリームは第1の複数のステアリングベクトルで空間的に処理されて、第1の送信間隔での複数のアンテナから第1のユーザ端末への送信のための第1の複数の送信シンボルストリームを得る(ブロック1314)。第1の複数のデータストリームが直交する空間チャネルで第1のユーザ端末へと送信されるように、第1の複数のステアリングベクトルが導き出される。第2の複数のデータストリームは、第2の複数のレートに従って符号化され変調されて第2の複数のデータシンボルストリームを得る(ブロック1316)。單一ユーザ非ステアードモードの場合、第2の複数のデータシンボルストリームは、第2の送信間隔での複数のアンテナから第2のユーザ端末への送信のための第2の複数の送信シンボルストリームとして提供される(ブロック1318)。第3の複数のデータストリームは符号化されてそして変調されて、第3の複数のデータシンボルストリームを得る(ブロック1320)。複数ユーザステアードモードの場合、第3の複数のデータシンボルストリームは第2の複数のステアリングベクトルで空間的に処理されて、第3の送信間隔での複数のアンテナから複数のユーザ端末への送信のための第3の複数の送信シンボルストリームを得る(ブロック1322)。第3の複数のデータシンボルストリームが複数のユーザ端末において混信が抑制されて受信されるように、第2の複数のステアリングベクトルが導き出される。3040

【0139】

図14は、MIMOシステム100における上りリンクでデータを受信するための処理1400の流れ図を示す。処理1400はアクセスポイント110xによって実行されてもよい。受信機空間処理は第1の空間多重化モード(例えば、單一ユーザステアードモー50

ド)に従って第1の複数の受信されたシンボルストリームに実行され、第1の複数の復元されたデータシンボルストリームを得る(ブロック1412)。第1の複数の復元されたデータシンボルストリームは第1の複数のレートに従って復調及び復号されて、第1の複数の復号されたデータストリームを得る(ブロック1414)。第2の空間多重化モード(例えば、非ステアードモード)に従って第2の複数の受信されたシンボルストリームに受信機空間処理が実行され、第2の複数の復元されたデータシンボルストリームを得る(ブロック1416)。第2の複数の復元されたデータシンボルストリームは第2の複数のレートに従って復調及び復号されて第2の複数の復号されたデータストリームを得る(ブロック1418)。第2の複数の復号されたデータストリームは1つ或いは複数のユーザ端末によって送信されたデータストリームの推定である。

10

【0140】

各ユーザ端末は、1つ或いは複数の上りリンクの広帯域空間チャネルでデータを送信するため、そして1つ或いは複数の下りリンクの広帯域空間チャネルでデータを受信するために対応する処理を実行する。

【0141】

ここで説明されるように、複数の空間多重化モードを伴うデータ送信は、さまざまな手段で実現されてよい。例えば、処理はハードウェア、ソフトウェア、或いはそれらの組み合わせで実現されてよい。ハードウェアで実現する場合、データ処理を実行するために使用される処理ユニット、空間処理、そしてアクセスポイントにおけるスケジューリングは、1つ或いはそれ以上の、特定用途向け集積回路(A S I C)、デジタル信号プロセッサ(D S P)、デジタル信号処理装置(D S P D)、プログラム可能な論理装置(P L D)、フィールドプログラマブルゲートアレー(F P G A)、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、ここで説明された機能或いはそれらの組み合わせを実行するように設計された他の電子ユニット、の中で実現されてよい。ユーザ端末における処理ユニットは、1つ或いはそれ以上のA S I C、D S P、その他での上で実現されてもよい。

20

【0142】

ソフトウェアで実現する場合、アクセスポイント及びユーザ端末における複数の空間多重化モードを伴うデータ送信のための処理はモジュール(例えば、手続き、関数、その他)で実現されてよい。モジュールは、ここで説明される機能を実行する。ソフトウェアのコード(c o d e s)は、メモリユニット(例えば、図3のメモリユニット332或いは382)に保持されてよく、プロセッサ(例えば、コントローラ330或いは380)によって実行されてよい。メモリユニットは、プロセッサの中或いはプロセッサの外側で実現されてよい。

30

【0143】

見出し(H e a d i n g s)は、参照のため及び特定のセクションを捜す助けにするために、ここに含まれる。これらの見出しが、このなかで説明される概念の範囲を制限するように意図されてはおらず、これらの概念は明細書の全体を通して他のセクションでの応用可能性を有してよい。

