

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5642803号
(P5642803)

(45) 発行日 平成26年12月17日(2014.12.17)

(24) 登録日 平成26年11月7日(2014.11.7)

(51) Int. Cl.		F I	
HO4J 99/00	(2009.01)	HO4J 15/00	
HO4B 7/04	(2006.01)	HO4B 7/04	
HO4B 7/10	(2006.01)	HO4B 7/10	A

請求項の数 17 (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願2012-545989 (P2012-545989)	(73) 特許権者	593096712
(86) (22) 出願日	平成22年12月2日 (2010.12.2)		インテル コーポレーション
(65) 公表番号	特表2013-515441 (P2013-515441A)		アメリカ合衆国 95054 カリフォル
(43) 公表日	平成25年5月2日 (2013.5.2)		ニア州 サンタ クララ ミッション カ
(86) 国際出願番号	PCT/US2010/058799		レッジ ブールバード 2200
(87) 国際公開番号	W02011/087614	(74) 代理人	100107766
(87) 国際公開日	平成23年7月21日 (2011.7.21)		弁理士 伊東 忠重
審査請求日	平成24年6月21日 (2012.6.21)	(74) 代理人	100070150
(31) 優先権主張番号	12/655,091		弁理士 伊東 忠彦
(32) 優先日	平成21年12月23日 (2009.12.23)	(74) 代理人	100091214
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 大貫 進介
		(74) 代理人	100135105
			弁理士 渡邊 直満

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 歪み認識のMIMO通信

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

長期のチャネル変動と瞬時又は短期のチャネル変動の統計とに基づいて、MIMO (multiple input multiple output) チャネルでソースの送信により引き起こされる再構成されたソースと前記ソースとの間の歪みを最小化するための、ソースのチャネル符号化についての1つ以上のパラメータを選択するステップであり、前記選択するステップは、MIMO変調及び符号化方式(MCS)とプリコーディング行列とを選択することを有し、前記選択されたMIMO MCS及びプリコーディング行列は、前記ソースと送信されて再構成されたソースとの間の前記歪みとを最小化するように選択されるステップと、

前記選択された1つ以上のパラメータを使用して前記ソースでチャネル符号化を実行し、前記MIMOチャネルで前記ソースを送信するためにチャネル符号化されたデータを提供するステップと

を有し、

前記MIMO MCS及びプリコーディング行列は、

既知の統計で複数のMIMOチャネル実現をランダムに生成し、

前記MIMOチャネル実現の複数のMIMO MCS方式及びプリコーディング行列について、瞬時受信信号対雑音比を判定し、

前記複数のMIMO MCS方式及びプリコーディング行列のパケット誤り率を判定し、

前記パケット誤り率に基づいて、前記MIMO MCS及び前記プリコーディング行列について平均のエンドツーエンドの歪み値を計算し、

10

20

前記計算された平均のエンドツーエンドの歪み値に基づいて前記エンドツーエンドの歪みを最小化するMIMO MCS方式及びプリコーディング行列を選択する

ことにより選択される方法。

【請求項 2】

判定された最小の平均のエンドツーエンドの歪みに基づいて前記 1 つ以上のパラメータを選択するステップを更に有し、

前記最小の平均のエンドツーエンドの歪みは、前記MIMOチャンネルの packets 誤り率の関数として判定される、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

歪みを最小化するために選択される前記 1 つ以上のパラメータは、MIMO変調及び符号化方式を有する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記MIMO変調及び符号化方式の選択は、変調オーダの選択、前方誤り訂正タイプ及び符号化率の選択、又は使用される時空変調技術の判定のうち少なくとも 1 つを更に有する、請求項 3 に記載の方法。

【請求項 5】

前記 1 つ以上のパラメータは、プリコーディング行列を有する、請求項 1 に記載の方法

【請求項 6】

前記プリコーディング行列の選択は、MIMOチャンネルを等価なSISO (single-input single-output) チャンネルに変換するビームフォーミング、プリコーディングされた空間多重、プリコーディングされた時空ブロック符号化、送信電力割り当て及び共分散最適化、又は送信アンテナ選択技術のうち少なくとも 1 つを更に有する、請求項 5 に記載の方法。

【請求項 7】

前記チャンネル符号化の前にソース符号化器で前記ソースのソース符号化を実行するステップと、

前記ソース符号化器からレート歪み情報を受信するステップであり、前記レート歪み情報は、前記歪みを最小化するための前記 1 つ以上のパラメータを選択するために使用されるステップと

を更に有する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 8】

前記 1 つ以上のパラメータは、送信機からデータを受信する受信機からのフィードバックとして、前記チャンネル符号化を実行する送信機により受信されるMIMOリンクアダプテーションパラメータであり、

前記受信機は、前記送信機から受信したデータに基づいて前記 1 つ以上のパラメータを判定する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 9】

前記受信機は、レート歪み情報に少なくとも部分的に基づいて前記 1 つ以上のパラメータを判定し、

前記レート歪み情報は、前記受信機で判定される、或いは前記送信機により前記受信機に送信される、請求項 8 に記載の方法。

【請求項 10】

請求項 1 に記載の方法を実行するためのプロセッサにより実行されるプロセッサ実行可能な命令を含むプロセッサ可読記憶媒体。

【請求項 11】

MIMO (multiple input multiple output) チャンネルで送信するソースを符号化するチャンネル符号化器を実装するプロセッサを有する送信機を有し、

前記チャンネル符号化器は、長期のチャンネル変動と瞬時又は短期のチャンネル変動の統計に基づいて、前記MIMOチャンネルでの送信による前記ソースの歪みを最小化するように選択されたMIMO変調及び符号化方式 (MCS) 並びにプリコーディング行列を使用して前記ソ

10

20

30

40

50

スを符号化し、前記MIMO MCSとプリコーディング行列とを有するリンクアダプテーション
を実行し、前記選択されたMIMO MCS及びプリコーディング行列は、前記ソースと送信
されて再構成されたソースとの間の前記歪みとを最小化するように選択され、
前記MIMO MCS及びプリコーディング行列は、
既知の統計で複数のMIMOチャンネル実現をランダムに生成し、
前記MIMOチャンネル実現の複数のMIMO MCS方式及びプリコーディング行列について、瞬
時受信信号対雑音比を判定し、
前記複数のMIMO MCS方式及びプリコーディング行列のパケット誤り率を判定し、
前記パケット誤り率に基づいて、前記MIMO MCS及び前記プリコーディング行列につい
て平均のエンドツーエンドの歪み値を計算し、
前記計算された平均のエンドツーエンドの歪み値に基づいて前記エンドツーエンドの歪
みを最小化するMIMO MCS方式及びプリコーディング行列を選択する
ことにより選択されるシステム。

10

【請求項 1 2】

前記MIMO MCS及びプリコーディング行列の選択は、前記送信機と通信する受信機により実行され、

前記送信機は、前記受信機から前記選択されたMIMO MCS及びプリコーディング行列を受信する、請求項 1 1 に記載のシステム。

【請求項 1 3】

前記ソースは、受信機で再構成されたソースを提供するために受信機に送信される連続的なマルチメディアソースであり、

20

歪みを最小化するように選択された前記MIMO MCS及びプリコーディング行列は、前記ソースと前記再構成されたソースとの間の判定された平均のエンドツーエンドの歪みに基づいて選択され、

前記平均のエンドツーエンドの歪みは、前記MIMOチャンネルについて計算されたパケット誤り率に少なくとも部分的に基づいて判定される、請求項 1 1 に記載のシステム。

【請求項 1 4】

前記送信機は、前記チャンネル符号化器により符号化する前に、前記ソースを符号化するソース符号化器を更に有し、

前記ソース符号化器は、前記MIMO MCS及びプリコーディング行列を選択する際に前記チャンネル符号化器により使用するために、レート歪み情報を前記チャンネル符号化器に提供する、請求項 1 1 に記載のシステム。

30

【請求項 1 5】

MIMO (multiple input multiple output) チャンネルでソースを送信するためのリンクアダプテーション構成を判定し、ただし、前記リンクアダプテーション構成は、長期のチャンネル変動と瞬時又は短期のチャンネル変動の統計とに基づいて、前記ソースと送信されて再構成されたソースとの間の計算された歪みを最小化するように判定され、前記リンクアダプテーション構成は、MIMO変調及び符号化方式(MCS)とプリコーディング行列とを選択することを有し、前記選択されたMIMO MCS及びプリコーディング行列は、前記ソースと送信されて再構成されたソースとの間の前記歪みとを最小化するように選択されることを含む方法を実施するための、プロセッサにより実行可能なプロセッサ実行可能命令を有し、

40

前記MIMO MCS及びプリコーディング行列は、
既知の統計で複数のMIMOチャンネル実現をランダムに生成し、
前記MIMOチャンネル実現の複数のMIMO MCS方式及びプリコーディング行列について、瞬
時受信信号対雑音比を判定し、
前記複数のMIMO MCS方式及びプリコーディング行列のパケット誤り率を判定し、
前記パケット誤り率に基づいて、前記MIMO MCS及び前記プリコーディング行列につい
て平均のエンドツーエンドの歪み値を計算し、
前記計算された平均のエンドツーエンドの歪み値に基づいて前記エンドツーエンドの歪

50

みを最小化するMIMO MCS方式及びプリコーディング行列を選択することにより選択されるプロセッサ可読記憶媒体。

【請求項16】

前記計算された歪みに基づいて判定された前記リンクアダプテーション構成は、前記ソースがチャンネル符号化器においてMIMO時空符号化を使用して送信されるか、前記チャンネル符号化器においてMIMO空間多重を使用して送信されるかを指定する、請求項15に記載のプロセッサ可読記憶媒体。

