

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号  
特許第5632000号  
(P5632000)

(45) 発行日 平成26年11月26日 (2014.11.26)

(24) 登録日 平成26年10月17日 (2014.10.17)

(51) Int. Cl.

F I

HO 4 J 99/00 (2009.01)

HO 4 J 11/00 (2006.01)

HO 4 B 7/04 (2006.01)

HO 4 W 16/28 (2009.01)

HO 4 J 15/00

HO 4 J 11/00 Z

HO 4 B 7/04

HO 4 W 16/28 1 3 0

請求項の数 8 (全 28 頁)

(21) 出願番号	特願2012-530911 (P2012-530911)	(73) 特許権者	591003943
(86) (22) 出願日	平成22年9月2日 (2010.9.2)		インテル・コーポレーション
(65) 公表番号	特表2013-505671 (P2013-505671A)		アメリカ合衆国 9 5 0 5 4 カリフォル
(43) 公表日	平成25年2月14日 (2013.2.14)		ニア州・サンタクララ・ミッション カレ
(86) 国際出願番号	PCT/US2010/047699		ッジ ブレーバード・2 2 0 0
(87) 国際公開番号	W02011/037738	(74) 代理人	110000877
(87) 国際公開日	平成23年3月31日 (2011.3.31)		龍華国際特許業務法人
審査請求日	平成24年3月22日 (2012.3.22)	(72) 発明者	ドロン、アイエレット
(31) 優先権主張番号	12/586,620		アメリカ合衆国 9 5 0 5 2 カリフォル
(32) 優先日	平成21年9月23日 (2009.9.23)		ニア州・サンタクララ・ミッション カレ
(33) 優先権主張国	米国 (US)		ッジ ブレーバード・2 2 0 0 インテル
			・コーポレーション内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 無線ネットワークチャネルに対応するプリコーディングマトリクスを特定する方法および無線ネットワークにおける無線ネットワークチャネルのキ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

メモリデバイスに格納され複数のプリコーディングマトリクスを含むマトリクスコードブックから、M個のサブキャリアのための一のターゲットプリコーディングマトリクスを特定する方法であって、

Nが1より大きく、M以下である場合に、N個のサブキャリア毎にチャネルマトリクスを平均化して、L個の平均チャネルマトリクスを生成する段階

を備え、前記方法はさらに、

前記マトリクスコードブックに含まれるプリコーディングマトリクス毎に、

前記L個の平均チャネルマトリクスのそれぞれを用いてキャパシティメトリックの近似メトリックを算出して、L個の平均メトリックを求める段階と、

前記M個のサブキャリアについての前記L個の平均メトリックの合計値または平均値を算出する段階と、

を備え、前記方法はさらに、

前記ターゲットプリコーディングマトリクスとして、前記複数のプリコーディングマトリクスから、前記平均メトリックの合計値または平均値を大きくする特定の1つのプリコーディングマトリクスを特定する段階、

を備え、

前記L個の平均メトリックを求める段階は、単位行列を含む前記キャパシティメトリックにおける前記単位行列を無視する前記近似メトリックを用いて前記キャパシティメトリ

10

20

ックを近似する段階を有し、

前記特定の1つのプリコーディングマトリクスを特定する段階は、

メモリデバイスに格納されているマトリクスコードブック内の全てのマトリクスを対象として、前記平均メトリックの合計値または平均値を用いて検索を行って、無線ネットワークチャネルのキャパシティを高める特定のプリコーディングマトリクスであって、対応するマトリクスインデックスを持つ特定のプリコーディングマトリクスを特定する段階と

、  
前記マトリクスインデックスを前記無線ネットワークチャネルで送信する段階と、  
を有する方法。

【請求項2】

10

前記無線ネットワークチャネルの前記キャパシティを高める前記特定のプリコーディングマトリクスを特定することは、

Fが前記特定のプリコーディングマトリクスを表し、

【数30】

$$\tilde{I}(F)$$

が前記平均メトリックの合計値または平均値を表す場合に、

【数31】

20

$$\mathbf{F} = \arg \max_{F_i \in F} \tilde{I}(F_i)$$

の解を求めることを含む請求項1に記載の方法。

【請求項3】

メモリデバイスに格納され複数のプリコーディングマトリクスを含むマトリクスコードブックから、M個のサブキャリアのための一のターゲットプリコーディングマトリクスを特定する方法であって、

30

Nが1より大きく、M以下である場合に、N個のサブキャリア毎にチャネルマトリクスを平均化して、L個の平均チャネルマトリクスを生成する段階

を備え、前記方法はさらに、

前記マトリクスコードブックに含まれるプリコーディングマトリクス毎に、

前記L個の平均チャネルマトリクスのそれぞれを用いて最小二乗平均誤差メトリックを算出して、L個の平均メトリックを求める段階と、

前記M個のサブキャリアについての前記L個の平均メトリックの合計値または平均値を算出する段階と、

を備え、前記方法はさらに、

前記ターゲットプリコーディングマトリクスとして、前記複数のプリコーディングマトリクスから、前記平均メトリックの合計値または平均値を大きくする特定の1つのプリコーディングマトリクスを特定する段階と

40

を備え、

前記L個の平均メトリックを求める段階は、

最小二乗平均誤差デコーダからデコーダ誤差エネルギー項を含む対角行列を構築する段階と、

前記最小二乗平均誤差メトリックを構築するべく前記最小二乗平均誤差デコーダとの間のリンクのキャパシティを算出する段階と、

を有し、

前記特定の1つのプリコーディングマトリクスを特定する段階は、前記平均メトリック

50

の合計値または平均値を用いて、メモリデバイスに格納されているマトリクスコードブック内の全てのマトリクスを対象として検索を行って、無線ネットワークチャネルのキャパシティを高める特定のプリコーディングマトリクスであって、対応するマトリクスインデックスを持つ特定のプリコーディングマトリクスを特定する段階と、

前記マトリクスインデックスを前記無線ネットワークチャネルで送信する段階と、  
を有する方法。

【請求項 4】

前記無線ネットワークチャネルの前記キャパシティを高める前記特定のプリコーディングマトリクスを特定することは、

F が前記特定のプリコーディングマトリクスであり、

【数 3 2】

$$I_{MMSE}(F) = \text{trace}(\log(E^{-1}))$$

が成り立ち、

E が、前記対角行列である場合に、

【数 3 3】

$$F = \arg \max_{F_i \in F} I_{MMSE}(F_i)$$

の解を求めることを含む請求項 3 に記載の方法。

【請求項 5】

N は、M に等しい請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 6】

L は、M を N で除算した結果に等しい請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 7】

メモリデバイスに格納され複数のプリコーディングマトリクスを含むマトリクスコードブックから、M 個のサブキャリアのための一のターゲットプリコーディングマトリクスを特定する受信機であって、

N が 1 より大きく、M 以下である場合に、N 個のサブキャリア毎にチャネルマトリクスを平均化して、L 個の平均チャネルマトリクスを生成する手段

を備え、前記受信機はさらに、

前記マトリクスコードブックに含まれるプリコーディングマトリクス毎に、

前記 L 個の平均チャネルマトリクスのそれぞれを用いてキャパシティメトリックの近似メトリックを算出して、L 個の平均メトリックを求める手段と、

前記 M 個のサブキャリアについての前記 L 個の平均メトリックの合計値または平均値を算出する手段と、

を備え、前記受信機はさらに、

前記ターゲットプリコーディングマトリクスとして、前記複数のプリコーディングマトリクスから、前記平均メトリックの合計値または平均値を大きくする特定の 1 つのプリコーディングマトリクスを特定する手段

を備え、

前記 L 個の平均メトリックを求める手段は、単位行列を含む前記キャパシティメトリックにおける前記単位行列を無視する前記近似メトリックを用いて前記キャパシティメトリックを近似する手段を有し、

前記特定の 1 つのプリコーディングマトリクスを特定する手段は、メモリデバイスに格納されているマトリクスコードブック内の全てのマトリクスを対象として、前記平均メトリックの合計値または平均値を用いて検索を行って、無線ネットワークチャネルのキャパ

10

20

30

40

50

シティを高める特定のプリコーディングマトリクスであって、対応するマトリクスインデックスを持つ特定のプリコーディングマトリクスを特定する手段と、

前記マトリクスインデックスを前記無線ネットワークチャネルで送信する手段と、  
を有する受信機。

【請求項 8】

メモリデバイスに格納され複数のプリコーディングマトリクスを含むマトリクスコードブックから、M個のサブキャリアのための一のターゲットプリコーディングマトリクスを特定する受信機であって、

Nが1より大きく、M以下である場合に、N個のサブキャリア毎にチャネルマトリクスを平均化して、L個の平均チャネルマトリクスを生成する手段

を備え、前記受信機はさらに、

前記マトリクスコードブックに含まれるプリコーディングマトリクス毎に、

前記L個の平均チャネルマトリクスのそれぞれを用いて最小二乗平均誤差メトリックを算出して、L個の平均メトリックを求める手段と、

前記M個のサブキャリアについての前記L個の平均メトリックの合計値または平均値を算出する手段と、

を備え、前記受信機はさらに、

前記ターゲットプリコーディングマトリクスとして、前記複数のプリコーディングマトリクスから、前記平均メトリックの合計値または平均値を大きくする特定の1つのプリコーディングマトリクスを特定する手段と

を備え、

前記L個の平均メトリックを求める手段は、

最小二乗平均誤差デコードからデコード誤差エネルギー項を含む対角行列を構築する手段と、

前記最小二乗平均誤差メトリックを構築するべく前記最小二乗平均誤差デコードとの間のリンクのキャパシティを算出する手段と、

を有し、

前記特定の1つのプリコーディングマトリクスを特定する手段は、前記平均メトリックの合計値または平均値を用いて、メモリデバイスに格納されているマトリクスコードブック内の全てのマトリクスを対象として検索を行って、無線ネットワークチャネルのキャパシティを高める特定のプリコーディングマトリクスであって、対応するマトリクスインデックスを持つ特定のプリコーディングマトリクスを特定する手段と、

