

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4372155号
(P4372155)

(45) 発行日 平成21年11月25日(2009.11.25)

(24) 登録日 平成21年9月11日(2009.9.11)

(51) Int.Cl.		F I	
H04J	99/00	(2009.01)	H04J 15/00
H04B	7/04	(2006.01)	H04B 7/04
H04B	7/06	(2006.01)	H04B 7/06
H04B	7/02	(2006.01)	H04B 7/02

Z

請求項の数 15 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2006-524988 (P2006-524988)	(73) 特許権者	000003078
(86) (22) 出願日	平成17年2月22日(2005.2.22)		株式会社東芝
(65) 公表番号	特表2007-522686 (P2007-522686A)		東京都港区芝浦一丁目1番1号
(43) 公表日	平成19年8月9日(2007.8.9)	(74) 代理人	100058479
(86) 国際出願番号	PCT/JP2005/003256		弁理士 鈴江 武彦
(87) 国際公開番号	W02005/081424	(74) 代理人	100084618
(87) 国際公開日	平成17年9月1日(2005.9.1)		弁理士 村松 貞男
審査請求日	平成18年8月10日(2006.8.10)	(74) 代理人	100092196
(31) 優先権主張番号	0403975.6		弁理士 橋本 良郎
(32) 優先日	平成16年2月23日(2004.2.23)	(74) 代理人	100091351
(33) 優先権主張国	英国 (GB)		弁理士 河野 哲
		(74) 代理人	100088683
			弁理士 中村 誠

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 MIMO受信機及びMIMO受信方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

MIMO送信機からのMIMO送信を受信するように構成され、所望の受信側電力消費を指示する信号を入力する電力指示入力と、前記MIMO送信機にMIMO構成信号を送信するための出力とを有し、前記電力指示入力にตอบสนองしてMIMO伝送構成を決定し、前記決定に従って前記送信機を構成するように前記送信機にフィードバックするためのMIMO構成信号を出力するように構成される決定モジュールを具備する、MIMO受信機。

【請求項 2】

測定サービス品質(QoS)信号出力を有する通信QoS測定装置をさらに含み、前記決定モジュールは、前記測定QoS出力からの測定QoS入力と、所望のQoSを指示する信号を入力する所望のQoS入力を含み、前記決定モジュールは、さらに、入力するように構成される、請求項1に記載のMIMO受信機。

【請求項 3】

前記所望のQoS信号は、送信されるデータが複数のカテゴリのどの1つに該当するかを指示する信号を含む、請求項2に記載のMIMO受信機。

【請求項 4】

前記複数のデータカテゴリは、複数の最低限許容可能なQoSレベルを規定する、請求項3に記載のMIMO受信機。

【請求項 5】

前記複数のデータカテゴリは、複数の最大データ伝送待ち時間を規定する、請求項3ま

10

20

たは 4 に記載の M I M O 受信機。

【請求項 6】

前記測定 Q o S 信号はブロック誤り率信号を含む、請求項 2 から 5 のいずれか 1 項に記載の M I M O 受信機。

【請求項 7】

前記決定モジュールは、さらに、以前に決定される M I M O 伝送構成にตอบสนองして前記 M I M O 伝送構成を決定するように構成される、請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の M I M O 受信機。

【請求項 8】

チャンネルメトリック出力を有するチャンネルメトリック計算モジュールをさらに含み、前記決定モジュールは、さらに、前記チャンネルメトリック出力にตอบสนองして前記 M I M O 伝送構成を決定するように構成される、請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載の M I M O 受信機。

10

【請求項 9】

前記チャンネルメトリック計算モジュールは時間決定入力を有し、前記チャンネルメトリックは、前記時間決定入力にตอบสนองして一定期間にわたって計算され、前記決定モジュールは、前記 M I M O 送信機と前記 M I M O 受信機との間の M I M O チャンネルが該当する複数のチャンネルタイプカテゴリの 1 つを示すチャンネルタイプ信号を前記時間決定入力に与えるように構成される、請求項 8 に記載の M I M O 受信機。

【請求項 10】

20

受信信号を復号化し、前記チャンネルメトリックを計算するために M I M O チャンネル応答行列を推定するように構成される、請求項 8 または 9 に記載の M I M O 受信機。

【請求項 11】

前記チャンネル応答推定と並行して、前記チャンネルメトリックを計算し、および / または受信信号を復号化するために、前記チャンネル応答行列の分解を決定するよう構成される、請求項 10 に記載の M I M O 受信機。

【請求項 12】

共用される計算リソースを使って、前記チャンネルメトリックを計算し、受信信号を復号化するために、前記チャンネル応答行列の分解を決定するよう構成される、請求項 10 に記載の M I M O 受信機。

30

【請求項 13】

前記 M I M O 構成信号は、M I M O 伝送方式またはアルゴリズムおよび / またはコンステレーションサイズまたは変調の種類を指示する信号を含む、請求項 1 から 12 のいずれか 1 項に記載の M I M O 受信機。

【請求項 14】

前記決定モジュールは、好適 M I M O 構成を示すデータを提供するルックアップテーブルと、前記測定 Q o S 信号にตอบสนองして前記好適 M I M O 構成を変更し、前記 M I M O 構成信号として出力するために変更 M I M O 構成を提供する決定変更装置とを備える、請求項 2 から 13 のいずれか 1 項に記載の M I M O 受信機。

【請求項 15】

40

M I M O 送信機からの M I M O 送信を受信するように構成され、
所望の受信側電力消費を指示する信号を入力し、
前記電力指示入力にตอบสนองして M I M O 伝送構成を決定し、
前記決定に従って前記送信機を構成するように前記送信機にフィードバックするための M I M O 構成信号を出力すること、
を含む、M I M O 受信方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、一般に、M I M O (多入力多出力) 通信システムのための装置、方法および

50

プロセッサ制御コードに関する。

【背景技術】

【0002】

MIMOシステムの根底にある考えとは時空間信号処理であり、これは、事実上、複数の送信/受信アンテナ間の空間チャネルあるいはMIMOチャネルの分離性を利用して、スペクトル利用の増加を伴わずにより高いデータ転送速度を提供し、あるいは、耐性の増加およびより低い誤り率を実現するものである。大まかに言って、空間又は/及び時間的(空間、時間及び空間時間ダイバーシティ)に信号を符号化することによって、信号の多数のバージョンを効果的に与えることによって耐性が増加し、更に空間的多重化(空間多重化)が有効データレートを効果的に増加する。固定された構成のMIMOシステムでは、この空間的多重化と時空間ダイバーシティの間のトレードオフに関する選択を行わなければならないが、MIMOシステムの主要な利点の1つは、一般に、これらがより高速のデータ伝送を提供できることであるとみなされる。

【0003】

Hyperlan/2(欧州)やIEEE802.11a(米国)といった現世代のWLAN(無線ローカルエリアネットワーク)規格は、最大54Mbit/秒のデータ転送速度を提供する。例えば、マルチメディアサービスなどでのより高いデータ転送速度は、単に、データ伝送帯域幅を増加することによって達成できるが、これは非効率的であり、費用がかさむ。MIMOシステムは、帯域幅を増やさずにスループットを増加させる機能を有し、スループットは、潜在的に、送信/受信アンテナの数と共に直線的に増減する(例えば、Telatar I.E.,「複数アンテナガウスチャネルの容量」、ベル研究所テクニカルメモランダム、1995年(Telatar I.E., Capacity of multi-antenna Gaussian channels. Bell Labs Technical Memorandum, 1995)、通信に関する欧州会報、第10巻、585頁から595頁、1999年11/12月(European Transactions on Telecommunications, vol. 10, p.585-595, Nov/Dec 1999)、Foschini G.J.およびGans M.J.,「複数のアンテナを使用するときのフェージング環境における無線通信の限界について」、無線パーソナル通信第6巻、311頁から335頁、1998年(Foschini G.J. and Gans, M.J., On limits of wireless communications in fading environment when using multiple antennas, Wireless Personal Communications, vol. 6, p. 311-335, 1998)などを参照)。例えば、4送信4受信アンテナシステムは、単一の送信/受信アンテナシステムの最大4倍の容量を提供する。

【0004】

図1に、典型的なMIMOデータ通信システム100を示す。データソース102は、(情報ビットまたはシンボルを有する)データをチャネル符号器104に与える。チャネル符号器は、通常、再帰的組織畳み込み(RSC)符号器や、より強力ないわゆる(インターリーブを含む)ターボ符号器といった畳み込み符号器を含む。入力されるよりも多くのビット数が出力され、通常、この速度は、2分の1または3分の1である。チャネル符号器104の後にはチャネルインターリーブ106、および、図示の例では、時空間復号器108が続く。時空間復号器108は、1つ以上の入力シンボルを複数のコードシンボルとして符号化し、これらが、複数の送信アンテナ110のそれぞれからの同時送信のために、QPSK(直交位相偏移変調)やM-QAM(多進直交振幅変調)などの複雑な変調シンボルにマッピングされる。

【0005】

時空間符号化は、データに対して空間的および時間的送信ダイバーシティまたは多重化を提供するように動作する、符号化行列によって記述される符号化マシンの観点から説明することができる。この後には、通常、送信のための符号化シンボルを与える変調器が続く。さらに(または代替として)空間周波数符号化も用いることもできる。したがって、大まかに言えば、入力シンボルおよび処理されたバージョン(位相偏移され、時空間符号アルゴリズムに従って増減されたシンボルなど)は、ダイバーシティを増加させるために、空間および時間および/または周波数座標を有するグリッドに分配される。空間周波数符号

化が用いられる場合、別々の周波数チャンネルをOFDM（直交周波数分割多重）搬送波上に変調することができ、チャンネル分散の影響を緩和するために、一般に、サイクリックプリフィックスが各送信シンボルに付加される。