【請求項17】

前記計算された歪みに基づいて判定された前記リンクアダプテーション構成は、前方誤り訂正タイプ及び符号化率の選択を指定する、請求項15に記載のプロセッサ可読記憶媒体。

10

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【0001】

無線通信技術は、主に音声サービスを提供する技術から、マルチメディアコンテンツも提供する技術に進展している。モバイルコンピューティング及び無線通信における最近の進展は、無線ネットワークでリッチなマルチメディアコンテンツの送信を可能にしている。1つのこのような進展は、更なる帯域幅を必要とせずにデータスループットを増加させるために、複数のアンテナが送信機と受信機との双方で使用されるMIMO (Multiple Input Multiple Output) 通信の使用である。更に、通常では、MIMO構成は、アプリケーションレイヤでの様々な異なるサービスについての更なる需要と共にデータ送信レートを最大化させるように最適化されているが、物理レイヤ (PHY) で高いデータ送信レートに加えて高い信頼性を実現することが更に重要になってきている。しかし、高いデータ送信レート及び高い信頼性は、相反する設計パラメータになる傾向がある。

20

【0002】

典型的な無線通信は、雑音のあるチャンネルで連続的なソース (source) の送信を含む。一般的な例は、音声通信、マルチメディア通信、モバイルTV、モバイルビデオ及びブロードキャストストリーミングである。このような通信では、ソースはビットの有限のストリームに符号化及び圧縮され、ビットストリームは雑音のあるチャンネルで通信される。ソース符号化は、連続的なソースをビットの有限のストリームに変換するように実行され、チャンネル符号化は、雑音のあるチャンネルにより取り入れられるビットストリームの誤りを軽減するように実行される。受信機側では、チャンネル復号化器は、その雑音のあるものからビットストリームを回復し、ソース復号化器は、回復後の圧縮されたものからマルチメディアソースを再構成する。マルチメディア通信の送信中に、元のマルチメディアソースと受信機での再構成されたものとの間の歪みを最小化することは、ユーザにとって良好なマルチメディア経験を提供し得る。

30

【図面の簡単な説明】

【0003】

【図1】ここに開示の或る実装による歪み認識の通信システムの例示的なブロック図

【図2】或る実装による歪み認識の通信のための例示的な処理のフローチャート

40

【図3】或る実装による例示的な開ループシステムのブロック図

【図4】或る実装による例示的な閉ループシステムのブロック図

【図5】或る実装による開ループの歪み認識の通信のための例示的な処理のフローチャート

【図6】或る実装に従ってリンクアダプテーションパラメータを判定する例示的な処理のフローチャート

【図7】或る実装による閉ループの歪み認識の通信のための例示的な処理のフローチャート

【図8】或る実装に従ってリンクアダプテーションパラメータを判定する例示的な処理のフローチャート

50

【図9】或る実装による例示的な歪み認識の通信システムのブロック図

【発明を実施するための形態】

【0004】

添付図面を参照して詳細な説明が示される。図面において、参照番号の左端の数字は、参照番号が最初に現れる図面を特定する。異なる図面における同じ参照番号の使用は、類似又は同一の項目又は機能を示す。

【0005】

<歪み認識 (Distortion-Aware) のリンクアダプテーション>

ここでの或る実装は、送信のエンドツーエンドの歪みを最小化する歪み認識のMIMO (Multiple Input Multiple Output) 通信システムを提供する。例えば、或る実装は、優れたユーザ経験を提供するために、マルチメディア通信を拡張し、マルチメディアコンテンツ配信のエンドツーエンドのロバスト性を最適化するために、MIMOリンクアダプテーションを提供する。従って、或る実装は、1つ以上のエンドツーエンドの歪み最小化基準に従って、適応変調及び符号化 (AMC: adaptive modulation and coding)、MIMO時空変調、レート/電力アダプテーション、プリコーディング及びアンテナ選択技術を提供する。

10

【0006】

図1は、ここでの或る実施例による通信システム100の例示的なブロック図を示している。システム100は、MIMOチャンネル106を通じて受信機104と通信可能な歪み認識の送信機102を含む。歪み認識の送信機102は、送信されるソース (source) 108を受信するように構成される。送信機102は、チャンネル符号化の間に歪み最小化リンクアダプテーションパラメータを考慮し、MIMOチャンネルでソースを受信機104に送信する。受信機104は、MIMO送信を受信し、送信を再構成して送信されて再構成されたソース110を生成するように構成される。歪み認識の送信機102は、符号化段階の間に歪み最小化パラメータを考慮するため、システムは、送信されるソース108と送信されて再構成されたソース110との間で最小化されたエンドツーエンドの歪み112を実現することができ、これにより、マルチメディアアイテム等を送信するために改善した通信を提供することができる。任意選択で、受信機104もまた歪み認識でもよく、送信機102が歪み認識になることを可能にするために、フィードバックを送信機102に提供してもよい。例えば、受信機104は、エンドツーエンドの歪みを最小化するリンクアダプテーションパラメータを判定し、これらのパラメータをフィードバックとして送信機102に提供してもよい。送信機102は、提供されたパラメータを使用する。この任意選択の設定では、送信機102はまた、ソースのレート歪み特性を受信機104に送信してもよく、これにより、歪み認識の受信機102は、最小化されたエンドツーエンドの歪み112を実現するためのリンクアダプテーションパラメータを判定する際に、この情報を利用してよい。

20

30

【0007】

図2は、図1の実装に対応する例示的な処理200のフローチャートを示している。フローチャートでは、動作は個々のブロックにまとめられている。動作は、ハードウェアで実行されてもよく、プロセッサにより実行され得るプロセッサ実行可能な命令 (ソフトウェア又はファームウェア) として実行されてもよい。

40

【0008】

ブロック202において、送信のためにソースが送信機に提供される。例えば、ソースは、連続的なソース又は有限のソース (VoIP (voice over IP)、音声及びオーディオ通信、モバイルTV、モバイルビデオサービス等のようなマルチメディア通信等) でもよい。ここでの実装は、無線ローカルエリアネットワーク (WLAN: wireless local area network)、無線パーソナルエリアネットワーク (WPAN: wireless personal area network)、無線広域ネットワーク (WWAN: wireless wide area network) 及び無線メトロポリタンエリアネットワーク (WMAN: wireless metropolitan area network) でのマルチメディア通信に適用してもよい。更に、実装は、セルラネットワーク、モバイルブロードバンドネットワーク、衛星放送システム及び地上波放送システムを含んでもよい。例え

50

ば、実装は、MIMO技術が採用されており信頼性高くマルチメディアコンテンツを通信することが望まれる802.11に基づくLAN、802.15に基づくPAN及び802.16に基づくWAN（例えば、IEEE

802.11標準、2009年10月29日に発行されたIEEE標準802.11-2009又はその将来の実装、IEEE802.15標準、2006年9月に発行されたIEEE標準802.15-2006又はその将来の実装、及びIEEE802.16標準、2009年に発行されたIEEE標準802.16-2009又はその将来の実装）で使用されてもよい。実装はまた、3Gネットワーク、4Gネットワーク、セルラネットワーク、WWAN、3GPPネットワーク、LTEネットワーク、LTE-Advancedネットワーク及びモバイルTV等におけるMIMOのために使用されてもよい。更に、適切な用途の例として複数の特定の詳細がここに示されているが、実装は特定の標準又はプロトコルに限定されない。

10

【0009】

ブロック204において、ソース符号化は、送信機により、連続的なソースをビットの有限のストリームに変換するように実行される。

【0010】

ブロック206において、チャンネル符号化は、送信機により、符号化の間に歪み最小化パラメータを取り入れつつ、チャンネルにより引き起こされるビットストリームの誤りを軽減するように実行される。

【0011】

ブロック208において、符号化されたソースは、MIMOチャンネルで受信機に送信される。任意選択で、符号化されたソースと共に、ソースのレート歪み特性がMIMOチャンネルで送信されてもよい。これにより、この情報は、受信機により歪み認識のリンクアダプテーションに対して使用されてもよい。

20

【0012】

ブロック210において、受信機は、送信機からの送信を受信し、送信を復号化してソースを再構成する。

【0013】

ブロック212において、任意選択で、受信機は、送信機にフィードバックを提供し、送信機に歪み最小化パラメータを提供してもよい。送信機がフィードバックを受信すると、新たに受信した歪み最小化パラメータは、チャンネル符号化に適用されてもよい。

【0014】

<ソース及びチャンネル符号化>

ソース及びチャンネル符号化動作は異なる通信レイヤで実行されるため、多くの通常の通信システムは、チャンネル符号化とは完全に別にソース符号化を実装する。すなわち、ソース符号化は、チャンネルの振る舞いを考慮せずに実行されてもよく、チャンネル符号化は、ソースの性質を考慮せずに実行されてもよい。一般的に、マルチメディア無線通信は、アプリケーションのエンドツーエンドの歪み及び遅延要件を満たしつつ、フェージングチャンネルでアナログのソースを送信することを含む。例えば、遅延に制限があることは、厳格な待ち時間及びバッファ制限の存在を考慮する。従って、チャンネル状態情報（CSI：channel state information）が送信機で利用可能でない場合又は実際のシステムの制限のため有限の符号化ブロック長が使用される場合等には、ソース及びチャンネル符号化の分離は最適でない可能性がある。

30

40

【0015】

ここでの或る実装は、MIMOリンクアダプテーションを提供するために、ジョイント・ソース・チャンネル符号化（joint source-channel coding）技術を採用する。ここでの実装によるジョイント・ソース・チャンネル符号化では、ソース圧縮及びチャンネル符号化は、一緒に実行され、これにより、量子化誤り（不可逆圧縮のため）及びチャンネルにより引き起こされたエラー（フェージング及び雑音のため）の双方の影響を考慮することにより、無線通信のエンドツーエンドの歪みが最小化され得る。

