

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6128083号
(P6128083)

(45) 発行日 平成29年5月17日(2017.5.17)

(24) 登録日 平成29年4月21日(2017.4.21)

(51) Int.Cl. F I
HO4B 7/10 (2006.01) HO4B 7/10 A
HO4W 16/28 (2009.01) HO4W 16/28 110

請求項の数 4 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2014-182793 (P2014-182793)	(73) 特許権者	000005223 富士通株式会社
(22) 出願日	平成26年9月8日(2014.9.8)		神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
(65) 公開番号	特開2016-58849 (P2016-58849A)	(74) 代理人	100089118 弁理士 酒井 宏明
(43) 公開日	平成28年4月21日(2016.4.21)	(72) 発明者	木村 大 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
審査請求日	平成27年8月4日(2015.8.4)	(72) 発明者	小池 千万人 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
		(72) 発明者	藤尾 俊輔 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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 無線通信装置及び算出方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の端末宛ての信号が多重されたアナログ信号を、前記アナログ信号に使用対象の送信ウェイトベクトルを掛け合わせて前記アナログ信号の位相及び振幅を送信アンテナ毎に制御して送信する無線通信装置であって、

前記複数の端末にそれぞれ対応する複数のステアリングベクトルを取得する取得部と、

前記取得した複数のステアリングベクトルを、使用対象の重み係数を用いて重み付け加算することにより合成して、前記使用対象の送信ウェイトベクトルを算出するビームフォーミング制御部と、

を具備し、

前記使用対象の重み係数は、

各端末に対するステアリングベクトルを含む行列と重み係数候補を含む行列との積に、前記積の複素共役転置を乗じた結果の値を最大とする前記重み係数候補の値である、

ことを特徴とする無線通信装置。

【請求項2】

複数の端末宛ての信号が多重されたアナログ信号を、前記アナログ信号に使用対象の送信ウェイトベクトルを掛け合わせて前記アナログ信号の位相及び振幅を送信アンテナ毎に制御して送信する無線通信装置における、前記使用対象の送信ウェイトベクトルの算出方法であって、

前記複数の端末にそれぞれ対応する複数のステアリングベクトルを取得し、

前記取得した複数のステアリングベクトルを、使用対象の重み係数を用いて重み付け加算することにより合成して、前記使用対象の送信ウェイトベクトルを算出し、

前記使用対象の重み係数は、

各端末に対するステアリングベクトルを含む行列と重み係数候補を含む行列との積に、前記積の複素共役転置を乗じた結果の値を最大とする前記重み係数候補の値である、

ことを特徴とする算出方法。

【請求項 3】

複数の端末宛ての信号が多重されたアナログ信号を、前記アナログ信号に使用対象の送信ウェイトベクトルを掛け合わせて前記アナログ信号の位相及び振幅を送信アンテナ毎に制御して送信する無線通信装置であって、

前記複数の端末にそれぞれ対応する複数のステアリングベクトルを取得する取得部と、前記取得した複数のステアリングベクトルを、使用対象の重み係数を用いて重み付け加算することにより合成して、前記使用対象の送信ウェイトベクトルを算出するビームフォーミング制御部と、

を具備し、

前記ビームフォーミング制御部は、複数の重み係数候補のそれぞれを用いて複数の送信ウェイトベクトル候補を算出し、前記算出した複数の送信ウェイトベクトル候補のそれぞれを用いた場合の各端末の予測スループットを算出し、前記複数の送信ウェイトベクトル候補のそれぞれについて、前記算出した各端末の予測スループットの合計値を算出し、前記算出した合計値が最大である送信ウェイトベクトルに対応する重み係数候補を、前記使用対象の重み係数として決定する、

ことを特徴とする無線通信装置。

【請求項 4】

複数の端末宛ての信号が多重されたアナログ信号を、前記アナログ信号に使用対象の送信ウェイトベクトルを掛け合わせて前記アナログ信号の位相及び振幅を送信アンテナ毎に制御して送信する無線通信装置であって、

前記複数の端末にそれぞれ対応する複数のステアリングベクトルを取得する取得部と、前記取得した複数のステアリングベクトルを、使用対象の重み係数を用いて重み付け加算することにより合成して、前記使用対象の送信ウェイトベクトルを算出するビームフォーミング制御部と、

を具備し、

前記ビームフォーミング制御部は、複数の重み係数候補のそれぞれを用いて複数の送信ウェイトベクトル候補を算出し、前記算出した複数の送信ウェイトベクトル候補のそれぞれを用いた場合の各端末の予測スループットを算出し、前記複数の送信ウェイトベクトル候補のそれぞれについて、前記算出した各端末の予測スループットの対数値の合計値を算出し、前記算出した合計値が最大である送信ウェイトベクトルに対応する重み係数候補を、前記使用対象の重み係数として決定する、

ことを特徴とする無線通信装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、無線通信装置及び算出方法に関する。

【背景技術】

【0002】

昨今、無線通信装置の数が増大し、また、通信速度が速くなり通信の広帯域化が進む中、リソース利用効率（例えば、周波数利用効率）を向上するニーズが益々高まっている。

【0003】

リソース利用効率を向上する技術の1つとして、「ビームフォーミング」がある。例えば、「ビームフォーミング」を用いる基地局は、送信宛先である端末宛てのアナログ信号

10

20

30

40

50

を、当該アナログ信号に「送信ウェイトベクトル」を掛け合わせてアナログ信号の位相及び振幅を制御して送信する。「送信ウェイトベクトル」を調整することにより、送信宛先である端末の存在するエリアに電波を集中させることができる。これにより、他の通信に係る電波との間の干渉を低減することができ、結果として、周波数利用効率を向上させることができる。特に、ミリ波通信等の高周波数で且つ広帯域幅の通信を行う無線通信装置が有するアンテナ素子は小さい。また、高周波数の無線信号の伝搬損失は、一般的に大きい。このため、高周波数で且つ広帯域幅の通信を行う無線通信装置は、一般的に、「ビームフォーミング」を用いて伝搬損失を補っている。