【0006】

符号化送信信号は、MIMOチャンネル112を介して受信アンテナ114に伝播し、受信アンテナ114は、複数の入力を時空間（および/または周波数）復号器116に供給する。これは、符号器108の影響を除去するタスクを有する。復号器116の出力は、それぞれが、特定の値を有する送信シンボルの確率に関するいわゆる軟判定データまたは尤度データを搬送する、各送信アンテナに1つずつの、複数の信号ストリームを含む。このデータが、チャンネルインターリーバ106の結果を反転させるチャンネルデインターリーバ118に与えられ、次いで、ビタビ復号器などのチャンネル復号器120に供給され、ここで畳み込み符号を復号化する。通常、チャンネル復号器120は、SISO（軟入力軟出力）復号器であり、すなわち、シンボル（またはビット）尤度データを受信し、例えば、硬判定が行われているデータではなく、類似の尤度データを出力として提供する。チャンネル復号器120の出力は、任意の所望のやり方でデータをさらに処理するために、データシンク122に供給される。

【0007】

いくつかの通信システムでは、いわゆるターボまたは反復復号化が用いられ、その場合、チャンネル復号器120からの軟出力は、チャンネルインターリーバ106に対応するチャンネルインターリーバ124に与えられ、ここで、軟判定（尤度）データが、反復的な時空間（および/または周波数）およびチャンネル復号化のために復号器116に供給される。（そのような構成では、チャンネル復号器120は、復号器116に、完全な送信シンボル、すなわち、例えば、誤り検査ビットなどを含むシンボルを提供することが理解されるであろう。）

MIMOシステムは、様々なタイプのチャンネルに直面する可能性がある。MIMOシステムの容量は、SN比に依存するだけでなく、チャンネルのタイプにも依存する。2つのタイプのチャンネルが、LOS（見通し環境）チャンネルとマルチパスリッチチャンネルである（Da-Shan Shiu, Foschini, G.J., Gans, M.J., Kahn, J.M., 「フェージング相関およびその多素子アンテナシステムの容量に及ぼす影響」、通信に関するIEEE会報、第48巻、第3号、2000年3月、502頁から513頁（Da-Shan Shiu; Foschini, G.J.; Gans, M.J.; Kahn, J.M., Fading correlation and its effect on the capacity of multi-element antenna systems, Communications, IEEE Transactions on, Vol. 48, Iss. 3, Mar 2000, Pages: 502-513）参照）。様々なMIMOアルゴリズムの性能は、MIMOチャンネルのタイプに依存し、例えば、時空間ダイバーシチ技法は、LOSチャンネルを用いるとより高いデータ転送速度を提供するが、多重化技法は、マルチパスリッチチャンネルを用いる方がうまく機能する（Parker, S., Sandell, M., Lee, M., 「オフィス環境における時空間符号の性能」、車両技術会議2003、VTC2003-春、第57回IEEE半期、第1巻、2003年4月22-25日、741頁から745頁（Parker, S., Sandell, M., Lee, M., The performance of space-time codes in office environments, Vehicular Technology Conference, 2003. VTC 2003-Spring. The 57th IEEE Semiannual, Volume: 1, 22-25 April 2003, Pages: 741-745）参照）。

【0008】

一般的に言えば、公開されているMIMO通信システムは、単一の固定されたMIMOアルゴリズムを用いるが、データ転送速度のサービス品質に対する特定のトレードオフを定義する必要を回避しようとする、いくつかの適応方式が提案されており、特に、国際公開第03/073646号、欧州特許第1185001号、およびAbe T., Fujii H, Tomisato S., 「空間的相関を使ったハイブリッドMIMOシステム」、第5回無線パーソナルマルチメディア通信に関する国際シンポジウム、2002（Abe T., Fujii H, Tomisato S., A hybrid MIMO System Using Spatial Correlation, Wireless Personal Multimedia Communications, The 5th International Symposium on, 2002）に記載されている。

国際公開第03/073646号には、送信電力が、注水伝送方式、選択的チャネル反転伝送方式、均一伝送方式、主要固有モードビーム形成伝送方式およびビームステアリング伝送方式を含む技法選択肢の1つに従って、アンテナに割り振られる、複数アンテナ処理方式が記述されている。欧州特許第1185001号には、大まかに言えば、欧州特許第1185001号で同じパケットが再送信され得る回数として定義されている、定義される最小閾値サービス品質(QoS)を維持するために、OFDM副搬送波上のデータの構成が、チャネル条件に関連する3つの基準の1つに基づいて時間ダイバーシチまたは空間ダイバーシチを使用する、MIMO/OFDMシステムが記載されている。選択が行われる基になる基準の1つが、チャネル行列Hの条件、すなわち、MIMOチャネル行列Hの最大固有値と最小固有値の比である。この文献には、推定される搬送波対干渉比または信号対雑音比に基づく、各副搬送波ごとの変調方式の選択も開示されている。Abeらの論文には、選択的に、空間的多重化、または送信ダイバーシチ(選択ダイバーシチ)を用い、全送信電力が最大受信SN比を示すアンテナに供給され、MIMOチャネル行列のデータストリーム間の空間的相関がメトリックとして使用される、ハイブリッドMIMOシステムが記載されている。受信機から送信機へのフィードバックチャネルが、伝送方式およびシンボルコンステレーションサイズを定義する伝送モードコマンドを、受信機から送信機に与えることができる。類似の構成が、低帯域幅しか必要としない送信機126および受信機128によって、図1の一般化されたシステムで実施できる。

10

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

20

【0009】

前述の適応MIMOシステムにはいくつかの欠点があり、戻りチャネルによって提供される可能性を十分に活用していない。特に、これらの知られているシステムは、全て、比較的単純であり、スループットおよび/またはサービス品質に改善の余地を残している。例えば、欧州特許第1185001号では、一定のSN比領域で動作すれば特定のサービス品質が保証されるという固有の想定がなされているが、実際には、これは該当しないことがわかっている。例えば、信号対雑音比に基づく変調方式の予測は、最適な結果を提供しないことがあり、実際の測定性能を考慮した変更から利益を得ることもできることがわかっている。

【0010】

30

適応MIMOシステムの別の態様に関連して、例えば、携帯用のバッテリー駆動式装置におけるMIMO通信システムの実際の実装を考えると、異なるMIMO通信方式は、異なるMIMO復号化アルゴリズムの全く異なる複雑さ、したがって、処理所要電力のために、受信側で受信信号を復号化するときに著しく異なる電力量を必要とすることがわかっている。

【課題を解決するための手段】

【0011】

したがって、本発明の第1の態様によれば、MIMO送信機およびMIMO受信機を備え、受信機から送信機へのフィードバックパスを有する適応MIMO通信システムが提供され、MIMO送信機は、フィードバックパスを介して送信される受信機からのフィードバック信号を受信する受信機と、フィードバック信号にตอบสนองして送信機から受信機へのMIMO送信を構成する制御装置とを含み、MIMO受信機は、MIMO送信を受信するように構成され、MIMO受信機は、決定モジュールを含み、決定モジュールは、所望の受信側電力消費を指示する信号を入力する電力指示入力と、MIMO送信機にMIMO構成信号を送信する出力とを有し、決定モジュールは、電力指示入力にตอบสนองしてMIMO伝送構成を決定し、決定に従って送信機を構成するように送信機にフィードバックするためのMIMO構成信号を出力するように構成される。

40

【0012】

所望の電力消費を指示するデータなど、アプリケーションレベルのデータを用いれば、より大きな柔軟性が実現され、電力管理が円滑化される。例えば、バッテリー駆動式装置は

50

、バッテリーモニタおよび／またはおおよその電力消費を定義するユーザ定義可能電力モードを含み得る。バッテリーモニタからリアルタイムで提供され得るそのような電力消費制約条件データは、例えば、バッテリーが放電し、これの容量の限界に近づくにつれて、データ転送速度を低減し、またはより復号化の複雑さが低い方式を使って電力消費を低減するために、MIMO方式および／またはコンステレーションおよび／またはデータ転送速度を変更させることができる。

【0013】

関連する一態様では、本発明は、さらに、MIMO送信機およびMIMO受信機を備え、受信機から送信機へのフィードバックパスを有する適応MIMO通信システムを提供し、MIMO送信機は、フィードバックパスを介して送信される受信機からのフィードバック信号を受信する受信機と、フィードバック信号に応答して送信機から受信機へのMIMO送信を構成する制御装置とを含み、MIMO受信機は、MIMO送信を受信するように構成され、MIMO受信機は、測定QoS信号出力を有する通信サービス品質(QoS)測定システム、および決定モジュールを含み、決定モジュールは、第1の測定QoS入力、および所望のQoSを指示する信号を入力する第2の入力と、MIMO構成信号を出力する出力とを有し、決定モジュールは、所望のQoS信号を入力し、所望のQoS信号に
10 応答して第1のMIMO伝送構成を決定し、決定に従って送信機を構成するように送信機にフィードバックするための第1のMIMO構成信号を出力し、測定QoS信号を入力し、測定QoS信号に
20 応答して第2のMIMO伝送構成を決定し、第2の決定に従って送信機を構成するように送信機にフィードバックするための第2のMIMO構成信号を出力するように構成される。

【0014】

第2のMIMO伝送構成は、例えば、ブロック誤り率によって定義され、任意選択で、時間で平均された、実際の測定サービス品質を考慮するように変更できる。実施形態では、例えば、ルックアップテーブルによって示されるMIMO伝送構成の選択は、サービス品質が所望の範囲内にある場合に限り採用されてもよく、そうでない場合には、この伝送構成は変更されてもよい。しかしながら、他の実施形態では、所望のサービス品質は、例えば、ユーザに品質とバッテリー寿命をトレードオフさせるなどのために、他の要件、特に
30 所要電力より軽視されることもある。一実施形態では、送信機は、オーディオおよび／またはビデオ圧縮モジュールなど、データ圧縮その他の入力信号前処理モジュールを含み得る。そのような場合、受信側での展開が実質的に正確に動作するように所定の最低限のサービス品質を維持することが望ましいと考えられ、この場合、受信機によって生成されるMIMO構成信号は、低減されたデータ転送速度が用いられるよう指示することができる。送信側では、これは、例えば、圧縮率を増やし、および／またはオーディオ/ビデオデータ取り込み分解能を下げることによって実施できる。これは、そうでなければ不可能であるはずの条件下にサービスを維持するために、特に、サービス品質およびバッテリー寿命の要件を考慮に入れた、入力装置から、データ圧縮および受信後の展開を経て出力装置に至る全通信システムのインテリジェント適応を可能にする。サービス品質は、後で平均ブロック誤り率の例を示すが、さらに、または代替として、例えば、データ伝送待ち時間
40 など他のパラメータも備え得ることを当業者は理解するであろう。

