

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5585191号
(P5585191)

(45) 発行日 平成26年9月10日(2014.9.10)

(24) 登録日 平成26年8月1日(2014.8.1)

(51) Int. Cl. F I
 HO 4 J 99/00 (2009.01) HO 4 J 15/00
 HO 4 B 7/04 (2006.01) HO 4 B 7/04

請求項の数 8 (全 42 頁)

(21) 出願番号	特願2010-106243 (P2010-106243)	(73) 特許権者	000005223
(22) 出願日	平成22年5月6日(2010.5.6)		富士通株式会社
(65) 公開番号	特開2011-239017 (P2011-239017A)		神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
(43) 公開日	平成23年11月24日(2011.11.24)	(74) 代理人	100099759
審査請求日	平成25年2月6日(2013.2.6)		弁理士 青木 篤
		(74) 代理人	100119987
			弁理士 伊坪 公一
		(74) 代理人	100081330
			弁理士 樋口 外治
		(74) 代理人	100141254
			弁理士 榎原 正巳
		(74) 代理人	100114177
			弁理士 小林 龍

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 通信装置及び通信方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数のアンテナと、

前記複数のアンテナの何れか一つと接続され、当該接続されたアンテナを介して複数のアンテナを有する送信装置から送信された複数の送信信号を受信することにより、それぞれ受信信号を取得する複数の受信部と、

前記複数の受信信号の少なくとも何れかに対応し、かつ前記複数の送信信号の全てに相当する成分を持つ第1の信号から、前記複数の送信信号と前記複数の受信信号間の通信チャネルを表す第1のチャネル行列に基づいて前記複数の送信信号のうちの第1の送信信号を除いた第1の他の送信信号の候補に相当する成分をキャンセルした第1の残留成分を求め、前記第1の送信信号が取り得る値のうち当該第1の残留成分に最も近い値を前記第1の送信信号の候補として求め、当該第1の送信信号の候補と前記第1の他の送信信号の候補との組の集合を第1候補グループとして求め、かつ、

前記複数の受信信号の少なくとも何れかに対応し、かつ前記複数の送信信号の全てに相当する成分を持つ第2の信号から、前記複数の送信信号と前記複数の受信信号間の通信チャネルを表す第2のチャネル行列に基づいて前記複数の送信信号のうちの第2の送信信号を除いた第2の他の送信信号の候補に相当する成分をキャンセルした第2の残留成分を求め、前記第2の送信信号が取り得る値のうち当該第2の残留成分に最も近い値を前記第2の送信信号の候補として求め、当該第2の送信信号の候補と前記第2の他の送信信号の候補との組の集合を第2候補グループとして求める候補グループ設定部と、

10

20

前記第 1 候補グループと前記第 2 候補グループ間で共通する前記送信信号の候補の組の集合を共通グループとして選択する共通グループ検索部と、

前記共通グループに含まれる送信信号の候補の組のそれぞれについて、当該送信信号の候補の組に対応する推定受信信号の組を算出し、当該推定受信信号の組と前記複数の受信信号との距離を計算するメトリック計算部と、

前記距離が最小となる前記送信信号の候補の組を、前記複数の送信信号の組と推定する送信信号推定部と、
を有する通信装置。

【請求項 2】

前記第 1 候補グループに含まれる前記送信信号の候補の組のそれぞれに対して前記複数の送信信号である確からしさを表す第 1 のランキング値を設定し、かつ前記第 2 候補グループに含まれる前記送信信号の候補の組のそれぞれに対して前記複数の送信信号である確からしさを表す第 2 のランキング値を設定するランキング決定部をさらに有し、

前記共通グループ検索部は、前記第 1 のランキング値及び前記第 2 のランキング値に基づいて前記共通グループに含まれる前記送信信号の候補の組のそれぞれに対して、前記複数の送信信号である確からしさが高いほど高くなる優先順位を付与し、

前記メトリック計算部は、前記優先順位が高い方から順に、前記複数の送信信号のそれぞれに対して適用される変調方式が取り得る値の数の最小値よりも小さい所定数の組について前記距離を計算する、請求項 1 に記載の通信装置。

【請求項 3】

前記第 1 のチャネル行列をユニタリ行列と三角行列に分解し、該ユニタリ行列のエルミート共役を前記複数の受信信号を要素とする受信信号ベクトルに乗じることにより複数のユニタリ変換信号を求める分解部をさらに有し、

前記候補グループ設定部は、前記複数の送信信号のうちの前記第 1 の送信信号と異なる第 3 の送信信号の近似値を、前記三角行列及び前記複数のユニタリ変換信号のうちの前記第 3 の送信信号の成分のみを持つユニタリ変換信号に基づいて算出し、前記第 1 候補グループに含まれる前記送信信号の候補の組に対する前記第 1 のランキング値を、前記送信信号の候補の組に含まれる前記第 3 の送信信号の候補が前記近似値に近いほど前記確からしさが高いことを示す値に設定する、請求項 2 に記載の通信装置。

【請求項 4】

前記候補グループ設定部は、前記第 3 の送信信号の候補のうち、前記第 3 の送信信号の近似値に近い方から順に所定個数の当該第 3 の送信信号の候補のみを用いて前記第 1 候補グループを求める、請求項 3 に記載の通信装置。

【請求項 5】

前記候補グループ設定部は、前記第 1 の送信信号が取り得る値のうち、前記第 1 候補グループに含まれる前記第 1 の送信信号の候補となった値のみを前記第 2 の他の送信信号の候補に含めることにより、前記第 2 候補グループを求める、請求項 1 に記載の通信装置。

【請求項 6】

更に、

前記複数の送信信号を復号してアップリンク信号を再生する復号部と、
前記アップリンク信号をコアネットワークへ出力する回線終端部と、
を有する基地局装置である請求項 1 に記載の通信装置。

【請求項 7】

更に、

前記複数の送信信号を復号してダウンリンク信号を再生する復号部を有する移動局装置である請求項 1 に記載の通信装置。

【請求項 8】

複数のアンテナを有する送信装置から送信された複数の送信信号を受信装置が有する複数のアンテナのそれぞれによって受信することにより得られた複数の受信信号の少なくとも何れかに対応し、かつ前記複数の送信信号の全てに相当する成分を持つ第 1 の信号から

10

20

30

40

50

、前記複数の送信信号と前記複数の受信信号間の通信チャネルを表す第1のチャネル行列に基づいて前記複数の送信信号のうちの第1の送信信号を除いた第1の他の送信信号の候補に相当する成分をキャンセルした第1の残留成分を求め、前記第1の送信信号が取り得る値のうち当該第1の残留成分に最も近い値を前記第1の送信信号の候補として求め、当該第1の送信信号の候補と前記第1の他の送信信号の候補との組の集合を第1候補グループとして求め、

前記複数の受信信号の少なくとも何れかに対応し、かつ前記複数の送信信号の全てに相当する成分を持つ第2の信号から、前記複数の送信信号と前記複数の受信信号間の通信チャネルを表す第2のチャネル行列に基づいて前記複数の送信信号のうちの第2の送信信号を除いた第2の他の送信信号の候補に相当する成分をキャンセルした第2の残留成分を求め、前記第2の送信信号が取り得る値のうち当該第2の残留成分に最も近い値を前記第2の送信信号の候補として求め、当該第2の送信信号の候補と前記第2の他の送信信号の候補との組の集合を第2候補グループとして求め、

10

前記第1候補グループと前記第2候補グループ間で共通する前記送信信号の候補の組の集合を共通グループとして選択し、

前記共通グループに含まれる送信信号の候補の組のそれぞれについて、当該送信信号の候補の組に対応する推定受信信号の組を算出し、当該推定受信信号の組と前記複数の受信信号との距離を計算し、

前記距離が最小となる前記送信信号の候補の組を、前記複数の送信信号の組と推定することを含む通信方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

ここに開示される実施形態は、複数のアンテナのそれぞれから送信された送信信号を複数のアンテナを用いて受信する通信装置及び通信方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来より、無線通信におけるデータ転送の高速化に対する要望は非常に大きいものがある。そこで、Long Term Evolution (LTE) などの次世代のデータ通信規格の標準化が進められている。LTEのような高速データ通信規格において、送信装置と受信装置の双方が複数のアンテナを用いて並列に信号を送受信することにより、擬似的に帯域を広げることができるMultiple Input Multiple Output (MIMO) 技術が注目されている。

30

MIMO技術を採用した通信システムでは、複数のアンテナを有する送信装置が、1以上のデータストリームを複数の送信信号に分割する。そして送信装置は、各送信信号をそれぞれ別個のアンテナを介して送信する。一方、複数のアンテナを有する受信装置は、各アンテナにおいて送信装置からの送信信号を受信する。そして受信装置は、各アンテナで受信した信号から同時に送信された送信信号を分離する。この送信信号の分離方法として、例えば、最小二乗誤差法 (Minimum Mean Square Error、MMSE) と最尤検出法 (Maximum Likelihood Detection、MLD) が知られている。MLDを用いた受信装置は、実際に受信した受信信号の組と、送信される可能性のある送信信号候補の組から推定された受信信号の組とを比較し、その推定された組の中で最も確からしい組に対応する送信信号候補を、実際に送信された信号とする。MLDを用いた受信装置は、送信信号候補の組に対して推定された受信信号の組と実際の受信信号の組とを比較するために、それら二つの受信信号の組の間の二乗ユークリッド距離などのメトリックを計算する。

40

MLDは、MMSE等の線形分離法と比較して、優れた受信特性を得ることができる。しかし、MLDが受信信号から送信信号を分離するために行う演算量は、MMSE等の線形分離法が送信信号を分離するために行う演算量よりも多い。特に、同時に送信される送信信号の数と送信に利用される変調方式において取り得る値の数が増えるほど、MLDにおけるメトリックの計算回数は指数関数的に増大する。

そこで、演算量を削減させたMLDが提案されている (例えば、特許文献1、2及び非特

50

許文献 1 ~ 3 を参照)。

【 0 0 0 3 】

例えば、非特許文献 1 には、QR分解とMアルゴリズムを組み合わせることにより、メトリック計算回数を減少させたQRM-MLDが開示されている。ここで、送信装置から同時に送信されるN個の送信信号(x_0, x_1, \dots, x_{N-1})と、受信装置にて受信されたN個の受信信号(y_0, y_1, \dots, y_{N-1})との関係が次式で表されるとする。ただし、Nは2以上の整数である。なお、送信信号の数は、受信信号の数、すなわち、受信装置が有するアンテナの数と同一でなくてもよい。同時に送信される送信信号の数よりも、受信装置が有するアンテナの数が多ければ、MIMO技術による信号伝送が可能となる。

【 数 1 】

$$\mathbf{Y} = \mathbf{H}\mathbf{X}$$

$$\begin{pmatrix} y_0 \\ y_1 \\ \vdots \\ y_{N-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{0,0} & h_{0,1} & \cdots & h_{0,N-1} \\ h_{1,0} & h_{1,1} & \cdots & h_{1,N-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{N-1,0} & h_{N-1,1} & \cdots & h_{N-1,N-1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_0 \\ x_1 \\ \vdots \\ x_{N-1} \end{pmatrix} \quad (1)$$

10

20

なお、行列Hは、送信信号と受信信号の対応関係を記述する有効チャネル行列を表す。また(1)式では、簡単化のために、送信信号に加わるノイズは省略されている。QRM-MLDでは、有効チャネル行列Hがユニタリー行列Qと三角行列Rに分解され、次式のように表される。

【 数 2 】

$$\mathbf{H} = \mathbf{Q}\mathbf{R}$$

$$\begin{pmatrix} h_{0,0} & h_{0,1} & \cdots & h_{0,N-1} \\ h_{1,0} & h_{1,1} & \cdots & h_{1,N-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{N-1,0} & h_{N-1,1} & \cdots & h_{N-1,N-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} q_{0,0} & q_{0,1} & \cdots & q_{0,N-1} \\ q_{1,0} & q_{1,1} & \cdots & q_{1,N-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ q_{N-1,0} & q_{N-1,1} & \cdots & q_{N-1,N-1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r_{0,0} & r_{0,1} & \cdots & r_{0,N-1} \\ 0 & r_{1,1} & \cdots & r_{1,N-1} \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & 0 & r_{N-1,N-1} \end{pmatrix} \quad (2)$$

30

(1)式の両辺に、左側からユニタリー行列Qのエルミート共役 \mathbf{Q}^H を乗じることにより、次式が得られる。

【 数 3 】

$$\mathbf{Z} = \mathbf{Q}^H\mathbf{Y} = \mathbf{Q}^H\mathbf{Q}\mathbf{R}\mathbf{X} = \mathbf{R}\mathbf{X}$$

$$\begin{pmatrix} z_0 \\ z_1 \\ \vdots \\ z_{N-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_{0,0} & r_{0,1} & \cdots & r_{0,N-1} \\ 0 & r_{1,1} & \cdots & r_{1,N-1} \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & 0 & r_{N-1,N-1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_0 \\ x_1 \\ \vdots \\ x_{N-1} \end{pmatrix} \quad (3)$$

40

50

なお、ベクトル $z=(z_0, z_1, \dots, z_{N-1})$ は、受信信号ベクトル Y と行列 Q^H との積により得られる受信信号ベクトルのユニタリ変換ベクトルである。(3)式に示されるように、ユニタリ変換ベクトル z の各要素に関連する送信信号の数は異なる。例えば、信号 z_{N-1} に対しては、送信信号 x_{N-1} のみが関連する。一方、信号 z_0 に対しては、 N 個の送信信号 $x_0 \sim x_{N-1}$ が関連する。

【0004】

受信装置は、実際に受信した受信信号から求められる $z_0 \sim z_{N-1}$ の値と、送信される可能性のある送信信号に対応するシンボルレプリカの組を(3)式のベクトル X に入力することにより得られる $z_0' \sim z_{N-1}'$ の値との二乗ユークリッド距離をメトリックとして計算する。なお、このシンボルレプリカは、受信装置により仮に設定される信号である。MLDでは、受信装置は、 $z_0 \sim z_{N-1}$ の全てについて求めたメトリックの総和が最小となるシンボルレプリカの組を実際に送信された送信信号であると推定する。

10

【0005】

QRM-MLDを用いた受信装置は、信号 $z_0 \sim z_{N-1}$ のうち、関連する送信信号の数が最も少ないものから順にメトリックを計算する。例えば、(3)式では、信号 z_{N-1} に関連する送信信号の数が最小となる。そのため、受信装置は、最初のステージにおいて、信号 z_{N-1} についてのメトリックを最初に計算し、次のステージにおいて、関連する送信信号の数が2番目に少ない信号 z_{N-2} についてのメトリックを計算する。その際、受信装置は、 m 番目のステージにおいて、一つ前のステージの信号 z_{m-1} について計算されたメトリックが小さい方から順に M 個のシンボルレプリカについてのみ、メトリックを計算する。例えば、 $M=3$ であり、送信信号 $x_0 \sim x_{N-1}$ が64QAMにて変調されていると仮定する。この場合、各送信信号について、それぞれ64個のシンボルレプリカが存在する。そして信号 z_{N-1} については送信信号 x_{N-1} のみが関連するので、受信装置は、最初に送信信号 x_{N-1} に対応する64個のシンボルレプリカ $c_{N-1,0} \sim c_{N-1,63}$ についてメトリックを計算する。その結果、メトリックが小さい方から順に、3個のメトリックに対応するシンボルレプリカが $c_{N-1,a}, c_{N-1,b}, c_{N-1,c}$ (ただし、 $0 \leq a,b,c \leq 63, a \neq b \neq c$)であったとする。この場合、受信装置は、信号 z_{N-2} に対するメトリックを計算する際、送信信号 x_{N-1} については3個のシンボルレプリカ $c_{N-1,a}, c_{N-1,b}, c_{N-1,c}$ のみを選択する。そして受信装置は、その3個のシンボルレプリカ $c_{N-1,a}, c_{N-1,b}, c_{N-1,c}$ の何れかと、送信信号 x_{N-2} が取り得る64個のシンボルレプリカ $c_{N-2,0} \sim c_{N-2,63}$ の何れかとの組のそれぞれについてメトリックを計算する。

20

30

このように、QRM-MLDを用いた受信装置は、全てのシンボルレプリカの組についてメトリックを計算しなくてよいので、演算量を低減できる。

また特許文献1には、互いに異なる二つの順序に並べられた受信信号に対してそれぞれ別個にQRM-MLD法を適用することにより、複数の送信信号のシンボル候補を判定し、その判定結果に基づいて複数のシンボル候補及び尤度を入力する技術が開示されている。

【0006】

また非特許文献2には、QRM-MLDよりもメトリックの演算回数を削減できるAdaptive Selection of Surviving Symbol replica candidates based on the maximum reliability(ASESS)法が開示されている。ASESS法では、受信装置は、メトリックを計算する各ステージにおいて、チャンネル行列をQR分解して送信信号を直交化することにより得られた受信信号から生き残りシンボルレプリカ候補の信号成分を差し引いた残留受信信号を求める。そして受信装置は、残留受信信号に基づいて、ブランチメトリックを計算する送信信号の各シンボルレプリカ候補に対し、ブランチメトリックが小さいと予想される順にランキングする。そして受信装置は、最上位にランキングされたシンボルレプリカ候補から順にブランチメトリックを計算し、ブランチメトリックが所定の閾値より小さいシンボルレプリカ候補だけを生き残らせる。また、シンボルレプリカ候補に対するランキングは、残留受信信号が属する象限を判定することによって行われる。

40

【0007】

さらに、非特許文献3に開示されたLayered Orthogonal Lattice Detector(LORD)法及び特許文献2に開示された方法では、受信装置は、第1のチャンネル行列をQR分解する。そ

50

して受信装置は、QR分解により得られた上三角行列及びユニタリ行列に基づいて、複数の送信信号の一部を所定の値としたときのメトリックを計算する。また受信装置は、第1のチャンネル行列に対してチャンネルの順序を入れ換えた第2のチャンネル行列を生成する。そして受信装置は、第2のチャンネル行列をQR分解して得られた上三角行列及び信号ベクトルZ'に基づいて、複数の送信信号の他の一部を所定の値としたときのメトリックを計算する。そして受信装置は、第1のチャンネル行列について求めたメトリックと、第2のチャンネル行列について求めたメトリックに基づいてシンボルレプリカの組を決定することによって、送信信号を推定する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開2006-121348号公報

【特許文献2】特開2009-33636号公報

【非特許文献】

【0009】

【非特許文献1】K. J. Kim and J. Yue, "Joint channel estimation and data detection algorithms for MIMO-OFDM systems", in Proc. Thirty-Sixth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, 2002年11月, pp. 1857-1861

【非特許文献2】K. Higuchi, H. Kawai, N. Maeda and M. Sawahashi, "Adaptive Selection of Surviving Symbol Replica Candidates Based on Maximum Reliability in QRM-MLD for OFCDM MIMO Multiplexing", Proc. of IEEE Globecom 2004, 2004年11月, pp. 2480 - 2486

【非特許文献3】M. Sitti, M. P. Fitz, "Layered Orthogonal Lattice Detector for Two Transmit Antenna Communications", in Proc. Allerton Conference On Communication Control And Computing, 2005年9月