【0016】

<MIMO通信>

50

更に、今日の無線ネットワークの主な性能拡張技術は、複数のアンテナをポイントツーポイント無線リンクの双方側で使用するMIMO (multiple-input multiple-output) 無線通信である。MIMOシステムの使用は、それぞれ空間多重利得、ダイバーシチ利得及びアレリ利得を通じて、スペクトル効率、リンク信頼性及び電力効率を改善し得る。

【 0 0 1 7 】

MIMOシステムでの時空変調のための2つの実用的な技術は、送信ダイバーシチ及び空間多重である。MIMOダイバーシチは、フェージングが存在する際にロバストな送信及び実質的な信頼性並びにカバレッジの改善を可能にするために、送信アンテナを通じて情報を拡散することを試みる技術(例えば、時空符号化(STC: space-time coding))の一種を示す。他方、空間多重(SM: spatial multiplexing)は、入来するデータを複数のサブストリームに分割し、各サブストリームを異なるアンテナで送信し、送信及び受信アンテナの数に少なくとも部分的に依存して送信レートの増加を可能にすることにより、高いデータレートを実現する空間変調の一形式を示す。受信機は、チャネルの混合効果を除き、シンボルストリームを逆多重化する。MIMOシステムは、MIMOダイバーシチとMIMO SMとの双方から利益を受け得る。一般的な規則として、低い信号対雑音比(SNR: signal-to-noise ratio)では、MIMOダイバーシチ技術を使用することが好ましく、高いSNRでは、MIMO SMを使用することが好ましい。送信機での長期及び/又は短期のチャネル変動の認識に基づいてMIMOダイバーシチとMIMO SMとの間を適応的に切り替えることは、スペクトル効率と信頼性についてMIMO技術から最高の可能な利得を抽出する。MIMOダイバーシチとMIMO空間多重との間の適応的な切り替えとは別に、MIMOリンクアダプテーション技術はまた、MIMOプリコーディングとMIMOアンテナ選択とを含む。

【 0 0 1 8 】

<歪み認識のMIMOリンクアダプテーション>

本発明者は、ソース符号化器での分解能とチャネル符号化器でのロバスト性との間にトレードオフが存在することを判断した。従って、ソース歪み及び関連する量子化誤りを制限することは、高いレートのソース符号を使用し、このため、MIMOチャネルの複数のアンテナは主に多重に使用される。或いは、ソースは更なる歪みを備えて低いレートで符号化されてもよい。チャネル誤りの確率及び関連するパケット誤り率(PER: packet error rate)は、ダイバーシチの増加を通じて低減され得る。従って、ここに提供される或る歪み認識のMIMOリンクアダプテーションの実装は、MIMO通信ネットワークでエンドツーエンドのマルチメディア通信を最適化することに対して、このトレードオフを考慮に入れる。

【 0 0 1 9 】

例えば、符号化ブロック長Tでの M_t 個の送信アンテナ及び M_r 個の受信アンテナを備えたポイントツーポイントの単一ユーザMIMO通信システムの実装では、 $M_r \times T$ 個の受信信号ベクトルが以下の式により与えられる。

$$y = Hqs + n$$

ただし、Hは、MIMOリンクを表す $M_r \times M_t$ の複素ランダムチャネル行列であり(全体の符号化ブロック長Tで固定されたままである)、sは、 $M_t \times T$ の送信時空ブロックコードワードであり、Qは、 $\text{trace}(Q^*Q') = 1$ (Q' はQのエルミート行列)になるような $M_t \times M_t$ の線形プリコーディング行列であり(M_t はプリコーディング設計パラメータである)、nは、各エントリがゼロの平均及び分散 σ^2 を有する $M_r \times T$ の付加白色ガウス雑音(AWGN: additive white Gaussian noise)ベクトルである。MIMOリンクの平均受信信号対雑音比(SNR)は、

【 0 0 2 0 】

【数1】

$$SNR = E \|s\|^2 / \sigma^2$$

により与えられる。

【 0 0 2 1 】

時空ブロックコードワード s は、MIMOリンクアダプテーション及びMIMO変調符号化方式 (MIMO-MCS: MIMO modulation-and-coding scheme) の関連する選択を取り入れる。これは、(a)変調オーダの選択、(b)前方誤り訂正 (FEC: forward error correction) タイプ及び符号化率の選択、及び(c)どの時空変調技術が使用されるかの判定を含む。選択肢は、空間多重 (SM: spatial multiplexing)、時空符号化 (STC: space-time coding)、直交時空ブロック符号化 (OSTBC: orthogonal space-time block coding) 等を含む。

【0022】

更に、プリコーディング行列 Q の選択は、(a)MIMOチャネルを等価なSISO (single-input single-output) チャネルに変換するビームフォーミング、(b)プリコーディングされた空間多重、(c)プリコーディングされたOSTBC、(d)送信電力割り当て及び共分散最適化、及び(e) M_1 個の送信アンテナのうち M 個が送信に選択される場合の送信アンテナ選択技術を含む。

【0023】

送信機での実際のチャネル状態情報 (CSI: channel state information) の不確実性 (高速移動、フィードバックチャネルでの雑音、及び限られた数のCSIフィードバックビットの可用性のような理由による) と共に、フェージングのため動的なチャネル変動が存在する場合、送信機での実現可能なレートに不確実性が存在する。従って、送信されるパケットは破損する可能性があり、送信レートがチャネル実現 (channel realization) H により判定される瞬時チャネル容量を超える場合、パケット誤りをもたらす。更に、AWGN雑音もまた、強力なチャネル符号化の使用にもかかわらずパケット誤りを生じる可能性がある。従って、ここでの或る実装によれば、MIMOチャネルでの送信は、パケット誤り率 (PER: packet error rate) に関連してもよい。パケット誤り率 (PER) は、平均受信SNR、瞬時チャネル実現 H 、MIMO-MCS方式及びプリコーディング行列 Q により影響を受ける。

【0024】

典型的には、MIMOリンクアダプテーションは、選択されたMIMO MCS送信モードがチャネル状態に基づいて最高のスペクトル効率を提供する場合に実現されるリンクスループット、グッドプット (goodput) 又はスペクトル効率を最大化することを目的とする。例えば、チャネル状態情報が与えられると、全ての利用可能なMIMO MCSモードのパケット誤り率を予想し、最高のスペクトル効率を提供するMIMO MCSモードを選択することが可能になる。従って、典型的にはMIMOリンクアダプテーションは、以下の式により与えられるグッドプット (スループットとしても知られる) を最大化することを目的とする。

【0025】

【数2】

$$goodput = \tilde{R} * (1 - PER)$$

このため、

【0026】

【数3】

$$(MIMO_MCS, Q) = \arg \max_{MIMO_MCS, Q} \tilde{R} * (1 - PER)$$

ただし、

【0027】

【数4】

$$\tilde{R}$$

は、選択されたMIMO-MCS方式 (FECタイプ及び符号化率、変調オーダ、MIMO時空変調方式

を含む)により判定されたチャネル符号化器での時空送信レートであり、PERは、平均受信SNRとチャネル実現HとMIMO MCSとプリコーディング行列Qとにより判定されたパケット誤り率 (PER) である。

【 0 0 2 8 】

グッドプットを最大化することを試みる代わりに、ここでの実装は、以下の歪みに基づく基準を使用してMIMO MCS及びプリコーディング行列Qを選択することにより、エンドツーエンドの歪みの予想値を最小化するMIMOリンクアダプテーション技術を提供する。

【 0 0 2 9 】

【 数 5 】

$$(MIMO_MCS_{SELECTED}, Q_{SELECTED}) = \arg \min_{MIMO_MCS, Q} D_{ave}(MIMO_MCS, Q)$$

10

ただし、 $D_{ave}(MIMO_MCS, Q)$ は、所与のMIMO MCS及びプリコーディング行列Qでの平均のエンドツーエンドの歪みを表す。換言すると、マルチメディア送信のためのMIMO MCS、プリコーディング行列Q及びMIMO時空変調モード (例えば、MIMOダイバーシチ又はMIMO SM) の選択は、結果のエンドツーエンドの歪み $D_{ave}(MIMO_MCS, Q)$ が最小化されるように、ここでの実装に従って判定される。

【 0 0 3 0 】

MIMOダイバーシチモード (例えば、MIMO STC、MIMO OTSBC等) 及びSISO (single-input single-output) システムでは、データレートRでの平均のエンドツーエンドの歪みは、

20

$$D_{ave}(MIMO_MCS_DIV, Q) = D(b \cdot R) \cdot (1 - PER) + D_{max} \cdot PER \quad (1)$$

合計でN個の空間ストリームが全てのN個の空間ストリームについて単一の空間 - 時間 - 周波数符号化器を使用してMIMOリンクで同時に送信され、各空間ストリームがデータレートRで送信される垂直符号化 (vertical encoding) でのMIMO SMモードでは、平均のエンドツーエンドの歪みは、以下のように式(2)で与えられる。

$$D_{ave}(MIMO_MCS_SM, Q) = D(N \cdot b \cdot R) \cdot (1 - PER) + D_{max} \cdot PER \quad (2)$$

単一の空間 - 時間 - 周波数復号化器が続く線形受信機 (例えば、ゼロフォーシング (ZF : zero-forcing) 又は最小平均二乗誤差 (MMSE : minimum mean square-error) 受信機) を備えたMIMO垂直符号化アーキテクチャの場合、パケット誤り率 (PER) は、量 $SINR_{min} = \min_n SINR_n$ により示される。 $SINR_n$ は第nの多重されたMIMO空間ストリーム ($n=1, \dots, N$) に対応する信号対干渉及び雑音比 (SINR : signal-to-interference-and-noise ratio) である。

