

(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 I
<b>H04 J 99/00 (2009.01)</b>	H04 J 15/00
<b>H04 B 7/04 (2006.01)</b>	H04 B 7/04

請求項の数 44 (全 42 頁)

(21) 出願番号	特願2004-547248 (P2004-547248)	(73) 特許権者	595020643
(86) (22) 出願日	平成15年10月24日 (2003. 10. 24)		クァアルコム・インコーポレイテッド
(65) 公表番号	特表2006-504339 (P2006-504339A)		QUALCOMM INCORPORATED
(43) 公表日	平成18年2月2日 (2006. 2. 2)		アメリカ合衆国、カリフォルニア州 92
(86) 国際出願番号	PCT/US2003/034519		121-1714、サン・ディエゴ、モア
(87) 国際公開番号	W02004/038984		ハウス・ドライブ 5775
(87) 国際公開日	平成16年5月6日 (2004. 5. 6)	(74) 代理人	100108855
審査請求日	平成18年10月24日 (2006. 10. 24)		弁理士 蔵田 昌俊
審判番号	不服2010-8575 (P2010-8575/J1)	(74) 代理人	100091351
審判請求日	平成22年4月22日 (2010. 4. 22)		弁理士 河野 哲
(31) 優先権主張番号	60/421, 309	(74) 代理人	100088683
(32) 優先日	平成14年10月25日 (2002. 10. 25)		弁理士 中村 誠
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100109830
(31) 優先権主張番号	10/693, 429		弁理士 福原 淑弘
(32) 優先日	平成15年10月23日 (2003. 10. 23)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 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。

【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。

【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。

【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を含む請求項1記載の方法。

【請求項15】

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

10

20

30

40

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 1 6】

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 1 5 記載の装置。

【請求項 1 7】

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 1 5 記載の装置。

10

【請求項 1 8】

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；

前記少なくとも2つのユーザ端末のために、MIMO チャンネルの複数の空間チャン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

20

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 1 9】

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 1 8 記載の装置。

【請求項 2 0】

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 1 8 記載の装置。

30

【請求項 2 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 2 2】

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 チャンネルの複数の空間チャン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 2 1 記載の方法。

【請求項 2 3】

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、チャネル相関行列反転 (CCMI) 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 (MMSE) 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 (SIC) 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 (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：

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 (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、MIMO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41】

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42】

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41記載の装置。

【請求項43】

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(CCI)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41記載の装置。

【請求項44】

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41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

ネ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、送信機及び受信機的能力、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。

#### 【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。

#### 【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。

#### 【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

10

20

30

40

50

術、或いは他の何らかの構成によって提供されてよい。OFDM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(tones)、ビン(bins)、キャリア、そして周波数チャネルとも呼ばれる。OFDM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OFDMを利用するMIMO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単一キャリアのMIMOシステムに対しても等しく適用可能である。

【0011】

MIMO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。

10

【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単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単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)単一の送信機から複数の受信機へ、又は(2)複数の送信機から単一の受信機へ、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)複数の送信機から単一の受信機へ、又は(2)単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。

20

30

【0012】

MIMO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(decomposition)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。

40

【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MIMO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：



## 【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。

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。単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  $\underline{\underline{H}}(k)$  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  $\lambda_i(k) = \lambda_i(k)$  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  $\underline{\underline{H}}(k)$  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】

単一ユーザステアード空間多重化モード(或いは、簡単に“単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】

単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：

10

20

30

40

【数 2】

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

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

10

【0028】

ここで  $\underline{\tilde{s}}_{su-s}(k)$  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；

$\underline{s}^{\wedge}_{su-s}(k)$  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

$\underline{n}_{su-s}(k)$  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  $\underline{\tilde{s}}_{su-s}(k)$  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  $\underline{s}^{\wedge}_{su-s}(k)$  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き処理ユニットへ提供される。

20

【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  $\underline{F}_{su-s}(k)$  は以下のように表現されてよい：

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

)

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：

30

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

)

単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  $\underline{H}(k)$ 、或いは  $\underline{H}(k)$  の右固有ベクトルの行列  $\underline{V}(k)$  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  $\underline{H}(k)$  或いは  $\underline{V}(k)$  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  $\underline{H}(k)$  或いは  $\underline{U}^H(k)$  を得ることができる。後処理されたチャネルの雑音  $\underline{n}_{su-s}(k)$  によってのみに歪められた  $N_s$  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単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。

40

【0031】

単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：

$$\underline{s}_{su-s,m}(k) = P_m(k) \underline{m}(k) / \sigma^2, m = 1 \dots N_s,$$

式(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；

50

$\underline{m}(k)$  は  $\underline{s}(k)$  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

$\underline{s}_{u-s, m}(k)$  は広帯域固有モード  $m$  のサブバンド  $k$  に対する  $SNR$  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  $\underline{F}_{n_s}(k)$  は以下のように表現されてよい：

$$\underline{F}_{n_s}(k) = \underline{I} \quad \text{式(10)}$$

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：

$$\underline{x}_{n_s}(k) = \underline{s}(k), \quad \text{式(11)}$$

ここで  $\underline{x}_{n_s}(k)$  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：

$$\underline{r}_{n_s}(k) = \underline{H}(k) \underline{x}_{n_s}(k) + \underline{n}(k) = \underline{H}(k) \underline{s}(k) + \underline{n}(k) \quad \text{式(12)}$$

チャネル相関行列反転 (CCMI) 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 (MMSE) 技術、判定帰還形等化器 (DFE)、連続干渉除去 (successive interference cancellation) (SIC) 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  $\underline{s}(k)$  を復元できる。

#### 【0035】

### A. CCMI 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 CCMI 技術を用いることができる。CCMI 受信機は、 $k = 1 \dots N_F$  に対して  $\underline{M}_{ccmi}(k)$  の応答を有する空間フィルタを利用する。 $\underline{M}_{ccmi}(k)$  は以下のように表現されてよい：

$$\underline{M}_{ccmi}(k) = [\underline{H}^H(k) \underline{H}(k)]^{-1} \underline{H}^H(k) = \underline{R}^{-1}(k) \underline{H}^H(k) \quad \text{式(13)}$$

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

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

ここで  $\underline{s}^{\wedge}_{ccmi}(k)$  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

$\underline{n}_{ccmi}(k) = \underline{M}_{ccmi}(k) \underline{n}(k)$  はサブバンド  $k$  に対する CCMI のフィルタがかけられた (CCMI filtered) 雑音である。

#### 【0036】

各サブバンドに対する CCMI のフィルタがかけられた雑音の自己共分散  $\underline{\sigma}_{ccmi}($

10

20

30

40

50

k) は以下のように表現されてよい：

$$\begin{aligned} \underline{r}_{ccmi}(k) &= E[\underline{n}_{ccmi}(k) \underline{n}_{ccmi}^H(k)], \\ &= \underline{M}_{ccmi}(k) \underline{r}_{nn}(k) \underline{M}_{ccmi}^H(k), \\ (15) \quad &= \sigma^2 \underline{R}^{-1}(k), \end{aligned} \quad \text{式}$$

