

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5478525号  
(P5478525)

(45) 発行日 平成26年4月23日(2014.4.23)

(24) 登録日 平成26年2月21日(2014.2.21)

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

請求項の数 7 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2011-18194 (P2011-18194)	(73) 特許権者	000004226
(22) 出願日	平成23年1月31日(2011.1.31)		日本電信電話株式会社
(65) 公開番号	特開2012-160844 (P2012-160844A)		東京都千代田区大手町一丁目5番1号
(43) 公開日	平成24年8月23日(2012.8.23)	(74) 代理人	110001634
審査請求日	平成24年12月14日(2012.12.14)		特許業務法人 志賀国際特許事務所
		(72) 発明者	工藤 理一
			東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日 本電信電話株式会社内
		(72) 発明者	石原 浩一
			東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日 本電信電話株式会社内
		(72) 発明者	浅井 裕介
			東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日 本電信電話株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 送信方法、及び送信装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

M個の第1のアンテナ素子を用いて、第2のアンテナ素子を備える1つ以上の通信相手に対して、Mより小さい数であるL個の通信データを同一周波数で同時に送信する送信方法であって、

前記M個の第1のアンテナ素子とj番目の通信相手が有する $N_j$ 個の第2のアンテナ素子とのそれぞれの間のチャネル情報を表す $N_j \times M$ のチャネル行列について、M次元からK次元( $M > K$  L)にチャネル情報を投影する $M \times K$ の変換行列を計算するための固定ウエイトを算出する固定ウエイト計算ステップと、

前記 $N_j \times M$ のチャネル行列を、前記固定ウエイトにより $N_j \times K$ のチャネル行列に圧縮する固定ウエイト次元圧縮ステップと、

前記次元を圧縮されたチャネル情報を用いて、 $K \times L$ の送信ウエイト、符号化率、及び変調方式、を決定する送信モード決定ステップと、

$M \times K$ の固定ウエイトに前記決定された $K \times L$ の送信ウエイトを乗算することで、M次元に展開し、L系列の送信信号をM個の送信アンテナから送信するウエイトを得る固定ウエイト次元展開ステップと、

前記生成されたL系列の送信信号を、各送信アンテナから送信する送信ステップとを備えることを特徴とする送信方法。

【請求項2】

M個の第1のアンテナ素子を用いて、第2のアンテナ素子を備える1つ以上の通信相手

10

20

に対して、 $M$ より小さい数である $L$ 個の通信データを同一周波数で同時に送信する送信方法であって、

前記 $M$ 個の第1のアンテナ素子と $j$ 番目の通信相手が有する $N_j$ 個の第2のアンテナ素子とのそれぞれの間のチャンネル情報を表す $M \times N_j$ のチャンネル行列について、 $M$ 次元から $K$ 次元 ( $M > K$   $L$ ) にチャンネル情報を投影する $M \times K$ の変換行列を、周波数チャンネル毎に計算するための固定ウエイトを算出する固定ウエイト計算ステップと、

前記 $M \times N$ のチャンネル行列を、前記固定ウエイトにより $K$ 次元に圧縮する固定ウエイト次元圧縮ステップと、

前記次元を圧縮されたチャンネル情報を用いて、送信ウエイトを決定する送信モード決定ステップと、

$M \times K$ の固定ウエイトに前記決定された $K \times L$ の送信ウエイトを乗算することで、 $M$ 次元に展開し、 $L$ 系列の送信信号を $M$ 個の送信アンテナから送信するウエイトを得る固定ウエイト次元展開ステップと、

前記生成された複数の周波数チャンネルに対応する $M$ 系列の信号を逆フーリエ変換により時系列の信号に変換し、ガードインターバルの挿入を行う逆フーリエ変換ステップと、

前記逆フーリエ変換により生成された $M$ 系列の送信信号を、各送信アンテナから送信する送信ステップと

を備えることを特徴とする送信方法。

#### 【請求項3】

前記固定ウエイト計算ステップは、

前記 $M$ 個のアンテナ素子と $U$ 個の前記通信相手が備える第2のアンテナ素子との間の ( $N_1 + N_2 + \dots + N_U$ )  $\times M$ の集合チャンネル行列の、固有値の高いものに対応する $K$ 個の固有ベクトルを、固定ウエイトとして決定する

ことを特徴とする請求項1または2に記載の送信方法。

#### 【請求項4】

前記固定ウエイト計算ステップは、

前記 $M$ 個のアンテナ素子と、前記通信相手ではない無線端末の備える前記 $N$ 個のアンテナ素子との間のチャンネル行列から得られる固有値が大きいものに対応する固有ベクトルと直交する $K$ 個の基底ベクトルを、固定ウエイトとして決定する

ことを特徴とする請求項1または2に記載の送信方法。

#### 【請求項5】

前記 $K$ は、2の階乗の値とする、

ことを特徴とする請求項1から3のいずれかに記載の送信方法。

#### 【請求項6】

$M$ 個の第1のアンテナ素子を用いて、第2のアンテナ素子を備える1つ以上の通信相手に対して、 $M$ より小さい数である $L$ 個の通信データを、同一周波数で同時に送信する送信装置であって、

前記 $M$ 個の第1のアンテナ素子と $j$ 番目の通信相手が有する $N_j$ 個の第2のアンテナ素子とのそれぞれの間のチャンネル情報に対応する $N_j \times M$ のチャンネル行列について、 $M$ 次元から $K$ 次元にチャンネル情報を投影する $M \times K$ の変換行列を計算するための固定ウエイトを算出する固定ウエイト計算回路と、

前記 $N_j \times M$ のチャンネル行列を、前記固定ウエイト計算回路により算出された前記固定ウエイトにより $K$ 次元に圧縮する固定ウエイト次元圧縮回路と、