30

【 0 0 3 1 】

合計でN個の空間ストリームがN個の空間ストリームのそれぞれに関連する別々の時間 - 周波数符号化器を使用してMIMOリンクで同時に送信され、各空間ストリームがデータレートRで送信される水平符号化 (horizontal encoding) でのMIMO SMモードでは、平均のエンドツーエンドの歪みは、以下のように式(3)で与えられる。

【 0 0 3 2 】

【 数 6 】

40

$$D_{ave}(MIMO_MCS_SM, Q) = \sum_{n=0}^N D(n \cdot b \cdot R) \left(\sum_{k=1}^N \prod_{b_k=1} (1 - PER_k) \prod_{b_l=0} PER_l \right) \quad (3)$$

ただし、 PER_n は第nの多重されたMIMO空間ストリーム ($n=1, \dots, N$) のパケット誤り率であり、

【 0 0 3 3 】

【数7】

$$\{b_n \in \{0,1\}\}_{n=1}^N$$

では、

【0034】

【数8】

$$K_n = \left\{ (b_1, \dots, b_N) : \sum_{k=1}^N b_k = n \right\}$$

10

である。これを観測した後に、MIMO水平符号化アーキテクチャでは、N個の空間ストリームのそれぞれは独立して符号化及び復号化される。2つの空間ストリームが水平符号化を使用してMIMOリンクで同時に送信されるMIMO SMモードでは、平均のエンドツーエンドの歪みは、N=2で式(3)を書き換えることにより、以下のように与えられる。

$$D_{ave} = D(2bR) * (1 - PER_1) (1 - PER_2) + D(bR) [PER_1 (1 - PER_2) + PER_2 (1 - PER_1)] + D_{max} * PER_1 PER_2$$

前述の式では、 $D(b^*R)$ は、選択されたMIMO MCSにより判定されたデータレートRの関数としてのマルチメディアソースの歪みレート関数（すなわち、ソースが復号化器での再構成の後に受ける歪み（マルチメディアコーデックによる損失圧縮に関連する量子化誤りのため））を表し、 D_{max} は、 $D_{max} = D(R=0)$ により与えられるように、復号化器でのソース再構成がパケットロス及び送信の失敗により妨げられた場合に受ける最大の可能な歪みであり、 b は、マルチメディアコーデックとチャンネル符号化器との間のレートマッチングを考慮するためのソース符号化率とチャンネル符号化率との間の比を表す固定のスカラー正規化項である。例えば、或る実装は、厳しい待ち時間の制約のためバッファに入れることができない遅延に制限のあるマルチメディアトラフィックを仮定する。歪みレート関数 $D(b^*R)$ は、データレートRの減少関数である。この理由は、高いソース/チャンネル符号化率は、低い量子化誤りでの圧縮を許容し、従って低い歪みを許容するからである。

20

【0035】

更に、以下の関係を使用してエンドツーエンドの歪みをピークSNR（PSNR : peak SNR）のメトリックに関連付けることも可能である（ソースサンプル毎に8ビットのピクセル表現の場合）。

30

【0036】

【数9】

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{255^2}{D_{ave}} \right)$$

これは、歪みの最小化がPSNRの最大化に等しいことを示す。

40

【0037】

歪み認識のMIMOリンクアダプテーション基準の実装は、スループット又はスペクトル効率を最大化するのではなく、エンドツーエンドの歪みを最小化するようにチャンネル符号化率を適合させることにより、ジョイント・ソース・チャンネル符号化の利益を実現することを可能にする。この歪みに基づくMIMOリンクアダプテーション基準を使用するために、歪みレート関数 $D(b^*R)$ のみが無線レベルで利用可能になってもよい点に留意すべきである（これは、マルチメディアソースの性質とコーデック又はソース符号化器の圧縮機能とにより判定される）。このため、この情報は、アプリケーションレイヤからPHY/MAC（物理/媒体アクセス制御）レイヤに渡されてもよい。前述のMIMOリンクアダプテーション基準は、如何なる歪みレート関数と共に使用されてもよく、ここでの実装はまた、歪み基準をMI

50

MO MCSの適切な選択に取り入れる如何なる方法をも含むことに更に留意すべきである。

【 0 0 3 8 】

歪み認識のMIMOリンクアダプテーションのフレームワークの実装は、開ループMIMOシステムと閉ループMIMOシステムとの双方に適用可能である。送信機及び受信機の構成要素についての結果のシステムアーキテクチャは、リンクアダプテーションパラメータの制限レートフィードバックを備えた開ループMIMO通信構成では図3に示されており、閉ループMIMO通信構成では図4に示されている。開ループMIMO設定は、動的なチャネル変動及びリンクアダプテーションパラメータのフィードバック及び信頼性のある推定が一般的に難しい場合（例えば、高速移動の場合等）に関係し得る。このため、歪み認識のMIMOリンクアダプテーションは、長期のチャネル変動の認識と瞬時又は短期のチャネル変動の統計とに基づいて送信機で実行されてもよい。他方、閉ループMIMO設定は、チャネル変動が遅い時間尺度で生じ、受信機から送信機へのリンクアダプテーションパラメータのフィードバック及び信頼性のあるチャネル推定（すなわち、チャネル品質インジケータ（CQI：channel quality indicator）フィードバック機構のような機構を使用する）が可能になる場合（低速移動の場合等）に関係し、以下のように瞬時チャネル状態の認識に基づいて受信機で動的なリンクアダプテーションの判定を実行する機会を生成する。

$(MIMO_MCS, Q) = f(SNR, H)$

ただし、関数 f を使用して、受信機は、瞬時チャネル実現 H 及び平均SNRをMIMO-MCS方式及びプリコーディング行列 Q にマッピングし、これらの選択肢についての情報を送信機にフィードバックする。

【 0 0 3 9 】

エンドツーエンドの歪みを最小化する閉ループMIMOリンクアダプテーションはまた、例えばセルラ通信の上りリンクのように、リンクアダプテーションパラメータが受信機により判定されて送信機にフィードバックされると同時に、様々な理由（高速移動又は高いユーザ密度等）で瞬時又は短期のチャネル状態の信頼性のある推定を得ることが難しい通信の場合に、統計的なチャネル認識又は長期のチャネル認識に基づいてもよい。この設定では、受信機は、以下の規則に基づいてリンクアダプテーションを実行する。

【 0 0 4 0 】

【 数 1 0 】

$$(MIMO_MCS, Q) = \hat{f}(SNR)$$

ただし、関数

【 0 0 4 1 】

【 数 1 1 】

\hat{f}

を使用して、受信機は、長期のチャネル変動の認識と瞬時又は短期のチャネル変動の統計とにより判定された平均SNRを、MIMO-MCS方式及びプリコーディング行列 Q とにマッピングし、これらの選択についての情報を送信機にフィードバックする。

【 0 0 4 2 】

< 開ループアーキテクチャ >

図3は、ここでの或る実装による開ループの歪み認識のMIMOリンクアダプテーションアーキテクチャ300の例のプロック図を示しており、リンクアダプテーションパラメータが送信機で判定されて適用される。図3のアーキテクチャでは、送信機302は、MIMOチャネル H_{306} を介して受信機304と通信することができる。図示の実装では、送信機302は、ソース符号化ブロック308として示すソース符号化器と、チャネル符号化ブロック310として示

すチャンネル符号化器とを含む。ソース符号化ブロック308は、ソース312(マルチメディアソース等)を圧縮又は符号化し、ソース符号化されたデータ314を生成し、ソース符号化されたデータ314のレート歪み情報316と共にソース符号化されたデータ314をチャンネル符号化ブロック310に渡すように構成される。例えば、ソース312がビデオ情報のストリームとしてソース符号化ブロック308により受信されるビデオである場合、ソース符号化ブロック308は、ビデオ情報の受信ストリームを送信に適したフォーマットに符号化(例えば、圧縮)する(適切なフォーマットの1つの非限定的な例はISO/IEC MPEG(Moving Picture Experts Group)と共にITU-T VCEG(Video Coding Experts Group)により策定されて2003年5月に最終決定されたH.264/MPEG-4 AVCビデオ符号化標準等である)。更に、ソース312がアナログストリームである場合、ソース符号化ブロック308は、符号化の間にアナログストリームをデジタル形式に更に変換する。

10

【0043】

従って、ソース符号化ブロック308により実行される符号化は、マルチメディアソースの性質とコーデック又はソース符号化器の圧縮機能とに少なくとも部分的に依存する。更に、ここでの実装によれば、符号化されたソースについてレート歪み情報316が判定され、ソース符号化されたデータ314のチャンネル符号化の間に歪みの認識を考慮するために、この情報もチャンネル符号化ブロック310に渡される。例えば、様々な異なるメディアタイプの様々なコーデック及びソース符号化のチャンネル歪み特性が判定及び/又は観測され、ソース符号化ブロック308により使用されるソース符号化のタイプに基づいてソース符号化ブロック308によりチャンネル符号化ブロック310に渡されてもよい。リンクアダプテーション目的でチャンネル符号化ブロック310において利用されるソースのレート歪み特性はまた、フレームタイプ(例えば、Iフレーム、Pフレーム又はBフレーム)、圧縮されたソースをコーデックからチャンネル符号化器に渡すことに対して使用されるネットワークレイヤの packets 化及び送信フレームワーク(例えば、RTP/UDPの場合)、スケーラブルビデオ符号化(SVC:scalable video coding)のような進展したソース圧縮方式の場合の階層化のタイプ、及びアプリケーションレイヤの前方誤り訂正(FEC:forward error correction)(例えば、Raptor符号、Reed-Solomon符号等)のように、他のアプリケーション及びネットワークレイヤ機能に依存してもよい。