前記マトリクスインデックスを前記無線ネットワークチャネルで送信する手段と、

を有する受信機。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

開示した本発明の実施形態は、概して無線ネットワーク通信に関し、具体的にはビームフォーミング方法およびチャネル状態情報を決定する方法に関する。

【背景技術】

【0002】

閉ループ(C L)多入力多出力(M I M O)方法は、送信アンテナ(例えば、基地局に設けられているアンテナ)と受信アンテナ(例えば、移動局に設けられているアンテナ)との間のリンク(「チャネル」とも呼ぶ)の性能を、送信側にチャネル状態に関する情報を供給することで、向上させるための方法である。送信側は、複数のチャネル係数から成るマトリクスに関する全情報または一部情報を得るとしてよく、この情報を用いて、容量を向上させ、リンクの性能を改善することができる。閉ループM I M O処理は、IEEE 802.16無線ブロードバンド規格(一般的には、ワールドワイド・インターオペラビリティ・フォー・マイクロウェーブ・アクセス(W i M A X)として知られている)の特徴であり、特に、802.16e Rev 2(Ver 1.5としても知られている)およ

10

20

30

40

50

び802.16mの特徴である。閉ループMIMO処理は、送信されるストリームが複数ある場合のビームフォーミングを一般化したものである（つまり、MIMOエンコーダからの出力）。特定の実施形態によると、ビームフォーミングでは、システム性能を改善するべくさまざまな送信信号ストリームに重み付けを付与する「プリコーディング」マトリクス等の信号処理技術を利用する。

【図面の簡単な説明】

【0003】

開示する実施形態は、以下に記載する詳細な説明を添付図面と共に参照することによって、より良く理解されたい。図面は以下の通りである。

【0004】

【図1】本発明の実施形態に係る無線ネットワークチャネルに対応するプリコーディングマトリクスを特定する方法を説明するフローチャートである。

【0005】

【図2】本発明の実施形態に係るMMSE・キャパシティ・メトリックを含むさまざまな選択メトリックを利用して実現可能な性能を示すグラフである。

【0006】

【図3】本発明の別の実施形態に係る無線ネットワークチャネルに対応するプリコーディングマトリクスを特定する方法を説明するフローチャートである。

【0007】

【図4】本発明の実施形態に係る、メモリデバイスに格納されており、複数のプリコーディングマトリクスを含むマトリクスコードブックからM個のサブキャリアについてターゲットプリコーディングマトリクスを特定する方法を示すフローチャートである。

【図5】本発明の実施形態に係る、メモリデバイスに格納されており、複数のプリコーディングマトリクスを含むマトリクスコードブックからM個のサブキャリアについてターゲットプリコーディングマトリクスを特定する方法を示すフローチャートである。

【0008】

【図6】本発明の実施形態に係る、メモリデバイスに格納されており、複数のプリコーディングマトリクスを含むマトリクスコードブックから、複数のチャネルインスタンスについて、ターゲットプリコーディングマトリクスを特定する方法を示すフローチャートである。

【図7】本発明の実施形態に係る、メモリデバイスに格納されており、複数のプリコーディングマトリクスを含むマトリクスコードブックから、複数のチャネルインスタンスについて、ターゲットプリコーディングマトリクスを特定する方法を示すフローチャートである。

【0009】

【図8】本発明の実施形態を実装し得る領域を含むフレームを示す図である。

【0010】

【図9】本発明の実施形態に係る無線ネットワークにおいて無線ネットワークチャネルのキャパシティを近似する方法を説明するフローチャートである。

【0011】

説明を簡単且つ明瞭にするべく、図面は、一般的な構成方法を図示しており、公知の特徴および方法の説明および詳細については、本明細書で説明する本発明の実施形態の説明を不要にあいまいにすることを避けるべく、省略する。また、図面に図示する構成要素は必ずしも実寸に即したものではない。例えば、図面で図示する構成要素の一部の寸法は、本発明の実施形態を理解しやすくするべく、他の構成要素に比べて強調している場合がある。複数の図面にわたって同一の参照番号を用いて同一の構成要素を指定しているが、同様の参照番号は、必ずしもそうではないが、同様の構成要素を示しているとしてよい。

【0012】

「第1」、「第2」、「第3」、「第4」等の用語は、明細書および請求項で用いられる場合、同様の構成要素を区別するために用いられており、必ずしも特定の発生順序また

10

20

30

40

50

は時系列順序を表しているものではない。このように用いられる用語は、本明細書で説明した本発明の実施形態が、例えば、本明細書に説明または図示した順序以外の順序で動作し得るように、適切な状況下で置換可能であると理解されたい。同様に、本明細書において一連のステップを含むものとして方法を説明する場合、本明細書で提示するこれらのステップの順序は、必ずしもこれらのステップを実施し得る唯一の順序ではなく、説明するステップのうち一部は省略が可能であり、および/または、本明細書には記載していない所定の他のステップを当該方法に追加することが可能であるとしてよい。さらに、「c o m p r i s e ( 備える )」、「i n c l u d e ( 有する、含む )」、「h a v e ( 持つ、含む )」といった用語は、非独占的に含むことを意味しており、一連の構成要素を備えるプロセス、方法、物品または装置は、必ずしもこれらの構成要素に限定されるものではなく、明示的に挙げられていない他の構成要素、または、当該プロセス、方法、物品または装置に本来含まれている他の構成要素を含むとしてよい。

10

#### 【 0 0 1 3 】

「左」、「右」、「前方」、「後方」、「上部」、「底部」、「上方」、「下方」等の用語は、本明細書および請求項で用いる場合、説明を目的として用いられているものであり、必ずしも永続的な相対位置関係を説明しているものではない。このように用いられている用語は、本明細書に説明している本発明の実施形態は、例えば、本明細書で説明または図示している方向以外の方向で動作可能となるように、適切な状況下では交換可能であると理解されたい。「結合」という用語は、本明細書で用いる場合、電気的または非電氣的に、直接または間接的に接続することを定義される。本明細書で互いに「隣接している」ものとして説明する物体は、文脈に応じて適宜、互いに物理的に接触しているか、互いに近接しているか、または、概して同じ領域またはエリアの中に存在していることを意味するとしてよい。本明細書において「一実施形態」という記載は、必ずしも全てが、同じ実施形態を意味するものではない。

20

#### 【 発明を実施するための形態 】

#### 【 0 0 1 4 】

本発明の一実施形態によると、無線ネットワークチャネルに対応するプリコーディングマトリクスを特定する方法は、単位行列を含むキャパシティメトリックを特定するステップと、単位行列を無視する近似メトリックを用いてキャパシティメトリックを近似するステップと、無線ネットワークチャネルのキャパシティを高める特定のプリコーディングマトリクスを特定するべく、マトリクスコードブック内の全てのマトリクスを対象として近似メトリックを用いて検索を行うステップと、特定のプリコーディングマトリクスに対応するマトリクスインデックスを無線ネットワークチャネルで送信するステップとを備える。別の実施形態によると、当該方法は、最小二乗平均誤差デコーダからデコーダ誤差エネルギー項を含む対角行列を構築するステップと、最小二乗平均誤差メトリックを構築するべく最小二乗平均誤差デコーダとの間のリンクのキャパシティを算出するステップと、無線ネットワークチャネルのキャパシティを高める特定のプリコーディングマトリクスを特定するべく、最小二乗平均誤差メトリックを用いてマトリクスコードブック内の全てのマトリクスを対象として検索を行うステップと、特定のプリコーディングマトリクスに対応するマトリクスインデックスを無線ネットワークチャネルで送信するステップとを備える。

30

40

#### 【 0 0 1 5 】

本発明の特定の実施形態によると、メモリデバイスで格納されており、複数のプリコーディングマトリクスを含むマトリクスコードブックからM個のサブキャリア（つまり、論理帯域）についてターゲットプリコーディングマトリクスを選択する方法は、選択基準を特定するステップと、選択基準に対応するメトリックを選択するステップと、N個のサブキャリア毎にチャネルマトリクスを平均化してL個の平均チャネルマトリクスを作成するステップとを備え、Nは1より大きく、M以下である。そして、マトリクスコードブックに含まれるプリコーディングマトリクス毎に、平均チャネルマトリクスのうち1つを用いてメトリックを算出してL個の平均メトリックを求め、M個のサブキャリアについてL個

50

の平均メトリックの合計／平均を算出する。そして、当該方法は、メトリックの合計／平均を大きくするターゲットプリコーディングマトリクスとして、複数のプリコーディングマトリクスのうち特定の１つを選択するステップを備える。

【 0 0 1 6 】

特定の実施形態によると、メモリデバイスに格納されており複数のプリコーディングマトリクスを含むマトリクスコードブックから、複数のチャネルインスタンスについて、ターゲットプリコーディングマトリクスを選択する方法は、マトリクスコードブックのサイズに応じてN個のコードワードのメトリックのバッファを提供するステップを備える。そして、マトリクスコードブックのプリコーディングマトリクス毎に、各チャネルインスタンスについて当該プリコーディングマトリクスのメトリックを算出して、各プリコーディングマトリクスのメトリックをバッファ内のメトリックに累算する。そして、当該方法は、ターゲットプリコーディングマトリクスとして、所望の累算メトリックが得られるプリコーディングマトリクスを複数のプリコーディングマトリクスから選択するステップを備える。

10

【 0 0 1 7 】

本発明の一実施形態によると、無線ネットワークにおいて無線ネットワークチャネルのキャパシティを近似する方法は、複数のパイロットトーンを受信する段階と、複数のチャネル応答マトリクスおよび複数のノイズパワー項を、複数のパイロットトーンのそれぞれについて一のチャネル応答マトリクスおよび一のノイズパワー項が存在するように、推定する段階と、トレース演算および行列式演算を複数のチャネル応答マトリクスのそれぞれ（または、複数のチャネル応答マトリクスの関数、例えば、 $(\cdot)^H$  がエルミート転置演算子である場合に  $H \cdot H^H$ ）に対して実行して、複数のトレースおよび複数の行列式を求める段階と、複数のトレースの平均値、複数の行列式の絶対値の平均値、および、複数のノイズパワー項の平均値を求める段階と、無線ネットワークチャネルのキャパシティを、複数のトレースの平均値、複数の行列式の絶対値の平均値、および、複数のノイズパワー項の平均値の関数として表現する段階と、当該関数の解を求める段階とを備える。

