

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6576352号  
(P6576352)

(45) 発行日 令和1年9月18日 (2019.9.18)

(24) 登録日 令和1年8月30日 (2019.8.30)

|                              |                 |
|------------------------------|-----------------|
| (51) Int. Cl.                | F I             |
| <b>H04B 7/0413 (2017.01)</b> | H04B 7/0413 310 |
| <b>H04W 16/28 (2009.01)</b>  | H04W 16/28 130  |

請求項の数 7 (全 18 頁)

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (21) 出願番号 特願2016-546679 (P2016-546679)<br>(86) (22) 出願日 平成27年9月2日 (2015.9.2)<br>(86) 国際出願番号 PCT/JP2015/074981<br>(87) 国際公開番号 W02016/035828<br>(87) 国際公開日 平成28年3月10日 (2016.3.10)<br>審査請求日 平成30年7月11日 (2018.7.11)<br>(31) 優先権主張番号 特願2014-179444 (P2014-179444)<br>(32) 優先日 平成26年9月3日 (2014.9.3)<br>(33) 優先権主張国・地域又は機関<br>日本国 (JP) | (73) 特許権者 392026693<br>株式会社 N T T ドコモ<br>東京都千代田区永田町二丁目11番1号<br>(74) 代理人 100125689<br>弁理士 大林 章<br>(74) 代理人 100128598<br>弁理士 高田 聖一<br>(74) 代理人 100121108<br>弁理士 高橋 太朗<br>(72) 発明者 沈 紀▲ユン▼<br>東京都千代田区永田町二丁目11番1号<br>山王パークタワー 株式会社 N T T ドコモ<br>知的財産部内 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 無線送信局

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

電気信号を電波に変換して電波を放出する複数の送信アンテナ素子と、  
前記送信アンテナ素子に供給される電気信号にプリコーディングウェイトを与えること  
により、前記送信アンテナ素子から放出される電波のビームの方向を制御するプリコード  
と、

前記複数の送信アンテナ素子に供給される電気信号の電力の相違が減縮されるように、  
少なくとも一部の送信アンテナ素子に供給される電気信号の電力を調整する少なくとも 1  
つの電力調整部と

を備え、

前記電力調整部は、配列された前記複数の送信アンテナ素子のうち、端部に配置された  
送信アンテナ素子に供給される電気信号の電力を低減させる  
ことを特徴とする無線送信局。

【請求項 2】

電気信号を電波に変換して電波を放出する複数の送信アンテナ素子と、  
前記送信アンテナ素子に供給される電気信号にプリコーディングウェイトを与えること  
により、前記送信アンテナ素子から放出される電波のビームの方向を制御するプリコード  
と、

前記複数の送信アンテナ素子に供給される電気信号の電力の相違が減縮されるように、  
少なくとも一部の送信アンテナ素子に供給される電気信号の電力を調整する少なくとも 1

10

20

つの電力調整部とを備え、

前記電力調整部は、配列された前記複数の送信アンテナ素子のうち、中央に配置された送信アンテナ素子に供給される電気信号の電力を増加させることを特徴とする無線送信局。

**【請求項 3】**

前記電力調整部は、前記少なくとも一部の送信アンテナ素子に供給される電気信号の電力を、あらかじめ設定された調整量だけ調整することを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の無線送信局。

**【請求項 4】**

前記プリコードは、異なるプリコーディングアルゴリズムから選択されたプリコーディングアルゴリズムを使用して、前記送信アンテナ素子に供給される電気信号にプリコーディングウェイトを与え、

前記電力調整部は、前記プリコードで使用されるプリコーディングアルゴリズムに応じて、電力の調整量を変更する

ことを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の無線送信局。

**【請求項 5】**

前記少なくとも一部の送信アンテナ素子に供給される電気信号の電力を測定する測定部をさらに備え、

前記電力調整部は、前記測定部で測定された電力に基づいて、前記少なくとも一部の送信アンテナ素子に供給される電気信号の電力を調整する

ことを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の無線送信局。

**【請求項 6】**

前記電力調整部は、前記測定部で測定された前記少なくとも一部の送信アンテナ素子に供給される電気信号の電力の時間平均または正規化電力の逆数を、前記少なくとも一部の送信アンテナ素子に供給される電気信号の電力に乗算する