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

しかし、これらの従来の方法を用いても、受信装置は、複数の送信信号の候補の組に対してメトリックを計算しながら、送信信号の候補の組の数を減らしていくので、送信信号を推定するための大量の演算を実行することになる。そのため、通信速度が低下しないようにこれらの演算を実行するためには、演算回路の規模が大きくなってしまふ。演算回路の規模が大きくなると、携帯電話機のような移動局装置にMIMO技術を適用しようとする、移動局装置のサイズを小型化することが困難となる。また、演算量が多いほど、演算回路で消費される電力も多くなるので、携帯端末のようにバッテリーによって駆動される受信装置にとって演算量が少ないほど好ましい。

【0011】

そこで、本明細書は、複数のアンテナを介して受信した複数の受信信号に基づいて複数の送信信号を分離するために行う演算量を削減可能な通信装置及び通信方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0012】

一つの実施形態によれば、通信装置が提供される。この通信装置は、複数のアンテナと、複数のアンテナの何れか一つと接続され、接続されたアンテナを介して複数のアンテナを有する送信装置から送信された複数の送信信号を受信することにより、それぞれ受信信号を取得する複数の受信部と、複数の受信信号の少なくとも何れかに対応し、かつ複数の送信信号の全てに相当する成分を持つ第1の信号から、複数の送信信号と複数の受信信号間の通信チャンネルを表す第1のチャンネル行列に基づいて複数の送信信号のうちの第1の送信信号を除いた第1の他の送信信号の候補に相当する成分をキャンセルした第1の残留成分を求め、第1の送信信号が取り得る値のうち第1の残留成分に最も近い値を第1の送信

10

20

30

40

50

信号の候補として求め、その第1の送信信号の候補と第1の他の送信信号の候補との組の集合を第1候補グループとして求め、かつ、複数の受信信号の少なくとも何れかに対応し、かつ複数の送信信号の全てに相当する成分を持つ第2の信号から、複数の送信信号と複数の受信信号間の通信チャンネルを表す第2のチャンネル行列に基づいて複数の送信信号のうちの第2の送信信号を除いた第2の他の送信信号の候補に相当する成分をキャンセルした第2の残留成分を求め、第2の送信信号が取り得る値のうち第2の残留成分に最も近い値を第2の送信信号の候補として求め、その第2の送信信号の候補と第2の他の送信信号の候補との組の集合を第2候補グループとして求める候補グループ設定部と、第1候補グループと第2候補グループ間で共通する送信信号の候補の組の集合を共通グループとして選択する共通グループ検索部と、共通グループに含まれる送信信号の候補の組のそれぞれについて、その送信信号の候補の組に対応する推定受信信号の組を算出し、推定受信信号の組と複数の受信信号との距離を計算するメトリック計算部と、その距離が最小となる送信信号の候補の組を、複数の送信信号の組と推定する送信信号推定部とを有する。

10

【0013】

本発明の目的及び利点は、請求項において特に指摘されたエレメント及び組み合わせにより実現され、かつ達成される。

上記の一般的な記述及び下記の詳細な記述の何れも、例示的かつ説明的なものであり、請求項のように、本発明を制限するものではないことを理解されたい。

【発明の効果】

【0014】

20

本明細書に開示された通信装置及び通信方法は、複数のアンテナを介して受信した複数の受信信号に基づいて複数の送信信号を分離するために行う演算量を削減できる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】一つの実施形態による受信装置を有する通信システムの概略構成図である。

【図2】第1の実施形態による受信装置が有するストリーム分離部の概略構成図である。

【図3】(a)~(c)は、それぞれ、送信信号 x_0 の推定値と、その推定値が属する象限との関係を示す図である。

【図4】二つの候補グループと、その二つの候補グループに共通する送信信号の候補の組を示す概念図である。

30

【図5】反転ビットごとに最尤シンボルに最も近いシンボルが反転ビットシンボルとして選択された場合の反転ビットシンボルを示す図である。

【図6】反転ビットごとに最尤シンボルに2番目に近いシンボルまで反転ビットシンボルとして選択された場合の反転ビットシンボルを示す図である。

【図7】送信信号分離処理の動作フローチャートである。

【図8】送信信号分離処理の動作フローチャートである。

【図9】第2の実施形態による受信装置のストリーム分離部の概略構成図である。

【図10】(a)及び(b)は、それぞれ、送信信号 x_1 の推定値 v_1 とシンボルレプリカとの位置関係の例を示す図である。

【図11】図7に示された送信信号分離処理のステップS101~S110の代わりに実行される、第2の実施形態による送信信号分離処理の動作フローチャートである。

40

【図12】第3の実施形態による受信装置のストリーム分離部の概略構成図である。

【図13】候補グループの一例を示す図である。

【図14】第4の実施形態による受信装置のストリーム分離部の概略構成図である。

【図15】何れかの実施形態に係る受信装置が組み込まれた基地局装置の概略構成図である。

【図16】何れかの実施形態に係る受信装置が組み込まれた移動局装置の概略構成図である。

【発明を実施するための形態】

【0016】

50

以下、図を参照しつつ、一つの実施形態による、受信装置について説明する。

この受信装置は、MIMO技術を利用することにより、複数のアンテナを有する送信装置から送信された複数の送信信号を複数のアンテナを介して受信する。そしてこの受信装置は、複数のアンテナのそれぞれによって受信された受信信号から送信信号を分離する。送信信号を分離するために、この受信装置は、チャンネルの順序を入れ替えた二つのチャンネル行列を求める。そしてこの受信装置は、チャンネル行列ごとに送信信号の候補の組を求める。その際、この受信装置は、複数の送信信号のうちの一つの候補を、全ての送信信号に関する成分を持つ受信信号のユニタリ変換信号から、他の送信信号の候補に相当する成分をキャンセルした残留成分に最も近いシンボルレプリカとして決定する。そしてこの受信装置は、チャンネル行列ごとに求めた送信信号の候補の組の二つの集合において共通する組についてのみメトリックを計算することで、1回の演算量が多いメトリック演算の回数を削減する。

10

【0017】

図1は、第1の実施形態による受信装置3を含む、通信システム1の概略構成図である。通信システム1は、2本のアンテナ21-1、21-2を有する送信装置2と、2本のアンテナ31-1、31-2を有する受信装置3とを有する。そして送信装置2は、各アンテナ21-1、21-2から同時に無線信号である送信信号を放射する。一方、受信装置3は、送信装置2から送信された送信信号を各アンテナ31-1、31-2を介して受信する。なお、それぞれのアンテナ31-1、31-2で受信された信号を、以下では受信信号と呼ぶ。受信装置3は、各受信信号に基づいて送信信号を求める。

20

なお、この実施形態において、送信装置2が有するアンテナの数は単なる例示にすぎず、送信装置2が有するアンテナの数は、送信装置2に対して物理的に実装可能な2以上の任意の数に設定することができる。同様に、受信装置3が有するアンテナの数は単なる例示にすぎず、受信装置3が有するアンテナの数は、受信装置3に対して物理的に実装可能な2以上の任意の数に設定することができる。さらに、送信装置2が有するアンテナの数は、受信装置3が有するアンテナの数と異なってもよい。

【0018】

送信装置2は、二つのアンテナ21-1、21-2と、コードワード生成部22と、符号化部23と、変調部24と、二つの送信部25-1、25-2と、制御部26とを有する。コードワード生成部22、符号化部23、変調部24、送信部25-1、25-2及び制御部26は、それぞれ別個の回路として送信装置2に実装されてもよく、それら回路が集積された一つの集積回路として、送信装置2に実装されてもよい。

30

【0019】

コードワード生成部22は、送信されるデータを、制御部26により決定された、トランスポートサイズブロック(Transport Block Size、TBS)の長さを持つコードワードに分割する。なお、コードワードは、例えば、メディアアクセス制御(Media Access Control、MAC)層及びプロトコルデータユニット(Protocol Data Unit、PDU)層の規定にしたがった、MAC-PDUデータとすることができる。またコードワード生成部22は、制御部26により決定された、符号化部23により符号化されるコードワードに対するストリーム数を参照して、生成したコードワードを符号化部23に割り当てる。なおストリーム数は、一つのコードワードに対して同時に送信されるデータ数を表す。

40

コードワード生成部22は、生成したコードワードを符号化部23へ渡す。

【0020】

符号化部23は、コードワード生成部22から受け取ったコードワードに対して、畳込み符号化処理あるいはターボ符号化処理などの誤り訂正用符号化処理を実行する。さらに符号化部23は、制御部26から取得したストリーム数で符号化されたコードワードを分割することにより、データストリームを生成する。そして符号化部23は、符号化されたコードワードをデータストリーム単位で変調部24へ出力する。

【0021】

変調部24は、制御部26により決定された変調モードMODに従って、符号化部23か

50

ら受け取ったデータストリームを直交変調する。

さらに、変調部 2 4 は、制御部 2 6 により決定されたプレコーディング行列に従って、各データストリームを送信部 2 5 - 1 及び 2 5 - 2 の何れかに出力する。

【 0 0 2 2 】

送信部 2 5 - 1、2 5 - 2 は、それぞれ、変調部 2 4 から入力されたデータストリームを、無線周波数を持つ搬送波に重畳することにより送信信号を生成する。また送信部 2 5 - 1、2 5 - 2 は、ハイパワーアンプを有する。そして送信部 2 5 - 1、2 5 - 2 は、送信信号の強度を所望のレベルに増幅する。また、送信部 2 5 - 1、2 5 - 2 は、それぞれ、アンテナ 2 1 - 1、2 1 - 2 に接続されており、送信信号を接続されたアンテナを介して送信する。

10

【 0 0 2 3 】

制御部 2 6 は、送信装置 2 全体を制御する。そして制御部 2 6 は、例えば、受信装置 3 から受信したフィードバック情報を参照して、コードワードの長さ、変調モード、各コードワードのストリーム数及びプレコーディング行列を決定する。そして制御部 2 6 は、コードワードの長さ、変調モードなどの情報を、送信装置 2 の関連する各部へ通知する。

なお、フィードバック情報には、例えば、受信装置 3 において受信された信号の品質を表す CQI 値などが含まれる。制御部 2 6 は、何れかのアンテナに接続された受信部（図示せず）から受け取った、受信装置 3 からの信号を復調及び復号し、その復号された信号からフィードバック情報を抽出できる。

【 0 0 2 4 】

20

次に、第 1 の実施形態による受信装置 3 について説明する。受信装置 3 は、二つのアンテナ 3 1 - 1、3 1 - 2 と、二つの受信部 3 2 - 1、3 2 - 2 と、復調部 3 3 と、復号部 3 6 と、データ統合部 3 7 とを有する。受信部 3 2 - 1、3 2 - 2、復調部 3 3、復号部 3 6 及びデータ統合部 3 7 は、別個の回路として受信装置 3 に実装されてもよく、それら回路が集積された一つの集積回路として、受信装置 3 に実装されてもよい。

【 0 0 2 5 】

受信部 3 2 - 1、3 2 - 2 は、それぞれ、アンテナ 3 1 - 1、3 1 - 2 と接続されている。そして受信部 3 2 - 1、3 2 - 2 は、それぞれ、アンテナ 3 1 - 1、3 1 - 2 を介して、送信装置 2 の各アンテナ 2 1 - 1、2 1 - 2 から送信された送信信号を受信する。

また受信部 3 2 - 1、3 2 - 2 は、それぞれ、低ノイズアンプを有し、その低ノイズアンプにより、受信信号を増幅する。そして受信部 3 2 - 1、3 2 - 2 は、増幅した受信信号に中間周波数を持つ信号を重畳して受信信号の周波数をベースバンド周波数に変換した後、その受信信号を復調部 3 3 へ出力する。

30

【 0 0 2 6 】

復調部 3 3 は、受信部 3 2 - 1、3 2 - 2 から受け取った受信信号から送信装置 2 の各アンテナから送信された送信信号を分離する。そのために、復調部 3 3 は、チャンネル推定部 3 4 とストリーム分離部 3 5 とを有する。

チャンネル推定部 3 4 は、送信信号と受信信号の関係を表すチャンネル行列を求める。例えば、チャンネル推定部 3 4 は、送信装置 2 の各アンテナから送信された信号に含まれるパイロット信号のような、送信装置 2 及び受信装置 3 が既知である信号のチャンネルインパルス応答値を求める。そしてチャンネル推定部 3 4 は、そのチャンネルインパルス応答値をチャンネル行列の各要素とする。この場合、送信信号と受信信号の関係は、チャンネル行列を用いて次式で表される。

40

【数4】

$$\mathbf{Y} = \mathbf{HX} + \mathbf{n}$$

$$\begin{pmatrix} y_0 \\ y_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{00} & h_{01} \\ h_{10} & h_{11} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_0 \\ x_1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} n_0 \\ n_1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

ここで、 x_0 、 x_1 は、それぞれ、アンテナ21-1、21-2から送信された送信信号を表す。送信信号ベクトル X は、各送信信号 x_0 、 x_1 を要素とするベクトルである。また y_0 、 y_1 は、それぞれ、アンテナ31-1、31-2を介して受信された受信信号を表す。受信信号ベクトル Y は、各受信信号 y_0 、 y_1 を要素とするベクトルである。行列 H はチャネル行列を表し、その要素 h_{ij} は、上記のように、例えば、パイロット信号に対するチャネルインパルス応答として求められる。さらに、ベクトル n はノイズベクトルを表し、その要素 n_0 、 n_1 は、それぞれ、アンテナ31-1、31-2で受信された受信信号に含まれるノイズ成分を表す。なお、チャネルの順序は上記の例に限定されない。例えば、送信信号 x_0 、 x_1 はそれぞれ、アンテナ21-2、21-1から送信された送信信号であってもよく、また、 y_0 、 y_1 は、それぞれ、アンテナ31-2、31-1を介して受信された受信信号であってもよい。

チャネル推定部34は、チャネル行列をストリーム分離部35に渡す。

ストリーム分離部35は、チャネル行列に基づいて、受信信号から送信信号を分離する。なお、ストリーム分離部35の詳細については後述する。

【0027】

復調部33は、分離した送信信号を、その送信信号に対して適用された変調方式に従って復調し、その復調された信号を復号部36に渡す。

また復調部33は、送信装置2へフィードバックするためのCQI値などのフィードバック情報を算出し、そのフィードバック情報を図示しない送信部へ送る。送信部は、フィードバック情報を持つ信号を直交変調した後、無線周波数を持つ搬送波に重畳することにより無線信号を生成する。そして送信部は、フィードバック情報が搬送される無線信号を何れかのアンテナを介して放射する。

【0028】

復号部36は、復調部33から受け取ったデータストリームを結合することにより、符号化されたコードワードを生成する。そして復号部36は、その符号化されたコードワードに対して誤り訂正復号処理を実行する。復号部36は、復号処理がなされたコードワードをデータ統合部37へ出力する。

【0029】

データ統合部37は、復号部36から受け取ったコードワードを結合し、元のデータに戻す。そしてデータ統合部37は、その元のデータを、受信装置3の他の構成要素へ出力する。

【0030】

以下、ストリーム分離部35の詳細について説明する。

図2は、ストリーム分離部35の概略構成図である。ストリーム分離部35は、チャネル入替部41と、QR分解部42と、候補グループ設定部43と、共通グループ検索部44と、メトリック計算部45と、最小値検索部46と、追加メトリック計算部47と、対数尤度比算出部48とを有する。

ストリーム分離部35が有するこれらの各部は、それぞれ別個の演算回路であってもよい。あるいは、ストリーム分離部35が有するこれらの各部は、その各部の機能を実現する一つの演算回路であってもよい。

【0031】

チャネル入替部41は、チャネル行列 H の列を入れ替えることにより、変換チャネル行

10

20

30

40

50

列H'を作成する。変換チャネル行列H'を用いた送信信号と受信信号の関係は、次式により表される。

【数5】

$$\mathbf{Y} = \mathbf{H}'\mathbf{X} + \mathbf{n}$$

$$\begin{pmatrix} y_0 \\ y_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{01} & h_{00} \\ h_{11} & h_{10} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} n_0 \\ n_1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

10

チャネル入替部41は、変換チャネル行列H'をQR分解部42へ渡す。

【0032】

QR分解部42は、第1QR分解部421と第2QR分解部422とを有する。

第1QR分解部421は、チャネル推定部35から受け取ったチャネル行列Hをユニタリ行列Qと上三角行列RにQR分解する。チャネル行列Hは、ユニタリ行列Qと上三角行列Rを用いて次式のように表される。

【数6】

$$\mathbf{H} = \mathbf{Q}\mathbf{R}$$

$$\begin{pmatrix} h_{00} & h_{01} \\ h_{10} & h_{11} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} q_{00} & q_{01} \\ q_{10} & q_{11} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r_{00} & r_{01} \\ 0 & r_{11} \end{pmatrix} \quad (6)$$

20

そして第1QR分解部421は、(4)式の両辺に、それぞれ左側からユニタリ行列のエルミート共役 \mathbf{Q}^H を乗じる。これにより、第1QR分解部421は、受信信号ベクトル \mathbf{Y} をユニタリ変換したユニタリ変換ベクトル \mathbf{z} を求める。ユニタリ変換ベクトル \mathbf{z} と、上三角行列R及び送信信号ベクトル \mathbf{X} との関係は次式で表される。

30

【数7】

$$\mathbf{z} = \mathbf{Q}^H\mathbf{Y} = \mathbf{Q}^H\mathbf{Q}\mathbf{R}\mathbf{X} + \mathbf{Q}^H\mathbf{n} = \mathbf{R}\mathbf{X} + \mathbf{Q}^H\mathbf{n}$$

$$\begin{pmatrix} z_0 \\ z_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_{00} & r_{01} \\ 0 & r_{11} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_0 \\ x_1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} q_{00}^* & q_{01}^* \\ q_{10}^* & q_{11}^* \end{pmatrix} \begin{pmatrix} n_0 \\ n_1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

ここで、ユニタリ変換信号 z_0 、 z_1 は、それぞれユニタリ変換ベクトル \mathbf{z} の要素であり、何れも、受信信号 y_0 、 y_1 に関する成分を有する。

40

【0033】

また第2QR分解部422は、チャネル入替部41から受け取った変換チャネル行列H'をユニタリ行列Q'と上三角行列R'にQR分解する。チャネル行列H'は、ユニタリ行列Q'と上三角行列R'を用いて次式のように表される。

【数 8】

$$\mathbf{H}' = \mathbf{Q}'\mathbf{R}'$$

$$\begin{pmatrix} h_{01} & h_{00} \\ h_{11} & h_{10} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} q'_{00} & q'_{01} \\ q'_{10} & q'_{11} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r'_{00} & r'_{01} \\ 0 & r'_{11} \end{pmatrix} \quad (8)$$

そして第 2 QR 分解部 4 2 2 は、第 1 QR 分解部 4 2 1 と同様に、(5) 式の両辺に、それぞれ左側からユニタリ行列のエルミート共役 \mathbf{Q}'^H を乗じる。これにより、第 2 QR 分解部 4 2 2 は、受信信号ベクトル \mathbf{Y} をユニタリ変換したユニタリ変換ベクトル \mathbf{z}' を求める。ユニタリ変換ベクトル \mathbf{z}' と、上三角行列 \mathbf{R}' 及び送信信号ベクトル \mathbf{X}' との関係は次式で表される。