前記固定ウエイト次元圧縮回路により次元を圧縮されたチャンネル情報を用いて、送信ウエイト、符号化率、及び変調方式を決定する送信モード決定回路と、

前記送信モード決定回路により決定された符号化率、及び変調方式、またはこれらのうち少なくとも一つを用いて変調を行う変調回路と、

前記変調回路により変調された送信信号に送信ウエイトを乗算する送信ウエイト乗算回路と、

前記送信ウエイト乗算回路により生成された送信信号を $M$ 次元に展開するために、固定

10

20

30

40

50

ウエイトを乗算し、M系列の送信信号を生成する固定ウエイト次元展開回路と、

前記固定ウエイト次元展開回路により生成されたM系列の送信信号を、各送信アンテナから送信する無線部と

を備えることを特徴とする送信装置。

【請求項7】

M個の第1のアンテナ素子を用いて、第2のアンテナ素子を備える1つ以上の通信相手に対し、Mより小さい数であるL個の通信データを同一周波数で同時に送信する送信装置であって、

前記M個の第1のアンテナ素子とj番目の通信相手が有する $N_j$ 個の第2のアンテナ素子とのそれぞれの間のチャンネル情報に対応する $N_j \times M$ のチャンネル行列について、M次元からK次元にチャンネル情報を投影する $M \times K$ の変換行列を計算するための固定ウエイトを算出する固定ウエイト計算回路と、

前記 $N_j \times M$ のチャンネル行列を、前記固定ウエイト計算回路により算出された前記固定ウエイトによりK次元に圧縮する固定ウエイト次元圧縮回路と、

前記固定ウエイト次元圧縮回路により次元を圧縮されたチャンネル情報を用いて、送信ウエイト、符号化率、及び変調方式を決定する送信モード決定回路と、

前記送信モード決定回路により決定された符号化率、及び変調方式、またはこれらのうち少なくとも一つを用いて変調を行う変調回路と、

前記変調回路により変調された送信信号に送信ウエイトを乗算する送信ウエイト乗算回路と、

前記送信ウエイト乗算回路により生成された送信信号をM次元に展開するために、固定ウエイトを乗算し、M系列の送信信号を生成する固定ウエイト次元展開回路と、

前記固定ウエイト次元展開回路により生成された複数の周波数チャンネルに対応するM系列の信号を逆フーリエ変換により時系列の信号に変換し、ガードインターバルの挿入を行う逆フーリエ変換回路と、

前記逆フーリエ変換回路により生成されたM系列の送信信号を、前記M個の第1のアンテナ素子から送信する無線部と

を備えることを特徴とする送信装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、同一の周波数チャンネルを用い、異なる複数の送信アンテナより独立な信号系列を空間多重し、1つ以上の通信相手に送信する高速無線アクセスシステムにおける送信方法、及び送信装置に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、2.4GHz帯、または5GHz帯を用いた高速無線アクセスシステムとして、IEEE802.11g規格、IEEE802.11a規格などの普及が目覚しい。これらのシステムでは、マルチパスフェージング環境での通信品質特性を安定化させるための技術である直交周波数分割多重(OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing)変調方式を用い、最大で54Mbpsの物理層伝送速度を実現している。

【0003】

但し、ここでの伝送速度とは、物理レイヤ上での伝送速度であり、実際には、MAC(Medium Access Control)レイヤでの伝送効率が50~70%程度である。このため、実際のスループットの上限值は、30Mbps程度であり、情報交換を必要とする通信相手が増えれば、この特性は更に低下する。一方で、有線LANの世界では、Ethernet(登録商標)の100Base-Tインタフェースをはじめ、各家庭にも光ファイバを用いたFTH(Fiber to the home)の普及から、100Mbpsの高速回線の提供が普及しており、無線LANの世界においても更なる伝送速度の高速化が求められている。

【0004】

10

20

30

40

50

そのための技術として、IEEE 802.11nにおいて、空間多重送信技術としてMIMO (Multiple input multiple output) 技術が導入された。さらに、IEEE 802.11acでは、マルチユーザMIMO送信方法が検討されている(例えば、非特許文献1参照)。いずれも送信アンテナ数を増大させることにより、伝送品質やスループットを増大することが可能となるが、アンテナ数が増大すると、演算負荷が増大することとなり、送信に先立って決定すべき変調方式や、符号化率からなる伝送モードや、NAV (Network Allocation Vector)などで指定する非送信区間の長さについて、瞬時に決定することが難しい問題がある。

#### 【0005】

先行技術について、送信装置のアンテナ素子数をM、通信相手の数をU、通信相手の受信アンテナ素子数をNとし、送信方法の例を示す。図4は、伝搬環境に最適となるように送信指向性を制御し、空間多重により伝送速度を向上させる、従来技術におけるBD指向性制御法を適用した送信部の構成例を示すブロック図である。符号900は、データ分割回路、901-1~901-Lは、変調回路、902は、送信ウエイト乗算回路、903-1~903-Mは、無線部、904-1~904-Mは、アンテナ素子、910は、送信ウエイト演算決定回路である。

#### 【0006】

アンテナ904-1~904-M、及び無線部903-1~903-Mは、無線信号の送受信を行うことが可能であり、また、これらを介して送信部の各アンテナ904-1~904-Mと通信相手の各アンテナ間のチャンネル応答行列を推定する。このチャンネル応答行列の取得方法は、ここでは明記しないが、アンテナ904-1~904-Mにおいて既知信号の受信を行った際に得られる情報を元に推定するか、もしくは受信信号に含まれる送信側で推定したチャンネル情報についてのフィードバック情報を用いて、チャンネル行列の情報が取得される。送信を行う通信相手が決定されると、チャンネル行列情報を用いて、送信ウエイト演算回路910では、MIMO技術、もしくはマルチユーザMIMO技術に用いる送信ウエイト等を算出する。すなわち、送信ウエイトと、変調方式や符号化率からなる変調モードとを決定し、データ分割回路900、変調回路901-1~901-L、送信ウエイト乗算回路902に出力する。

#### 【0007】

次に、送信データが、データ分割回路900へ入力され、指定された信号系列に分割され、変調回路901-1~901-Lで変調されて、送信ウエイト乗算回路902へ出力される。ここではプリアンブル信号等が付与され、符号化された後、無線部903-1~903-Mに入力され、アンテナ904-1~904-Mを介して無線信号として送信される。