【0004】

また、リソース利用効率を向上する技術の1つとして、「多重」がある。例えば、「多重」を用いる基地局は、送信宛先である複数の端末宛でのデジタル信号を周波数領域で多重し、得られた多重信号を送信宛先である複数の端末へ送信する。これにより、複数の端末に周波数を効率的に割り当てることができ、結果として、リソース利用効率を向上させることができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2003-264501号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、上記従来の「ビームフォーミング」と「多重」とを単純に組み合わせると、多重対象の複数の端末の一部では十分な受信電力が得られる一方で、他の一部では受信電力が劣化して受信品質が低下してしまう可能性がある。

【0007】

開示の技術は、上記に鑑みてなされたものであって、受信品質を向上させることができる、無線通信装置及び算出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】

【0008】

開示の態様では、無線通信装置は、複数の端末宛での信号が多重されたアナログ信号を、前記アナログ信号に使用対象の送信ウェイトベクトルを掛け合わせて前記アナログ信号の位相及び振幅を送信アンテナ毎に制御して送信する。前記無線通信装置は、取得部と、ビームフォーミング制御部とを有する。前記取得部は、前記複数の端末にそれぞれ対応する複数のステアリングベクトルを取得する。前記ビームフォーミング制御部は、前記取得した複数のステアリングベクトルを合成することにより、前記使用対象の送信ウェイトベクトルを算出する。

【発明の効果】

【0009】

開示の態様によれば、受信品質を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】図1は、実施例1の無線通信システムの一例を示す図である。

【図2】図2は、実施例1の第1通信装置の一例を示すブロック図である。

【図3】図3は、実施例1の無線通信システムの処理動作例の説明に供する図である。

【図4】図4は、実施例1の第1通信装置による参照信号の送信処理の説明に供する図である。

【図5】図5は、複数の送信ウェイトベクトルのそれぞれを使用した場合に第1通信装置の正面を基準とした方向に応じて得られるゲインを示す図である。

【図6】図6は、複数の送信ウェイトベクトルのそれぞれを使用した場合に第1通信装置の正面を基準とした方向に応じて得られるゲインを示す図である。

10

20

30

40

50

【図7】図7は、他の実施例の無線通信装置の一例を示すブロック図である。

【図8】図8は、無線通信装置のハードウェア構成例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下に、本願の開示する無線通信装置及び算出方法の実施形態を図面に基づいて詳細に説明する。なお、この実施形態により本願の開示する無線通信装置及び算出方法が限定されるものではない。また、実施形態において同一の機能を有する構成には同一の符号を付し、重複する説明は省略される。

【0012】

[実施例1]

[無線通信システムの概要]

図1は、実施例1の無線通信システムの一例を示す図である。図1において、無線通信システム1は、無線通信装置10と、無線通信装置50-1, 2とを有する。無線通信装置10は、例えば、無線基地局であり、無線通信装置50-1, 2のそれぞれは、例えば、無線端末である。以下では、無線通信装置50-1, 2を特に区別しない場合、総称して無線通信装置50と呼ぶことがある。また、以下では、無線通信装置10を「第1通信装置」と呼び、無線通信装置50を「第2通信装置」と呼ぶことがある。なお、ここでは、無線通信装置10及び無線通信装置50の数を1つと2つにしているが、これらの数はこれに限定されるものではない。

【0013】

無線通信装置10は、無線通信装置50-1, 2のそれぞれ宛ての信号が多重されたアナログ信号を、当該アナログ信号に「使用対象の送信ウェイトベクトル」を掛け合わせて当該アナログ信号の位相及び振幅を送信アンテナ毎に制御して送信する。すなわち、無線通信装置10は、「アナログビームフォーミング」を実行する。「送信ウェイトベクトル」は、無線通信装置10が備える各無線送信部で乗算するウェイトから成るベクトルである。

【0014】

ここで、無線通信装置10は、無線通信装置50-1, 2のそれぞれの「ステアリングベクトル」を取得する。「ステアリングベクトル」は、各要素（つまりウェイト）が無線通信装置10から見た無線通信装置50の方向に応じた位相情報のみで成るベクトルである。「ステアリングベクトル」の取得方法としては、例えば、次の方法がある。第1の取得方法では、無線通信装置10がステアリングベクトルを順次切り替え、各ステアリングベクトルを掛け合わせた「参照信号（つまり、既知信号）」を送信する。そして、無線通信装置50は、参照信号の受信電力が最大となるステアリングベクトル（つまり、「最適なステアリングベクトル」）に関する情報を無線通信装置10へフィードバックする。そして、無線通信装置10は、無線通信装置50からのフィードバック情報に基づいて、無線通信装置50のステアリングベクトルを特定する。また、第2の方法としては、無線通信装置10が無線通信装置50から送信された参照信号を、ステアリングベクトルを順次切り替えて受信する。そして、無線通信装置10は、参照信号の受信電力が最大となるステアリングベクトル（つまり、「最適なステアリングベクトル」）を特定（推定）する。