20

【 0 0 1 8 】

（特に指定しない限り）本文献で用いるチャネルモデルは、以下の通りである。

【数 1】

30

$$\bar{\mathbf{x}} = \mathbf{F}\bar{\mathbf{s}}$$

式中、

【数 2】

$$\bar{\mathbf{x}}$$

は、送信された信号（ベクトルサイズは  $N_{t \times} \times 1$ ）であり、 $N_{t \times}$  は、実際の（物理的な）送信アンテナの数であり、 $\mathbf{F}$  は、プリコーディングマトリクス（マトリクスサイズは  $N_{t \times} \times N_{s \text{ t r e a m s}}$ ）であり、 $N_{s \text{ t r e a m s}}$  は、送信されたストリームの数、つまり、MIMOエンコーダからの出力の数であり、

40

【数 3】

$$\bar{\mathbf{s}}$$

は、MIMOエンコーダからの出力である。

また、以下の式が成り立つ。

50

【数 4】

$$\bar{y} = \mathbf{H}\bar{f} + \bar{v}$$

式中、

【数 5】

$$\bar{y}$$

10

は、受信した信号であり（ベクトルサイズは  $N_{rx} \times 1$ ）、 $N_{rx}$  は、受信アンテナの数であり、 $\mathbf{H}$  は、チャネルマトリクス（マトリクスサイズは  $N_{rx} \times N_{tx}$ ）であり、

【数 6】

$$\bar{v}$$

は、チャネルノイズ（ベクトルサイズは  $N_{rx} \times 1$ ）である。 $N_{streams}$ 、 $N_{tx}$  および  $N_{rx}$  の間の関係は、 $N_{streams} \leq \min(N_{tx}, N_{rx})$  を満足させなければならない。少なくとも 1 つの実施形態では、 $N_{rx} = 2$ 、つまり、複数の受信アンテナが設けられている。

20

【0019】

IEEE 802.16e 規格および WiMAX バージョン 1.5（TDD および FDD を含む）および IEEE 802.16m 規格について CL-MIMO 方式を検討する。CL-MIMO 方式のために選択される方法は、コードブックを利用するプリコーディング方法であり、プリコーディングマトリクスをコードブック、つまり、公知のマトリクス群から選択する。受信機は、チャネル状態に応じてコードブックから最適なマトリクスのインデックスを選択して、送信機に送る。そして、送信機は、対応するマトリクスをプリコーディングマトリクスとして利用する。802.16e 規格および 802.16m 規格で利用されているプリコーディングマトリクスは、ユニタリ行列であり、それぞれのマトリクスの列の次数の和が 1 に等しくなる。これは、送信されるストリーム同士の間においてパワーロード（注水）がないことを意味する。MIMO 垂直エンコーディング、空間多重化、MIMO デコーダは、最小二乗平均誤差（MMSE）または最尤復号（MLD）であり、パーミュテーションは、802.16e 規格における適応変調符号化（AMC）または 802.16m におけるコンティンユアス・リコース・ユニット（Continuous Recourse Units: CRU）等の連続 / 隣接サブキャリア割当のために行われると仮定する。

30

【0020】

&lt;マトリクス選択メトリック&gt;

40

規格で定められているコードブックを利用し、当該コードブックからプリコーディングマトリクスを効果的に選択する方法を提供するべく尽力する。このタスクはサブキャリアによって実行されるので、マトリクス選択のアルゴリズムは、性能を良好に保ちつつも、簡潔である必要があり、可能な限り演算の数を少なくする必要がある。所与のコードブックからプリコーディングマトリクスを選択する方法の 1 つに、数個のメトリックまたはその他の選択基準に基づき、コードブック内の全てのマトリクスを対象として網羅的な検索を実行する方法がある。以下の説明では、本発明の実施形態に係るメトリックを説明する。

【0021】

このようなメトリックの 1 つに、本明細書では Abs-Det メトリックと呼ぶものが

50



ある。これは、信号ノイズ比 ( S N R ) が高い環境でのキャパシティの近似値である。A b s - D e t メトリックは、特定の無線チャネルのキャパシティを高める、または、最大限まで高めるプリコーディングマトリクス F を特定する。

【 0 0 2 2 】

プリコーディングマトリクス F についてのキャパシティメトリック I ( F ) は以下の式で表される。

【 数 7 】

$$I(\mathbf{F}) = \det(I_{N_{streams}} + \frac{E_s}{N_{streams} N_0} \mathbf{F}^* \mathbf{H}^* \mathbf{H} \mathbf{F}) \quad 10$$

式中、

【 数 8 】

$$I_{N_{streams}}$$

は、サイズが  $N_{streams} \times N_{streams}$  の単位行列であり、 $E_s$  は、送信エネルギー合計値であり、 $N_0$  は、ノイズエネルギーであり、F および H は、上記の通りである。数 7 は、単位行列 を無視すると以下のように近似され得ることに留意されたい。

20

【 数 9 】

$$I(\mathbf{F}) \approx \tilde{I}(\mathbf{F}) = \left( \frac{E_s}{N_{streams} N_0} \right)^2 \det(\mathbf{F}^* \mathbf{H}^* \mathbf{H} \mathbf{F})$$

30

式中、

【 数 1 0 】

$$\tilde{I}(\mathbf{F})$$

は、A b s - D e t メトリックである。A b s - D e t メトリックは、以下の式のようにも表現し得る。

【 数 1 1 】

$$\tilde{I}(\mathbf{F}) = \left( \frac{E_s}{N_{streams} N_0} \right)^2 abs^2(\det(\mathbf{H} \mathbf{F}))$$

40

ターゲットプリコーディングマトリクス F は、以下の式の解を求めることによって特定され得る。

【数 1 2】

$$\mathbf{F} = \operatorname{argmax}_{\mathbf{F}_i \in \mathbf{F}} \tilde{I}(\mathbf{F})$$

A b s - D e t メトリックは、キャパシティメトリックに比べて 2 5 % 演算を低減することが可能であり、その性能は、さまざまなケース（例えば、アンテナの設定を異ならせたケース、コンステレーションおよび符号レートを異ならせたケース、ストリームの数を異ならせたケース等）において最尤度デコーダでは、キャパシティメトリックの性能と同様である（損失は無視できる程度）。

10

【0 0 2 3】

ここで図面を参照すると、図 1 は、本発明の実施形態に係る無線ネットワークチャネルに対応するプリコーディングマトリクスを特定する方法 1 0 0 を示すフローチャートである。プリコーディングマトリクスは、コードブックに含まれているコードワードと呼ばれるプリコーディングマトリクスの有限集合から選択される。コードブックは通常、無線ネットワークの基地局および加入局の両方においてメモリ内に格納されている。一例を挙げると、方法 1 0 0 は、上述した A b s - D e t メトリックを用いて特定の無線チャネルのキャパシティを大きくするプリコーディングマトリクスを特定するとしてよい。別の例を挙げると、方法 1 0 0 を構成するステップは、無線ネットワークの加入局によって実行され

20

【0 0 2 4】

方法 1 0 0 のステップ 1 1 0 では、単位行列を含むキャパシティメトリックを特定する。一例を挙げると、キャパシティメトリックは、数 7 で説明したメトリックと同様であるとしてよい。特定の実施形態によると、単位行列は、定数を乗算するとしてよい。

【0 0 2 5】

方法 1 0 0 のステップ 1 2 0 では、単位行列を無視する近似メトリックを用いてキャパシティメトリックを近似する。一例を挙げると、近似メトリックは、数 9 で示した A b s - D e t メトリクスまたは数 1 1 に示した等価表現であってよく、または、これらと同様であってよい。

30

【0 0 2 6】

方法 1 0 0 のステップ 1 3 0 では、近似メトリックを用いてマトリクスコードブックに含まれる全てのマトリクスを対象とした検索を実行して、無線ネットワークチャネルのキャパシティを高める特定のプリコーディングマトリクスを特定する。特定のプリコーディングマトリクスは、対応するマトリクスインデックスを持つ。一例を挙げると、これは、数 1 2 の解を求めることによって実現し得る。特定のプリコーディングマトリクスは単に、加入局が優先するマトリクスであることに留意されたい。加入局はこの後、この優先情報を、加入局が優先するマトリクス（または別のマトリクス）をプリコーディングマトリクスとして代わりに選択する基地局に通知するとしてよい。

【0 0 2 7】

方法 1 0 0 のステップ 1 4 0 では、無線ネットワークチャネルを介してマトリクスインデックスを送信する。一例を挙げると、ステップ 1 4 0 では、加入局から基地局に対する、加入局が優先するマトリクスインデックスに関する報告を構成して、基地局がプリコーディング用のマトリクスを選択する際にこの情報を利用できるようにするとしてよい。

40

【0 0 2 8】

別の同様のメトリックとして、本明細書において M M S E キャパシティメトリックと呼ばれるものがあり、これは、M M S E デコーダとの間のリンクの実際のキャパシティに基づいて決まる最適選択基準である。E を、対角に M M S E デコーダ誤差のエネルギーを含む対角行列とすると、以下のように表される。

【数 1 3】

$$\mathbf{E} = \text{diag} \left( I_{N_{\text{streams}}} - \mathbf{F}^* \mathbf{H}^* \left( \mathbf{F}^* \mathbf{H}^* \mathbf{H} \mathbf{F} + \frac{N_{\text{streams}} N_0}{E_s} I_{N_{\text{streams}}} \right)^{-1} \mathbf{H} \mathbf{F} \right)$$