#### 【0008】

M個の送信アンテナとi番目の通信相手に対するチャンネル情報を、チャンネル応答行列 $H_i$  ( $M \times N$ 行列)で表す。すると、MIMO送信における「送信ウエイト」として例えば、 $H_i$ の相関行列 $H_i^H H_i$  ( $M \times M$ 行列)の「固有ベクトル」を用いることができ、「通信品質」は「固有値」から推定できる。ここで、上付き文字のHはエルミート転置を表す。

#### 【0009】

なお、 $i = 1, 2, 3$ の通信相手にマルチユーザMIMO送信を行う場合には、通信相手1に対しての送信ウエイトに対し、通信相手( $i = 2$ と3)に対するヌル空間が形成されるベクトル群を計算する。具体的には、 $2N \times M$ の集合行列( $H_2^T \ H_3^T$ )<sup>T</sup>に対して特異値分解を行い、得られる右特異行列のうち、特異値に対応しない( $M - 2N$ )個の $M \times 1$ ベクトルからなる行列( $\ ) V_1^{(n)}$ を算出する(数式(1)参照)。行列( $\ ) V_1^{(n)}$ がヌル空間が形成されるベクトル群に対応する。上付き文字のTは転置を表す。

#### 【0010】

10

20

30

40

【数 1】

$$\begin{pmatrix} \mathbf{H}_2 \\ \mathbf{H}_3 \end{pmatrix} = \bar{\mathbf{U}}_1 (\bar{\mathbf{D}}_1 \quad \mathbf{0}) (\bar{\mathbf{V}}_1^{(s)} \quad \bar{\mathbf{V}}_1^{(n)})^H \quad \dots\dots\dots (1)$$

【0011】

この行列を  $\mathbf{H}_1$  に乗算することで、通信相手 ( $i = 2$  と  $3$ ) に干渉を生じないヌルチャネル行列  $\mathbf{H}_1 (\quad) \mathbf{V}_1^{(n)}$  を計算し、このヌルチャネル行列の相関行列  $(\quad) \mathbf{V}_1^{(n)H} \mathbf{H}_1 \mathbf{H}_1^H \mathbf{H}_1 (\quad) \mathbf{V}_1^{(n)}$  の固有ベクトル ( $\sim$ )  $\mathbf{V}_1^{(s)}$  と  $(\quad) \mathbf{V}_1^{(n)}$  から、送信ウエイト  $(\quad) \mathbf{V}_1^{(n)}$  ( $\sim$ )  $\mathbf{V}_1^{(s)}$  を決定できる。通信ストリーム数 (無線空間を同時に並列送信される通信データの数) を  $L$  とすると、送信ウエイトは行列  $(\quad) \mathbf{V}_1^{(n)}$  ( $\sim$ )  $\mathbf{V}_1^{(s)}$  から  $L$  個の列ベクトルを選択し、 $M \times L$  の送信ウエイトを得ることができる。通信品質を、相関行列  $(\quad) \mathbf{V}_1^{(n)H} \mathbf{H}_1 \mathbf{H}_1^H \mathbf{H}_1 (\quad) \mathbf{V}_1^{(n)}$  の固有値から推定することもできる。また、マルチユーザ MIMO のウエイトとして、相関行列  $(\quad) \mathbf{V}_1^{(n)H} \mathbf{H}_1 \mathbf{H}_1^H \mathbf{H}_1 (\quad) \mathbf{V}_1^{(n)}$  にグラムシュミットの直交化法などの線形の演算によりベクトルを求め、ベクトル群  $(\quad) \mathbf{V}_1^{(n)}$  に乗算して得られた行列から、 $L$  個のベクトルを選び、 $M \times L$  行列の送信ウエイトとすることもできる。

10

【0012】

または、 $i$  番目の通信相手に対し、 $i$  番目の通信相手に対応するチャネル行列  $\mathbf{H}_i$  の固有ベクトル、グラムシュミットの直交化法で得られる基底ベクトル、または線形演算で得られるベクトルを  $i$  番目の通信相手に対する送信ウエイトとすることができる。

20

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0013】

【非特許文献 1】 Q. H. Spencer, C. B. Peel, A. L. Swindlehurst, and M. Haardt, "An introduction to the multi-user MIMO downlink," IEEE Comm. Magazine, Oct. 2004, pp. 60-67.

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

30

【0014】

しかしながら、従来技術における MIMO のビームフォーミングでは、通信相手となる受信局の各アンテナと、送信局のアンテナの全ての組合せに相当する数のチャネル情報を推定し、それにより構成されるチャネル行列を算出して、送信ウエイトを決定してデータを送信する。そのため、将来の無線通信システムにおいて、送信アンテナ数を増やしていくと、MIMO 送信においても、マルチユーザ MIMO 送信においても、送信アンテナ数の増加に伴って、送信ウエイトの演算負荷が増大し、実装が困難になるという問題がある。これは、定められた時間内に伝送モード、通信ユーザや、その組み合わせ、パケット長などを決定する必要がある無線システムにおいて大きな障害となる。

【0015】

40

本発明は、このような事情を考慮してなされたものであり、その目的は、複数の通信相手に対し、同一時間、同一周波数帯において、送信ウエイトの演算、及び伝送モードのための演算負荷を低減することができ、また、送信アンテナ素子を増大することができる送信方法、及び送信装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0016】

上述した課題を解決するために、本発明は、 $M$  個の第 1 のアンテナ素子を用いて、第 2 のアンテナ素子を備える 1 つ以上の通信相手に対して、 $M$  より小さい数である  $L$  個の通信データを同一周波数で同時に送信する送信方法であって、前記  $M$  個の第 1 のアンテナ素子と  $j$  番目の通信相手が有する  $N_j$  個の第 2 のアンテナ素子とのそれぞれの間のチャネル情報

50

を表す  $N_j \times M$  のチャネル行列について、 $M$  次元から  $K$  次元 ( $M > K \geq L$ ) にチャネル情報を投影する  $M \times K$  の変換行列を計算するための固定ウエイトを算出する固定ウエイト計算ステップと、前記  $N_j \times M$  のチャネル行列を、前記固定ウエイトにより  $N_j \times K$  のチャネル行列に圧縮する固定ウエイト次元圧縮ステップと、前記次元を圧縮されたチャネル情報を用いて、 $K \times L$  の送信ウエイト、符号化率、及び変調方式、を決定する送信モード決定ステップと、 $M \times K$  の固定ウエイトに前記決定された  $K \times L$  の送信ウエイトを乗算することで、 $M$  次元に展開し、 $L$  系列の送信信号を  $M$  個の送信アンテナから送信するウエイトを得る固定ウエイト次元展開ステップと、前記生成された  $L$  系列の送信信号を、各送信アンテナから送信する送信ステップとを備えることを特徴とする送信方法である。

