

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5244172号
(P5244172)

(45) 発行日 平成25年7月24日(2013.7.24)

(24) 登録日 平成25年4月12日(2013.4.12)

(51) Int.Cl.	F 1
HO4J 99/00 (2009.01)	HO4J 15/00
HO4B 7/04 (2006.01)	HO4B 7/04
HO4J 11/00 (2006.01)	HO4J 11/00 Z

請求項の数 17 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2010-512119 (P2010-512119)
(86) (22) 出願日	平成20年5月26日 (2008.5.26)
(65) 公表番号	特表2010-529808 (P2010-529808A)
(43) 公表日	平成22年8月26日 (2010.8.26)
(86) 國際出願番号	PCT/SE2008/050616
(87) 國際公開番号	W02008/153479
(87) 國際公開日	平成20年12月18日 (2008.12.18)
審査請求日	平成23年4月26日 (2011.4.26)
(31) 優先権主張番号	11/763,192
(32) 優先日	平成19年6月14日 (2007.6.14)
(33) 優先権主張国	米国(US)

(73) 特許権者	598036300 テレフォンアクチーボラゲット エル エ ム エリクソン (パブル) スウェーデン国 ストックホルム エスー 164 83
(74) 代理人	100076428 弁理士 大塚 康徳
(74) 代理人	100112508 弁理士 高柳 司郎
(74) 代理人	100115071 弁理士 大塚 康弘
(74) 代理人	100116894 弁理士 木村 秀二
(74) 代理人	100130409 弁理士 下山 治

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】無線通信ネットワークにおける複数アンテナ送信を制御する方法及び装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数アンテナ送信機(10)からの送信を制御する方法であって、
複数のテンプレート・チャネル実現値を含むテンプレート・チャネル実現値の初期集合
を生成する工程と、

宛先受信機(12)における実チャネル実現値についての二次統計量を決定する工程と、

前記実チャネル実現値の前記二次統計量を反映し且つ複数の仮想チャネル実現値を含む
仮想チャネル実現値の集合を取得するため前記二次統計量に応じて前記テンプレート・
チャネル実現値の初期集合を適応させる工程と、

前記仮想チャネル実現値の集合の一部又は全部のサンプル集合にわたって平均をとること
により前記実チャネル実現値に対応する確率密度関数に関する積分を近似することに基づいて、
前記宛先受信機(12)への送信を制御するために前記仮想チャネル実現値の集合に応じて一つ以上の送信制御パラメータを決定する工程と
を有することを特徴とする方法。

【請求項2】

前記テンプレート・チャネル実現値の初期集合を生成する工程は、事前に算出されて記憶された値から前記テンプレート・チャネル実現値の初期集合を生成する工程を有することを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項3】

10

20

前記事前に算出されて記憶された値から前記テンプレート・チャネル実現値の初期集合を生成する工程は、事前に記憶された独立同分布（I I D）ガウス分布の行列サンプルの集合から前記テンプレート・チャネル実現値の初期集合を形成する工程を有することを特徴とする請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記仮想チャネル実現値の集合を取得するために前記二次統計量に応じて前記テンプレート・チャネル実現値の初期集合を適応させる工程は、前記仮想チャネル実現値の集合が前記実チャネル実現値の前記二次統計量を反映するように前記二次統計量に応じて前記テンプレート・チャネル実現値の初期集合内の初期テンプレート・チャネル実現値を拡大縮小及び変換することによって前記仮想チャネル実現値の集合内の各仮想チャネル実現値を形成する工程を有することを特徴とする請求項 3 に記載の方法。 10

【請求項 5】

前記仮想チャネル実現値の集合に応じて一つ以上の送信制御パラメータを決定する工程は、前記仮想チャネル実現値の集合から送信プリコーディングのための電力割り当てを算出する工程を有することを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

前記仮想チャネル実現値の集合から送信プリコーディングのための電力割り当てを算出する工程は、前記仮想チャネル実現値の集合の一部又は全部のサンプル集合にわたって平均をとることに基づいて前記実チャネル実現値に対応する確率密度関数に関する積分を近似することに依存して最適な送信アンテナ電力割り当てを繰り返し算出する工程を有することを特徴とする請求項 5 に記載の方法。 20

【請求項 7】

前記仮想チャネル実現値の集合に応じて一つ以上の送信制御パラメータを決定する工程は、前記仮想チャネル実現値の集合に基づいて前記宛先受信機（12）に対する変調・符号化方式（M C S）を選択する工程を有することを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 8】

前記宛先受信機（12）における実チャネル実現値についての二次統計量を決定する工程は、前記送信機（10）において受信した前記宛先受信機（12）からの既知の信号の観測値に基づいて前記二次統計量を算出する工程を有することを特徴とする請求項 1 に記載の方法。 30

【請求項 9】

前記宛先受信機（12）における実チャネル実現値についての二次統計量を決定する工程は、前記宛先受信機（12）からのフィードバックに基づいて前記二次統計量を決定する工程を有することを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 10】

前記宛先受信機（12）からのフィードバックに基づいて前記二次統計量を決定する工程は、前記宛先受信機（12）から前記二次統計量を受信する工程を有することを特徴とする請求項 9 に記載の方法。

【請求項 11】

前記宛先受信機（12）における実チャネル実現値についての二次統計量を決定する工程は、前記実チャネル実現値に対する白色化チャネル応答についての二次統計量を決定する工程を有することを特徴とする請求項 1 に記載の方法。 40

【請求項 12】

前記実チャネル実現値に対する白色化チャネル応答についての二次統計量を決定する工程は、前記白色化チャネル応答の共分散を決定する工程を有することを特徴とする請求項 11 に記載の方法。

【請求項 13】

前記白色化チャネル応答の共分散を決定する工程は、前記宛先受信機（12）からのフィードバックとして前記白色化チャネル応答に関する共分散情報を受信する工程を有することを特徴とする請求項 12 に記載の方法。 50

【請求項 14】

前記二次統計量に応じて前記テンプレート・チャネル実現値の初期集合を適応させる工程は、前記白色化チャネル応答の前記共分散に基づいて前記テンプレート・チャネル実現値の初期集合を拡大縮小及び変換する工程を有することを特徴とする請求項 12 に記載の方法。

【請求項 15】

前記送信機 (10) は無線通信ネットワークにおいて動作するように構成された直交周波数分割多重 (O F D M) 送信器を備え、

前記仮想チャネル実現値の集合に応じて一つ以上の送信制御パラメータを決定する工程は、前記仮想チャネル実現値の集合に基づいて、二つ以上の送信アンテナ (16) のそれ 10 ぞれから O F D M チャンクを送信するための送信プリコーディング重みを算出する工程を有することを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 16】

前記送信機 (10) は無線通信ネットワーク (14) において動作するように構成された多入力多出力 (M I M O) 送信器を備え、

前記仮想チャネル実現値の集合に応じて一つ以上の送信制御パラメータを決定する工程は、前記仮想チャネル実現値の集合に基づいて、二つ以上の送信アンテナ (16) のそれ ぞれから前記宛先受信機 (12) へ送信するための送信プリコーディング重みを算出する工程を有することを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 17】

20

複数アンテナ送信機 (10) のための送信コントローラ (20) であって、

複数のテンプレート・チャネル実現値を含むテンプレート・チャネル実現値の初期集合を生成し、

宛先受信機 (12) における実チャネル実現値についての二次統計量を決定し、

前記実チャネル実現値の前記二次統計量を反映し且つ複数の仮想チャネル実現値を含む仮想チャネル実現値の集合を取得するために前記二次統計量に応じて前記テンプレート・チャネル実現値の初期集合を適応させ、