そして、MMSEキャパシティメトリック  $I_{MMSE}(\mathbf{F})$  は、以下の式で表されるとしてよい。 10

【数 1 4】

$$I_{MMSE}(\mathbf{F}) = \text{trace}(\log(\mathbf{E}^{-1}))$$

そして、プリコーディングマトリクス  $\mathbf{F}$  は、数 1 5 の解を求めることによって特定され  
るとしてよい。

【数 1 5】

$$\mathbf{F} = \arg \max_{\mathbf{F}_i \in \mathbf{F}} I_{MMSE}(\mathbf{F}_i)$$

20

【0029】

MMSEデコーディング、2つのストリーム、2つの送信アンテナ、および、2つの受信アンテナの場合、例えば、MMSEキャパシティメトリックは、開ループ（つまり、ビームフォーミング無し）において約0.8デシベル（dB）の性能ゲインを示し、最適閉ループ（つまり、理論的に最適な選択基準を用いてビームフォーミングを行う）と同様の性能を示した。さまざまな他の選択基準を採用することにより、開ループの性能と同様の性能が得られる。この性能ゲインは、図2に図示している。図2では、選択基準を変化させた場合のペケットエラーレート（PER）の変化を、上述した環境、つまり、2つのストリーム、2つの送信アンテナおよび2つの受信アンテナでのMMSEデコーディングにおけるSNRに対して示している。ITUベデストリアンBモデルおよび直交位相シフトキーイング（QPSK）レート1/2も仮定する。理論的に最適なメトリック（実際には実現不可能なものは、グラフで最も下にあるラインであり、上述した本発明の実施形態に係るMMSEキャパシティメトリックは、最適なメトリックに軌跡が最も近い実線である。 30

【0030】

図3は、本発明の実施形態に係る、無線ネットワークチャネルに対応するプリコーディングマトリクスを特定する方法300を示すフローチャートである。一例を挙げると、方法300は、上述したMMSEキャパシティメトリックを用いて特定の無線チャネルのキャパシティを大きくするプリコーディングマトリクスを特定するとしてよい。別の例を挙げると、方法300を構成するステップは、無線ネットワークの加入局によって実行され  
るとしてよい。 40

【0031】

方法300のステップ310では、最小二乗平均誤差デコーダからのデコーダ誤差エネルギー項を含む対角行列を構築する。一例を挙げると、対角行列は、数13で示す対角行列  $\mathbf{E}$  と同様であってよい。

【0032】

方法300のステップ320では、最小二乗平均誤差メトリックを構築するべく、最小 50

二乗平均誤差デコーダとの間のリンクのキャパシティを算出する。一例を挙げると、最小二乗平均誤差メトリックは、数 1 4 に示すメトリックと同様であってよい。

#### 【 0 0 3 3 】

方法 3 0 0 のステップ 3 3 0 では、最小二乗平均誤差メトリックを用いてマトリクスコードブック（メモリデバイスに格納されている）に含まれる全てのマトリクスを対象とした検索を実行して、無線ネットワークチャネルのキャパシティを高める特定のプリコーディングマトリクスを特定する。特定のプリコーディングマトリクスは、対応するマトリクスインデックスを持つ。一例を挙げると、これは、数 1 5 の解を求めることによって実現されるとしてよい。

#### 【 0 0 3 4 】

方法 3 0 0 のステップ 3 4 0 では、無線ネットワークチャネルを介してマトリクスインデックスを送信する。一例を挙げると、ステップ 3 4 0 では、加入局から基地局に対する、加入局が優先するマトリクスインデックスに関する報告を構成して、基地局がプリコーディング用のマトリクスを選択する際にこの情報を利用できるようにするとしてよい。名称から暗示されているように、優先マトリクスインデックスは、加入局が優先するマトリクスのインデックスであることに留意されたい。加入局がこの優先情報を基地局に通知した後、基地局は、加入局が優先するマトリクス（または別のマトリクス）をプリコーディングマトリクスとして選択するとしてよい。

#### 【 0 0 3 5 】

##### < 周波数デシメーション >

IEEE の 8 0 2 . 1 6 e 規格および 8 0 2 . 1 6 m 規格によると、帯域（ 8 0 2 . 1 6 e 規格では論理帯域と呼ばれ、 8 0 2 . 1 6 m 規格ではサブバンドと呼ばれ、例えば、 7 2 個の連続したサブキャリアに相当する）毎にフィードバックされるプリコーディングマトリクスインデックスは 1 つのみである。このため、加入者（受信機）は、帯域全体に最適なプリコーディングマトリクスを 1 つ選択する必要がある。帯域毎にプリコーディングマトリクスを選択する方法は幾つか考えられるが、そのうち 1 つの方法として、帯域全体について平均キャパシティメトリックまたはキャパシティメトリック合計値を算出する方法がある。（同様に、他のメトリック（必ずしもキャパシティではなくてもよい）を帯域全体にわたって平均化することもできる。）しかし、全てのサブキャリアおよび全てのマトリクスについてメトリックを算出するのは、演算負荷が大きい。この演算負荷を小さくする方法の 1 つとして、周波数デシメーションで、N 個のサブキャリア毎にメトリックを算出する方法がある（尚、M が帯域サイズの場合に、N = M である）。周波数デシメーションを用いる場合、N 個のサブキャリアから成るサブキャリア群のサブキャリアのうち 1 つから任意のチャネルマトリクスを取り出す。一例を挙げると、中央サブキャリアのチャネルマトリクスを取り出すとしてよい。

#### 【 0 0 3 6 】

このように一般化された方法を以下に要約する。

- 1 . 選択基準については、対応するメトリックを選択する。
- 2 . コードブックに含まれるプリコーディングマトリクス毎に、
  - a . N 個のサブキャリア毎に（ 1 ≤ N ≤ M ）、対応するチャネルマトリクスでメトリックを算出し、
  - b . 帯域全体にわたってメトリックの合計値 / 平均値を算出する。
- 3 . その後、メトリック合計値を最大化するプリコーディングマトリクスを選択する。

#### 【 0 0 3 7 】

周波数デシメーションより好ましいとされるキャパシティ合計値を近似した解では、帯域全体の平均チャネルマトリクスと共にキャパシティメトリックを利用する。これはまさに、帯域全体にわたるチャネルのバラツキが小さいと仮定した場合の、キャパシティ合計値の一次近似である。同様に、平均チャネルマトリクスと共に他の選択基準を用いることもできる。以下に要約する。

- 1 . 選択基準については、対応するメトリックを選択する。

2. N個のサブキャリア毎にチャンネルマトリクスを平均化する (N = M)。
3. コードブックに含まれるプリコーディングマトリクス毎に、
  - a. N個のサブキャリア毎に (1 < N = M)、対応する平均チャンネルマトリクスでメトリックを算出し、
  - b. 帯域全体にわたってメトリックの合計値 / 平均値を算出する。
4. その後、メトリック合計値を最大化するプリコーディングマトリクスを選択する。

**【0038】**

平均チャンネル方法は、図4に示す。図4は、本発明の実施形態に係る、メモリデバイスに格納されており、複数のプリコーディングマトリクスを含むマトリクスコードブックからM個のサブキャリアについてターゲットプリコーディングマトリクスを選択する方法400を示すフローチャートである。

10

**【0039】**

方法400のステップ410では、選択基準に対応するメトリックを特定する。方法400のステップ420では、N個のサブキャリア毎にチャンネルマトリクスを平均化して、L個の平均チャンネルマトリクスを求める。尚、Nは、1よりも大きくM以下である。方法400のステップ430では、平均チャンネルマトリクスのそれぞれを用いてメトリックを算出して、マトリクスコードブックに含まれるプリコーディングマトリクス毎にL個の平均メトリックを求める。方法400のステップ440では、マトリクスコードブックに含まれるプリコーディングマトリクス毎にM個のサブキャリアについてL個の平均メトリックの合計値 / 平均値を算出する。方法400のステップ450では、ターゲットプリコーディングマトリクスとして、メトリックの合計値 / 平均値を大きくする一の特定のプリコーディングマトリクスを複数のプリコーディングマトリクスから選択する。

20

**【0040】**

ターゲットプリコーディングマトリクスは単に、加入局が優先するマトリクスであることに留意されたい。加入局はこの後、この優先情報を基地局に通知するとしてよい。そして、当該基地局が代わりに、プリコーディングマトリクスとして、加入局が優先するマトリクス (または別のマトリクス) を選択するとしてよい。

**【0041】**

一実施形態によると、NはMと等しい。(つまり、L = 1である。) 同じ実施形態または別の実施形態によると、Lは、MをNで除算した結果に等しい。つまり、平均メトリックはそれぞれ、他の全ての平均メトリックと同数の連続したサブキャリアを含む。

30

**【0042】**

平均チャンネル方法によると、合計キャパシティ方法と同様の性能を実現できるが、演算をはるかに少なくできる。上記では、M = 帯域サイズであったことを思い出されたい。シミュレーション結果によると、N = M (帯域について1つの平均チャンネルマトリクス) の平均チャンネル方法では、N = 1 (周波数デシメーション無し) の平均キャパシティと略同じ性能を実現し、最大で0.05 dBとなる。これは、(コードブックに含まれるプリコーディングマトリクス毎ではなく) 1度のみ行われるチャンネルマトリクス平均化の複雑さを考慮しなければ、演算が約N分の1に削減されることに等しい。比較すると、N = M (帯域毎に1つの任意のチャンネルマトリクスを選択) の場合の周波数デシメーションは、N = Mの場合の平均チャンネルと複雑さが同レベルで、約0.5 dBだけ性能が低下する。チャンネルマトリクスを平均化する別の利点として、チャンネル推定誤差を平均化することが容易になる点が挙げられる。図5では、ブロック図形式のフローチャート500で平均チャンネル方法を説明している。

40

**【0043】**

< ランク適応化および帯域選択 >

プリコーディングマトリクスのランク (つまり、ストリーム数) および送信帯域を選択する目的で利用可能な方法としては複数の方法がある。(所与のコードブックについて) 単純な方法では、プリコーディングマトリクスを選択する際に用いられたメトリック (例えば、キャパシティメトリック) を、全ての帯域およびランクにわたって比較する。この