【0144】

40

開示された実施形態の以上の説明は、いかなる当業者でも本発明を製造し或いは使用することが可能となるように与えられる。これらの実施形態へのさまざまな修正は当業者には容易に明らかとなり、そしてここで規定された一般的の原理は本発明の趣旨および範囲から逸脱することなく他の実施形態へ適用されてよい。したがって、本発明は、ここで示された実施形態に限定されることを意図されず、ここで開示された原理および新規な特徴と矛盾しない最も広い範囲を与えられるべきである。

【図面の簡単な説明】

【0145】

【図1】多重アクセスM I M Oシステムを示す。

【図2】M I M Oシステムに対するフレーム及びチャネルの構成を示す。

50

【図3】MIMOシステムにおけるアクセスポイント及び2つのユーザ端末を示す。

【図4】アクセスポイントにおける送信(TX)データプロセッサを示す。

【図5】アクセスポイントにおけるTX空間プロセッサ及び変調器を示す。

【図6】複数アンテナのユーザ端末における復調器と受信(RX)空間プロセッサを示す

8

【図7】複数アンテナのユーザ端末におけるRXデータプロセッサを示す。

【図8】連続干渉除去（SIC）技術を実現するRX空間プロセッサ及びRXデータプロセッサを示す。

【図9】アクセスポイント及びユーザ端末における送信／受信チャインを示す。

【図10】閑ループレート制御機構を示す。

【図1.1】コントローラ及びユーザ端末をスケジュールするためのスケジューラを示す。

【図1-2】元一文送信のためのユーチューバー端末をスケジューラ化するための処理を示す

【図13】下リンクでデータを送信するための処理を示す

【図14】上位リンクでデータを受信するための処理を示す。

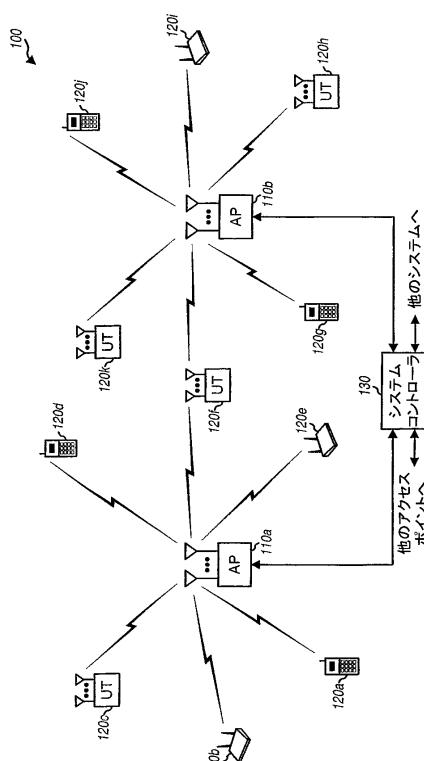
【図1】主な 【符号の説明】

1995-1996

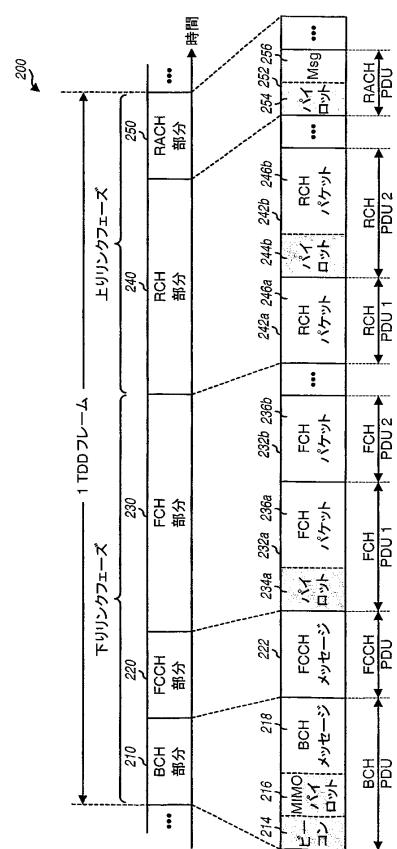
1-9-9 M-T-Mの分子式 3-9-9 代表的なブリッジと重ねさせの構成

100...M1M0...S1S0...、 200...代表的なフレームとアドバルの構成、
1000 開ループレート制御機構 1300 1300 1400 加理

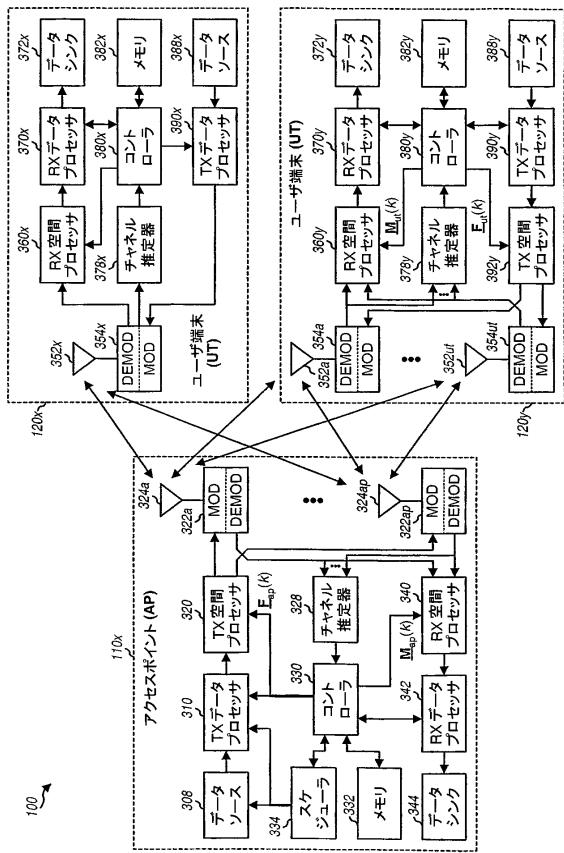
( 1)