【0017】

上述した課題を解決するために、本発明は、 $M$  個の第 1 のアンテナ素子を用いて、第 2 のアンテナ素子を備える 1 つ以上の通信相手に対して、 $M$  より小さい数である  $L$  個の通信データを同一周波数で同時に送信する送信方法であって、前記  $M$  個の第 1 のアンテナ素子と  $j$  番目の通信相手が有する  $N_j$  個の第 2 のアンテナ素子とのそれぞれの間のチャネル情報  
を表す  $M \times N_j$  のチャネル行列について、 $M$  次元から  $K$  次元 ( $M > K \geq L$ ) にチャネル情報を投影する  $M \times K$  の変換行列を、周波数チャネル毎に計算するための固定ウエイトを算出する固定ウエイト計算ステップと、前記  $M \times N$  のチャネル行列を、前記固定ウエイトにより  $K$  次元に圧縮する固定ウエイト次元圧縮ステップと、前記次元を圧縮されたチャネル情報を用いて、送信ウエイトを決定する送信モード決定ステップと、 $M \times K$  の固定ウエイト  
に前記決定された  $K \times L$  の送信ウエイトを乗算することで、 $M$  次元に展開し、 $L$  系列の送信信号を  $M$  個の送信アンテナから送信するウエイトを得る固定ウエイト次元展開ステップと、前記生成された複数の周波数チャネルに対応する  $M$  系列の信号を逆フーリエ変換により時系列の信号に変換し、ガードインターバルの挿入を行う逆フーリエ変換ステップと、前記逆フーリエ変換により生成された  $M$  系列の送信信号を、各送信アンテナから送信する送信ステップとを備えることを特徴とする送信方法である。

【0018】

本発明は、上記の発明において、前記固定ウエイト計算ステップは、前記  $M$  個のアンテナ素子と  $U$  個の前記通信相手が備える第 2 のアンテナ素子との間の  $(N_1 + N_2 + \dots + N_U) \times M$  の集合チャネル行列の、固有値の高いものに対応する  $K$  個の固有ベクトルを、固定ウエイトとして決定することを特徴とする。

【0019】

本発明は、上記の発明において、前記固定ウエイト計算ステップは、前記  $M$  個のアンテナ素子と、前記通信相手ではない無線端末の備える前記  $N$  個のアンテナ素子との間のチャネル行列から得られる固有値が大きいものに対応する固有ベクトルと直交する  $K$  個の基底ベクトルを、固定ウエイトとして決定することを特徴とする。

【0020】

本発明は、上記の発明において、前記  $K$  は、2 の階乗の値とする、ことを特徴とする。

【0021】

また、上述した課題を解決するために、本発明は、 $M$  個の第 1 のアンテナ素子を用いて、第 2 のアンテナ素子を備える 1 つ以上の通信相手に対して、 $M$  より小さい数である  $L$  個の通信データを、同一周波数で同時に送信する送信装置であって、前記  $M$  個の第 1 のアンテナ素子と  $j$  番目の通信相手が有する  $N_j$  個の第 2 のアンテナ素子とのそれぞれの間のチャネル情報に対応する  $N_j \times M$  のチャネル行列について、 $M$  次元から  $K$  次元にチャネル情報を投影する  $M \times K$  の変換行列を計算するための固定ウエイトを算出する固定ウエイト計算回路と、前記  $N_j \times M$  のチャネル行列を、前記固定ウエイト計算回路により算出された前記固定ウエイトにより  $K$  次元に圧縮する固定ウエイト次元圧縮回路と、前記固定ウエイト次元圧縮回路により次元を圧縮されたチャネル情報を用いて、送信ウエイト、符号化率、及び変調方式を決定する送信モード決定回路と、前記送信モード決定回路により決定された符号化率、及び変調方式、またはこれらのうち少なくとも一つを用いて変調を行う変調回路と、前記変調回路により変調された送信信号に送信ウエイトを乗算する送信ウエ

10

20

30

40

50

イト乗算回路と、前記送信ウエイト乗算回路により生成された送信信号をM次元に展開するために、固定ウエイトを乗算し、M系列の送信信号を生成する固定ウエイト次元展開回路と、前記固定ウエイト次元展開回路により生成されたM系列の送信信号を、各送信アンテナから送信する無線部とを備えることを特徴とする送信装置である。

【0022】

また、上述した課題を解決するために、本発明は、M個の第1のアンテナ素子を用いて、第2のアンテナ素子を備える1つ以上の通信相手に対し、Mより小さい数であるL個の通信データを同一周波数で同時に送信する送信装置であって、前記M個の第1のアンテナ素子とj番目の通信相手が有する $N_j$ 個の第2のアンテナ素子とのそれぞれの間のチャンネル情報に対応する $N_j \times M$ のチャンネル行列について、M次元からK次元にチャンネル情報を投影する $M \times K$ の変換行列を計算するための固定ウエイトを算出する固定ウエイト計算回路と、前記 $N_j \times M$ のチャンネル行列を、前記固定ウエイト計算回路により算出された前記固定ウエイトによりK次元に圧縮する固定ウエイト次元圧縮回路と、前記固定ウエイト次元圧縮回路により次元を圧縮されたチャンネル情報を用いて、送信ウエイト、符号化率、及び変調方式を決定する送信モード決定回路と、前記送信モード決定回路により決定された符号化率、及び変調方式、またはこれらのうち少なくとも一つを用いて変調を行う変調回路と、前記変調回路により変調された送信信号に送信ウエイトを乗算する送信ウエイト乗算回路と、前記送信ウエイト乗算回路により生成された送信信号をM次元に展開するために、固定ウエイトを乗算し、M系列の送信信号を生成する固定ウエイト次元展開回路と、前記固定ウエイト次元展開回路により生成された複数の周波数チャンネルに対応するM系列の信号を逆フーリエ変換により時系列の信号に変換し、ガードインターバルの挿入を行う逆フーリエ変換回路と、前記逆フーリエ変換回路により生成されたM系列の送信信号を、前記M個の第1のアンテナ素子から送信する無線部とを備えることを特徴とする送信装置である。