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  $\sigma^2$ 、自己共分散行列  $\underline{r}_{nn}(k) = E[\underline{n}(k) \underline{n}^H(k)] = \sigma^2 \underline{I}$  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：

$$\rho_{ccmi, m} = P_m(k) / (\sigma^2 r_{mm}(k)), \quad m = 1 \dots N_s, \quad \text{式(16)} \quad 10$$

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；

$r_{mm}(k)$  はサブバンド  $k$  に対する  $\underline{R}(k)$  の  $m$  番目の対角要素であり；そして  $\rho_{ccmi, m}$  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】

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

【0038】

#### B. MMSE空間処理

受信機は、データシンボルストリームの中のクロストーク(crosstalk)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MMSE技術を用いることができる。MMSE受信機は、 $k = 1 \dots N_F$  に対して  $\underline{M}_{mms_e}(k)$  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MMSE基準は以下のように表現されてよい：

【数3】

$$\min_{(\underline{M}_{mms_e}(k))} E[(\underline{M}_{mms_e}(k) \underline{r}_{ns}(k) - \underline{s}(k))^H (\underline{M}_{mms_e}(k) \underline{r}_{ns}(k) - \underline{s}(k))] \quad \text{式(17)} \quad 20$$

【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MMSE空間フィルタ行列  $\underline{M}_{mms_e}(k)$  は以下のように表現されてよい：

$$\begin{aligned} \underline{M}_{mms_e}(k) &= \underline{H}^H(k) [\underline{H}(k) \underline{H}^H(k) + \underline{r}_{nn}(k)]^{-1}, \\ &= \underline{H}^H(k) [\underline{H}(k) \underline{H}^H(k) + \sigma^2 \underline{I}]^{-1}. \end{aligned} \quad \text{式(18)} \quad 30$$

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  $\sigma^2$  のAWGNであることを仮定する。

【0040】

単一ユーザ非ステアードモードのためのMMSE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  $\underline{\tilde{s}}_{mms_e}(k)$  を得るために、MMSE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  $\underline{r}_{ns}(k)$  をMMSE空間フィルタ行列  $\underline{M}_{mms_e}(k)$  で乗ずる：

$$\begin{aligned} \underline{\tilde{s}}_{mms_e}(k) &= \underline{M}_{mms_e}(k) \underline{r}_{ns}(k), \\ &= \underline{M}_{mms_e}(k) (\underline{H}(k) \underline{s}(k) + \underline{n}(k)), \\ (19) \quad &= \underline{Q}(k) \underline{s}(k) + \underline{n}_{mms_e}(k), \end{aligned} \quad \text{式(19)} \quad 40$$

ここで  $\underline{n}_{mms_e}(k) = \underline{M}_{mms_e}(k) \underline{n}(k)$  はMMSEのフィルタがかけられた

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、MMSE 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。

10

【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：

$$\begin{aligned} \underline{Q}(k) &= \underline{H}^H(k) \underline{I}_{n n}^{-1}(k) \underline{H}(k) [\underline{H}^H(k) \underline{I}_{n n}^{-1}(k) \underline{H}(k) + \underline{I}]^{-1}, \\ &= \underline{H}^H(k) \underline{H}(k) [\underline{H}^H(k) \underline{H}(k) + \sigma^2 \underline{I}]^{-1}. \end{aligned}$$

式(21)

21)

式(21)の中の第2の等式は、雑音が平均ゼロで分散  $\sigma^2$  の AWGN であることを仮定する。

20

【0043】

MMSE 受信機に対する SNR は以下のように表現されてよい：

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

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  $\underline{m m s e}, m(k)$  は広帯域空間チャネル  $m$  のサブバンド  $k$  に対する SNR 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 SIC 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。SIC 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、CCM I、MMSE、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、デインターリーブし (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。

30

40

【0045】

SIC 受信機の場合、 $l = 1, \dots, N_s$  であってステージ  $l$  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：

$$\underline{r}_{s i c}^{l}(k) = \underline{H}^1(k) \underline{x}_{n s}^{l}(k) + \underline{n}(k) = \underline{H}^1(k) \underline{s}^1(k) + \underline{n}(k),$$

式(23)

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

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、 $\underline{H}^1(k) = [\underline{h}_{j_1}(k) \ \underline{h}_{j_1+1}(k) \ \dots \ \underline{h}_{j_{N_T}}(k)]$  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。

10

【0047】

ステージ 1 で、式(13)で示される CCMI 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  $\underline{M}_{s_{ic}}^1(k)$  を導き出す。行列  $\underline{M}_{s_{ic}}^1(k)$  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  $\underline{M}_{s_{ic}}^1(k)$  も異なっている。

20

【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  $\underline{s}_{s_{ic}}^1(k)$  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  $\underline{r}_{s_{ic}}^1(k)$  を空間フィルタ行列  $\underline{M}_{s_{ic}}^1(k)$  と乗ずる：

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

式(24)

$$= \underline{Q}_{s_{ic}}^1(k) \underline{s}^1(k) + \underline{n}_{s_{ic}}^1(k),$$

30

ここで  $\underline{n}_{s_{ic}}^1(k) = \underline{M}_{s_{ic}}^1(k) \underline{n}^1(k)$  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、 $\underline{Q}_{s_{ic}}^1(k) = \underline{M}_{s_{ic}}^1(k) \underline{H}^1(k)$  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  $\underline{M}_{s_{ic}}^1(k)$  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：

$$\underline{s}_{j_1}^1(k) = \underline{m}_{j_1}^1(k) \underline{r}_{s_{ic}}^1(k) = \underline{q}_{j_1}^1(k) \underline{s}^1(k) + \underline{m}_{j_1}^1(k) \underline{n}(k),$$

40

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  $\underline{Q}_{s_{ic}}^1(k)$  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  $\{s_{j_1}^{\wedge}\}$  を得るために検出されたシンボルストリーム  $\{s_{j_1}^{\sim}\}$  を調整し、復号されたデータストリーム  $\{d_{j_1}^{\wedge}\}$  を得るためにそのストリーム  $\{s_{j_1}^{\wedge}\}$  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  $\{d_{j_1}^{\wedge}\}$  を送信機で実行され

50

たのと同じやり方で再符号化し、インターリーブし、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  $\underline{i}_{j-1}(k)$  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  $\underline{h}_{j-1}(k)$  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  $l$  で  $N_R$  個の修正されたシンボルストリーム  $\underline{r}_{s_{i c}^{l-1}}(k)$  から引かれて、次のステージ  $l+1$  での  $N_R$  個の修正されたシンボルストリーム  $\underline{r}_{s_{i c}^{l+1}}(k)$  を得る。即ち、 $\underline{r}_{s_{i c}^{l+1}}(k) = \underline{r}_{s_{i c}^{l-1}}(k) - \underline{i}_{j-1}(k)$  である。修正されたシンボルストリーム  $\underline{r}_{s_{i c}^{l+1}}(k)$  は、データシンボルストリーム  $\{s_{j-1}\}$  が送信されなかっ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 を達成することが出来るだろう。

