

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4840088号
(P4840088)

(45) 発行日 平成23年12月21日(2011.12.21)

(24) 登録日 平成23年10月14日(2011.10.14)

(51) Int.Cl.		F I	
HO4J 99/00	(2009.01)	HO4J 15/00	
HO4W 16/28	(2009.01)	HO4Q 7/00	2 3 4
HO4B 7/04	(2006.01)	HO4B 7/04	

請求項の数 19 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2006-302792 (P2006-302792)	(73) 特許権者	000002185
(22) 出願日	平成18年11月8日 (2006.11.8)		ソニー株式会社
(65) 公開番号	特開2008-124533 (P2008-124533A)		東京都港区港南1丁目7番1号
(43) 公開日	平成20年5月29日 (2008.5.29)	(74) 代理人	100093241
審査請求日	平成21年10月28日 (2009.10.28)		弁理士 官田 正昭
		(74) 代理人	100101801
			弁理士 山田 英治
		(74) 代理人	100095496
			弁理士 佐々木 榮二
		(74) 代理人	100086531
			弁理士 澤田 俊夫
		(72) 発明者	三保田 憲人
			東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 無線通信システム、並びに無線通信装置及び無線通信方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数のアンテナを持つ送信機と複数のアンテナを持つ受信機間で空間多重通信を行なう無線通信システムであって、

送受信間の各アンテナ対の伝達関数を要素とするチャネル情報行列を取得するチャネル情報行列取得手段と、

該取得したチャネル情報行列を基に重み係数行列を求める重み係数行列演算手段と、

該重み係数行列の正規化処理を行なう正規化手段と、

前記重み係数行列演算手段又は前記正規化手段による処理における異常の有無を検出する検出手段と、

前記検出手段による検出結果に応じて、前記送信機から送信する送信信号に対して該重み係数行列に基づく重み付け処理を行なう重み付け処理手段と、

前記重み付け処理手段により重み付け処理された送信信号を前記送信機から前記受信機へ伝送する伝送手段と、

を具備することを特徴とする無線通信システム。

【請求項2】

複数のアンテナを持つ送信機と複数のアンテナを持つ受信機間で空間多重通信を行なう無線通信システムであって、

送受信間の各アンテナ対の伝達関数を要素とするチャネル情報行列を取得するチャネル情報行列取得手段と、

該取得したチャネル情報行列を基に重み係数行列を求める重み係数行列演算手段と、
前記送信機から送信する送信信号に対して該重み係数行列に基づく重み付け処理を行な
う重み付け処理手段と、

各送信アンテナの送信信号の電力が規定の値となるように前記重み付け処理手段により
重み付けされた送信信号の正規化処理を行なう送信信号正規化手段と、

前記送信機から送信する送信信号に所定の行列を乗算して重み付けを行なう行列積演算
手段と、

前記重み付け処理手段又は前記正規化手段による処理における異常の有無を検出する検
出手段と、

前記検出手段による検出結果に応じて、前記重み付け処理手段により重み付け処理され
た送信信号、又は、前記行列積演算手段により求められた送信信号のいずれかを前記送信
機から前記受信機へ伝送する伝送手段と、

を具備することを特徴とする無線通信システム。

【請求項 3】

複数のアンテナを備え、複数のアンテナを持つ受信機との間で空間多重通信を行なう無
線通信装置であって、

送受信間の各アンテナ対の伝達関数を要素とするチャネル情報行列を基に重み係数行列
を求める重み係数行列演算手段と、

該重み係数行列の正規化処理を行なう正規化手段と、

前記重み係数行列演算手段又は前記正規化手段による処理における異常の有無を検出す
る検出手段と、

前記検出手段による検出結果に応じて、送信信号に対して該重み係数行列に基づく重み
付け処理を行なう重み付け処理手段と、

該重み付けされた送信信号を前記アンテナから送出する送信手段と、
を具備することを特徴とする無線通信装置。

【請求項 4】

前記正規化手段は、前記重み係数行列演算手段によりチャネル情報行列の共分散行列の
固有値から求めた固有ベクトルに対して行ノルムが規定の値となるように正規化を行な
う

ことを特徴とする請求項 3 に記載の無線通信装置。

【請求項 5】

前記検出手段は、前記正規化手段へ所定の範囲外となる入力信号が入力されたこと、又
は、正規化の演算途中でのオーバーフロー又はアンダーフローが発生したことを異常とし
て検出する、

ことを特徴とする請求項 3 に記載の無線通信装置。

【請求項 6】

前記重み付け処理手段は、前記検出手段により処理の異常が検出されたときには、前記
重み係数行列演算手段により演算された重み係数行列により送信信号を重み付けすること
に代えて、行ノルムが保証された他の重み付け送信信号を出力する、

ことを特徴とする請求項 3 に記載の無線通信装置。

【請求項 7】

行ノルムが保証された 1 以上の重み係数行列をあらかじめ記憶する不揮発性記憶手段を
さらに備え、

前記重み付け処理手段は、前記検出手段により処理の異常が検出されたときには、前記
不揮発性記憶手段に記憶されている重み係数行列を用いて送信信号を重み付けする、
ことを特徴とする請求項 6 に記載の無線通信装置。

【請求項 8】

前記不揮発性記憶手段は、単位行列、適当な角度を持った回転行列、鏡像行列、Walsh-Hadamard 行列、又はこれらの 2 以上の行列を組み合わせた行列をあらかじめ
記憶する、

10

20

30

40

50

ことを特徴とする請求項 7 に記載の無線通信装置。

【請求項 9】

前記不揮発性記憶手段は複数の異なる重み係数行列を記憶し、

前記重み付け処理手段は、前記検出手段が異常を検出したときには、前記不揮発性記憶手段に記憶されている重み係数行列の中から最適のものを適宜選択して送信信号を重み付けする、

ことを特徴とする請求項 7 に記載の無線通信装置。

【請求項 10】

前記不揮発性記憶手段は角度が異なる複数の回転行列を記憶し、

前記重み付け処理手段は、前記検出手段が異常を検出したときには、前記不揮発性記憶手段に記憶されている回転行列の中から、正規化前の重み係数行列に最も近い角度を持つ回転行列を選択して送信信号を重み付けする、

ことを特徴とする請求項 7 に記載の無線通信装置。

【請求項 11】

前記重み係数行列演算手段は、該取得したチャネル情報行列の共分散行列から求まる固有値を基に固有ベクトルの複数の組を作成し、これらの中から適したものを選択する、

ことを特徴とする請求項 3 に記載の無線通信装置。

【請求項 12】

前記重み係数行列演算手段は、作成した固有ベクトルの複数の組のうち、最終的に演算誤差の生じる可能性が小さい行列を選択する、

ことを特徴とする請求項 11 に記載の無線通信装置。

【請求項 13】

2本のアンテナを備えるとともに、前記受信機は2本のアンテナを備えており、

前記重み係数行列演算手段は、該取得したチャネル情報行列 H を UDV^H に特異値分解して得られる行列 V を基に重み係数行列を生成し、チャネル情報行列 H の共分散行列 $A = H^H H$ の各要素を $[[a_{11}, a_{21}]^T, [a_{12}, a_{22}]^T]$ とし、該共分散行列 A の固有値を λ_1, λ_2 とし(但し、 $\lambda_1 > \lambda_2$)、

$a_{11} > a_{22}$ 、あるいは、 $a_{11} < a_{22}$ のときは下式、

【数 1】

$$[v_1, v_2] = \begin{bmatrix} k_1(\lambda_1 - a_{22}) & k_2 a_{12} \\ k_1 a_{21} & k_2(\lambda_2 - a_{11}) \end{bmatrix}$$

