

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5220859号
(P5220859)

(45) 発行日 平成25年6月26日 (2013. 6. 26)

(24) 登録日 平成25年3月15日 (2013. 3. 15)

(51) Int.Cl.		F I	
HO4J 99/00	(2009.01)	HO4J 15/00	
HO4W 16/28	(2009.01)	HO4W 16/28	130
HO4B 7/04	(2006.01)	HO4B 7/04	

請求項の数 16 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2010-522164 (P2010-522164)	(73) 特許権者	391030332
(86) (22) 出願日	平成20年8月15日 (2008. 8. 15)		アルカテルルーセント
(65) 公表番号	特表2010-537598 (P2010-537598A)		フランス国、75007・パリ、
(43) 公表日	平成22年12月2日 (2010. 12. 2)		ユ・オクターブ・グレアール、
(86) 国際出願番号	PCT/CN2008/001473	(74) 代理人	100094112
(87) 国際公開番号	W02009/030102		弁理士 岡部 譲
(87) 国際公開日	平成21年3月12日 (2009. 3. 12)	(74) 代理人	100085176
審査請求日	平成23年5月31日 (2011. 5. 31)		弁理士 加藤 伸晃
(31) 優先権主張番号	200710045530.8	(74) 代理人	100104352
(32) 優先日	平成19年8月29日 (2007. 8. 29)		弁理士 朝日 伸光
(33) 優先権主張国	中国 (CN)	(74) 代理人	100128657
			弁理士 三山 勝巳
		(74) 代理人	100160967
			弁理士 ▲濱▼口 岳久

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マルチユーザプリコーディング及びスケジューリングの方法並びにそれを実施するための基地局

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

マルチユーザプリコーディング及びスケジューリングの方法であって、
チャンネル状態情報 (CSI) 及びCSI誤差の静的特性をユーザ機器 (UE) から基地局 (BS) にフィードバックするステップ、

前記BSにおいて、前記フィードバックCSI及びCSI誤差の前記静的特性に従ってマルチユーザプリコーディング行列及びスケジューリングスキームを生成するステップ、及び

前記生成されたマルチユーザプリコーディング行列及びスケジューリングスキームを使用することによって、ユーザデータに対してマルチユーザプリコーディング及びスケジューリングを実施するステップ

を備える方法。

【請求項 2】

請求項1記載の方法であって、前記CSIがチャンネル行列の推定値である方法。

【請求項 3】

請求項2記載の方法であって、CSI誤差の前記静的特性が前記チャンネル行列の前記推定値の共分散行列からなる方法。

【請求項 4】

請求項1記載の方法であって、前記マルチユーザプリコーディングが最小平均二乗誤差 (MMSE) タイプのアルゴリズムを使用する方法。

【請求項 5】

請求項 4 記載の方法であって、前記 M M S E タイプのアルゴリズムが連続 M M S E アルゴリズムである方法。

【請求項 6】

請求項 1 記載の方法であって、前記マルチユーザスケジューリングが容量最大化基準を使用する方法。

【請求項 7】

請求項 1 記載の方法であって、前記 C S I 誤差の前記静的特性が、チャンネル推定誤差、フィードバック誤差、及び量子化誤差を測定することによって得られ、次いで受信機から送信機にフィードバックされる方法。

10

【請求項 8】

請求項 1 記載の方法であって、マルチユーザ M I M O (M U - M I M O) 通信システム内で使用される方法。

【請求項 9】

ユーザ機器 (U E) からフィードバックされる C S I 及び C S I 誤差の静的特性を受信するための受信デバイス、

前記フィードバック C S I 及び C S I 誤差の前記静的特性に従ってマルチユーザプリコーディング行列及びスケジューリングスキームを生成するためのマルチユーザプリコーディング行列及びスケジューリングスキーム生成デバイス、及び

生成されたマルチユーザプリコーディング行列及びスケジューリングスキームを使用することによって、ユーザデータに対してマルチユーザプリコーディング及びスケジューリングを実施するためのマルチユーザプリコーディング及びスケジューリングデバイスを備えた基地局。

20

【請求項 10】

請求項 9 記載の基地局であって、前記 C S I がチャンネル行列の推定値である基地局。

【請求項 11】

請求項 10 記載の基地局であって、C S I 誤差の前記静的特性が前記チャンネル行列の前記推定値の共分散行列からなる基地局。

【請求項 12】

請求項 9 記載の基地局であって、前記マルチユーザプリコーディングが最小平均二乗誤差 (M M S E) タイプのアルゴリズムを使用する基地局。

30

【請求項 13】

請求項 12 記載の基地局であって、前記 M M S E タイプのアルゴリズムが連続 M M S E アルゴリズムである基地局。

【請求項 14】

請求項 9 記載の基地局であって、前記マルチユーザスケジューリングが容量最大化基準を使用する基地局。

【請求項 15】

請求項 9 記載の基地局であって、前記 C S I 誤差の前記静的特性が、チャンネル推定誤差、フィードバック誤差、及び量子化誤差を測定することによって得られ、次いで受信機から送信機にフィードバックされる基地局。

40

【請求項 16】

請求項 9 記載の基地局であって、マルチユーザ M I M O (M U - M I M O) 通信システム内で使用される基地局。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は M I M O (M u l t i p l e I n p u t M u l t i p l e O u t p u t) 通信システムに関し、詳細には、ユーザ側からフィードバックされるチャンネル状態情報 (C S I 、これはフィードバック量子化、フィードバック遅延など様々な要因により不正

50

確であることがある)及びCSI誤差の静的特性を使用することによってマルチユーザプリコーディング及びスケジューリングのためのマルチユーザプリコーディング行列及びスケジューリングスキームを生成することができるマルチユーザ(MU)プリコーディング及びスケジューリングの方法に関する。