50

方法の欠点は、コードブックに含まれる全てのマトリクスを全ての関連するランクについて走査しなければならない、最適なマトリクスについてメトリックを特定しなければならないので、非常に複雑な点である。準最適な方法では、コードブックに含まれる全てのマトリクスの走査は必要なく、コードブックの量子化を行うことなく最適なプリコーディングマトリクスでのキャパシティを用いて、コードブックのうち最適なプリコーディングマトリクスでのキャパシティを近似する。(この方法は、ランクおよびマトリクスを一緒に選択する代わりに、最初に1つの基準に基づいてランクを選択した後にマトリクスを選択するので、準最適と呼ばれる。) 近似するために他のメトリックを用いてもコードブックのうち最適なマトリクスに到達することが可能である。コードブックを利用することなくプリコーディングの解を求める場合は、チャネルマトリクスの特異値分解(SVD)を利用する。このため、ランク適応化の基準は、SVDに基づくプリコーディングを仮定すると、ストリーム数が異なる場合のキャパシティ間の比較結果である。

10

【0044】

例えば、受信アンテナが2つで、送信ストリームが2つの場合、キャパシティは以下の式で表される。

【数16】

$$C_2 = \log_2 \left| I + \frac{E_s}{2N_0} \mathbf{F}^* \mathbf{H}^* \mathbf{H} \mathbf{F} \right|$$

20

式中、Iは、単位行列であり、 $E_s$ は、送信エネルギー合計値であり、 $N_0$ は、ノイズエネルギーであり、Hは、チャネルマトリクスであり、Fは、最適プリコーディングマトリクス(コードブックの量子化は無し)で、列数がストリーム数に対応している。ストリームが2つの場合のキャパシティは、以下の式でも表されるとしてよい。

【数17】

$$C_2 = \log_2 \left| I + \frac{E_s}{2N_0} \mathbf{D} \right|$$

30

式中、Dは、対角成分が $\mathbf{H} \mathbf{H}^*$ の固有値である対角行列である。ストリームが2つの場合のキャパシティは、以下のようにも表現され得る。

【数18】

$$C_2 = \log_2 \left( 1 + \frac{E_s}{2N_0} \lambda_{\max} \right) + \log_2 \left( 1 + \frac{E_s}{2N_0} \lambda_{\min} \right)$$

40

式中、 $\lambda_{\max}$ は、 $\mathbf{H} \mathbf{H}^*$ の固有値のうち最大値であり、 $\lambda_{\min}$ は、2番目の固有値である。

【0045】

別の例を挙げると、送信ストリーム1つについて(送信アンテナおよび受信アンテナの数は任意)、キャパシティは以下の式で表される。

【数 1 9】

$$C_1 = \log_2 \left| I + \frac{E_s}{N_0} \mathbf{F}^* \mathbf{H}^* \mathbf{H} \mathbf{F} \right|$$

式中、 $I$ 、 $E_s$ 、 $N_0$ 、 $\mathbf{F}$ および $\mathbf{H}$ は、上述した通りである。数 1 6 および数 1 9 は、本質的に同じである。相違点は、マトリクス $\mathbf{F}$ のサイズであり、これは、送信アンテナ数と送信ストリーム数（1または2）との組み合わせに等しいサイズである。ストリームが1つの場合のキャパシティは、以下の式で等価的に表される。

10

【数 2 0】

$$C_1 = \log_2 \left( 1 + \frac{E_s}{N_0} \lambda_{\max} \right)$$

20

式中、 $\lambda_{\max}$ は上述した通りである。

【0 0 4 6】

キャパシティ（または任意のその他のメトリック）はランクが異なり信頼性が同じであるプリコーディングの性能を表さないもので、ランクが異なるメトリックを比較する場合にはスケーリング係数を用いることができる。例えば、受信アンテナが2つのランク1のプリコーディングおよびランク2のプリコーディングを比較したい場合、 $C_2 > \cdot C_1$ の場合にはランク2を、 $C_2 < \cdot C_1$ の場合にはランク1を選択する。尚、 $C_1$ および $C_2$ は、上記の通りであり、 $\cdot$ は、例えば、SNRに応じて決まるパラメータである。

【0 0 4 7】

< 複数のチャネルインスタンスについてのプリコーディングマトリクスの算出 >

30

例えば、複数の帯域に適切な1つのプリコーディングマトリクスを算出する場合（「多帯域プリコーディングマトリクスインデックス」）、任意のサブチャネルに適切な広帯域プリコーディングマトリクスを算出する場合、長時間平均に適切な長時間プリコーディングマトリクスを算出する場合等に、複数のチャネルインスタンスについての算出要求が発生する。本発明の実施形態に係るアルゴリズムは、以下の方法で、複数のインスタンスにわたってメトリックの累算結果が増加した（例えば、最大値）マトリクスを選択する。

1.（コードブックサイズに応じて） $N$ コードワードのメトリックのバッファを利用

2. コードブックに含まれるプリコーディングマトリクス毎に、

a. チャネルインスタンス（例えば、帯域）毎に、プリコーディングマトリクスのメトリックを算出（一帯域プリコーディングマトリクスと同様の方法で）

40

b. 各プリコーディングマトリクスのメトリックをバッファ内のメトリックに累算（つまり、コードワード $i$ のメトリックをエントリ $i$ に加算）多帯域プリコーディングマトリクスでは、加算は複数の帯域にわたって行われ（例えば、同じ時間フレーム内の複数の異なる周波数帯域）、長時間プリコーディングマトリクスでは、加算は複数のフレームにわたって行われる（例えば、複数の時間フレーム）。

3. 所望（「最良」）の累算メトリックに応じてプリコーディングマトリクスを選択する。

【0 0 4 8】

複数平均チャネル方法は、図 6 および図 7 で説明している。図 6 は、本発明の実施形態に係る、メモリデバイスに格納されており、複数のプリコーディングマトリクスを含むマ

50

トリクスコードブックから、複数のチャネルインスタンスについて、ターゲットプリコーディングマトリクスを特定する方法 600 を示すフローチャートである。図 7 は、ブロック図形式のフローチャート 700 である。

#### 【0049】

方法 600 のステップ 610 では、マトリクスコードブックのサイズに応じて N コードワードのメトリックのバッファを用意する。方法 600 のステップ 620 では、チャネルインスタンス毎にプリコーディングマトリクスのメトリックを算出する。方法 600 のステップ 630 では、各プリコーディングマトリクスのメトリックをバッファ内のメトリックに累算する。ステップ 620 および 630 は、マトリクスコードブックに含まれるプリコーディングマトリクス毎に実行される。方法 600 のステップ 640 は、ターゲットプリコーディングマトリクスとして、所望の（例えば、極大）累算メトリックを生成する特定の 1 つのプリコーディングマトリクスを複数のプリコーディングマトリクスの中から特定する。

#### 【0050】

上述した平均チャネル方法でそうであってように、ターゲットプリコーディングマトリクスは単に、加入局が優先するマトリクスであることに留意されたい。加入局はこの後、この優先情報を基地局に通知するとしてよく、当該基地局が代わりに、加入局が優先するマトリクス（または別のマトリクス）をプリコーディングマトリクスとして選択するとしてよい。

#### 【0051】

一実施形態によると、ステップ 630 では、同じ時間フレーム内の複数の帯域、例えば、複数の異なる周波数帯域（隣接する複数のサブキャリアから成るサブキャリア群）にわたって加算を実行する。別の実施形態によると、ステップ 630 では、複数のフレーム、例えば、複数の異なる時間フレームにわたって加算を実行する。

#### 【0052】

< MIMO CINR の算出 >

802.16e では MIMO の CINR は MIMO キャパシティに基づいて決まるので、キャパシティ値を用いて CINR を報告すると上述した。実際には、Wimax 規格では、最大尤度（ML）受信機が実装されている MIMO 対応移動局がキャパシティに基づいた平均 CINR 報告をサポートすることを要件としているか、または、今後要件とするであろう。例えば、移動局は、以下の計算によって  $AVG\_CINR_{dB}$  を報告する。

#### 【数 21】

$$AVG\_CINR_{dB} = 10 \log_{10} (e^{C(d,y|H)} - 1)$$

式中、 $C(d, y | H)$  は、キャパシティであり、以下のように定義される。

#### 【数 22】

$$C(d, y | H) = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \log \left( 1 + \frac{\text{trace}(\mathbf{H}_p^H \mathbf{H}_p)}{\sigma^2} + \frac{\text{abs}^2(\det(\mathbf{H}_p))}{\sigma^4} \right)$$

式中、（直交周波数分割多重（OFDM）サブキャリア × OFDM シンボルの）時間 - 周波数の 2 次元平面における所定領域内にあるパイロット P 群に対して加算が行われ、 $\sigma^2$  は、ノイズパワー（以下で定義する）の推定値であり、 $H$  は、チャネル応答マトリクス（本明細書ではこれまで、単にチャネルマトリクスと呼んでいる）を表し、 $H^H$  は、エルミート転置演算子によって演算が施された後のチャネル応答マトリクスである。



この方法を発展させたものでは、1以上の所定領域について  $C_{region}(d, y | H)$  を算出して、全ての所定領域について  $C_{region}(d, y | H)$  を平均化して、 $C(d, y | H)$  を求める。

【0053】

WiMAX規格（特に、IEEE 802.16 REV2 D8）では、バラツキを減らすべく、以下の方法で、ノイズパワーを（OFDMサブキャリアとOFDMシンボルとの組み合わせで決まる）一の領域にわたって平均化することを定めている。

【数23】

$$\sigma^2 = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \sigma_p^2$$

10

当該規格のこのような要件は、 $AVG\_CINR_{dB}$  の計算は、2回のイタレーションで実行すべき旨を定めている。最初のイタレーションでは、平均ノイズパワーを求め、2回目のイタレーションで、キャパシティを求める。このため、フレーム（または領域）のパイロットがすべてメモリ内に保持されていることが要件となる。言い換えると、第1のイタレーションでは、 $\sigma^2$  は、（OFDMサブキャリア×OFDMシンボル）の領域にわたって算出しなければならず、第2の（後続の）イタレーションでは、キャパシティは、  
20  
同じ領域またはブロックについて計算しなければならない。フレーム中に受信したパイロットを全てメモリ内に保持しておく必要があるために、メモリのうち非常に大部分が消費されてしまう（例えば、3600パイロット×32ビット＝14.4キロバイト）。本発明の実施形態によると、必要なメモリの量が大幅に縮小されるので、ネットワーク性能が向上する。