20

【0044】

チャンネル符号化ブロック310は、時間-周波数の前方誤り訂正(FEC)外部符号化(outercoding)及びインターリーブブロック318と、これに続いてMIMO時空(ST:space-time)変調ブロック320とを含む。変調ブロック320に続いて、MIMOプリコーディングブロック322があり、チャンネル符号化されたデータ324を生成する。プリコーディングに続いて、チャンネル符号化されたデータは、MIMOチャンネル306で複数のアンテナ送信により受信機304に送信される。MIMO時空変調ブロック320は、歪み認識のMIMO STCブロック328としてMIMOダイバーシチモードで動作してもよく、歪み認識のMIMO STブロック330としてMIMO空間多重モードで動作してもよい。MIMOダイバーシチモードでは、FEC符号化及びインターリーブブロック318の出力ビットは、まず、シンボル変調ブロック332において高い直交振幅変調(QAM:quadrature amplitude modulation)でシンボルマッピングにより変調され、次に、時空符号化ブロック334において時空符号(STC:space-time code)を使用して複数の空間ストリームに再符号化される。或いは、MIMO空間多重モードでは、FEC符号化及びインターリーブブロック318から出力された符号化/インターリーブされたビットは、DEMUXブロック336により複数の空間ストリームに逆多重され、各ストリームは、複数のシンボル変調ブロック338において低いQAMでシンボルマッピングにより変調される。歪み認識のMIMO STCブロック328を使用するか、歪み認識のMIMO SMブロック330を使用するかの判定は、ここに説明するように、MIMO MCS選択のための判定された歪み認識の基準に依存する。

30

40

【0045】

受信機側では、受信機304の時空復号化ブロック340は、複数アンテナでの受信に続いて、MIMO無線チャンネルで送信された雑音のある破損した受信したものから、送信されたソー

50

データを回復するように構成される。回復したデータストリームは、ソース復号化ブロック342に渡され、ソース復号化ブロック342は、元のソースと再構成されたソース344との間の歪みを最小化する目的で、ソースを再構成する。例えば、視聴覚マルチメディアコンテンツアイテム（例えば、テレビ、映画、ビデオ等）のようなマルチメディアソースの場合、目的は、コンテンツアイテムの符号化及び復号化、並びに雑音のある送信チャンネルでのコンテンツアイテムの送信により引き起こされた歪みを最小化することである。

【0046】

ソース符号化ブロック308から受信したソース符号化されたデータ314は、複数アンテナでの送信の前に、チャンネル符号化ブロック318、320、322を通じて渡される。ここでの実装によれば、これらの無線レベルのチャンネル符号化ブロック318、320、322の全てが“歪み認識”の特性を有する。この理由は、これらの無線レベルのチャンネル符号化ブロック318、320、322は、ここに示すMIMO MCS選択及びプリコーディングのために歪み認識のMIMOリンクアダプテーション方式の実装を実行するように構成されるからである。式(1)及び/又は(2)及び/又は(3)に基づいて、無線レベルのチャンネル符号化ブロック318、320、322の歪み認識を実装するために、リンクアダプテーションパラメータ346（すなわち、MIMO MCS（FEC符号化率及びMIMO時空変調方式等）及びプリコーディング行列Q）が判定され、無線レベルのチャンネル符号化ブロック318、320、322に提供される。閉ループの実装についてリンクアダプテーションパラメータ346を判定するために既知のチャンネル状態に基づいてどのように式(1)-(3)が適用され得るかの例は、更に以下に説明する。

【0047】

<閉ループアーキテクチャ>

図4は、ここでの或る実装による閉ループの歪み認識のMIMOリンクアダプテーションアーキテクチャ400の例のブロック図を示しており、リンクアダプテーションパラメータが受信機で判定され、送信機のアプリケーションのためにフィードバックされる。図4のアーキテクチャでは、前述の図3と同様に、送信機402は、MIMOチャンネル406を介して受信機404と通信することができる。図示の実装では、送信機402は、ソース符号化ブロック408として示すソース符号化器と、歪み認識のチャンネル符号化ブロック410として示すチャンネル符号化器とを含む。ソース符号化ブロック408は、ソース412（マルチメディアソース等）を圧縮又は符号化し、或る実装ではソース符号化されたデータ414のレート歪み情報416と共にソース符号化されたデータ414を歪み認識のチャンネル符号化ブロック410に渡すように構成される。しかし、他の実装では、ソース符号化ブロック408がレート歪み情報416をチャンネル符号化ブロック410に渡す必要がなくてもよい。その代わりに、以下に更に説明するように、レート歪み情報は、受信機404により直接判定され、歪み認識のチャンネル符号化ブロック410に提供されるフィードバックを準備するとき考慮されてもよい。従って、ソース符号化ブロック408からレート歪み情報416を渡すことは、閉ループアーキテクチャの或る実装で使用され、図4において選択肢A（Op.A）としてラベル付けされている。或いは又は更に、他の実装では、レート歪み情報は、受信機404で独立して判定されてもよい。これは、図4において選択肢B（Op.B）としてラベル付けされており、更に以下に説明する。

【0048】

チャンネル符号化ブロック410は、時間 - 周波数の前方誤り訂正（FEC）外部符号化（outer coding）及びインターリーブブロック418と、これに続いてMIMO時空（ST：space-time）変調ブロック420とを含む。変調ブロック420に続いて、MIMOプリコーディングブロック422があり、チャンネル符号化されたデータ424を生成する。チャンネル符号化されたデータ424は、（Op.Aの場合にはレート歪み情報416と共に）MIMOチャンネル406で受信機404に送信される。図3を参照して前述した構成と同様に、MIMO ST変調ブロック420は、MIMO STCブロック428としてMIMOダイバーシチモードで動作してもよく、MIMO SMブロック430としてMIMO空間多重モードで動作してもよい。MIMOダイバーシチモードでは、チャンネル符号化及びインターリーブブロック418の出力ビットは、まず、シンボル変調ブロック432において高いQAMでシンボルマッピングにより変調され、次に、時空符号化ブロック434において時

空符号 (STC: space-time code) を使用して複数の空間ストリームに再符号化される。或いは、MIMO空間多重モードでは、符号化及びインターリーブブロック418から出力された符号化/インターリーブされたビットは、DEMUXブロック436により複数の空間ストリームに逆多重され、各ストリームは、複数のシンボル変調ブロック438において低いQAMでシンボルマッピングにより変調される。MIMO STCブロック428を使用するか、MIMO SMブロック430を使用するかは、MIMO MCS選択のための判定された歪み認識の基準に依存する。判定された歪み認識の基準は、受信機404からのフィードバックにより、歪み認識のチャンネル符号化ブロック410に提供される。

【 0 0 4 9 】

受信機404では、時空復号化ブロック440は、複数アンテナでの受信に続いて、MIMO無線チャンネルで送信された雑音のある破損した受信したもとのから、送信されたソースデータを回復するように構成される。回復したデータストリームは、ソース復号化ブロック442に渡され、ソース復号化ブロック442は、元のソース412と再構成されたソース444との間の歪みを最小化する目的で、ソースを再構成する。

【 0 0 5 0 】

図4に示す閉ループの歪み認識のMIMOリンクアダプテーションアーキテクチャ400では、受信機404はまた、歪み認識のチャンネル符号化ブロック410の歪み認識を可能にするために、送信機402に定期的にフィードバックを提供する歪み認識のフィードバックブロック446を含む。例えば、受信機404の歪み認識のフィードバックブロック446は、時空復号化ブロック440からリンクアダプテーション情報448 (すなわち、推定されたMIMOチャンネルパラメータ並びにMIMO MCS及びプリコーディング行列Qのパラメータ) を判定してもよい。歪み認識のフィードバックブロック446は、レート歪み情報146 (Op.A) 及び/又はレート歪み情報450 (Op.B) と共にリンクアダプテーション情報448を使用し、歪みを最小化するリンクアダプテーションパラメータ452 (例えば、MIMO MCS方式及びプリコーディング行列Q) を判定する。短期のMIMOチャンネルの実現の瞬時又は統計的な認識と共に長期のチャンネル変動の受信機の認識に基づいて、歪みを最小化するMIMOリンクアダプテーションパラメータ452が受信機404で判定された後に、リンクアダプテーションパラメータ452は送信機402にフィードバックされる。

【 0 0 5 1 】

更に、或る実装によれば、前述のように、歪みを最小化するMIMOリンクアダプテーションパラメータ452を判定する際に、歪み認識のフィードバックブロック446はまた、ソース復号化ブロック442からマルチメディアソースについてのレート歪み情報450を収集してもよい (Op.B)。或いは又は更に、送信機402は、チャンネル符号化されたデータ424と共にソースについてのレート歪み情報416をMIMOチャンネル406で受信機404に送信してもよい (Op.A)。これにより、受信機404の歪み認識のフィードバックブロック446は、歪みを最小化するMIMOリンクアダプテーションパラメータ452を判定する際に、この情報を利用してよい。レート歪み情報416及び/又は450は、歪みを最小化するリンクアダプテーションパラメータ452 (例えば、MIMO MCS及びプリコーディング行列) を判定する際に歪み認識のフィードバックブロック446により考慮される。歪みを最小化するリンクアダプテーションパラメータ452は、フィードバックチャンネルを通じて送信機402に渡される。例えば、送信機402は、受信機 (図示せず) をも含む第1のデバイスに組み込まれてもよく、受信機404は、送信機 (図示せず) をも含む第2のデバイスに組み込まれてもよい。これにより、受信機404がMIMOチャンネル406又は他の無線チャンネル、リンク等で送信機402に無線でフィードバックを提供することを可能にする。