を固有ベクトル $[v_1, v_2]$ として選択して重み係数行列を求め、

$a_{11} < a_{22}$ 、あるいは、 $a_{11} > a_{22}$ のときは下式、

【数 2】

$$[v_1, v_2] = \begin{bmatrix} k_3 a_{12} & k_4(\lambda_2 - a_{22}) \\ k_3(\lambda_1 - a_{11}) & k_4 a_{21} \end{bmatrix}$$

を固有ベクトル $[v_1, v_2]$ として選択して重み係数行列を求める、

ことを特徴とする請求項 12 に記載の無線通信装置(但し、 k_1, k_2, k_3, k_4 は 0 以外の任意の値(実数及び複素数を含む))。

【請求項 14】

複数のアンテナを備え、複数のアンテナを持つ受信機との間で空間多重通信を行なう無線通信装置であって、

10

20

30

40

50

送受信間の各アンテナ対の伝達関数を要素とするチャンネル情報行列を基に重み係数行列を求める重み係数行列演算手段と、

前記アンテナから送信する送信信号に対して該重み係数行列に基づく重み付け処理を行なう重み付け処理手段と、

各送信アンテナの送信信号の電力が規定の値となるように前記重み付け処理手段により重み付けされた送信信号の正規化処理を行なう送信信号正規化手段と、

前記アンテナから送信する送信信号に所定の行列を乗算して重み付けを行なう行列積演算手段と、

前記重み付け処理手段又は前記正規化手段による処理における異常の有無を検出する検出手段と、

前記検出手段による検出結果に応じて、前記重み付け処理手段により重み付け処理された送信信号、又は、前記行列積演算手段により求められた送信信号のいずれかを前記アンテナから送出する送信手段と、

を具備することを特徴とする無線通信装置。

【請求項 15】

前記検出手段は、前記送信信号正規化手段へ所定の範囲外となる入力信号が入力されたこと、又は、正規化の演算途中でのオーバーフロー又はアンダーフローが発生したことを異常として検出する、

ことを特徴とする請求項 14 に記載の無線通信装置。

【請求項 16】

前記行列積演算手段は、行ノルムが保証された重み係数行列をあらかじめ用意して、前記アンテナから送信する送信信号に乗算して重み付けを行なう、

ことを特徴とする請求項 14 に記載の無線通信装置。

【請求項 17】

前記行列積演算手段は、単位行列、適当な角度を持った回転行列、鏡像行列、Walsh-Hadamard 行列、又はこれらの 2 以上の行列を組み合わせた行列をあらかじめ用意する、

ことを特徴とする請求項 16 に記載の無線通信装置。

【請求項 18】

複数のアンテナを用いて、複数のアンテナを持つ受信機との間で空間多重通信を行なう無線通信方法であって、

送受信間の各アンテナ対の伝達関数を要素とするチャンネル情報行列を基に重み係数行列を求める重み係数行列演算ステップと、

該重み係数行列の正規化処理を行なう正規化ステップと、

前記重み係数行列演算ステップ又は前記正規化ステップにおける処理の異常の有無を検出する検出ステップと、

前記検出ステップにおける検出結果に応じて、送信信号に対して該重み係数行列に基づく重み付け処理を行なう重み付け処理ステップと、

該重み付けされた送信信号を前記アンテナから送出する送信ステップと、
を有することを特徴とする無線通信方法。

【請求項 19】

複数のアンテナを備え、複数のアンテナを持つ受信機との間で空間多重通信を行なう無線通信方法であって、

送受信間の各アンテナ対の伝達関数を要素とするチャンネル情報行列を基に重み係数行列を求める重み係数行列演算ステップと、

前記アンテナから送信する送信信号に対して該重み係数行列に基づく重み付け処理を行なう重み付け処理ステップと、

各送信アンテナの送信信号の電力が規定の値となるように前記重み付け処理ステップにおいて重み付けされた送信信号の正規化処理を行なう送信信号正規化ステップと、

前記アンテナから送信する送信信号に所定の行列を乗算して重み付けを行なう行列積演

10

20

30

40

50

算ステップと、

前記重み付け処理ステップ又は前記正規化ステップで実行する処理における異常の有無を検出する検出ステップと、

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、無線LAN(Local Area Network)のように複数の無線局間で相互に通信を行なう無線通信システム、並びに無線通信装置及び無線通信方法に係り、特に、伝送路の多重化により高速なデータ伝送を実現する無線通信システム、並びに無線通信装置及び無線通信方法に関する。

10

【0002】

さらに詳しくは、本発明は、複数のアンテナを持つ送信機と複数のアンテナを持つ受信機間で空間多重を利用したMIMO(Multiple Input multiple Output)通信により高速なデータ伝送を実現する無線通信システム、並びに無線通信装置及び無線通信方法に係り、特に、チャンネル情報行列Hの特異値分解(SVD: Singular Value Decomposition)を利用したSVD-MIMO通信方式により、全くクロストーク無しに信号を多重化して伝送する無線通信システム、並びに無線通信装置及び無線通信方法に関する。

【背景技術】

【0003】

旧来の有線通信方式における配線から解放するシステムとして、無線ネットワークが注目されている。無線ネットワークに関する標準的な規格として、IEEE(The Institute of Electrical and Electronics Engineers)802.11やIEEE802.15を挙げることができる。

20

【0004】

IEEE802.11a/gの規格では最大で54Mbpsの通信速度を達成する変調方式をサポートしているが、最近ではさらなる高ビットレートを実現できる次世代の無線LAN規格が求められている。

【0005】

無線通信の高速化を実現する技術の1つとして、MIMO(Multi-Input Multi-Output)通信が注目を集めている。これは、送信機側と受信機側の双方において複数のアンテナ素子を備え、空間多重したストリームを実現する通信方式である。MIMO通信方式によれば、周波数帯域を増大させることなく、アンテナ本数に応じて伝送容量の拡大を図り、通信速度向上を達成することができる。また、空間多重を利用するので、周波数利用効率はよい。MIMOはチャンネル特性を利用した通信方式であり、単なる送受信アダプティブ・アレーとは相違する。

30

【0006】

例えば、IEEE802.11a/gの拡張規格であるIEEE802.11nでは、1次変調にOFDMを用いたOFDM_MIMO方式が採用されており、100~600Mbpsの伝送速度で通信が可能となっている。現在では、2005年10月に設立された業界団体EWC(Enhanced Wireless Consortium)によって、MIMOをベースにしたIEEE802.11n仕様の開発やプロモーションが行なわれている。

40

【0007】

MIMO通信システムは、何らかの方法により送受信間のチャンネル情報行列Hを取得するとともに、さらに所定のアルゴリズムによってチャンネル情報行列Hを用いて送信時に空間多重された伝送信号から元の複数のストリームに空間分離を行なうことにより構成される。

【0008】

チャンネル情報行列Hは、通常、送受信間の各アンテナ対で既知のトレーニング系列を送

50

受信し、実際に受信された信号と既知系列との差分によってチャネルの伝達関数を推定し、送受アンテナ組み合わせ分の伝達関数を行列形式に並べたものである。送信側アンテナ本数がMで受信側アンテナ本数がNのときは、チャネル情報行列は $N \times M$ (行 \times 列)の行列となる。

【0009】

また、受信信号を空間分離する方法は、受信機がチャネル情報行列Hに基づいて独立して空間分離を行なうオープンループ型と、送信機側でもチャネル情報行列に基づいて送信アンテナ重みを掛けて受信機に向けた適切なビーム形成を行なうことによって理想的な空間直交チャネルを作り出すクローズドループ型に大別される。クローズドループ型のMIMO伝送の理想的な形態の1つとして、チャネル情報行列Hの特異値分解(SVD: Singular Value Decomposition)を利用したSVD-MIMO通信方式が知られている。