【発明の効果】

【0023】

この発明によれば、複数の通信相手に対し、同一時間、同一周波数帯において、送信ウエイトの演算、及び伝送モードのための演算負荷を低減することができ、また、送信アンテナ素子を増大することができる。

【図面の簡単な説明】

【0024】

【図1】本発明の第1実施形態における送信部の構成例を示すブロック図である。

【図2】本発明の第2実施形態における送信部の構成例を示すブロック図である。

【図3】本発明の第1、第2実施形態による送信方法を説明するためのフローチャートである。

【図4】従来技術におけるBD指向性制御法を適用した送信部の構成例を示すブロック図である。

【図5】本発明の固定ウエイトの更新頻度が少なくてもよいことを示すシミュレーション結果を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0025】

以下、本発明の一実施形態を、図面を参照して説明する。

発明では、送信ウエイトに対して、さらに行列の次元が小さい固定ウエイトを乗算することにより、算出すべきウエイトの数を低減することによって演算量を削減することを特徴としている。具体的には、チャンネル行列によりも要素数の少ない固定ウエイトをチャンネル行列に乗算することによって、チャンネル行列の要素数を減らし（圧縮し）、そのチャンネル行列上で各計算を行うことによって演算量を低減する。また、信号を送信する際には、圧縮したチャンネル行列に基づいて算出した送信ウエイトに固定ウエイトを乗算して、各アンテナのウエイトを算出する。なお、固定ウエイトとしては、ユーザ間のチャンネル相関の低いものを選択する方法、あるいは、ユーザ間で干渉の生じにくいものを選択する方法を

採用する。

【 0 0 2 6 】

A . 第 1 実施形態

図 1 は、本発明の第 1 実施形態における送信部の構成例を示すブロック図である。図 1 において、100 は、データ分割回路、101 - 1 ~ 101 - L は、変調回路、102 は、送信ウエイト乗算回路、103 - 1 ~ 103 - M は、無線部、104 - 1 ~ 104 - M は、アンテナ素子、105 は、固定ウエイト次元展開回路、110 は、送信ウエイト演算回路、111 は、固定ウエイト演算回路である。なお、上記 L は、2 の階乗の値とする。

【 0 0 2 7 】

アンテナ 104 - 1 ~ 104 - M、及び無線部 103 - 1 ~ 103 - M は、無線信号の送受信を行うことが可能であり、また、これらを介して送信部の各アンテナ 104 - 1 ~ 104 - M と通信相手の各アンテナ間の全体チャネル行列を推定することができる。このチャネル応答行列の取得方法は、ここでは明記しないが、アンテナ 104 - 1 ~ 104 - M において既知信号の受信を行った際に得られる情報を元に推定するか、もしくは受信信号に含まれる送信側で推定したチャネル情報についてのフィードバック情報に含まれる情報によって、チャネル行列の情報を取得する。

10

【 0 0 2 8 】

i 番目の通信相手に対する全体チャネル行列は  $H_i$  と表せ、 $N_i \times M$  の行列となる ( $N_i$  は i 番目の通信相手の受信アンテナ数)。固定ウエイト演算回路 105 は、 $H_i$  を用いて固定ウエイト  $W$  ( $M \times K$  行列) を算出する。固定ウエイト  $W$  の求め方の例については後述する。

20

【 0 0 2 9 】

送信ウエイト演算回路 110 は、次式 (2) で表される圧縮チャネル行列  $H_i'$  を用いて送信ウエイト及び通信品質を評価する。

【 0 0 3 0 】

【 数 2 】

$$H_i' = H_i W \dots\dots\dots (2)$$

30

【 0 0 3 1 】

圧縮チャネル行列を各通信相手に対するチャネル行列とみなして、従来と同様の計算で MIMO 送信、及びマルチユーザ MIMO 送信における送信ウエイトを算出できる。しかし、 $H_i'$  は、行列のサイズが、 $N_i \times K$  であり、 $H_i$  が  $N_i \times M$  であるのに対し、行列のサイズが小さくなっている。このため、相関行列  $H_i'^H H_i'$  の固有ベクトルの演算も  $K \times K$  の行列に対して用いることができ、マルチユーザ MIMO の演算においても、数式 (1) のような特異値分解でも右特異行列の行列サイズが小さくなるため、演算負荷が著しく低減される。このため、送信ウエイトや、伝送品質の推定が低い演算負荷で行なえる。

40

【 0 0 3 2 】

一般に、 $M \times M$  の行列の固有ベクトルや、特異値の演算は、 $M$  の 3 乗のオーダーの計算となる。このため、例えば、送信 16 素子のアンテナを有する送信装置において、 $K = 8$  として固定ウエイト  $W$  を用いたとすると、圧縮チャネル行列  $H_i'$  の固有ベクトルの演算は、元の全体チャネル行列  $H_i$  の  $1 / 8$  になり、著しく演算負荷を削減することが確認できる。

【 0 0 3 3 】

B . 第 2 実施形態

次に、本発明の第 2 実施形態について説明する。

図 2 は、本発明第 2 実施形態 (周波数毎にウエイト処理を行う形態) における送信部の

50

構成例を示すブロック図である。図 2 において、200 は、データ分割回路、201 - 1 ~ 201 - L は、変調回路、202 は、送信ウエイト乗算回路、203 - 1 ~ 203 - M は、無線部、204 - 1 ~ 204 - M は、アンテナ素子、205 は、固定ウエイト次元展開回路、206 - 1 ~ 206 - M は、IDFT（逆フーリエ変換回路）、210 は、送信ウエイト演算回路、211 は、固定ウエイト演算回路である。