【 0 0 5 2 】

< アプリケーション >

ここでの実装は、MIMOシステムでリンクアダプテーションをサポートするための“歪み認識”及び関連するジョイント・ソース・チャンネル符号化の概念を提供する。MIMO時空変調と、MIMOプリコーディングと、FEC外部符号化及びインターリーブと、フィードバックブロックとを含む、送信機及び受信機の全てのMIMOリンクアダプテーションブロックは、

ここでの歪み認識のMIMOリンクアダプテーションのフレームワークの実装のもとで影響を受け、異なるように動作する。更に、ここでの実装は、ユニキャスト（すなわち、ユーザ毎に確立された1つのストリーミング接続）、ブロードキャスト（すなわち、サービス内容毎に確立された1つのストリーミング接続）及びマルチキャスト送信技術（すなわち、選択されたユーザのグループ毎に確立された1つのストリーミング接続）のいずれかと共に適用可能な歪み認識のMIMOリンクアダプテーション技術を提供し得る。

【0053】

この状況での歪み認識のMIMOリンクアダプテーション技術の或る実装によるアプリケーションの一例は、前述のWiMAX802.16標準におけるマルチキャストブロードキャストサービス（MBS：multicast broadcast service）でもよい（3GPP（Third Generation Partnership Project）により策定された標準ではMBMS（multimedia broadcast and multicast service）としても知られ、3GPP2（Third Generation Partnership Project 2）により策定された標準ではBCMCS（Broadcast and Multicast Service）としても知られる）。例えば、MBSの場合、グッドプットを最大化することを目的とする通常のリンクアダプテーション手法は、典型的には、ネットワーク内のユーザの特定の割合（例えば95%）が信頼性高く（例えば1%以下のPERで）マルチメディア送信を受信できるように、マルチメディア送信レートを判定する。しかし、ここでの或る実装によれば、歪み認識のリンクアダプテーションプロトコルは、その代わりに、ネットワーク内のユーザの特定の割合（例えば、95%）が特定の経験品質（すなわち、所定の閾値より低いPSNR又は平均のエンドツーエンドの歪み）でマルチメディアサービスを保証され得るように、マルチメディア送信レート及び関連するマルチメディア受信品質レベル（PSNR又は平均のエンドツーエンドの歪みについて測定される）を判定し得る。

【0054】

< 例示的な開ループ処理 >

図5は、ここでの或る実装による歪み認識のリンクアダプテーションのための例示的な開ループ処理500のフローチャートを示している。フローチャートでは、動作は個々のブロックにまとめられている。動作は、ハードウェアで実行されてもよく、プロセッサにより実行され得るプロセッサ実行可能な命令（ソフトウェア又はファームウェア）として実行されてもよい。

【0055】

ブロック502において、送信のためのソースが送信機に提供される。例えば、前述のように、ソースは、VoIP（voice over IP）、音声及びオーディオ通信、モバイルTV、モバイルビデオサービス等を含むマルチメディア通信でもよい。

【0056】

ブロック504において、ソースのソース符号化は、送信機のソース符号化器により実行される。例えば前述のように、ソースは、送信の準備のために圧縮又は符号化されてもよい。

【0057】

ブロック506において、ソース符号化されたデータ及び対応するレート歪み情報は、送信機のチャンネル符号化器に提供される。例えば、レート歪み情報は、ソースで実行されるソース符号化のタイプに基づいてもよく、既知の統計又は観測データを含んでもよい。

【0058】

ブロック508において、リンクアダプテーションパラメータ（例えば、MIMO MCS方式及びプリコーディング行列）は、歪み認識のチャンネル符号化器により判定される。例えば、リンクアダプテーションパラメータは、受信したレート歪み情報及びチャンネル符号化器によりアクセスするために送信機に格納された統計情報に基づいて判定されたMIMO MCS方式のFEC符号化率及びMIMO時空変調と、プリコーディング行列Qとを含んでもよい。更に、使用されているチャンネルの既知の統計（SNR値及び歪みベクトル等）に基づく参照テーブル又は他の格納された情報は、エンドツーエンドの歪みを最小化するための最適なリンクアダプテーションパラメータを判定するために、チャンネル符号化器に提供されてもよい。

10

20

30

40

50

図6及び以下に示す対応する説明は、ここでの或る実装に従って開ループの歪み認識のリンクアダプテーションのための歪みを最小化するリンクアダプテーションパラメータを判定する例を提供する。

【0059】

ブロック510において、ソース符号化されたデータのチャンネル符号化は、選択されたリンクアダプテーションパラメータに基づいて実行され、チャンネル符号化されたデータを生成する。

【0060】

ブロック512において、チャンネル符号化されたデータは、MIMOチャンネルで受信機に送信される。

【0061】

ブロック514において、送信済の符号化されたデータは、受信機で再構成され、最小化された歪みで再構成されたソースを提供する。

【0062】

図6は、ここでの或る実装に従って開ループの歪み認識のMIMOリンクアダプテーションの歪みを最小化するパラメータを判定する例示的な処理600のフローチャートを示している。フローチャートでは、動作は個々のブロックにまとめられている。動作は、ハードウェアで実行されてもよく、プロセッサにより実行され得るプロセッサ実行可能な命令(ソフトウェア又はファームウェア)として実行されてもよい。

【0063】

ブロック602において、SNRベクトルはチャンネル符号化器により初期化される。例えば、各エントリは、平均受信SNR値であり、送信機で利用可能な長期のチャンネル状態情報を表す。

【0064】

ブロック604において、全てのMIMO MCS及びプリコーディング技術について歪みベクトルが初期化される。例えば、歪みベクトルは、異なるSNR値に対応する歪み値(例えば、MIMO MCS及びプリコーディング行列Q)を格納する。歪みベクトル情報は、目的のMIMOチャンネルのSNR値に対応する統計情報及び/又は観測情報に収集されてもよい。

【0065】

ブロック606において、全てのSNR値での繰り返し及びチャンネル実現での多数の繰り返しのために、MIMOチャンネル実現Hが前述のようにランダムに生成される。

【0066】

ブロック608において、全てのMIMO MCS方式及びプリコーディング行列について瞬時受信SNRが判定される。例えば、瞬時受信SNRは、Alamouti STC及び他の直交時空ブロック符号化(OSTBC: orthogonal space-time block coding)について判定されてもよい。この場合、瞬時受信SNRは、MIMOチャンネル行列の2乗フロベニウスノルム(squared Frobenius norm)に比例する。

【0067】

ブロック610において、瞬時受信SNRから全てのMIMO MCS方式及びプリコーディング行列の packets 誤り率(PER: packet error rate)が判定される。この判定は、FECタイプ及び符号化率、様々なMIMO時空変調の差(例えば、STCに対するSM)を考慮することにより、また、直交周波数分割多重(OFDM: orthogonal frequency division multiplexing)変調を考慮することにより、任意選択でPHY抽象化方法(abstraction methodology)を使用することにより行われる。

【0068】

ブロック612において、MIMO MCS及びプリコーディング行列毎に、エンドツーエンドの歪みが、瞬時受信SNRから得られるPERを使用して前述の式(1)及び/又は(2)及び/又は(3)を使用して計算される。例えば、前述のように、式(1)は、MIMOダイバーシチモードの平均のエンドツーエンドの歪みを示しており、式(2)は、垂直符号化でのMIMO SMモードの平均のエンドツーエンドの歪みを示しており、式(3)は、水平符号化でのMIMO SMモード

10

20

30

40

50

の平均のエンドツーエンドの歪みを示している。これらの式を適用することにより、瞬時受信SNR及びランダムなチャネル実現について、MIMO MCS及びプリコーディング行列Qについての平均の歪み値が判定されてもよい。

【 0 0 6 9 】

ブロック614において、計算された歪み値は、全てのMIMO MCS方式、プリコーディング行列及びランダムなチャネル実現について格納される。

【 0 0 7 0 】

ブロック616において、チャネル実現での多数の繰り返しが完了すると、全てのMIMO MCS方式及びプリコーディング行列について歪みベクトルが更新される。例えば、特定のSNR値に対応する各歪みベクトルのエントリは、平均歪み値（すなわち、ランダムなチャネル実現での平均）で更新される。

10

【 0 0 7 1 】

ブロック618において、SNRベクトルの全てのSNRで繰り返しが完了すると、異なるMIMO MCS方式の間を切り替えるSNR閾値は、全てのMIMO MCS及びプリコーディング技術の歪みベクトルに基づいて判定され、これにより、平均のエンドツーエンドの歪みがいずれかの所与のSNRで最小化され得る。

【 0 0 7 2 】

ブロック620において、エンドツーエンドの歪みを最小化するために、送信されているソースのチャネル符号化について最適なMIMO MCS方式及びプリコーディング行列Qが選択される。

20

【 0 0 7 3 】

< 例示的な閉ループ処理 >

図7は、ここでの或る実装による歪み認識のリンクアダプテーションのための例示的な閉ループ処理700のフローチャートを示している。フローチャートでは、動作は個々のブロックにまとめられている。動作は、ハードウェアで実行されてもよく、プロセッサにより実行され得るプロセッサ実行可能な命令（ソフトウェア又はファームウェア）として実行されてもよい。

【 0 0 7 4 】

ブロック702において、送信のためのソースが無線通信デバイスの送信機に提供される。

30

【 0 0 7 5 】

ブロック704において、ソースデータのソース符号化は、送信機のソース符号化器により実行される。例えば前述のように、ソースデータは、送信の準備のために圧縮又は符号化されてもよい。