前記仮想チャネル実現値の集合の一部又は全部のサンプル集合にわたって平均をとることにより前記実チャネル実現値に対応する確率密度関数に関する積分を近似することに基づいて、前記宛先受信機 (12) への送信を制御するために前記仮想チャネル実現値の集合に応じて一つ以上の送信制御パラメータを決定する 30

ように構成された一つ以上の処理回路 (21) を備えることを特徴とする送信コントローラ (20)。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は一般に無線通信システムに関し、特に例えばプリコーディング動作の制御及び多入力多出力 (M I M O) 送信のための変調及びチャネル符号化率の選択のような無線通信ネットワークにおける複数アンテナ送信の制御に関する。

【背景技術】

40

【0002】

送信機における(伝播)チャネル状態に関する所定の情報の利用可能性は、複数の送信アンテナを有する無線通信システムに対して取り得る最高のスペクトル効率の達成において極めて重大な役割を果たす。例えば、非特許文献 1 は、瞬時チャネル状態に関する正確な情報が送信機において利用可能である場合に、容量における実質利得が複数アンテナを用いて達成され得ることを実証する。

【0003】

宛先受信機から送信機への瞬時チャネル状態のフィードバックは、正確な瞬時チャネル状態の情報を提供する既知の仕組みを表し、このようなフィードバックは例えば上りリンクと下りリンクとにおける瞬時チャネル状態が直接的には関連しない周波数分割多重 (F 50

DD) システムにおいて必要となるかもしれない。しかしながら問題なことに、複数アンテナ(例えばMIMO)システムにおいて実在する伝播チャネルの起こり得る個数及び複雑さは多量のチャネル・フィードバックを必要とし得る。これは、いかなる場合でも実用的ではなく望まれるものではないだろう。さらに、要求される精度で受信機が瞬時チャネル状態を推定できるという疑わしい仮定からはじめる場合であっても、計算遅延及び信号転送遅延を含むフィードバックの遅延は、送信機において取得されるチャネル・フィードバックが受信機において観測された正確な状態より遅れることを保証する。このようなものとして、送信調整値は宛先受信機における実際の瞬時チャネル状態と一致しない。

【0004】

複数アンテナ送信制御の基礎として瞬時チャネル状態を用いることから出発して、一部の研究ではその代わりに伝播チャネル(群)の長期統計情報を用いる最適伝送方式が検討されてきた。高速フェージングの速度で変わる瞬時チャネル状態情報とは異なり、チャネルに関する統計情報は遙かに遅い速度で(例えば低速フェージング(シャドーイング)の速度で又は出発/到着の角度の変化の速度で)変わる。従って、計算及びシグナリングのオーバヘッドの点で、対応する複数アンテナ送信制御について宛先受信機から統計チャネル情報を正確にフィードバックするゆとりが十分にある。

10

【0005】

送信制御がチャネル統計量のフィードバックに基づくことは宛先受信機からのチャネル・フィードバック・シグナリングの量及び複雑さを大幅に減らすものの、このような制御を実装することに問題がないわけではない。実際に、チャネル統計量に基づく最適な複数アンテナ送信に要求される様々なパラメータの算出は、しばしば瞬時チャネルの知識に基づくこれらの算出よりも遙かに難しい。

20

【0006】

例えば、 n_T 個の送信アンテナと n_R 個の受信アンテナとを有するフラットMIMOチャネルのエルゴード容量を最大化する最適線形プリコーディング行列 F_{opt} の決定に関する情報を複数の論文が示す。このような論文は非特許文献2、非特許文献3及び非特許文献4を含む。

【0007】

これらの教示の様々なものによれば、 F_{opt} は

$$F_{opt} = \arg \max_{\text{tr}\{\sum_f F F^H\} \leq 1} E \left[\log \det \left(I + H F F^H H^H \right) \right] \quad \text{式 (1)}$$

30

として算出されてもよい。より具体的には、最適プリコーディング行列は

$$F_{opt} = U D \left(\sqrt{p_1}, \sqrt{p_2}, \dots, \sqrt{p_{n_T}} \right) \quad \text{式 (2)}$$

として書くことができる事が示されている。ここで、Uは $E H^H H$ の固有ベクトルを列に有する行列を示し、

40

$$D(\sqrt{p_1}, \sqrt{p_2}, \dots, \sqrt{p_{n_T}})$$

は

$$\{\sqrt{p_j}\}_{j=1}^{n_T}$$

を対角成分に有する対角行列を示し、 p_j はUの第j列に対応するj番目の固有伝送モードに割り当てられた電力部分を示す。

【0008】

上記の枠組みの文脈では、相対電力レベル

50

$$\{p_j\}_{j=1}^{n_T}$$

は以下の条件を満たさなければならないことがさらに示されている。

$$p_j = \begin{cases} \frac{1 - E[\text{MMSE}_j]}{\sum_{i=1}^{n_T} (1 - E[\text{MMSE}_i])} & E[\text{SINR}_j] > \sum_{i=1}^{n_T} (1 - E[\text{MMSE}_i]) \text{ の場合} \\ 0 & \text{その他の場合} \end{cases} \quad \text{式 (3)}$$

ここで、

$$\text{MMSE}_j = 1 - p_j \tilde{\mathbf{h}}_j^H \left(\mathbf{Q}_j + p_j \tilde{\mathbf{h}}_j \tilde{\mathbf{h}}_j^H \right)^{-1} \tilde{\mathbf{h}}_j = \frac{1}{1 + p_j \tilde{\mathbf{h}}_j^H \mathbf{Q}_j^{-1} \tilde{\mathbf{h}}_j} \quad \text{式 (4)}$$

$$\text{SINR}_j = \tilde{\mathbf{h}}_j^H \mathbf{Q}_j^{-1} \tilde{\mathbf{h}}_j \quad \text{式 (5)}$$

$$\mathbf{Q}_j = \mathbf{I} + \sum_{i \neq j} \tilde{\mathbf{h}}_i \tilde{\mathbf{h}}_i^H \quad \text{式 (6)}$$

であり、

$$\{\tilde{\mathbf{h}}_j\}_{j=1}^{n_T}$$

は変換されたチャネル

$$\tilde{\mathbf{H}} \equiv \mathbf{H} \mathbf{U} = [\tilde{\mathbf{h}}_1, \tilde{\mathbf{h}}_2, \dots, \tilde{\mathbf{h}}_{n_T}]$$

の列ベクトルである。MMSE_jという用語は

$$\{p_j\}_{j=1}^{n_T}$$

に依存するため、相対電力レベル

$$\{p_j\}_{j=1}^{n_T}$$

は默示的に定義されるだけであることに留意されたい。

【0009】

$$p(\tilde{\mathbf{H}})$$

として表される

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

の結合確率分布（又はこれに代えて H の結合確率分布）に基づいて

$$\{p_j\}_{j=1}^{n_T}$$

を算出する反復アルゴリズムが提案されている。最初のステップとして、アルゴリズムは（例えばすべての j に対して

$$p_j^{(0)} = 1/n_T$$

を設定することによって）

$$\sum_{j=1}^{n_T} p_j^{(0)} = 1$$

10

20

30

40

50

となるように

$$\{p_j^{(0)}\}_{j=1}^{n_T}$$

を初期化する。次に、アルゴリズムは解が収束するまで以下の不動点方程式を反復する。

$$p_j^{(k+1)} = \frac{1 - E[\text{MMSE}_j^{(k)}]}{\sum_{i=1}^{n_T} (1 - E[\text{MMSE}_i^{(k)}])} \quad \text{for } j = 1, 2, \dots, n_T \quad \text{式 (7)}$$