【0015】

そして、無線通信装置10は、取得した複数のステアリングベクトルを合成することにより、「使用対象の送信ウェイトベクトル」を算出する。この算出された「使用対象の送信ウェイトベクトル」が無線通信装置50-1, 2のそれぞれ宛ての信号が多重されたアナログ信号に掛け合わされてアナログ信号が送信される。

【0016】

これにより、無線通信装置50-1, 2のそれぞれの位置に関わらず、無線通信装置50-1, 2の受信電力を同時に確保できるビームパターンを形成することができ、この結果として、受信品質を向上させることができる。

【0017】

10

20

30

40

50

〔第1通信装置の構成例〕

図2は、実施例1の第1通信装置の一例を示すブロック図である。図2において、無線通信装置10は、多重部11と、無線送信部12と、無線受信部13と、取得部14と、ビームフォーミング制御部15とを有する。

【0018】

多重部11は、無線通信装置50-1宛ての送信信号 x_1 と無線通信装置50-2宛ての送信信号 x_2 とを入力する。そして、多重部11は、入力した信号を多重し、得られた多重信号を無線送信部12へ出力する。ここで、多重部11で用いられる多重方法は、例えば、周波数多重又はコード多重である。

【0019】

無線送信部12は、多重部11からデジタル信号である多重信号を受け取る。そして、無線送信部12は、デジタル信号である多重信号に対してデジタルアナログ変換を施して、アナログ信号を得る。このアナログ信号は、無線通信装置50-1宛ての送信信号 x_1 と無線通信装置50-2宛ての送信信号 x_2 とが多重されている。そして、無線送信部12は、得られたアナログ信号を、当該アナログ信号に「使用対象の送信ウェイトベクトル」を掛け合わせてアナログ信号の位相及び振幅を制御して送信する。

【0020】

例えば、無線送信部12は、図2に示すように、デジタルアナログ変換部21と、アップコンバータ22と、ビームフォーミング部23と、増幅部24とを有する。

【0021】

デジタルアナログ変換部21は、多重部11から受け取った多重信号に対してデジタルアナログ変換を施して、アナログ信号を得る。

【0022】

アップコンバータ22は、デジタルアナログ変換部21で得られたアナログ信号をアップコンバートし、無線信号を得る。

【0023】

ビームフォーミング部23は、ビームフォーミング制御部15から「使用対象の送信ウェイトベクトル」を受け取る。そして、ビームフォーミング部23は、アップコンバータ22で得られた無線信号（つまり、アナログ信号）にビームフォーミング制御部15から受け取った「使用対象の送信ウェイトベクトル」を掛け合わせ、位相及び振幅が制御された無線信号を得る。

【0024】

例えば、ビームフォーミング部23は、図2に示すように、移相器25-1~M（Mは、2以上の自然数）を有する。図2では、移相器25-1~Mは、それぞれ異なるアンテナに対応している。また、ビームフォーミング制御部15から受け取った「使用対象の送信ウェイトベクトル」は、M個の要素（つまり、送信ウェイト）を含む。M個の要素は、移相器25-1~Mにそれぞれ対応している。

【0025】

アップコンバータ22で得られた無線信号は、移相器25-1~Mのそれぞれに入力される。そして、各移相器25は、入力された無線信号に対して各移相器25に対応する送信ウェイトを掛け合わせ、得られた無線信号を各移相器25に対応する後述のパワーアンプ26へ出力する。

【0026】

増幅部24は、ビームフォーミング部23で得られた無線信号を増幅し、増幅された無線信号をアンテナを介して送信する。

【0027】

例えば、増幅部24は、図2に示すように、パワーアンプ（PA）26-1~Mを有する。パワーアンプ26-1~Mは、移相器25-1~Mにそれぞれ対応している。各パワーアンプ26は、対応する移相器25から位相及び振幅が制御された無線信号を受け取り、受け取った無線信号を増幅して、対応するアンテナへ出力する。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 8 】

無線受信部 1 3 は、アンテナを介して受信した信号に対して所定の無線受信処理（例えば、ダウンコンバート、アナログデジタル変換等）を施して、得られた受信信号（つまり、デジタル信号）を取得部 1 4 へ出力する。

【 0 0 2 9 】

取得部 1 4 は、無線通信装置 5 0 - 1 , 2 のそれぞれの「ステアリングベクトル」を取得する。例えば、取得方法が上記の第 1 の方法であれば、取得部 1 4 は、無線受信部 1 3 から受け取った受信信号から無線通信装置 5 0 - 1 , 2 のそれぞれのフィードバック信号（つまり、各無線通信装置 5 0 にとって最適なステアリングベクトルに関する情報）を抽出し、抽出したフィードバック信号に対応するステアリングベクトルをビームフォーミング制御部 1 5 へ出力する。

10

【 0 0 3 0 】

ビームフォーミング制御部 1 5 は、取得部 1 4 で取得された無線通信装置 5 0 - 1 , 2 のそれぞれの「ステアリングベクトル」を合成することにより、「使用対象の送信ウェイトベクトル」を算出する。例えば、ビームフォーミング制御部 1 5 は、取得部 1 4 で取得された複数のステアリングベクトルを「使用対象の重み係数」を用いて重み付け加算することにより合成する。「使用対象の重み係数」は、位相回転量、振幅増減量、並びに、位相回転量及び振幅増減量である。また、ここでは、「使用対象の重み係数」は、送信ウェイトベクトルのノルム値を所定レベル以上とする重み係数、例えば、送信ウェイトベクトルのノルム値が最大である重み係数である。なお、「使用対象の重み係数」の決定方法については、後に詳しく説明する。

20

【 0 0 3 1 】

[無線通信システムの動作例]