10

【数 9】

$$\mathbf{z}' = \mathbf{Q}'^H \mathbf{Y} = \mathbf{Q}'^H \mathbf{Q}' \mathbf{R}' \mathbf{X}' + \mathbf{Q}'^H \mathbf{n} = \mathbf{R}' \mathbf{X}' + \mathbf{Q}'^H \mathbf{n}$$

$$\begin{pmatrix} z'_0 \\ z'_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r'_{00} & r'_{01} \\ 0 & r'_{11} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} q'^*_{00} & q'^*_{01} \\ q'^*_{10} & q'^*_{11} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} n_0 \\ n_1 \end{pmatrix} \quad (9)$$

20

ここで、ユニタリ変換信号 z'_0 、 z'_1 は、それぞれユニタリ変換ベクトル \mathbf{z}' の要素であり、何れも、受信信号 y_0 、 y_1 に関する成分を有する。

なお、第 1 QR 分解部 4 2 1 及び第 2 QR 分解部 4 2 2 は、QR 分解を行うために、例えば、ギブンス回転、ハウスホルダー変換あるいはグラム・シュミット分解などを用いることができる。

QR 分解部 4 2 は、ユニタリ変換ベクトル \mathbf{z} 、 \mathbf{z}' 及び上三角行列 \mathbf{R} 、 \mathbf{R}' を候補グループ設定部 4 3 へ渡す。

30

【0 0 3 4】

候補グループ設定部 4 3 は、第 1 候補グループ設定部 4 3 1 と第 2 候補グループ設定部 4 3 2 とを有する。

第 1 候補グループ設定部 4 3 1 は、チャンネル行列 \mathbf{H} に基づいて算出されたユニタリ変換ベクトル \mathbf{z} 及び上三角行列 \mathbf{R} を用いて、送信信号の候補の組を求める。ここで (7) 式を参照すると、ユニタリ変換信号 z_0 は、送信信号 x_0 及び送信信号 x_1 の両方の成分を含んでいる。そこで、第 1 候補グループ設定部 4 3 1 は、(7) 式における、ユニタリ変換信号 z_0 に関する式に基づいて、ユニタリ変換信号 z_0 から送信信号 x_1 の候補に関する成分をキャンセルすることにより算出した残留成分を、送信信号 x_0 の推定値として求める。そして第 1 候補グループ設定部 4 3 1 は、送信信号 x_1 がある候補 c_{1i} である場合の送信信号 x_0 の推定値に最も近い送信信号 x_0 が取り得る値と、送信信号 x_1 のその候補との組を、送信信号の候補の組とする。

40

【0 0 3 5】

送信信号 x_1 が、 c_{1i} ($i=0, 1, \dots, m_1-1$) であれば、送信信号 x_0 の推定値 u_{0i} は次式により表される。 c_{1i} は、シンボルレプリカであり、送信信号 x_1 に対して適用された変調方式において送信信号 x_1 が取り得る信号値を受信装置 3 が発生させたものである。 c_{1i} は、実数 (I) 信号と虚数 (Q) 信号のセットによって表される。 m_1 は、送信信号 x_1 に対して適用された変調方式が取り得る値の数である。例えば、変調方式が 16QAM であれば、 $m_1=16$ であり、また変調方式が 64QAM であれば、 $m_1=64$ である。

【数 10】

$$u_{0i} = \frac{z_0 - r_{01}c_{1i}}{r_{00}} \quad (10)$$

【0036】

第1候補グループ設定部431は、推定値 u_{0i} に最も近い送信信号 x_0 の候補を決定するために、例えば、推定値 u_{0i} が属する象限を判定する。

10

図3(a)~図3(c)を参照しつつ、象限判定処理について説明する。なお、一例として、送信信号 x_0 に適用される変調方式は64QAMである。そして図3(a)~図3(c)のそれぞれにおいて、横軸はI信号成分を表し、縦軸はQ信号成分を表す。また各点301は、それぞれ、送信信号 x_0 が取り得る信号値に対応する信号点である。例えば、点301aはシンボル"101111"に対応する信号値を表す。また星印310は、(10)式にシンボルレプリカ c_{1i} を入力することにより得られた推定値 u_{0i} を表す。この例では、推定値 u_{0i} のI信号成分及びQ信号成分の何れも負の値である。

【0037】

図3(a)に示されるように、推定値 u_{0i} は、I信号成分及びQ信号成分の何れも負であるため、第4象限320に位置している。そのため、第1候補グループ設定部431は、送信信号 x_0 が第4象限内に属する信号値の何れかであると推定する。

20

次に、第1候補グループ設定部431は、推定値 u_{0i} が属する第4象限の中心に相当する信号値(-4/42, -4/42)を原点0'としたときに、推定値 u_{0i} が属する象限を判定する。すなわち、第1候補グループ設定部431は、推定値 u_{0i} から第4象限の中心に相当する信号値(-4/42, -4/42)を減算することにより推定値 u'_{0i} を求め、その推定値 u'_{0i} のI信号成分及びQ信号成分がそれぞれ正か負かを判定する。図3(b)に示されるように、この例では、推定値 u_{0i} は、原点0'を基準とした第1象限330に属している。そのため、第1候補グループ設定部431は、送信信号 x_0 が原点0'を基準とした第1象限330内に属する信号値の何れかであると推定する。

【0038】

第1候補グループ設定部431は、推定値 u_{0i} に最も近い信号値が求まるまで、上記の象限判定処理を繰り返す。この例では、第1候補グループ設定部431は、推定値 u_{0i} が属する、原点0'を基準とした第1象限330の中心に相当する信号値(-2/42, -2/42)を原点0'としたときに、推定値 u_{0i} が属する象限を判定する。すなわち、第1候補グループ設定部431は、推定値 u_{0i} から第1象限330の中心に相当する信号値(-2/42, -2/42)を減算することにより推定値 u''_{0i} を求め、その推定値 u''_{0i} のI信号成分及びQ信号成分がそれぞれ正か負かを判定する。そして図3(c)に示されるように、推定値 u_{0i} は、原点0'を基準とした第2象限340に属している。その第2象限340は、1個のシンボル"110001"に対応する。そのため、シンボル"110001"に相当する信号値が推定値 u_{0i} に最も近い。

30

40

そこで、第1候補グループ設定部431は、送信信号 x_1 が c_{1i} であれば、送信信号 x_0 の候補をシンボル"110001"に対応する信号値に設定する。なお、以下では、上記のようにして設定された、送信信号 x_1 が c_{1i} であるときの送信信号 x_0 の候補を $x_0^{(min)}(c_{1i})$ と表す。

このように、第1候補グループ設定部431は、象限判定を用いることにより、乗算のような演算量の多い処理の実行回数を減らせるので、 $x_0^{(min)}(c_{1i})$ を特定するための演算量を削減できる。

【0039】

なお、(10)式に従って推定値 u_{0i} が算出される場合、 $(z_0 - r_{01}c_{1i})$ を r_{00} で除算する演算が行われる。そこで、第1候補グループ設定部431は、推定値 u_{0i} を(10)式の右辺の分子の項 $(z_0 - r_{01}c_{1i})$ として算出するとともに、2回目以降の象限判定における原

50

点を、推定値 u_{0i} が属すると判定された象限の中心に相当する信号値に r_{00} を乗じた値としてもよい。これにより、除算処理の実行回数が減るので、第1候補グループ設定部431は、 $x_0^{(\min)}(c_{1i})$ を決定するための演算量を減らすことができる。

【0040】

第1候補グループ設定部431は、各シンボルレプリカ c_{1i} ($i=0,1,\dots,m_1-1$)について上記の処理を行うことにより、送信信号 x_0 の候補と x_1 の候補の組の集合である、第1候補グループ \mathcal{G}_1 を求める。ただし、第1候補グループ \mathcal{G}_1 は以下のように表される。

$$\mathcal{G}_1 = \{ (x_0^{(\min)}(c_{10}), c_{10}), (x_0^{(\min)}(c_{11}), c_{11}), \dots, (x_0^{(\min)}(c_{1m_1-1}), c_{1m_1-1}) \}$$

第1候補グループ \mathcal{G}_1 には、送信信号 x_1 に対して適用された変調方式が取り得る値の数 m_1 と等しい数の候補が含まれる。

10

【0041】

第2候補グループ設定部432は、第1候補グループ設定部431と同様に、変換チャネル行列 H' に基づいて算出されたユニタリ変換ベクトル z' 及び上三角行列 R' を用いて、送信された可能性が有る送信信号の組の候補を求める。ここで(9)式を参照すると、ユニタリ変換ベクトルの要素 z'_0 は、送信信号 x_0 及び送信信号 x_1 の両方の成分を有している。そこで、第2候補グループ設定部432は、(9)式における、ユニタリ変換信号 z'_0 から送信信号 x_0 の成分をキャンセルすることにより算出した残留成分を、送信信号 x_1 の推定値として求める。そして第2候補グループ設定部432は、送信信号 x_0 がある候補 c_{0i} である場合の送信信号 x_1 の推定値に最も近い送信信号 x_1 が取り得る値と、送信信号 x_0 のその候補との組を、送信信号の候補の組とする。

20

【0042】

送信信号 x_0 が、シンボルレプリカ c_{0i} ($i=0,1,\dots,m_0-1$)であれば、送信信号 x_1 の推定値 u_{1i} は次式により表される。 c_{0i} は送信信号 x_0 のシンボルレプリカである。 m_0 は送信信号 x_0 に対して適用された変調方式が取り得る値の数である。

【数11】

$$u_{1i} = \frac{z'_0 - r'_{01} c_{0i}}{r'_{00}} \quad (11)$$

30

【0043】

第2候補グループ設定部432は、第1候補グループ設定部431と同様に、推定値 u_{1i} が属する象限の判定を繰り返すことにより、推定値 u_{1i} に最も近いシンボルの信号値を、送信信号 x_0 が c_{0i} である場合の送信信号 x_1 の候補として決定する。なお、以下では、送信信号 x_0 が c_{0i} であるときの送信信号 x_1 の候補を $x_1^{(\min)}(c_{0i})$ と表す。そして第2候補グループ設定部432は、各シンボルレプリカ c_{0i} ($i=0,1,\dots,m_0-1$)について送信信号 x_1 の候補を求めることにより、送信信号 x_0 の候補と x_1 の候補の組の集合である、第2候補グループ \mathcal{G}_2 を求める。ただし、第2候補グループ \mathcal{G}_2 は以下のように表される。

40

$$\mathcal{G}_2 = \{ (c_{00}, x_1^{(\min)}(c_{00})), (c_{01}, x_1^{(\min)}(c_{01})), \dots, (c_{0m_0-1}, x_1^{(\min)}(c_{0m_0-1})) \}$$

候補グループ設定部43は、第1候補グループ \mathcal{G}_1 及び第2候補グループ \mathcal{G}_2 を共通グループ検索部44及び追加メトリック計算部47へ渡す。

【0044】

共通グループ検索部44は、第1候補グループ \mathcal{G}_1 と第2候補グループ \mathcal{G}_2 とで共通する送信信号 x_0 の候補と x_1 の候補の組を検索する。第1候補グループ \mathcal{G}_1 と第2候補グループ \mathcal{G}_2 は、同一のチャネル行列に基づく異なる関係式に従って得られた送信信号 x_0 の候補と x_1 の候補の組の集合である。そのため、実際に送信された送信信号の組は、両方の候補グループに含まれる可能性が高い。そこで共通グループ検索部44は、二つの候補グループ

50

において共通する送信信号の候補の組の集合を、メトリック計算の対象となる共通グループとする。

【 0 0 4 5 】

図 4 は、第 1 候補グループ G_1 及び第 2 候補グループ G_2 と、その二つのグループに共通する送信信号 x_0 の候補と x_1 の候補の組を示す概念図である。なお、図 4 では、一例として、送信信号 x_0 と x_1 はともに 64QAM により変調された信号である。

図 4 において、第 1 候補グループ G_1 及び第 2 候補グループ G_2 には、それぞれ、 m 個の送信信号の候補の組が含まれている。

このうち、第 1 候補グループ G_1 における組 4 0 1 と、第 2 候補グループ G_2 における組 4 1 1 は、何れも送信信号 x_0 として "010001"、送信信号 x_1 として "010100" を含んでいる。そのため、共通グループ検索部 4 4 は、("010001", "010100") を送信信号 (x_0, x_1) に対する送信信号候補の組として選択する。また、第 1 候補グループ G_1 における組 4 0 2 と、第 2 候補グループ G_2 における組 4 1 2 は、何れも送信信号 x_0 として "111010"、送信信号 x_1 として "000101" を含んでいる。そのため、共通グループ検索部 4 4 は、("111010", "000101") も送信信号 (x_0, x_1) に対する送信信号候補の組として選択する。

共通グループ検索部 4 4 は、共通グループをメトリック計算部 4 5 へ渡す。

【 0 0 4 6 】

共通グループに含まれる送信信号候補の組の数は、チャネル変動またはノイズによって変動し、最小の場合 1 となり、最大の場合、 $\min(m_0, m_1)$ となる。なお、 m_0, m_1 は、それぞれ、送信信号 x_0, x_1 に対して適用される変調方式において送信信号 x_0, x_1 が取り得る値の数である。また関数 $\min(a, b)$ は、 a と b のうちの小さい方の値を出力する関数である。ここで、推定値 u_{0i} に着目すると、上記の (1 0) 式は、以下のように書き換えられる。

【 数 1 2 】

$$u_{0i} = \frac{z_0 - r_{01}c_{1i}}{r_{00}} = \frac{z_0}{r_{00}} - \frac{|r_{01}|}{r_{00}} \cdot \frac{r_{01}}{|r_{01}|} c_{1i} \quad (12)$$

(1 2) 式に示されるように、推定値 u_{0i} は、 c_{1i} を点 z_0/r_{00} を中心とした平均電力 $|r_{01}/r_{00}|^2$ の位相 $\arg(r_{01})$ だけ回転させた信号点に対応する。ここで、平均電力 $|r_{01}/r_{00}|^2$ が小さい場合、すなわち、送信信号 x_0 に対する送信信号 x_1 の干渉が小さい場合、 c_{1i} がどのような値であっても推定値 u_{0i} は点 z_0/r_{00} に近い値となる。そのため、送信信号 x_0 の候補の数は少なくなる。一方、平均電力 $|r_{01}/r_{00}|^2$ が大きい場合、すなわち、送信信号 x_0 に対する送信信号 x_1 の干渉が大きい場合、 c_{1i} によって推定値 u_{0i} は大きく変化する。そのため、送信信号 x_0 の候補の数は多くなる。同様に、推定値 u_{1i} は、 c_{0i} を点 z'_0/r'_{00} を中心とした平均電力 $|r'_{01}/r'_{00}|^2$ の位相 $\arg(r'_{01})$ だけ回転させた信号点に対応する。したがって、平均電力 $|r'_{01}/r'_{00}|^2$ が小さいほど、すなわち、送信信号 x_1 に対する送信信号 x_0 の干渉が小さいほど、送信信号 x_1 の候補の数は少なくなる。このように、一方の送信信号に対する他方の送信信号の干渉が小さいほど、送信信号候補の数は少なくなる。したがって、一方の送信信号に対する他方の送信信号の干渉が小さいほど、この受信装置 3 は送信信号を分離するために行う演算量を減らすことができる。

【 0 0 4 7 】

メトリック計算部 4 5 は、共通グループに含まれる送信信号候補の組ごとに、実際に送信された送信信号である確からしさの指標となるメトリックを計算する。このメトリックは、着目する送信信号候補の組が実際に送信された送信信号であるとした場合の推定受信信号と、実際の受信信号との距離を表す。例えば、メトリック計算部 4 5 は、メトリック d_j として、次式のように、ユニタリ変換信号 z_0, z_1 と、送信信号候補の組 (c_{0j}, c_{1j}) ($j=0, 1, \dots, k-1$) を (7) 式の右辺の第 1 項に入力することにより得られた推定受信信号との 2 乗ユークリッド距離の和を算出する。

10

20

30

40

50

【数 1 3】

$$d_j = |z_i - r_{11}c_{1j}|^2 + |z_0 - r_{01}c_{1j} - r_{00}c_{0j}|^2 \quad (13)$$

ただしkは、共通グループに含まれる送信信号候補の組の総数を表す。なお、メトリック計算部45は、(7)式の代わりに(9)式を用いてもよい。

あるいは、メトリック計算部45は、メトリック d_j として、次式のように、ユニタリ変換信号 z_0 、 z_1 と、送信信号候補の組 (c_{0j}, c_{1j}) を(7)式の右辺の第1項に入力することにより得られた推定受信信号とのマンハッタン距離を算出してもよい。

【数 1 4】

$$d_j = |\operatorname{Re}(z_1 - r_{11}c_{1j})| + |\operatorname{Im}(z_1 - r_{11}c_{1j})| + |\operatorname{Re}(z_0 - r_{01}c_{1j} - r_{00}c_{0j})| + |\operatorname{Im}(z_0 - r_{01}c_{1j} - r_{00}c_{0j})| \quad (14)$$

なお、関数 $\operatorname{Re}(\quad)$ は、変数の実数成分を出力する関数であり、関数 $\operatorname{Im}(\quad)$ は、変数の虚数成分を出力する関数である。またメトリック計算部45は、ユニタリ変換信号 z_0 、 z_1 と、送信信号候補の組 (c_{0j}, c_{1j}) 間の距離を表す他の指標をメトリックとして計算してもよい。

メトリック計算部45は、共通グループに含まれる各送信信号候補の組及び対応するメトリック d_j を最小値検索部46へ渡す。

【0048】

最小値検索部46は、送信信号推定部の一例であり、各送信信号候補のメトリック d_j のうち最小値を求める。そして最小値検索部46は、メトリック d_j のうち最小値 d_{\min} に対応する送信信号候補の組 $(c_{0\min}, c_{1\min})$ が、実際に送信された送信信号の組 (x_0, x_1) であると推定する。以下では、実際に送信された送信信号の組 (x_0, x_1) であると推定された送信信号候補の組 $(c_{0\min}, c_{1\min})$ を最尤シンボルセットと呼び、最尤シンボルセットに含まれる送信信号候補であるシンボルレプリカに対応するシンボル $(x_0^{(ML)}, x_1^{(ML)})$ を最尤シンボルと呼ぶ。

最小値検索部46は、最小値 d_{\min} 及び最尤シンボルセット $(c_{0\min}, c_{1\min})$ を対数尤度比算出部48へ渡す。また最小値検索部46は、共通グループに含まれる各送信信号候補の組及び各組について算出したメトリック d_j を追加メトリック計算部47へ渡す。

【0049】

追加メトリック計算部47は、最尤シンボルのそれぞれについて、何れかのビットの値を反転させたシンボルの中で最尤シンボルから所定の距離内に位置するシンボルを反転ビットシンボルとして特定する。そして追加メトリック計算部47は、送信信号 x_0 について求めた反転ビットシンボル s_{0p} ($p=1, 2, \dots, m$)に対応するシンボルレプリカ x_{0p} について、そのシンボルレプリカ x_{0p} に対応する送信信号 x_1 のシンボルレプリカ $x_1^{(\min)}(x_{0p})$ を特定する。例えば、追加メトリック計算部47は、第2候補グループ G_2 に含まれる送信信号候補の組の中から、シンボルレプリカ x_{0p} を含む組を検出する。そして追加メトリック計算部47は、検出した送信信号候補の組に基づいて、シンボルレプリカ x_{0p} に対応する送信信号 x_1 のシンボルレプリカ $x_1^{(\min)}(x_{0p})$ を特定する。同様に、追加メトリック計算部47は、送信信号 x_1 について求めた反転ビットシンボル s_{1p} に対応するシンボルレプリカ x_{1p} について、第1候補グループ G_1 を参照することで、そのシンボルレプリカ x_{1p} に対応する送信信号 x_0 のシンボルレプリカ $x_0^{(\min)}(x_{1p})$ を特定する。