10

ここで、

$$\text{MMSE}_j^{(k)}$$

は

$$p_j^{(k)}$$

に等しくなるように設定された p_j を用いて式 4 に基づいて算出される。

【0010】

この時点において、上記のステップにおいて p_j がゼロに収束するようなすべての j について

$$E[\text{SINR}_j] \leq \sum_{i=1}^{n_T} (1 - E[\text{MMSE}_i]) \quad \text{式 (8)}$$

20

ならばアルゴリズムは停止する。それ以外の場合に、 $E[\text{SINR}_j]$ の最小値に対応する j に対して $p_j = 0$ を設定する。

【0011】

式 7 及び式 8 を伴うステップの実行は以下の量を含む複数の不可欠な量の算出を必要とする。

$$E[\text{MMSE}_j] = \int \frac{1}{1 + p_j \tilde{\mathbf{h}}_j^H \left(\mathbf{I} + \sum_{i \neq j} p_i \tilde{\mathbf{h}}_i \tilde{\mathbf{h}}_i^H \right)^{-1} \tilde{\mathbf{h}}_j} p(\tilde{\mathbf{H}}) d\tilde{\mathbf{H}} \quad \text{式 (9)}$$

30

$$E[\text{SINR}_j] = \int \tilde{\mathbf{h}}_j^H \left(\mathbf{I} + \sum_{i \neq j} p_i \tilde{\mathbf{h}}_i \tilde{\mathbf{h}}_i^H \right)^{-1} \tilde{\mathbf{h}}_j p(\tilde{\mathbf{H}}) d\tilde{\mathbf{H}} \quad \text{式 (10)}$$

40

【0012】

式 9 及び式 10 の算出は瞬時チャネル状態

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

の結合確率分布

$$p(\tilde{\mathbf{H}})$$

を必要とするが、受信機においてすらこれを決定することは不可能でないにしろ難しく、送信機においては言うまでもない。これらの対象の式に含まれる積分は、受信機において観測された

50

˜H

の多くの実現値 (realizations) にわたって平均をとることによって近似され得るが、このアプローチはさらなる複雑さを含む。対象の量は

˜H

だけでなく、割り当てられた電力レベル

$$\{p_j\}_{j=1}^{n_T}$$

10

にも依存するため、最適な電力レベルを算出するために

$$\{p_j\}_{j=1}^{n_T}$$

の様々な値についてこれらの量が評価される必要がある。結果として、

˜H

の実現値の複数の及び / 又は大きな集合が宛先受信機の作業メモリ (例えばRAM) に記憶される必要があるだろう。しかしながら、実際には、宛先受信機において、最適な送信プリコーディング値の算出のために上記のアルゴリズムを実行するような十分なメモリと計算能力を要求することは望ましくない。

20

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0013】

【非特許文献1】E. Telatar, 「複数アンテナのガウス分布チャネルの容量」, Euro. Trans. Telecomm. ETT, vol. 10, no. 6, pp585-596, 1999年11月

【非特許文献2】E. Visotsky and U. Madhow, 「不完全フィードバックによる時空間送信プリコーディング」, IEEE Trans. on Info. Thy., vol. 47, pp. 2632-2639, 2001年9月

【非特許文献3】S. H. Simon and A. L. Moustakas, 「チャネル共分散フィードバックによるMIMOアンテナ・システムの最適化」, IEEE JSAC, vol. 21, pp. 406-417, 2003年4月

30

【非特許文献4】A. M. Tulino, A. Lozano, S. Verdu, 「單一ユーザ複数アンテナ・チャネルに対する入力共分散の容量達成」, IEEE Trans. on Wireless Comm., vol. 5, pp. 662-671, 2006年3月

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0014】

複数アンテナ送信のためのプリコーディング重みの算出に加えて、従来のチャネル統計量に基づいた各送信ストリームに対する適切な変調及びチャネル符号化率の選択は十分に対処されていない。このような検討は例えば逐次干渉キャンセラのような宛先受信機 (群) において採用される検出アルゴリズムの種類に依存する。

40

【課題を解決するための手段】

【0015】

本明細書で示される複数アンテナ送信制御は、宛先受信機について観測された実チャネル実現値と同じ二次統計量を共有する送信機における仮想チャネル実現値の集合を生成することを含む。送信機における対象の制御関連量をチャネルの長期統計量に依存させることによって、例えば多入力多出力 (MIMO) プリコーディングや関連する変調・符号化選択のような送信制御に対して実チャネル実現値が必要とされなくなる。このようなものとして、仮想チャネル実現値の使用により、フル・フィードバックに伴うオーバヘッド・

50

シグナリングの負担を必要とすることなく、完全なチャネル状態情報のフィードバックにより提供されるであろう「閉ループ」チャネル容量に近い送信制御が可能となる。

【0016】

一つ以上の実施形態において、複数アンテナ送信機からの送信を制御する方法は、好適にはガウス分布であるテンプレート・チャネル実現値の初期集合を生成する工程と、宛先受信機における実チャネル実現値についての二次統計量を決定する工程と、実チャネル実現値の二次チャネル統計量を反映する仮想チャネル実現値を取得するために二次チャネル統計量に応じてテンプレート・チャネル実現値の初期集合を適応させる工程とを有する。本方法はさらに、宛先受信機への送信を制御するために仮想チャネル実現値に応じて一つ以上の送信制御パラメータを決定する工程を有する。

10

【0017】

上記の方法及びその変形は、本明細書で示される一つ以上の実施形態によれば、無線通信ネットワーク内で用いられるように構成された複数アンテナ送信機において実装される。非限定的な例は3G及び4Gのセルラ通信ネットワークを含む。例えば、マイクロプロセッサ・ベース又はその他のプログラムされたディジタル処理ロジックのような一つ以上の処理回路が、本明細書で示されるいかなる実施形態の方法を実行するように構成されてもよい。このような回路は例えばネットワーク基地局又はその他の送信ノード内で実装されてもよい。

【0018】

当然のことながら、本発明は上記の特徴及び利点に限定されない。当業者は、以下の詳細な説明及び特許請求の範囲を読み、添付の図面を見ることによって、さらなる特徴及び利点を認識するだろう。

20

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】二次チャネル統計量に基づいて一つ以上の送信制御パラメータを決定するように構成された送信コントローラを有する送信機を含む無線通信ネットワークの一つの実施形態のブロック図である。

【図2】例えば図1に示されるような送信コントローラの一つ以上の実施形態に対する機能回路要素のブロック図である。

【図3】送信コントローラの処理ロジックで実装されてもよい二次チャネル統計量に基づく送信制御方法の一つの実施形態のロジック・フロー図である。

30

【図4】本明細書で教示される送信制御の一つ以上の実施形態についての相対性能の例を説明するグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0020】

図1は、複数の宛先無線通信装置12に送信する複数アンテナ送信機10の一つの実施形態を説明する。(図において「WCD」と省略される)無線通信装置12はすべてが同一である必要はなく、これらは携帯電話、ページャ、携帯用情報端末、コンピュータ、ネットワーク接続カード又はこのような任意の装置の複合のような多数の取り得る装置の種類を表すことが理解されるはずである。このようなものとして、本議論の均衡のために、これらは単に「受信機12」と呼ばれる。