以上の構成を有する無線通信システム 1 の処理動作の一例について説明する。図 3 は、実施例 1 の無線通信システムの処理動作例の説明に供する図である。

【 0 0 3 2 】

< 参照信号の送信処理 >

無線通信装置 1 0 は、ステアリングベクトルを順次切り替え、各ステアリングベクトルを掛け合わせた参照信号を送信する（ステップ S 1 0 1 , S 1 0 2 ）。すなわち、図 4 に示すように、ステアリングベクトルを順次切り替えることにより、ビームの方向を変えて（つまり、回転させて）参照信号を順次送信する。この参照信号の送信は、上記のビームフォーミング制御部 1 5 によって制御されてもよいし、無線通信装置 1 0 が備える他の制御部（図示せず）によって制御されてもよい。図 4 は、実施例 1 の第 1 通信装置による参照信号の送信処理の説明に供する図である。

30

【 0 0 3 3 】

< 最適なステアリングベクトルの特定処理 >

各無線通信装置 5 0 は、掛け合わされたステアリングベクトルの異なる複数の参照信号を順次受信する。そして、各無線通信装置 5 0 は、受信した複数の参照信号のうち受信電力が最大となる受信参照信号に掛け合わされているステアリングベクトルを特定する。

【 0 0 3 4 】

< 最適なステアリングベクトルのフィードバック処理 >

無線通信装置 5 0 - 1 及び無線通信装置 5 0 - 2 は、特定した最適なステアリングベクトルに関する情報を無線通信装置 1 0 へ送信する（ステップ S 1 0 3 , S 1 0 4 ）。

40

【 0 0 3 5 】

< 使用対象の送信ウェイトベクトルの算出処理 >

無線通信装置 1 0 においてビームフォーミング制御部 1 5 は、取得部 1 4 で取得された無線通信装置 5 0 - 1 , 2 のそれぞれの「ステアリングベクトル」を合成することにより、「使用対象の送信ウェイトベクトル」を算出する（ステップ S 1 0 5 ）。例えば、ビームフォーミング制御部 1 5 は、取得部 1 4 で取得された複数のステアリングベクトルを「使用対象の重み係数」を用いて重み付け加算することにより合成する。ここでは、「使用

50

対象の重み係数」は、送信ウェイトベクトルのノルム値を所定レベル以上とする重み係数、例えば、送信ウェイトベクトルのノルム値が最大である重み係数である。

【0036】

すなわち、無線通信装置50-1及び無線通信装置50-2のそれぞれの最適なステアリングベクトルを、 v_1 、 v_2 とすると、送信ウェイトベクトルは、次の式(1)で表される。

【数1】

$$v = v_1 + \alpha_{opt} v_2 \quad \dots(1)$$

式(1)において、 α_{opt} は、重み係数であり、複素スカラー値である。

【0037】

ここで、ビームフォーミング制御部15は、 $|\alpha_{opt}| = 1$ を満たす複数の重み係数候補を保持している。そして、ビームフォーミング制御部15は、上記の式(1)と複数の重み係数候補のそれぞれとを用いて複数の送信ウェイトベクトル候補を算出する。そして、ビームフォーミング制御部15は、算出した複数の送信ウェイトベクトル候補のうちでノルム値が最大となる送信ウェイトベクトル候補に対応する重み係数候補を、使用対象の重み係数として決定する。

【0038】

すなわち、ビームフォーミング制御部15は、例えば、次の式(2)を用いて、使用対象の重み係数を決定する。

【数2】

$$\alpha_{opt} = \arg \max_{\alpha} \left| \sqrt{(v_1 + \alpha v_2)^H (v_1 + \alpha v_2)} \right| \quad \dots(2)$$

式(2)において、 H は、 v の複素共役転置を表す。

【0039】

なお、使用対象の重み係数が決定されると、ビームフォーミング制御部15は、式(1)と使用対象の重み係数とを用いて、送信ウェイトベクトルを算出し、算出した送信ウェイトベクトルを規格化した送信ウェイトベクトル(以下では、「規格化後送信ウェイトベクトル」と呼ぶことがある) v_{FDM} を、使用対象の送信ウェイトベクトルとする。すなわち、 v_{FDM} は、次の式(3)で表される。ここで、送信ウェイトベクトルを規格化することにより、総送信電力を一定に保つことができる。

【数3】

$$v_{FDM} = v / \sqrt{v^H v} \quad \dots(3)$$

【0040】

また、以上の説明では、ビームフォーミング制御部15は、上記の式(1)と複数の重み係数候補のそれぞれとを用いて算出した複数の送信ウェイトベクトル候補のうちでノルム値が最大となる送信ウェイトベクトル候補に対応する重み係数候補を、使用対象の重み係数として決定しているが、これに限定されない。すなわち、例えば、上記の式(2)を直接的に解くこと、つまり、解析解を求めることにより、使用対象の重み係数 α_{opt} を求めることができる。使用対象の重み係数の解析解 α_{opt} は、次の式(4)によって求められる。

【数4】

$$\alpha_{opt} = \exp(-j \cdot \arg(v_1^H v_2)) \quad \dots(4)$$

【0041】

すなわち、次の式(5)で表される問題を解けばよい。

【数5】

$$\alpha_{opt} = \arg \max_{\alpha} (v_1 + \alpha v_2)^H (v_1 + \alpha v_2), s.t. |\alpha| = 1 \quad \dots(5)$$