ことを特徴とする請求項 5 に記載の無線送信局。

**【請求項 7】**

前記電力調整部での電力の調整結果を無線受信局に通知する

ことを特徴とする請求項 1 から請求項 6 のいずれか 1 項に記載の無線送信局。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

本発明は、無線送信局に関する。

**【背景技術】****【0002】**

無線通信の分野において、無線送信局と無線受信局との双方で複数のアンテナを用いて送受信を実行することにより、信号伝送の高速化および高品質化を実現するMIMO (Multiple-Input and Multiple-Output) 伝送方式が活用されている。

**【0003】**

信号伝送の更なる高速化と干渉低減とを図るために、アンテナの小型化と広い帯域幅の確保とが可能な高周波数帯（例えば、10 GHz以上）において、大量のアンテナ素子（例えば、100素子以上）を使用したMassive MIMO伝送方式が検討されている（例えば、特許文献1）。例えば、UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) のLTE-A以降の移動通信システムでは、Massive MIMO伝送方式が検討されている。

**【0004】**

Massive MIMOにおいては、従来のMIMOと比較して、大量のアンテナ素子を用いた高度なプリコーディング (precoding) を実施可能である。この明細書において、プリコーディングは、ビームフォーミング (Beam Forming) を行うとともに、空間的に分離した複数のストリームを送信するために、アンテナ素子に供給される電気信号にウェイト（重み付け

10

20

30

40

50

係数)を与えることにより、電気信号の位相および振幅を調整し、アンテナ素子から放出される電波のビームの方向を制御する技術である。ビームフォーミングは、複数のアンテナ素子を制御することによりビームの指向性および形状を制御する技術である。MIMOでは、各アンテナ素子について位相および振幅の制御が可能であるので、使用されるアンテナ素子の数が多いほどビーム制御の自由度が高まる。プリコーディングのためのウェイト(プリコーディングウェイト)は、無線送信局と無線受信局の間の伝送路のチャネル状態情報(CSI)に基づいて選択される。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

10

【特許文献1】特開2013-232741号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

Massive MIMOに限らず、MIMOにおいては、無線送信局が複数のストリームを送信するためにプリコーディングを行うので、複数の送信アンテナ素子のうち特定の送信アンテナ素子に供給される電気信号の電力が、他の送信アンテナ素子に供給される電気信号の電力よりも極めて高い。プリコーディングの結果、各送信アンテナ素子に供給される電気信号の電力は、送信アンテナ素子全体の配列、使用されるプリコーディングアルゴリズム、その送信アンテナ素子の位置、およびビームの送信方向に依存すると考えられる。

20

【0007】

したがって、MIMO、特にMassive MIMOにおいては、信号のピーク対平均電力比(PAPR)が高くなる。ここでのPAPRは、ある送信アンテナ素子に供給される最大の電力の、すべての送信アンテナ素子に供給される電力の平均に対する比率である。一般に、無線送信局では、複数の送信アンテナ素子に供給される電気信号の電力は、複数の電力増幅器でそれぞれ増幅される。電力増幅器は、入力と出力の線形性が維持される範囲があり、高い電力が供給されると、出力される信号に非線形歪みが生じ、このため通信品質が低下する。また、非線形歪みに起因して、所望の周波数とは異なる周波数成分が発生し、そのような周波数で電波が送信されることにより、他の機器または他のシステムへの干渉が増加する。

【0008】

30

従来、OFDM(Orthogonal Frequency-division Multiplexing)におけるPAPRの低減方式の研究が行われている。しかし、OFDMでは、特定のサブキャリアに対する電力が他のサブキャリアに対する電力より高いことに起因してPAPRが高くなる。MIMOでは、複数の電気信号が同じアンテナで合成されることが問題なのであり、OFDMでのPAPRの低減方式は、役に立ったとしても効果は限定的である。

【0009】

そこで、本発明は、複数の送信アンテナ素子に供給される電気信号の電力の相違が減縮される無線送信局を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0010】

40

本発明に係る無線送信局は、電気信号を電波に変換して電波を放出する複数の送信アンテナ素子と、前記送信アンテナ素子に供給される電気信号にプリコーディングウェイトを与えることにより、前記送信アンテナ素子から放出される電波のビームの方向を制御するプリコーダと、前記複数の送信アンテナ素子に供給される電気信号の電力の相違が減縮されるように、少なくとも一部の送信アンテナ素子に供給される電気信号の電力を調整する少なくとも1つの電力調整部とを備える。