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：

$s_{i c - c c m i, m}(k) = P_m(k) / (r_{m m}^{l-1}(k)^{-2})$ ,  $m = 1 \dots N_S$   
、式(26)

30

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

$s_{i c - m m s e, m}(k) = q_{m m}^{l-1}(k) P_m(k) / (1 - q_{m m}^{l-1}(k))$ ,  $m = 1 \dots N_S$ 、式(27)

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

40

【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(signature)”に基づいて単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。

【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 $\underline{H}_{m u - s}(k)$ 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 $\underline{F}_{m u - s}(k)$ を得るためにチャネル反転を用いる：

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

8)

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：

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

9)

ここで $\underline{x}_{m u - s}(k)$ 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：

$$\begin{aligned} \underline{r}_{m u - s}(k) &= \underline{H}_{m u - s}(k) \underline{x}_{m u - s}(k) + \underline{n}(k), \\ &= \underline{H}_{m u - s}(k) \underline{F}_{m u - s}(k) \underline{s}(k) + \underline{n}(k), \end{aligned} \quad \text{式(3)}$$

30)

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

ここで $\underline{r}_{m u - s}(k)$ 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 $\underline{F}_{m u - s}(k)$ 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 $\underline{r}_{m u - s}(k)$ 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。

【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(coherently)復調するだろう。

【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 $\underline{H}_{m u - s}(k)$ 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

10

20

30

40

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ＳＮＲ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ことを強いるからである。また、いくつかのチャネル、特に $\underline{H}_{m_u-s}(k)$ 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（rank）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（precodes）、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 $\underline{H}_{m_u}(k)$ を形成することができる。そして送信機は $\underline{H}_{m_u}(k) = \underline{F}_{t_r i}(k) \underline{Q}_{m_u}(k)$ となるように $\underline{H}_{m_u}(k)$ に対してQR分解（factorization）を実行する。ここで $\underline{F}_{t_r i}(k)$ は左下三角行列であり、 $\underline{Q}_{m_u}(k)$ 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 $\underline{s}(k) = [s_1(k) \ s_2(k) \ \dots \ s_{N_T}(k)]^T$ 、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 $\underline{a}(k) = [a_1(k) \ a_2(k) \ \dots \ a_{N_T}(k)]^T$ を得る：

【数４】

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

【００６３】

ここで $M$ はＱＡＭ信号の正方の配置（constellation）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

$f_{\ell i}(k)$ は $\underline{F}_{t_r i}(k)$ の $i$ 行 $j$ 列の要素である。

【００６４】

モジュロ（modulo）（mod）操作は $M$ の十分な数の整数倍を変数（argument）に加え、それによってその結果が $a_1(k) \in [-M/2, M/2]$ 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 $\underline{x}_{m_u-p_c}(k) = \underline{Q}_{m_u}^H(k) \underline{a}(k)$ を生成するために事前符号化されたシンボルベクトル $\underline{a}(k)$ をユニタリステアリング行列 $\underline{Q}_{m_u}(k)$ 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：

$$\underline{r}_{m_u-p_c}(k) = \underline{H}_{m_u}(k) \underline{Q}_{m_u}^H(k) \underline{a}(k) + \underline{n}(k) = \underline{F}_{t_r i}(k) \underline{a}(k) + \underline{n}(k) \quad \text{式(32)} \quad 40$$

$\underline{F}_{t_r i}(k) \underline{a}(k) \bmod(M/2) = \underline{s}(k)$ 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 $\underline{s}^\wedge_{m_u-p_c}(k) = \underline{r}_{m_u-p_c}(k) \bmod(M/2)$ 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 $\underline{r}_{m_u-p_c}(k)$ 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 $\bmod(M/2)$ 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 $\underline{H}_{m_u}(k)$ 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。

## 【 0 0 6 7 】

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、CCMI、MMSE、等）を実行する。

## 【 0 0 6 8 】

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、下りリンクに対する）、そして（2）複数の送信機による単一の受信機への（例えば、上りリンクに対する）データの同時送信をサポートする。

## 【 0 0 6 9 】

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）。

## 【 0 0 7 0 】

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、CCMI、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。

## 【 0 0 7 1 】

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、CCMI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 $\underline{\mathbf{F}}(k)$	受信 $\underline{\mathbf{M}}(k)$	調整	SIC
単一ユーザステアード	$\underline{\mathbf{V}}(k)$	$\underline{\mathbf{U}}^H(k)$	$\underline{\Sigma}^{-1}(k)$	不可
単一ユーザ非ステアード	$\underline{\mathbf{I}}$	$\underline{\mathbf{M}}_{ccmi}(k)$ $\underline{\mathbf{M}}_{mmse}(k)$	- $\underline{\mathbf{D}}_{mmse}^{-1}(k)$	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)	$\underline{\mathbf{H}}_{mu-s}^{-1}(k)$	-	-	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)	$\underline{\mathbf{I}}$	$\underline{\mathbf{M}}_{ccmi}(k)$ $\underline{\mathbf{M}}_{mmse}(k)$	- $\underline{\mathbf{D}}_{mmse}^{-1}(k)$	可

## 【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。

## 【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。

## 【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

10

20

30

40

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 PDU 232aはパイロット234a、データパケット236aを含み、FCH PDU 232b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 PDU 242aはデータパケット246aのみを含み、RCH PDU 242b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 PDU 252はパイロット254とメッセージ256を含む。

#### 【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のブロック図を示す。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フィックデータを、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 $\underline{F}_{ap}(k)$ 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 $\underline{F}_{ap}(k)$ 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。

#### 【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、増幅し、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】

10

20

30

40

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 $\underline{M}_{ut}(k)$ 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 $\{s_m^{\wedge}\}$ 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、復元されたトラフィックデータ、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。

#### 【0083】

各ユーザ端末120において、チャンネル推定器378は下りリンクのチャンネル応答を推定し、チャンネル推定値を提供する。チャンネル推定値はチャンネル利得の推定値、SNRの推定値、その他を含んでよい。コントローラ380はチャン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ンネル応答行列 $\underline{H}_{dn}(k)$ に基づいて、下りリンクのための空間フィルタ行列 $\underline{M}_{ut}(k)$ 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 $\underline{F}_{ut}(k)$ 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、パ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。

#### 【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リングすること、(2)スケジューリング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。

#### 【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、スケジューリングされたユーザ端末それぞれ

10

20

30

40

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ぞれをグループにし、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 $\{x_j\}$ 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、 $N_a$

10

20

30

40

50

$p$  個のアンテナ 3 2 4 a から 3 2 4 a  $p$  のために、 $j = 1 \dots N_{a p}$  に対して、 $N_{a p}$  個の送信シンボルストリーム  $\{x_j\}$  を提供する。