10

20

30

40

50

【 0 0 4 2 】

上記の式 (5) を解く過程を以下に示す。

$| \alpha_{opt} | = 1$ であるため、 $\alpha_{opt} = \exp(j\phi)$ とおく。

【 0 0 4 3 】

そして、次の式 (6) に示すように、式 (5) の中身を c とおく。

【 数 6 】

$$c = (v_1 + \alpha v_2)^H (v_1 + \alpha v_2) \quad \dots (6)$$

【 0 0 4 4 】

式 (6) の右辺を展開すると、次の式 (7) になる。

10

【 数 7 】

$$c = |v_1|^2 + |v_2|^2 + \exp(j\phi) v_1^H v_2 + \exp(-j\phi) v_2^H v_1 \quad \dots (7)$$

【 0 0 4 5 】

ここで、 $\alpha = a \cdot \exp(j\theta)$ とおくと、式 (7) は次の式 (8) の様に表すことができる。

【 数 8 】

$$c = |v_1|^2 + |v_2|^2 + \alpha \cdot \exp(j(\phi + \theta)) + \alpha \cdot \exp(-j(\phi + \theta)) = |v_1|^2 + |v_2|^2 + 2\alpha \cdot \cos(\phi + \theta) \quad \dots (8)$$

【 0 0 4 6 】

20

よって、 $\cos(\phi + \theta)$ が最大となるとき、つまり、 $\phi + \theta = 2\pi \cdot n$ のときに、 c は最大となる。ただし、 n は整数である。

【 0 0 4 7 】

よって、次の式 (9) に表すように、 $\alpha_{opt} = \exp(j\phi)$ に、 $\phi = -\theta + 2\pi \cdot n$ を代入すると、上記の式 (4) が成立することがわかる。

【 数 9 】

$$\alpha_{opt} = \exp(j(-\theta + 2\pi \cdot n)) = \exp(-j \cdot \arg(v_1^H v_2)) \quad \dots (9)$$

【 0 0 4 8 】

また、以上の説明では、無線通信装置 50 - 1, 2 の 2 ユーザを前提として説明しているが、ユーザの数はこれに限定されない。一般化して N (N は 2 以上の自然数) ユーザの場合について説明する。

30

【 0 0 4 9 】

N ユーザの場合の送信ウェイトベクトル v は、次の式 (10) で表される。

【 数 10 】

$$v = V \alpha_{opt} \quad \dots (10)$$

【 0 0 5 0 】

ただし、 α_{opt} は、 $N \times 1$ のベクトルであり、次の式 (11) で表される。

【 数 11 】

40

$$\alpha_{opt} = [1, \alpha_{opt,2}, \alpha_{opt,3}, \dots, \alpha_{opt,N}]^T \quad \dots (11)$$

【 0 0 5 1 】

また、式 (10) 中の V は、 $M \times N$ 行列で、次の式 (12) で表される。ここで、 M は、上記の通りアンテナ素子の数である。

【 数 12 】

$$V = [v_1, v_2, \dots, v_N] \quad \dots (12)$$

【 0 0 5 2 】

そして、使用対象の重み係数は、次の式 (13) を用いて決定される。

【数 1 3】

$$\alpha_{\text{opt}} = \arg \max_{\alpha} \left[\sqrt{(V\alpha)^H (V\alpha)} \right] \quad \dots (13)$$

【 0 0 5 3】

< データ送信処理 >

無線通信装置 1 0 は、無線通信装置 5 0 - 1 宛ての送信信号 x_1 と無線通信装置 5 0 - 2 宛ての送信信号 x_2 とが多重されたアナログ信号を、算出した使用対象の送信ウェイトベクトルを掛け合わせた後に送信する (ステップ S 1 0 6)。

【 0 0 5 4】

ここで、複数の送信ウェイトベクトルのそれぞれを使用した場合に無線通信装置 5 0 - 1, 2 のそれぞれで得られるゲインについてのシミュレーション結果を示す。図 5 及び図 6 は、複数の送信ウェイトベクトルのそれぞれを使用した場合に第 1 通信装置の正面を基準とした方向に応じて得られるゲインを示す図である。図 5 では、送信ウェイトベクトルとして、無線通信装置 5 0 - 1 の最適なステアリングベクトル α_1 を使用した場合の曲線 L 1 0 1、無線通信装置 5 0 - 2 の最適なステアリングベクトル α_2 を使用した場合の曲線 L 1 0 2、ステアリングベクトル α_1 とステアリングベクトル α_2 との和を使用した場合の曲線 L 1 0 3、図 3 のフローに従って算出された送信ウェイトベクトルを使用した場合の曲線 L 1 0 4 が示されている。

【 0 0 5 5】

なお、ここでは、無線通信装置 1 0 は、アンテナを 4 本有し、当該 4 本のアンテナのそれぞれを 0.5 (波長) だけ離して直線に並べることを前提としている。また、無線通信装置 5 0 - 1, 2 は、無線通信装置 1 0 のアンテナの正面から 0 [rad] 及び 0.13 [rad] の方向に配置されていることを前提としている。

【 0 0 5 6】

図 5 に示した各曲線の無線通信装置 5 0 - 1, 2 のそれぞれが配置された方向での値 (ゲイン) を図 6 にまとめている。図 6 では、無線通信装置 5 0 - 1 を端末 1 と表し、無線通信装置 5 0 - 2 を端末 2 と表している。ステアリングベクトルを単に足しただけでも、ゲインが低かった端末のゲインが 8.72 dB 向上し、重み係数 w を最適化することにより、さらに 1 dB 向上することがわかる。