【発明の効果】

【0011】

本発明においては、複数の送信アンテナ素子に供給される電気信号の電力の相違が減縮される。したがって、送信アンテナ素子に供給される電気信号の電力が電力増幅器で増幅

50

される場合でも、電力増幅器から出力される信号の非線形歪みを低減することができる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】Massive MIMOの概要を説明するための図である。

【図2】Massive MIMOのビームフォーミングの効果を説明するための図である。

【図3】Massive MIMOのビームフォーミングで形成されるビームの形状を説明するための図である。

【図4】Massive MIMOが使用されるスモールセル基地局が配置されるヘトロジニアスネットワークを示す概略図である。

【図5】本発明の第1の実施の形態に係る無線送信局と無線受信局の構成を示すブロック図である。 10

【図6】第1の実施の形態の無線送信局のMassive MIMOの送信アンテナセットを示す斜視図である。

【図7】電力調整部を有しない無線送信局が固有モードプリコーディングによって電波を放出する場合の送信電力の分布を調査したシミュレーション結果を示すグラフである。

【図8】電力調整部を有しない無線送信局がゼロフォーミングによって電波を放出する場合の送信電力の分布を調査したシミュレーション結果を示すグラフである。

【図9】電力調整部を有しない無線送信局がチャネル行列のエルミート転置をプリコーディング行列として使うプリコーディングアルゴリズムによって電波を放出する場合の送信電力の分布を調査したシミュレーション結果を示すグラフである。 20

【図10】第1の実施の形態に係る電力調整を説明するための図である。

【図11】第1の実施の形態の無線送信局の変形を示すブロック図である。

【図12】本発明の第2の実施の形態の無線送信局を示すブロック図である。

【図13】第2の実施の形態に係る無線送信局が電波を放出する場合の送信電力の分布を調査したシミュレーション結果を示すグラフである。

【図14】本発明の第3の実施の形態の無線送信局を示すブロック図である。

【図15】本発明の無線送信局となりうるグループモビリティ中継局の用途を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

30

以下、添付の図面を参照しながら本発明に係る様々な実施の形態を説明する。

Massive MIMO

本発明の実施の形態に係るMassive MIMO伝送方式について説明する。多数の送信アンテナを用いて無線通信を実行するMassive MIMOにおいては、多数ストリームの多重化によって高い無線通信速度（データレート）が実現される。また、ビームフォーミングを行う際のアンテナ制御の自由度が高まるため、従来よりも高度なビームフォーミングが実現される。そのため、干渉量の低減および無線リソースの有効利用が実現される。Massive MIMOに適応した無線送信局が備える送信アンテナの数は、限定されないが、例えば32本以上であり、100本以上、1000本以上のこともある。

【0014】

40

Massive MIMOでは、高周波数帯（例えば、10 GHz以上の周波数帯）を効果的に使用することができる。高周波数帯では、低周波数帯と比較して、高速通信に帰結する広い帯域幅（例えば、200 MHz以上）の無線リソースを確保しやすい。また、送信アンテナの大きさは信号の波長に比例することから、無線信号の波長が短い高周波数帯を用いる場合には、送信アンテナをより小型化することが可能である。一方、周波数が高いほど伝搬損失が増大するため、仮に同じ送信電力で基地局から無線信号を送信しても、高周波数帯を用いた場合には、低周波数帯を用いる場合と比較して、移動局における受信信号強度が低下する結果となる。しかしながら、高周波数帯を用いることによる受信信号強度の低下は、Massive MIMOのビームフォーミング利得により補償可能である。

【0015】

50

図 1 は、周波数に応じたビーム（無線信号）の到達範囲を模式的に示す図である。従来の基地局 1（例えば、マクロセル基地局）は、低周波数帯を用いて無線通信を行うので、Massive MIMOを実施せずに幅の広い放射パターンのビームを用いても遠くまでビームを到達させることができる。他方、高周波数帯を使用する基地局 2 は、Massive MIMOを実施せずに幅の広い放射パターンのビーム 2 Aを用いる場合には、遠くまでビームを到達させることができない。しかし、基地局 2 がMassive MIMOのビームフォーミングを利用し、これによって細い放射パターンのビーム 2 Bを放出する場合には、より遠くまでビームを到達させることができる。