40

【0021】

少なくとも一つの実施形態において、送信機10は無線通信ネットワーク14内の基地局又は送受信機ノードであり、受信機12への下りリンク(DL)無線通信及び受信機12からの上りリンク(UL)をサポートする。少なくとも一つの実施形態において、送信機10は多入力单出力(MISO)又は多入力多出力(MIMO)の動作のために構成され、それに応じて受信機12は一つ以上の受信アンテナ18を備える。

【0022】

MIMO動作において、受信機12の特定の一つを宛先とした信号(群)はアンテナ16のうちの選択されたものから送信され、送信に用いられる特定のアンテナ及び相対送信

50

電力割り当ては複数の検討に基づいて動的に変更され得（、一般的には変更され）る。本明細書の特定の対象において、送信機10は、送信機10の高周波（R F）送信器回路22により用いられる一つ以上の送信パラメータの設定、調整及びその他の制御を行う「送信コントローラ」20を含む。例として本明細書で詳細されるように、有利には制御は宛先受信機12における実チャネル実現値（real channel realizations）に関連付けられた二次チャネル統計量の使用に基づく。

【0023】

よって、少なくとも一つの実施形態において、送信機10は、無線通信ネットワークにおいて動作するように構成されたMIMO送信器を備える。送信機10は所与の受信機12への（MIMO）送信を制御するために、この所与の受信機12についての仮想チャネル実現値（virtual channel realizations）に基づいて送信プリコーディング重み及び符号化率を算出することによって、仮想チャネル実現値に応じて一つ以上の送信制御パラメータを決定する。送信プリコーディング重みは、二つ以上の送信アンテナ16のそれぞれから所与の受信機12に送信するために用いられるアンテナ毎送信電力割り当てを設定する。

10

【0024】

さらに詳細に、フラットMIMOチャネルを用いる以下の単純なベースバンド受信信号モデルを検討する。

$$\mathbf{r} = \mathbf{Hs} + \mathbf{w} \quad \text{式(11)}$$

20

ここで、 \mathbf{H} は平均がゼロであるMIMOチャネル応答（ $n_R \times n_T$ 行列）を示し、 \mathbf{r} は受信信号を示し、 \mathbf{s} は送信信号を示し、 \mathbf{w} は n_T 個の送信アンテナ及び n_R 個の受信アンテナを有する無線通信システムにおける雑音干渉成分を示す。雑音成分 \mathbf{w} は、共分散行列 $\mathbf{R}_w = \{ \mathbf{w} \mathbf{w}^H \}$ を用いて受信アンテナにわたって空間的に色付けされてもよい。ここで、 $E \{ \cdot \}$ は中括弧内の量の期待値を示す。

【0025】

議論のために、受信機12のうちの少なくとも所与のものは、自身を送信機10に関連付けるチャネル \mathbf{H} 及び雑音共分散 \mathbf{R}_w の正確な推定を取得することができる。（同等地に、雑音がゼロ平均でない場合に、所与の受信機12は雑音共分散及び平均を決定する。）有用な仮定として、所与の受信機12に対する「白色化（whitened）チャネル応答」は $\bar{\mathbf{H}}$ 及び \mathbf{R}_w から

$$\bar{\mathbf{H}} = \mathbf{R}_w^{-1/2} \mathbf{H} \quad \text{式(12)}$$

30

として決定され得る。

【0026】

本明細書で教示される送信制御の少なくとも一つの側面において、所与の受信機12は自身の白色化チャネル応答の二次統計量をフィードバックする。次いで、送信機10は「仮想チャネル実現値」の集合を形成するために二次統計量を用いる。送信機10は、例えば通信リンク容量を最大化するMISO又はMIMO送信のプリコーディングについての送信アンテナ電力割り当て及び/又は変調・符号化方式（MCS）の選択のような一つ以上の送信制御パラメータを決定するために仮想チャネル実現値を用いる。

40

【0027】

一つ以上の実施形態によれば、送信機10は、

$$\{\mathbf{H}_{iildg}^{(k)}\}_{k=1}^N$$

により表される $n_R \times n_T$ 次元の独立同分布（IID）ガウス分布の行列サンプルの集合を備える又は別様に表現する事前に算出された値を保持又は別様に維持する。変数 N_s は事前に記憶されたサンプル数を表し、サンプル数は必要に応じて多くされてもよく、すなわ

50

ち場合によっては大きなサンプル集合サイズが用いられてもよい。

【0028】

一つの観点から、I I D ガウス分布サンプルは、送信機 1 0において利用可能ではない所与の受信機 1 2における実チャネル実現値についての「テンプレート」又はデフォルト・モデルとしてみなしてもよい。しかしながら、 $n_R \times n_T$ のサイズの拡大縮小 (scaling) 行列 S 及び $n_R n_T \times n_R n_T$ のサイズのユニタリ行列が、個別の行列サンプル

$$\mathbf{H}_{iidg}^{(k)}$$

を仮想チャネル実現値

10

$$\mathbf{H}_v^{(k)}$$

に拡大縮小及び変換するために算出されて使用される。すなわち、このような実施形態において、仮想チャネル実現値のために用いられるテンプレート・チャネル実現値の初期集合は (I I D) ガウス分布サンプルの集合を備える。

【0029】

数学的に、各仮想チャネル実現値は

$$\bar{\mathbf{H}}_v^{(k)} = mat_{n_R, n_T} \left(\mathbf{U} vec \left(\mathbf{S} \bullet \mathbf{H}_{iidg}^{(k)} \right) \right) \quad \text{式 (13)}$$

20

に従って生成される。ここで、一般に、「 $A \cdot B$ 」は同一の次元を有する二つの行列 A と B との成分ごとの積を示し、 $vec(A)$ は A のすべての列を一つのベクトルにまとめるこことによって形成されたベクトルを示し、 $mat_{m, n}(X)$ は $m n$ 次元のベクトル X を型変換することによって形成された $m \times n$ 行列を示す。

【0030】

とりわけ、上記の仮想チャネル実現値はテンプレート・データすなわち I I D ガウス分布の行列サンプルから生成され、テンプレート・データは事前に計算されメモリ内に保持されてもよい (し、又はオンザフライで一度に生成され、必要により又は所望により開始時点において生成されてもよい)。より具体的には、(ガウス分布モデルが妥当であるという仮定のもとであるものの、) 実際のチャネル状況に関する任意のものを知るために何らの要件もなく生成される。

30

【0031】

限定的な例ではないものの、図 2 は、少なくとも一部の環境で有利である図 1において導入された送信コントローラ 2 0 の実施形態を示す。例えば、送信機 1 0 の少なくとも一つの実施形態は、汎用又は専用マイクロプロセッサ、ディジタル信号プロセッサ又はその他の種類 (群) のディジタル処理ロジックを含んでもよい一つ以上のマイクロプロセッサ・ベースの回路 2 1 を含む。少なくとも一つの実施形態において、送信コントローラ 2 0 は、二次チャネル統計量に応じた送信制御を実装するようにプログラムされたこのような一つ以上のディジタル・プロセッサを備える。例えば、送信コントローラは、送信コントローラ 2 0 に本方法を実行させるプログラム命令を記憶するメモリを有してもよいし、このメモリにアクセスしてもよい。F P G A における所望の送信制御処理又はその他のプログラム要素 (群) の全部又は一部を実装することも意図されてもよい。