【0054】

上述したような  $C(d, y | H)$  を二重イタレーションによって直接算出する方法に代えて、本発明の実施形態では、1回のイタレーションのみでキャパシティを算出するので、メモリ内にパイロットを全て保持する必要がなくなる。このように簡略化した算出方法  
30  
が可能となるのは、

【数24】

$$trace(\mathbf{H}_p^H \mathbf{H}_p) \text{ および } abs(det(\mathbf{H}_p))$$

が、小領域（例えば、複数のOFDMシンボル（例えば、フレーム内の全てのシンボル）にわたる一のクラスター（または、14個のサブキャリア）の領域）では略一定であり、領域全体にわたって  $trace(\cdot)$  および  $abs(det(\cdot))$  の両方の平均値を求めることが可能であるためである。このため、トレース項および行列式（およびノイズパワー）項は時間および周波数に応じて変化するが、所定の環境（例えば、移動度が低い環  
40  
境）では、トレース項および行列式（およびノイズパワー）項の変化が十分に小さいので各項の平均値をその領域内で求めることが可能なローカル時間領域／周波数領域を特定することが可能である。

【0055】

このため、キャパシティは以下の式で近似されるとしてよい。

【数 2 5】

$$C(d, y | \mathbf{H}) \approx \log \left( 1 + \frac{\frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \text{trace}(\mathbf{H}_p^H \mathbf{H}_p)}{\sigma^2} + \frac{\left( \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \text{abs}(\det(\mathbf{H}_p)) \right)^2}{\sigma^4} \right)$$

10

数 2 5 を利用することによって、トレース項、行列式項およびノイズパワー項の平均化を 1 回のイタレーションで行うことが可能となる。例えば、移動局は、パイロットを受信して、そのチャンネルを推定して、対応付けられている「トレース」項、「det」項および「ノイズパワー」項を算出して、メモリに保持する必要がないのでパイロットを破棄するとしてよい。これに代えて、累算（または平均化した）「トレース」、「det」および「ノイズパワー」のみをメモリに格納する必要があり、これら 3 つの項を用いてキャパシティを計算する。

【0056】

図 8 は、フレーム 810 内のクラスタ 820 の位置を説明するための図である。フレーム 810 はさらに、数 2 5 の近似を実施する領域 835 等の領域にパーティション化される。各クラスタ 820 は、8 個のパイロット 821 から構成されており、そのうち半分（白丸で示すもの）は、第 1 の送信アンテナから送信され、半分（黒丸で示すもの）は第 2 の送信アンテナから送信される。（このパイロット構造は、802.16e 規格で定義されており、受信機がチャンネルマトリクス  $\mathbf{H}$  を推定しやすくなる。）また、時間軸 850 および周波数軸 860 を図示している。

20

【0057】

領域 835 は、複数の OFDM シンボル（例えば、フレーム 810 内の全てのシンボル）にわたる 1 つのクラスタ（または、14 個のサブキャリア）の領域の一例である。例えば、図 8 では、黒丸および白丸がパイロット - サブキャリア（前述の通り）を表し、各矩形が、14 個のトーン（周波数軸）と 2 個のシンボル（時間軸）とからなる領域である。矩形は、クラスタとも呼ばれ（つまり、クラスタ 820）、14 × 4 サブキャリアを含み、8 個のパイロットサブキャリアが含まれる。数 2 2、数 2 3 および数 2 5 が算出される所定領域は、 $N \times M$  クラスタの領域であり、 $M$  の最大値は、フレーム長（シンボル数）に応じて決まり、 $N$  の最大値は高速フーリエ変換（FFT）帯域幅に応じて決まる。

30

【0058】

図 9 は、本発明の実施形態に係る、無線ネットワークにおける無線ネットワークチャンネルのキャパシティを近似する方法 900 を示すフローチャートである。

【0059】

方法 900 のステップ 910 では、複数のパイロットトーンを受信する。

40

【0060】

方法 900 のステップ 920 は、複数のチャンネル応答マトリクスおよび複数のノイズパワー項を推定して、複数のパイロットトーンのそれぞれ 1 つにつき一のチャンネル応答マトリクスおよび一のノイズパワー項を求める。複数のチャンネル応答マトリクスのそれぞれ、および、複数のノイズパワー項のそれぞれは、複数のパイロットトーンのいずれか 1 つに対応する。一実施形態によると、（図 8 を参照しつつ説明するが）チャンネルマトリクスは複数のシンボル対にわたって一定であると仮定し、複数のパイロット対 823（黒および白、各送信アンテナから）を利用して 1 つのマトリクス  $\mathbf{H}$  を推定する。しかし、最終的にはパイロット毎に  $\mathbf{H}$  があるが、白丸で表されるパイロット 823 の  $\mathbf{H}$  は黒丸で表されるパイロット 823 の  $\mathbf{H}$  と等しい。また、複数のシンボル対にわたって  $\mathbf{H}$  が一定であると仮定

50

するので、所定の実施形態では１つおきのシンボルについて  $\text{trace}(\cdot)$  および  $\text{det}(\cdot)$  を算出する。しかし、これは、単に複雑さを低減するための実施例であり、他の実施形態では、各シンボルについて  $\text{trace}(\cdot)$  および  $\text{det}(\cdot)$  を算出するとしてよい。

【００６１】

方法９００のステップ９３０は、複数のチャネル応答マトリクス（または、その関数（上記参照））のそれぞれに対してトレース演算および行列式演算を実施して、複数のトレースおよび複数の行列式を求める。一実施形態によると、トレース演算を実行することは、 $p$  がパイロットトーンのインデックスであり、 $H$  がチャネル応答マトリクスであり、 $H^H$  がエルミート転置演算子による演算後のチャネル応答マトリクスである場合に、

10

【数２６】

$$\text{trace}(\mathbf{H}_p^H \mathbf{H}_p)$$

の解を求めることを含む。同じ実施形態または別の実施形態によると、行列式演算を実行することは、 $p$  がパイロットトーンのインデックスであり、 $H$  がチャネル応答マトリクスである場合に、 $\text{det}(\mathbf{H}_p)$  の解を求めることを含む。

【００６２】

方法９００のステップ９４０では、複数のトレースの平均値、複数の行列式の絶対値の平均値、および、複数のノイズパワー項の平均値を求める。一実施形態によると、複数のトレースの平均値を求めることは、 $P$  が、トレース（ $\cdot$ ）を計算する対象であるパイロットトン（例えば、１つおきのシンボル（例えば、偶数シンボルのみまたは奇数シンボルのみ）の総数を表す場合に、以下の式の解を求めることを含む。

20

【数２７】

$$\frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \text{trace}(\mathbf{H}_p^H \mathbf{H}_p)$$

30

同じ実施形態または別の実施形態では、複数の行列式の絶対値の平均値を求めることは、 $P$  が、 $\text{det}(\cdot)$  を計算する対象であるパイロットトン（例えば、１つおきのシンボル（例えば、偶数シンボルのみまたは奇数シンボルのみ）の総数を表す場合に、以下の式の解を求めることを含む。

【数２８】

$$\left( \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \text{abs}(\text{det}(\mathbf{H}_p)) \right)^2$$

40

同じ実施形態または別の実施形態では、複数のノイズパワー項の平均値を求めることは、 $p$  が、上述したように、パイロットトーンのインデックスであり、 $N$  は、ノイズパワー項であり、 $P$  は、選択領域でのパイロットトーンの総数を表す場合に、以下の式の解を求めることを含む。

【数 2 9】

$$\frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \sigma_p^2$$

【0063】

方法900のステップ950では、複数のトレースの平均値、複数の行列式の絶対値の平均値、および、複数のノイズパワー項の平均値の関数として、無線ネットワークチャネルのキャパシティを表す。

10

【0064】

方法900のステップ960では、当該関数の解を求める。

【0065】

一実施形態によると、方法900は、複数のパイロットトーンのうち第1のパイロットトーンを受信して、複数のパイロットトーンのうち第2のパイロットトーンを受信する前に、前記第1のパイロットトーンに対応する第1のチャネル応答マトリクス、第1のノイズパワー項、第1のトレース、および、第1の行列式を推定することを含む。第2のパイロットトーンを受信した時点において、第2のパイロットトーンに対応するパラメータの推定処理を再度行う。本実施形態の一部の実施例によると、方法900はさらに、第1のチャネル応答マトリクス、第1のノイズパワー項、第1のトレース、および、第1の行列式を推定した後に、他の全てのパイロットを受信または処理するまで第1のパイロットトーンを格納する必要がないので、メモリデバイスから第1のパイロットトーンを破棄することを含む。

20

【0066】

具体的な実施形態を参照しつつ本発明を説明してきたが、当業者におかれては、本発明の意図または範囲から逸脱することなくさまざまな点を変更し得るものと理解されたい。したがって、本発明の実施形態の開示内容は、本発明の範囲を説明するためのものであり、本発明の範囲を限定するためのものではない。本発明の範囲は請求項が要件とする範囲にのみ限定されるものとする。例えば、本明細書で説明した方法および関連する構造はさまざまな実施形態で実現され得ることが当業者には明らかであろう。また、実施形態に関する上記の説明は、必ずしも全ての実施可能な実施形態を完全に網羅して説明しているわけではない。

30

【0067】

また、具体的な実施形態に関して、利点、その他の有益な点、および、問題解決方法を説明した。しかし、利点、有益な点、問題解決方法、および、任意の利点、有益な点または問題解決方法が生じたり、より顕著になるような任意の構成要素は、請求項の一部または全ての決定的、必要、または、必須の特徴または構成要素と見なされない。

【0068】

また、本明細書で開示する実施形態および限定は、実施形態および/または限定が、(1) 請求項で明示的に請求されていない場合、および、(2) 均等例の原則の下で請求項に明示的に記載している構成要素および/または限定の均等例と見なされる場合、公有の原則に基づき公有に属するものではない。

40

また、本明細書によれば、以下の各項目に記載の発明もまた開示される。

[項目1]