【 0 0 9 0 】

図 5 で示される実施形態に対して、各復調器 3 2 2 は、高速逆フーリエ変換 ( I F F T ) ユニット 5 4 2、巡回接頭部 ( c y c l i c p r e f i x ) 生成器 5 4 4、そして T X R F ユニット 5 4 6 を備える。 I F F T ユニット 5 4 2 及び巡回接頭部生成器 5 4 4 は O F D M 変調器を形成する。各変調器 3 2 2 は T X 空間プロセッサ 3 2 0 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。 I F F T ユニット 5 4 2 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 5 4 4 は、各変換されたシンボルの一部を繰返し、 $N_F + N_{c p}$  個のチップを含む対応する O F D M 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存在下で O F D M シンボルがその直交性を保持することを保証する。 T X R F ユニット 5 4 6 は生成器 5 4 4 から O F D M 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。 $N_{a p}$  個の下りリンクの変調された信号は、 $N_{a p}$  個のアンテナ 3 2 4 a から 3 2 4 a  $p$  までからそれぞれ送信される。

【 0 0 9 1 】

図 6 は、複数アンテナのユーザ端末 1 2 0 y の復調器 3 5 4 a から 3 5 4 u t と R X 空間プロセッサ 3 6 0 y の実施形態のブロック図を示す。ユーザ端末 1 2 0 y で  $N_{u t}$  個のアンテナ 3 5 2 a から 3 5 2 u t は、アクセスポイント 1 1 0 x によって送信された  $N_{a p}$  個の変調された信号を受け取り、 $N_{u t}$  個の受信された信号を  $N_{u t}$  個の復調器 3 5 4 a から 3 5 4 u t へそれぞれ提供する。各復調器 3 5 4 は、R X R F ユニット 6 1 2、巡回接頭部除去ユニット 6 1 4、そして高速フーリエ変換 ( F F T ) ユニット 6 1 6 を備える。ユニット 6 1 4 及び 6 1 6 は O F D M 復調器を形成する。各復調器 3 5 4 の中で、R X R F ユニット 6 1 2 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 ( d i g i t i z e s )、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 6 1 4 は受信された O F D M シンボルのそれぞれの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 F F T ユニット 6 1 6 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。 F F T ユニット 6 1 6 は、受信されたシンボルのストリームを R X 空間プロセッサ 3 6 0 y 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 3 7 8 y へ提供する。

【 0 0 9 2 】

図 6 で示される実施形態の場合、R X 空間プロセッサ 3 6 0 y は、ユーザ端末 1 2 0 y における  $N_{u t}$  個のアンテナのための  $N_{u t}$  個の逆多重化器 6 3 0 a から 6 3 0 u t、 $N_F$  個のサブバンドのための  $N_F$  個の R X サブバンド空間プロセッサ 6 4 0 a から 6 4 0 f 及び  $N_F$  個の調整 ( s c a l i n g ) ユニット 6 4 2 a から 6 4 2 f、 $N_s$  個のデータストリームのための  $N_s$  個の多重化器 6 5 0 a から 6 5 0 s を備える。 R X 空間プロセッサ 3 6 0 y は、復調器 3 5 4 a から 3 5 4 u t から、 $i = 1 \dots N_{u t}$  に対する  $N_{u t}$  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 6 3 0 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 6 4 0 a から 6 4 0 f に提供する。各空間プロセッサ 6 4 0 は、 $N_{u t}$  個の逆多重化器 6 3 0 a から 6 3 0 u t からそのサブバンドのために  $N_{u t}$  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 6 4 0 は、検出されたシンボルベクトル  $\underline{s}_{d n}(k)$  を得るために受信されたベクトル  $\underline{r}_{d n}(k)$  に行列  $\underline{M}_{u t}(k)$  を乗ずる。行列  $\underline{M}_{u t}($

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。

【0093】

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  $\underline{s}_{d_n}^{\wedge}(k)$  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  $\{s_m^{\wedge}\}$  を提供する。

【0094】

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  $\{s_m^{\wedge}\}$  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ピ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合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合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。

【0095】

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(canceller)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。

【0096】

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  $\{s_{j_1}^{\wedge}\}$  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

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、デインターリーブし、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 840 a 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 110 x によって実行されたのと同じやり方で符号化し、インターリーブし、変調し、そして再変調されたシンボルストリーム  $\{s^{(j)}_1\}$  を提供する。干渉キャンセラ 820 a は、アクセスポイント 110 x 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  $\{s^{(j)}_1\}$  に空間処理を実行し、そしてデータシンボルストリーム  $\{s^{(j)}_1\}$  に起因する  $N_{ut}$  個の干渉成分を得るためにチャネル応答行列  $H_{dn}(k)$  で結果をさらに処理する。 $N_{ut}$  個の干渉成分は  $N_{ut}$  個の受信されたシンボルストリームから引かれて  $N_{ut}$  個の修正されたシンボルストリームを得る。 $N_{ut}$  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、 $N_{ut}$  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  $N_{ut}$  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  $N_{ut}$  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。

#### 【0098】

空間プロセッサ 810 a から 810 s 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  $\underline{r}_{dn}^1(k)$  を行列  $\underline{M}_{ut}^1(k)$  で乗じて検出されたシンボルベクトル  $\underline{s}_{dn}^1(k)$  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  $\underline{M}_{ut}^1(k)$  は、そのステージの縮小したチャネル応答行列  $\underline{H}_{dn}^1(k)$  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 110 x 及びユーザ端末 120 y 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 390 y 及び TX 空間プロセッサ 392 y 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 360 y 或いは 360 z 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 370 y 或いは 370 z で実現されてよい。

30

#### 【0100】

単一アンテナのユーザ端末 120 x の場合、RX 空間プロセッサ 360 x 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パ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 110 x 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、 $N_{ap}$  個のアクセスポイントのアンテナからの  $N_{ap}$  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ぜられる過程である。そして  $L$  個のカ

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 110x 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) シンボルが乗ぜられる過程である。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 120x の場合、チャネル推定器 378x は単一アンテナ 352 のために、 $k = 1 \dots N_F$  に対して、推定された下りリンクのチャネル応答ベクトル  $\hat{h}_{d,n}(k)$  を提供する。複数アンテナのユーザ端末 120y の場合、チャネル推定器 378y は  $N_{u,t}$  個の全てのアンテナ 352a から 352ut 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りリンクのチャネル応答行列  $\hat{H}_{d,n}(k)$  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りリンクに対する雑音の分散を推定することもでき、下り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 120y は、ユーザ端末 120y に対する上りリンクのチャネル応答  $\hat{H}_{u,p}(k)$  を推定するためにアクセスポイント 110x 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 120x 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せ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 120x 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、下り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/受信チェーン (chains) の応答は、ユーザ端末における送信/受信チェーンの応答と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、下り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 110x 及びユーザ端末 120y における送信/受信チェーンを示す。アクセスポイント 110x 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 120y 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  $\underline{T}_{u,t}(k)$  によってモデ

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：

$$\underline{r}_{dn}(k) = \underline{R}_{ut}(k) \underline{H}(k) \underline{T}_{ap}(k) \underline{x}_{dn}(k), \text{ そして } \quad \text{式(33)}$$