【0015】

前述のMIMO通信システムの多く、または実質的に全ては、しばしば、ソフトウェアとして、時には専用ハードウェアプロセッサと関連させて実施され、したがって、特に、決定モジュールは、通常、メモリに格納された何らかの形のコンピュータプログラムまたはプロセッサ制御コードを備えることを当業者は理解するであろう。

【0016】

前述のシステムの実施形態では、所望の品質のサービス信号は、送信されるデータのタイプ、例えば、ストリーミングメディア(オーディオおよび／またはビデオ)、電子メール/ Webトラフィック等のような多数のカテゴリの1つを示す信号で構成できる。データのこれらカテゴリの各々は、サービスレベルの最低限許容可能な品質に関連付けること
50

ができる。

【 0 0 1 7 】

また、決定モジュールは、他の要因、特に、MIMO伝送構成の履歴および/またはチャネルメトリックを考慮に入れることもできる。ここでは、MIMO伝送構成とは、MIMO伝送方式および/またはアルゴリズム、コンステレーションサイズ、およびデータ転送速度の1つ以上を含む。当業者は知っているように、参照してここに組み込まれる、Abeら（前掲書）が用いる信号対雑音比、電力遅延プロファイル、容量、チャネル間相関、および/または、例えば、欧州特許第1185001号、段落37（参照してここに組み込まれる）に記載されているチャネル条件の測定を含めて、用いることができる多くの可能なチャネルメトリックがある。チャネルメトリック計算は時間に亘る平均化を含む。このとき、平均が取られる時間は、MIMOチャネルのタイプに従って変えられてもよい。例えば、屋内のオフィス環境では、MIMOチャネルは、ただゆっくり変化するものと予想されるが、屋外では、MIMOチャネルは、送信機と受信機の相対的運動速度に応じた速度で、例えば、歩行者の場合はゆっくり、車内のユーザの場合は速く変化するであろう。チャネルのタイプの指示は、例えば、ハードウェアでの事前構成から、あるいは受信機内のチャネル推定モジュールから、あるいは、例えば平均ブロック誤り率を観測することにより、決定モジュールからチャネルメトリック計算モジュールに与えることができる。

10

【 0 0 1 8 】

好ましい一実施形態では、決定モジュールは、電力制約条件やデータタイプなどのパラメータに応じてMIMO伝送方式およびコンステレーション（並びに状況に応じてデータレート）を決定するためのルックアップテーブル、および、ブロック誤り率のようなサービスの測定品質に応じてルックアップテーブルから読み出されるデータを随意的に変更する決定変更装置を含む。他の実施形態では、サービスの所望の品質、および/または測定された品質がルックアップテーブルへの入力とすることができ、このとき、このテーブルから読み出されたデータは、最重要の電力制約条件を1つ以上の他のパラメータに優先させるために、例えば、電力制約信号によって、変更できる。他のパラメータの組み合わせもルックアップテーブルへの入力として寄与し、決定変更装置への入力も使用できることは当業者は理解するであろう。

20

【 0 0 1 9 】

システムのいくつかの好ましい実施形態では、受信機は、チャネルメトリック計算モジュールまたはコンポーネントと、MIMO復号化モジュールまたはコンポーネントの間で、計算リソースを共用するように構成される。これは、受信側で推定されるようなMIMOチャネル行列の分解、例えばQRまたはSVD分解を実行して達成でき、チャネルメトリック計算及び受信MIMO信号の復号化の両方に使用可能な中間データを提供する。さらに、または代替として、上記その他の実施形態では、受信機は、速度/経済性は、MIMOチャネル行列推定手順をMIMOチャネル行列推定分解と効率的に組み合わせることによって改善できる。MIMOシステムでは、チャネル推定は、各送信アンテナからトレーニングシーケンスを順次送信する（全ての受信アンテナで聞く）ことによって、または全ての送信アンテナから実質上直交するトレーニングシーケンスを同時に送信することによって行うことができる。両手順、特に、前者を用いると、MIMOチャネル推定行列を列ごとに構築することができ、QRなどの行列分解も、チャネル推定行列の構築に合致して、列ごとに実行できることがわかっている。一例として、QR分解に使用される代表的なグラム-シュミットアルゴリズムは、1つのアルゴリズムステップごとにQとR両方の1列を生成する（例えば、Golub G.H., Van Loan C.F., 「行列計算第3版」、ジョンズホプキンス大学出版、ボルチモア、メリーランド、1996年（Golub G.H., Van Loan C.F., Matrix computations 3rd ed., Johns Hopkins Univ. Pr. Baltimore, Md, 1996）の、特に第5.2.7項参照）。より高度な技法、すなわち、ソート付きQR分解の一例については、Wubben D., Bohnke R., Rinas J., Kuhn V., Kammeyer K.D., 「レイヤード時空間符号を復号化する効率のよいアルゴリズム」、IEEE電子工学レター、第37巻

30

40

50

、第22号、2001年10月(Wubben D., Bohnke R., Rinas J, Kuhn V., Kammeyer K.D., Efficient algorithm for decoding layered space-time codes, IEEE Electronics Letters, Vol. 37, No. 22, Oct. 2001)を参照することができる。同様に、定義により、チャネル推定および分解は行ごとに進めることができる。いずれにしても、その根底にある考えは、チャネル行列のチャネル推定および分解は、復号化/チャネル条件推定の前段として、実質上並列に実行することができ、したがって、復号器を高速で動作するとき役に立つ。

【0020】

本発明の別の態様によれば、MIMO送信機およびMIMO受信機を備え、受信機から送信機へのフィードバックパスを有する適応MIMO通信システムが提供され、MIMO送信機は、フィードバックパスを介して送信される受信機からのフィードバック信号を受信する受信機と、フィードバック信号にตอบสนองして送信機から受信機へのMIMO送信を構築する制御装置とを含み、MIMO受信機は、MIMO送信を受信するように構成され、MIMO受信機は、チャネルメトリック出力を有するチャネルメトリック計算モジュールと決定モジュールとを含み、決定モジュールは、チャネルメトリック入力と、MIMO送信機にMIMO構成信号を送信するための出力を有し、決定モジュールは、チャネルメトリック入力にตอบสนองしてMIMO伝送構成を決定し、決定に従って送信機を構成するため送信機にフィードバックするためのMIMO構成信号を出力するように構成され、受信機は、さらに、受信信号を復号化しチャネルメトリックを計算するために、MIMOチャネル応答行列を推定し、チャネルメトリックを計算し、および/または受信信号を復号化するために、チャネル応答推定と並列にチャネル応答行列の分解を求めるように構成される。

【0021】

関連する一態様では、本発明は、さらに、MIMO送信機およびMIMO受信機を備え、受信機から送信機へのフィードバックパスを有する適応MIMO通信システムを提供し、MIMO送信機は、フィードバックパスを介して送信される受信機からのフィードバック信号を受信する受信機と、フィードバック信号にตอบสนองして送信機から受信機へのMIMO送信を構成する制御装置とを含み、MIMO受信機は、MIMO送信を受信するように構成され、MIMO受信機は、チャネルメトリック出力を有するチャネルメトリック計算モジュールと決定モジュールとを含み、決定モジュールは、チャネルメトリック入力と、MIMO送信機にMIMO構成信号を送信するための出力を有し、決定モジュールは、チャネルメトリック入力にตอบสนองしてMIMO伝送構成を決定し、決定に従って送信機を構成するように送信機にフィードバックするためのMIMO構成信号を出力するように構成され、受信機は、さらに、受信信号を復号化しチャネルメトリックを計算するために、MIMOチャネル応答行列を推定し、共用計算リソースを使ってチャネルメトリックを計算し、受信信号を復号化するために、チャネル応答行列の分解を求めるように構成される。

【0022】

他の態様では、本発明は、前述のように、まず第1に送信機を、第2に受信機を提供する。

【0023】

本発明は、MIMO送信を受信するMIMO受信機をさらに提供し、MIMO受信機は、受信信号を復号化するためにMIMOチャネル応答行列を推定するMIMOチャネル行列推定器と、受信信号を復号化するためにチャネル応答行列の分解を求める行列分解モジュールとを備え、受信機は、チャネル行列応答分解の算出と並列にチャネル応答を推定するように構成される。

【0024】

また、本発明は、MIMO送信機およびMIMO受信機を備え、受信機から送信機へのフィードバックパスを有する適応MIMO通信システムを構成する方法をさらに提供し、MIMO送信機は、フィードバックパスを介して送信される受信機からのフィードバック信号を受信する受信機と、フィードバック信号にตอบสนองして送信機から受信機へのMIMO送信を構成する制御装置とを含み、MIMO受信機は、MIMO伝送を受信するように構

成され、この方法は、所望の受信側電力消費を指示する信号を入力し、電力指示入力に
応答してMIMO伝送構成を決定し、決定に従って送信機を構成するように送信機にフィ
ードバックするためのMIMO構成信号を出力することを有する。

【0025】

本発明は、さらに、MIMO送信機およびMIMO受信機を備え、受信機から送信機へ
のフィードバックパスを有する適応MIMO通信システムを構成する方法を提供し、MIMO
送信機は、フィードバックパスを介して送信される受信機からのフィードバック信号
を受信する受信機と、フィードバック信号に応答して送信機から受信機へのMIMO送信
を構成する制御装置とを含み、MIMO受信機は、MIMO送信を受信するように構成され、
この方法は、所望の通信サービス品質(QoS)信号を入力し、所望のQoS信号に
10 応答して第1のMIMO伝送構成を決定し、決定に従って送信機を構成するように送信機
にフィードバックするための第1のMIMO構成信号を出力し、通信サービス品質(QoS)
を測定し、測定QoSに応答して第2のMIMO伝送構成を決定し、第2の決定に従
って送信機を構成するように送信機にフィードバックするための第2のMIMO構成信号
を出力することを含む。