【0034】

アンテナ 204 - 1 ~ 204 - M、及び無線部 203 - 1 ~ 203 - M は、無線信号の送受信を行うことが可能であり、また、これらを介して送信部の各アンテナ 204 - 1 ~ 204 - M と通信相手の各アンテナ間の全体チャネル行列を推定することができる。このチャネル応答行列の取得方法は、ここでは明記しないが、アンテナ 204 - 1 ~ 204 - M において既知信号の受信を行った際に得られる情報を元に推定するか、もしくは受信信号に含まれる送信側で推定したチャネル情報についてのフィードバック情報に含まれる情報によって、チャネル行列の情報を取得する。

10

【0035】

i 番目の通信相手に対する、j 番目の周波数チャネルの全体チャネル行列は、 $H_{i,j}$  と表せ、 $N_i \times M$  の行列となる。固定ウエイト演算回路 211 は、 $H_{i,j}$  を用いて固定ウエイト  $W_j$  ( $M \times K$  行列) を算出する。固定ウエイト  $W_j$  は、チャネル行列の送信側の次元を M 次元から K 次元に ( $N_i \times M$  行列から  $N_i \times K$  行列に) 圧縮する効果がある。

【0036】

送信ウエイト演算回路 210 は、次式 (3) で表される圧縮チャネル行列を用いて各周波数チャネルの送信ウエイト及び通信品質を評価する。

20

【0037】

【数 3】

$$H_{i,j}' = H_{i,j} W_j \dots\dots\dots (3)$$

【0038】

圧縮チャネル行列を各通信相手に対するチャネル行列とみなして、従来と同様の計算で MIMO 送信、及びマルチユーザ MIMO 送信における送信ウエイトを算出することができる。しかし、 $H_{i,j}'$  は、行列のサイズが、 $N_i \times K$  であり、 $H_{i,j}$  が  $N_i \times M$  であるのに対し、行列のサイズが小さくなっている。このため、相関行列  $H_{i,j}'^H H_{i,j}'$  の固有ベクトルの演算も  $K \times K$  の行列に対して用いることができ、マルチユーザ MIMO の演算においても、数式 (1) のような特異値分解でも右特異行列の行列サイズが小さくなるため、演算負荷が著しく低減される。本第 2 の実施形態は、各サブキャリアでそれぞれ演算した固定ウエイトを用いるところが、上述した第 1 実施形態と異なるものである。

30

【0039】

逆フーリエ変換回路 206 - 1 ~ 206 - M は、固定ウエイト次元展開回路 205 で生成された複数の周波数チャネルに対応する M 系列の信号を逆フーリエ変換により時系列の信号に変換し、ガードインターバルの挿入を行う。

40

【0040】

以下、第 1 実施形態、及び第 2 実施形態で共通の処理について説明する。

固定ウエイト W は、以下のように求めることができる。

同一周波数、同一時刻で通信を行う通信相手の数を U とすると、次式 (4) で表される全ユーザの集合行列に対し、送信側相関行列  $H_A^H H_A$  を計算することで、この相関行列の固有ベクトルのうち、固有値の高いものに対応する K 個の固有ベクトルを選択し、W とすることができる。

【0041】

50

【数4】

$$\mathbf{H}_A = \begin{pmatrix} \mathbf{H}_1 \\ \mathbf{H}_2 \\ \vdots \\ \mathbf{H}_U \end{pmatrix} \dots\dots\dots (4)$$

10

【0042】

すなわち、送信アンテナ素子数Mの次元を持つ送信信号空間から、信号レベルが大きいK次元の送信信号空間を選ぶことができる。または、通信に干渉となっている無線端末、または、干渉を与えている無線端末の受信アンテナとの間のチャネル行列  $\mathbf{H}_I$  ( $N \times M$ 行列)を推定し(次式(5)参照)、特異値分解で得られる特異値0に対応する右特異ベクトル  $\mathbf{V}_I^{(n)}$  のうちK個のベクトルをWとして用いることができる。特異値0に対応する右特異ベクトル  $\mathbf{V}_I^{(n)}$  がK個ない場合には、より小さい特異値に対応する右特異ベクトル  $\mathbf{V}_I^{(s)}$  を用いることもできる。すなわち、干渉となっている、または干渉を与えている無線端末に干渉を与えない、または干渉が小さい送信信号空間を選ぶことができる。

20

【0043】

【数5】

$$\mathbf{H}_I = \mathbf{U}_I (\mathbf{D}_I \quad \mathbf{0}) \begin{pmatrix} \mathbf{V}_I^{(s)} & \mathbf{V}_I^{(n)} \end{pmatrix}^H \dots\dots\dots (5)$$

【0044】

または、上記の特異値0に対応する式(5)の  $\mathbf{V}_I^{(n)}$  および  $\mathbf{V}_I^{(n)}$  に加えて小さい特異値に対応する  $\mathbf{V}_I^{(s)}$  から  $K_1$  個のベクトルを選択して  $\mathbf{V}_I$  とし、通信相手の集合行列  $\mathbf{H}_A$  から、 $\mathbf{H}_A \mathbf{V}_I$  を計算し、さらに相関行列  $\mathbf{V}_I^H \mathbf{H}_A^H \mathbf{H}_A \mathbf{V}_I$  の固有ベクトルのうち、固有値の高いものに対応するK個の固有ベクトル  $\mathbf{V}_{A_I}$  を  $\mathbf{V}_I$  に乗算し、 $\mathbf{V}_I \mathbf{V}_{A_I}$  をWとして用いることができる。または、集合行列  $\mathbf{H}_A$  から得られた相関行列  $\mathbf{H}_A^H \mathbf{H}_A$  のうち、高い固有値に対応する  $K_2$  個の固有ベクトルを選択し、 $\mathbf{V}_s$  とし、干渉となっている無線端末との間のチャネル行列  $\mathbf{H}_I$  に乗算し、得られる  $\mathbf{H}_I \mathbf{V}_s$  に式(5)と同様に特異値分解を行い、特異値0、または特異値0に加えてより小さい特異値に対応するK個の右特異ベクトル  $\mathbf{V}_{I_s}$  を、 $\mathbf{V}_s$  に乗算して得られる  $\mathbf{V}_s \mathbf{V}_{I_s}$  をWとして用いることができる。すなわち、上記の干渉となっている、または干渉を与えている無線端末への干渉を低減する送信信号空間であって、通信相手となるユーザ間への信号電力が大きくなる送信信号空間を選択する。 $K_1$  または、 $K_2$  はKより大きく、M以下の数を予め設定しておくことができる。