$\underline{r}_{up}(k) = \underline{R}_{ap}(k) \underline{H}^T(k) \underline{T}_{ut}(k) \underline{x}_{up}(k),$   
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 $\underline{H}_{edn}(k)$ 及び $\underline{H}_{eup}(k)$ は、送信及び受信チェーンの応答を含み、以下のように表現されてよい：

$$\underline{H}_{edn}(k) = \underline{R}_{ut}(k) \underline{H}(k) \underline{T}_{ap}(k) \text{ 及び } \underline{H}_{eup}(k) = \underline{R}_{ap}(k) \underline{H}^T(k) \underline{T}_{ut}(k). \quad \text{式(34)} \quad 10$$

下りリンク及び上りリンクの送信／受信チェー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、 $\underline{H}_{edn}(k)$   $\underline{H}_{eup}^T(k)$ ）。

【0107】

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 $\underline{K}_{ap}(k)$ 及び $\underline{K}_{ut}(k)$ を得るために調整を実行できる。 $\underline{K}_{ap}(k)$ 及び $\underline{K}_{ut}(k)$ は以下のように表現されてよい：

$$\underline{K}_{ap}(k) = \underline{T}_{ap}^{-1}(k) \underline{R}_{ap}(k) \text{ 及び } \underline{K}_{ut}(k) = \underline{T}_{ut}^{-1}(k) \underline{R}_{ut}(k) \quad \text{式(35)} \quad 20$$

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 $\underline{K}_{ap}(k)$ 及び $\underline{K}_{ut}(k)$ 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、 $\underline{H}_{cdn}(k)$ 及び $\underline{H}_{cup}(k)$ は互いに相反であり、以下のように表現されてよい：

$$\underline{H}_{cup}(k) = \underline{H}_{up}(k) \underline{K}_{ut}(k) = (\underline{H}_{dn}(k) \underline{K}_{ap}(k))^T = \underline{H}_{cdn}^T(k). \quad \text{式(36)}$$

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 $\underline{H}_{cup}(k)$ 及び $\underline{H}_{cdn}(k)$ の特異値分解は以下のように表現されてよい：

$$\underline{H}_{cup}(k) = \underline{U}_{ap}(k) \underline{\Sigma}(k) \underline{V}_{ut}^H(k), \text{ そして } \quad \text{式(37)} \quad 30$$

$\underline{H}_{cdn}(k) = \underline{V}_{ut}^*(k) \underline{\Sigma}(k) \underline{U}_{ap}^H(k).$   
式の組(37)で示されるように、 $\underline{H}_{cdn}(k)$ の左及び右固有ベクトルからなる行列 $\underline{V}_{ut}^*(k)$ 及び $\underline{U}_{ap}^*(k)$ は、 $\underline{H}_{cup}(k)$ の右及び左固有ベクトルからなる行列 $\underline{V}_{ut}(k)$ 及び $\underline{U}_{ap}(k)$ の複素共役である。行列 $\underline{U}_{ap}(k)$ 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 $\underline{V}_{ut}(k)$ 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。

【0108】

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／受信チェー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 $\underline{V}_{ut}(k)$ 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 $\underline{U}_{ap}(k)$ は、直接的な形式（例えば、行列 $\underline{U}_{ap}(k)$ 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、 $\underline{H}_{cdn}(k)$ の推定である $\underline{H}_{cdn}^\wedge(k)$ を得ることだけで、 $\underline{V}_{ut}(k)$ 、 $\underline{\Sigma}(k)$ 、 $\underline{U}_{ap}(k)$ それぞれの推定である $\underline{V}_{ut}^\wedge(k)$ 、 $\underline{\Sigma}^\wedge(k)$ 、 $\underline{U}_{ap}^\wedge(k)$ を導き出すことだけできる。 40

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：

$$\underline{r}_{u p, m}(k) = \underline{u}_{a p, m}(k) \quad m p(k) + \underline{n}_{u p}(k). \quad \text{式 10 (39)}$$

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  
30  
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 $\underline{F}_{a p}(k)$ で乗ぜられ、ユニット912によってさらに補正行列 $\underline{K}_{a p}(k)$ で乗ぜられて、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の中の送信チェーン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の中の受信チェーン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 $\underline{M}_{u t}(k)$ で乗ぜられ、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 $\underline{s}^{\wedge}_{d n}(k)$ を得る。 $\underline{s}^{\wedge}_{d n}(k)$ はデータベクトル $\underline{s}_{d n}(k)$ の推定値である  
50

。ユニット 9 5 6 及び 9 5 8 は下りリンクのために受信空間処理を実行し、図 6 の R X サブバンド空間プロセッサ 6 4 0 の中で実現されてよい。

【 0 1 1 4 】

上りリンクの場合、ユーザ端末 1 2 0 y における T X 空間プロセッサ 3 9 2 y の中で、データベクトル  $\underline{s}_{u,p}(k)$  は、ユニット 9 6 0 によって最初に行列  $\underline{F}_{u,t}(k)$  で乗ぜられ、ユニット 9 6 2 によってさらに補正行列  $\underline{K}_{u,t}(k)$  で乗ぜられて送信ベクトル  $\underline{x}_{u,p}(k)$  を得る。ベクトル  $\underline{x}_{u,p}(k)$  は変調器 3 5 4 内の送信チェイン 9 6 4 によって処理され、MIMOチャネル上でアクセスポイント 1 1 0 x へと送信される。ユニット 9 6 0 及び 9 6 2 は上りリンクのために送信空間処理を実行する。

【 0 1 1 5 】

アクセスポイント 1 1 0 x で、上りリンクの信号は復調器 3 2 2 の中の受信チェイン 9 2 4 によって処理され受信ベクトル  $\underline{r}_{u,p}(k)$  を得る。R X 空間プロセッサ 3 4 0 の中で受信ベクトル  $\underline{r}_{u,p}(k)$  は、ユニット 9 2 6 によって最初に行列  $\underline{M}_{a,p}(k)$  で乗ぜられ、ユニット 9 2 8 によってさらに逆対角行列  $\underline{D}_{a,p}^{-1}(k)$  で調整されてベクトル  $\underline{s}^{\wedge}_{u,p}(k)$  を得る。 $\underline{s}^{\wedge}_{u,p}(k)$  はデータベクトル  $\underline{s}_{u,p}(k)$  の推定値である。ユニット 9 2 6 及び 9 2 8 は上りリンクのための受信空間処理を実行する。

【 0 1 1 6 】

#### 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  $\underline{u}_{a,p}(k)$  で送信及び受信空間処理を実行する。ユーザ端末は  $\underline{v}_{u,t}(k)$  で送信及び受信空間処理を実行する。