【 0 0 5 7】

以上のように本実施例によれば、無線通信装置 1 0 は、複数の無線通信装置 5 0 宛ての信号が多重されたアナログ信号を、アナログ信号に「使用対象の送信ウェイトベクトル」を掛け合わせてアナログ信号の位相及び振幅を送信アンテナ毎に制御して送信する。そして、無線通信装置 1 0 において、ビームフォーミング制御部 1 5 は、複数の無線通信装置 5 0 についてそれぞれ取得した複数のステアリングベクトルを合成することにより、「使用対象の送信ウェイトベクトル」を算出する。

【 0 0 5 8】

この無線通信装置 1 0 の構成により、各無線通信装置 5 0 の位置に関わらず、各無線通信装置 5 0 の受信電力を同時に確保できるビームパターンを形成することができ、この結果として、受信品質を向上させることができる。すなわち、各無線通信装置 5 0 でビームフォーミングゲインが得られるビームパターンでの多重通信が可能となる。

【 0 0 5 9】

また、ビームフォーミング制御部 1 5 は、複数の無線通信装置 5 0 についてそれぞれ取得した複数のステアリングベクトルを「使用対象の重み係数」を用いて重み付け加算することにより合成する。「使用対象の重み係数」は、送信ウェイトベクトルのノルム値を所定レベル以上、例えば、最大とする。

【 0 0 6 0】

この無線通信装置 1 0 の構成により、各無線通信装置 5 0 の十分大きな受信電力を同時に確保できるビームパターンを形成することができる。この結果として、受信品質をさらに向上させることができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 1 】

[実施例 2]

実施例 2 は、「使用対象の重み係数」の決定方法（算出方法）のバリエーションに関する。実施例 2 の無線通信システム、第 1 通信装置、及び第 2 通信装置の主要構成は、実施例 1 の無線通信システム、第 1 通信装置、及び第 2 通信装置と同様であるので、図 1, 2 を参照して説明する。

【 0 0 6 2 】

実施例 2 の無線通信装置 1 0 のビームフォーミング制御部 1 5 は、複数の重み係数候補のそれぞれを用いて複数の送信ウェイトベクトル候補を算出する。そして、ビームフォーミング制御部 1 5 は、算出した複数の送信ウェイトベクトル候補のそれぞれを用いた場合の各無線通信装置 5 0 の「予測スループット」を算出する。そして、ビームフォーミング制御部 1 5 は、算出した各無線通信装置 5 0 の「予測スループット」に基づいて、複数の重み係数候補の中から「使用対象の重み係数」を決定する。

10

【 0 0 6 3 】

例えば、ビームフォーミング制御部 1 5 は、各送信ウェイトベクトル候補について、各無線通信装置 5 0 の「予測スループット」の合計値を算出し、算出した合計値が最大である送信ウェイトベクトルに対応する重み係数候補を、「使用対象の重み係数」として決定する。

【 0 0 6 4 】

すなわち、無線通信装置 1 0 と無線通信装置 5 0 - 1 との間のチャネル行列を h_1 とすると、無線通信装置 5 0 - 1 の予測 S N R (Signal to Noise Ratio) γ_1 は、次の式 (1 4) によって表される。

20

【 数 1 4 】

$$\gamma_1 = \frac{v^H h_1}{\sigma_1^2} \quad \dots (14)$$

ここで、式 (1 4) 中の σ_1^2 は、無線通信装置 5 0 - 1 における雑音電力を表す。この雑音電力は、無線通信装置 5 0 - 1 からのフィードバック信号等によって推定することができる。

【 0 0 6 5 】

同様に、無線通信装置 5 0 - 2 の予測 S N R γ_2 は、次の式 (1 5) によって表される。

30

【 数 1 5 】

$$\gamma_2 = \frac{v^H h_2}{\sigma_2^2} \quad \dots (15)$$

【 0 0 6 6 】

このとき、無線通信装置 5 0 - 1 の予測スループット T_1 及び無線通信装置 5 0 - 2 の予測スループット T_2 は、シャノンの定理によって次の式 (1 6) の様に表すことができる。

40

【 数 1 6 】

$$T_1 = B_1 \log_2(1 + \gamma_1), T_2 = B_2 \log_2(1 + \gamma_2) \quad \dots (16)$$

ここで、 B_1 及び B_2 は、無線通信装置 5 0 - 1 及び無線通信装置 5 0 - 2 にそれぞれ割り当てられた帯域幅である。

【 0 0 6 7 】

また、次の式 (1 7) に示すように、重み係数候補 α_l を L 個用意しておく。

【 数 1 7 】

$$\alpha_l = e^{j2\pi v_l L} \quad (l = 0, 1, \dots, L-1) \quad \dots (17)$$

【 0 0 6 8 】

50

そして、各重み係数候補についての無線通信装置 50 - 1, 2 の予測スループットを、 $T_1(1)$, $T_2(1)$ でそれぞれ表すと、無線通信装置 50 - 1 の予測スループットと無線通信装置 50 - 2 の予測スループットとの合計 $T_{sum}(1)$ は、次の式 (18) で表される。

【数 18】

$$T_{sum}(1) = T_1(1) + T_2(1) \quad \dots(18)$$

【0069】

L 個の重み係数候補のそれぞれについて、合計スループット $T_{sum}(1)$ を算出し、最も大きい $T_{sum}(1)$ に対応する重み係数候補 w_1 を、使用対象の重み係数とする。