40

【0032】

上記に留意しつつ、図 2 は送信コントローラ 2 0 の一つ以上の処理回路についての機能回路構成を説明する。この構成は拡大縮小 / 変換算出器 2 2 、拡大縮小器 2 4 、変換器 2 6 を含み、オプションとしてベクトル化器 2 8 及び行列生成器 3 0 を含む。送信コントローラ 2 0 はさらに、一つ以上の実施形態で意図される

$$\{\mathbf{H}_{i\text{dg}}^{(k)}\}_{k=1}^{N_s}$$

に含まれる I I D ガウス分布の行列サンプルの集合のようなテンプレート・チャネル実現値の初期集合を記憶する例えは一つ以上のメモリ装置 3 2 のような記憶装置を含み、又はこの記憶装置に関連付けられる。

【 0 0 3 3 】

動作中に、拡大縮小 / 変換算出器 2 2 は、(以下に説明される Φ_{full} 又は Φ_{TX} に基づいていてもよい) 拡大縮小行列 S 及び変換行列 U を算出する。一つの実施形態によれば、

$$\Phi_{\text{full}} \equiv E \left[\text{vec}(\bar{\mathbf{H}}) \text{vec}(\bar{\mathbf{H}})^H \right] \quad \text{式 (14)}$$

10

により与えられる白色化チャネルのフル共分散行列は所与の受信機 1 2 から低速なフィードバック・リンクを通じて送信機 1 0 に利用可能にされる。この場合に、ユニタリ変換行列 U は、 Φ_{full} の固有ベクトルを列に有する行列であり、拡大縮小行列 S は、すべての $i \in \{1, 2, \dots, n_R\}$ 及び $j \in \{1, 2, \dots, n_T\}$ について

$$[S]_{i,j} = \sqrt{\lambda_{(j-1)n_R+i}^{\text{full}}} \quad \text{式 (15)}$$

のように Φ_{full} の固有ベクトルの成分ごとの平方根から導出される。この文脈において、
 λ_k^{full}

20

は $k = 1, 2, \dots, n_R n_T$ について Φ_{full} の k 番目の固有値を示す。

【 0 0 3 4 】

一つの特定の有利な実施形態において、白色化チャネルの送信共分散行列は

$$\Phi_{\text{TX}} \equiv E \left[\bar{\mathbf{H}} \bar{\mathbf{H}}^H \right] \quad \text{式 (16)}$$

によって与えられ、所与の受信機 1 2 からのフィードバックを介して送信機 1 0 に利用可能にされる。この場合に、ユニタリ変換行列は

30

$$\mathbf{U}_{\Phi} = \mathbf{U}_{\text{TX}}^r \otimes \mathbf{I}_{n_R}$$

として選ばれる。ここで、 \mathbf{U}_{TX} は Φ_{TX} の固有ベクトルを列に有する行列を示し、

$$\mathbf{I}_{n_R}$$

は $n_R \times n_R$ 単位行列を示し、

\otimes

はクロネッカー積を示す。この公式によって、拡大縮小行列 S は、すべての $i \in \{1, 2, \dots, n_R\}$ 及び $j \in \{1, 2, \dots, n_T\}$ について

40

$$[S]_{i,j} = \sqrt{\lambda_j^{\text{TX}} / n_R} \quad \text{式 (17)}$$

のように Φ_{TX} の固有ベクトルの成分ごとの平方根から導出される。ここで、

$$\lambda_k^{\text{TX}}$$

は $k = 1, 2, \dots, n_T$ について Φ_{TX} の k 番目の固有値を示す。この実施形態において、ベクトル化のステップ及び行列形成のステップは省略され得る、すなわち図 1 に示された要素 2 8 及び要素 3 0 は省略され得ることに留意されたい。この省略は、仮想チャネル実現値が

50

$$\bar{\mathbf{H}}_v^{(k)} = \left(\mathbf{S} \bullet \mathbf{H}_{iidg}^{(k)} \right) \mathbf{U}_{TX} \quad \text{式 (18)}$$

として直接に生成され得るために可能となる。

【0035】

行列 \mathbf{U}_{TX} はまた、フル・チャネル共分散行列 \mathbf{H}_{full} から導出され得る。特に、第 i 行第 j 列における \mathbf{U}_{TX} の成分は、 \mathbf{H}_{full} における対応 $n_R \times n_R$ 部分行列のトレース、すなわち

$$[\Phi_{TX}]_{i,j} = \text{tr} \left\{ [\Phi_{full}]_{1+(i-1)n_R : i n_R, 1+(j-1)n_R : j n_R} \right\} \quad \text{式 (19)}$$

10

により与えられる。ここで、 $[A]_{m:n, l:k}$ は A の第 m 行から第 n 行及び第 l 列から第 k 列からなる A の部分行列を示す。

【0036】

一つ以上の実施形態において、送信コントローラ 20 は式 7 ~ 式 10 で説明された反復アルゴリズムにおいて仮想チャネル実現値

$$\{\bar{\mathbf{H}}_v^{(k)}\}_{k=1}^{N_s}$$

の集合を用いるように構成される。すなわち、少なくとも一つの実施形態において、送信コントローラ 20 は、所与の受信機 12 への MIMO 送信の様々な固有モードに対する送信アンテナ 16 の（オプションの）電力割り当てを、この所与の受信機 12 に対する実チャネル実現値の二次統計量から構築された仮想チャネル実現値の対応集合

20

$$\{\bar{\mathbf{H}}_v^{(k)}\}_{k=1}^{N_s}$$

に基づいて決定する。

【0037】

より具体的に、初期ガウス分布チャネル実現値のデフォルト集合からの仮想チャネル実現値の導出は、送信機 10 におけるチャネル実現値のサンプル集合を提供する。このサンプル集合は、実チャネル実現値の二次統計量を反映し、これによって不可欠な量

$$\{E[\text{MMSE}_j]\}_{j=1}^{n_T}$$

30

及び

$$\{E[\text{SINR}_j]\}_{j=1}^{n_T}$$

を以下のように評価するのに用いられ得る。 $j = 1, 2, \dots, n_T$ について、

$$E[\text{MMSE}_j] = \sum_{k=1}^{N_s} \frac{1}{1 + p_j \tilde{\mathbf{h}}_{v,j}^{(k)H} \left(\mathbf{I} + \sum_{i \neq j} p_i \tilde{\mathbf{h}}_{v,i}^{(k)H} \tilde{\mathbf{h}}_{v,i}^{(k)H} \right)^{-1} \tilde{\mathbf{h}}_{v,j}^{(k)}} \quad \text{式 (20)}$$

40

$$E[\text{SINR}_j] = \sum_{k=1}^{N_s} \tilde{\mathbf{h}}_{v,j}^{(k)H} \left(\mathbf{I} + \sum_{i \neq j} p_i \tilde{\mathbf{h}}_{v,i}^{(k)H} \tilde{\mathbf{h}}_{v,i}^{(k)H} \right)^{-1} \tilde{\mathbf{h}}_{v,j}^{(k)} \quad \text{式 (21)}$$

ここで、

$$\tilde{\mathbf{h}}_{v,j}^{(k)}$$

は変換された行列

50

$$\tilde{\mathbf{H}}_v^{(k)} = \bar{\mathbf{H}}_v^{(k)} \mathbf{U}_{TX}$$

の第 i 列を示す。

【0038】

仮想チャネル実現値

$$\{\bar{\mathbf{H}}_v^{(k)}\}_{k=1}^{N_r}$$

の使用により、送信コントローラ 20 は、式 20 及び式 21 に表される加算を介して式 9 及び式 10 に表現される積分を正確に近似するのに十分なサンプル集合が提供されることがわかる。この能力は特に、送信機 10 における実チャネル実現値