【背景技術】

【0002】

最近、MU-MIMOは、容量におけるその利点、並びに単一アンテナのユーザ(SU)と共に機能し依然としてMIMOの利点を維持することができることにより、多くの関心を集めている。

【0003】

SU-MIMOに比べて、MU-MIMOの送信処理は各ユーザが他のユーザとの共同作業なしに独立してそのメッセージを復号しなければならないことに起因して複雑である。中心的な問題はユーザ間の同一チャネル干渉(CCI)をどのように解決するかである。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

この問題を解決するために、マルチユーザプリコーディング技法がMU-MIMOシステムでは使用され、各ユーザが他のユーザからの干渉を受けない、又は限られた干渉しか受けないように、ユーザ間のCCIを制御又は完全に回避する。CCIの完全回避又は効果的な制御のためには、全てのユーザについての完全CSIが送信機で必要とされ、これは実際のシステムにとって非現実的な仮定にすぎない。実際には、完全CSIは達成するのが困難であり、従って不完全CSIが送信機で常に使用される。そのような不完全CSIの場合、ユーザ間のCCIは、ゼロフォーシングタイプのプリコーディングアルゴリズムを使用してさえ、完全には回避することができない。不完全CSIによる残留CCIは、最尤(ML)検出又は最小平均二乗誤差(MMSE)検出など一般的な干渉抑制法によって受信機で抑制することができない。その結果、CCIは総送信電力が増大するにつれてその平均電力が増大する相加性雑音と見なすことができるにすぎない。CCIのこの特性はMU-MIMOの性能を、特に高いSNR時に著しく制限する。

【課題を解決するための手段】

【0005】

送信機での不完全CSIによる残留CCIによって引き起こされるMU-MIMO性能の劣化に対処するために、本発明は、ユーザからフィードバックされるCSI情報及びCSI誤差の静的特性を使用することによって、マルチユーザプリコーディング及びスケジューリングのためのマルチユーザプリコーディング行列及びスケジューリングスキームが生成されるマルチユーザプリコーディング及びスケジューリングの方法を提供する。このように生成されるプリコーディング行列及びスケジューリングスキームは、送信機でのチャネル情報が不完全である状況に適応し、残留CCIを低減し、従って不完全CSIによるMU-MIMO性能の劣化を低減することができる。

【0006】

本発明の目的は、マルチユーザプリコーディング及びスケジューリングの方法であって、CSI及びCSI誤差の静的特性をユーザ機器(UE)から基地局(BS)にフィードバックするステップ、BSにおいて、フィードバックCSI及びCSI誤差の静的特性に従ってマルチユーザプリコーディング行列及びスケジューリングスキームを生成するステップ、及び生成されたマルチユーザプリコーディング行列及びスケジューリングスキームを使用することによってユーザデータに対してマルチユーザプリコーディング及びスケジューリングを実施するステップを備える方法を提供することである。

【0007】

好ましくは、CSIはチャネル行列の推定値である。

【0008】

好ましくは、C S I 誤差の静的特性はチャネル行列の推定値の誤差の共分散行列からなる。

【 0 0 0 9 】

好ましくは、マルチユーザプリコーディングは最小平均二乗誤差 (M M S E) タイプのアルゴリズムを使用する。

【 0 0 1 0 】

好ましくは、M M S E タイプのアルゴリズムは連続 M M S E アルゴリズムである。

【 0 0 1 1 】

好ましくは、マルチユーザスケジューリングは容量最大化基準を使用する。

【 0 0 1 2 】

好ましくは、C S I 誤差の静的特性はチャネル推定誤差、フィードバック誤差、及び量子化誤差を測定することによって得られる。

【 0 0 1 3 】

好ましくは、この方法は M U - M I M O 通信システム内で使用される。

【 0 0 1 4 】

また、本発明は、U E からフィードバックされる C S I 及び C S I 誤差の静的特性を受信するための受信デバイス、フィードバック C S I 及び C S I 誤差の静的特性に従ってマルチユーザプリコーディング行列及びスケジューリングスキームを生成するためのマルチユーザプリコーディング行列及びスケジューリングスキーム生成デバイス、並びに生成されたマルチユーザプリコーディング行列及びスケジューリングスキームを使用することによって、ユーザデータに対してマルチユーザプリコーディング及びスケジューリングを実施するためのマルチユーザプリコーディング及びスケジューリングデバイスを備える基地局を提供する。

【 0 0 1 5 】

本発明の目的、利点、及び特徴は、図面と共に好ましい実施形態の説明によれば、より明らかになる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 6 】

【 図 1 】 本発明によるマルチユーザプリコーディング及びスケジューリングの方法の流れ図である。

【 図 2 】 本発明によるマルチユーザプリコーディング及びスケジューリングの方法を実施するための B S のブロック図である。

【 図 3 】 本発明による方法と従来技術の方法との性能比較のグラフである。

【 図 4 】 本発明による方法と従来技術の方法との性能比較のグラフである。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 7 】

不完全 C S I の場合、送信機はマルチユーザプリコーディングに正確に合致するマルチユーザプリコーディング行列を生成することができない。そのようなミスマッチは送信電力と共に増大し、M U - M I M O の性能を特に高い S N R 時にかなり制限する、ユーザ間の追加の C C I に通じる。C S I 誤差によって引き起こされる C C I は、最尤 (M L) 検出又は M M S E 検出など一般的な干渉抑制法によって受信機で抑制することができない。この作用は相加性雑音の増大と同様である。本発明の基本的な考えは、そのような C C I レベルとプリコーディング / スケジューリング結果との関係を研究すること、及びこの関係を使用し、不完全 C S I 環境によりよく適するようにプリコーディング及びスケジューリングアルゴリズムを調整することである。本発明によれば、C S I 誤差による C C I レベルをよりよく制御し、送信機での不完全 C S I を伴う M U - M I M O を改善するために、マルチユーザプリコーディング及びスケジューリングの方法が提供される。