10

【0070】

なお、式 (18) の代わりに、次の式 (19) を用いてもよい。

【数 19】

$$T_{sum}(1) = \log\{T_1(1)\} + \log\{T_2(1)\} \quad \dots(19)$$

【0071】

すなわち、ビームフォーミング制御部 15 は、各送信ウェイトベクトル候補について、算出した各無線通信装置 50 の予測スループットの対数値の合計値を算出し、算出した合計値が最大である送信ウェイトベクトルに対応する重み係数候補を、使用対象の重み係数として決定してもよい。

20

【0072】

以上のように本実施例によれば、無線通信装置 10 においてビームフォーミング制御部 15 は、複数の重み係数候補のそれぞれを用いて複数の送信ウェイトベクトル候補を算出し、算出した複数の送信ウェイトベクトル候補のそれぞれを用いた場合の各無線通信装置 50 の予測スループットを算出する。そして、ビームフォーミング制御部 15 は、算出した各無線通信装置 50 の予測スループットに基づいて、複数の重み係数候補の中から使用対象の重み係数を決定する。

【0073】

例えば、ビームフォーミング制御部 15 は、各送信ウェイトベクトル候補について、算出した各無線通信装置 50 の予測スループットの合計値を算出し、算出した合計値が最大である送信ウェイトベクトルに対応する重み係数候補を、使用対象の重み係数として決定してもよい。又は、ビームフォーミング制御部 15 は、各送信ウェイトベクトル候補について、算出した各無線通信装置 50 の予測スループットの対数値の合計値を算出し、算出した合計値が最大である送信ウェイトベクトルに対応する重み係数候補を、使用対象の重み係数として決定してもよい。

30

【0074】

この無線通信装置 10 の構成により、各無線通信装置 50 の十分大きな受信電力を同時に確保できるビームパターンを形成することができる。この結果として、受信品質をさらに向上させることができる。

【0075】

40

[他の実施例]

[1] 実施例 1 及び実施例 2 では、無線通信装置 10 が 1 つの送信系統 (つまり、多重部 11 及び無線送信部 12) を有する場合について説明したが、これに限定されない。例えば、図 7 に示すように、無線通信装置 110 が第 1 の送信系統 (多重部 11 - 1 及び無線送信部 12 - 1) 及び第 2 の送信系統 (多重部 11 - 2 及び無線送信部 12 - 2)、つまり複数の送信系統を有していてもよい。無線通信装置 110 において、各アンテナの前段には、加算部 111 - 1 ~ M がそれぞれ設けられており、各加算部 111 は、無線送信部 12 - 1 及び無線送信部 12 - 2 のそれぞれから出力された無線信号を対応するアンテナへ出力する。図 7 は、他の実施例の無線通信装置の一例を示すブロック図である。

【0076】

50

〔 2 〕実施例 1 及び実施例 2 では、デジタルビームフォーミングについて説明をしていないが、実施例 1 及び実施例 2 で説明した無線通信装置 1 0 の構成にデジタルビームフォーミング部を設けてもよい。すなわち、アナログビームフォーミングとデジタルビームフォーミングとをハイブリッドで適用してもよい。無線通信装置 1 0 にデジタルビームフォーミングを適用する場合、デジタルビームフォーミング部は、多重部 1 1 と無線送信部 1 2 との間に設けられる。

【 0 0 7 7 】

〔 3 〕実施例 1 及び実施例 2 で図示した各部の各構成要素は、必ずしも物理的に図示の如く構成されていることを要しない。すなわち、各部の分散・統合の具体的形態は図示のものに限られず、その全部又は一部を、各種の負荷や使用状況等に応じて、任意の単位で機能的又は物理的に分散・統合して構成することができる。

10

【 0 0 7 8 】

さらに、各装置で行われる各種処理機能は、CPU (Central Processing Unit) (又は MPU (Micro Processing Unit)、MCU (Micro Controller Unit) 等のマイクロ・コンピュータ) 上で、その全部又は任意の一部を実行するようにしてもよい。また、各種処理機能は、CPU (又は MPU、MCU 等のマイクロ・コンピュータ) で解析実行するプログラム上、又はワイヤードロジックによるハードウェア上で、その全部又は任意の一部を実行するようにしてもよい。

【 0 0 7 9 】

実施例 1 及び実施例 2 の無線通信装置は、例えば、次のようなハードウェア構成により実現することができる。

20

【 0 0 8 0 】

図 8 は、無線通信装置のハードウェア構成例を示す図である。図 8 に示すように、無線通信装置 2 0 0 は、プロセッサ 2 0 1 と、メモリ 2 0 2 と、RF 回路 2 0 3 とを有する。実施例 1 及び実施例 2 の無線通信装置 1 0 , 5 0 のそれぞれが、図 8 に示すハードウェア構成を有している。プロセッサ 2 0 1 の一例としては、CPU、DSP (Digital Signal Processor)、FPGA (Field Programmable Gate Array) 等が挙げられる。また、メモリ 2 0 2 の一例としては、SDRAM (Synchronous Dynamic Random Access Memory) 等の RAM (Random Access Memory)、ROM (Read Only Memory)、フラッシュメモリ等が挙げられる。

30

【 0 0 8 1 】

そして、実施例 1 及び実施例 2 の無線通信装置で行われる各種処理機能は、不揮発性記憶媒体などの各種メモリに格納されたプログラムをプロセッサで実行することによって実現してもよい。すなわち、多重部 1 1 と、取得部 1 4 と、ビームフォーミング制御部 1 5 とによって実行される各処理に対応するプログラムがメモリ 2 0 2 に記録され、各プログラムがプロセッサ 2 0 1 で実行されてもよい。また、無線送信部 1 2 と、無線受信部 1 3 とは、RF 回路 2 0 3 によって実現される。