10

【0010】

図7には、SVD-MIMO通信システムを概念的に示している。SVD-MIMO伝送では、各アンテナ対に対応するチャネル情報(伝達関数)を要素としたチャネル情報行列Hを特異値分解して UDV^H を求め、送信側のアンテナ重み係数行列としてVを与えるとともに、受信側のアンテナ重み係数行列として U^H を与える(上付きのHは複素共役転置を表す)。

【0011】

ここで、Dはチャネル情報行列Hの共分散行列Aの固有値 λ_i の平方根を対角要素に持つ対角行列であり(添え字iはi番目の空間ストリームを意味する)、各固有値 λ_i は対応する空間ストリームの品質に相当する。対角行列Dの対角要素に値の大きい順に特異値 λ_i を並べ、各ストリームに対し特異値の大きさを表される通信品質に応じた電力比配分や変調方式の割り当てを施すことによって、空間直交多重された論理的に独立した複数の伝送路を実現し、受信機側では元の複数の信号系列を全くクロストークなしに取り出すことができ、理論上は最高のパフォーマンスを達成する。

20

【0012】

図7に示す例では、送信機はM本の送信アンテナを備えており、送信データをK本の送信ストリームに分配するとともにこれらを空間/時間符号を施して多重化し、各送信アンテナに分配してチャネルに送信する。このときの送信信号 x' は $M \times 1$ のベクトルで表される。また、受信機はN本の受信アンテナを備え、 $N \times 1$ のベクトルで表される受信信号 y' を空間/時間復号して、ストリーム間のクロストークなしにK本の受信ストリームからなる受信データを得る。この場合のチャネル情報行列は $N \times M$ の行列Hとして表され、理想的には、送受信アンテナのうち少ない方の数($\min[M, N]$)だけの空間ストリームが形成される。

30

【0013】

チャネル情報行列Hの要素 h_{ij} は、j番目の送信アンテナからi番目の受信アンテナへの伝達関数である(但し、iは1~Nの正の整数であり、jは1~Mの正の整数である)。そして、受信信号ベクトル y' は、下式(1)のように、送信信号ベクトルにチャネル情報行列を掛け、雑音ベクトルnを加算して表される。

40

【0014】

【数1】

$$y' = Hx' + n \quad \dots (1)$$

【0015】

上述したようにチャネル情報行列Hを特異値分解すると、下式(2)のように表される

50

。【 0 0 1 6 】
【 数 2 】

$$H = UDV^H \quad \dots (2)$$

【 0 0 1 7 】

ここで、送信側のアンテナ重み係数行列 V と受信側のアンテナ重み係数行列 U^H は、それぞれ下式 (3)、(4) を満たすユニタリ行列である。但し、 I は単位行列を表す。

【 0 0 1 8 】
【 数 3 】

$$U^H U = I \quad \dots (3)$$

$$V^H V = I \quad \dots (4)$$

【 0 0 1 9 】

すなわち、 $H H^H$ の正規化された固有ベクトルを並べたものが受信側のアンテナ重み係数行列 U^H であり、 $H^H H$ の正規化された固有ベクトルを並べたものが送信側のアンテナ重み係数行列 V である。また、 D は対角行列であり $H^H H$ 又は $H H^H$ の固有値 の平方根を対角成分に持つ。つまり、対角行列 D は送信アンテナ数 M と受信アンテナ数 N のうち小さい数を $L (= \min(M, N))$ として、下式 (5) に示すような $L \times L$ の正方行列となる。

【 0 0 2 0 】
【 数 4 】

$$D = \begin{bmatrix} \sqrt{\lambda_1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sqrt{\lambda_2} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \sqrt{\lambda_L} \end{bmatrix} \quad \dots (5)$$

【 0 0 2 1 】

図 7 に示したシステムでは、送信機は送信時のアンテナ重み係数行列 V を用いて重み付け送信を行なうとともに、受信機は U^H を受信時のアンテナ重み係数行列として重みを付け受信を行なう。したがって、 U と V がユニタリ行列であることから (U は $N \times L$ 、 V は $M \times L$)、受信信号 y は下式 (6) の通りとなる。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 2 】

【数 5】

$$\begin{aligned}
 y &= U^H y' \\
 &= U^H (Hx' + n) \\
 &= U^H (HVx + n) \\
 &= U^H (UDV^H) Vx + U^H n \\
 &= (U^H U) D (V^H V) x + U^H n \quad \dots (6) \\
 &= IDIx + U^H n \\
 &= Dx + U^H n
 \end{aligned}$$

10

20

【 0 0 2 3 】

ここで、受信信号 y と送信信号 x は、送信アンテナと受信アンテナの数で決まるベクトルではなく、 $(L \times 1)$ ベクトルである。D は対角行列なので、ストリーム毎の送信信号がクロストークすることなしに受信することができる。そして、行列 D の対角要素は固有値 λ_i の平方根となるので、各受信信号の電力は λ_i に比例する。また雑音成分 n も、U の列はノルムが 1 に正規化された固有ベクトルなので、 $U^H n$ はその雑音電力を変えるものではない。サイズとしては、 $U^H n$ は $(L \times 1)$ ベクトルとなり、 y 及び x と同じサイズである。

【 0 0 2 4 】

このように SVD - MIMO 伝送では、同一の周波数及び同一の時間でありながら、クロストークのない複数の独立な論理的なパスを得ることができる。つまり、同時刻に同一周波数を使用して、複数のデータを無線通信で伝送することが可能となり、伝送速度の向上を実現することができる。

30

【 0 0 2 5 】

上述したように、送信機におけるアンテナ重み付けの方法、特に SVD - MIMO 伝送（固有モード伝送）のための重み付け方法は数式で表すことができる。通常の実機では、現実的な回路規模で構成された演算回路を用いて実時間での処理を行なう必要から、チャネル情報行列 H から重み係数行列の算出には整数演算が行なわれる。整数演算は実数演算と異なり、語長制限の影響により演算誤差の増大や、オーバーフローやアンダーフローなどの問題が発生し、重み係数行列の行ノルムが大きく変動する可能性が大きい。

40

【 0 0 2 6 】

一方、無線送信機の送信出力には電波法規制などにより上限が設定されているのが一般的である。ここで、送信出力は通信距離に直結しているため、通常はこの上限を超えない範囲で出来るだけ大きな出力で送信を行なうことになる。前述の重み付け送信を行なう送信機においても、重み係数行列として行ノルムが 1 に正規化された行列 V を用いることで、どのような重み係数行列に対しても、送信出力が変動しないように（すなわち上限を超えないように）している。

【 0 0 2 7 】

しかしながら、重み係数行列を演算する過程において、前述のような整数演算などに伴

50

う演算誤差やオーバーフローなどが発生した場合には、重み係数行列が想定外の値となる可能性がある。送信機は、送信信号に対して想定外となる大きな値の送信重み係数行列を乗算し、この結果、送信出力の上限を超えてしまい、電波法の規制に抵触してしまうおそれがある。

【 0 0 2 8 】

【特許文献 1】特開 2 0 0 5 - 1 6 0 0 3 0、段落 0 0 1 1 ~ 0 0 2 6

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 2 9 】

本発明の目的は、複数のアンテナを持つ送信機と複数のアンテナを持つ受信機間で空間分割多重を利用した M I M O 通信により高速なデータ伝送を実現することができる、優れた無線通信システム、並びに無線通信装置及び無線通信方法を提供することにある。

10

【 0 0 3 0 】

本発明のさらなる目的は、チャンネル情報行列 H の特異値分解を利用した S V D - M I M O 通信方式により、全くクロストーク無しに信号を多重化して伝送することができる、優れた無線通信システム、並びに無線通信装置及び無線通信方法を提供することにある。

【 0 0 3 1 】

本発明のさらなる目的は、送信機において語調制限された整数演算回路を用いて重み係数行列を計算して、S V D - M I M O 伝送により伝送速度の向上を実現することができる、優れた無線通信システム、並びに無線通信装置及び無線通信方法を提供することにある。