【 0 0 1 8 】

本発明では、C S I 誤差の静的特性が送信機で使用可能であると仮定する。マルチユーザプリコーディングについては、干渉と雑音のバランスを取るその能力により、M M S E

10

20

30

40

50

タイプのアルゴリズムが一般に使用される。ここで、C S I 誤差によって引き起こされる C C I は A W G N (加法性白色ガウス雑音) と見なすことができ、C S I 誤差の平均電力とプリコーディング/フィルタリング行列との関係は C S I 誤差の分散行列に基づいて確立することができる。次いで、C C I レベル、プリコーディング及びフィルタリング行列が M M S E 基準に従って共に最適化される。

【 0 0 1 9 】

本発明では、マルチユーザスケジューリングのために、本発明者らは容量最大化基準を採用し、達成可能な最大和容量を有するユーザ/モード部分集合を選択する。同様に、各ユーザ/モードサブセットについての和容量を推定する際に C C I を A W G N と見なすことによって、C S I 誤差関連 C C I レベルとユーザ/モード選択との関係を確立し、スケジューリング動作を調整するために使用することができる。

10

【 0 0 2 0 】

以下、本発明によるマルチユーザプリコーディング及びスケジューリングの方法の原理について詳細に述べる。

【 0 0 2 1 】

(チャネルモード)

B S における N_T 個の送信アンテナ、及び同じ B S から同じ時間周波数リソースを介してサービスを受ける、それぞれが N_R 個の受信アンテナを有する K 個のユーザを有するマルチユーザ M I M O システムのダウンリンクを考えてみる。(K は、同じタイムスロット及び周波数帯において空間処理によってサービスを受けるユーザの数であることに留意されたい。セル内のユーザの総数は K よりはるかに大きいことがある。)

20

【 0 0 2 2 】

全てのユーザについて周波数フラットフェージングを仮定すると、ユーザ k に関するチャネル行列は、

【 0 0 2 3 】

【 数 1 】

$$H_k = [h_{k,n}^{(m)}]$$

30

によって示され、この式で、

【 0 0 2 4 】

【 数 2 】

$$h_{k,n}^{(m)}$$

は、 n 番目の送信アンテナとユーザ k の m 番目の受信アンテナとの間のフェージング係数である。ユーザ k 専用のデータストリーム数は s_k によって示される。 s_k N_R 及び

【 0 0 2 5 】

【 数 3 】

$$\sum_{k=1}^K s_k \leq N_T$$

40

であることが常に仮定されている。最初に、ユーザ k についての長さ s_k のデータベクトル x_k が $N_T \times s_k$ プリコーディング行列 T_k と乗算され、 N_T 個のアンテナから送信するための長さ N_T のシンボルベクトルに一次変換される。次いで、 K 個のユーザについての長さ N_T シンボルベクトルが線形重ね合わせされ、同時にアンテナアレイからあるチャネル内に送信される。ここで、 x_k の要素は平均 0 分散 1 の独立同一分布 (i . i . d .) であると常に仮定されている。次いで、総送信電力は、

50

【 0 0 2 6 】

【 数 4 】

$$P_T = \sum_{k=1}^K E(\|T_k x_k\|^2) = \sum_{k=1}^K \text{trace}(T_k^H T_k) \quad (1)$$

によって与えられる。

各ユーザ k について、受信信号ベクトルは、

【 0 0 2 7 】

【 数 5 】

$$y_k = H_k \sum_{k'=1}^K T_{k'} x_{k'} + n_k = H_k T_k x_k + H_k \sum_{k'=k}^K T_{k'} x_{k'} + n_k \quad (2)$$

10

であり、上式で、 n_k は平均 0 分散 $\sigma^2 = N_0 / 2$ の AWGN プロセスのサンプルのベクトルである。次いで、各ユーザ k が、式

【 0 0 2 8 】

【 数 6 】

$$\hat{x}_k = B_k y_k = B_k H_k \sum_{k'=1}^K T_{k'} x_{k'} + B_k n_k = B_k H_k T_k x_k + B_k H_k \sum_{k'=k}^K T_{k'} x_{k'} + B_k n_k \quad (3)$$

によって与えられるように y_k を $s_k \times N_R$ フィルタリング行列 B_k と乗算することによ

20

【 0 0 2 9 】

【 数 7 】

$$\hat{x}_k$$

を生成する。

式 (3) において、フィルタリング行列 B_k は MMSE など様々な基準に基づいて導出することができる。式 (3) に基づいて、

30

【 0 0 3 0 】

【 数 8 】

$$\hat{x}_k$$

と x_k の間の最大相互情報は、

【 0 0 3 1 】

【 数 9 】

$$C_k = \sum_{s=1}^{s_k} \log_2(1 + \text{sinr}_{k,s}) = \sum_{s=1}^{s_k} \log_2 \left(1 + \frac{\|b_{k,s}^H H_k t_{k,s}\|^2}{\|b_{k,s}\|^2 \sigma^2 + \sum_{(k',s') \in \{k,s\}} \|b_{k',s'}^H H_k t_{k',s'}\|^2} \right) \quad (4)$$

40

であり、上式で、 $\text{sinr}_{k,s}$ は x_k の s 番目の要素についての処理後の信号対干渉雑音比 (SINR) であり、 $b_{k,s}$ は、