30

40

【0045】

上記の干渉を与えている端末に計算する  $\mathbf{V}_I^{(n)}$ 、または  $\mathbf{V}_I$  の演算は、直交化法を用いた基底ベクトルの算出として行ってもよい。すなわち、M個のアンテナ素子と、通信相手ではない無線端末の備えるN個のアンテナ素子との間のチャネル行列の  $M \times 1$  のチャネルベクトルN個に対し、直交化法を用い、得られるN個の基底ベクトルと直交する基底ベクトルを、 $\mathbf{V}_I^{(n)}$ 、または  $\mathbf{V}_I$  として決定するようにしてもよい。また、固定ウエイトとして、 $M \times M$  で表せる基底ベクトルのうち、K個選ぶことで得られる  $M \times K$  の基底ベクトルを用いることもできる。

50

## 【 0 0 4 6 】

また、複数周波数チャネルを用いた通信の場合には、複数の周波数チャネルに対してそれぞれ固定ウエイト $W_j$ を算出する。

## 【 0 0 4 7 】

上記のように固定ウエイト $W$ を用いて得られる $H_i'$ 、または $H_{i,j}'$ を用いて送信ウエイトを決定すると、得られる送信ウエイトのベクトルは通信ストリーム数を $L$ とすると、 $K \times L$ の行列で得られる。このため、実際の $M$ 素子の送信アンテナに対して用いる送信ウエイトは、 $H_i'$ 、または $H_{i,j}'$ から得られた $i$ 番目の通信相手への $K \times L$ の送信ウエイトを $W_{t,i}$ とすると、 $W_i W_{t,i}$ として表すことができ、 $M \times L$ の送信ウエイトを得ることができる。

10

## 【 0 0 4 8 】

図3は、本発明の第1、第2実施形態による送信方法を説明するためのフローチャートである。まず、通信が開始されると、固定ウエイトにより圧縮されたチャネル行列 $H_i W$ を用いて、送信ウエイト、伝送モードを決定する(ステップS201)。固定ウエイトは予めステップS200で算出されたものを用いる(ステップS200)。次に、符号化・変調を行い、決定された伝送モードを用い、圧縮チャネル送信ウエイトを送信信号に乗算する(ステップS202)。

## 【 0 0 4 9 】

ここで生成される送信ウエイト乗算済みの符号化信号 $x$ ( $K \times 1$ ベクトル)は、生成された送信信号系列 $s$ ( $L \times 1$ ベクトル)に送信ウエイト $W_t$ ( $K \times L$ 行列)を乗算して得られる( $x = W_t s$ )。さらに、 $M \times K$ 行列の固定ウエイト $W$ を乗算し(ステップS203)、 $M \times 1$ のベクトル $Wx$ をアンテナ104-1~104-M(204-1~204-M)から送信する(ステップS204)。または、送信ウエイトに対し固定ウエイトを乗算し、 $W W_t$ を算出して、それを送信信号 $s$ に対して乗算しても同様である。

20

## 【 0 0 5 0 】

固定ウエイト演算回路111(211)は、固定ウエイト $W$ を算出する(ステップS200)が、このステップはStartからEndまでの通信フローの頻度より動作頻度が小さく設定される。これは、ステップS200の固定ウエイトの算出・更新は、S201の送信ウエイトの演算に比べて要求されるチャネル情報の精度が低いためである。つまりステップS201~S203は少なくとも2回以上同じ固定ウエイトを用いる。また、通信相手におけるチャネル情報の推定時に、 $M$ 個の独立したアンテナから送信を行い、全体チャネル行列 $H_i$ を推定させるのではなく、固定ウエイト込みの $H_i W$ を推定させることで、チャネル情報のフィードバック量を圧縮することができる。また、OFDMのようなマルチキャリアの通信方式を用いる場合には、各サブキャリアでの固定ウエイト $W_i$ 、チャネル情報 $H_i$ を用い、通信することができる。

30

## 【 0 0 5 1 】

上述した第1、第2実施形態によれば、送信ウエイトの計算時の演算負荷を著しく低減することができる。また、セル間干渉の低減も可能にする。

## 【 0 0 5 2 】

また、本願発明の固定ウエイトの更新頻度が少なくてもよいことを示すシミュレーション結果を図5に示す。本シミュレーションは、 $26 \times 40$ mの実際の屋内環境で1ms毎に取得したチャネル行列を用いた。測定実験は、OFDMシステムを用い、IEEE802.11aに準拠した48個のサブキャリアのチャネル情報を、16素子の第1のアンテナを有する基地局( $M = 16$ )、受信装置数を2、それぞれ4つの第2のアンテナを有する環境でおこなった。図5は時間 $t = 0$ で取得したチャネル行列を用い、その後の時間に送信を行う際にどれだけ伝送容量(Achievable bit rate)が低下するかを示した結果である。Achievable bit rateは本検討では以下のように定義した。

40

## 【 0 0 5 3 】

【数6】

$$C = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^{48} \sum_{l=1}^4 (1 + SINR_{i,j,l}) \dots\dots\dots (6)$$

【0054】

SINR<sub>i,j,l</sub> は i 番目の通信相手の j 番目のサブキャリアの l 番目の通信ストリームにおける信号対干渉雑音比を表す。ここでは、ユーザ数を 2、各ユーザに対する通信ストリーム数を 4 と固定した。t = 0 のチャンネル行列を用いて通信を行うため、チャンネル情報の誤差が大きくなるとユーザ間干渉が増大し、SINR<sub>i,j,l</sub> は小さくなる。図 5 において、最も高い特性を示す点線はマルチユーザ MIMO 通信において遅延無し、つまり時間 t においては時間 t に対応するチャンネル行列を用いた場合である。これに対し、最も悪い特性を示している、マルチユーザ MIMO 遅延チャンネル情報に対応する破線は大きく特性が劣化している。これは、t = 0 におけるチャンネル情報を用いているため、ユーザ間干渉が大きくなることによる。このようにマルチユーザ MIMO 通信の送信ウエイトの演算には、非常に短い周期でのチャンネル情報の更新が必要であることが分かる。これに対し、固定ウエイトを用いた通信方法を実線で示す。固定ウエイトとして K = 8 を選択し、固定ウエイトの演算には t = 0 のチャンネル行列を用い、圧縮されたチャンネル情報の演算には、時間 t のチャンネル情報を用いている。マルチユーザ MIMO の Achievable bit rate と比較して明らかのように、時間 t による通信品質への影響が小さく、マルチユーザ MIMO 通信で要求されるチャンネル情報更新頻度より、著しく少ない頻度で更新を行っても、高い伝送容量を維持することが期待できる。