20

【 0 0 3 2 】

本発明のさらなる目的は、送信機において語調制限された整数演算回路を用いて重み係数行列を求める際の、演算誤差やオーバーフローに伴う重み係数行列の行ノルムの変動を抑制することによって、送信電力が上限値を超える可能性を減らして、S V D - M I M O 伝送により伝送速度の向上を実現することができる、優れた無線通信システム、並びに無線通信装置及び無線通信方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 3 3 】

本発明は、上記課題を参酌してなされたものであり、その第 1 の側面は、複数のアンテナを持つ送信機と複数のアンテナを持つ受信機間で空間多重通信を行なう無線通信システムであって、

30

送受信間の各アンテナ対の伝達関数を要素とするチャンネル情報行列を取得するチャンネル情報行列取得手段と、

該取得したチャンネル情報行列を基に重み係数行列を求める重み係数行列演算手段と、

該重み係数行列に関する正規化処理を行なう正規化手段と、

前記重み係数行列演算手段又は前記正規化手段による処理における異常の有無を検出する検出手段と、

前記検出手段による検出結果に応じて、前記送信機から送信する送信信号に対して該重み係数行列に基づく重み付け処理を行なう重み付け処理手段と、

40

を具備することを特徴とする無線通信システムである。

【 0 0 3 4 】

但し、ここで言う「システム」とは、複数の装置（又は特定の機能を実現する機能モジュール）が論理的に集合した物のことを言い、各装置や機能モジュールが単一の筐体内にあるか否かは特に問わない（以下、同様）。

【 0 0 3 5 】

無線通信の高速化を実現する技術の 1 つとして、M I M O 通信が広く知られている。なかでも、S V D - M I M O 通信方式によれば、各アンテナ対に対応するチャンネル情報を要素としたチャンネル情報行列 H を特異値分解して $U D V^H$ を求め、送信側のアンテナ重み係数行列として V を与えるとともに、受信側のアンテナ重み係数行列として U^H を与えるこ

50

とで、空間直交多重された論理的に独立した複数の伝送路を実現し、受信機側では元の複数の信号系列を全くクロストークなしに取り出すことが可能であり、理論上は最高のパフォーマンスを達成することができる。

【0036】

ここで、送信機におけるアンテナ重み付けの方法は数式で表され、通常の実機では、現実的な回路規模で構成された演算回路を用いて実時間での処理を行なう必要から、チャンネル情報行列Hから重み計数行列の算出には整数演算が行なわれる。整数演算は実数演算と異なり、語長制限の影響により演算誤差の増大や、オーバーフローやアンダーフローなどの問題が発生し、重み係数行列の行ノルムが大きく変動する可能性が大きい。このため、重み係数行列として行ノルムが1に正規化された行列を用いるにも拘わらず、重み係数行列算出時に発生する演算誤差やオーバーフローなどのために、想定外に大きな重み係数行列が算出され、送信信号の出力が電波法などで規制される上限値を超えてしまう危険がある。

10

【0037】

そこで、本発明に係る無線通信システムでは、重み係数行列演算手段や正規化手段などの演算手段は整数演算モジュールにより構成されるが、正規化手段は重み係数行列を演算する処理の最終段において重み係数行列の正規化処理を行なうことで、重み係数行列演算で混入する演算誤差やオーバーフローの影響を小さくするようにしている。

【0038】

具体的には、正規化手段は、重み係数行列演算手段においてチャンネル情報行列の共分散行列の固有値から求めた固有ベクトルに対して正規化を行なう。あるいは、重み付け処理手段において重み係数行列に基づく重み付け処理を行なった後の送信信号ベクトルに対して正規化を行なうようにする。

20

【0039】

このような正規化手段が正しく動作すれば出力される重み係数行列の行ノルムは常に一定の値になる。しかしながら、語長制限された整数演算においては、重み係数行列演算手段への入力信号が想定範囲を超えるような場合には、演算誤差の発生や、演算の途中でオーバーフローやアンダーフローが発生する可能性があり、正しい動作が必ずしも保証されている訳ではない。特に、正規化処理は2乗和の平方根を基に割算を行なうことから、大き過ぎる入力や小さ過ぎる入力に対する演算誤差が大きくなる可能性が高い。

30

【0040】

そこで、前記検出手段は、前記正規化手段へ所定の範囲外となる入力信号が入力されたこと、又は、正規化の演算途中でのオーバーフロー又はアンダーフローが発生したことを異常として検出するようにしている。

【0041】

そして、前記検出手段により正規化処理の異常が検出されたときには、前記重み係数行列演算手段により演算された重み係数行列により送信信号を重み付けすることに代えて、行ノルムが保証された他の重み付け送信信号を出力することによって、送信電力が電波法規制で設定される上限を超える危険を回避することができる。

【0042】

40

例えば、行ノルムが保証された1以上の重み係数行列をあらかじめ記憶する不揮発性記憶手段をさらに備え、前記重み付け処理手段は、前記検出手段により正規化処理の異常が検出されたときには、前記不揮発性記憶手段に記憶されている重み係数行列を用いて送信信号を重み付けすることによって、送信電力が電波法規制で設定される上限を超える危険を回避する。

【0043】

行ノルムが保証された重み係数行列は、例えば単位行列や、適当な角度を持った回転行列、鏡像行列、Walsh-Hadamard行列、又はこれらの2以上の行列を組み合わせた行列などである。

【0044】

50

また、前記不揮発性記憶手段は複数の異なった重み係数行列を記憶しておき、前記重み付け処理手段は、検出手段が異常を検出したときには、前記不揮発性記憶手段に記憶されている重み係数行列の中から最適のものを適宜選択して送信信号を重み付けするようにしてもよい。

【 0 0 4 5 】

具体的には、前記不揮発性記憶手段は角度が異なる複数の回転行列を記憶しておき、前記重み付け処理手段は、検出手段が異常を検出したときには、前記不揮発性記憶手段に記憶されている回転行列の中から、正規化前の重み係数行列に最も近い角度を持つ回転行列を選択して送信信号を重み付けするようにする。

【 0 0 4 6 】

また、該取得したチャンネル情報行列の共分散行列から求まる固有値を基に、固有ベクトルの複数の組を作成することができる。前記重み係数行列演算手段は、これらの中から適したものの、すなわち最終的に演算誤差の生じる可能性が小さい行列を選択するようにしてもよい。

【 0 0 4 7 】

また、本発明の第 2 の側面は、複数のアンテナを持つ送信機と複数のアンテナを持つ受信機間で空間多重通信を行なう無線通信システムであって、

送受信間の各アンテナ対の伝達関数を要素とするチャンネル情報行列を取得するチャンネル情報行列取得手段と、

該取得したチャンネル情報行列を基に重み係数行列を求める重み係数行列演算手段と、

前記送信機から送信する送信信号に対して該重み係数行列に基づく重み付け処理を行なう重み付け処理手段と、

前記重み付け処理手段により重み付けされた送信信号の正規化処理を行なう送信信号正規化手段と、

前記送信機から送信する送信信号に所定の行列を乗算して重み付けを行なう行列積演算手段と、

前記重み付け処理手段又は前記正規化手段による処理における異常の有無を検出する検出手段と、

前記検出手段による検出結果に応じて、前記重み付け処理手段により重み付け処理された送信信号、又は、前記行列積演算手段により求められた送信信号のいずれかを前記送信機から前記受信機へ伝送する伝送手段と、