【 0 0 8 2 】

なお、ここでは、実施例 1 及び実施例 2 の無線通信装置で行われる各種処理機能が 1 つのプロセッサ 2 0 1 によって実行されるものとしたが、これに限定されるものではなく、複数のプロセッサによって実行されてもよい。

40

【符号の説明】

【 0 0 8 3 】

1 無線通信システム

1 0 , 5 0 , 1 1 0 無線通信装置

1 1 多重部

1 2 無線送信部

1 3 無線受信部

1 4 取得部

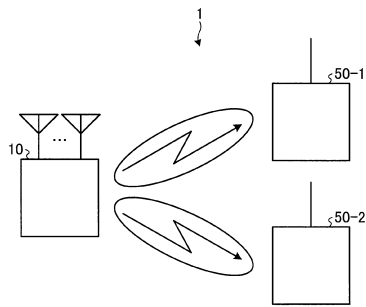
1 5 ビームフォーミング制御部

50

- 2 1 デジタルアナログ変換部
- 2 2 アップコンバータ
- 2 3 ビームフォーミング部
- 2 4 増幅部
- 2 5 移相器
- 2 6 パワーアンプ
- 1 1 1 加算部

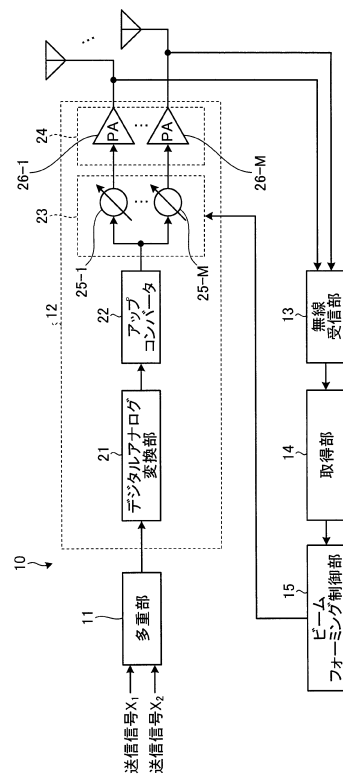
【図 1】

実施例1の無線通信システムの一列を示す図

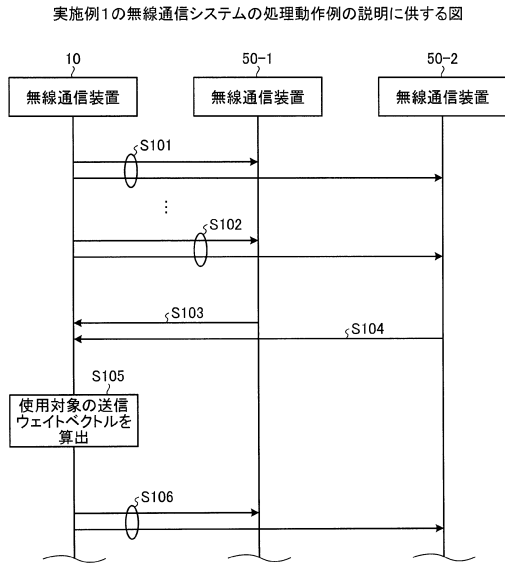


【図 2】

実施例1の第1通信装置の一列を示すブロック図

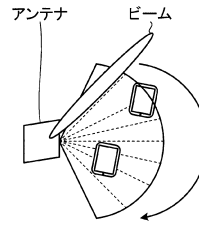


【図3】



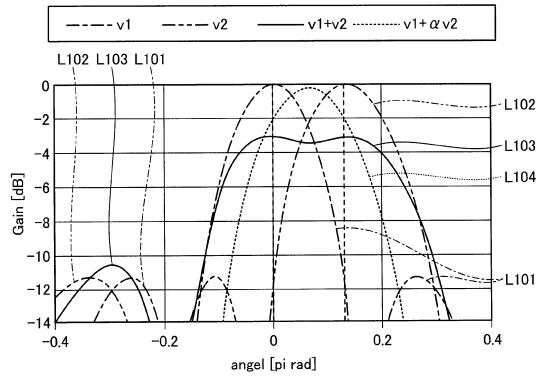
【図4】

実施例1の第1通信装置による参照信号の送信処理の説明に供する図



【図5】

複数の送信ウェイトベクトルのそれぞれを使用した場合に第1通信装置の正面を基準とした方向に応じて得られるゲインを示す図



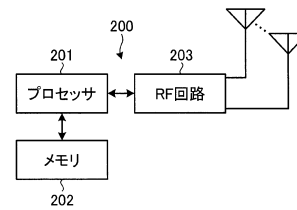
【図6】

複数の送信ウェイトベクトルのそれぞれを使用した場合に第1通信装置の正面を基準とした方向に応じて得られるゲインを示す図

送信ウェイトベクトルの種別	v1	v2	v1+v2	v1+αv2
端末1のゲイン [dB]	0	-11.78	-3.06	-2.02
端末2のゲイン [dB]	-11.78	0	-3.06	-2.02

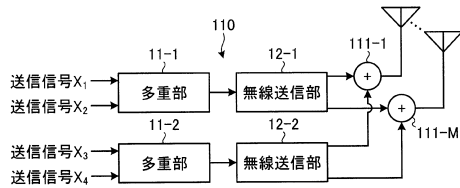
【図8】

無線通信装置のハードウェア構成例を示す図



【図7】

他の実施例の無線通信装置の一例を示すブロック図



フロントページの続き

審査官 野元 久道

(56)参考文献 特開2002-111564(JP,A)
特開2007-028152(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H04B 7/10
H04W 16/28