【産業上の利用可能性】

【0055】

以上詳細に説明した様に、本発明によれば、固定ウエイトによりチャンネル情報の次元を下げることで、MIMO 通信およびマルチユーザ MIMO 通信における送信ウエイトの演算および品質の推定のための演算負荷を軽減し、送信アンテナ数を増加させスループットを増大させる。

【符号の説明】

【0056】

- 100、200 データ分割回路
- 101 - 1 ~ 101 - L、201 - 1 ~ 201 - L 変調回路
- 102、202 送信ウエイト乗算回路
- 103 - 1 ~ 103 - M、203 - 1 ~ 203 - M 無線部
- 104 - 1 ~ 104 - M、204 - 1 ~ 204 - M アンテナ
- 105、205 固定ウエイト次元展開回路
- 110、210 送信ウエイト演算回路
- 111、211 固定ウエイト演算回路
- 206 - 1 ~ 206 - M IDFT

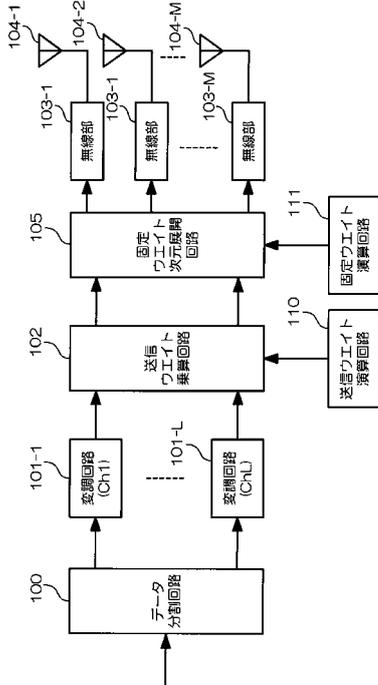
10

20

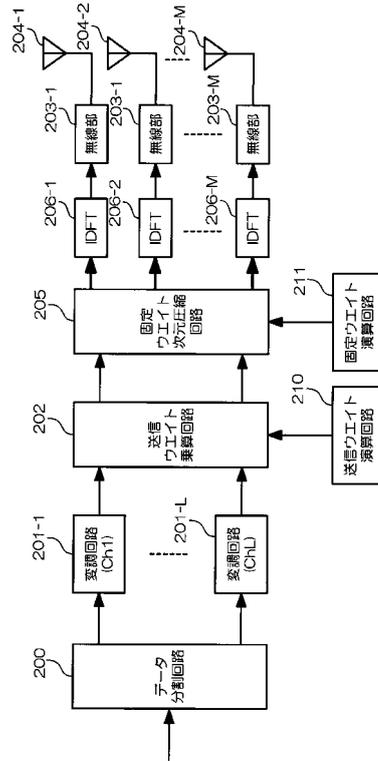
30

40

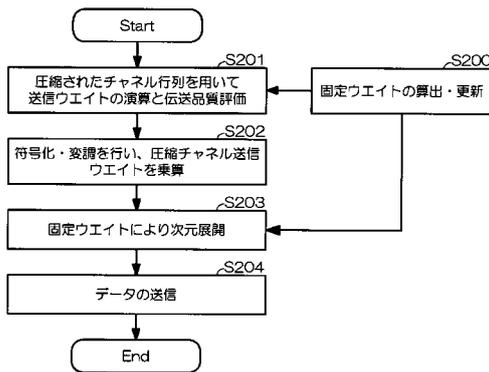
【図1】



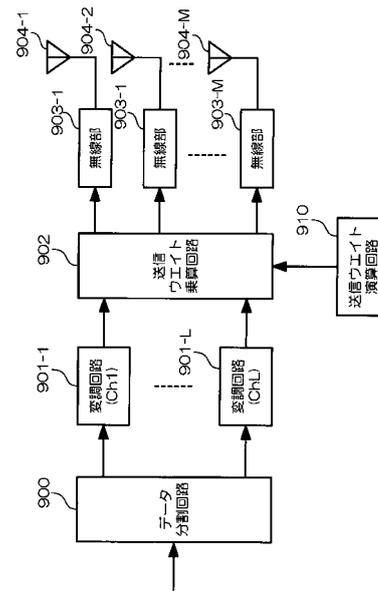
【図2】



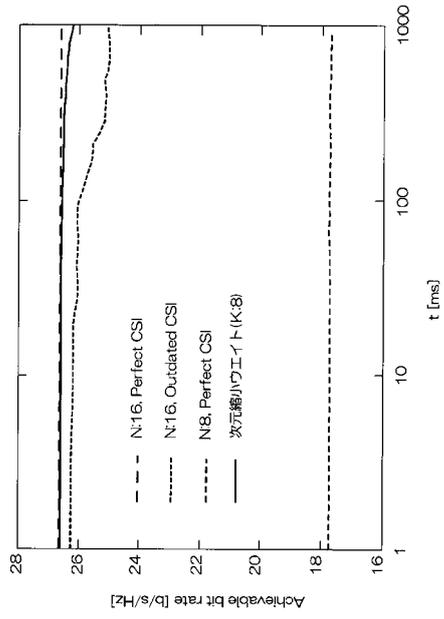
【図3】



【図4】



【 図 5 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 村上 友規

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

(72)発明者 溝口 匡人

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

審査官 大野 友輝

(56)参考文献 特開2008-306713(JP,A)

特表2008-519510(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04J 99/00

H04J 1/00

H04J 11/00

IEEE Xplore

CiNii