を具備することを特徴とする無線通信システムである。

【 0 0 4 8 】

本発明の第 2 の側面に係る無線通信システムでは、前記検出手段は、前記送信信号正規化手段へ所定の範囲外となる入力信号が入力されたこと、又は、正規化の演算途中でのオーバーフロー又はアンダーフローが発生したことを異常として検出する。また、前記行列積演算手段は、行ノルムが保証された重み係数行列をあらかじめ用意して、送信機から送信する送信信号に乗算して重み付けを行なう。そして、異常が検出された際には、前記重み付け処理手段により重み付け処理された送信信号に代えて、前記行列積演算手段により求められた送信信号を送信機から受信機へ伝送することによって、正規化処理の際に混入する演算誤差やオーバーフローの影響を小さくするようにしている。

【 発明の効果 】

【 0 0 4 9 】

本発明によれば、チャンネル情報行列 H の特異値分解を利用した SVD - MIMO 通信方式により、全くクロストーク無しに信号を多重化して伝送することができる、優れた無線通信システム、並びに無線通信装置及び無線通信方法を提供することができる。

【 0 0 5 0 】

また、本発明によれば、送信機において語調制限された整数演算回路を用いて重み係数行列を求める際の、演算誤差やオーバーフローに伴う重み係数行列の行ノルムの変動を抑制することによって、送信電力が上限値を越える可能性を減らして、SVD - MIMO 伝

10

20

30

40

50

送により伝送速度の向上を実現することができる、優れた無線通信システム、並びに無線通信装置及び無線通信方法を提供することができる。

【0051】

本発明のさらに他の目的、特徴や利点は、後述する本発明の実施形態や添付する図面に基づくより詳細な説明によって明らかになるであろう。

【発明を実施するための最良の形態】

【0052】

以下、図面を参照しながら本発明の実施形態について詳解する。

【0053】

図1には、本発明の一実施形態に係る無線通信システムの構成を模式的に示している。図示の無線通信システムは、それぞれ2本のアンテナを持つ端末1及び端末2で構成され、空間分割多重を利用したMIMO通信が行なわれる。端末1から端末2への伝送を下り方向すなわち「ダウンリンク」、端末2から端末1への伝送を上り方向すなわち「アップリンク」と位置付けることにする。

10

【0054】

なお、以下ではシングルキャリア通信を例にとって説明するが、勿論、OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing: 直交周波数分割多重)変調方式に代表されるマルチキャリア通信に対しても同様に本発明を適用することができる。また、図示した2×2以外のアンテナ構成の通信システムであっても、同様に本発明を適用することができる。

20

【0055】

無線LANなどでは、通常、通信端末間で伝送路が時分割多重で用いられる。時分割多重通信において、上り方向と下り方向の通信がほぼ同じ時間で行なわれ、チャンネルが変動する速度に比べて非常に短い時間間隔の中で各方向の通信が行なわれている場合には、上り方向と下り方向でチャンネルが可逆、すなわちチャンネルの対称性を仮定することができる。このような場合、上り方向のチャンネル情報行列 H_{up} と下り方向のチャンネル情報行列 H_{dn} の間には下式(7)が成り立つ。但し、上付きのTは行列の転置を表す。

【0056】

【数6】

30

$$H_{up} = H_{dn}^T \dots (7)$$

【0057】

端末1から端末2に向けてSVD-MIMO通信を行なう場合、端末1はダウンリンクでのチャンネル重み係数行列 V_{dn} を取得する必要がある。端末1内のチャンネル情報行列推定部11は、例えば端末2の各アンテナから時分割で送られてくる既知トレーニング系列を端末1側の各アンテナで受信して得られる送受信アンテナの組み合わせ毎の伝達関数を求め、これらの伝達関数をアンテナの配列に従ってマトリクスを構成することで、トレーニング期間を利用してアップリンクでのチャンネル情報行列 H_{up} を推定することができる。

40

【0058】

上式(7)に示したように、ダウンリンクでのチャンネル情報行列 H_{dn} はアップリンクでのチャンネル情報行列 H_{up} の転置行列(すなわち H_{up}^T)である。そして、端末1内の重み係数行列演算部12は、このチャンネル情報行列 H_{dn} をさらに下式(8)のように特異値分解することによって、重み係数行列 V_{dn} を求めることができる。

【0059】

【数 7】

$$H_{dn} = U_{dn} D_{dn} V_{dn}^H \quad \dots (8)$$

【0060】

このようにして、重み係数行列 V_{dn} を得ると、端末 1 から MIMO 方式によりデータ伝送を行なう際には、重み付け部 13 は、下式 (9) に示すように、送信信号を送信アンテナ毎に分配した送信信号ベクトル x に対して重み係数行列 V_{dn} を複素乗算して、空間多重した送信信号ベクトル x' を求め、これを各アンテナから送出する。

10

【0061】

【数 8】

$$x' = V_{dn} x \quad \dots (9)$$

【0062】

上述した説明では、データ送信元である端末 1 側では端末 2 からのトレーニング信号を利用して重み係数行列 V_{dn} を算出することで MIMO 通信システムが構成されるが、他の実現方法により構成することも可能である。例えば、端末 2 側に上記と同様のチャンネル情報推定部 (図示しない) を備え、このチャンネル情報推定部が例えば端末 1 から受信したトレーニング系列を基にダウンリンクのチャンネル情報行列 H_{dn} を推定して端末 1 に通知するようにしてもよい。あるいは、端末 2 側でさらに上記と同様の重み係数行列演算部を備えてチャンネル情報行列 H_{dn} から重み係数行列 V_{dn} を計算してこれを端末 1 に通知するように構成することができる。以下では、便宜上、送信側となる端末 1 にチャンネル情報推定部及び重み係数行列演算部を配置した実施形態について説明するが、これらの機能モジュールを受信側となる端末 2 側に配置することも可能である。

20

【0063】

図 2 には、端末 1 内の重み係数行列演算部 12 の構成例を示している。ここで、図 1 に示したように、MIMO 通信システムが送信アンテナ及び受信アンテナがともに 2 本で構成される場合を例にとり、端末 1 内の重み係数行列演算部 12 においてダウンリンク送信時のアンテナ重み係数行列 V_{dn} を求める算出方法について説明する。

30

【0064】

まず、共分散行列演算部 121 は、チャンネル情報推定部 11 で推定されたアップリンクのチャンネル情報行列 H_{up} の転置行列からなるダウンリンクのチャンネル情報行列 H_{dn} に対し、その複素共役転置行列 H_{dn}^H を乗算して、共分散行列 A を計算する。ここで、共分散行列 A の各要素を下式 (10) のように定義する。

【0065】

【数 9】

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} = H_{dn}^H H_{dn} \quad \dots (10)$$

40

【0066】

ここで、 λ を共分散行列 A の固有値とし、 v を固有ベクトルとすると、以下の式 (11)

50

)、(12)に示す関係が成り立つ。

【0067】

【数10】

$$Av = \lambda v$$

$$(A - \lambda I)v = 0 \quad \dots (11) \quad 10$$

$$\det(A - \lambda I) = 0 \quad \dots (12)$$

【0068】

detは行列式を表す。そして、上式(10)及び(12)より、以下に示す2次方程式(13)を得ることができる。 20

【0069】

【数11】

$$(a_{11} - \lambda)(a_{22} - \lambda) - a_{12}a_{21} = 0$$

$$\lambda^2 - (a_{11} + a_{22})\lambda + (a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21}) = 0 \quad \dots (13)$$

【0070】

固有値演算部122は、この2次方程式(13)を解いて、共分散行列Aの固有値 λ_1 及び λ_2 を求める。既に述べたように、 D_{dn} はこれらの固有値 λ_1 及び λ_2 それぞれの平方根を対角項に持つ対角行列である。 30

【0071】

続いて、固有ベクトル演算部123は、これらの固有値 λ_1 及び λ_2 を上式(11)に代入して、固有ベクトルを求める。ここで求まる固有ベクトルとしては多数の組み合わせが存在する。その1つは、次式(14)で表される。