【 0 0 3 2 】

【数 1 0】

$$\mathbf{B}_k^T$$

の s 番目の列を表し、 $t_{k, s}$ は T_k の s 番目の列を表す。従って、MU-MIMO システム全体の和相互情報は

【0033】

【数 1 1】

$$C = \sum_{k=1}^K C_k \quad (5)$$

10

である。

【0034】

以下では、本発明者らは、上記のチャネルモデルに基づいてマルチユーザプリコーディング及びスケジューリングの方法を設計する。わかりやすくするために、まず送信機での完全CSIのより単純な状況（従来技術）について紹介し、次いで不完全CSIの状況に対する本発明について述べる。

【0035】

（完全CSIの場合のマルチユーザプリコーディング及びスケジューリング）

20

（連続MMSE（S-MMSE）マルチユーザプリコーディング）

上述のように、本発明では、干渉と雑音のバランスを取るその能力により、MMSEタイプのマルチユーザプリコーディングアルゴリズムを使用することができる（ここで雑音は、CSI誤差によるCCI及びAWGN雑音を共に意味する）。具体的には、連続MMSE（S-MMSE）アルゴリズムが使用され、このアルゴリズムは、各ユーザが複数の受信アンテナを有する場合におけるMMSEタイプのアルゴリズムを単純化して実装したものである。

【0036】

MMSEタイプのアルゴリズムの基本原理は、MMSE基準に従って1組の最適なプリコーディング行列 $\{T_k\}$ 及びフィルタリング行列 $\{B_k\}$ を見つけることである。即ち

30

【0037】

【数 1 2】

$$\{\{T_k\}, \{B_k\}\} = \underset{\substack{T_1 \dots T_K \\ B_1 \dots B_K}}{\operatorname{argmin}} \mathbb{E} \left(\sum_{k=1}^K \|x_k - \hat{x}_k\|^2 \right) = \underset{\substack{T_1 \dots T_K \\ B_1 \dots B_K}}{\operatorname{argmin}} \mathbb{E} \left(\sum_{k=1}^K \left\| x_k - \left(B_k H_k \sum_{k'=1}^K T_{k'} x_{k'} + B_k n_k \right) \right\|^2 \right). \quad (6)$$

式(6)は同時最適化問題(joint optimization problem)に関し、その解は一般に得るのが非常に複雑である。一方、S-MMSEアルゴリズムは反復演算によってこの問題に対する単純化された次善の解をもたらす。即ち、

40

ステップ1 ランダムな $s_k \times N_R$ 行列を生成することによって各 B_k を初期化する。

ステップ2 現在の $\{B_k\}$ に基づいて、MMSE基準に従って最適なプリコーディング行列 $\{T_k\}$ を

$$[T_1 \dots T_K] = H^H B^H (B^H H^H B^H + I)^{-1} \quad (7)$$

として計算し、上式で、

【0038】

【数 1 3】

$$H = [H_1^T H_2^T \dots H_K^T]^T, \quad (8)$$

【0039】

50

【数 1 4】

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \mathbf{B}_1 & & \mathbf{0} \\ & \ddots & \\ \mathbf{0} & & \mathbf{B}_K \end{bmatrix}, \quad (9)$$

及び

【 0 0 4 0】

【数 1 5】

$$\beta = \frac{\sigma^2}{P_T} \text{trace}(\mathbf{B}\mathbf{B}^H); \quad (10)$$

10

である。

ステップ 3 上記で計算された $\{T_k\}$ に基づいて、MMS E 基準に従ってフィルタリング行列 $\{B_k\}$ を

【 0 0 4 1】

【数 1 6】

$$\mathbf{B}_k = \mathbf{T}_k^H \mathbf{H}_k^H \left(\sum_{k=1}^K \mathbf{H}_k \mathbf{T}_k \mathbf{T}_k^H \mathbf{H}_k^H + \sigma^2 \mathbf{I} \right)^{-H}; \quad k = 1 \sim K \text{ の場合} \quad (11)$$

20

として更新する。

ステップ 4 $\{T_k\}$ 及び $\{B_k\}$ の変化のフロベニウスノルムが予め設定された閾値未満に低下するまで、又は反復演算の数がある値に達するまでステップ 2 及びステップ 3 を繰り返す。

ステップ 5 最後のプリコーディング行列 $\{T_k\}$ を

【 0 0 4 2】

【数 1 7】

$$\left(P_T / \sum_{k=1}^K \text{trace}(\mathbf{T}_k \mathbf{T}_k^H) \right)^{1/2}$$

30

によって正規化する。

【 0 0 4 3】

(マルチユーザスケジューリング)

通信システム内の総ユーザ数を N によって示す。スケジューラはマルチユーザ送信のための N 個のユーザからユーザの部分集合を選択し、また選択された各ユーザについてデータストリームの数を判断する。可能なスケジューリング結果を K によって示すと、 K は 3 つの部分、即ち、選択されたユーザの数 $K(K)$ 、 $1 \leq n_k(K) \leq N$ として、選択されたユーザについての 1 組のインデックス $\{n_k(K), k = 1 \sim K(K)\}$ 、及び選択されたユーザについてのデータストリームの数 $\{s_k(K), k = 1 \sim K(K)\}$ によって表すことができる。スケジューラは 1 組の K にわたって探索し、ある基準に従って、