【0026】

前述のシステム、送信機、受信機および方法は、ディスク、CD-ROMまたはDVD-
ROM、読取り専用メモリなどのプログラム化メモリ(ファームウェア)のようなデータ
キャリア、あるいは光または電気信号搬送波などのデータキャリアに装荷される、プロセ
ッサ制御コードを使って実施できる。多くの用途では、前述のシステム、送信機、受信機
20 および方法の実施形態は、DSP(デジタル信号プロセッサ)、ASIC(特定用途向
け集積回路)および/またはFPGA(フィールドプログラマブルゲートアレイ)上で実
施される。したがって、本発明の実施形態を実施するコード(およびデータ)は、Cなど
従来のプログラミング言語で書かれたコードやマイクロコードで構成できる。しかしなが
ら、本発明の実施形態を実施するコードには、代替として、ASICやFPGAをセット
アップし、または制御するコード、あるいはVerilog(商標)、VHDL(超高速
集積回路ハードウェア記述言語)、またはSystemCといったハードウェア記述言語
のコードで構成できる。当業者は理解するように、そのようなコードおよび/またはデー
タは、例えばネットワーク上で互いに通信して複数の結合コンポーネント間分配できる。

【0027】

次に、本発明の上記その他の態様について、例として示すにすぎないが、添付の図を参
照してさらに説明する。

【発明を実施するための最良の形態】

【0028】

大まかに言えば、以下では、MIMO符号化および復号化方式の決定が、様々なパラメ
ータ、ならびに、サービス品質要件および電力制約条件など、物理層より上位の層からの
情報も含む推定されたチャネルメトリックおよび信号対雑音比(またはSN比範囲)に基
づくものであり、さらに実性能指示も考慮に入れる、インテリジェント適応MIMOシス
テムについて説明する。このようにして、適用システムの実施形態は、MIMO送受信シ
ステムの受信機から送信機へのフィードバックチャネルを使って最適な物理層スルーッ
40 トを提供することを目的とする。実施形態では、コンステレーションサイズの変調の種類
など他のパラメータも変えることができる。

【0029】

このシステムの実施形態では、上位(すなわち、アプリケーション)層情報には、送信
機から受信機に送信されるデータのタイプに従って随意的に変わる、必要なBLER(ブ
ロック誤り率)、および/またはCRC(巡回冗長検査)性能に関する制限を含めること
ができる。携帯用装置の場合などに採用できる電力消費制約条件は、バッテリー管理コン
ポーネントからリアルタイムで提供できる。決定プロセスに入力される他のパラメータには
、信号対雑音比または搬送波対干渉比を含めることができる。物理層情報には、例えば、
SN比などのチャネル統計に関連する情報から構築される計算されたチャネルメトリック
50

、電力遅延プロファイル、チャネル容量、MIMOチャネル間の相関の度合い、（例えば、特異値分解や類似の技法によって求められる）チャネル条件などが含まれ、随意的に他のあらゆる利用可能な情報も含むことができる。

【0030】

図2に、受信信号をMIMO復号器154とMIMOチャネル行列推定器156に供給する複数の受信アンテナ152を備える、典型的な単一方式のMIMO復号化アーキテクチャ150が示される。チャネル推定器156は、MIMOチャネル行列の推定値を含むMIMO復号器154への第1の出力158aと、動作SN比である信号対雑音比推定値を含むMIMO復号器154への第2の出力158bを生成する。MIMO復号器154は、各送信アンテナから送信されるシンボルの推定値を含む、各送信アンテナに1つつ、複数のシンボル出力160を提供し、これらのシンボルは、シリアルデータ出力164を供給するシンボル/ビットコンバータ162によってビットストリームに変換して戻される。また、MIMO復号器154は、シンボル/ビット復号器に、（各シンボル毎に）雑音分散推定出力161を供給する。雑音分散情報は、軟値出力(soft-value outputs)を生成するためにシンボル/ビット復号器によって使用される。アンテナフロントエンドおよびダウンコンバージョン回路（図2には示さず）を別にして、一般に、受信信号は初期段階でデジタル化され、したがって、図2に示すアーキテクチャはソフトウェアアーキテクチャを備えることが理解されるであろう。

10

【0031】

次に、図3を参照すると、本発明の諸態様を実施するインテリジェント適応MIMO受信機200のアーキテクチャの一例が示されている。完全を期して、対応するMIMO送信機280も示されている。

20

【0032】

図3の受信機200は、6つの主要部、すなわち、図2のMIMO復号器に類似するが、必要に応じて、異なるMIMOアルゴリズムおよびコンステレーションサイズを復号化するために制御できるように再構成可能なハイブリッドMIMO復号器システム202、MIMO方式選択モジュール204、データ後処理モジュール206、チャネル条件推定モジュール208、決定モジュール210、およびフィードバックシステム212を備える。

【0033】

MIMO復号器システムは、ハイブリッドMIMO復号器216と、方式選択モジュール204のMIMO方式およびコンステレーション(Q)選択器218と、チャネル条件推定モジュール208のMIMOチャネル推定器220とに複数の受信信号を供給する、複数の受信側アンテナ214を備える。チャネル推定器220は、MIMOチャネル行列Hの推定値、およびそれぞれの出力220a、bのSN比推定値を提供する。方式およびコンステレーション選択器218は、MIMO送信機280から送信される方式およびコンステレーション選択情報を受信し、復号し、それぞれのMIMO方式識別およびコンステレーション/Q識別データ出力218a、bを供給する。通常は、パケット化データ伝送方式が用いられ、その場合、パケットヘッダ情報は、このMIMO方式およびコンステレーション識別データを含むことができる。これは、所定のデフォルト符号化方式、好ましくは、復号化するのが比較的簡単なものを使って符号化できる。他の構成では、アクティブなMIMO方式およびコンステレーションを定義する情報は、特別な（事前に構成された）パケットの送信中に、または前に送信されるパケットの後端でも送信できる。しかしながら、ハイブリッドMIMO復号器216に方式を変更することを合図する情報は、復号化すべき実際のデータの前に到着する必要がある。速度を最適化するために、チャネル推定プロセスと同時にハイブリッドMIMO復号器再構成を行うことができる。

30

40

【0034】

採用できるMIMO伝送方式の例には、これらに限定されないが、Alamouti符号化（2つの送信ダイバシティを提供する単純な時空間符号）、垂直BLAST（ベル研究所レイヤード時空間）復号化およびベル研究所レイヤード時間、および他の技法、例えばV.Taro

50

kh, H. Jafarkhani および A.R. Calderbank, 「直交設計からの時空間ブロック符号」、I E E E 会報情報理論、第 4 5 巻、1 4 5 6 頁から 1 4 6 7 頁、1 9 9 9 年 7 月 (V. Tarok h, H. Jafarkhani and A.R. Calderbank, 「Space-time block codes from orthogonal d esigns」, IEEE Trans. Info. Theory., vol. 45, pp. 1456-1467, July 1999)、B.Hass ibi および B.Hochwald, 「空間および時間において線形の高速度符号」、I E E E 会報情報 理論、第 4 8 巻、1 8 0 4 頁から 1 8 2 4 頁、2 0 0 2 年 7 月 (B. Hassibi and B. Hoch wald, 「High-rate codes that are linear in space and time,」 IEEE Trans. Info. T heory., vol. 48, pp. 1804-1824, Jul. 2002)、並びに B L A S T については、G.J. Fo schini, 「多素子アンテナを使用するときのフェージング環境における無線通信でのレイ ヤード時空間アーキテクチャ」、ベル研究所技術ジャーナル、第 1 巻、第 2 号、4 1 頁か ら 5 9 頁、1 9 9 6 年 (G.J. Foschini, 「Layered space-time architecture for wirel ess communication in fading environment when using multi-element antennas」, Bel l Labs. Tech. J., vol. 1, no. 2, pp. 41-59, 1996)、Alamouti については、S.M.Alam outi, 「無線通信のための単純な送信ダイバーシチ方式」、選択された通信分野に関する I E E E ジャーナル、1 4 5 1 頁から 1 4 5 8 頁、1 9 9 8 年 1 0 月 (S.M. Alamouti, 「A simple transmitter diversity scheme for wireless communications,」 IEEE J. S el. Area Comm., pp 1451-1458, Oct. 1998) に記載された技法が含まれる。他の M I M O 復号化方式は、本出願人の同時係属の英国特許出願第 0 2 1 9 0 5 6 . 9 号 (2 0 0 2 年 8 月 1 5 日出願)、第 0 2 2 7 7 7 0 . 5 号 (2 0 0 2 年 1 1 月 2 8 日出願)、第 0 3 2 3 0 7 4 . 5 号 (2 0 0 3 年 1 0 月 2 日出願)、第 0 3 2 3 2 0 8 . 9 号 (2 0 0 3 年 1 0 月 3 日出願)、第 0 3 2 3 2 1 1 . 3 号 (2 0 0 3 年 1 0 月 3 日出願)、および第 0 3 2 9 2 3 0 . 7 号 (2 0 0 3 年 1 2 月 1 7 日出願) に記載されている。採用できる変調 方式 / コンステレーションには、これらに限定されないが、M - P S K および M - Q A M が 含まれ得る。M I M O 方式および変調の種類を識別するには、1 = V - B L A S T、1 = 1 6 Q A M など、簡単な符号を用いることができる。

【0035】

図 3 に戻ると、ハイブリッド M I M O 復号器 2 1 6 は、出力 2 1 8 a、b から M I M O 方式およびコンステレーション情報を、出力 2 2 0 a、b からチャネル推定および信号対 雑音比情報を、そして各受信アンテナから 1 つずつの信号を受け取り、1 つが各送信アン テナに対応する複数のシンボル出力 2 2 2、および各シンボル (2 2 2) 出力 2 2 4 ごと の雑音分散を提供し、これらは、出力 2 1 8 b からの変調 / コンステレーションタイプ情 報と共に、シンボル / ビットコンバータ 2 2 6 に供給される。シンボル / ビットコンバー タ 2 2 6 は、M I M O 送信機 2 8 0 に供給されるビットストリームの推定値を含む出力ビ ットストリーム 2 2 8 を出力する。このビットストリームは、データ後処理モジュール 2 0 6 に供給される。このモジュール 2 0 6 は、様々な他の処理 2 3 0、例えば、ピタビ復 号器などを使ったチャネル復号化や、C R C 検査 2 3 2 などを含むことができる。受信機 の実装形態によって、データ後処理モジュール 2 0 6 内で様々な機能を提供することがで き、図 3 に示すコンポーネントは、単に、一般論として、これらの選択肢のいくつかを示 すにすぎないことを当業者は理解するであろう。しかしながら、大まかに言えば、デー タ後処理モジュール 2 0 6 は、上位レベルのモジュール、例えば、媒体アクセス制御 (M A C) 層モジュールや、オーディオおよび / またはビデオ復号器などのアプリケーション層 モジュールに、データ出力 2 3 4 を供給する。データ後処理モジュール 2 0 6 は、実際の (測定) チャネル性能に関連する統計データ、例えば、瞬間または平均ブロック誤り率 (B L E R) などを含む、チャネル統計データ出力 2 3 6 も提供する。この測定統計情報は 、決定モジュール 2 1 0 に供給される。