【0072】

【数12】

$$[v_1, v_2] = \begin{bmatrix} a_{12} & \lambda_2 - a_{22} \\ \lambda_1 - a_{11} & a_{21} \end{bmatrix} \quad \dots (14) \quad 40$$

【0073】

正規化部124は、この固有ベクトルを正規化して、重み係数行列 V_{dn} を得る。ここで正規化を行なうのは、後段の重み付け部13において重み係数行列として行ノルムが1と 50

なるように正規化された行列を用いることで、どのような重み係数行列に対しても、送信出力が変動しないように（上限を超えないように）するためである。重み係数行列 V_{dn} は、下式（15）又は（16）のいずれかとなる。

【0074】

【数13】

$$V_{dn} = \begin{bmatrix} a_{12}/s_1 & (\lambda_2 - a_{22})/s_2 \\ (\lambda_1 - a_{11})/s_1 & a_{21}/s_2 \end{bmatrix} \quad \dots(15)$$

10

但し、 $s_1 = \sqrt{a_{12}^2 + (\lambda_1 - a_{11})^2}$, $s_2 = \sqrt{(\lambda_2 - a_{22})^2 + a_{21}^2}$ とする。

【0075】

【数14】

$$V_{dn} = \begin{bmatrix} a_{12}/t_1 & (\lambda_2 - a_{22})/t_1 \\ (\lambda_1 - a_{11})/t_2 & a_{21}/t_2 \end{bmatrix} \quad \dots(16)$$

20

但し、 $t_1 = \sqrt{a_{12}^2 + (\lambda_2 - a_{22})^2}$, $t_2 = \sqrt{(\lambda_1 - a_{11})^2 + a_{21}^2}$ とする。

【0076】

後段の重み付け部13は、上記の重み係数行列 V_{dn} を基に、送信信号ベクトル x に対して重み付けを行なう。

【0077】

上述したようなアンテナ重み係数行列 V_{dn} の計算を現実的な回路規模で構成された演算回路を用いて実時間での処理を行なう必要から、実機上では整数演算が行なわれる。整数演算は実数演算と異なり、語長制限の影響により演算誤差の増大や、オーバーフローやアンダーフローなどが生じることにより、重み係数行列 V_{dn} の行ノルムが大きく変動する可能性が大きい。この結果、重み係数行列が想定外の値となり、端末1において送信出力が電波法の規制する上限を越える危険がある。

30

【0078】

これに対し、本実施形態では、図2に示したように、重み係数行列演算部12の最終段で正規化を行なうことで、重み係数行列 V_{dn} の行ノルムの変動を効果的に抑制するようにしている。仮に正規化よりも前の演算において演算誤差などが混入したとしても、正規化部124における正規化が正しく動作すれば、出力される重み係数行列 V_{dn} の行ノルムは常に一定の値になる。

40

【0079】

上述したように重み係数行列演算の最終段で重み係数行列 V_{dn} の正規化を行なう方法との対比として、例えばアップリンクのチャネル情報行列 H_{UP} に対して特異値分解を行ない（ $H_{UP} = U_{UP} D_{UP} V_{UP}^H$ ）、上述と同様にして D_{UP} 及び V_{UP} を求め（但し、 V_{UP} は最終段で正規化する）、次式の関係からダウンリンク時の送信用アンテナ重み係数行列 V_{dn} を求めることができる。

【0080】

【数 15】

$$V_{dn} = U_{UP}^* = \left(H_{UP} V_{UP} D_{up}^{-1} \right)^*$$

但し、 $*$ は複素共役を示し、 $^{-1}$ は逆行列を示す。

【0081】

10

この場合、正規化した後にさらに演算を行なうため、演算誤差により送信用アンテナ重み係数行列 V_{dn} の行ノルムの変動が発生する可能性が高くなる。

【0082】

よって、図 2 に示したように、重み係数行列演算部 12 では、最終段で重み係数行列 V_{dn} の正規化を行なうことで、出力される重み係数行列 V_{dn} の行ノルムの変動を抑制することが可能となる。

【0083】

ここまでは、正規化が正しく動作すれば出力される重み係数行列 V_{dn} の行ノルムは常に一定の値になるとして説明してきた。しかしながら、語長制限された整数演算においては、重み係数行列演算部 12 の正しい動作が必ずしも保証されている訳ではない。例えば、重み係数行列演算部 12 への入力信号が想定範囲を超えるような場合には、演算誤差の発生や、演算の途中でオーバーフローやアンダーフローが発生する可能性がある。特に、最終段の正規化部 124 は、2乗和の平方根を基に割算を行なうため（例えば、上式（15）、（16）を参照のこと）、大き過ぎる入力や小さ過ぎる入力に対する演算誤差が大きくなる可能性が高い。

20

【0084】

そこで、本実施形態では、このような問題にも対応するために、重み係数行列演算部 12 は、以下のような異常な事態の発生を検出する検出器 126 を備えている。

【0085】

（1）正規化部 124 への入力信号が想定範囲外（大き過ぎ、又は小さ過ぎ）。

30

（2）正規化の演算途中でのオーバーフロー又はアンダーフロー。

【0086】

これらの事態が検出された場合には、出力される重み係数行列の行ノルムが想定される値とは大きく異なり、送信電力が電波法規制で設定される上限を超える可能性が高くなる。このため、スイッチ 127 は、検出器 126 による検出出力に応じて、正規化部 124 による演算結果に代えて、ROM (Read Only Memory) 125 内にあらかじめ格納されているデフォルトの重み係数行列を後段の重み付け部 13 に出力するようになっている。

【0087】

ここで、ROM 125 内には、正規化されている重み係数行列を用意しておくことにより、行ノルムは想定通りとなる。また、ROM 125 にあらかじめ格納する重み係数行列として、例えば単位行列や、適当な角度を持った回転行列、鏡像行列、Walsh-Hadamard 行列、又はこれらの 2 以上の行列を組み合わせた行列などを用いることができる。

40

【0088】

また、ROM 125 内に複数の異なった重み係数行列を用意しておき、検出器 126 が正規化部 124 への入力信号や演算の途中結果などを基に異常を検出したときには、ROM 125 内の重み係数行列の中から最も適していると思われるものを適宜選択して、正規化部 124 の演算結果に代えて出力するようにしても良い。例えば、複数の角度を持った回転行列を ROM 125 内に用意しておき、正規化を行なう前の重み係数行列に最も近い

50

角度を持つ回転行列を選択しても良い。

【 0 0 8 9 】

図 3 には、重み係数行列演算部 1 2 について他の構成例を示している。固有値演算部 1 2 2 が算出した固有値 λ_1 及び λ_2 を上式 (1 1) に代入して、固有ベクトルとして多数の組み合わせが存在することは既に述べた通りである。図 3 に示した構成例では、固有ベクトル演算部 1 2 3 は、固有値 λ_1 及び λ_2 を演算して得られる固有ベクトルの複数の組を作成し、これらの中から適したものをスイッチ 1 2 8 で選択して、後続の正規化部 1 2 4 へ出力するようになっている。

【 0 0 9 0 】

スイッチ 1 2 8 において複数の固有ベクトルから選択する選択基準として、例えば「最終的に演算誤差の生じる可能性が小さい行列」を挙げることができる。

10

【 0 0 9 1 】

固有ベクトルの 1 つとして上式 (1 4) を既に挙げたが、さらに次式 (1 7) も固有ベクトルである。

【 0 0 9 2 】

【数 1 6】

$$[v_1, v_2] = \begin{bmatrix} \lambda_1 - a_{22} & a_{12} \\ a_{21} & \lambda_2 - a_{11} \end{bmatrix} \dots (17)$$

20

【 0 0 9 3 】

正規化部 1 2 4 において上式 (1 7) に示す固有ベクトルを正規化すると、上述と同様に、下式 (1 8) 又は (1 9) に示す重み係数行列 V_{dn} を求めることができる。