40

【 0 0 4 4】

【数 1 8】

$$\hat{K}$$

によって示される最適な 1 つを選択する。例えば、容量最大化基準を用いて、スケジューラは、

【 0 0 4 5】

【数 19】

$$\begin{aligned} \hat{K} &= \underset{K \in R}{\operatorname{argmax}} Q(K) = \underset{K \in R}{\operatorname{argmax}} \sum_{k=1}^{K(K)} \sum_{s=1}^{s_k(K)} \log_2(1 + \operatorname{snr}_{k,s}(K)) \\ &= \underset{K \in R}{\operatorname{argmax}} \sum_{k=1}^{K(K)} \sum_{s=1}^{s_k(K)} \frac{\|b_{k,s}^H(K) H_{r_k(K)} t_{k,s}(K)\|^2}{\|b_{k,s}(K)\|^2 \sigma^2 + \sum_{(k',s') \in (k,s)} \|b_{k',s'}^H(K) H_{r_{k'}(K)} t_{k',s'}(K)\|^2} \end{aligned} \quad (12)$$

に従って

【0046】

【数20】

 \hat{K}

10

を選択し、上式で、Rはスケジューラが探索する1組のKであり、 $b_{k,s}(K)$ 及び $t_{k,s}(K)$ は $B_k(K)$ 及び $T_k(K)$ をK内のk番目のユーザについてのフィルタリング行列及びプリコーディング行列として、それぞれ

【0047】

【数21】

20

 $B_k^T(K)$

及び $T_k(K)$ のs番目の列を表す。ここで、 $B_k(K)$ 及び $T_k(K)$ は $K = K(K)$ 、 $\{s_k\} = \{s_k(K)\}$ 及び

【0048】

【数22】

 $\{H_k\} = \{H_{r_k(K)}\}$

30

を設定することによって、上記のステップ1～5を介して得られる。Rのサイズは使用されるスケジューリング戦略によって決まる。例えば、完全探索スケジューリングの場合、RはKの可能性全てを含む。

【0049】

【数23】

 \hat{K}

が選択された後で、プリコーディング行列

【0050】

【数24】

 $\{T_k(\hat{K}), k=1 \sim K(\hat{K})\}$

40

を用いたマルチユーザプリコーディングによって、

【0051】

【数25】

 $\{s_k(\hat{K}), k=1 \sim K(\hat{K})\}$

個のデータストリームが同じ時間周波数リソースを介して

50

【 0 0 5 2 】

【 数 2 6 】

$$K(k)$$

個のユーザに送信される。

【 0 0 5 3 】

(本発明による不完全CSIの場合のマルチユーザプリコーディング及びスケジューリング)

BSで使用可能なユーザkの不完全チャネル行列を

【 0 0 5 4 】

【 数 2 7 】

$$\bar{H}_k$$

によって示し、

【 0 0 5 5 】

【 数 2 8 】

$$\tilde{H}_k = H_k - \bar{H}_k$$

によって、ユーザkについてのCSI誤差を示す。

【 0 0 5 6 】

【 数 2 9 】

$$\{\tilde{H}_k\}$$

内の要素は平均0分散

【 0 0 5 7 】

【 数 3 0 】

$$\tilde{\sigma}^2$$

のi.i.d.のランダム変数であると仮定する。

【 0 0 5 8 】

【 数 3 1 】

$$\{\tilde{H}_k\}$$

はフィードバック量子化、フィードバック遅延など様々な要因に起因すると考えることができる。また、

【 0 0 5 9 】

10

20

30

40

【数 3 2】

$$\tilde{\sigma}^2$$

の値が送信機で使用可能であると仮定する。

【0060】

【数 3 3】

$$\tilde{\sigma}^2$$

10

の値はチャネル推定誤差、フィードバック誤差、量子化誤差などを測定し、次いで受信機から送信機にフィードバックすることなど様々な方策によって得ることができる。

【0061】

(CCI 推定援用 S - MMSE プリコーディング)

不完全 C S I の場合、式 (3) におけるチャネルモデルは、

【0062】

【数 3 4】

$$\hat{x}_k = B_k (\bar{H}_k + \tilde{H}_k) \sum_{k'=1}^K T_{k'} x_{k'} + B_k n_k \quad (13)$$

20

に修正される。所与の { T_k } でのフィルタリング行列 { B_k } の最適化のために、式 (13) は、

【0063】

【数 3 5】

$$\hat{x}_k = B_k \left(\bar{H}_k \sum_{k'=1}^K T_{k'} x_{k'} + \tilde{H}_k \sum_{k'=1}^K T_{k'} x_{k'} + n_k \right) - B_k \left(\bar{H}_k \sum_{k'=1}^K T_{k'} x_{k'} + \eta_k \right) \quad (14)$$

として書くことができ、上式で、

【0064】

【数 3 6】

$$\eta_k = \tilde{H}_k \sum_{k'=1}^K T_{k'} x_{k'} + n_k$$

30

は C S I 誤差による C C I 及び A W G N を共に含む C C I + 雑音の項である。k を複素ガウス雑音のベクトルとして近似することによって、最適な { B_k } は、

【0065】

【数 3 7】

$$B_k = T_k^H H_k^H \left(\sum_{k'=1}^K \bar{H}_{k'} T_{k'} T_{k'}^H \bar{H}_{k'}^H + E[\eta_k \eta_k^H] \right)^{-H} \quad (15)$$

40

として生成することができ、上式で、

【0066】

【数 3 8】

$$\begin{aligned} E[\eta_k \eta_k^H] &= E \left(\sum_{k'=1}^K \tilde{H}_k T_{k'} x_{k'} x_{k'}^H T_{k'}^H \tilde{H}_k^H \right) + \sigma^2 I \stackrel{(a)}{\approx} E \left(\sum_{k'=1}^K \tilde{H}_k T_{k'} T_{k'}^H \tilde{H}_k^H \right) + \sigma^2 I \\ &= \sum_{k'=1}^K \left((\text{vec}(T_{k'})^T \otimes I_{N_R}) \times (I_{N_T} \otimes \tilde{R}_k) \times (\text{vec}(T_{k'})^T \otimes I_{N_R})^H \right) + \sigma^2 I \end{aligned} \quad (16)$$