【0036】

チャネル条件推定モジュール 2 0 8、およびチャネル推定器 2 2 0 を見直すと、これは 、チャネル推定器 2 2 0 の M I M O チャネル推定出力 2 2 0 a からの入力を有し、決定モ ジュール 2 1 0 にチャネルメトリックデータ出力 2 4 0 を供給するチャネルメトリック計 算モジュール 2 3 8 も含む。チャネルメトリック計算モジュール 2 3 8 は、任意の従来の

方式で、例えば、QR分解やSVD（特異値分解）などに基づいてチャネルメトリックを計算するように動作できる。いくつかのチャネルメトリック計算法が、すでに参照している従来技術文献（特に、欧州特許第1185001号およびAbeらの文献）に記載されている。代替として、例えばSVDが用いられる場合、チャネル条件メトリックは、最大と最小の特異値の比から求めることもできる。さらに、または代替として、最小特異値および/または対角要素を、特定のMIMO伝送方式の適用可能性または耐性の指標として用いることもできる。

【0037】

チャネル条件は時間平均値として計算でき、チャネルメトリック計算モジュール238には、MIMOチャネルのタイプ、例えば、屋内かそれとも屋外かを示すチャネルタイプデータ入力242が供給でき、この情報を使ってどれほどの期間にわたって平均すべきかを決定することができる。例えば、屋内環境では、1から10秒の期間にわたって平均することが適当であると考えられるが、屋外環境では、1秒未満、おそらく、0.1秒未満にわたって平均することが適当であると考えられる。さらに、または代替として、チャネルメトリック計算モジュールは、電力遅延プロファイル、チャネル容量、MIMOチャネル間の相関などのチャネル統計の1つ以上を使ってチャネルメトリックを求めることもできる。前述したように、一般に、チャネル推定器220は、既知のトレーニングシーケンスを使ってチャネル推定値を求める。大まかに言えば、チャネル推定器および/またはチャネルメトリック計算モジュールは、チャネル特性またはタイプに関連する情報を提供されることにより支援され、この情報は、最適サンプリング速度に適応するときに役立ち、トラッキング性能を向上させ、より一般的には、チャネル/チャネル統計の改善された推定値を提供できる。

【0038】

次に、決定モジュール210を参照すると、これは、ルックアップテーブル244と決定ロジック246という2つの主要なコンポーネントを組み込んでおり、随機的に平均SN比推定器248もさらに含めることができる。ルックアップテーブル244は、テーブル内のエントリを示す多数のパラメータを受信し、それぞれ、MIMO伝送方式およびコンステレーションサイズ/タイプを識別する1対の出力244a、bを出力するように構成される。図示の実施形態では、入力パラメータには、指標244cの電力制約条件入力、指標244dのデータのタイプ入力、240のチャネルメトリック入力、および指標244eの平均SN比が含まれる。これらの入力パラメータのそれぞれは、ルックアップテーブル244の1つの次元として有効に作用し、1組の入力パラメータが、出力のための所定のMIMO方式およびコンステレーションを識別する。ルックアップテーブル244中のデータは、MIMOシステムの特定の実装形態、電力制約条件、必要な性能などに依存する。ルックアップテーブルのデータは、例えば、特定のMIMO復号化方式の電力消費を測定したり、様々な最低限のサービス品質要件を前提として、様々な条件（チャネルのタイプ、データのタイプ、平均SN比）の下で、試験的に、MIMO方式とコンステレーションサイズ/タイプの特定の組み合わせの性能を求めるなど、通常の試験によって容易に決定することができることは、当業者は理解するであろう。次いで、特定の1組の入力パラメータに対して、第3のMIMO方式およびコンステレーションサイズ/タイプを決定するためにそのような決まった手順の試験の結果を検討することができる。次いで、このデータを、永続的に（またはアップグレード可能なように）、例えばROMやフラッシュRAMを構成できるルックアップテーブル244に格納することができる。さらに、または代替として、ルックアップテーブルは、一部または全ての可能な入力パラメータ値について、（ハイブリッドMIMO検出器がサポートできる）MIMO方式とコンステレーションサイズ/タイプの様々な組み合わせの期待される性能に関連するデータと、これらの方式/コンステレーションタイプのそれぞれでの期待される電力消費に関するデータを格納することができる。どちらの場合も、このとき、ルックアップテーブルは、採用する最適なMIMO伝送方式およびコンステレーションタイプ/サイズを識別するデータを出力することによって、例えば、チャネルメトリック、SN比、データのタイプ、および

10

20

30

40

50

／または電力制約条件により構成される決定ロジックコンポーネント 2 4 6 からの問い合わせに応答するように効率的に構成されている。例えば、電力が制約される用途では、Alamouti 方式などの単純な方式が採用でき、これに対して、より多くの電力が利用可能であるときには、高性能高複雑度 M I M O 復号器を用いる B L A S T 型方式が採用できる。

【 0 0 3 9 】

受信機の実施形態では、送信機 2 8 0 によって採用すべき M I M O 方式およびコンステレーションを規定するために、ルックアップテーブル 2 4 4 からの出力 2 4 4 a、b が利用できる。しかしながら、好ましい実施形態では、決定モジュール 2 1 0 は、特に、選択された方式 / コンステレーションの実際の測定性能に基づくフィードバックを提供するために、ルックアップテーブルからの想定される最適な方式 / コンステレーション出力を変更することができる決定ロジックコンポーネント 2 4 6 を組み込んでいる。この情報は、例えば、C R C 検査ユニット 2 3 2 からの出力 2 3 6 を介して、事後処理モジュール 2 0 6 から決定ロジック 2 4 6 に提供される（ただし、C R C 検査の出力は、一般に、単に 1 つの論理値、真または偽、合格または不合格であるため、これは統計値に変換される必要がある）。決定ロジック 2 4 6 は、様々な方法でルックアップテーブル 2 4 4 からの出力の変更を容易にする。例えば、選択された方式 / コンステレーションが所望の範囲内のブロック誤り率を得る場合、この方式 / コンステレーションはそのままとされ、そうでない場合には、変更できる。さらに、または代替として、ルックアップテーブル 2 4 4 は、消費電力の大きい M I M O 復号化方式を提示できるが、他の情報が、例えば、バッテリーの残時間が数分しかないと示すことがあり、この場合には、選択を、復号化により少ない処理電力を必要とするより単純な方式に変更することができ、したがって利用可能なバッテリー寿命が延びる。代替として、測定ブロック誤り率（または他の統計値）が、サービス品質が必要以上に高いことを示唆する場合、この方式 / コンステレーションは、より高いデータスループットを、より低いがなお許容可能なサービス品質で配信するように変更できる。（統計的誤り率はサービス品質の有用な尺度であるが、誤りのないパケット受信を実質的に保証するのに必要とする再送信の回数など、他の尺度も用いられ得ることを当業者は理解するであろう）。また、決定ロジックコンポーネントは、例えば、システムの動作モードを定義するために、ユーザ入力または設定を考慮することもできる。実施形態では、決定ロジックコンポーネント 2 4 6 は、例えば、B L E R 要件の形で、チャンネルのタイプ（例えば、これがどれほどの速さで変化するか、屋内環境であるか、それとも屋外環境であるか）、およびデータのタイプ（例えば、Web ブラウズのための非時間制約型データ、ビデオ送信のための時間制約型データ、ビデオでの必要伝送品質など）の知識を有し、または導出することができる。

【 0 0 4 0 】

前述のように、平均 S N 比推定器 2 4 8 は、ルックアップテーブル 2 4 4 への入力を供給することもできる。S N 比推定器 2 4 8 は、チャンネル推定器 2 2 0 から推定された S N 比データを受け、これの移動平均または窓かけ平均を計算し、好ましくは、例えば、M I M O 方式 / コンステレーションが変化するときや、チャンネル特性が変わるかもしれないとき、決定ロジックコンポーネント 2 4 6 からの出力 2 4 6 a によってリセット可能である。

【 0 0 4 1 】

決定モジュール 2 1 0 の決定ロジックコンポーネント 2 4 6 は、フィードバックパスモジュール 2 1 2 に、M I M O 方式およびコンステレーションサイズ / タイプを識別するデータを備える出力 2 4 6 b を与える。この情報は、無線通信を含んでも含まなくてもよい、任意の好都合な通信方法によって M I M O 送信機 2 8 0 に戻される。図示の例では、この方式 / コンステレーションデータは、バッファ 2 4 8、次いで、送信アンテナ 2 5 0 に供給され、送信アンテナ 2 5 0 は、M I M O 送信機が、この方式 / コンステレーションコマンドデータを受け、然るべく伝送を構成することができるよう、M I M O 送信機 2 8 0 に結合された受信アンテナ 2 8 2 にこのデータを送り返す。図 3 の例に示すように、M I M O 送信機 2 8 0 は、ビデオデータ圧縮モジュール 2 8 4 によって圧縮されたビデオデ

ータを送信するように構成される。

【0042】

受信機200から送信機280へのフィードバックパスは、比較的低い帯域幅でよい。というのは、送信される情報、すなわち、反復期間での最適な方式およびコンステレーションタイプ/サイズの受信機側の推定は、わずか数ビットで規定できるからである。例えば、AlamoutiおよびBLAST（あるいは類似の技法）など、2つの方式を用いるハイブリッド復号器での方式選択には単一ビットを用いることができ、例えば、BPSK（2相位相偏移変調）、QPSK（直交位相偏移変調）、16-QAM、および64-QAMなど、4つのタイプの間で選択する場合には、2ビットを用いてコンステレーションサイズを規定することができる。したがって、例えば、この情報は、確認応答パケット内で送信されるヘッダに含めることができる（というのは、規定されたサービス品質要件を有する用途では、そのような確認応答パケットを送信することが普通だからである）。したがって、バッファ248は、ヘッダ送信待ち行列を含むことができる。