【 0 0 9 4 】

【数 1 7】

$$V_{dn} = \begin{bmatrix} (\lambda_1 - a_{22})/s_1 & a_{12}/s_2 \\ a_{21}/s_1 & (\lambda_2 - a_{11})/s_2 \end{bmatrix} \dots (18)$$

30

但し、 $s_1 = \sqrt{(\lambda_1 - a_{22})^2 + a_{21}^2}$, $s_2 = \sqrt{a_{12}^2 + (\lambda_2 - a_{11})^2}$ とする。

【 0 0 9 5 】

【数 1 8】

$$V_{dn} = \begin{bmatrix} (\lambda_1 - a_{22})/t_1 & a_{12}/t_1 \\ a_{21}/t_2 & (\lambda_2 - a_{11})/t_2 \end{bmatrix} \dots (19)$$

40

但し、 $t_1 = \sqrt{(\lambda_1 - a_{22})^2 + a_{12}^2}$, $t_2 = \sqrt{a_{21}^2 + (\lambda_2 - a_{11})^2}$ とする。

【 0 0 9 6 】

ここで、チャンネル情報行列 H が縮退するようなケースについて考察してみる。この場合、固有値 λ_2 が 0 となるので、上式 (1 4) 及び (1 7) はそれぞれ以下の式 (2 0) 及

50

び(21)の通りとなる。

【0097】

【数19】

$$[v_1, v_2] = \begin{bmatrix} a_{12} & -a_{22} \\ \lambda_1 - a_{11} & a_{21} \end{bmatrix} \dots (20)$$

【0098】

【数20】

$$[v_1, v_2] = \begin{bmatrix} \lambda_1 - a_{22} & a_{12} \\ a_{21} & -a_{11} \end{bmatrix} \dots (21)$$

【0099】

このとき、共分散行列 A の要素 a_{22} が 0 に近いような場合には、上式(15)中の s_2 、あるいは式(16)中の t_1 が 0 に近くなる可能性が高い。分母が 0 に近くなると、整数除算の演算誤差は一般に大きくなる。そのため、この場合は式(20)に示した固有ベクトルから重み係数行列 V_{dn} の正規化演算を行なう方が、式(21)に示した固有ベクトルから重み係数行列 V_{dn} の正規化演算を行なうよりも、最終的に誤差を持つ可能性が高くなる。

【0100】

一方、共分散行列 A の要素 a_{11} が 0 に近いような場合には、上式(18)中の s_2 、あるいは式(20)中の t_2 が 0 に近くなる可能性が高くなるため、この場合は式(21)に示した固有ベクトルから重み係数行列 V_{dn} の正規化演算を行なう方が、式(20)に示した固有ベクトルから重み係数行列 V_{dn} の正規化演算を行なうよりも、最終的に誤差を持つ可能性が高くなる。

【0101】

したがって、チャンネル情報行列 H が縮退するような通信環境下では、複数の固有ベクトルの中から「最終的に演算誤差の生じる可能性が小さい行列」を選択するという選択基準に従い、スイッチ128において以下のようなスイッチング制御を行なうことで、演算誤差を減らすことができる。

【0102】

(1) $a_{11} > a_{22}$ 、あるいは、 $a_{11} = a_{22}$ のときは式(17)に示した固有ベクトルの組を選択して、正規化部124に供給する。

(2) $a_{11} < a_{22}$ 、あるいは、 $a_{11} = a_{22}$ のときは式(14)に示した固有ベクトルの組を選択して、正規化部124に供給する。

【0103】

ここまでの説明では、重み係数行列演算部12で正規化を行なうことについて述べてきたが、図4に示すように、重み係数行列演算部12では正規化を行わずに重み係数行列を出力し、重み付けした後の送信信号に対して(重み係数行列演算部12の外に配置されている)送信信号正規化部18で正規化を行なうように構成することができる。

【0104】

図2に示した構成例では、重み係数行列演算部12の最終段で正規化を行なうことで、整数演算により重み係数行列を計算する際の演算誤差やオーバーフローの影響を小さくして、重み係数行列 V_{dn} の行ノルムの変動を効果的に抑制するようにしている。これに対し、図4に示した構成例では、固有ベクトルで送信信号ベクトル x を重み付けした後に、送

10

20

30

40

50

信信号正規化部 1 8 で正規化処理を行なうようになっており、同様に演算誤差やオーバーフローの影響を小さくして、重み係数行列 V_{dn} の行ノルムの変動を効果的に抑制することができる。

【 0 1 0 5 】

図 4 に示す重み係数行列演算部 1 2 は、例えば図 5 又は図 6 に示すような構成になる。

【 0 1 0 6 】

図 5 に示す構成例では、重み係数行列演算部 1 2 内において、共分散行列演算部 1 2 1 はダウンリンクのチャネル情報行列から共分散行列 A を計算し、固有値 1 2 2 は共分散行列 A の固有値を求め、固有ベクトル演算部 1 2 3 は固有ベクトルを演算して、出力する。

【 0 1 0 7 】

固有ベクトルとしては、多数の組み合わせが存在する（前述）。図 6 に示した構成例では、固有値 λ_1 及び λ_2 を演算して得られる固有ベクトルの複数の組を用意し、これらの中から適したものをスイッチ 1 2 8 で選択して、後続の重み付け部 1 3 に出力する。スイッチ 1 2 8 において複数の固有ベクトルから選択する選択基準として、例えば「最終的に演算誤差の生じる可能性が小さい行列」を挙げるることができる（同上）。

【 0 1 0 8 】

図 5 又は図 6 に示した重み係数行列演算部 1 2 から重み係数行列 V_{dn} が出力されると、後続の重み付け部 1 3 では、送信アンテナ毎に送信データを分配してなる送信信号ベクトル x に対して重み係数行列 V_{dn} を複素乗算して重み付け処理を行なう。続いて、送信信号を重み付けした後に送信信号正規化部 1 8 により送信信号の正規化処理を行なう。

【 0 1 0 9 】

正規化が正しく動作すれば、出力される送信ベクトルのノルムは常に一定の値になる。しかしながら、送信信号正規化部 1 8 での処理は正しい動作が必ずしも保証されている訳ではない。何故ならば、2乗和の平方根を基にした割算などが含まれ、かかる処理を語長制限された整数演算により実施する際、入力信号が想定範囲を超えて、演算誤差の発生や、演算の途中でオーバーフローやアンダーフローが発生する可能性があるからである。

【 0 1 1 0 】

そこで、検出器 1 5 は、以下のような異常な事態の発生を検出する機能を備えている。

【 0 1 1 1 】

(1) 送信信号正規化部 1 8 への入力信号が想定範囲外（大き過ぎ、又は小さ過ぎ）。
(2) 送信信号正規化部 1 8 による正規化の演算途中でのオーバーフロー又はアンダーフロー。

【 0 1 1 2 】

これらの事態が検出された場合には、出力される重み係数行列の行ノルムが想定される値とは大きく異なり、送信電力が電波法規制で設定される上限を超える可能性が高くなる。このため、スイッチ 1 6 は、検出器 1 5 による検出出力に応じて、送信信号正規化部 1 8 による演算結果に代えて、行列積演算部 1 7 が送信信号ベクトル x と所定の行列を乗算した行列積を選択し、この行列積の各要素をそれぞれ送信アンテナから送出する。行列積演算部 1 7 は、例えば単位行列や、適当な角度を持った回転行列、鏡像行列、Walsh-Hadamard 行列、又はこれらの 2 以上の行列を組み合わせた行列など、行ノルムが保証された重み係数行列をあらかじめ ROM などに備えている。この場合、行ノルムが想定外に大きな値となる重み係数行列で送信重み付けを行なわないことから、送信電力が電波法規制で設定される上限を超える可能性は極めて低くなる。