10

$$p(\tilde{\mathbf{H}})$$

の確率分布関数の知識に式 9 及び式 10 が依存し、且つこの知識は一般に厄介である十分なチャネル・フィードバックを用いない限り欠けていることを前提とすると有益である。よって、送信コントローラ 20 が実チャネル実現値の確率密度関数に関する一つ以上の積分に基づいて送信プリコーディングのための電力割り当てを算出するように構成される場合に、有利には、送信コントローラ 20 は仮想チャネル実現値の一部又は全部のサンプル集合にわたって平均をとることによってこの積分を近似するように構成されてもよい。

【0039】

当然のことながら、送信コントローラ 20 は、送信プリコーディング重み以外の送信制御パラメータの自身の決定を仮想チャネル実現値に基づいてもよい。例えば、送信プリコーディング重みの決定に加えて又はこれに代えて、送信コントローラ 20 は所与の受信機 12 に対する変調・符号化方式 (MCS) の選択をこの所与の受信機 12 について決定された仮想チャネル実現値に基づいてもよい。例として、逐次干渉キャンセラで動作する所与の受信機 12 への MISO / MIMO 送信に用いられる長期ストリーム毎符号化率

20

$$\{R_i\}_{i=1}^{n_T}$$

は、 $j = 1, 2, \dots, n_T$ について

$$\{\bar{\mathbf{H}}_v^{(k)}\}_{k=1}^{N_r}$$

30

から

$$R_j = \sum_{k=1}^{n_T} \log \left(1 + p_j \tilde{\mathbf{h}}_{v,j}^{(k)H} \left(\mathbf{I} + \sum_{i \neq j} p_i \tilde{\mathbf{h}}_{v,i}^{(k)H} \tilde{\mathbf{h}}_{v,i}^{(k)} \right)^{-1} \tilde{\mathbf{h}}_{v,j}^{(k)} \right) \quad \text{式 (22)}$$

として算出できる。

【0040】

より広範に、仮想チャネル実現値に基づく送信プリコーディング行列の決定と MCS 選択の実行との少なくともいざれかは、本明細書で教示される送信制御の有利且つ非限定的な例として有効である。図 3 は、送信コントローラ 20 がプログラムされてもよい又は別様に実行するように構成されてもよい広範な方法の実施形態を説明する。説明される処理は所与のステップ列を暗示するが、本明細書で教示される送信制御は必ずしも説明される列に限定されない。さらに、説明される処理の全部又は一部は進行ベース又は反復ベースで実行されてもよく、送信機 10 における送信制御 / 通信処理の動作のより大きな集合の一部であってもよい。

40

【0041】

上記の点に留意して、複数アンテナ送信機、例えば送信機 10 からの送信を制御するための説明される方法は、好適にはガウス分布である「テンプレート」チャネル実現値の初

50

期集合を生成するステップ（ステップ100）と、例えば受信機12のうちの所与のもののような宛先受信機における実チャネル実現値についての二次統計量を決定するステップ（ステップ102）と、実チャネル実現値の二次チャネル統計量を反映する仮想チャネル実現値を取得するために二次チャネル統計量に応じてテンプレート・チャネル実現値の初期集合を適応させるステップ（ステップ104）とを有する。本方法はさらに、宛先受信機への送信を制御するために仮想チャネル実現値に応じて一つ以上の送信制御パラメータを決定するステップ（ステップ106）を有する。

【0042】

前述のように、テンプレート・チャネル実現値の初期集合を生成するステップは、記憶された値からこれらを生成するステップ、例えば事前に記憶された独立同分布（IID）ガウス分布のサンプル集合から採用された成分を有する行列を形成するステップを有してもよい。IIDガウス分布行列サンプルの集合

$$\{\mathbf{H}_{iidg}^{(k)}\}_{k=1}^{N_s}$$

が一つ以上の実施形態において用いられ、

$$\{\mathbf{H}_{iidg}^{(k)}\}_{k=1}^{N_s}$$

は事前に算出されて記憶された値から生成されてもよい。すなわち、

$$\{\mathbf{H}_{iidg}^{(k)}\}_{k=1}^{N_s}$$

のサンプルは作業メモリに記憶されて必要に応じてコピーがロードされてもよい。

【0043】

どのように生成されたとしても、

$$\{\mathbf{H}_{iidg}^{(k)}\}_{k=1}^{N_s}$$

で表現されるテンプレート・チャネル実現値は、式13の文脈で説明されたような宛先受信機12における実チャネル実現値の二次統計量を反映するように拡大縮小及び変換を通じて適応される。すなわち、一つ以上の実施形態において、送信コントローラ20は、個別の行列サンプル

$$\mathbf{H}_{iidg}^{(k)}$$

を仮想チャネル実現値

$$\mathbf{H}_v^{(k)}$$

に拡大縮小及び変換するために、サイズ $n_R \times n_T$ の拡大縮小行列Sとサイズ $n_R n_T \times n_R n_T$ のユニタリ行列Uとを用いる。

【0044】

所与の受信機12に対する実チャネル実現値の二次統計量、例えば式12で与えられる白色化チャネル応答の共分散は、所与の受信機12からの受信フィードバックに基づいて決定してもよい。少なくとも一つの実施形態において、二次統計量それ自体がフィードバックされる。よって、所与の受信機12は、自身の白色化チャネル応答の共分散を決定して、この情報を送信機10にフィードバックしてもよい。これに代えて、送信機10は、所与の受信機12からの既知の信号の観測値に基づいて二次統計量を決定してもよい。例えば、送信機10は、所与の受信機12から送信された上りリンク・パイラット（又はそ

10

20

30

40

50

の他の既知の信号)において行われた観測値から二次統計量を導出してもよい。

【0045】

また、これらの技術は、対象のMISO/MIMOチャネル応答が非ゼロ平均を有する場合に直接に適用されることが強調されるべきである。例えば、このような場合において、チャネル共分散行列(二次チャネル統計量)が所与の受信機12によってフィードバックされる又は別様にチャネル共分散行列について決定されるのに加えて、所与の受信機12はまたチャネル応答の長期間の平均又は期待値(一次統計量)をフィードバックしてもよい。仮想チャネル実現値の集合はゼロ平均の場合と同様にして生成され得るが、拡大縮小及びユニタリ変換の前にチャネル応答の平均がIIDガウス分布の行列サンプル

$$\{\mathbf{H}_{iidg}^{(k)}\}_{k=1}^{N_s}$$

10

に加えられることが異なる。

【0046】

本明細書で教示される送信制御はさらに、対象のMISO/MIMOチャネル応答が周波数選択性である場合に容易に拡張できる。例えば、単一の周波数独立プリコーディング行列が所望される場合に、送信コントローラ20は、 Φ_{full} と Φ_{TX} との定義をそれぞれ

$$\Phi_{full} = E \left[\sum_{k=1}^{N_f} \text{vec}(\bar{\mathbf{H}}_f[k]) \text{vec}(\bar{\mathbf{H}}_f[k])^H \right] = E \left[\sum_{n=1}^L \text{vec}(\bar{\mathbf{H}}_t[n]) \text{vec}(\bar{\mathbf{H}}_t[n])^H \right] \quad \text{式 (23)}$$

20

と

$$\Phi_{TX} = E \left[\sum_{k=1}^{N_f} \bar{\mathbf{H}}_f[k]^H \bar{\mathbf{H}}_f[k] \right] = E \left[\sum_{n=1}^L \bar{\mathbf{H}}_t[n]^H \bar{\mathbf{H}}_t[n] \right] \quad \text{式 (24)}$$