10

【0043】

図4から図6に、図3を参照して詳細に説明したインテリジェント適応MIMOシステムの一般的なアーキテクチャを示す。したがって、図4において、送信パラメータ選択/決定モジュール300は、メトリック計算モジュール302、電力制約条件決定モジュール304、およびサービス品質要件モジュール306から入力を受け、メトリック計算モジュール302は、チャネル推定モジュール308から入力を受ける。図5のアーキテクチャは、選択/決定モジュール400が1つ以上の実性能指示器402からの入力をさらに受けることを除いて同様である。図6の構成は、さらに、選択された送信パラメータの履歴502（方式および/またはコンステレーションサイズ/タイプ）の知識を受け、またはこれを有する選択/決定モジュール500を有する。

20

【0044】

受信機の特に好ましい実施形態では、処理を増加させ、および/または電力消費（またはおそらくシリコン領域）を低減させるために、信号処理リソースが共用できる。これは、まず第1に、MIMOチャネル推定行列の分解は、チャネル条件またはメトリックの決定と、受信データの復号化の両方の先行情報として使用することができ、第2に、チャネル推定行列の分解は、チャネル推定行列自体の決定と並列に進めることができるという認識に基づくものである。当業者にはよく知られているように、MIMO復号化は、一般に、QR分解やSVC分解など、何らかの形の行列チャネル推定の分解を利用して、送信シンボルを推定する（例えば、Wubben D., Bohnke R., Rinas J., Kuhn V., Kammeyer K.D., 「レイヤード時空間符号を復号化する効率のよいアルゴリズム」、IEEE電子工学レター、第37巻、第22号、2001年10月（Wubben D., Bohnke R., Rinas J., Kuhn V., Kammeyer K.D., Efficient algorithm for decoding layered space-time codes, IEEE Electronics Letters, Vol. 37, No. 22, Oct. 2001）を参照）。しかしながら、チャネルメトリック計算は、行列チャネル推定の分解を利用し、またはこれによって簡略化することができ、したがって、MIMOチャネル推定行列の分解または因数分解の共通の初期段階があるように受信機を構成することによって、受信機での計算負荷が低減できる。例えば、前述のように、チャネル条件は、特異値分解の最大対最小特異値比を取ることに

30

40

【0045】

図7に、この手順を概略的に説明するMIMO受信機600の一部を示し、例えば、チャネル条件情報などを使用するこの受信機のインテリジェントまたは適応部と、図の例では後退代入アルゴリズムを用いるこの受信機の復号化部との間で、リソースがどのように

50

共用できるかを示す。図 7 の 2 つの破線の囲み 6 0 2、6 0 4 は、それぞれ、この受信機の動作の訓練段階と、この受信機の動作の復号化段階とを示す。物理的には、2 組の受信アンテナ 6 0 6 は同じものである。訓練段階では、受信機は、例えば、パケットの先頭においてトレーニングシーケンスを受け、これらがチャネル推定 / 分解モジュール 6 0 8 に与えられる。このモジュールは、好ましくは、以下でさらに説明するように並列に、チャネル推定と行列分解を実行し、MIMOチャネル推定行列のQR分解を求め、QおよびR行列出力 6 0 8 a、b、推定される信号対雑音比出力 6 0 8 c、および、例えば、最大対最小特異値比に基づいて、チャネル条件出力 6 0 8 d を提供する。状況に応じて、Q値およびR値は、後続の後退代入手順を簡略化し、および / またはこれの信頼性を向上させるために、事前計算コンポーネント 6 1 0 によって前処理され、または変換されてもよい。例えば、0 に極めて近い、または 0 に等しい行列 R 内の値は、事実上、これらが除算演算における除数として使用されるため、後退代入 6 1 2 を実行するときに問題を生じ得る（後退代入アルゴリズムの式については、例えば、Golub G.H.、Van Loan C.F.、「行列計算第 3 版」、ジョーンズホプキンス大学出版、ボルチモア、メリーランド、1996 年（Golub G.H.、Van Loan C.F.、Matrix computations 3rd ed.、Johns Hopkins Univ. Pr. Baltimore, Md, 1996）の、特に第 3 . 1 . 2 項参照）。これは、結果として送信シンボルを誤って推定することになり、復号化ハードウェアの除算演算の間に算術オーバーフローを生じることにもなり、したがって、これらの値は、調整されるかもしれない。任意の必要な事前計算が、（以下で詳細に説明するように）ブロックの先頭にあるチャネル推定の後、またはこの間に実行されてもよい。事前計算ステップ 6 1 0 は、例えば、Golub による文献の第 5 . 7 . 1 項に記載されているように、後退代入逆多重化アルゴリズム 6 1 2 の代わりに機能することもできる。

【0046】

トレーニング段階 6 0 2 は、一般に、処理される受信シンボルの各ブロックごとに 1 回より多く実行されることはないが、復号化は、受信データシンボルの各組ごとに実行される。一般的な例として、図 10 に、IEEE 802 . 11 a 規格、IEEE 規格 802 . 11 a - 1999 [ISO / IEC 8802 - 11 : 1999 / Amd 1 : 2000 (E)] (IEEE 規格 802 . 11、1999 年版への補足) 第 11 部：無線 LAN 媒体アクセス制御 (MAC) および物理層 (PHY) 仕様：5 GHz 帯における高速物理層（特に、PPDU フレーム形式）(IEEE 802.11a standard IEEE Std 802.11a-1999 [ISO/IEC 8802-11:1999/Amd 1:2000(E)] (Supplement to IEEE Std 802.11, 1999 Edition) Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications : High-speed Physical Layer in the 5 GHz Band (in particular a PPDU frame format)) による 1 ブロックのシンボルを示す。これは、2 つの部分、すなわち、送信時の最初の OFDM シンボルを占め、PLCP プリアンブルシンボルにおけるチャネル推定に使用されるシンボルの特定の訓練シーケンスを含むヘッダ部と、後続の OFDM シンボルに使用される変調の種類および符号化速度に関する情報を提供する SIGNAL 部とを備える、OFDM シンボルを用いる OFDM システムを指定する。PLCP プリアンブルおよび SIGNAL OFDM シンボルの（時間的な）後には、受信機（復号化段階）によって復号化されるデータシンボルを搬送するいくつかの OFDM シンボルを保持するデータ部が続く。したがって、復号化段階 6 0 4 では、必要に応じて前処理される QR 分解が、例えば、さらに処理するための逆多重化された信号ストリーム 6 1 4 を提供するために量子化を用いる、後退代入モジュール 6 1 2 に与えられる。

【0047】

大まかに言えば、雑音項を別として、受信信号ベクトル y は、 $y = Q \cdot R \cdot c$ によって与えられ、式中、 c は送信信号ベクトルであり、したがって、 Q は、これの転置が（QR 分解の）定義からの逆であるため容易に反転して、 y を掛けることができ、 R は上三角行列であるため、 y 、 Q 、 R は既知であり、シンボル c は、要素ごとに求めることができ、まず $Q^T y_n$ から c_n を求め、後方に向かって、順に各 c 値ごとに、この値を最も近いコンステレーションポイントに量子化する。チャネル推定およびチャネルメトリック計算は

、送信シンボルのブロックごとに1回だけ実行されるため、MIMO復号器は、量子化を用いる簡単な後退代入法を使ってブロック中の各シンボルを推定することができ、チャネルメトリック計算プロセスが簡略化される。

【0048】

受信機の動作速度を向上させるために、QRなどの分解は、チャネル推定手順と並列に実行できる。例えば、チャネル推定を列ごとに行い、QR分解手順もまた、列ごとの分解が可能である。一例として、QR分解に使用される修正グラムシュミット(mGS)アルゴリズムを考える。mGSアルゴリズムの最初のステップは以下の通りである。

【0049】

1. $R(1, 1) = \text{norm}(H \text{ の第1列})$
2. $Q \text{ の第1列} = (H \text{ の第1列}) / R(1, 1)$
3. $R(1, 2) = (Q \text{ の第1列})' * (H \text{ の第2列})$
4. $(H \text{ の第2列}) = (H \text{ の第2列}) - R(1, 2) * (Q \text{ の第1列})$
5. $R(1, 3) = (Q \text{ の第1列})' * (H \text{ の第3列})$
6. $(H \text{ の第3列}) = (H \text{ の第3列}) - R(1, 3) * (Q \text{ の第1列})$
7. $R(1, 4) = (Q \text{ の第1列})' * (H \text{ の第4列})$
8. $(H \text{ の第4列}) = (H \text{ の第4列}) - R(1, 4) * (Q \text{ の第1列})$
9. 残りのステップ

ステップ1および2は、Hの第1列を使用し、ステップ3および4はHの第2列を使用し、ステップ5および6はHの第3列を使用し、ステップ7および8はHの第4列を使用する。したがって、これら修正グラムシュミット(mGS)アルゴリズムの最初のステップを用いてチャネル推定プロセスを並列化することが可能である。推定および分解ステップは以下の通りである。

【0050】

1. Hの第1列を推定する。

【0051】

2. mGSのステップ1および2を実行すると同時にHの第2列を推定する。

【0052】

3. mGSのステップ3および4を実行すると同時にHの第3列を推定する。

【0053】

4. mGSのステップ5および6を実行すると同時にHの第4列を推定する。

【0054】

5. mGSのステップ7および8を実行する。

【0055】

6. mGSの残りのステップを続ける。

【0056】

したがって、図7において、モジュール608内に破線で示される2つの要素、チャネル推定および分解は、実際には、単一の、統合された手順を含むことができる。そのような場合、チャネル条件推定メトリックの決定は、このアーキテクチャの異なるコンポーネントまたはモジュールを設けることができ、このコンポーネントは、例えば、後退代入手順の間、これと並列に動作することができる。