無線ネットワークチャネルに対応するプリコーディングマトリクスを特定する方法であって、

単位行列を含むキャパシティメトリックを特定する段階と、

前記単位行列を無視する近似メトリックを用いて前記キャパシティメトリックを近似する段階と、

50

メモリデバイスに格納されているマトリクスコードブック内の全てのマトリクスを対象として、前記近似メトリックを用いて検索を行って、前記無線ネットワークチャネルのキャパシティを高める特定のプリコーディングマトリクスであって、対応するマトリクスインデックスを持つ特定のプリコーディングマトリクスを特定する段階と、

前記マトリクスインデックスを前記無線ネットワークチャネルで送信する段階とを備える方法。

[ 項目 2 ]

前記無線ネットワークチャネルの前記キャパシティを高める前記特定のプリコーディングマトリクスを特定することは、

F が前記特定のプリコーディングマトリクスを表し、

【数 3 0】

$$\tilde{I}(F)$$

が前記近似メトリックを表す場合に、

【数 3 1】

$$\mathbf{F} = \arg \max_{F_i \in F} \tilde{I}(F_i)$$

の解を求めることを含む項目 1 に記載の方法。

[ 項目 3 ]

無線ネットワークチャネルに対応するプリコーディングマトリクスを特定する方法であって、

最小二乗平均誤差デコーダからデコーダ誤差エネルギー項を含む対角行列を構築する段階と、

最小二乗平均誤差メトリックを構築するべく前記最小二乗平均誤差デコーダとの間のリンクのキャパシティを算出する段階と、

前記最小二乗平均誤差メトリックを用いて、メモリデバイスに格納されているマトリクスコードブック内の全てのマトリクスを対象として検索を行って、前記無線ネットワークチャネルのキャパシティを高める特定のプリコーディングマトリクスであって、対応するマトリクスインデックスを持つ特定のプリコーディングマトリクスを特定する段階と、

前記マトリクスインデックスを前記無線ネットワークチャネルで送信する段階とを備える方法。

[ 項目 4 ]

前記無線ネットワークチャネルの前記キャパシティを高める前記特定のプリコーディングマトリクスを特定することは、

F が前記特定のプリコーディングマトリクスであり、

【数 3 2】

$$I_{MMSE}(F) = \text{trace}(\log(E^{-1}))$$

が成り立ち、

E が、前記対角行列である場合に、

10

20

30

40

【数 3 3】

$$\mathbf{F} = \arg \max_{F_i \in F} I_{MMSE}(F_i)$$

の解を求めることを含む項目 3 に記載の方法。

[ 項目 5 ]

無線ネットワークにおいて無線ネットワークチャネルのキャパシティを近似する方法であって、

複数のパイロットトーンを受信する段階と、

10

それぞれが前記複数のパイロットトーンのいずれか 1 つに対応している複数のチャネル応答マトリクスおよび複数のノイズパワー項を、前記複数のパイロットトーンのそれぞれについて一のチャネル応答マトリクスおよび一のノイズパワー項が存在するように、推定する段階と、

トレース演算および行列式演算を前記複数のチャネル応答マトリクスのそれぞれに対して実行して、複数のトレースおよび複数の行列式を求める段階と、

前記複数のトレースの平均値、前記複数の行列式の絶対値の平均値、および、前記複数のノイズパワー項の平均値を求める段階と、

前記無線ネットワークチャネルの前記キャパシティを、前記複数のトレースの平均値、前記複数の行列式の絶対値の平均値、および、前記複数のノイズパワー項の平均値の関数として表現する段階と、

20

前記関数の解を求める段階と

を備える方法。

[ 項目 6 ]

前記トレース演算を実行することは、 $p$  が前記複数のパイロットトーンのインデックスであり、 $\mathbf{H}$  が前記チャネル応答マトリクスであり、 $\mathbf{H}^H$  がエルミート転置演算子による演算後の前記チャネル応答マトリクスである場合に、

【数 3 4】

$$\text{trace}(\mathbf{H}_p^H \mathbf{H}_p)$$

30

の解を求めることを含む項目 5 に記載の方法。

[ 項目 7 ]

前記複数のトレースの平均値を求めることは、 $P$  が、

【数 3 5】

$$\text{trace}(\mathbf{H}_p^H \mathbf{H}_p)$$

40

を計算した対象であるパイロットトーンの総数を表す場合に、

【数 3 6】

$$\frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \text{trace}(\mathbf{H}_p^H \mathbf{H}_p)$$

の解を求めることを含む項目 6 に記載の方法。

[ 項目 8 ]

50

前記行列式演算を実行することは、 $p$  が前記複数のパイロットトーンのインデックスであり、 $H$  が前記チャネル応答マトリクスである場合に、 $\det(H_p)$  の解を求めることを含む項目 5 に記載の方法。

[ 項目 9 ]

前記複数の行列式の絶対値の平均値を求めることは、 $P$  が、 $\det(H_p)$  を計算した対象であるパイロットトーンの総数を表す場合に、

【数 3 7】

$$\left(\frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \text{abs}(\det(H_p))\right)^2$$

10

の解を求めることを含む項目 8 に記載の方法。

[ 項目 1 0 ]

前記複数のノイズパワー項の平均値を求めることは、 $p$  が、前記複数のパイロットトーンのインデックスであり、 $\sigma_p^2$  は、前記ノイズパワー項であり、 $P$  は、前記複数のパイロットトーンの総数を表す場合に、

【数 3 8】

$$\frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \sigma_p^2$$

20

の解を求めることを含む項目 5 に記載の方法。

[ 項目 1 1 ]

前記複数のパイロットトーンのうち第 1 のパイロットトーンを受信する段階と、

前記複数のパイロットトーンのうち第 2 のパイロットトーンを受信する前に、前記第 1 のパイロットトーンに対応する第 1 のチャネル応答マトリクス、第 1 のノイズパワー項、第 1 のトレース、および、第 1 の行列式を推定する段階と

を備える項目 5 に記載の方法。

30

[ 項目 1 2 ]

前記第 1 のチャネル応答マトリクス、前記第 1 のノイズパワー項、前記第 1 のトレース、および、前記第 1 の行列式を推定した後に、メモリデバイスから前記第 1 のパイロットトーンを破棄する段階をさらに備える項目 1 1 に記載の方法。

[ 項目 1 3 ]

メモリデバイスに格納され複数のプリコーディングマトリクスを含むマトリクスコードブックから、 $M$  個のサブキャリアのための一のターゲットプリコーディングマトリクスを特定する方法であって、

選択基準に対応するメトリックを選択する段階と、

$N$  が 1 より大きく、 $M$  以下である場合に、 $N$  個のサブキャリア毎にチャネルマトリクスを平均化して、 $L$  個の平均チャネルマトリクスを生成する段階と

を備え、前記方法はさらに、

前記マトリクスコードブックに含まれるプリコーディングマトリクス毎に、

前記  $L$  個の平均チャネルマトリクスのそれぞれを用いて前記メトリックを算出して、 $L$  個の平均メトリックを求める段階と、

前記  $M$  個のサブキャリアについての前記  $L$  個の平均メトリックの合計値 / 平均値を算出する段階と、

前記ターゲットプリコーディングマトリクスとして、前記複数のプリコーディングマトリクスから、前記メトリックの合計値 / 平均値を大きくする特定の 1 つのプリコーディン

40

50

グマトリクスを特定する段階と  
を備える方法。

[ 項目 1 4 ]

N は、M に等しい項目 1 3 に記載の方法。

[ 項目 1 5 ]

L は、M を N で除算した結果に等しい項目 1 3 に記載の方法。

[ 項目 1 6 ]

メモリデバイスに格納され複数のプリコーディングマトリクスを含むマトリクスコードブックから、一のターゲットプリコーディングマトリクスを、複数のチャネルインスタンスのために特定する方法であって、

前記マトリクスコードブックのサイズに応じて、N コードワードのメトリックのバッファを用意する段階と、

前記マトリクスコードブックに含まれる各プリコーディングマトリクスについて、チャネルインスタンス毎に、前記各プリコーディングマトリクスのメトリックを算出する段階、および前記バッファ内の前記メトリックに前記各プリコーディングマトリクスの前記メトリックを累算する段階と、

前記ターゲットプリコーディングマトリクスとして、前記複数のプリコーディングマトリクスから、所望の累算メトリックを生成する特定の 1 つのプリコーディングマトリクスを特定する段階と

を備える方法。

[ 項目 1 7 ]

前記各プリコーディングマトリクスのメトリックを累算する段階は、複数の帯域にわたって加算を実行する段階を有する項目 1 6 に記載の方法。

[ 項目 1 8 ]

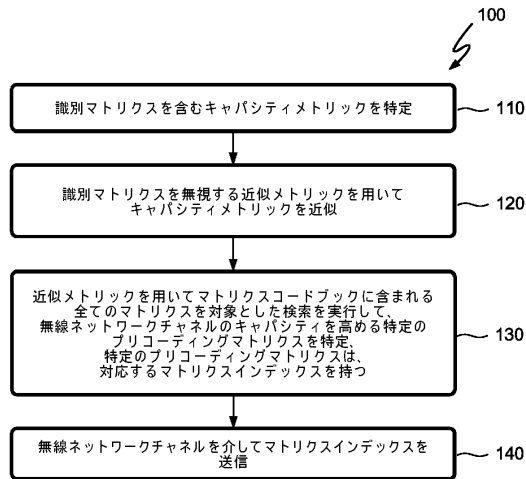
前記各プリコーディングマトリクスのメトリックを累算する段階は、複数のフレームにわたって加算を実行する段階を有する項目 1 6 に記載の方法。