である。

50

式 (1 6) において、 (a) は a_j を行列 A の j 番目の列として、全ての

【 0 0 6 7 】

【 数 3 9 】

$$k, \text{ved}(A) = [a_1^T \dots a_j^T \dots]^T$$

について各

【 0 0 6 8 】

【 数 4 0 】

$$X_k X_k^H$$

10

を I として近似することによって導出され、

【 0 0 6 9 】

【 数 4 1 】

$$\otimes$$

20

はクロネッカー積を示し、

【 0 0 7 0 】

【 数 4 2 】

$$\tilde{R}_k = E(\text{ved}(\tilde{H}_k) \text{ved}(\tilde{H}_k)^H) = \tilde{\sigma}^2 I_{N_R N_T}$$

は C S I 誤差

【 0 0 7 1 】

【 数 4 3 】

$$\text{ved}(\tilde{H}_k)$$

30

の共分散行列である。

【 0 0 7 2 】

所与の $\{ B_k \}$ でのプリコーディング行列 $\{ T_k \}$ の最適化のために、式 (1 3) は、コンパクト形態で、

【 0 0 7 3 】

【 数 4 4 】

$$\hat{x} = B(\bar{H} + \tilde{H})Tx + Bn = B\bar{H}Tx + B\tilde{H}Tx + Bn = B\bar{H}Tx + \mu \quad (17)$$

40

として書くことができ、上式で

【 0 0 7 4 】

【数 4 5】

$$\hat{\mathbf{x}} = [\hat{\mathbf{x}}_1^T \hat{\mathbf{x}}_2^T \cdots \hat{\mathbf{x}}_K^T]^T, \quad (18)$$

$$\bar{\mathbf{H}} = [\bar{\mathbf{H}}_1^T \bar{\mathbf{H}}_2^T \cdots \bar{\mathbf{H}}_K^T]^T, \quad (19)$$

$$\tilde{\mathbf{H}} = [\tilde{\mathbf{H}}_1^T \tilde{\mathbf{H}}_2^T \cdots \tilde{\mathbf{H}}_K^T]^T, \quad (20)$$

$$\mathbf{T} = [\mathbf{T}_1 \mathbf{T}_2 \cdots \mathbf{T}_K], \quad (21)$$

$$\mathbf{n} = [n_1^T n_2^T \cdots n_K^T]^T, \quad (22)$$

$$\boldsymbol{\mu} = \mathbf{B}\tilde{\mathbf{H}}\mathbf{T}\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{n}, \quad (23)$$

10

であり、 \mathbf{B} は式(9)において定義される。同様に、 $\boldsymbol{\mu}$ はC S I誤差によるC C I及びA W G Nを共に含むC C I + 雑音の項である。 $\boldsymbol{\mu}$ を複素ガウス雑音のベクトルとして近似することによって、最適な $\{\mathbf{T}_k\}$ は、

【0 0 7 5】

【数 4 6】

$$[\mathbf{T}_1 \cdots \mathbf{T}_K] = \bar{\mathbf{H}}^H \mathbf{B}^H \left(\mathbf{B} \bar{\mathbf{H}} \bar{\mathbf{H}}^H \mathbf{B}^H + \frac{1}{P_T} \mathbf{E}\{\boldsymbol{\mu}\boldsymbol{\mu}^H\} \right)^{-1} \quad (24)$$

20

として生成することができ、上式で、

【0 0 7 6】

【数 4 7】

$$\begin{aligned} \mathbf{E}\{\boldsymbol{\mu}\boldsymbol{\mu}^H\} &= \mathbf{E}\{\mathbf{B}\tilde{\mathbf{H}}\mathbf{T}\mathbf{x}\mathbf{x}^H\mathbf{T}^H\tilde{\mathbf{H}}^H\mathbf{B}^H\} + \sigma^2 \text{trace}(\mathbf{B}\mathbf{B}^H)\mathbf{I} \\ &\stackrel{(a)}{=} P_T \mathbf{E}\{\tilde{\mathbf{H}}\tilde{\mathbf{H}}^H\mathbf{B}^H\} + \sigma^2 \text{trace}(\mathbf{B}\mathbf{B}^H)\mathbf{I} \\ &= P_T \tilde{\mathbf{B}}\tilde{\mathbf{B}}^H + \sigma^2 \text{trace}(\mathbf{B}\mathbf{B}^H)\mathbf{I} \end{aligned} \quad (25)$$

30

である。

式(25)において、(a)は $\mathbf{T}\mathbf{x}\mathbf{x}^H\mathbf{T}^H$ を $P_T\mathbf{I}$ として近似することによって導出され、

【0 0 7 7】

【数 4 8】

$$\tilde{\mathbf{B}} = \mathbf{E}\{\tilde{\mathbf{H}}\tilde{\mathbf{H}}^H\} = \sigma^2 \mathbf{I}_{N_{FK} \times K}$$

は、

【0 0 7 8】

【数 4 9】

$$\tilde{\mathbf{H}}$$

40

の共分散行列であり、C S I誤差の共分散行列

【0 0 7 9】

【数50】

$$\{\tilde{R}_k\}$$

から計算することができる。

【0080】

上記のステップ1~5における式(7)及び式(11)を式(15)及び式(24)と置き換えることによって、本発明のCCI推定援用S-MMSEプリコーディングアルゴリズムを得ることができる。