【 0 1 1 7 】

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。

10

20

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	AP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 APは $\underline{U}_{ap}(k)$ でデータを送信する UTは $\underline{V}_{ut}(k)$ でデータを受信する	AP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 $\underline{V}_{ut}(k)$ でデータを送信する APは $\underline{U}_{ap}(k)$ でデータを受信する
単一ユーザ 非ステアード	APはMIMOパイロットを送信する AP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 AP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 APはステアードデータを送信する AP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	AP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 APはCCMI、MMSE、他を用いる
複数ユーザ 非ステアード	AP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 AP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 AP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 APはCCMI、MMSE、他を用いる

## 【 0 1 1 8 】

複数ユーザステアードモードの場合、単一アンテナ及び／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。単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。

## 【 0 1 1 9 】

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。単一アンテナ及び／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、CCMI、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ンネル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 packets 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、広帯域空間チャンネルmに対するレートを決定し、上で説明されたように、広帯域空間チャン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ンネルmに対して計算される：

【数5】

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

【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】

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

【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  $F(\gamma_{avg,m}, \sigma_{\gamma_m}^2)$  に基づいて決定される。例えば、関数  $F(\gamma_{avg,m}, \sigma_{\gamma_m}^2) = K_b \cdot \sigma_{\gamma_m}^2$  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ピング、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ンネルでのSNRの変動を補償する。広帯域空間チャンネル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：

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

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チャン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、広帯域空間チャンネル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】



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ン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、チャンネル条件を推定し、各広帯域空間チャンネルによってサ  
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ンネルで受信され  
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つの下りリンクの広帯域空間チャンネル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におけるチャンネル推定器378は広帯域空間チャンネルmを推定し、チャンネル推定値（例えば、チャン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は広帯域空間チャンネル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）チャンネル推定器378からのチャンネル推定値、（2）品質推定器1032からの広帯域空間チャンネル  
mに対するSNR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SNRからなるルックアップ表（LUT）1036。広帯域空間チャンネル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は広帯域空間チャンネルmに対してサポートされたレートを受信し、この空間チャン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、TX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、TX空間プロセッサ320によって空間的に処理されてパイロ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、広帯域空間チャンネル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。広帯域空間チャンネルmに対して受信されたシンボルはRX空間プロセッサ360によって空間的に処理され、RXデータプロセッサ370によってさらに処理される。RXデータプロセッサ370は、広帯域空間チャンネル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、SNR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、下りリンク及び上りリンクの広帯域空間チャンネルのそれぞれに対して独立して実行されてよい。下りリンク及び上りリンクの広帯域空間チャンネルのそれぞれは、（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と下りリンク及び上り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、RACH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、  
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1  
10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。

#### 【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、単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。単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単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。

#### 【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リングする。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

中でのデータ送信に同時にスケジュールされる。

【 0 1 3 5 】

スケジューラ 3 3 4 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 ( I E ) 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 3 3 4 は F C C H 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 F C C H を処理し、その後、下りリンクの送信を受信する、及び / 或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

【 0 1 3 6 】

図 1 1 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。

【 0 1 3 7 】

図 1 2 は、 M I M O システム 1 0 0 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 1 2 0 0 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 1 2 1 2 ) 。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 1 2 1 4 ) 。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 1 2 1 6 ) 。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 1 2 1 8 ) 。

20

【 0 1 3 8 】

図 1 3 は、 M I M O システム 1 0 0 の下りリンクでデータを送信するための処理 1 3 0 0 の流れ図を示す。処理 1 3 0 0 はアクセスポイント 1 1 0 x 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 1 3 1 2 ) 。単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 1 3 1 4 ) 。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 1 3 1 6 ) 。単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 1 3 1 8 ) 。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 1 3 2 0 ) 。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 1 3 2 2 ) 。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。

30

40

【 0 1 3 9 】

図 1 4 は、 M I M O システム 1 0 0 における上りリンクでデータを受信するための処理 1 4 0 0 の流れ図を示す。処理 1 4 0 0 はアクセスポイント 1 1 0 x 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、単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ンネルでデータを送信するために、そして1つ或いは複数の下りリンクの広帯域空間チャン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(ASIC)、デジタル信号プロセッサ(DSP)、デジタル信号処理装置(DSPD)、プログラム可能な論理装置(PLD)、フィールドプログラマブルゲートアレイ(FPGA)、プロセッサ、コントローラ、マイクロコントローラ、マイクロプロセッサ、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ASIC、DSP、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(codes)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(Heading)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。これらの見出しは、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ならず、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】

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。

40

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0145】

【図1】多重アクセスMIMOシステムを示す。

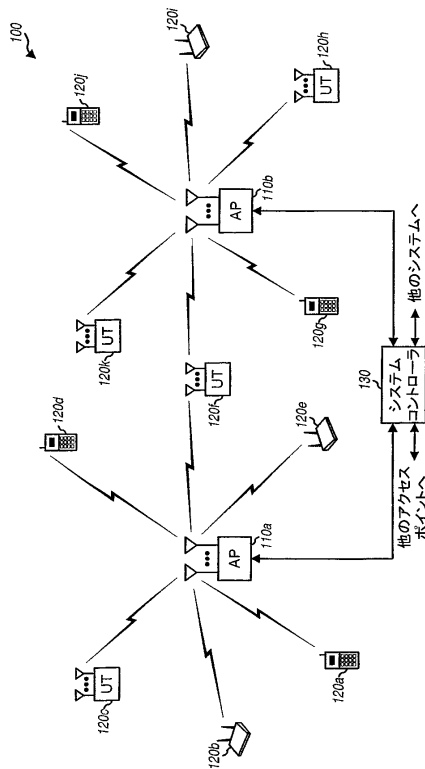
【図2】MIMOシステムに対するフレーム及びチャネルの構成を示す。

50

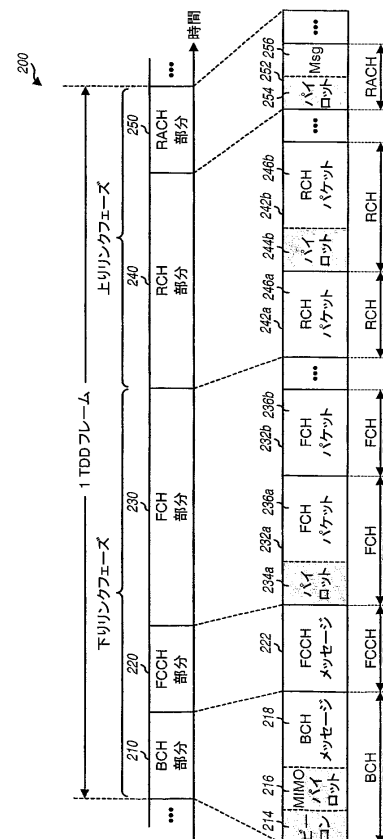
- 【図 3】MIMOシステムにおけるアクセスポイント及び 2 つのユーザ端末を示す。  
 【図 4】アクセスポイントにおける送信 (TX) データプロセッサを示す。  
 【図 5】アクセスポイントにおける TX 空間プロセッサ及び変調器を示す。  
 【図 6】複数アンテナのユーザ端末における復調器と受信 (RX) 空間プロセッサを示す。  
 【図 7】複数アンテナのユーザ端末における RX データプロセッサを示す。  
 【図 8】連続干渉除去 (SIC) 技術を実現する RX 空間プロセッサ及び RX データプロセッサを示す。  
 【図 9】アクセスポイント及びユーザ端末における送信 / 受信チェーンを示す。  
 【図 10】閉ループプレート制御機構を示す。  
 【図 11】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 12】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を示す。  
 【図 13】下りリンクでデータを送信するための処理を示す。  
 【図 14】上りリンクでデータを受信するための処理を示す。  
 【符号の説明】  
 【0146】  
 100...MIMOシステム、 200...代表的なフレームとチャネルの構成、  
 1000...閉ループプレート制御機構、 1200、1300、1400...処理