10

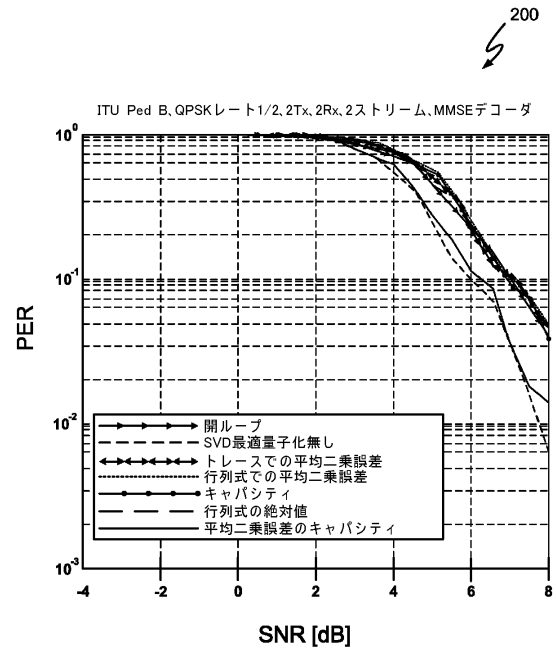
20



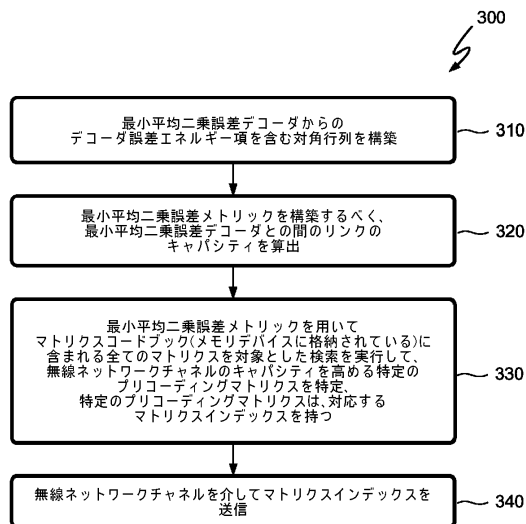
【図 1】



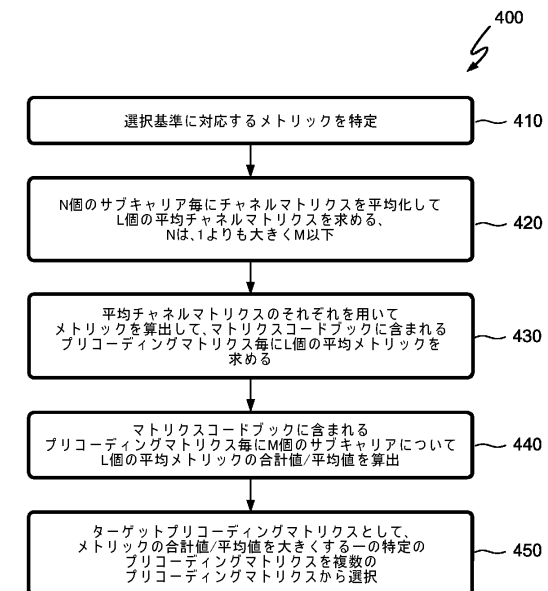
【図 2】



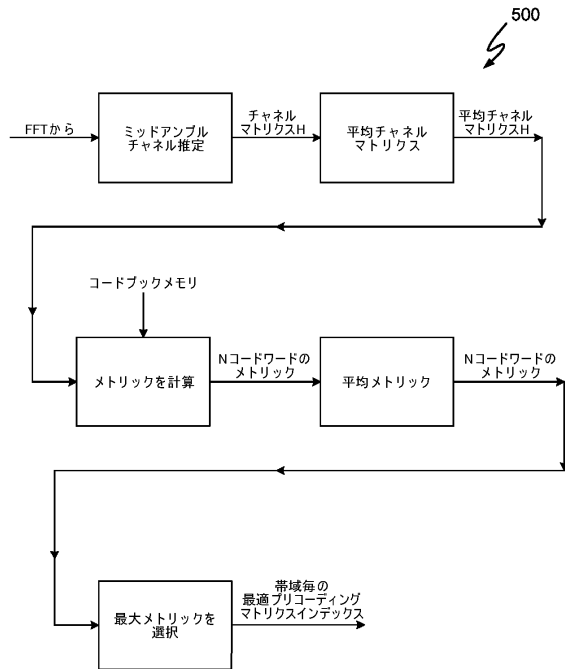
【図 3】



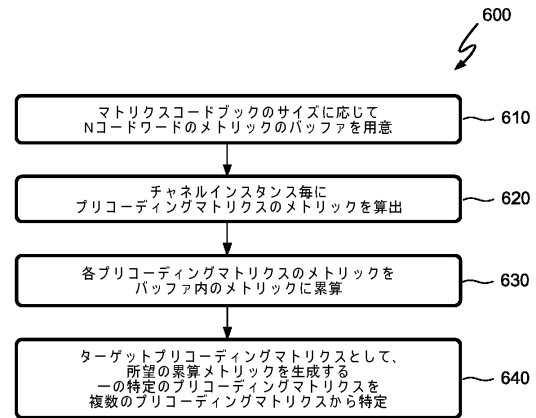
【図 4】



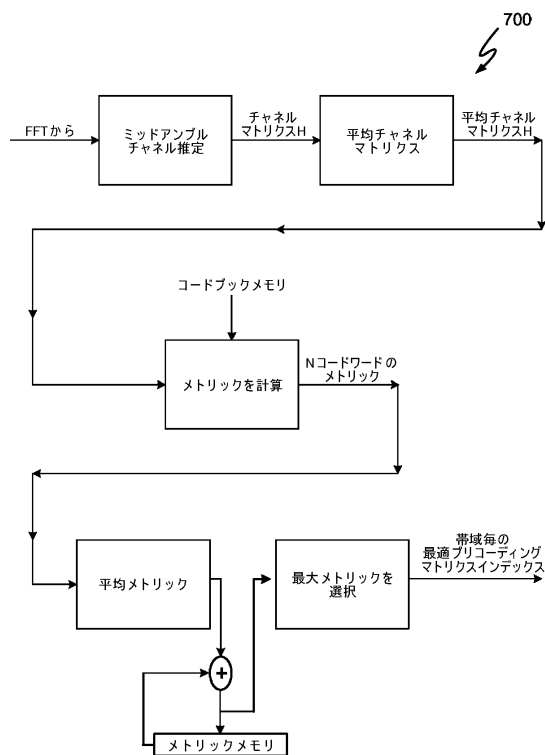
【図 5】



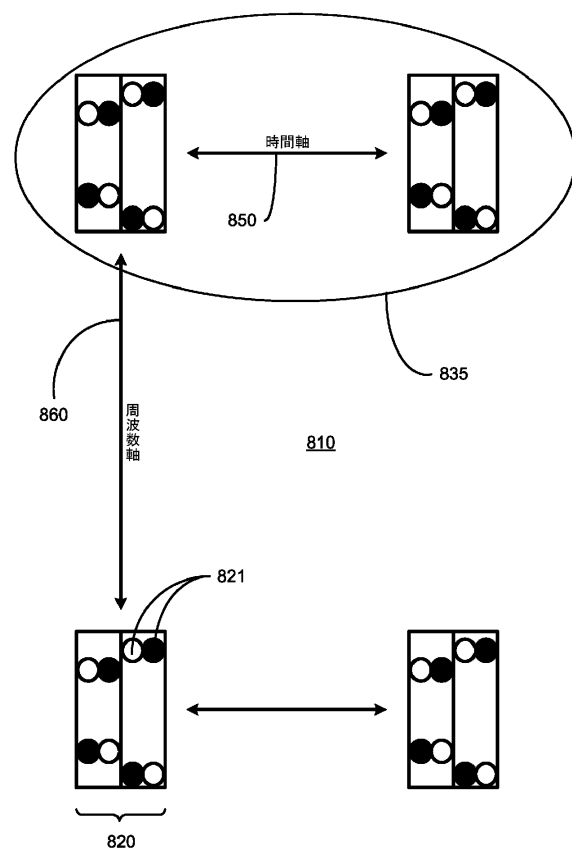
【図 6】



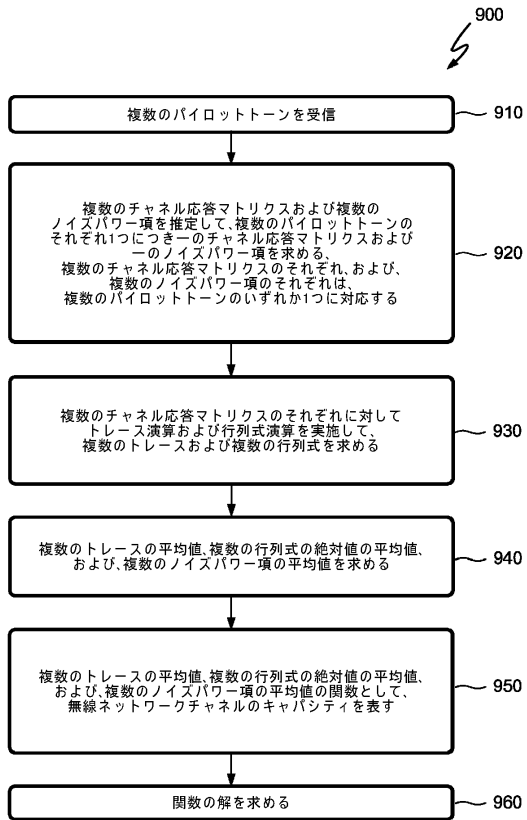
【図 7】



【図 8】



【図 9】



---

フロントページの続き

(72)発明者 アビビ、ローテム

アメリカ合衆国 9 5 0 5 2 カリフォルニア州・サンタクララ・ミッション カレッジ ブーレ  
バード・2 2 0 0 インテル・コーポレーション内

(72)発明者 ロムニッツ、ユバル

アメリカ合衆国 9 5 0 5 2 カリフォルニア州・サンタクララ・ミッション カレッジ ブーレ  
バード・2 2 0 0 インテル・コーポレーション内

審査官 富澤 哲生

(56)参考文献 国際公開第 2 0 0 8 / 0 6 2 5 8 7 ( W O , A 1 )

特表 2 0 0 9 - 5 1 4 4 6 0 ( J P , A )

Love, D.J.; Heath, R.W.Jr., Limited feedback unitary precoding for spatial multiplexin  
g systems, Information Theory, IEEE Transactions on, 2 0 0 5 年 8 月, Volume 51, Iss  
ue 8, Page(s):2967 - 2976

(58)調査した分野(Int.Cl., D B 名)

H 0 4 J 9 9 / 0 0