ととして修正したMIMO直交周波数分割多重システムに本発明で説明された処理を適用するように構成され得る。ここで、

30

$$\bar{\mathbf{H}}_f[k]$$

はk番目のサブキャリアにおける周波数領域の白色化チャネル応答を示し、

$$\bar{\mathbf{H}}_t[n]$$

は対応するn番目の時間領域のチャネル・タップを示し、 N_f はシステムにおけるサブキャリア数を示し、Lは時間領域のチャネル・タップの最大数を示す。

【0047】

よって、少なくとも一つのこのような実施形態において、送信機10は無線通信ネットワークにおいて動作するように構成されたOFDM送信器を備える。この文脈において、送信コントローラ20は、仮想チャネル実現値に基づいて、二つ以上の送信アンテナ16のそれぞれからOFDMチャンクを送信するために送信プリコーディング重みを算出することによって宛先受信機への送信を制御するために仮想チャネル実現値に応じて一つ以上の送信制御パラメータを決定するように構成される。

40

【0048】

この種々の実施形態のいずれにおいても、二次チャネル統計量に応じた複数アンテナ送信制御は数多くの利点を提供する。例えば、適応されたチャネル実現値が二次統計量を反映するようにデフォルトのガウス分布のチャネル実現値の初期集合を適応させるために実チャネル実現値についての二次統計量を用いることによって、MIMO送信についての最適な長期プリコーディング行列値と対応する長期ストリーム毎符号化率とを算出するため

50

の場合によっては計算量が多く記憶量を必要とするタスクが、受信機ではなく送信機において行われ得る。本アプローチはさらに、宛先受信機が自身の白色化チャネル共分散行列（又は非ゼロ平均フェーディングに平均を加算した共分散）をフィードバックすることを可能にする。

【0049】

このフィードバックの種類は低いシグナリング・オーバヘッドで比較的コンパクトな情報を表す。さらに、二次チャネル統計量（又は一次チャネル統計量）により提供される一般統計情報はまた、典型的には高速フィードバック・リンクを通じてフィードバックされるチャネル品質情報（CQI）を圧縮するようなその他の目的のために用いられてもよい。さらに、少なくとも一部の実施形態において、特に上りリンク及び下りリンクが十分に相關する場合に、送信機は宛先受信機（群）から送信された既知の信号の観測値に基づいて必要な統計量を決定できる。10

【0050】

シグナリング及び算出の効率性が得られるものの、本明細書に教示されるような送信制御に基づく二次統計量の性能は好適には、十分な瞬時チャネル状態フィードバックからIMO送信プリコーディング行列が算出される場合に提供される理想的な閉ループ容量に匹敵する。例えば、図4はIMO-OFDMシステムについて本明細書で教示される送信制御の効率性を見る場合の性能グラフを説明する。全システム帯域幅は高速フーリエ変換（FFT）の大きさが512である5MHzであると仮定する。占有サブキャリアの個数は300であり、これはそれぞれ12個のサブキャリアを有する25個のチャンクに等しく分割される。さらに、サブキャリア間隔は15kHzである。性能は、マイクロセル環境における歩行Bチャネル・プロファイルを有する3GPP空間チャネル・モデルを用いてシミュレーションされる。20

【0051】

上記の仮定及びモデルに留意して、「+」の曲線は、実（瞬時）チャネル実現値を用いて算出された最適なプリコーディング行列によって達成されるエルゴート容量を表す。「x」の曲線は、本明細書の教示のように、実チャネル実現値の二次チャネル統計量に基づいて生成された仮想チャネル実現値を用いて算出されたプリコーディング行列により達成可能なエルゴート容量を表す。プロットにおいて示されるように、実チャネル実現値のより厄介な使用に比較して性能損失は事実上存在しない。30

【0052】

本方法を提供するために、送信コントローラが提供される。複数アンテナ送信機10のための送信コントローラ20は、複数のテンプレート・チャネル実現値を含むテンプレート・チャネル実現値の初期集合を生成するように構成された一つ以上の処理回路21を備える。一つ以上の処理回路21は、宛先受信機12における実チャネル実現値についての二次統計量を決定し、実チャネル実現値の二次チャネル統計量を反映する仮想チャネル実現値の集合を取得するために二次チャネル統計量に応じてテンプレート・チャネル実現値の初期集合を適応させるようにさらに構成される。仮想チャネル実現値の集合は複数の仮想チャネル実現値を含む。さらに、一つ以上の処理回路21は、仮想チャネル実現値の集合の一部又は全部のサンプル集合にわたって平均をとることにより実チャネル実現値に対応する確率密度関数に関する積分を近似することに基づいて、宛先受信機12への送信を制御するために仮想チャネル実現値の集合に応じて一つ以上の送信制御パラメータを決定するように構成される。40

一部の実施形態では、一つ以上の処理回路21は、一つ以上のマイクロプロセッサと、一つ以上のマイクロプロセッサに含まれる又は接続可能なメモリ32内に記憶された対応プログラム命令とを有してもよい。

一部の実施形態では、送信コントローラ20は記憶装置32を含んで又は記憶装置32に関連付けられていてもよく、記憶装置32に記憶されている事前に算出された値からテンプレート・チャネル実現値の初期集合を生成するように構成されてもよい。

一部の実施形態では、送信コントローラ20は、事前に記憶された独立同分布（IID）

10

20

30

40

50

) ガウス分布のサンプル集合からテンプレート・チャネル実現値の初期集合を形成することによって、事前に算出されて記憶された値からテンプレート・チャネル実現値の初期集合を生成するように構成されてもよい。送信コントローラ 20 は、仮想チャネル実現値の集合が二次統計量を反映するように二次統計量に応じてテンプレート・チャネル実現値の初期集合内の初期テンプレート・チャネル実現値を拡大縮小及び変換することにより仮想チャネル実現値の集合内の各仮想チャネル実現値を形成することによって、仮想チャネル実現値の集合を取得するために二次チャネル統計量に応じてテンプレート・チャネル実現値の初期集合を適応させるようにさらに構成されてもよい。

一部の実施形態では、送信コントローラ 20 は、仮想チャネル実現値の集合から送信プリコーディングのための電力割り当てを算出することによって、仮想チャネル実現値の集合に応じて一つ以上の送信制御パラメータを決定するように構成されてもよい。10

一部の実施形態では、送信コントローラ 20 は、仮想チャネル実現値の集合の一部又は全部のサンプル集合にわたって平均をとることに基づいて、実チャネル実現値に対応する確率密度関数に関する積分を近似することに依存して最適な送信アンテナ電力割り当てを繰り返し算出することによって、前記仮想チャネル実現値の集合から送信プリコーディングのための電力割り当てを算出するように構成されてもよい。

一部の実施形態では、送信コントローラ 20 は、仮想チャネル実現値の集合に基づいて宛先受信機 12 に対する変調・符号化方式 (MCS) を選択することによって、仮想チャネル実現値の集合に応じて一つ以上の送信制御パラメータを決定するように構成されてもよい。20

一部の実施形態では、送信コントローラ 20 は、送信機 10 において受信した宛先受信機 12 からの既知の信号の観測値に基づいて二次統計量を算出することによって、宛先受信機 12 における実チャネル実現値についての二次統計量を決定するように構成されてもよい。

一部の実施形態では、送信コントローラ 20 は、宛先受信機 12 からのフィードバックに基づいて二次統計量を決定することによって、宛先受信機 12 における実チャネル実現値についての二次統計量を決定するように構成されてもよい。