10

【0081】

(CCI推定援用マルチユーザスケジューリング)

式(13)におけるチャンネルモデルは、不完全CSIに関して

【0082】

【数51】

$$\hat{x}_k = \mathbf{B}_k \bar{\mathbf{H}}_k \mathbf{T}_k x_k + \mathbf{B}_k \bar{\mathbf{H}}_k \sum_{k' \neq k} \mathbf{T}_{k'} x_{k'} + \mathbf{B}_k \mathbf{n}_k \quad (26)$$

として書き換えることができる。

次いで、各ユーザ/モード部分集合Kについて、スケジューラは、式

20

【0083】

【数52】

$$\alpha(K) = \frac{\sum_{k=1}^{K(K)} \sum_{s=1}^{S_k(K)} \frac{\|b_{k,s}^H(K) \bar{H}_{r_k(K)} t_{k,s}(K)\|^2}{\sum_{(k',s')=(k,s)} \|b_{k',s'}^H(K) \bar{H}_{r_{k'}(K)} t_{k',s'}(K)\|^2 + E\|b_{k,s}^H(K) \eta_k(K)\|^2}}{\sum_{k=1}^{K(K)} \sum_{s=1}^{S_k(K)} \frac{\|b_{k,s}^H(K) \bar{H}_{r_k(K)} t_{k,s}(K)\|^2}{\sum_{(k',s')=(k,s)} \|b_{k',s'}^H(K) \bar{H}_{r_{k'}(K)} t_{k',s'}(K)\|^2 + b_{k,s}^H(K) E_k(K) \eta_k^H(K) b_{k,s}(K)}} \quad (27)$$

30

に与えられているように

【0084】

【数53】

$$\mathbf{B}_k \mathbf{n}_k$$

を複素ガウス雑音のベクトルとして近似することによって、達成可能な容量を推定し、上式で、

【0085】

40

【数54】

$$\eta_k(K) = \bar{H}_{r_k(K)} \sum_{k'=1}^{K(K)} \mathbf{T}_{k'} x_{k'} + n_k$$

及び

【0086】

【数55】

$$E_k(K) \eta_k^H(K)$$

は式(16)を用いて計算することができる。次いで、CCI推定援用スケジューリング

50

アルゴリズムが以下の基準、即ち

【 0 0 8 7 】

【 数 5 6 】

$$\hat{K} = \underset{K \in R}{\operatorname{argmax}} Q(K) \quad (28)$$

に従って

【 0 0 8 8 】

【 数 5 7 】

\hat{K}

10

を選択する。

【 0 0 8 9 】

以下、本発明の好ましい実施形態について、図面を参照することによって詳細に述べる

。

【 0 0 9 0 】

図 1 は本発明によるマルチユーザプリコーディング及びスケジューリングの方法の流れ図である。

20

【 0 0 9 1 】

本発明によれば、ステップ 1 0 1 において、C S I（これはフィードバック量子化、フィードバック遅延など様々な要因により正確でないことがある）及び C S I 誤差の静的特性が U E から B S にフィードバックされる。C S I はチャネル行列の推定値であり、C S I 誤差の静的特性はチャネル行列の推定値の誤差行列の静的特性である。例えば、上述のように、チャネル行列の推定値は

【 0 0 9 2 】

【 数 5 8 】

\overline{H}_k

30

とすることができ、C S I 誤差の静的特性は共分散行列

【 0 0 9 3 】

【 数 5 9 】

$\{\tilde{R}_k\}$

とすることができる。ステップ 1 0 3 では、フィードバック C S I 及び C S I 誤差の静的特性に従って、B S によってマルチユーザプリコーディング行列及びスケジューリングスキームが生成される。上述のように、マルチユーザプリコーディングは M M S E タイプのアルゴリズムを使用することができ、マルチユーザスケジューリングは容量最大化基準を使用することができる。最後に、ステップ 1 0 5 において、生成されたマルチユーザプリコーディング行列及びスケジューリングスキームを使用することによって、ユーザデータがマルチユーザプリコード化及びスケジュール化される。

40

【 0 0 9 4 】

図 2 は本発明によるマルチユーザプリコーディング及びスケジューリングの方法を実施するための B S のブロック図である。図 2 に示されているように、B S は受信デバイス 2 0 1、マルチユーザプリコーディング行列及びスケジューリングスキーム生成デバイス 2

50

03、並びにマルチユーザプリコーディング及びスケジューリングデバイス205を備える。受信デバイス201はUEからフィードバックされるCSI及びCSI誤差の静的特性を受信する。マルチユーザプリコーディング行列及びスケジューリングスキーム生成デバイス203はフィードバックCSI及びCSI誤差の静的特性に従ってマルチユーザプリコーディング行列及びスケジューリングスキームを生成する。マルチユーザプリコーディング及びスケジューリングデバイス205は、生成されたマルチユーザプリコーディング行列及びスケジューリングスキームを使用することによって、ユーザデータに対してマルチユーザプリコーディング及びスケジューリングを実施する。

【0095】

図3及び図4は本発明による方法と従来技術の方法との性能比較を示すグラフである。図3及び図4に示されているように、本発明によるCCI推定援用MU-MIMOスキームが貪欲スケジューリング戦略を用いた本来のS-MMSE及びMETアルゴリズムに基づく従来のMU-MIMOスキームと比較されている。ここで、4送信アンテナが基地局に配置され、1ユーザ当たり2受信アンテナがあり、ユーザの総数は4である。チャンネル行列 $\{H_k\}$ 内の要素は平均0分散1の白色ガウス変数としてモデル化される。CSI誤差行列