10

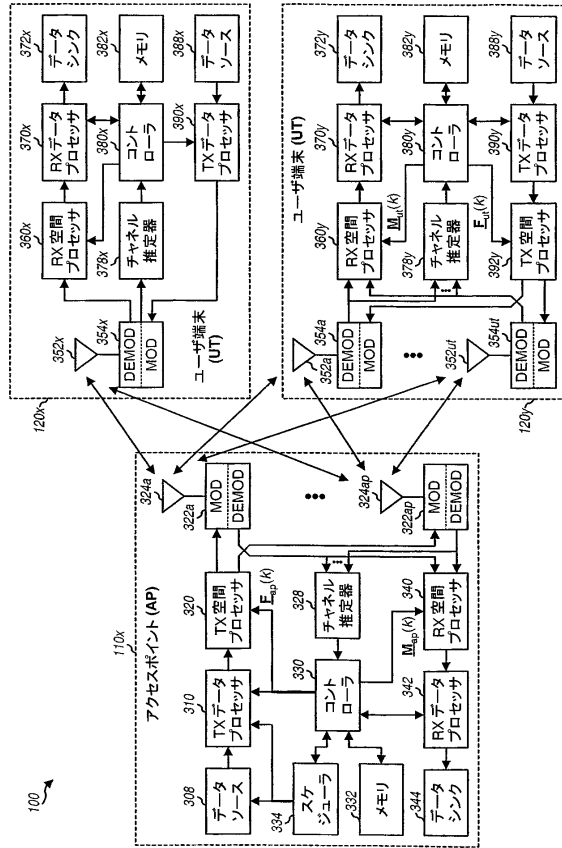
【図 1】



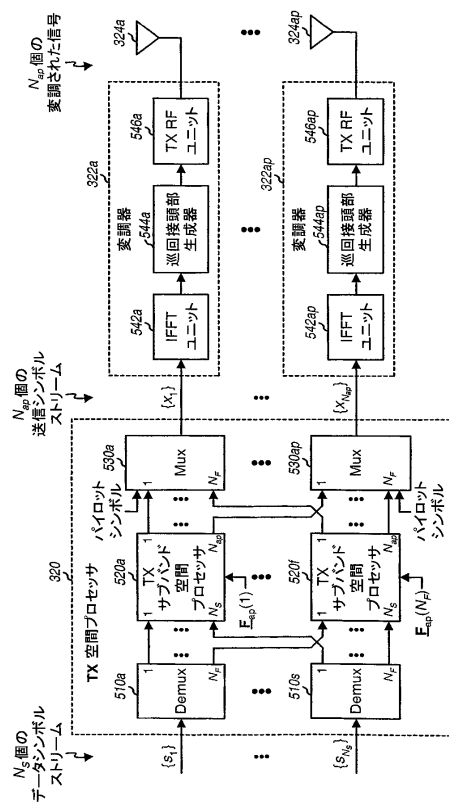
【図 2】



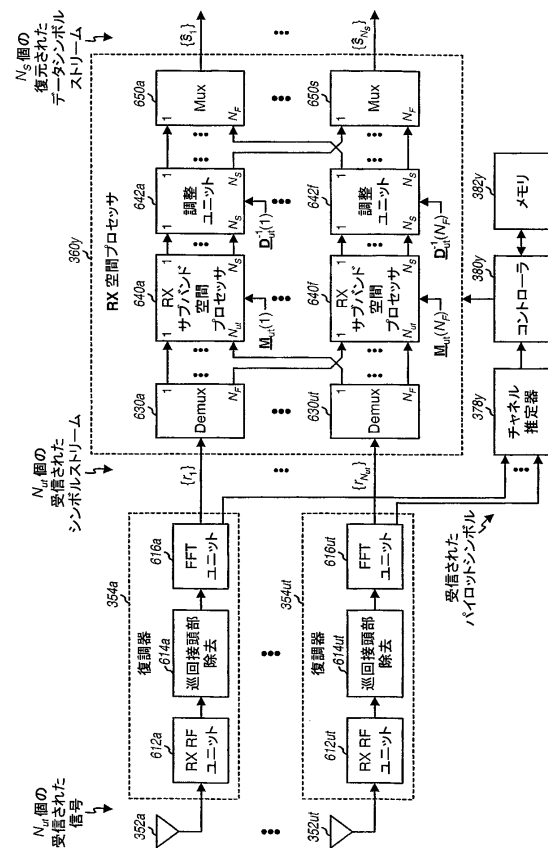
【 図 4 】



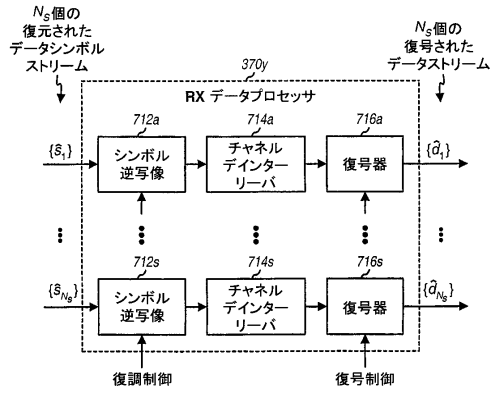
【 図 5 】



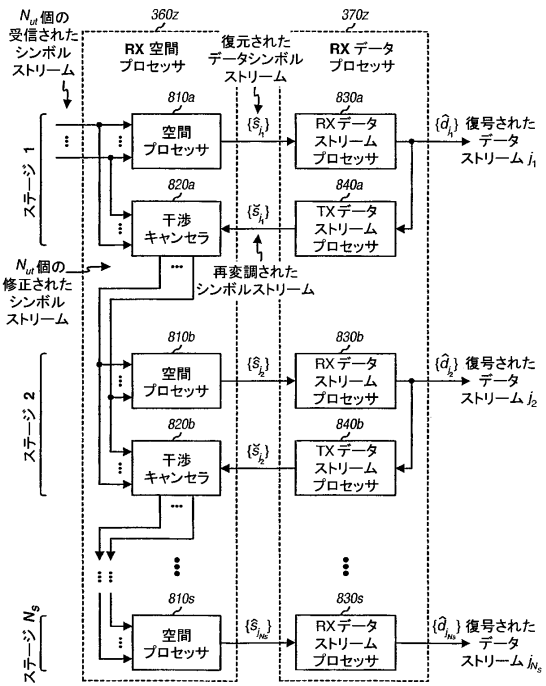
【 図 6 】



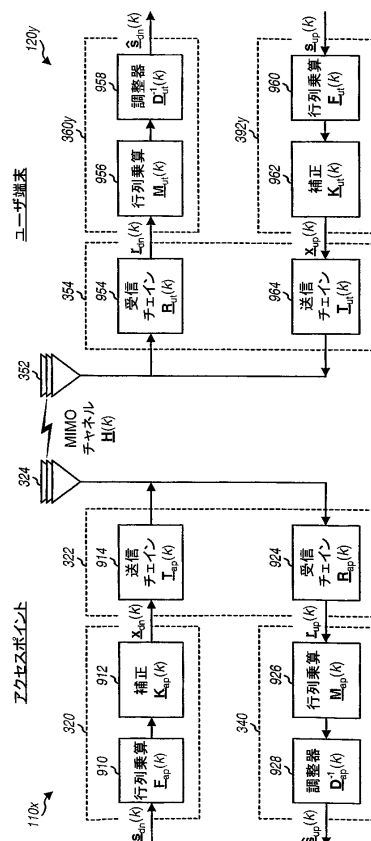
【図 7】



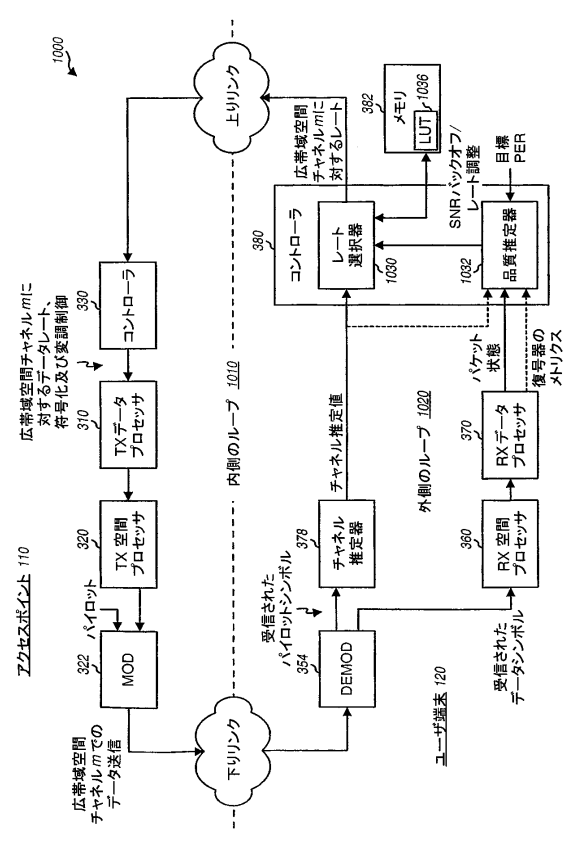
【図 8】



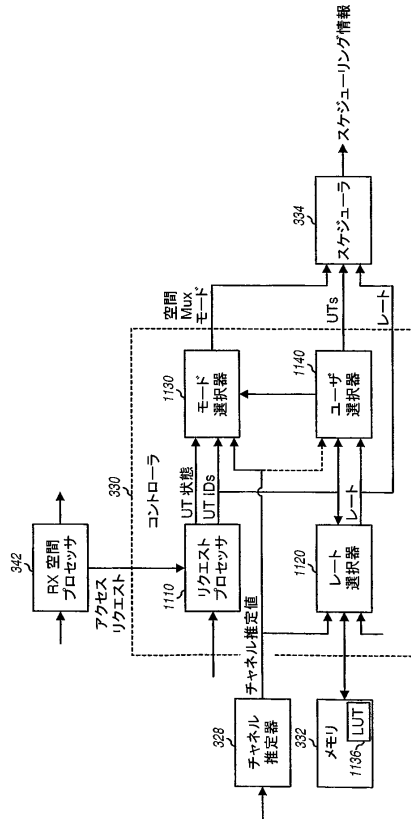
【図 9】



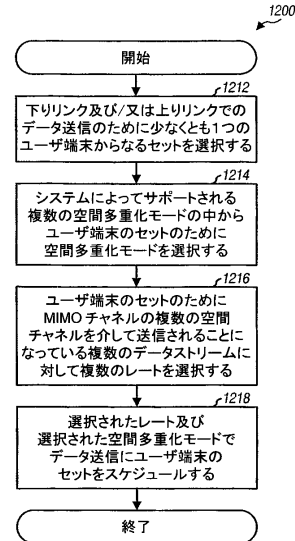
【図 10】



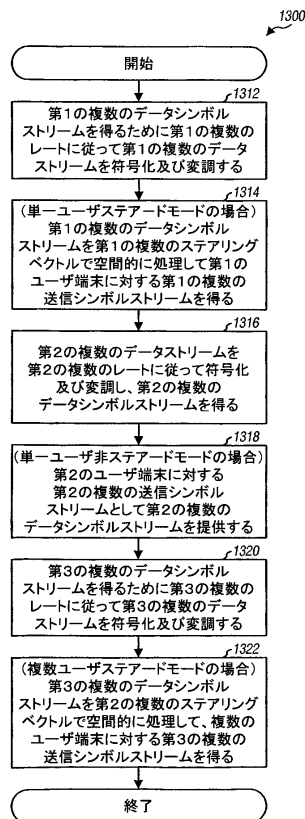
【図 1 1】