【 0 1 1 3 】

なお、図 4 に示す例では、行列積演算部 1 7 では正規化した重み係数行列をあらかじめ用意してもよいし、送信信号を重み付けした後に正規化するようにしてもよい。

【 0 1 1 4 】

また、図 4 に示した回路構成においても、ROM（図示しない）内にあらかじめ重み係数行列を格納しておき、語長制限の影響により演算誤差の増大や、オーバーフローやアン

10

20

30

40

50

ダーフローなどの問題が発生したことを検出して、送信信号正規化部 18 による演算結果に代えて、ROM からデフォルトの重み係数行列を後段の重み付け部 13 に出力することによって、重み係数行列の行ノルムが想定外に変動することを防止できる。ROM にあらかじめ格納する重み係数行列として、例えば単位行列や、適当な角度を持った回転行列、鏡像行列、Walsh-Hadamard 行列、又はこれらの 2 以上の行列を組み合わせた行列などを用いることができる。

【産業上の利用可能性】

【0115】

以上、特定の実施形態を参照しながら、本発明について詳解してきた。しかしながら、本発明の要旨を逸脱しない範囲で当業者が該実施形態の修正や代用を成し得ることは自明である。すなわち、例示という形態で本発明を開示してきたのであり、本明細書の記載内容を限定的に解釈するべきではない。本発明の要旨を判断するためには、特許請求の範囲を参酌すべきである。

10

【図面の簡単な説明】

【0116】

【図1】図1は、本発明の一実施形態に係る無線通信システムの構成を模式的に示した図である。

【図2】図2は、重み係数行列演算部 12 の構成例を示した図である。

【図3】図3は、重み係数行列演算部 12 についての他の構成例を示した図である。

【図4】図4は、重み係数行列演算部 12 では正規化を行わずに重み係数行列を出力し、重み付けした後の送信信号に対して送信信号正規化部 18 で正規化を行なう端末 1 の構成例を示した図である。

20

【図5】図5は、図4に示した端末1に適用される重み係数行列演算部12の内部構成例を示した図である。

【図6】図6は、図4に示した端末1に適用される重み係数行列演算部12の内部構成例を示した図である。

【図7】図7は、SVD-MIMO通信システムを概念的に示した図である。

【符号の説明】

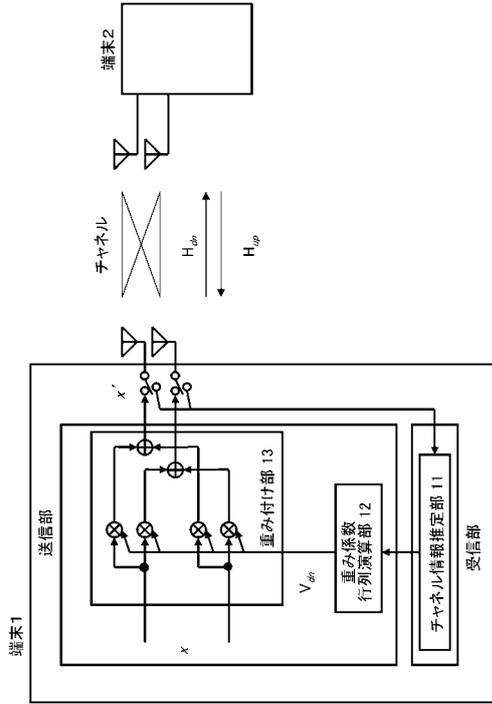
【0117】

- 1 ... 端末（送信側）
- 1 1 ... チャネル情報推定部
- 1 2 ... 重み係数行列演算部
- 1 2 1 ... 共分散行列演算部
- 1 2 2 ... 固有値演算部
- 1 2 3 ... 固有ベクトル演算部
- 1 2 4 ... 正規化部
- 1 2 5 ... ROM
- 1 2 6 ... 検出器
- 1 2 7、1 2 8 ... スイッチ
- 1 3 ... 重み付け部
- 1 5 ... 検出器
- 1 6 ... スイッチ
- 1 7 ... 行列積演算部
- 1 8 ... 送信信号正規化部
- 2 ... 端末（受信側）

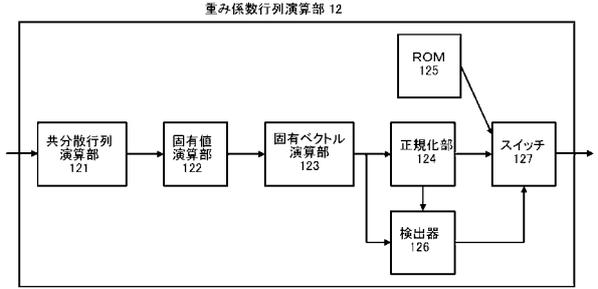
30

40

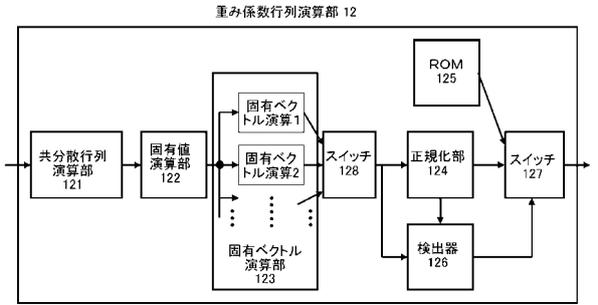
【図1】



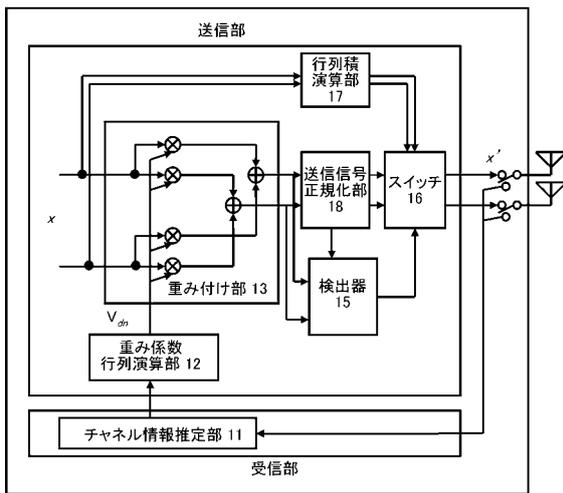
【図2】



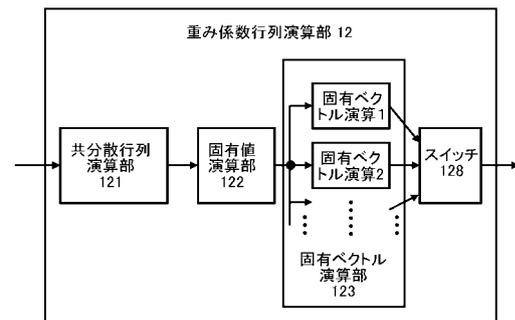
【図3】



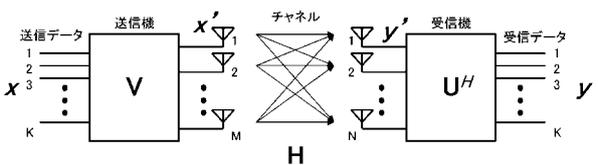
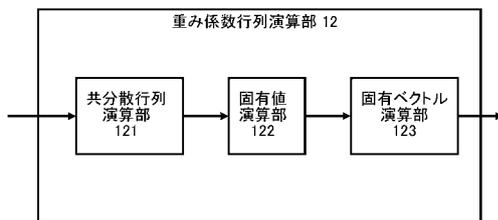
【図4】



【図6】



【図5】



フロントページの続き

審査官 橋 均憲

(56)参考文献 特開2001-251148(JP,A)
特開2003-069529(JP,A)
特表2008-514059(JP,A)
特開2004-180108(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H04J 99/00