【 0 0 5 0 】

追加メトリック計算部 4 7 は、送信信号 x_0 についての反転ビットシンボル s_{0r} に関連するシンボルレプリカの組 $(x_{0p}, x_1^{(min)}(x_{0p}))$ とユニタリ変換信号 z_0, z_1 との追加メトリック $d^{(additional)}$ を求める。同様に、追加メトリック計算部 4 7 は、送信信号 x_1 についての反転ビットシンボル s_{1r} に関連するシンボルレプリカの組 $(x_0^{(min)}(x_{1p}), x_{1p})$ とユニタリ変換信号 z_0, z_1 との追加メトリック $d^{(additional)}$ を求める。例えば、追加メトリック計算部 4 7 は、(1 3) 式または (1 4) 式に従ってこれらの追加メトリックを算出できる。追加メトリックは、復号部 3 6 が誤り訂正復号処理を実行するために使用する対数尤度比を算出するために使用される。

そのため、追加メトリック計算部 4 7 は、各反転ビットシンボルについて求めた追加メトリックを対数尤度比算出部 4 8 へ出力する。

10

なお、シンボルレプリカの組 $(x_0^{(min)}(x_{1p}), x_{1p})$ 及び $(x_{0p}, x_1^{(min)}(x_{0p}))$ のうち、メトリック計算部 4 5 によって既にメトリック d が計算されている組については、追加メトリック計算部 4 7 はそのメトリック d を対数尤度比算出部 4 8 へ出力する。

【 0 0 5 1 】

図 5 は、一例として、送信信号 x_0 が 64QAM により変調されており、かつ送信信号 x_0 に対応する最尤シンボルが "000000" である場合において、反転ビットごとに 1 番近いシンボルが反転ビットシンボルとして選択された場合の反転ビットシンボルを示す図である。図 5 に示されるように、ブロック 5 0 1 ~ 5 0 6 に示されるシンボルが反転ビットシンボルとして選択される。例えば、反転ビットが右端のビットである場合、ブロック 5 0 1 に示されるシンボル "000001" が、ブロック 5 0 0 に示される最尤シンボルに最も近い。そこで反転ビットシンボルとして "000001" が選択される。また、反転ビットが左端のビットである場合、左端のビットが "1" であるシンボルのうちで最尤シンボルに最も近い、ブロック 5 0 6 に示されるシンボル "100010" が反転ビットシンボルとして選択される。

20

【 0 0 5 2 】

図 6 は、送信信号 x_0 に対応する最尤シンボルが "000000" である場合において、反転ビットごとに 2 番目に近いシンボルまでを反転ビットシンボルとして選択された場合の反転ビットシンボルを示す図である。図 6 に示されるように、ブロック 6 0 1 ~ 6 1 4 に示されるシンボルが反転ビットシンボルとして選択される。

なお、各シンボルに対応する信号点の位置は予め決まっているので、最尤シンボルごとの反転ビットシンボルは予め決定することができる。そこで、最尤シンボルごとに対応する反転ビットシンボルを表す参照テーブルが、予め追加メトリック計算部 4 7 が有するメモリ回路に記憶されていてもよい。この場合、追加メトリック計算部 4 7 は、参照テーブルを参照することにより、最尤シンボルに対応する反転ビットシンボルを特定できる。

30

【 0 0 5 3 】

対数尤度比算出部 4 8 は、ビットごとの対数尤度比 (Log-likelihood ratio、LLR) を算出する。対数尤度比算出部 4 8 は、送信信号 x_r の左から n 番目のビットに対する LLR であるビット $LLR_r(n)$ を次式に従って算出する。

【数 15】

$$LLR_r(n) = \sqrt{d_{r,\min}(b_n=1)} - \sqrt{d_{r,\min}(b_n=0)}$$

$$d_{r,\min}(b_n = \text{bit}(x_r^{(ML)}, n)) = d_{\min} = d(x_0^{(ML)}, x_1^{(ML)}) \quad (15)$$

$$d_{r,\min}(b_n = \text{invbit}(x_r^{(ML)}, n)) = \min \left[\begin{array}{l} \min_{\text{bit}(c_j^{(common)}, n) = \text{invbit}(x_r^{(ML)}, n)} \{d(c_{0j}^{(common)}, c_{1j}^{(common)})\} \\ \min_{\text{bit}(x_{0p}^{(inv)}, n) = \text{invbit}(x_0^{(ML)}, n)} \{d^{(additional)}(x_{0p}^{(inv)}, x_{1p}^{(min)}(x_{0p}^{(inv)}))\} \\ \min_{\text{bit}(x_{1p}^{(inv)}, n) = \text{invbit}(x_1^{(ML)}, n)} \{d^{(additional)}(x_{0p}^{(min)}(x_{1p}^{(inv)}), x_{1p}^{(inv)})\} \end{array} \right] \quad 10$$

ここで、 d_{\min} は、最尤シンボルセット($x_0^{(ML)}$, $x_1^{(ML)}$)について算出されたメトリックを表す。関数 $\text{bit}(x_r^{(ML)}, n)$ は、最尤シンボル $x_r^{(ML)}$ ($r=0, 1$)の左から n 番目のビット値を表す。また関数 $\text{invbit}(x_r^{(ML)}, n)$ は、最尤シンボル $x_r^{(ML)}$ ($r=0, 1$)の左から n 番目のビットの反転値を表す。そして関数 $\min_{a=b}(d)$ は、 $a=b$ の条件を満たすメトリック d のうちの最小値を出力する関数である。さらに、 $d(c_{0j}^{(common)}, c_{1j}^{(common)})$ ($j=0, 1, \dots, k-1$)は、共通グループに含まれる送信信号候補の組($c_{0j}^{(common)}$, $c_{1j}^{(common)}$)について算出されたメトリックを表す。 $d^{(additional)}(x_{0p}^{(inv)}, x_{1p}^{(min)}(x_{0p}^{(inv)}))$ は、最尤シンボル $x_0^{(ML)}$ の反転ビットシンボル $x_{0p}^{(inv)}$ と、その反転ビットシンボルに対応するシンボル $x_{1p}^{(min)}(x_{0p}^{(inv)})$ ($x_{0p}^{(inv)}$)の組について算出された追加メトリックを表す。そして $d^{(additional)}(x_{0p}^{(min)}(x_{1p}^{(inv)}), x_{1p}^{(inv)})$ ($x_{1p}^{(inv)}$)は、最尤シンボル $x_1^{(ML)}$ の反転ビットシンボル $x_{1p}^{(inv)}$ と、その反転ビットシンボルに対応するシンボル $x_{0p}^{(min)}(x_{1p}^{(inv)})$ ($x_{1p}^{(inv)}$)の組について算出された追加メトリックを表す。

また対数尤度比算出部 48 は、次式に従ってビット $LLR_r(n)$ を算出してもよい。

【数 16】

$$LLR_r(n) = d_{r,\min}(b_n=1) - d_{r,\min}(b_n=0) \quad (16)$$

対数尤度比算出部 48 は、各ビット $LLR_r(n)$ 及び対応する反転ビットシンボルを復号部 36 へ出力する。

なお、復号部 36 により実行される誤り訂正復号処理が対数尤度比を用いない場合、追加メトリック計算部 47 及び対数尤度比算出部 48 は省略されてもよい。

【0054】

図7及び図8は、送信信号分離処理の動作フローチャートである。この送信信号分離処理は、ストリーム分離部 35 によって制御され、そして受信装置 3 が受信信号を受信する度に繰り返し実行される。

QR分解部 42 の第1QR分解部 421 は、チャンネル行列 H をユニタリ行列 Q と上三角行列 R にQR分解する(ステップS101)。そして第1QR分解部 421 は、受信信号ベクトル Y にユニタリ行列 Q のエルミート共役 Q^H を乗じて受信信号ベクトル Y のユニタリ変換ベクトル $z(=(z_0, z_1))$ を生成する(ステップS102)。第1QR分解部 421 は、ユニタリ変換ベクトル Z 及び上三角行列 R を候補グループ設定部 43 へ出力する。

【0055】

候補グループ設定部 43 の第1候補グループ設定部 431 は、着目する送信信号 x_0 につ

10

20

30

40

50

いて、ユニタリ変換信号 z_0 から他の送信信号 x_1 のシンボルレプリカ c_{1i} による成分をキャンセルした残留成分を、着目送信信号 x_0 の推定値 u_{0i} として算出する（ステップS 1 0 3）。その際、第1候補グループ設定部4 3 1は、各シンボルレプリカ c_{1i} ($i=0,1,2,\dots,m_1-1$)についてそれぞれ推定値 u_{0i} を算出する。そして第1候補グループ設定部4 3 1は、各推定値 u_{0i} に最も近いシンボルレプリカ $x_0^{(min)}(c_{1i})$ と対応する送信信号 x_1 のシンボルレプリカ c_{1i} との組 $(x_0^{(min)}(c_{1i}), c_{1i})$ を一つの送信信号の候補の組とする第1候補グループを生成する（ステップS 1 0 4）。第1候補グループ設定部4 3 1は、第1候補グループを共通グループ検索部4 4及び追加メトリック計算部4 7へ出力する。

【0 0 5 6】

チャンネル入替部4 1は、チャンネル行列 H の列を入れ替えることで変換チャンネル行列 H' を作成する（ステップS 1 0 5）。そしてチャンネル入替部4 1は、変換チャンネル行列 H' をQR分解部4 2へ出力する。

10

QR分解部4 2の第2QR分解部4 2 2は、変換チャンネル行列 H' をユニタリ行列 Q' と上三角行列 R' にQR分解する（ステップS 1 0 6）。そして第2QR分解部4 2 2は、受信信号ベクトル Y にユニタリ行列 Q' のエルミート共役 Q'^H を乗じて受信信号ベクトル Y のユニタリ変換ベクトル $z' (= (z'_0, z'_1))$ を生成する（ステップS 1 0 7）。第2QR分解部4 2 2は、ユニタリ変換ベクトル z' 及び上三角行列 R' を候補グループ設定部4 3へ出力する。

【0 0 5 7】

候補グループ設定部4 3の第2候補グループ設定部4 3 2は、着目する送信信号 x_1 について、ユニタリ変換信号 z'_0 から他の送信信号 x_0 のシンボルレプリカ c_{0i} による成分をキャンセルした残留成分を着目送信信号 x_1 の推定値 u_{1i} として算出する（ステップS 1 0 8）。その際、第2候補グループ設定部4 3 2は、各シンボルレプリカ c_{0i} ($i=0,1,2,\dots,m_0-1$)についてそれぞれ推定値 u_{1i} を算出する。そして第2候補グループ設定部4 3 2は、各推定値 u_{1i} に最も近いシンボルレプリカ $x_1^{(min)}(c_{0i})$ と、対応する送信信号 x_0 のシンボルレプリカ c_{0i} との組 $(c_{0i}, x_1^{(min)}(c_{0i}))$ を一つの送信信号の候補の組とする第2候補グループを生成する（ステップS 1 0 9）。第2候補グループ設定部4 3 2は、第2候補グループを共通グループ検索部4 4及び追加メトリック計算部4 7へ出力する。

20

共通グループ検索部4 4は、第1候補グループと第2候補グループ間で共通する送信信号の候補の組を検索する（ステップS 1 1 0）。そして共通グループ検索部4 4は、その共通する送信信号の候補の組を含む共通グループをメトリック計算部4 5へ出力する。

30

【0 0 5 8】

図8に示されるように、メトリック計算部4 5は、共通グループに含まれる送信信号の候補の各組について、その送信信号候補の組に基づく推定受信信号の組と受信信号の組との距離の指標を表すメトリックを算出する（ステップS 1 1 1）。

最小値検索部4 6は、メトリックの最小値に対応する組に含まれる送信信号の候補を実際に送信された送信信号と推定する（ステップS 1 1 2）。最小値検索部4 6は、メトリックの最小値及び推定された送信信号を対数尤度比算出部4 8へ出力する。また最小値検索部4 6は、推定された送信信号を追加メトリック計算部4 7へ出力する。

【0 0 5 9】

追加メトリック計算部4 7は、最尤シンボルに対して反転ビットを持つシンボルのうち所定距離内のシンボルを反転ビットシンボルとして選択する（ステップS 1 1 3）。そして追加メトリック計算部4 7は、第1及び第2候補グループを参照して反転ビットシンボルに対応するシンボルレプリカの組を決定する（ステップS 1 1 4）。追加メトリック計算部4 7は、反転ビットシンボルに対応するメトリックを算出する（ステップS 1 1 5）。追加メトリック計算部4 7は、メトリック及び反転ビットシンボルを対数尤度比算出部4 8へ出力する。

40

対数尤度比算出部4 8は、各最尤シンボルの反転ビットのそれぞれについて、最小メトリックの2乗根と反転ビットシンボルに対応するメトリックの最小値の2乗根の差を対数尤度比として算出する（ステップS 1 1 6）。そして対数尤度比算出部4 8は、推定された送信信号と、対数尤度比及びその対数尤度比の算出に用いられた反転ビットシンボルを

50

復号部 36 へ出力する。

その後、ストリーム分離部 35 は、送信信号分離処理を終了する。

なお、ストリーム分離部 35 は、ステップ S101 ~ S104 の処理と、ステップ S105 ~ S109 の処理を並列に実行してもよい。

【0060】

表 1 は、二つの送信信号がともに 64QAM により変調されている場合における、本実施形態による送信信号分離処理により行われるメトリック計算回数と、従来技術による送信信号分離処理により行われるメトリック計算回数を表す。表 1 では、メトリックは (13) 式に従って二乗ユークリッド距離により算出され、1 回のノルムの計算が 1 回のメトリックの計算であるとした。追加メトリック計算部 47 は、それぞれの反転ビットについて、その反転ビットを含むシンボルのうち、最尤シンボルと最も近いシンボルのみを反転ビットシンボルとしてメトリックを計算するものとした。

【表 1】

表 1 各方式によるメトリック計算回数

受信方式	メトリック計算回数
本方式	26~128
QRM-MLD	4160
ASESS法	128
LORD法	256

本実施形態による方式では、メトリック計算回数は最小で 26 となり、最大で 128 となる。第 1 候補グループと第 2 候補グループ間で共通する送信信号の候補の組が一つしかない場合、メトリック計算回数は最小となる。この場合、その共通する組について 2 回のメトリックが計算され、かつ、各送信信号ごとに $\log_2 64 (=6)$ 個の反転ビットシンボルが存在するので、反転ビットシンボルに関して 24 回のメトリックが計算される。

一方、第 1 候補グループと第 2 候補グループ間で共通する送信信号の候補の組が 64 個存在する場合、すなわち、両候補グループが等しい場合、メトリック計算回数は最大となる。この場合、共通する組について $128 (=2 \times 64)$ 回のメトリックが計算される。ただし、反転ビットシンボルを含む送信信号の組は共通グループに含まれるので、反転ビットシンボルに関するメトリック計算回数は 0 となる。

表 1 に示されるように、メトリック計算回数が最大となる場合でも、本実施形態による方式によるメトリック計算回数は、他の従来方式による送信信号分離方式によるメトリック計算回数よりも少ない。

【0061】

以上に説明してきたように、第 1 の実施形態による受信装置は、送信信号を分離する際、チャンネルの順序を入れ替えた二つのチャンネル行列を求める。そしてこの受信装置は、チャンネル行列ごとに送信信号の候補の組を求める。その際、この受信装置は、着目する送信信号について、全ての送信信号に関する成分を持つ受信信号のユニタリ変換信号から、他の送信信号の候補に相当する成分をキャンセルした残留成分に最も近いシンボルレプリカをその着目する送信信号の候補とする。そしてこの受信装置は、チャンネル行列ごとに求めた送信信号の候補の組の二つの集合において共通する組についてのみメトリックを計算することで、送信信号を推定する。このように、この受信装置は、演算量の多いメトリックを計算せずに送信信号の候補の組を決定できるので、メトリックの計算回数を減らすことができる。その結果、この受信装置は、送信信号を分離する際の演算量を削減できる。

【0062】

次に、第 2 の実施形態による受信装置について説明する。

第 2 の実施形態による受信装置は、送信信号分離処理を行う際、第 1 の候補グループと

第2の候補グループ間で共通する送信信号の候補の組に優先順位を付け、優先順位が高い組についてのみメトリックを計算する。この第2の実施形態による受信装置は、第1の実施形態による受信装置と比較して、ストリーム分離部のみが異なる。そこで以下では、ストリーム分離部について説明する。

【0063】

図9は、第2の実施形態による受信装置のストリーム分離部351の概略構成図である。ストリーム分離部351は、チャンネル入替部41と、QR分解部42と、候補グループ設定部43と、共通グループ検索部44と、メトリック計算部45と、最小値検索部46と、追加メトリック計算部47と、対数尤度比算出部48と、ランキング決定部51とを有する。

10

ストリーム分離部351が有するこれらの各部は、それぞれ別個の演算回路であってもよい。あるいは、ストリーム分離部351が有するこれらの各部は、その各部の機能を実現する一つの演算回路であってもよい。

なお、図9において、ストリーム分離部351の各部には、図2に示された第1の実施形態によるストリーム分離部35の対応する構成要素の参照番号と同じ参照番号を付した。ストリーム分離部351は、ランキング決定部51を有する点で、第1の実施形態によるストリーム分離部35と異なる。

【0064】

ランキング決定部51は、第1信号ランキング決定部511と、第2信号ランキング決定部512とを有する。

20

第1信号ランキング決定部511は、第1候補グループに含まれる各送信信号候補の組に優先順位をつけるためのランキング値を算出する。ここで、ユニタリ変換ベクトル z と上三角行列 R 及び送信信号ベクトル X との関係を表す(7)式に示されるように、送信信号 x_1 は、ユニタリ変換信号 z_1 を用いて次式のように表される。

【数17】

$$x_1 = \frac{z_1}{r_{11}} - \frac{q_{10}^* n_0 + q_{11}^* n_1}{r_{11}} \quad (17)$$

30

この(17)式の右辺の第1項(z_1/r_{11})は、送信信号 x_1 の推定値 v_1 を表している。すなわち、ノイズ成分が小さければ、推定値 v_1 に近い信号値ほど実際に送信された送信信号 x_1 である可能性が高い。

そこで第1信号ランキング決定部511は、送信信号 x_1 が取り得る信号値に対応するシンボルレプリカ c_{1i} のそれぞれに対して推定値 v_1 に近い順に従ってランキング値を決定する。そして第1信号ランキング決定部511は、例えば、推定値 v_1 に近い信号値ほど小さいランキング値を設定する。このランキング値は、各信号値が送信信号 x_1 である確からしさを表す。この例では、ランキング値が小さいほど、その確からしさは高い。