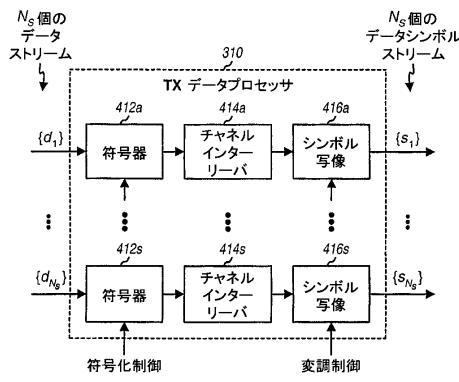
〔 図 2 〕



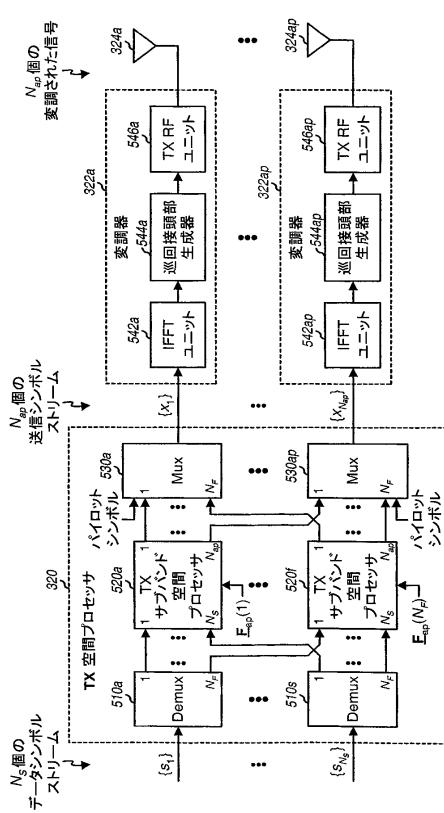
【図3】



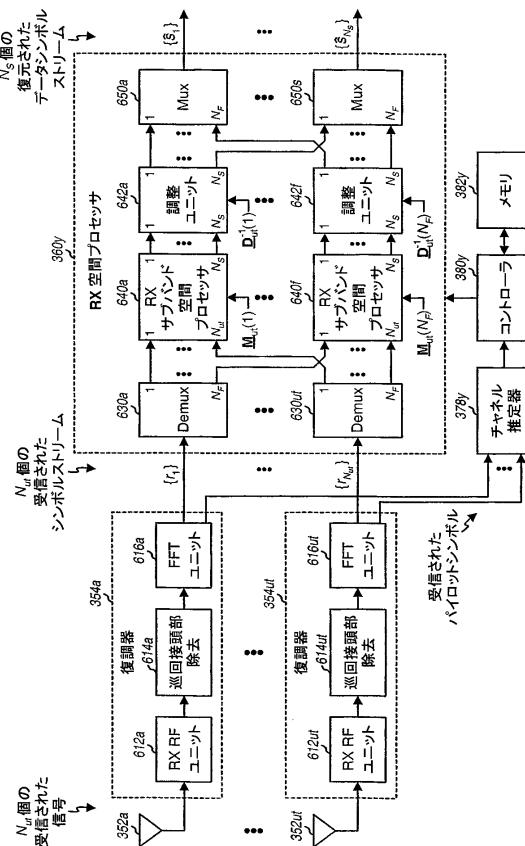
【 図 4 】



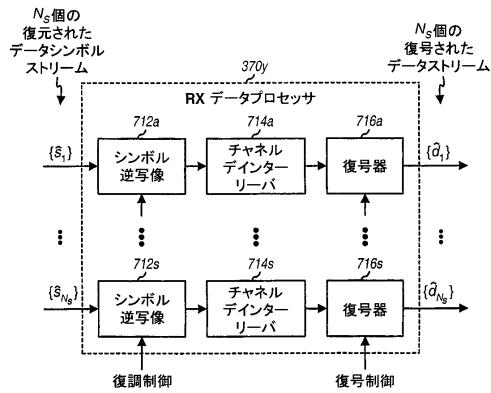
【 四 5 】



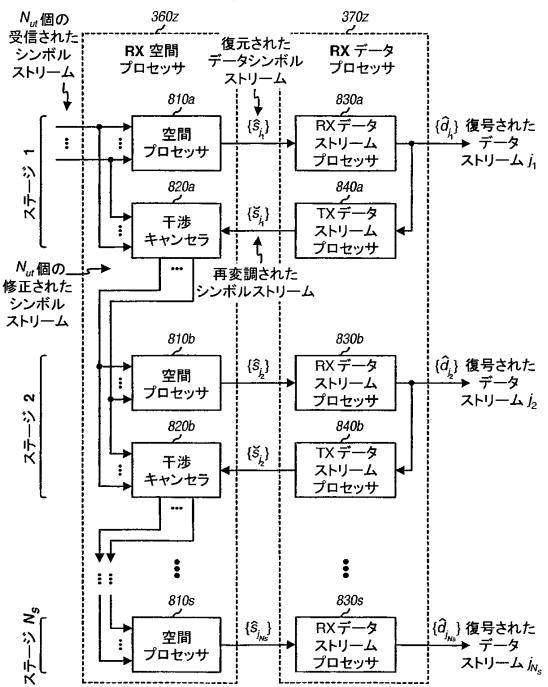
【 四 6 】



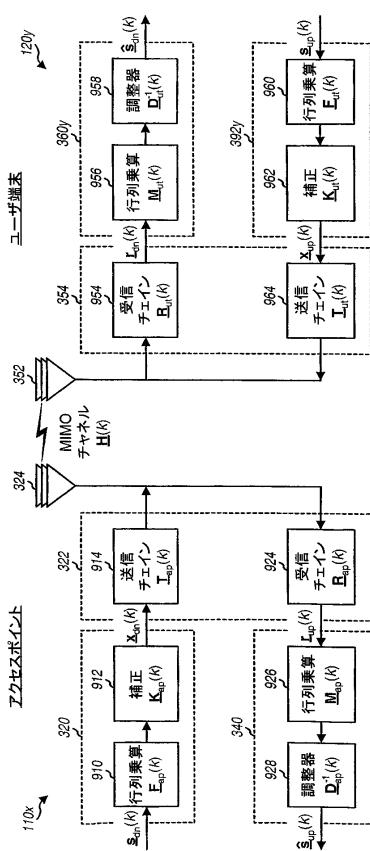
【図7】



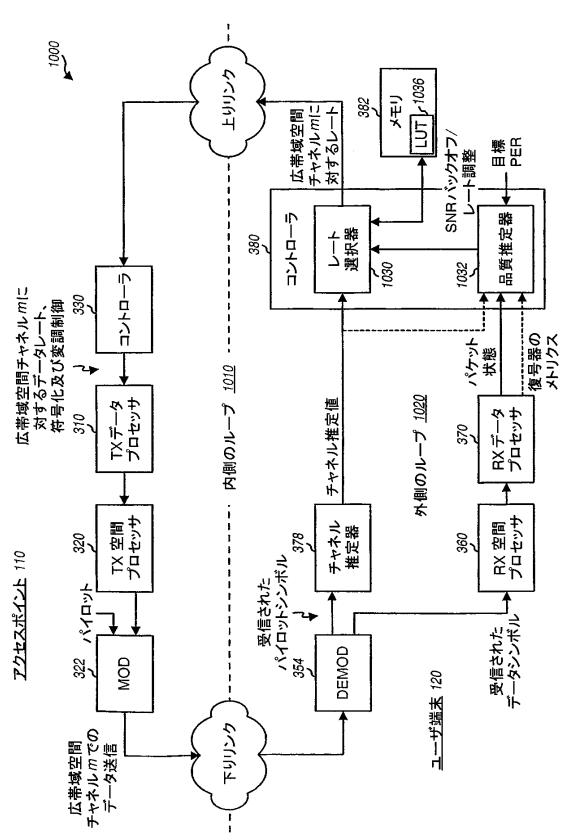
【図8】



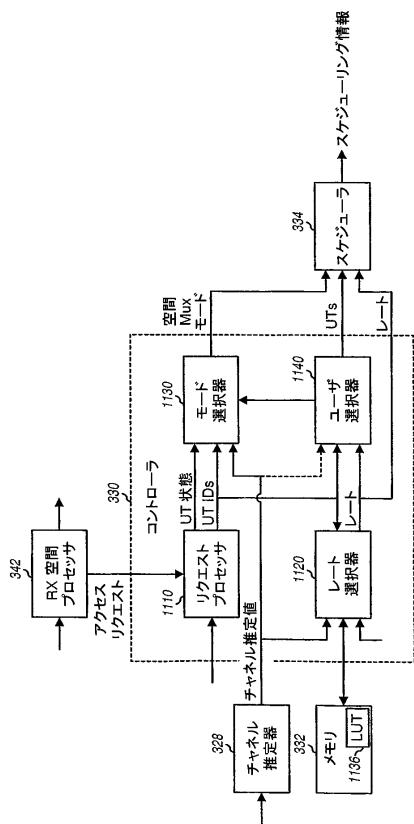
【図9】



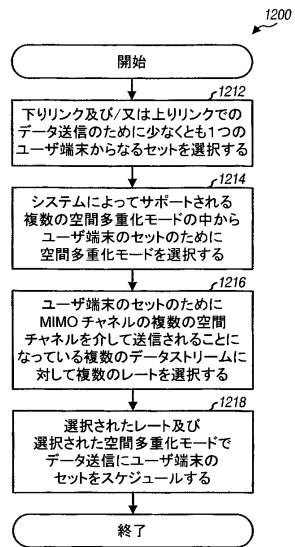
【図10】



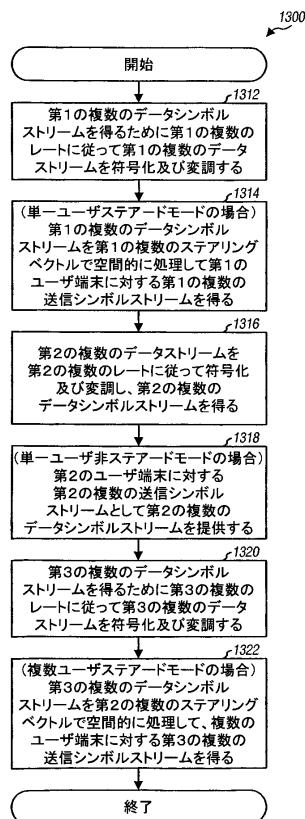