【0057】

また、SVDやQR分解などの分解または因数分解を求めることによってチャネル推定を実行することも知られている。(雑音変形推定を必要としないブラインド等化を含む)そのようなチャネル推定器の例は、Edfors O., Sandell M., van de Beek J-J, Wilson S.K., Borjesson P.O., 「特異値分解によるOFDMチャネル推定」、通信に関するIEEE会報、第46巻、第7号、1998年7月(Edfors O., Sandell M., van de Beek J-J, Wilson S.K., Borjesson P.O., OFDM Channel estimation by Singular Value Decomposition, IEEE Transactions on Communications, Vol. 46, No.7, July 1998)およびLi X., Fan H.(H), 「2次統計を用いたQR分解に基づくブラインドチャネル識別および

10

20

30

40

50

等化」、信号処理に関するIEEE会報、第48巻、第1号、2000年1月(Li X., Fan H.(H), QR Factorization Based Blind Channel Identification and Equalization with Second-Order Statistics, IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 48, No. 1, Jan 2000)に記載されている。そのようなシステムは、事実上、モジュール608の分解およびチャネル推定部が交換されることを可能にする。

【0058】

図8に、適応MIMO復号器を組み込んでいる、前述の技法を実施するように構成された受信機700を示す。

【0059】

受信機700は、それぞれが、例えば、図3のRFフロントエンドに類似した、個々のRFフロントエンド704a、bに、次いで、個々のアナログ/デジタルコンバータ706a、b、およびデジタル信号プロセッサ(DSP)708に結合された、1つ以上の受信アンテナ702a、b(図示の実施形態にはこのうちの2つが示されている)を備えている。DSP708は、通常、(例えば、フィルタ414の並列実装のための)1つ以上のプロセッサ708a、および作業メモリ708bを含む。DSP708は、データ出力710、およびDSPをフラッシュRAMやROMなどの永続プログラムメモリ714に結合する、アドレス、データおよび制御バス712を有する。永続プログラムメモリ714は、DSP708のためのコード、および随意的に、データ構造またはデータ構造定義を格納する。

【0060】

図示のように、プログラムメモリ714は、DSP708上で実行されるときに前述の対応する機能を実施する、SN比平均コンポーネント、チャネルメトリック計算制御コンポーネント、ルックアップテーブルインターフェースコンポーネントおよびMIMO/コンステレーション決定コンポーネントを有する、MIMO方式およびコンステレーション選択コードを含む。また、プログラムメモリ714は、MIMOチャネル推定値Hを与える列ごとのMIMOチャネル推定コード714b、列ごとのMIMOチャネル行列分解コード714c、(随意的な事前計算および)後退代入コード714d、チャネルメトリック計算コード714e、MIMO方式およびコンステレーションサイズ/タイプを選択するためのデータを含むルックアップテーブル714f、MIMO方式およびコンステレーションサイズ/タイプ制御データ受け入れコード714g、および随意的デインターリーバコード714h、インターリーバコード714i、およびチャネル復号器コード714jも含む。適当なコード714eの例は、当業者にはよく知られている。随意的に、永続プログラムメモリ714中のコードは、光または電気信号搬送波のように、または図7に示すように、フロッピー(登録商標)ディスク716などのキャリアにても提供できる。

【0061】

DSP708からのデータ出力710は、さらに、必要に応じて、受信機700のデータ処理要素(図7には示さず)にも供給される。これらは、上位レベルのプロトコルを実施するベースバンドデータプロセッサとすることができる。

【0062】

受信機フロントエンドは、一般に、ハードウェアとして実施され、他方、受信機処理は、普通、少なくとも一部はソフトウェアとして実施されるが、1つ以上のASICおよび/またはFPGAも用いることができる。受信機の機能は全て、ハードウェアとして実施することができ、信号がソフトウェア無線においてデジタル化される正確なポイントは、一般に、コスト/複雑さ/電力消費のトレードオフに左右されることを、当業者は認識するであろう。

【0063】

図9に、図8の受信機700のMIMO方式およびコンステレーション選択コード714aの動作を説明する概略的流れ図を示す。ステップS720で、コードは、電力制約条件データ、チャネルメトリックデータ、データのタイプデータおよび任意選択で時間平均SN比データを受け、ステップS722で、これらのデータを使って、ルックアップテー

ブル 7 1 4 F から M I M O 方式およびコンステレーションを識別するデータを読み取る。ステップ S 7 2 4 で、コードは、平均ブロック誤り率を読み取り、ステップ S 7 2 6 で、これが許容される範囲内にあるか否か判定し (S 7 2 6)、否である場合には、ルックアップテーブルによって推奨される M I M O 方式および / またはコンステレーションを変更する (S 7 2 8)。随意的に、ステップ S 7 3 0 で、方式 / コンステレーション選択コードは、ブロック誤り率からチャンネルのタイプを識別し、チャンネルタイプデータをチャンネルメトリック計算モジュール 7 1 4 e に出力する (これは、ルックアップテーブルデータによって指示される M I M O 方式 / コンステレーションを変更できる)。次いで、ステップ S 7 3 2 で、M I M O 方式およびコンステレーションデータが、送信機が実施するためにフィードバック (送信機制御) チャンネルに出力される。変更が実施されると、受信機には、前述のように、制御データ受け取りコード 7 1 4 g による解釈および実施のために、受信機に方式およびコンステレーション選択データを送信することにより知らされる。

【 0 0 6 4 】

前述の技法の実施形態は、M I M O 通信システムの、チャンネル条件その他の制約条件、特に、電力消費に関連する制約条件へのより適切な適応を円滑に行わせる。例えば、A l a m o u t i などの時空間符号化方式は、ダイバーシチを用いてビット誤り率を低減させ、したがって、チャンネル条件および雑音に耐え得る耐性を有するが、通常、1 の (単入力単出力システムと比べた) 最大速度を有し、他方、B L A S T などの空間多重化方式は、潜在的に、送信アンテナの数に等しい最大速度を提供するが、これは、不良条件チャンネルおよび / または低 S N 比では大幅に (1 さえも下回るほど) 低下できる。これにもかかわらず、携帯用装置では、電力を節約するために低 S N 比で動作する必要性が重要となり得るが、他の状況では、電力消費の増加という代償を払ってでもより複雑な多重化アルゴリズムが選択されてもよい。さらに、いくつかの用途では、閾値最小誤り率を必要とし、空間的多重化アルゴリズムは、S N 比が低いとき、またはチャンネルの不良条件が高いときに、これを提供できないことがある。注水方式 (S N 比に応じて送信アンテナに電力を分配する) は、ある程度の適応性を実現するが、前述の技法を用いる場合より著しく高いレベルのフィードバックを必要とするかもしれない。前述の技法は、様々な要因を考慮に入れ、従来技術の技法に優る大幅に改善された性能を提供することができる。これらの技法を実施するための一般化されたアーキテクチャが、前述のように、図 4 から図 6 に概略的に示されている。例えば、図 6 を参照すると、この場合は、以前に選択された M I M O 方式 / コンステレーションパラメータに関連する情報が、方式 / コンステレーションタイプを選択するための入力パラメータの 1 つとして使用され、システムが、例えば、誤り率性能の近いアルゴリズム間での切り替えなどによって、様々な要件に徐々に適応するように、わずかな速度の変更だけが許容できる。したがって、新しい M I M O 方式 / コンステレーションの選択は、現在用いられているものとの差が閾値以下である、予測される、または実際のデータ転送速度または誤り率を有する方式に依存できる。

【 0 0 6 5 】

前述の技法を用いるシステムの実施形態では、1 つ以上の要件にこれらの重要度に従って重み付けすることも可能である。例えば、チャンネルメトリックの推定が信頼できないと予期される場合には、結果として予期しない通信障害の危険を伴う、送信パラメータの急激な変更を引き起こさないように、これに低減された重みを付与することができる。これとは対照的に、例えば、電力制約条件など、他のパラメータにより大きな重みを付与して、これらが、例えば、端末を電源またはバッテリー動作に適應させるのに適した送信パラメータの大幅な変更を生じさせるようにすることもできるであろう。

【 0 0 6 6 】

前述の技法においては、さらに、または代替としてコンステレーションサイズ / 変調オーダに適應できる別の重要なパラメータが、チャンネル符号化速度および、随意的に、符号化アルゴリズム (すなわち、図 1 の要素、符号器 1 0 4、復号器 1 2 0 を指す) であり、これが、本発明の実施形態 / 諸態様において企図されている。したがって、本明細書では、チャンネル符号化速度 / アルゴリズムは、コンステレーションまたはコンステレーショ

ンパラメータへの参照に加え、および／またはこれに代わるものとして、効果的に読み取られ、理解できる。

【 0 0 6 7 】

前述の適応 M I M O 通信システムの実施形態は、所定の誤り率以下での動作を必要とする用途での最小スループット保証を提供し、チャネルおよび S N 比許可を提供する（したがって、サービス品質要件を満たす）ことができる。説明した技法は、受信機の電力消費を、例えば、スループットと複雑さとのトレードオフで適応させるのにも役立つ。このようにして、動作条件許可を提供すれば、このシステムの実施形態は、事実上、チャネルメトリック / S N 比 / Q o S 要件の全てをカバーする性能下限値を保証することができる。また、本明細書では、ハードウェアの複雑さおよび／または電力消費を低減させ、および／または任意選択で速度を上げるために、計算リソース、特に、M I M O チャネル行列分解に関連するリソースがどのように再利用できるかも説明されている。

10

【 0 0 6 8 】

前述の技法の実施形態は、基地局、アクセスポイント、モバイル端末／モバイル機器を含む、広範な M I M O 通信システムにおける用途を有する。適応通信プロセスで使用するための M I M O 方式は、A l a m o u t i などの非常に単純な方式から、B L A S T や球面復号化のような複雑な時空間および／または周波数 M I M O 方式に至るまで、選択できる。大まかに言えば、本発明の実施形態は、改善された、または少なくともより一貫性のあるレベルの性能、および／または、条件およびパラメータに応じて、より高いデータ転送速度、および／または、特定の実施形態では、より効率のよいハードウェアリソースの使用を円滑に実現させる。

20

【 0 0 6 9 】

当業者には他の多くの有効な代替形態が想起されることはいうまでもない。本発明は、説明した実施形態に限定されず、添付の特許請求の範囲の精神および範囲内に含まれる、当業者には明らかな変更形態を包含するものであることが理解されるであろう。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 7 0 】