【 0 0 7 6 】

ブロック706において、符号化されたソースデータ（及び図4に示すOp.Aの場合には対応するレート歪み情報）は、送信機のチャネル符号化器に提供される。

【 0 0 7 7 】

ブロック708において、リンクアダプテーションパラメータは、歪み認識のチャネル符号化器により受信される。例えば、リンクアダプテーションパラメータは、受信機により判定されてフィードバックとして提供された、選択されたMIMO MCS方式と、プリコーディング行列とを含んでもよい。図8及び以下に示す対応する説明は、どのように受信機がここでの或る実装に従って閉ループの歪み認識のリンクアダプテーションのための歪みを最小化するリンクアダプテーションパラメータを判定するかを例を提供する。例えば、受信した通信に基づいて、受信機は、瞬時又は短期のMIMOチャネル実現の信頼性のある正確な認識を保持してもよい。これは、信頼性のあるチャネル推定及びリンクアダプテーションパラメータのフィードバックを可能にするのに十分に無線チャネル変動が遅いため（例えば低速移動の場合）、典型的な通信の場合に当てはまる。或いは、図6及び上記に示す対応する説明は、受信機がMIMOチャネルの動的な変動を信頼性高く推定できない場合等（例えば、高速移動の場合）のように、どのように受信機がここでの或る実装に従って閉ル

40

50

ープの歪み認識のリンクアダプテーションのための歪みを最小化するリンクアダプテーションパラメータを判定し得るかの他の例を提供し得る。従って、受信機での歪み認識のMIMOリンクアダプテーションは、長期のチャネル変動の認識と、瞬時又は短期のMIMOチャネル実現の統計的な認識とに基づく。従って、これらの別の実装では、受信機は、図6の説明に従ってリンクアダプテーションパラメータを判定し、判定されたリンクアダプテーションパラメータをフィードバックとして送信機に提供してもよい。

【0078】

ブロック710において、ソース符号化されたデータのチャネル符号化は、選択されたMIMO-MCS方法と、受信機から受信したプリコーディング行列とに基づいて実行され、チャネル符号化されたデータを生成する。更に、フィードバックがまだ受信されていない場合、又はフィードバックが他の理由で受信されない場合、チャネル符号化器は、初期設定のMIMO MCS方式及びプリコーディング行列を適用してもよい。或いは、チャネル符号化器は、フィードバックが受信されるまで、前述の開ループの実装を適用してもよい。

10

【0079】

ブロック712において、チャネル符号化されたデータ（及び図4で説明したOp.Aの場合にはソースについてのレート歪み情報）は、MIMOチャネルで受信機に送信される。

【0080】

ブロック714において、送信済の符号化されたデータは、受信機で再構成され、再構成されたソースを提供する。

【0081】

20

ブロック716において（図4で説明したOp.Bの場合）、受信機のフィードバック構成要素は、ソース復号化器からレート歪み情報を判定する。

【0082】

ブロック718において、フィードバック構成要素はまた、最適なMIMO MCS方式及びプリコーディング行列を判定する。図8は、閉ループの実装について全体のエンドツーエンドの歪みを最小化する最適なMIMO MCS方式及びプリコーディング行列を判定する例を提供する。

【0083】

ブロック720において、リンクアダプテーションパラメータ（例えば、最適なMIMO MCS方式及びプリコーディング行列）は、フィードバックとして送信機に提供される。

30

【0084】

図8は、ここでの或る実装に従って閉ループの歪み認識のMIMOリンクアダプテーションの歪みを最小化するパラメータを判定する例示的な処理800のフローチャートを示している。フローチャートでは、動作は個々のブロックにまとめられている。動作は、ハードウェアで実行されてもよく、プロセッサにより実行され得るプロセッサ実行可能な命令（ソフトウェア又はファームウェア）として実行されてもよい。

【0085】

ブロック802において、SNRベクトルが初期化される。例えば、SNRベクトルの各エントリは、平均受信SNR値であり、送信機で利用可能な長期のチャネル状態情報を表す。

【0086】

40

ブロック804において、異なるSNRでの歪み認識のリンクアダプテーションの後に全てのMIMO MCS及びプリコーディング技術について結果の歪み値を格納するように、歪みベクトルが初期化される。

【0087】

ブロック806において、全てのSNRでの繰り返し及びチャネル実現での多数の繰り返しのために、MIMOチャネル実現Hが前述のようにランダムに生成される。

【0088】

ブロック808において、MIMO MCS方式及びプリコーディング行列について瞬時受信SNRが判定される。例えば、瞬時受信SNRは、Alamouti STC及び他のOSTBCについて判定されてもよい。この場合、瞬時受信SNRは、MIMOチャネル行列の2乗フロベニウスノルム（squ

50

ared Frobenius norm) に比例する。

【 0 0 8 9 】

ブロック810において、瞬時受信SNRから全てのMIMO MCS方式及びプリコーディング行列のPERが判定される。PERの判定は、FECタイプ及び符号化率、様々なMIMO時空変調の差（例えば、STCに対するSM）を考慮し、また、PHY抽象化方法等を使用することにより、OFDM変調を考慮する。

【 0 0 9 0 】

ブロック812において、MIMO MCS及びプリコーディング行列毎に、エンドツーエンドの歪みが、瞬時受信SNRから得られるPERを使用して前述の式(1)及び/又は(2)及び/又は(3)を使用して計算される。例えば、前述のように、式(1)は、MIMOダイバーシチモードの平均のエンドツーエンドの歪みを示しており、式(2)は、垂直符号化でのMIMO SMモードの平均のエンドツーエンドの歪みを示しており、式(3)は、水平符号化でのMIMO SMモードの平均のエンドツーエンドの歪みを示している。これらの式を適用することにより、瞬時受信SNR及びランダムなチャネル実現について、MIMO MCS及びプリコーディング行列Qについての平均の歪み値が判定されてもよい。

【 0 0 9 1 】

ブロック814において、最低の平均のエンドツーエンドの歪みを生じるMIMO MCS方式及びプリコーディング行列が選択され、関連する歪み値が格納される。

【 0 0 9 2 】

ブロック816において、選択されたMIMO MCS及びプリコーディング行列についての情報は、フィードバックループを介して送信機にフィードバックされる。

【 0 0 9 3 】

ブロック818において、チャネル実現での多数の繰り返しが終了し、歪みベクトルが更新される。例えば、特定のSNR値に対応する歪みベクトルのエントリは、選択されたMIMO MCS及びプリコーディング行列に基づく平均歪み（すなわち、ランダムなチャネル実現での繰り返しの間に格納された歪み値を平均化することによる）で更新される。

【 0 0 9 4 】

ブロック820において、SNRベクトルの全てのSNRでの繰り返しが終了する。

【 0 0 9 5 】

< 例示的なシステム >

図9は、或る実装に従って歪み認識のMIMOリンクアダプテーションを使用してエンドツーエンドの歪みを最小化するシステム900の例を示している。このため、システム900は、MIMOチャネル906で受信機904と無線で通信するように構成された送信機902を含む。送信機902は、受信機904の複数の受信アンテナ910とのMIMO通信のために、複数の送信アンテナ908を含む。送信機902はまた、MIMOチャネル906で信号を送信するために、無線フロントエンド又は他の無線送信機構のような送信回路又はデバイス912を含む。同様に、受信機904は、送信機902から信号を受信するために、無線フロントエンド又は他の無線受信機構のような受信回路又はデバイス914を含んでもよい。更に、送信機902は、メモリ918又は他のプロセッサ可読記憶媒体に結合された1つ以上のプロセッサ916を含んでもよい。例えば、メモリ918は、送信機902に対してエンドツーエンドの歪みを最小化するための前述の機能を実行させるために、1つ以上のプロセッサ916により実行可能な歪み認識の構成要素920を含んでもよい。同様に、受信機は、メモリ924に結合された1つ以上のプロセッサ922を含んでもよい。メモリ924は、受信機904に対してエンドツーエンドの歪みを最小化するための前述の機能（閉ループの実装の間のフィードバックの提供等）を実行させるために、1つ以上のプロセッサ922により実行可能な歪み認識の構成要素926を含んでもよい。

【 0 0 9 6 】

或る実装では、プロセッサ916、922は、単一の処理ユニットでもよく、複数の処理ユニットでもよい。複数の処理ユニットの全ては、複数の計算ユニット又は複数のコアを含んでもよい。プロセッサ916、922は、1つ以上のマイクロプロセッサ、マイクロコンピュー

10

20

30

40

50

タ、マイクロコントローラ、デジタルシグナルプロセッサ、中央処理装置、状態機械、論理回路及び/又は動作命令に基づいて信号を操作するいずれかのデバイスとして実装されてもよい。他の機能の中でも、プロセッサ916、922は、それぞれメモリ918、924又は他のプロセッサ可読記憶媒体に格納されたプロセッサ実行可能な命令を取得して実行するように構成されてもよい。

【0097】

メモリ918、924は、例えば、揮発性メモリ（例えばRAM）及び/又は不揮発性メモリ（例えばフラッシュ等）、大容量記憶デバイス（ハードディスクドライブ等）、固体ドライブ、取り外し可能媒体（外部ドライブ、取り外し可能ドライブ、フロッピー（登録商標）ディスク、光ディスク等を含む）、又はこれらのいずれかの組み合わせを含み、当該技術分野で既知の如何なるプロセッサ可読記憶媒体を含んでもよい。メモリ918、924は、ここでの実装において記載された方法及び機能を実行する特定の機械としてのそれぞれプロセッサ916、922により実行可能なコンピュータプログラムコードとして、コンピュータ可読プロセッサ実行可能なプログラム命令を格納する。更に、メモリ918、924はまた、ここでの実装、このようなコーデック等を実行するために、ここに格納されてそれぞれプロセッサ918、922により実行可能な他のプログラムモジュールを含んでもよい。例えば、メモリ918は、前述のソース符号化器928及びチャンネル符号化器930を含んでもよい。同様に、メモリ924は、前述のソース復号化器932及び時空復号化器934を含んでもよい。メモリ918、924はまた、前述のように、格納されたSNRベクトル、参照テーブル、MIMO MCS方式、プリコーディング行列等（図示せず）のようなデータ構造を含んでもよい。