ランキング値を決定するために、第1信号ランキング決定部511は、送信信号 x_1 が取り得る信号値を表すI信号とQ信号の座標系において、送信信号 x_1 の推定値 $v_1 (=z_1/r_{11})$ が属する象限を判定する。そして第1信号ランキング決定部511は、推定値 v_1 が属する象限の中心位置を原点として、 $((1/2)\log_2 m_1)$ 回の象限判定を行うことにより、各信号値に対して推定値 v_1 に近い順序を決定する。なお、 m_1 は、送信信号 x_1 に対して適用される変調方式が取り得る値の数であり、例えば、変調方式がQPSKであれば、 $m_1=2$ である。

40

【0065】

図10(a)及び図10(b)は、それぞれ、送信信号 x_1 の推定値 v_1 と送信信号 x_1 が取り得る信号値との位置関係の例を示す図である。なお、一例として、送信信号 x_1 に適用される変調方式はQPSKである。そして図10(a)及び図10(b)において、横軸はI信号成分を表し、縦軸はQ信号成分を表す。また各点1001a~1001dは、それぞれ

50

、送信信号 x_1 が取り得る信号値に対応する。例えば、点1 0 0 1 aはシンボル"00"に対応する信号値を表す。また点1 0 1 0は、推定値 v_1 を表す。この例では、推定値 v_1 のI信号成分及びQ信号成分の何れも正の値を持つ。したがって、4個の信号値のうち、シンボル"00"に対応する信号値が推定値 v_1 に最も近い。一方、シンボル"11"に対応する信号値は、I成分とQ成分の両方とも推定値 v_1 と異なるので、その信号値は推定値 v_1 から最も遠い。そこで、第1信号ランキング決定部5 1 1は、例えば、シンボル"00"に対応するシンボルレプリカに対してランキング値"1"を設定し、一方、シンボル"11"に対応するシンボルレプリカに対してランキング値"4"を設定する。また、シンボル"01"に対応するシンボルレプリカ及びシンボル"00"に対応する信号値については、1回の象限判定では、どちらの信号値が推定値 v_1 により近いかわからない。そのため、第1信号ランキング決定部5 1 1は、シンボル"01"に対応するシンボルレプリカ及びシンボル"00"に対応するシンボルレプリカに対して、それぞれ、ランキング値"2"を設定する。

【0066】

さらに、第1信号ランキング決定部5 1 1は、 $((1/2) \log_2 m_1)$ 回よりも多くの象限判定を行ってもよい。これにより、第1信号ランキング決定部5 1 1は、全ての信号値について、推定値 v_1 に近い順序を決定できる。

例えば、図10(b)に示されるように、推定値 v_1 に対して2回目の象限判定処理を行うことにより、推定値 v_1 が16個の領域のうち領域1 0 2 0に属していることが分かる。そして領域1 0 2 0は、シンボル"10"に対応する信号値よりもシンボル"01"に対応する信号値に近い。そのため、第1信号ランキング決定部5 1 1は、シンボル"01"に対応する信号値の方がシンボル"10"に対応する信号値よりも推定値 v_1 に近いと判定できる。そこで第1信号ランキング決定部5 1 1は、各シンボル"00"、"01"、"10"、"11"に対応するシンボルレプリカに対して、それぞれ、ランキング値"1"、"2"、"3"、"4"を設定する。

【0067】

第2信号ランキング決定部5 1 2は、第2候補グループに含まれる各送信信号候補の組に順位をつけるためのランキング値を算出する。そこで、第2信号ランキング決定部5 1 2は、第1信号ランキング決定部5 1 1と同様に、(9)式に基づいて、 (z'_1/r'_{11}) を送信信号 x_0 の推定値 v_0 として算出する。そして第2信号ランキング決定部5 1 2は、推定値 v_0 が属する象限を判定することにより、送信信号 x_0 が取り得る信号値に対応する各シンボルレプリカ c_{0i} に対して推定値 v_0 に近い順に従ってランキング値を決定する。

ランキング決定部5 1は、送信信号 x_0 が取り得る信号値に対応する各シンボルレプリカ c_{0i} に設定されたランキング値 R_{0i} 及び送信信号 x_1 が取り得る信号値に対応する各シンボルレプリカ c_{1i} に設定されたランキング値 R_{1i} を候補グループ設定部4 3へ渡す。

【0068】

候補グループ設定部4 3は、第1の実施形態における候補グループ設定部4 3と同様に、送信信号 x_0 、 x_1 の候補の組の集合である第1候補グループ及び第2候補グループを求める。

その際、第1候補グループ設定部4 3 1は、第1候補グループに含まれるそれぞれの送信信号候補の組に含まれるシンボルレプリカ c_{1i} に設定されたランキング値 R_{1i} を、その組が実際に送信された送信信号である確からしさを表すランキング値とする。同様に、第2候補グループ設定部4 3 2は、第2候補グループに含まれるそれぞれの送信信号候補の組に含まれるシンボルレプリカ c_{0i} に設定されたランキング値 R_{0i} を、その組が実際に送信された送信信号である確からしさを表すランキング値とする。

候補グループ設定部4 3は、第1候補グループ、第2候補グループ及びそれら候補グループに含まれるそれぞれの組のランキング値を共通グループ検索部4 4及び追加メトリック計算部4 7へ出力する。

【0069】

共通グループ検索部4 4は、第1候補グループと第2候補グループ間で共通する送信信号候補の組を検索し、その共通する送信信号候補の組の集合を共通グループとする。そして共通グループ検索部4 4は、その共通する送信信号候補の組についてそれぞれ設定され

10

20

30

40

50

たランキング値(R_{0i}, R_{1i})に基づいて優先順位を決定する。

例えば、共通グループ検索部 4 4 は、共通する送信信号候補の各組について、ランキング値の和 $R_{sum}(=R_{0i}+R_{1i})$ を優先順位としてそれぞれ算出する。そして共通グループ検索部 4 4 は、優先順位の高い方から順に、すなわち、ランキング値の和 R_{sum} が小さい方から順にS個の組を選択する。

あるいは、共通グループ検索部 4 4 は、共通する送信信号候補の各組について、ランキング値の積 $R_{pro}(=R_{0i} * R_{1i})$ を優先順位として算出する。そして共通グループ検索部 4 4 は、ランキング値の積 R_{pro} が小さい方から順にS個の組を選択してもよい。

ただし、共通グループに含まれる送信信号候補の組の数がS未満である場合には、共通グループ検索部 4 4 は、共通グループに含まれる送信信号候補の組の全てを選択する。なお、Sは、1以上の整数であり、かつ、例えば、送信信号 x_0, x_1 に対して適用される変調方式が取り得る値の数 m_0, m_1 のうち小さい方の値よりも小さい値に設定される。例えば、送信信号 x_0, x_1 に対して適用される変調方式が64QAMである場合、Sは16に設定される。

共通グループ検索部 4 4 は、選択した送信信号候補の組をメトリック計算部 4 5 へ出力する。そしてメトリック計算部 4 5 は、共通グループ検索部 4 4 により選択された送信信号候補の組についてのみ、メトリックを計算する。

【 0 0 7 0 】

図 1 1 は、図 7 に示された送信信号分離処理のステップ S 1 0 1 ~ S 1 1 0 の代わりに実行される、第 2 の実施形態による送信信号分離処理の動作フローチャートである。この送信信号分離処理は、ストリーム分離部 3 5 1 によって制御され、そして受信装置 3 が受信信号を受信する度に繰り返し実行される。

【 0 0 7 1 】

QR分解部 4 2 の第 1 QR分解部 4 2 1 は、チャネル行列Hをユニタリ行列Qと上三角行列RにQR分解する(ステップ S 2 0 1)。そして第 1 QR分解部 4 2 1 は、受信信号ベクトルYにユニタリ行列Qのエルミート共役 Q^H を乗じて受信信号ベクトルYのユニタリ変換ベクトル $z(=z_0, z_1)$ を生成する(ステップ S 2 0 2)。第 1 QR分解部 4 2 1 は、ユニタリ変換ベクトルz及び上三角行列Rをランキング決定部 5 1 及候補グループ設定部 4 3 へ出力する。

【 0 0 7 2 】

ランキング決定部 5 1 の第 1 信号ランキング決定部 5 1 1 は、送信信号 x_1 が取り得る信号値である各シンボルレプリカ c_{1i} に対して、送信信号 x_1 の推定値 $v_1(=z_1/r_{11})$ に近い順に従ってランキング値 R_{1i} を決定する(ステップ S 2 0 3)。そして第 1 信号ランキング決定部 5 1 1 は、各シンボルレプリカ c_{1i} に設定されたランキング値 R_{1i} を候補グループ設定部 4 3 へ渡す。

候補グループ設定部 4 3 の第 1 候補グループ設定部 4 3 1 は、着目する送信信号 x_0 について、ユニタリ変換信号 z_0 から他の送信信号 x_1 のシンボルレプリカ c_{1i} による成分をキャンセルした残留成分を着目送信信号 x_0 の推定値 u_{0i} として算出する(ステップ S 2 0 4)。その際、第 1 候補グループ設定部 4 3 1 は、各シンボルレプリカ $c_{1i}(i=0, 1, 2, \dots, m_1-1)$ についてそれぞれ推定値 u_{0i} を算出する。そして第 1 候補グループ設定部 4 3 1 は、各推定値 u_{0i} に最も近いシンボルレプリカ $x_0^{(min)}(c_{1i})$ と対応する他の送信信号 x_1 のシンボルレプリカ c_{1i} との組 $(x_0^{(min)}(c_{1i}), c_{1i})$ を一つの送信信号の候補の組とする第 1 候補グループを生成する(ステップ S 2 0 5)。第 1 候補グループ設定部 4 3 1 は、第 1 候補グループに含まれるそれぞれの送信信号候補の組に含まれるシンボルレプリカ c_{1i} に設定されたランキング値 R_{1i} を、その組に対するランキング値とする。そして第 1 候補グループ設定部 4 3 1 は、第 1 候補グループ及びそのグループに含まれるそれぞれの組のランキング値を共通グループ検索部 4 4 及び追加メトリック計算部 4 7 へ出力する。

【 0 0 7 3 】

チャネル入替部 4 1 は、チャネル行列Hの列を入れ替えることで変換チャネル行列H'を作成する(ステップ S 2 0 6)。そしてチャネル入替部 4 1 は、変換チャネル行列H'をQR分解部 4 2 へ出力する。

QR分解部 4 2 の第 2 QR分解部 4 2 2 は、変換チャネル行列H'をユニタリ行列Q'と上三角

10

20

30

40

50

行列 R' にQR分解する(ステップS207)。そして第2QR分解部422は、受信信号ベクトル Y にユニタリ行列 Q' のエルミート共役 Q'^H を乗じてユニタリ変換ベクトル z' (= z'_0, z'_1)を生成する(ステップS208)。第2QR分解部422は、ユニタリ変換ベクトル z' 及び上三角行列 R' をランキング決定部51及び候補グループ設定部43へ出力する。

【0074】

ランキング決定部51の第2信号ランキング決定部512は、送信信号 x_0 が取り得る信号値である各シンボルレプリカ c_{0i} に対して、送信信号 x_0 の推定値 v_0 (= z'_1/r'_{11})に近い順に従ってランキング値 R_{0i} を決定する(ステップS209)。そして第2信号ランキング決定部512は、各シンボルレプリカ c_{0i} に設定されたランキング値 R_{0i} を候補グループ設定部43へ渡す。

10

【0075】

第2候補グループ設定部432は、着目する送信信号 x_1 について、ユニタリ変換信号 z'_0 から他の送信信号 x_0 のシンボルレプリカ c_{0i} による成分をキャンセルした残留成分を着目送信信号 x_1 の推定値 u_{1i} として算出する(ステップS210)。その際、第2候補グループ設定部432は、各シンボルレプリカ c_{0i} ($i=0,1,2,\dots,m_0-1$)についてそれぞれ推定値 u_{1i} を算出する。そして第2候補グループ設定部432は、各推定値 u_{1i} に最も近いシンボルレプリカ $x_1^{(min)}(c_{0i})$ と対応する他の送信信号 x_0 のシンボルレプリカ c_{0i} との組($c_{0i}, x_1^{(min)}(c_{0i})$)を一つの送信信号の候補の組とする第2候補グループを生成する(ステップS211)。第2候補グループ設定部432は、第2候補グループに含まれるそれぞれの送信信号候補の組に含まれるシンボルレプリカ c_{0i} に設定されたランキング値 R_{0i} を、その組に対するランキング値とする。そして第2候補グループ設定部432は、第2候補グループ及びそのグループに含まれるそれぞれの組のランキング値を共通グループ検索部44及び追加メトリック計算部47へ出力する。

20

【0076】

共通グループ検索部44は、第1候補グループと第2候補グループとの間で共通する送信信号の候補の組を検索し、その共通する送信信号の候補の組の集合を共通グループとする(ステップS212)。共通グループ検索部44は、共通グループに含まれる送信信号候補の組のそれぞれに対して、その送信信号候補の組にそれぞれ設定されたランキング値(R_{0i}, R_{1i})に基づいて優先順位を決定する。そして共通グループ検索部44は、優先順位の高い方から順に所定個の組を選択する(ステップS213)。共通グループ検索部44は、選択した送信信号の候補の組をメトリック計算部45へ出力する。

30

その後、ストリーム分離部351は、図8に示されたステップS111以降の処理を実行する。なお、ストリーム分離部351は、ステップS201~S205の処理と、ステップS206~S211の処理を並列に実行してもよい。

【0077】

この第2の実施形態では、メトリックを計算する送信信号候補の数の最大値が所定数 S によって規定される。すなわち、メトリック計算部45におけるメトリックの計算回数は、最大で $2S$ 回となる。また追加メトリック計算部47におけるメトリックの計算回数は、最大で $(\log_2 m_0 + \log_2 m_1) \times 2$ 回となる。なお、 m_0, m_1 は、それぞれ、送信信号 x_0, x_1 に対して適用される変調方式が取り得る値の数である。したがって、第2の実施形態によるメトリック計算回数の最大値は $(2S + (\log_2 m_0 + \log_2 m_1) \times 2)$ となる。例えば、表1に示したメトリック計算回数を算出する条件と同様の条件が設定され、かつ、 S が16に設定されていれば、メトリック計算回数の最大値は56回となる。

40

このように、第2の実施形態による受信装置は、メトリック計算回数の最大値を第1の実施形態による受信装置よりも小さくできる。

【0078】

上記のように、送信信号 x_0, x_1 に対応するシンボルレプリカ c_{0i}, c_{1i} の何れか一方でもランキング値が大きい送信信号候補の組は、優先順位が低くなり、その結果、そのような組はメトリック計算の対象とならない。そのため、そのような組を求めるための演算量を削減することが好ましい。

50

そこで第1候補グループ設定部431は、第1ランキング決定部51により算出されたランキング値が上位の m_1 個に含まれるシンボルレプリカ c_{1i} についてのみ、象限判定を行って送信信号候補の組を設定してもよい。同様に、第2候補グループ設定部432は、第2ランキング決定部52により算出されたランキング値が上位の m_0 個に含まれるシンボルレプリカ c_{0i} についてのみ、象限判定を行って送信信号候補の組を設定してもよい。

これにより、ストリーム分離部351は、象限判定を行う回数を減らすことができるので、送信信号分離処理全体の演算量をさらに削減できる。例えば、送信信号 x_0 、 x_1 に対して適用される変調方式が64QAMであり、かつ $m_0 = m_1 = 32$ である場合、第1及び第2の実施形態と比較して、候補グループ設定部43の象限判定処理の演算量は1/2となる。

【0079】

10

また、送信信号 x_0 に対して適用される変調方式が送信信号 x_1 に対して適用される変調方式と異なる場合、 m_0 と m_1 とは異なる値であってもよい。例えば、送信信号 x_0 に対して適用される変調方式が16QAMであり、送信信号 x_1 に対して適用される変調方式が64QAMである場合、 m_0 は8、 m_1 は32に設定される。あるいは、 m_0 と m_1 とは、送信信号 x_0 、 x_1 に対して適用される変調方式に応じて異なる値に設定されてもよい。例えば、適用される変調方式がQPSKであれば、 m_0 及び m_1 は3に設定され、適用される変調方式が16QAMであれば、 m_0 及び m_1 は8に設定され、また適用される変調方式が64QAMであれば、 m_0 及び m_1 は32に設定される。

【0080】

なお、この変形例では、送信信号 x_0 、 x_1 が取り得る値のうちの一部に関して送信信号候補の組が求められていないため、反転シンボルに対応する送信信号の候補の組が第1候補グループ及び第2候補グループに含まれていないことがある。そこで、反転シンボルに対応する送信信号の候補の組が第1候補グループ及び第2候補グループの何れにも含まれていない場合、追加メトリック計算部47は、候補グループ設定部43の処理と同様の処理を行って、反転シンボルを含む送信信号の組を決定する。

20

【0081】

次に、第3の実施形態による受信装置について説明する。

第3の実施形態による受信装置は、送信信号分離処理を行う際、一方の候補グループ設定部が、他方の候補グループ設定部により設定された候補グループを参照する。そしてその一方の候補グループ設定部が、参照された候補グループに含まれる送信信号の候補に対応するシンボルレプリカについてのみ、送信信号の候補の組を求める。

30

【0082】

図12は、第3の実施形態による受信装置のストリーム分離部352の概略構成図である。ストリーム分離部352は、チャンネル入替部41と、QR分解部42と、候補グループ設定部43と、共通グループ検索部44と、メトリック計算部45と、最小値検索部46と、追加メトリック計算部47と、対数尤度比算出部48とを有する。

ストリーム分離部352が有するこれらの各部は、それぞれ別個の演算回路であってもよい。あるいは、ストリーム分離部352が有するこれらの各部は、その各部の機能を実現する一つの演算回路であってもよい。

なお、図12において、ストリーム分離部352の各部には、図2に示された第1の実施形態によるストリーム分離部35の対応する構成要素の参照番号と同じ参照番号を付した。ストリーム分離部352は、候補グループ設定部43の第2候補グループ設定部432が、第1候補グループ設定部431により設定された第1候補グループを参照する点で、第1の実施形態によるストリーム分離部35と異なる。

40

【0083】

第2候補グループ設定部432は、第1候補グループ G_1 に含まれる、各送信信号候補の組 $(x_0^{(min)}(c_{1i}), c_{1i}) (i=0, 1, 2, \dots, m-1)$ を参照する。そして第2候補グループ設定部432は、 $x_0^{(min)}(c_{1i})$ の何れかについてのみ、対応する送信信号 x_1 の候補を求める。

【0084】

図13は、第1候補グループ G_1 の一例を示す図である。なお、送信信号 x_0 と x_1 はとも

50

にQPSKにより変調された信号である。図13に示されるように、 $x_0^{(min)}(c_{1i}) (m=0\sim 3)$ は、シンボル"01"、"10"及び"11"の何れかに対応するシンボルレプリカである。そのため、送信信号 x_0 についてシンボル"00"となるシンボルレプリカは、送信信号 x_0 の候補にはならない。そこで、第2候補グループ設定部432は、送信信号 x_0 のシンボル"01"、"10"及び"11"の何れかに対応するシンボルレプリカについてのみ、対応する送信信号 x_1 の候補を求める。