一部の実施形態では、送信コントローラ 20 は、宛先受信機 12 から二次統計量を受信することによって、宛先受信機 12 からのフィードバックに基づいて二次統計量を決定するように構成されてもよい。30

一部の実施形態では、送信コントローラ 20 は、実チャネル実現値に対する白色化チャネル実現値についての二次統計量を決定することによって、宛先受信機 12 における実チャネル実現値についての二次統計量を決定するように構成されてもよい。

一部の実施形態では、送信コントローラ 20 は、白色化チャネル応答の共分散を決定することによって、実チャネル実現値に対する白色化チャネル実現値についての二次統計量を決定するように構成されてもよい。

一部の実施形態では、送信コントローラ 20 は、宛先受信機 12 からのフィードバックとして白色化チャネル応答に関する共分散情報を受信することによって、白色化チャネル応答の共分散を決定するように構成されてもよい。

一部の実施形態では、送信コントローラ 20 は、白色化チャネル応答の共分散に基づいてテンプレート・チャネル実現値の初期集合を拡大縮小及び変換することによって、二次チャネル統計量に応じてテンプレート・チャネル実現値の初期集合を適応させるように構成されてもよい。40

一部の実施形態では、送信機 10 は無線通信ネットワーク 14 において動作するように構成された直交周波数分割多重 (OFDM) 送信器を備えてもよい。送信コントローラ 20 は、仮想チャネル実現値の集合に基づいて、二つ以上の送信アンテナ 16 のそれぞれから OFDM チャンクを送信するための送信プリコーディング重みを算出することによって、宛先受信機 12 への送信を再御するために仮想チャネル実現値の集合に応じて一つ以上の送信制御パラメータを決定するように構成されてもよい。

一部の実施形態では、送信機 10 は無線通信ネットワークにおいて動作するように構成

10

20

30

40

50

された多入力多出力（MIMO）送信器を備えててもよい。送信コントローラ20は、仮想チャネル実現値の集合に基づいて、二つ以上の送信アンテナ16のそれぞれから宛先受信機12へ送信するための送信プリコーディング重みを算出することによって、宛先受信機12への送信を再御するために仮想チャネル実現値の集合に応じて一つ以上の送信制御パラメータを決定するように構成されてもよい。

上記の例及びその他の変形及び拡張を考慮に入れて、当業者は前述の説明及び添付の図面が、二次チャネル統計量に基づく送信制御について本明細書で教示される方法及び装置の非限定的な例を表すことを理解するだろう。このようなものとして、本発明は前述の説明及び添付の図面により限定されない。その代わりに、本発明は後続の特許請求の範囲及びその法的な均等物によってのみ限定される。

【図1】

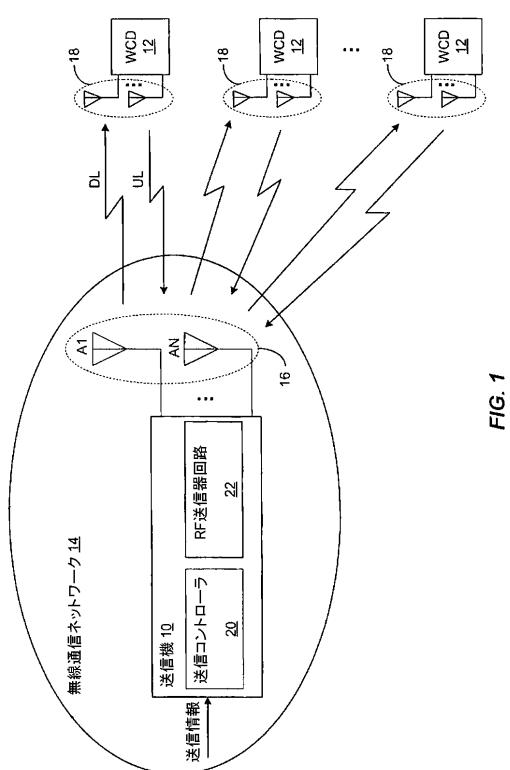


FIG. 1

【図2】

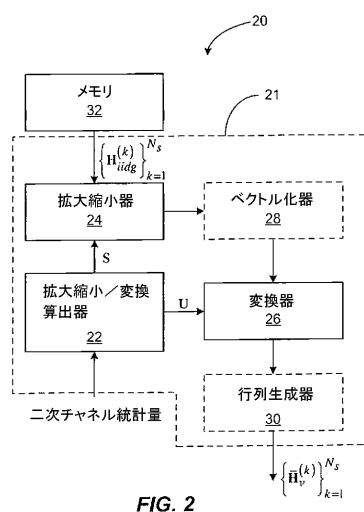


FIG. 2

【図3】

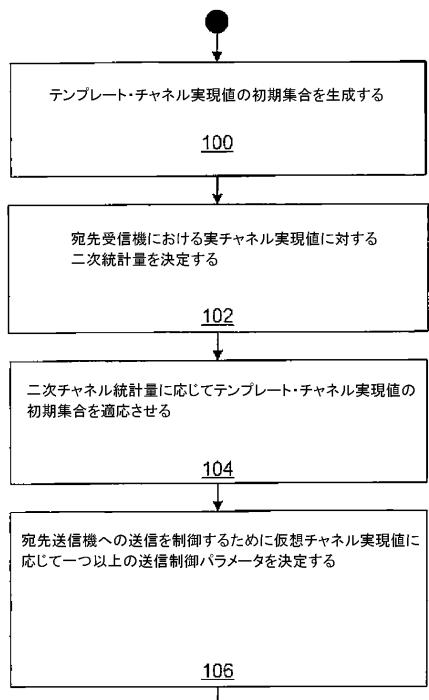


FIG. 3

【図4】

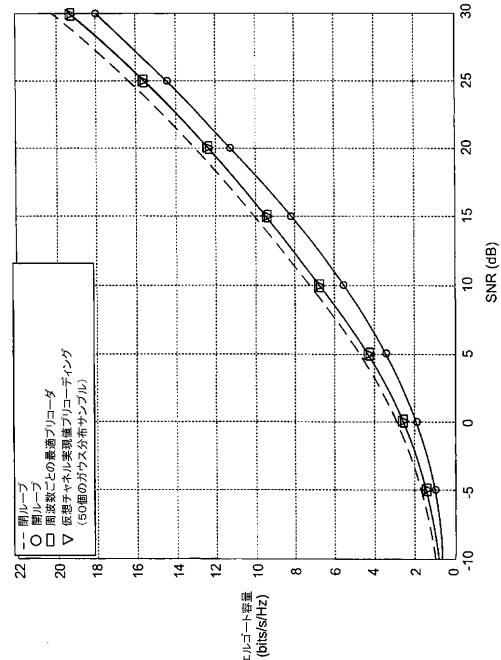


FIG. 4

フロントページの続き

(74)代理人 100161399

弁理士 大戸 隆広

(72)発明者 ホイ, デニス

アメリカ合衆国 ノースカロライナ州 27519, カリー, カーペンター タウン レーン
1401

(72)発明者 クラスニー, レオニード

アメリカ合衆国 ノースカロライナ州 27511, カリー, グレイ メアズ レーン 11
1

審査官 大野 友輝

(56)参考文献 米国特許出願公開第2006/0039497(US, A1)

米国特許出願公開第2007/0174038(US, A1)

米国特許出願公開第2004/0066761(US, A1)

特表2006-503485(JP, A)

国際公開第2007/058264(WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04J 99/00

H04B 7/04

H04J 11/00

IEEE Xplore

Cini