【0098】

更に、送信機902及び受信機904は、セルラ通信システム、Wi-Fiシステム等のような様々なデバイス及びシステムに実装されてもよい。例えば、送信機902は、携帯電話、スマートホン、ラップトップ等のようなモバイルコンピュータデバイスに組み込まれてもよく、受信機904は、セルタワー、無線アクセスポイント、第2のコンピュータデバイス等に組み込まれてもよく、また、その逆も同様である。更に、例示的なシステムアーキテクチャが記載されているが、他の実装はここに記載の特定のシステムアーキテクチャに限定されないことが分かる。例えば、ここに記載の技術及びアーキテクチャは、様々な無線通信デバイスのいずれかに組み込まれてもよく、ここでの実装は、いずれかの種類の通信デバイスに限定されない。

【0099】

< 結論 >

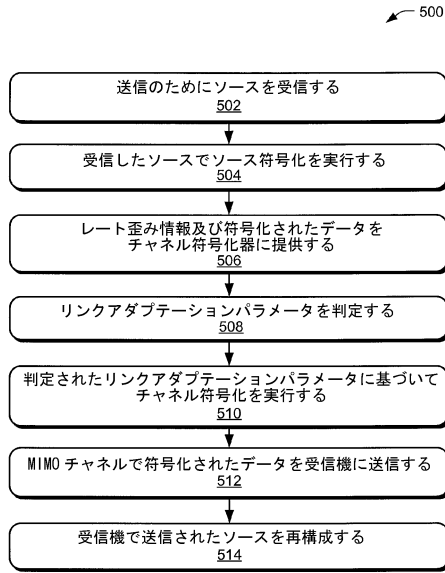
対象物は、構造的特徴及び/又は方法論的動作に特有の言語で記載されているが、この開示は、開示された実装の如何なる全ての適応又は変形をカバーすることを意図し、特許請求の範囲で使用される用語は、この特許を明細書に記載の特定の实装に限定するように解釈されるべきではないことが分かる。その代わりに、この特許の範囲は、特許請求の範囲が権利を有する均等の全ての範囲と共に、完全に特許請求の範囲により判定されるべきである。

10

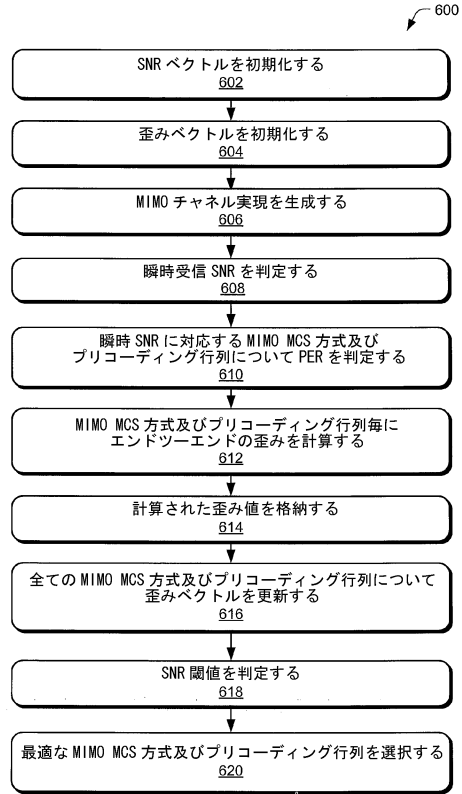
20

30

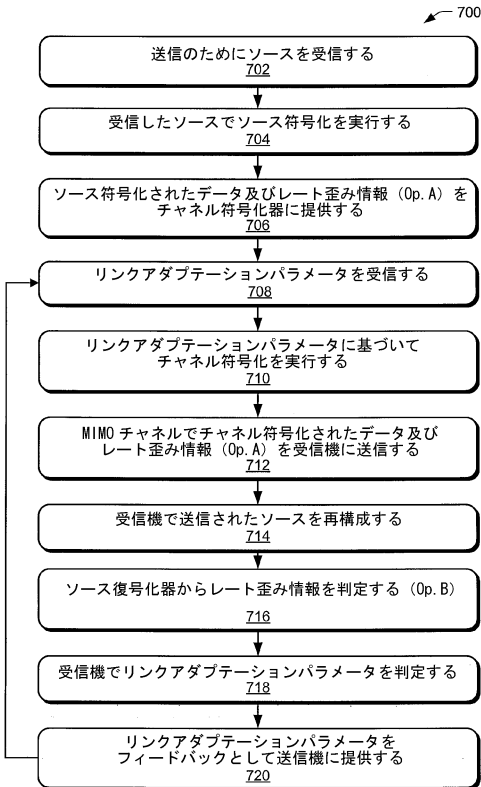
【図 5】



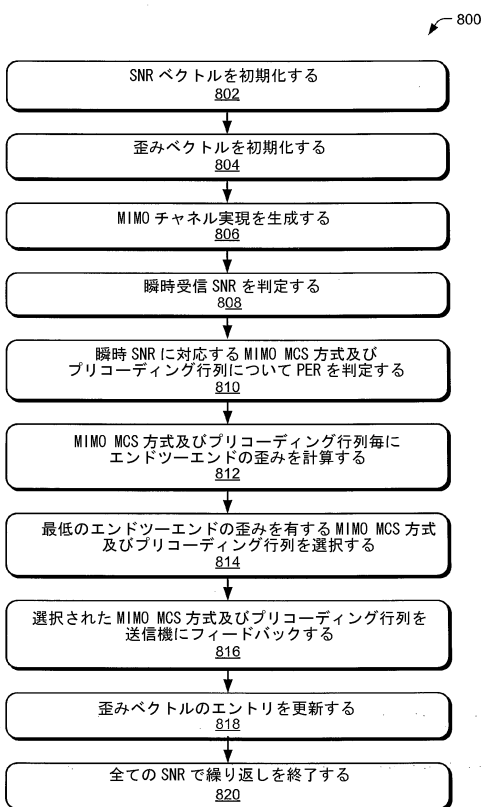
【図 6】



【図 7】

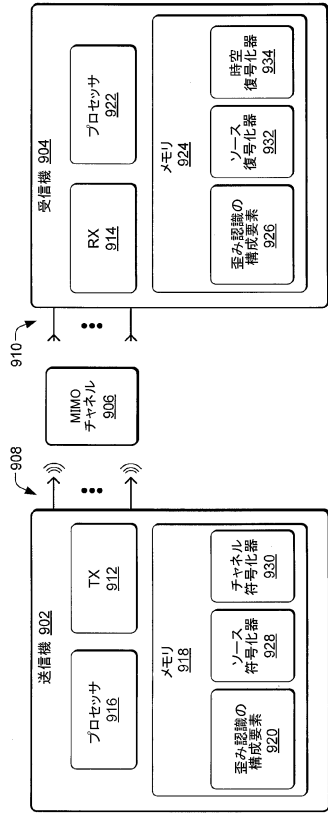


【図 8】



【図9】

900



フロントページの続き

- (72)発明者 オイマン, オズグル
 アメリカ合衆国 95134 カリフォルニア州 サンノゼ ナヴァロ ウェイ 425 ナンバ
 ー 117
- (72)発明者 フォアスター, ジェフリー アール.
 アメリカ合衆国 97229 オレゴン州 ポートランド ノースウエスト 83ード プレイス
 2533

審査官 岡 裕之

- (56)参考文献 米国特許出願公開第2007/0206695 (US, A1)
 国際公開第2008/138165 (WO, A1)
 国際公開第2009/100567 (WO, A1)
 特開2007-151056 (JP, A)
 米国特許出願公開第2008/0101494 (US, A1)
 Energy-aware link adaptation for MIMO-OFDM based wireless communication , Military Com
 munications Conference, 2008. MILCOM 2008. IEEE, 2008年11月19日
 Jelena Mirkovic et al., On Performance of MIMO Link Adaptation in the Presence of Chan
 nel Uncertainty, Networking and Communications, 2008. WIMOB '08. IEEE International Co
 nference on Wireless and Mobile Computing, 2008年10月14日, pp.84-89
 森永 規彦 外2名, 送信電力制御を適用した MIMO 適応変調に関する検討, 2003年電子情
 報通信学会総合大会講演論文集, 2003年 3月 3日, p.621, B-5-162
 唐沢 好男 外2名, マルチユーザ時空間符号化伝送における適応ビームフォーミング, 電子情
 報通信学会技術研究報告, 2003年 8月18日, Vol.103, No.265, pp.89-94, A・P 20
 03-131
 Samsung, Multiplexing Control and Data in the PUSCH, 3GPP R1-081223, 2008年 4月
 4日
 Texas Instruments, Coding of Control Information on PUSCH, 3GPP R1-081989, 2008年
 5月 9日
 Jeffrey Foerster et al., Distortion-aware MIMO link adaptation for enhanced multimedia
 communications, Personal, Indoor and Mobile Radio Communications Workshops (PIMRC Wor
 kshops), 2010 IEEE 21st International Symposium on , 2010年 9月30日, pp.387-39
 2

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04J 99/00
 H04B 7/04
 H04B 7/10
 IEEE Xplore
 Cini