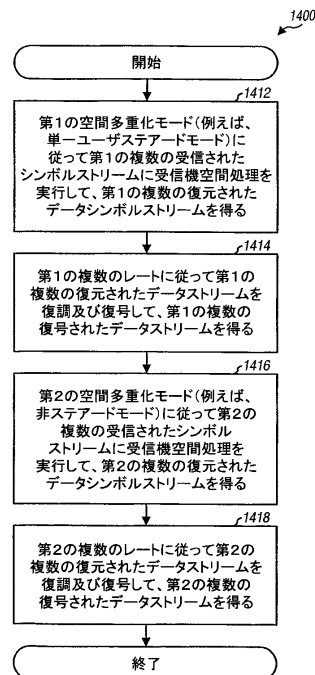
【図 1 2】



【図 1 3】



【図 1 4】





## 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 37
- (72)発明者 ウォーレス、マーク  
アメリカ合衆国、マサチューセッツ州 01730、ベッドフォード、マデル・レーン 4
- (72)発明者 ハワード、スティーブン・ジェイ・  
アメリカ合衆国、マサチューセッツ州 01721、アシュランド、ヘリテージ・アベニュー 75

## 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 国際公開第01/71928(WO, A2)  
米国特許第6377812(US, B1)  
欧州特許出願公開第1182799(EP, A1)

欧州特許出願公開第1185001(E P, A 1)  
米国特許第6351499(U S, B 1)

(58)調査した分野(Int.Cl., D B名)

H04J 15/00

H04B 7/04