このように、第3の実施形態による受信装置では、第2候補グループ設定部432が象限判定を行う回数が減るので、送信信号分離処理における演算量を削減できる。

なお、第2候補グループ設定部432が第2候補グループを設定した後に、第1候補グループ設定部431がその第2候補グループに含まれる送信信号 x_1 の候補についてのみ、対応する送信信号 x_0 の候補を求めてもよい。

10

【0085】

次に、第4の実施形態による受信装置について説明する。

第4の実施形態による受信装置は、3本以上のアンテナ及び各アンテナに接続された受信部を有し、そしてその受信装置が有する復調部は、各アンテナで受信した受信信号から送信信号を分離する。なお、以下では、一例として、受信装置は3本のアンテナ及び各アンテナに接続された受信部を有するものとして説明する。

【0086】

図14は、第4の実施形態による受信装置のストリーム分離部353の概略構成図である。ストリーム分離部353は、チャンネル入替部41と、QR分解部42'と、候補グループ設定部43'と、共通グループ検索部44と、メトリック計算部45と、最小値検索部46と、追加メトリック計算部47と、対数尤度比算出部48とを有する。

20

ストリーム分離部353が有するこれらの各部は、それぞれ別個の演算回路であってもよい。あるいは、ストリーム分離部353が有するこれらの各部は、その各部の機能を実現する一つの演算回路であってもよい。

なお、図14において、ストリーム分離部353の各部には、図2に示された第1の実施形態によるストリーム分離部35の対応する構成要素の参照番号と同じ参照番号を付した。

【0087】

QR分解部42'は、チャンネル推定部34により推定されたチャンネル行列またはチャンネル入替部41により生成された変換チャンネル行列をQR分解する。

30

ここで、送信信号と受信信号の関係は、チャンネル行列を用いて次式で表される。

【数18】

$$\begin{aligned}
 & \mathbf{Y} = \mathbf{HX} + \mathbf{n} \\
 & \begin{pmatrix} y_0 \\ y_1 \\ y_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{00} & h_{01} & h_{02} \\ h_{10} & h_{11} & h_{12} \\ h_{20} & h_{21} & h_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_0 \\ x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} n_0 \\ n_1 \\ n_2 \end{pmatrix} \tag{18}
 \end{aligned}$$

40

ここで、 $x_0 \sim x_2$ は、それぞれ、送信装置が有する3本のアンテナのそれぞれから送信された送信信号を表す。送信信号ベクトル X は、各送信信号 $x_0 \sim x_2$ を要素とするベクトルである。また $y_0 \sim y_2$ は、それぞれ、受信装置が有する各アンテナを介して受信された受信信号を表す。受信信号ベクトル Y は、各受信信号 $y_0 \sim y_2$ を要素とするベクトルである。行列 H はチャンネル行列を表し、その要素 h_{ij} は、例えば、パイロット信号に対するチャンネルインパルス応答として求められる。さらに、ベクトル n はノイズベクトルを表し、その要素 $n_0 \sim n_2$ は、それぞれ、受信信号 $y_0 \sim y_2$ に含まれるノイズ成分を表す。

50

【 0 0 8 8 】

QR分解部 4 2 ' は、チャネル推定部 3 5 から受け取ったチャネル行列Hを、次式のようにユニタリ行列Qと上三角行列RにQR分解する。

【 数 1 9 】

$$\mathbf{H} = \mathbf{QR}$$

$$\begin{pmatrix} h_{00} & h_{01} & h_{02} \\ h_{10} & h_{11} & h_{12} \\ h_{20} & h_{21} & h_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} q_{00} & q_{01} & q_{02} \\ q_{10} & q_{11} & q_{12} \\ q_{20} & q_{21} & q_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r_{00} & r_{01} & r_{02} \\ 0 & r_{11} & r_{12} \\ 0 & 0 & r_{22} \end{pmatrix} \quad (19)$$

10

そしてQR分解部 4 2 ' は、(1 8) 式の両辺に、それぞれ左側からユニタリ行列Qのエルミート共役 \mathbf{Q}^H を乗じる。これにより、QR分解部 4 2 ' は、受信信号ベクトルYをユニタリ変換したユニタリ変換ベクトルzを求める。なお、ユニタリ変換ベクトルzと、上三角行列R及び送信信号ベクトルXとの関係は次式で表される。

【 数 2 0 】

$$\mathbf{z} = \mathbf{Q}^H \mathbf{Y} = \mathbf{Q}^H \mathbf{QRX} + \mathbf{Q}^H \mathbf{n} = \mathbf{RX} + \mathbf{Q}^H \mathbf{n}$$

20

$$\begin{pmatrix} z_0 \\ z_1 \\ z_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_{00} & r_{01} & r_{02} \\ 0 & r_{11} & r_{12} \\ 0 & 0 & r_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_0 \\ x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} q_{00}^* & q_{01}^* & q_{02}^* \\ q_{10}^* & q_{11}^* & q_{12}^* \\ q_{20}^* & q_{21}^* & q_{22}^* \end{pmatrix} \begin{pmatrix} n_0 \\ n_1 \\ n_2 \end{pmatrix} \quad (20)$$

ここで、ユニタリ変換信号 $z_0 \sim z_2$ は、それぞれユニタリ変換ベクトルzの要素である。

【 0 0 8 9 】

同様に、QR分解部 4 2 ' は、チャネル入替部 4 1 により生成された変換チャネル行列 $\mathbf{H}^{(abc)}$ も、ユニタリ行列 $\mathbf{Q}^{(abc)}$ と上三角行列 $\mathbf{R}^{(abc)}$ にQR分解する。そしてQR分解部 4 2 ' は、受信信号ベクトルと変換チャネル行列及び送信信号ベクトルの関係を表す式にユニタリ行列 $\mathbf{Q}^{(abc)}$ のエルミート共役 $\mathbf{Q}^{(abc)H}$ を乗じる。これにより、受信信号ベクトルYをユニタリ変換したユニタリ変換ベクトル $\mathbf{z}^{(abc)}$ を求める。ユニタリ変換ベクトル $\mathbf{z}^{(abc)}$ と、上三角行列 $\mathbf{R}^{(abc)}$ 及び送信信号ベクトル $\mathbf{X}^{(abc)}$ との関係は次式で表される。

30

【 数 2 1 】

$$\mathbf{z}^{(abc)} = \mathbf{Q}^{(abc)H} \mathbf{Y} = \mathbf{Q}^{(abc)H} \mathbf{Q}^{(abc)} \mathbf{R}^{(abc)} \mathbf{X}^{(abc)} + \mathbf{Q}^{(abc)H} \mathbf{n} = \mathbf{R}^{(abc)} \mathbf{X}^{(abc)} + \mathbf{Q}^{(abc)H} \mathbf{n}$$

$$\begin{pmatrix} z_0^{(abc)} \\ z_1^{(abc)} \\ z_2^{(abc)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_{00}^{(abc)} & r_{01}^{(abc)} & r_{02}^{(abc)} \\ 0 & r_{11}^{(abc)} & r_{12}^{(abc)} \\ 0 & 0 & r_{22}^{(abc)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_a \\ x_b \\ x_c \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} q_{00}^{(abc)*} & q_{01}^{(abc)*} & q_{02}^{(abc)*} \\ q_{10}^{(abc)*} & q_{11}^{(abc)*} & q_{12}^{(abc)*} \\ q_{20}^{(abc)*} & q_{21}^{(abc)*} & q_{22}^{(abc)*} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} n_a \\ n_b \\ n_c \end{pmatrix} \quad (21)$$

40

なお、(2 1) 式において、a,b,cは、それぞれ、0,1,2の何れかであり、かつ、a b c である。

QR分解部 4 2 ' は、ユニタリ変換ベクトルz、 $\mathbf{z}^{(abc)}$ 上三角行列R、 $\mathbf{R}^{(abc)}$ などを候補グループ設定部 4 3 ' へ渡す。

【 0 0 9 0 】

候補グループ設定部 4 3 ' は、送信された可能性が有る送信信号の候補の組を求める。

50

ここで(20)式を参照すると、ユニタリ変換ベクトル信号 z_0 は、全ての送信信号と関連している。そこで、候補グループ設定部43'は、(20)式に基づいて、ユニタリ変換信号 z_0 から、送信信号 x_1 及び x_2 の成分をキャンセルすることにより、送信信号 x_0 の推定値を求める。

【0091】

送信信号 x_1 及び x_2 が、それぞれ、シンボルレプリカ c_{1i} 及び c_{2j} ($i=0,1,\dots,m_1-1, j=0,1,\dots,m_2-1$)であれば、送信信号 x_0 の推定値 u_{0ij} は次式により表される。なお、 m_1, m_2 は、それぞれ、送信信号 x_1, x_2 に対して適用された変調方式が取り得る値の数である。

【数22】

$$u_{0ij} = \frac{z_0 - r_{01}c_{1i} - r_{02}c_{2j}}{r_{00}} \quad (22)$$

10

候補グループ設定部43'は、例えば、第1候補グループ設定部431と同様に、推定値 u_{0ij} に対する象限判定処理を実行することにより、推定値 u_{0ij} に最も近い、送信信号 x_0 のシンボルレプリカ $x^{(min)}(c_{1i}, c_{2j})$ を決定する。そして候補グループ設定部43'は、 $\{x^{(min)}(c_{1i}, c_{2j}), c_{1i}, c_{2j}\}$ を、送信信号の候補の組とする。

候補グループ設定部43'は、シンボルレプリカ c_{1i} 及び c_{2j} の全ての組を(22)式に入力することにより、シンボルレプリカ c_{1i} 及び c_{2j} のそれぞれの組に対する送信信号 x_0 の推定値 u_{0ij} を求める。そして候補グループ設定部43'は、各推定値 u_{0ij} について上記の処理を行うことにより、送信信号の候補の組の集合である第1候補グループを求める。

20

【0092】

同様に、候補グループ設定部43'は、変換チャネル行列 $H^{(abc)}$ に基づいて求められた(21)式より、送信信号の候補の組の集合である第n候補グループを求める。なおnは、2以上かつ、a、b、cの順列の総数、すなわち6以下の整数である。この場合、送信信号 x_b 及び x_c が、それぞれ、シンボルレプリカ c_{bi} 及び c_{cj} ($i=0,1,\dots,m_b-1, j=0,1,\dots,m_c-1$)であれば、送信信号 x_a の推定値 u_{aij} は次式により表される。なお、 m_b, m_c は、それぞれ、送信信号 x_b, x_c に対して適用された変調方式が取り得る値の数である。

30

【数23】

$$u_{aij} = \frac{z_a^{(abc)} - r_{01}^{(abc)}c_{bi} - r_{02}^{(abc)}c_{cj}}{r_{00}^{(abc)}} \quad (23)$$

候補グループ設定部43'は、推定値 u_{aij} に対する象限判定処理を実行することにより、推定値 u_{aij} に最も近い、送信信号 x_a のシンボルレプリカ $x_a^{(min)}(c_{bi}, c_{cj})$ を決定する。そして候補グループ設定部43'は、 $\{x_a^{(min)}(c_{bi}, c_{cj}), c_{bi}, c_{cj}\}$ を、送信信号の候補の組とする。

40

候補グループ設定部43'は、候補グループを求める度に、その候補グループを共通グループ検索部44へ出力する。

【0093】

チャネル入替部41は、チャネル行列Hの列を入れ替えることにより、少なくとも一つの変換チャネル行列 $H^{(abc)}$ を作成する。各変換チャネル行列 $H^{(abc)}$ は、互いに列の順序が異なるように作成される。本実施形態では、送信信号は3個であるため、変換チャネル行列 $H^{(abc)}$ の数は最大で $5(=3P_3-1)$ 個である。作成する変換チャネル行列の数が送信信号の数未満である場合、チャネル入替部41は、上記の(21)式において最上段に位置する送信信号 x_a が、送信信号 x_0 及び他の変換チャネル行列における x_a と異なるように変換チャ

50

ネル行列 $H^{(abc)}$ を作成することが好ましい。これにより、(22)式及び(23)式により推定値が求められる送信信号がチャンネル行列及び変換チャンネル行列ごとに異なる。そのため、チャンネル行列及び変換チャンネル行列に応じて作成される候補グループも異なるものになるので、ストリーム分離部353は、大域的に送信信号候補の組を探索することができる。

チャンネル入替部41は、変換チャンネル行列 $H^{(abc)}$ を作成する度に、作成した変換チャンネル行列 $H^{(abc)}$ をQR分解部42'へ出力する。またチャンネル入替部41は、作成した変換チャンネル行列 $H^{(abc)}$ の列の順序をチャンネル入替部41が有するバッファメモリに記憶する。そしてチャンネル入替部41は、バッファメモリに記憶された列の順序を参照して、まだ記憶されていない列の順序を選択し、選択した列の順序に従ってチャンネル行列の列を入れ替える。これにより、チャンネル入替部41は、新たに作成する変換チャンネル行列をそれまでに作成した変換チャンネル行列 $H^{(abc)}$ と異ならせることができる。

10

【0094】

共通グループ検索部44は、候補グループ設定部43'から候補グループを受け取る度に、共通グループ検索部44が有するバッファメモリにその候補グループを記憶する。そして共通グループ検索部44は、二個目の候補グループを受け取ると、最初に受け取った候補グループとの間で共通する送信信号候補の組を検索する。そして共通グループ検索部44は、二つの候補グループ間で共通する送信信号候補の組の集合を共通グループとして、共通グループ検索部44が有するバッファメモリに記憶する。

共通グループ検索部44は、3個目以降の候補グループを受け取る度に、その候補グループと共通グループ間で共通する送信信号候補の組を検索し、その共通する送信信号候補の組の集合を新たな共通グループとしてバッファメモリに記憶する。そして共通グループ検索部44は、全ての候補グループ間で共通する送信信号候補の組を抽出すると、その抽出された組をメトリック計算部45へ出力する。そしてメトリック計算部45は、抽出された送信信号候補の組についてメトリックを計算する。最小値検索部46は、メトリックの最小値を求め、その最小値に対応する送信信号候補の組を、実際に送信された送信信号の組として推定する。

20

【0095】

なお、ストリーム分離部353により制御される送信信号分離処理の動作フローチャートは、図7及び図8に示された動作フローチャートと比較して、ステップS105~S110の処理が作成される変換チャンネル行列の数だけ繰り返される点でのみ異なる。

30

ストリーム分離部353は、ステップS105~S110の処理を予め設定された回数だけ繰り返してもよい。あるいは、ストリーム分離部353は、共通グループに含まれる送信信号候補の組の数が所定数以下となった時点で、ステップS105~S110の処理を停止してもよい。

【0096】

この第4の実施形態による受信装置も、共通グループ検索部により抽出された送信信号候補の組についてのみメトリックを計算するので、3本以上のアンテナを介して受信した受信信号に基づいて送信信号を分離するための演算量を削減できる。

【0097】

40

なお、本発明は上記の実施形態に限定されるものではない。例えば、第1、第3及び第4の実施形態の何れかによるストリーム分離部は、QR分解部を有さなくてもよい。この場合、候補グループ設定部は、チャンネル行列または変換チャンネル行列と、受信信号ベクトル及び送信信号ベクトルの関係を表す式に基づいて、第1候補グループ及び第2候補グループを求める。例えば、(4)式に基づいて、送信信号 x_0 の推定値 u_{0i} は、受信信号 y_0 から送信信号 x_1 のシンボルレプリカ c_{1i} に関する成分をキャンセルした残留成分として次式のように求められる。

【数 2 4】

$$u_{0j} = \frac{y_0 - h_{01}c_{1i}}{h_{00}} \quad (24)$$

そこで候補グループ設定部は、上記の実施形態と同様に、推定値 u_{0j} に最も近い送信信号 x_0 のシンボルレプリカ $x_0(c_{1i})$ を求め、 $(x_0(c_{1i}), c_{1i})$ を第1候補グループに含まれる送信信号候補の組とすることができる。また同様に、(5)式に基づいて、送信信号 x_1 の推定値 u_{1j} は、受信信号 y_1 から送信信号 x_0 の信号レプリカ c_{0i} に関する成分をキャンセルした残留成分として次式のように求められる。

【数 2 5】

$$u_{1j} = \frac{y_1 - h_{10}c_{0i}}{h_{11}} \quad (25)$$

そこで候補グループ設定部は、上記の実施形態と同様に、推定値 u_{1j} に最も近い送信信号 x_1 のシンボルレプリカ $x_1(c_{0i})$ を求め、 $(c_{0i}, x_1(c_{0i}))$ を第2候補グループに含まれる送信信号候補の組とすることができる。

あるいは、候補グループ設定部は、(4)式に基づいて、受信信号 y_1 から送信信号 x_0 の信号レプリカ c_{0i} に関する成分をキャンセルすることにより、送信信号 x_1 の推定値 u_{1j} を求めてもよい。このように、候補グループ設定部が異なる受信信号に着目し、受信信号ごとに異なる送信信号の推定値を求める場合には、チャンネル入替部も省略されてもよい。

また、メトリック計算部及び追加メトリック計算部は、その送信信号候補の組を、例えば(4)式の右辺の第1項に入力することにより、推定受信信号の組を算出できる。

【0098】

また、第4の実施形態による受信装置に、第2の実施形態による受信装置を組み合わせてもよい。この場合、ストリーム分離部353は、送信信号候補の組のランキングを決定するためのランキング決定部を有する。そしてランキング決定部は、例えば、(20)式及び(21)式において一つの送信信号だけに依存するユニタリ変換信号 z_2 または z_c から、対応する送信信号 x_2 、 x_c の推定値を求める。そしてランキング決定部は、その推定値に対して象限判定することにより、送信信号 x_2 、 x_c が取り得る信号値に対応するシンボルレプリカのそれぞれについて、推定値に近い順にランキング値を付与する。そして共通グループ検索部44は、共通グループに含まれる送信信号候補の組に含まれるシンボルレプリカに付与されたランキング値に従って各組に優先順位を設定し、優先順位が高い方から順に所定個数の組のみを選択する。

【0099】

あるいは、第4の実施形態による受信装置に、第3の実施形態による受信装置を組み合わせてもよい。また、第1～第3の実施形態による受信装置も、第4の実施形態による受信装置と同様に、一つのQR分解部及び一つの候補グループ設定部のみを有してもよい。そして一つのQR分解部がチャンネル行列及び変換チャンネル行列をQR分解し、一つの候補グループ設定部がチャンネル行列及び変換チャンネル行列に応じた候補グループを作成してもよい。

【0100】

さらに、上記の実施形態の何れかによる受信装置が有するストリーム分離部の各部の機能をプロセッサに実行させる命令を有するコンピュータプログラムは、例えば、無線信号により受信装置へ配信されてもよい。そして受信装置は、受信装置が有するプロセッサにそのコンピュータプログラムをロードすることにより、ストリーム分離部による送信信号

10

20

30

40

50

分離処理を実行してもよい。

【0101】

また、送信装置2の各構成要素と、受信装置3の各構成要素の両方を有することにより、MIMO技術により信号の送信と受信の両方を行える通信装置が形成される。この場合、送信装置2のアンテナ21-1、21-2と受信装置3のアンテナ31-1、31-2は、共通の一組のアンテナに置換される。そして共通の一組のアンテナのそれぞれは、デュプレクサを介して送信装置2が有する送信部25-1、25-2の一つ及び受信装置3が有する受信部32-1、32-2の一つと接続される。