【図 1】フィードバックを備える M I M O 時間符号化通信システムの一例を示す図である。

【図 2】M I M O 受信機アーキテクチャの一例を示す図である。

30

【図 3】本発明の一態様の一実施形態による適応 M I M O 受信機を示すブロック図である。

【図 4】インテリジェント適応 M I M O システムの一般化アーキテクチャを示す図である。

【図 5】インテリジェント適応 M I M O システムの別のアーキテクチャを示す図である。

【図 6】メモリを備えるインテリジェント適応 M I M O システムのアーキテクチャを示す図である。

【図 7】リソース共用を用いる M I M O 受信機のアーキテクチャを示す図である。

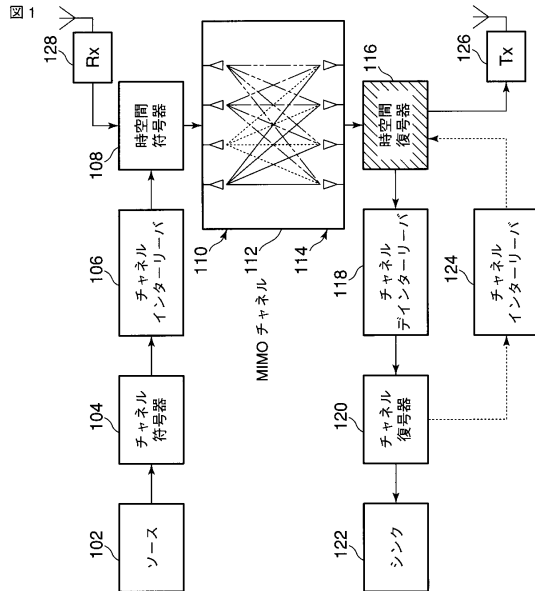
【図 8】本発明の一実施形態に従って動作するように構成された受信機を示す図である。

【図 9】適応 M I M O プロセスを示す流れ図である。

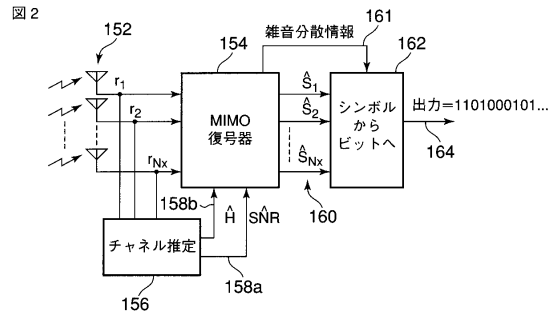
40

【図 10】8 0 2 . 1 1 a データパケットのヘッダ形式の一例を示す図である。

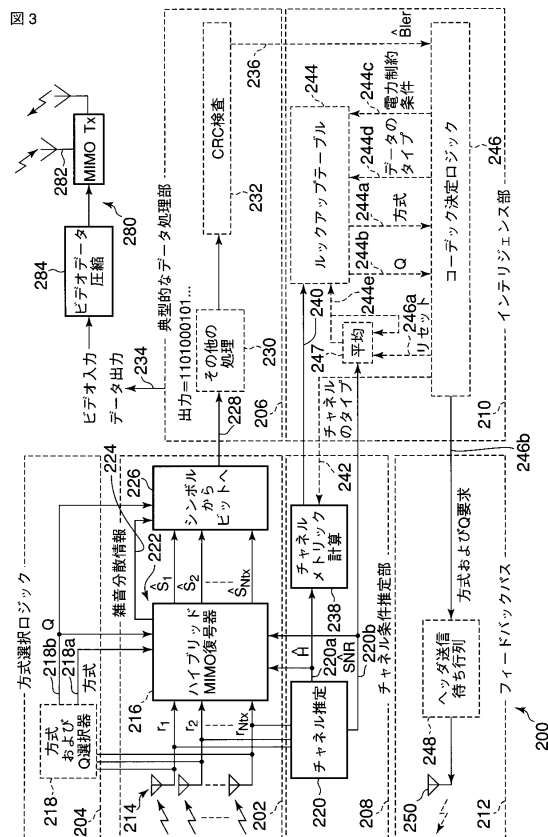
【 図 1 】



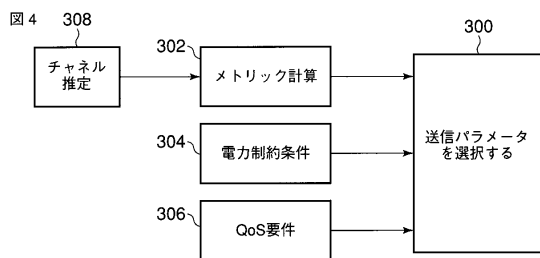
【 図 2 】



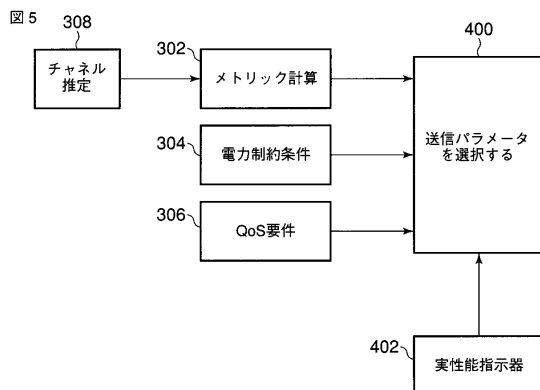
【 図 3 】



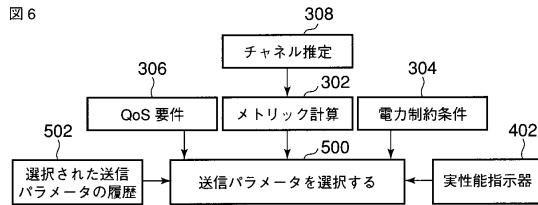
【 図 4 】



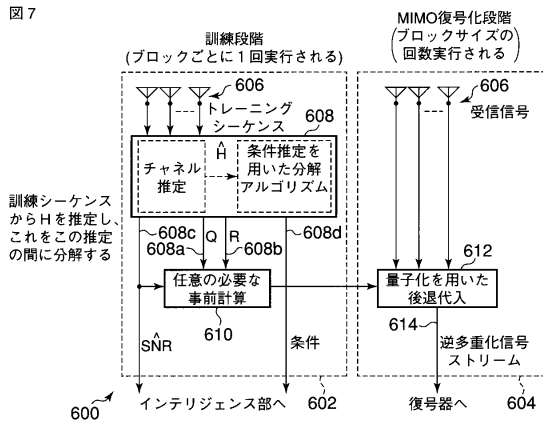
【 図 5 】



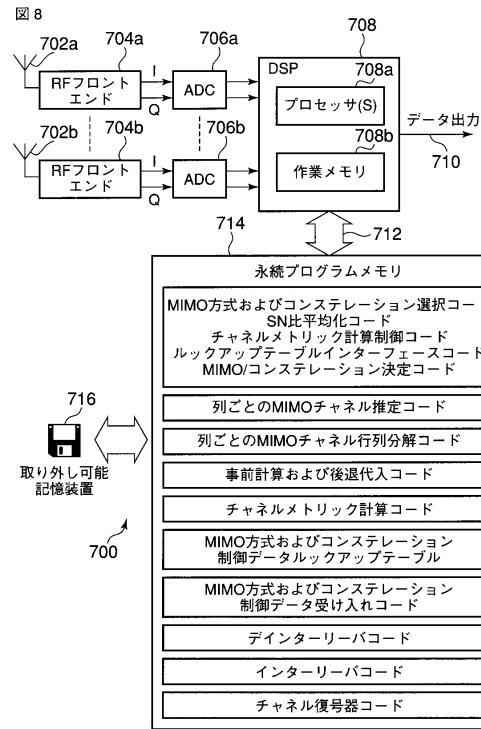
【図 6】



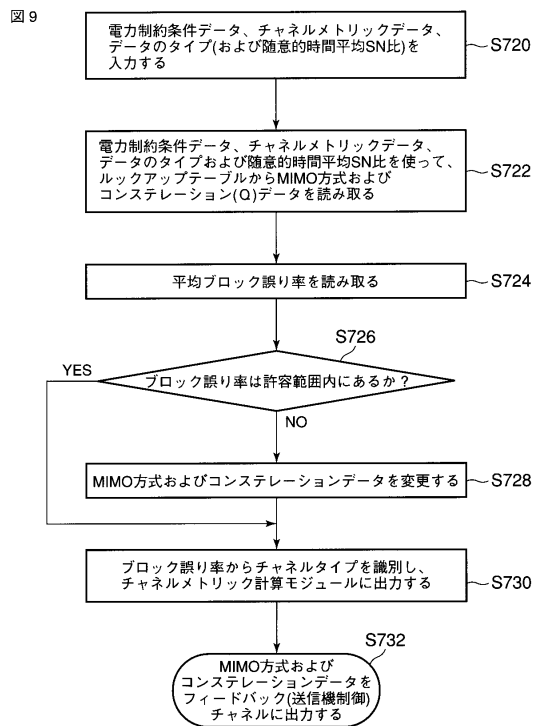
【図 7】



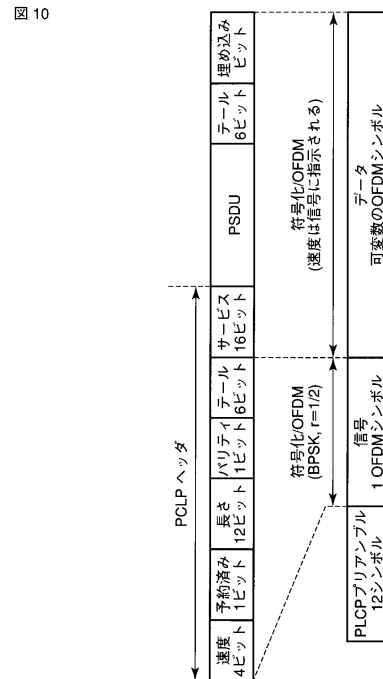
【図 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

(72)発明者 スクラパーリス・デイミトリオス
イギリス国、 ピーエス１・４エヌデー、 ブリストル、 クウィーンスクエア ３２

審査官 太田 龍一

(56)参考文献 国際公開第０３／００３４３１（ＷＯ，Ａ１）
特開２００４－１９４２６２（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)

H04J 99/00

H04B 7/02

H04B 7/04

H04B 7/06