【図11】



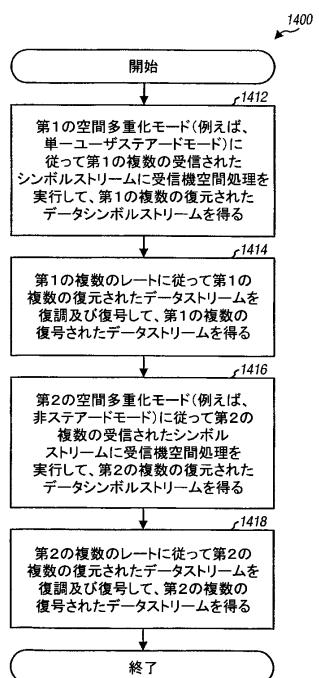
【図12】



【図13】



【図14】



フロントページの続き

(74)代理人 100075672
弁理士 峰 隆司

(74)代理人 100095441
弁理士 白根 俊郎

(74)代理人 100084618
弁理士 村松 貞男

(74)代理人 100103034
弁理士 野河 信久

(74)代理人 100119976
弁理士 幸長 保次郎

(74)代理人 100153051
弁理士 河野 直樹

(74)代理人 100140176
弁理士 砂川 克

(74)代理人 100101812
弁理士 勝村 紘

(74)代理人 100124394
弁理士 佐藤 立志

(74)代理人 100112807
弁理士 岡田 貴志

(74)代理人 100111073
弁理士 堀内 美保子

(74)代理人 100134290
弁理士 竹内 将訓

(74)代理人 100127144
弁理士 市原 卓三

(74)代理人 100141933
弁理士 山下 元

(72)発明者 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 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 3
7

(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 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
5

合議体

審判長 藤井 浩

審判官 新川 圭二

審判官 石井 研一

(56)参考文献 國際公開第01/71928 (WO, A2)
米国特許第6377812 (U.S., B1)
欧州特許出願公開第1182799 (E.P., A1)

欧洲特許出願公開第 1185001 (EP, A1)
米国特許第 6351499 (US, B1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04J 15/00

H04B 7/04