【0102】

次に、上記の各実施形態の何れかによる受信装置または通信装置を採用した移動体通信システムの移動局及び基地局装置について説明する。

10

【0103】

図15は、上述した送信装置及び受信装置が組み込まれた基地局装置の概略構成図である。基地局装置100は、回線終端部101と、ベースバンド処理部102と、呼制御部103と、複数の通信部104-1~104-nと、複数のアンテナ105-1~105-nを有する。なお、nは2以上の自然数である。ベースバンド処理部102、呼制御部103、通信部104-1~104-nは、それぞれ、別個の回路であってもよく、あるいは、これらの各部は、それら回路が集積された一つの集積回路であってもよい。

【0104】

回線終端部101は、コアネットワークと接続するための通信インターフェースを有する。そして回線終端部101は、上位装置が接続されるコアネットワークを終端する。そして回線終端部101は、移動局装置へ送信されるダウンリンク信号をコアネットワークから受信し、そのダウンリンク信号をベースバンド処理部102に出力する。一方、回線終端部101は、移動局装置から受信したアップリンク信号をベースバンド処理部102から受信し、そのアップリンク信号をコアネットワークへ出力する。

20

【0105】

ベースバンド処理部102は、上記の実施形態における送信装置2のうちのコードワード生成部22、符号化部23、変調部24及び制御部26の各機能を実現する。さらにベースバンド処理部102は、上記の各実施形態における受信装置3のうちの復調部33、復号部36及びデータ統合部37の各機能を実現する。

30

【0106】

ベースバンド処理部102は、移動局装置から受信したフィードバック情報に基づいて、各コードワードのストリーム数、MOD、TBS及びプレコーディング行列を決定する。またベースバンド処理部102は、コアネットワークから受信したダウンリンク信号を、トランスポートサイズブロックTBSの長さを持つコードワードに分割する。またベースバンド処理部102は、コードワードに対して、誤り訂正符号化処理を実行する。さらにベースバンド処理部102は、決定されたストリーム数で符号化されたコードワードを分割することにより、データストリームを生成する。そしてベースバンド処理部102は、変調モードMODに従って、各データストリームを直交変調してダウンリンク信号である送信信号を生成する。さらにベースバンド処理部102は、プレコーディング行列に従って、各送信信号をアンテナ105-1~105-nの何れかに出力する。

40

【0107】

またベースバンド処理部102は、アンテナ105-1~105-nを介して受信したアップリンク信号を通信部104-1~104-nから受け取り、そのアップリンク信号から、移動局装置の各アンテナから送信された送信信号を分離する。そしてベースバンド処理部102は、分離された送信信号を結合することにより、符号化されたコードワードを生成する。ベースバンド処理部102は、その符号化されたコードワードに対して、誤り訂正復号処理を実行する。ベースバンド処理部102は、復号処理がなされたコードワードを結合し、元のアップリンク信号に戻す。そしてベースバンド処理部102は、そのアップリンク信号を、回線終端部101を介してコアネットワークへ出力する。

50

またベースバンド処理部 102 は、移動局装置へ通知するCQI値、RANK値、プレコーディングベクトルなどのフィードバック情報を算出し、そのフィードバック情報を、通信部 104 - 1 ~ 104 - nのうちの何れか一つを介して移動局装置へ送信する。

【0108】

呼制御部 103 は、基地局装置 100 を介して通信する携帯端末などの移動局装置と基地局装置 100 との間における、呼び出し、応答、切断及びハンドオーバーなどの呼制御処理を実行する。そして呼制御部 103 は、その呼制御処理の結果に応じて、ベースバンド処理部 102 に対して動作の開始または終了を指示する。

【0109】

通信部 104 - 1 ~ 104 - n は、それぞれ、上述した実施形態による送信装置 2 の送信部のうちのひとつと、受信装置 3 の受信部のうちのひとつを有する。そして各通信部 104 - 1 ~ 104 - n が有する送信部と受信部とは、それぞれ、デュプレクサ（図示せず）を介してアンテナ 105 - 1 ~ 105 - n と接続されている。そして通信部 104 - 1 ~ 104 - n は、ベースバンド処理部 102 から受け取ったダウンリンク信号を増幅し、その増幅されたダウンリンク信号をアンテナ 105 - 1 ~ 105 - n を介して送信する。

また通信部 104 - 1 ~ 104 - n は、移動局装置から発信されたアップリンク信号をアンテナ 105 - 1 ~ 105 - n を介して受信する。そして通信部 104 - 1 ~ 104 - n は、受信したアップリンク信号を増幅し、ベースバンド処理部 102 に渡す。

【0110】

なお、基地局装置の各通信部は、基地局装置本体と独立した装置として設けられてもよい。この場合、各通信部と基地局装置本体は、例えば、光ファイバで接続される。そして各通信部と基地局装置本体は、Common Public Radio Interface (CPRI) などの規格に従って互いに通信する。

【0111】

図 16 は、上述した送信装置及び受信装置が組み込まれた移動局装置の概略構成図である。移動局装置 200 は、制御部 201 と、ベースバンド処理部 202 と、呼制御部 203 と、複数の通信部 204 - 1 ~ 204 - n と、複数のアンテナ 205 - 1 ~ 205 - n を有する。なお、n は 2 以上の自然数である。制御部 201、ベースバンド処理部 202、呼制御部 203 及び通信部 204 - 1 ~ 204 - n は、それぞれ、別個の回路であってもよく、あるいは、これらの各部は、それら回路が集積された一つの集積回路であってもよい。

【0112】

制御部 201 は、移動局装置 200 全体を制御する。そして制御部 201 は、移動局装置 200 で動作する各種のアプリケーションプログラムを実行する。そのために、制御部 201 は、プロセッサと不揮発性メモリ及び揮発性メモリを有する。制御部 201 は、移動局装置 200 が有するキーパッドなどの操作部（図示せず）を介したユーザの操作により、電話、データ通信などの通信を行うアプリケーションが起動されると、そのアプリケーションにしたがって呼制御部 203 を動作させる。そして制御部 201 は、そのアプリケーションにより送信することが要求されたデータあるいは移動局装置 200 が有するマイクロホン（図示せず）から取得した音声信号に対して情報源符号化処理を実行する。そして制御部 201 は、それらの処理の結果得られた信号をアップリンク信号としてベースバンド処理部 202 に渡す。また制御部 201 は、ベースバンド処理部 202 からダウンリンク信号を受け取ると、情報源符号の復号処理などを実行することにより、音声信号あるいはデータを取得する。そして制御部 201 は、移動局装置 200 が有するスピーカ（図示せず）へ音声信号を渡す。また制御部 201 は、取得したデータを移動局装置 200 が有するディスプレイ（図示せず）に表示させる。

【0113】

ベースバンド処理部 202 は、上記の実施形態における送信装置 2 のうちのコードワード生成部 22、符号化部 23、変調部 24 及び制御部 26 の各機能を実現する。さらにベースバンド処理部 202 は、上記の各実施形態における受信装置 3 のうちの復調部 33、

10

20

30

40

50

復号部 36 及びデータ統合部 37 の各機能を実現する。

【0114】

ベースバンド処理部 202 は、基地局装置から受信したフィードバック情報に基づいて、各コードワードのストリーム数、MOD、TBS及びプレコーディング行列を決定する。またベースバンド処理部 202 は、アップリンク信号を、トランスポートサイズブロック TBS の長さを持つコードワードに分割する。ベースバンド処理部 202 は、コードワードに対して、誤り訂正符号化処理を実行する。さらにベースバンド処理部 202 は、決定されたストリーム数で符号化されたコードワードを分割することにより、データストリームを生成する。そしてベースバンド処理部 202 は、変調モード MOD に従って、各データストリームを直交変調することで送信信号を生成する。さらにベースバンド処理部 202 は、プレコーディング行列に従って、各送信信号を通信部 204 - 1 ~ 204 - n の何れかに出力する。

10

【0115】

またベースバンド処理部 202 は、通信部 204 - 1 ~ 204 - n からダウンリンク信号を受け取り、そのダウンリンク信号から、基地局装置の各アンテナから送信された送信信号を分離する。そしてベースバンド処理部 202 は、分離された送信信号を結合することにより、符号化されたコードワードを生成する。ベースバンド処理部 202 は、その符号化されたコードワードに対して、誤り訂正復号処理を実行する。ベースバンド処理部 202 は、復号処理がなされたコードワードを結合し、元のダウンリンク信号に戻す。そしてベースバンド処理部 202 は、そのダウンリンク信号を制御部 201 へ出力する。

20

またベースバンド処理部 202 は、基地局装置へ通知する CQI 値、RANK 値、プレコーディングベクトルなどのフィードバック情報を算出し、そのフィードバック情報を、アンテナ 205 - 1 ~ 205 - n のうちの何れか一つを介して基地局装置へ送信する。

【0116】

呼制御部 203 は、移動局装置 200 と基地局装置との間における、呼び出し、応答、切断及びハンドオーバなどの呼制御処理を実行する。そして呼制御部 203 は、その呼制御処理の結果に応じて、ベースバンド処理部 202 に対して動作の開始または終了を指示する。

【0117】

通信部 204 - 1 ~ 204 - n は、それぞれ、上述した実施形態による送信装置 2 の送信部のうちのひとつと、受信装置 3 の受信部のうちのひとつを有する。そして各通信部 204 - 1 ~ 204 - n が有する送信部と受信部とは、それぞれ、デュプレクサ (図示せず) を介してアンテナ 205 - 1 ~ 205 - n と接続されている。そして通信部 204 - 1 ~ 204 - n は、ベースバンド処理部 202 から受け取ったアップリンク信号を増幅し、その増幅されたアップリンク信号をアンテナ 205 - 1 ~ 205 - n を介して送信する。

30

また通信部 204 - 1 ~ 204 - n は、基地局装置から発信されたダウンリンク信号をアンテナ 205 - 1 ~ 205 - n を介して受信する。そして通信部 204 - 1 ~ 204 - n は、受信したダウンリンク信号を増幅し、ベースバンド処理部 202 に渡す。

【0118】

なお、移動局装置 200 は、移動局装置 200 を Peripheral Components Interconnect (PCI) バスまたは Universal Serial Bus (USB) のようなデータ伝送路を介して他の装置に接続するためのインターフェース部をさらに有していてもよい。この場合、そのインターフェース部は制御部 201 と接続され、制御部 201 から出力された信号をデータ伝送路を介して他の装置へ出力する。あるいは、そのインターフェース部は、他の装置からデータ伝送路を介して受信した信号を制御部 201 へ渡す。

40

【0119】

ここに挙げられた全ての例及び特定の用語は、読者が、本発明及び当該技術の促進に対する本発明者により寄与された概念を理解することを助ける、教示的な目的において意図されたものであり、本発明の優位性及び劣等性を示すことに関する、本明細書の如何なる例の構成、そのような特定の挙げられた例及び条件に限定しないように解釈されるべきも

50

のである。本発明の実施形態は詳細に説明されているが、本発明の精神及び範囲から外れることなく、様々な変更、置換及び修正をこれに加えることが可能であることを理解されたい。

【 0 1 2 0 】

以上説明した実施形態及びその変形例に関し、更に以下の付記を開示する。

(付記 1)

複数のアンテナと、

前記複数のアンテナの何れか一つと接続され、当該接続されたアンテナを介して複数のアンテナを有する送信装置から送信された複数の送信信号を受信することにより、それぞれ受信信号を取得する複数の受信部と、

10

前記複数の受信信号の少なくとも何れかに対応し、かつ前記複数の送信信号の全てに相当する成分を持つ第 1 の信号から、前記複数の送信信号と前記複数の受信信号間の通信チャネルを表す第 1 のチャネル行列に基づいて前記複数の送信信号のうちの第 1 の送信信号を除いた第 1 の他の送信信号の候補に相当する成分をキャンセルした第 1 の残留成分を求め、前記第 1 の送信信号が取り得る値のうち当該第 1 の残留成分に最も近い値を前記第 1 の送信信号の候補として求め、当該第 1 の送信信号の候補と前記第 1 の他の送信信号の候補との組の集合を第 1 候補グループとして求め、かつ、

前記複数の受信信号の少なくとも何れかに対応し、かつ前記複数の送信信号の全てに相当する成分を持つ第 2 の信号から、前記複数の送信信号と前記複数の受信信号間の通信チャネルを表す第 2 のチャネル行列に基づいて前記複数の送信信号のうちの第 2 の送信信号を除いた第 2 の他の送信信号の候補に相当する成分をキャンセルした第 2 の残留成分を求め、前記第 2 の送信信号が取り得る値のうち当該第 2 の残留成分に最も近い値を前記第 2 の送信信号の候補として求め、当該第 2 の送信信号の候補と前記第 2 の他の送信信号の候補との組の集合を第 2 候補グループとして求める候補グループ設定部と、

20

前記第 1 候補グループと前記第 2 候補グループ間で共通する前記送信信号の候補の組の集合を共通グループとして選択する共通グループ検索部と、

前記共通グループに含まれる送信信号の候補の組のそれぞれについて、当該送信信号の候補の組に対応する推定受信信号の組を算出し、当該推定受信信号の組と前記複数の受信信号との距離を計算するメトリック計算部と、

前記距離が最小となる前記送信信号の候補の組を、前記複数の送信信号の組と推定する送信信号推定部と、
を有する通信装置。

30

(付記 2)

前記第 1 のチャネル行列に含まれる列の順序を入れ替えることにより前記第 2 のチャネル行列を作成するチャネル入替部をさらに有する、付記 1 に記載の通信装置。

(付記 3)

前記第 1 のチャネル行列と前記第 2 のチャネル行列は同一のチャネル行列である、付記 1 に記載の通信装置。

(付記 4)

前記第 1 候補グループに含まれる前記送信信号の候補の組のそれぞれに対して前記複数の送信信号である確からしさを表す第 1 のランキング値を設定し、かつ前記第 2 候補グループに含まれる前記送信信号の候補の組のそれぞれに対して前記複数の送信信号である確からしさを表す第 2 のランキング値を設定するランキング決定部をさらに有し、

40

前記共通グループ検索部は、前記第 1 のランキング値及び前記第 2 のランキング値に基づいて前記共通グループに含まれる前記送信信号の候補の組のそれぞれに対して、前記複数の送信信号である確からしさが高いほど高くなる優先順位を付与し、

前記メトリック計算部は、前記優先順位が高い方から順に所定数の組について前記距離を計算する、付記 1 または 2 に記載の通信装置。

(付記 5)

前記第 1 のチャネル行列をユニタリ行列と三角行列に分解し、該ユニタリ行列のエルミ

50

ート共役を前記複数の受信信号を要素とする受信信号ベクトルに乗じることにより複数のユニタリ変換信号を求める分解部をさらに有し、

前記候補グループ設定部は、前記複数の送信信号のうちの前記第1の送信信号と異なる第3の送信信号の推定値を、前記三角行列及び前記複数のユニタリ変換信号のうちの前記第3の送信信号の成分のみを持つユニタリ変換信号に基づいて算出し、前記第1候補グループに含まれる前記送信信号の候補の組に対する前記第1のランキング値を、前記送信信号の候補の組に含まれる前記第3の送信信号の候補が前記推定値に近いほど前記確からしさが高いことを示す値に設定する、付記4に記載の通信装置。

(付記6)

前記候補グループ設定部は、前記第3の送信信号の候補のうち、前記第3の送信信号の推定値に近い方から順に所定個数の当該第3の送信信号の候補のみを用いて前記第1候補グループを求める、付記5に記載の通信装置。

10

(付記7)

前記候補グループ設定部は、前記第1の送信信号が取り得る値のうち、前記第1候補グループに含まれる前記第1の送信信号の候補となった値のみを前記第2の他の送信信号の候補に含めることにより、前記第2候補グループを求める、付記1～3の何れか一項に記載の通信装置。

(付記8)

前記候補グループ設定部は、前記第1の残留成分の実数成分の符号及び虚数成分の符号に基づいて前記第1の残留成分が属する象限を判定し、前記第1の送信信号が取り得る値のうち、当該象限に属する値が当該象限に属さない値よりも前記第1の残留成分に近いと判定することにより、前記第1の残留成分に最も近い値を決定する、付記1～7の何れか一項に記載の通信装置。

20

(付記9)

前記推定された送信信号の組に含まれる何れかの送信信号に対して一つのビット値が反転された送信信号を含む送信信号の候補の組についての前記距離を第2の距離として算出する追加メトリック計算部と、

前記第1の距離と前記第2の距離の差を対数尤度比として算出する対数尤度比算出部とをさらに有する、付記1～8の何れか一項に記載の通信装置。

(付記10)

30

更に、

前記複数の送信信号を復号してアップリンク信号を再生する復号部と、

前記アップリンク信号をコアネットワークへ出力する回線終端部と、

を有する基地局装置である付記1に記載の通信装置。

(付記11)

更に、

前記複数の送信信号を復号してダウンリンク信号を再生する復号部を有する移動局装置である付記1に記載の通信装置。

(付記12)

複数のアンテナを有する送信装置から送信された複数の送信信号を受信装置が有する複数のアンテナのそれぞれによって受信することにより得られた複数の受信信号の少なくとも何れかに対応し、かつ前記複数の送信信号の全てに相当する成分を持つ第1の信号から、前記複数の送信信号と前記複数の受信信号間の通信チャネルを表す第1のチャネル行列に基づいて前記複数の送信信号のうちの前記第1の送信信号を除いた第1の他の送信信号の候補に相当する成分をキャンセルした第1の残留成分を求め、前記第1の送信信号が取り得る値のうち当該第1の残留成分に最も近い値を前記第1の送信信号の候補として求め、当該第1の送信信号の候補と前記第1の他の送信信号の候補との組の集合を第1候補グループとして求め、

40

前記複数の受信信号の少なくとも何れかに対応し、かつ前記複数の送信信号の全てに相当する成分を持つ第2の信号から、前記複数の送信信号と前記複数の受信信号間の通信チ

50

ヤネルを表す第2のチャンネル行列に基づいて前記複数の送信信号のうちの第2の送信信号を除いた第2の他の送信信号の候補に相当する成分をキャンセルした第2の残留成分を求め、前記第2の送信信号が取り得る値のうち当該第2の残留成分に最も近い値を前記第2の送信信号の候補として求め、当該第2の送信信号の候補と前記第2の他の送信信号の候補との組の集合を第2候補グループとして求め、

前記第1候補グループと前記第2候補グループ間で共通する前記送信信号の候補の組の集合を共通グループとして選択し、

前記共通グループに含まれる送信信号の候補の組のそれぞれについて、当該送信信号の候補の組に対応する推定受信信号の組を算出し、当該推定受信信号の組と前記複数の受信信号との距離を計算し、

前記距離が最小となる前記送信信号の候補の組を、前記複数の送信信号の組と推定することを含む通信方法。

10

【符号の説明】

【0121】

- 1 通信システム
- 2 送信装置
- 21 - 1、21 - 2 アンテナ
- 22 コードワード生成部
- 23 符号化部
- 24 変調部
- 25 - 1、25 - 2 送信部
- 26 制御部
- 3 受信装置
- 31 - 1、31 - 2 アンテナ
- 32 - 1、32 - 2 受信部
- 33 復調部
- 34 チャンネル推定部
- 35 ストリーム分離部
- 36 復号部
- 37 データ統合部
- 35 送信部
- 41 チャンネル入替部
- 42、42' QR分解部
- 43、43' 候補グループ設定部
- 44 共通グループ検索部
- 45 メトリック計算部
- 46 最小値検索部
- 47 追加メトリック計算部
- 48 対数尤度比算出部
- 51 ランキング決定部
- 511 第1信号ランキング決定部
- 512 第2信号ランキング決定部
- 100 基地局装置
- 101 回線終端部
- 102 ベースバンド処理部
- 103 呼制御部
- 104 - 1 ~ 104 - n 通信部
- 105 - 1 ~ 105 - n アンテナ
- 200 移動局装置
- 201 制御部