【0096】

【数60】

$$\{\tilde{H}_k\}$$

の要素は平均0分散

【0097】

【数61】

$$\tilde{\sigma}^2$$

の複素白色ガウス雑音としてモデル化される。本発明では、

【0098】

【数62】

$$\tilde{\sigma}^2$$

は、図3及び図4においてそれぞれ0.1及び0.5に設定されている。MMSE受信機及び非MMSE受信機が共に考慮されている。本発明において提案されているスキームは特にCSI誤差が高いとき、MMSE受信機及び非MMSE受信機のどちらについても貪欲スケジューリングを用いたMET及びS-MMSEより優れていることが分かる。

【0099】

本発明は以下の利点を有する。

1. 不完全CSIが送信機で使用されるとき（これは実際において現実的な状況である）MU-MIMOのシステム性能を大きく改善する。
2. BSにおいてごくわずかな追加の複雑さをもたらすにすぎず、UEにおいて追加の複雑さをもたらさない。
3. チャンネル推定誤差、量子化誤差、フィードバック誤差などCSI誤差の原因に関して柔軟であり、例えばサウンディング及びフィードバックに基づいて様々なMU-MIMO機構と共に使用することができる。

【0100】

要約すれば、MU-MIMO動作は、セルスループットを改善するその大きな潜在能力

10

20

30

40

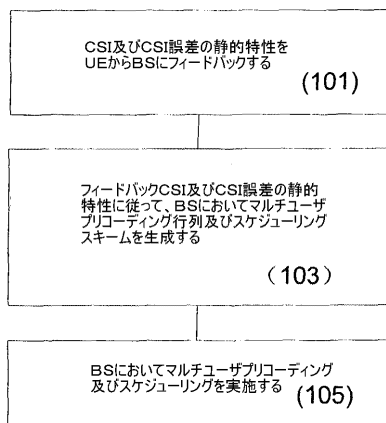
50

により、IEEE 802.16及び3GPP LTEなど多数の広帯域無線通信標準において最新の話題である。送信機でのCSI誤差は実際のシステム内でのMU-MIMOの適用を制限する実用上の問題の1つである。本発明によって提供される解決策は、BSでのごくわずかな追加の複雑さを代償として明らかな利点をもたらすことができる。

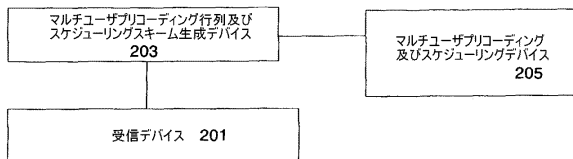
【0101】

上記は本発明の好ましい実施形態にすぎず、本発明は上記の実施形態に限定されない。従って、本発明の精神及び範囲から逸脱することなく、本発明に対する任意の修正、置換、及び改善が可能である。

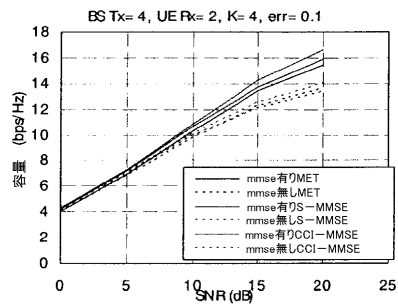
【図1】



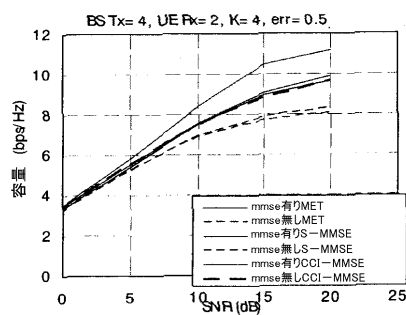
【図2】



【図3】



【図4】



フロントページの続き

(72)発明者 ウ, キーン

中国 201206 シャンハイ プドン シンチュ ニンチィアオール 388八オ

(72)発明者 ワン, レイ

中国 201206 シャンハイ プドン シンチュ ニンチィアオール 388八オ

審査官 大野 友輝

(56)参考文献 特表2005-509360(JP, A)

特開2005-057778(JP, A)

特表2009-505573(JP, A)

特開2005-039840(JP, A)

ティン シーホー、レー ハイドアン、阪口啓、荒木純道、ロバストかつ低演算量の適応MIMO-OFDM固有モード通信システムに関する検討、電子情報通信学会技術研究報告、日本、一般社団法人電子情報通信学会、2006年 2月22日、RCS2005-192

ティン シーホー、阪口啓、荒木純道、動的フェージングチャネルにおけるチャネル推定の不完全性およびフィードバック遅延を考慮したMIMO固有モード通信システムのアウテージ確率、電子情報通信学会技術研究報告、日本、一般社団法人電子情報通信学会、2003年 6月13日、RCS2003-63

Martin Haardt, Veljko Stankovic, Giovanni Del Galdo, Efficient multi-user MIMO downlink precoding and scheduling, Computational Advances in Multi-Sensor Adaptive Processing, 2005 1st IEEE International Workshop on, 2005年12月13日

Min Lee, Seong Keun Oh, A Per-User Successive MMSE Precoding Technique in Multiuser MIMO Systems, Vehicular Technology Conference, 2007. VTC2007-Spring. IEEE 65th, 2007年 4月22日

Jonathan Duplcy, Luc Vandendorpe, Robust MMSE Precoding for the MIMO Complex Gaussian Broadcast Channel, Acoustics, Speech and Signal Processing, 2007. ICASSP 2007. IEEE International Conference on, 2007年 4月15日

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04J 99/00

H04B 7/04

H04W 16/28

IEEE Xplore

Cinii