20

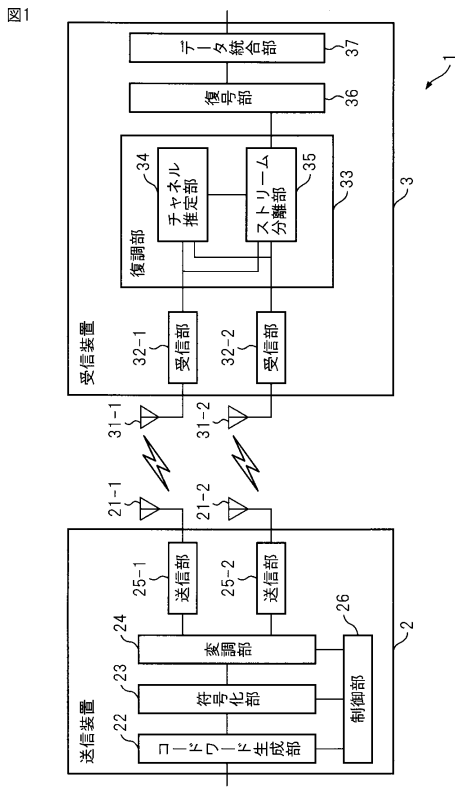
30

40

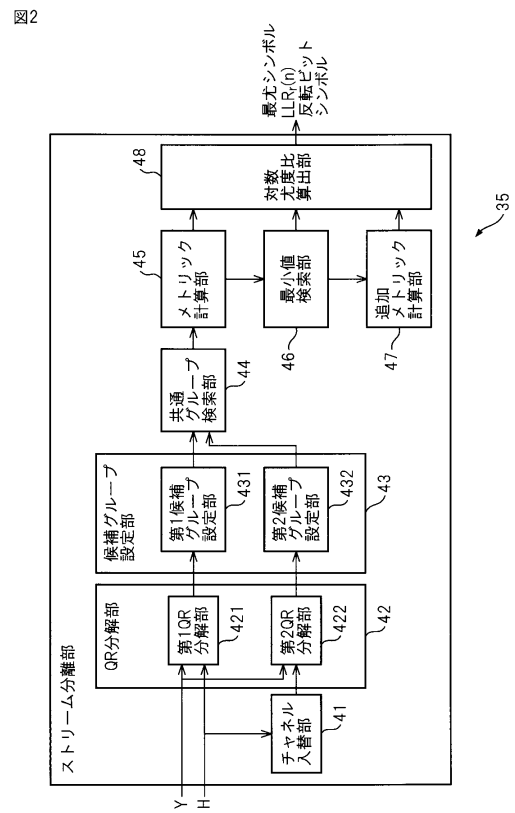
50

- 202 ベースバンド処理部
- 203 呼制御部
- 204 - 1 ~ 204 - n 通信部
- 205 - 1 ~ 205 - n アンテナ

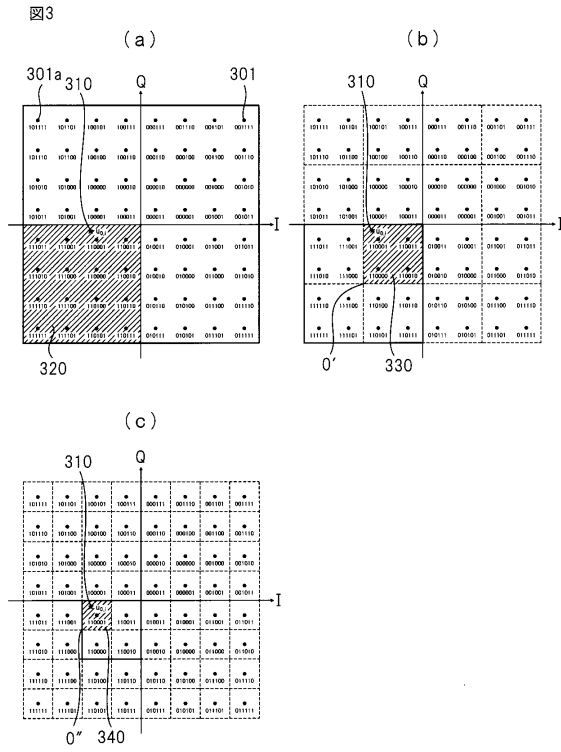
【図1】



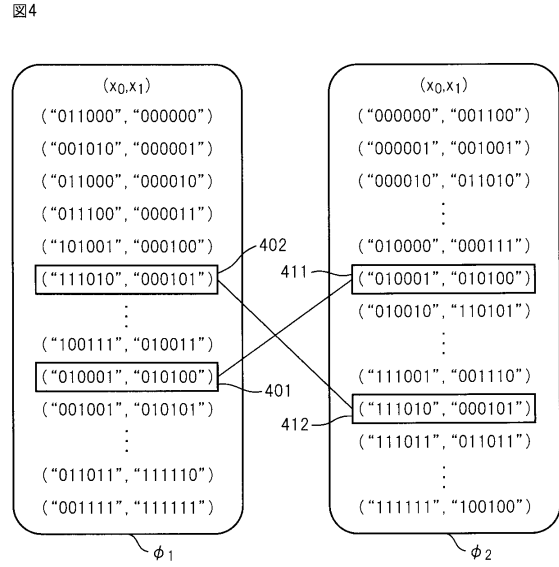
【図2】



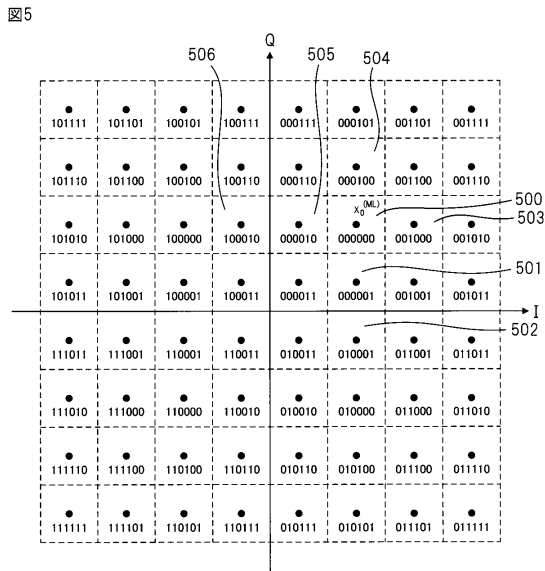
【 図 3 】



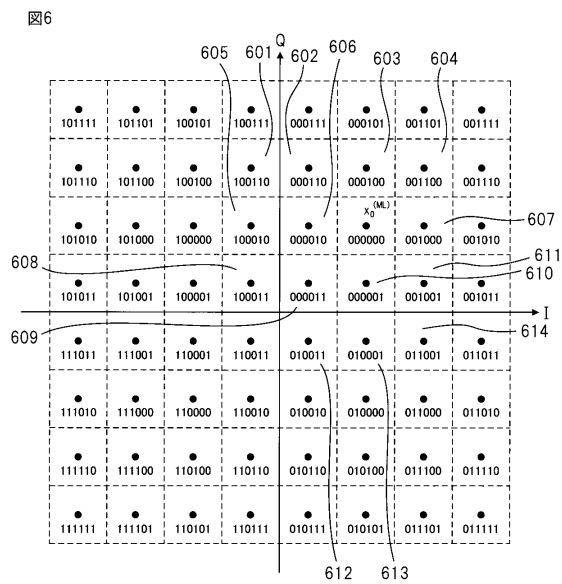
【 図 4 】



【 図 5 】

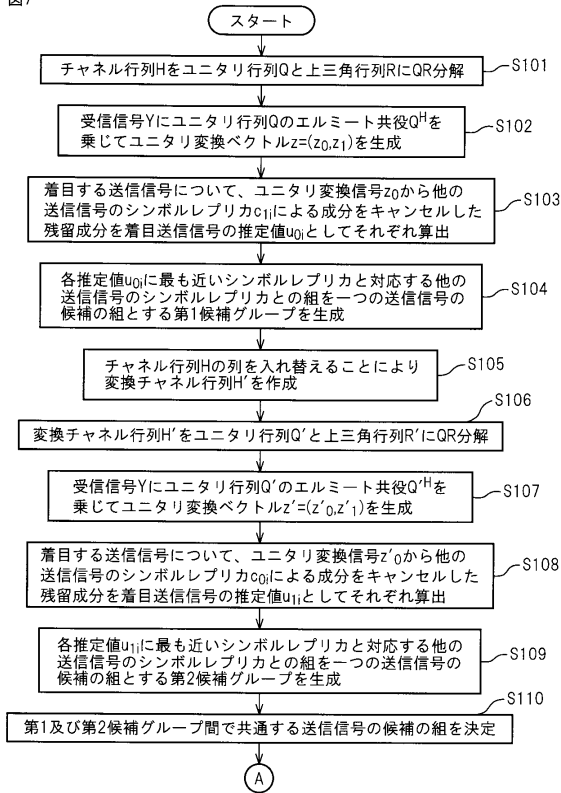


【 図 6 】



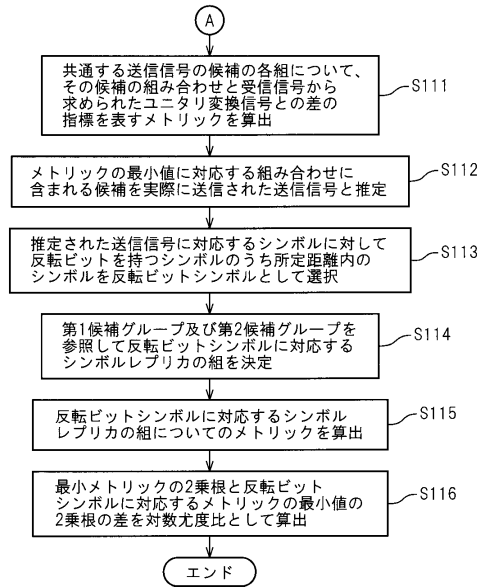
【図7】

図7



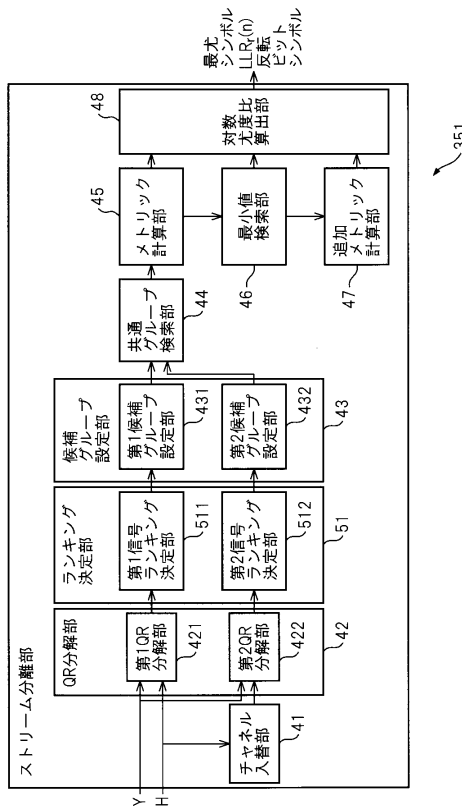
【図8】

図8



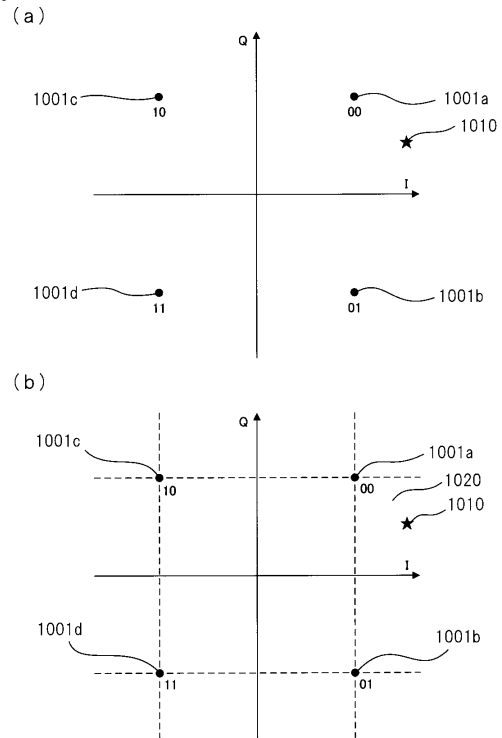
【図9】

図9

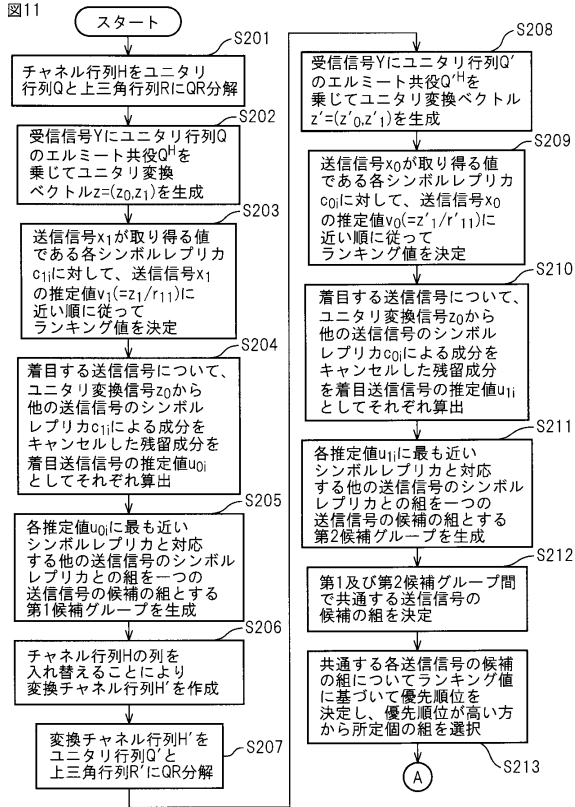


【図10】

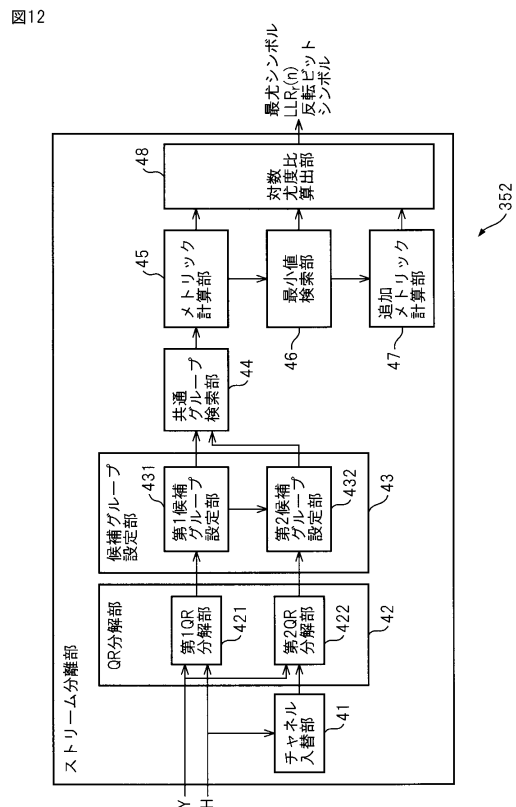
図10



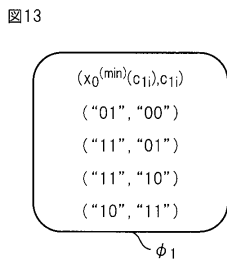
【図11】



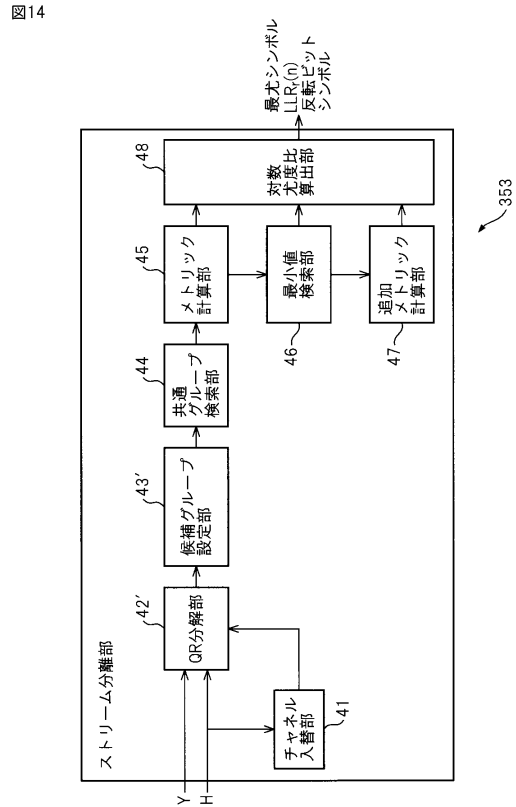
【図12】



【図13】

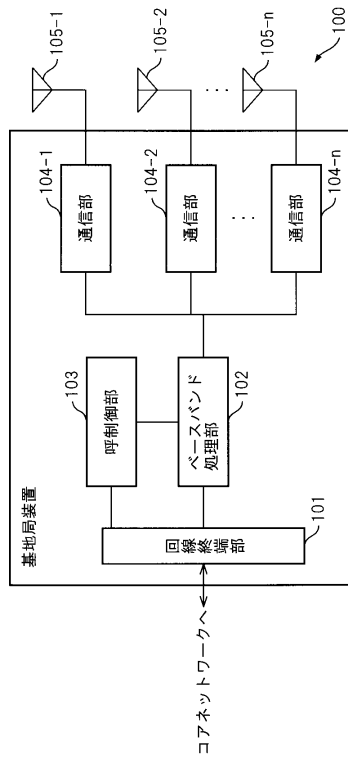


【図14】



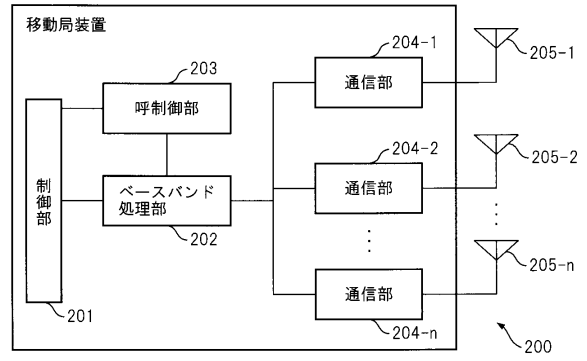
【図15】

図15



【図16】

図16



フロントページの続き

(72)発明者 瀬山 崇志

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

審査官 北村 智彦

(56)参考文献 特開2006-121348(JP,A)

国際公開第2008/038626(WO,A1)

特開2006-203782(JP,A)

特開2006-270430(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04J 99/00

H04B 7/04