#### 【0016】

ビームフォーミングは、複数のアンテナについて、電波の振幅および位相を制御することによって、電波のビームに指向性を与える技術である。図 2 に示すように、各アンテナに送信信号  $s$  が単に供給される場合には、これらのアンテナから放射されるビーム 2 Aの幅は広く、遠くまでビームは到達しない。他方、各アンテナに供給される送信信号  $s$  に適切なプリコーディングウェイト  $w_1 \sim w_n$ （ $n$  はアンテナ数）を与えることにより、幅が狭い 1 以上のビーム 2 B 1, 2 B 2 がこれらのアンテナから放射され、ビーム 2 B 1, 2 B 2 はより遠くまで到達する。同時かつ同じ周波数を使用し、複数の無線受信局の各々に、1 つ以上の送信ビームを向けることも可能である。アンテナ数が多いほど、ビーム数を増加させ、ビームの幅を狭くし、ビームの方向を精度より制御することができる。ビームの幅が狭いほど、高い利得が得られる（すなわち無線受信局では高い電力で信号を受信することができる）。

#### 【0017】

図 3 に示すように、ビームフォーミングで形成されるビーム 2 B の形状は、アンテナの配列により制約される。図 3 では、紙面に対して平行なビーム 2 B の断面を示すが、実際のビーム 2 B の形状は当然、立体的である。横方向一列にアンテナが配列される場合には、縦方向に長く横方向に短い断面を持つビーム 2 B が形成され、縦方向一列にアンテナが配列される場合には、横方向に長く縦方向に短い断面を持つビーム 2 B が形成される。縦横ともに複数列にアンテナが配列される場合には、縦横に狭いビーム 2 B が形成されうる。

#### 【0018】

ビームフォーミングは無線送信局で送信ビームを形成するために使われるだけでなく、無線受信局において受信アンテナで受信した信号にウェイトを与えることにより受信ビームを形成するためにも使われる。無線送信局でのビームフォーミングを送信ビームフォーミングと呼び、無線受信局でのビームフォーミングを受信ビームフォーミングと呼ぶ。

#### 【0019】

### ヘテロジニアスネットワーク

図 4 は、Massive MIMOが使用される基地局の配置の例を示す。図 4 に示す無線通信ネットワークは、マクロセル基地局 10、中央制御局（MME（Mobility Management Entity））12 およびスモールセル基地局 20 を備える。マクロセル基地局 10 およびスモールセル基地局 20 は、ユーザ装置（移動局、UE（User Equipment））30 と通信する。図 4 では、1 つのユーザ装置 30 のみが図示されているが、各基地局は多数のユーザ装置 30 と通信する。

#### 【0020】

マクロセル基地局 10 は、Massive MIMOを使用しないが、低周波数帯（例えば、2 GHz 帯）を使用し、そこから放出された電波は遠くまで到達する。図 4 において、符号 10 A はマクロセル基地局 10 のマクロセルエリアを示す。マクロセル基地局 10 は広いカバレッジを有するので、ユーザ装置 30 と安定的に接続する。

#### 【0021】

スモールセル基地局 20 は、高周波数帯（例えば、10 GHz 帯）を使用する。スモールセル基地局 20 はMassive MIMOを使用するが、そこから放出された電波の到達範囲（スモールセル基地局 20 のスモールセルエリア 20 A）は、マクロセルエリア 10 A より小さい

10

20

30

40

50

。そのため、スモールセル基地局 20 とユーザ装置 30 は見通し線 (line-of-sight) で接続される可能性が高く、その場合には、スモールセル基地局 20 とユーザ装置 30 の間の無線チャネルでは周波数選択性が小さいであろう。スモールセル基地局 20 は、広い帯域幅 (例えば、200 MHz 以上) を使用し、高速通信に適する。

#### 【0022】

スモールセルエリア 20 A がマクロセルエリア 10 A に重なるように、スモールセル基地局 20 は配置される。スモールセルエリア 20 A に入ったユーザ装置 30 はスモールセル基地局 20 と通信する。典型的には、スモールセル基地局 20 は多くのユーザ装置 30 が存在しトラフィック量が多いと予測されるホットスポットに配置されるであろう。図 4 10  
では、1つのスモールセル基地局 20 のみが図示されているが、マクロセルエリア 10 A には多数のスモールセル基地局 20 を配置することができる。このように、図示のネットワークは、カバレッジが異なる異種の基地局を有するヘテロジニアスネットワークである。

#### 【0023】

ユーザ装置 30 は、複数の基地局と同時に通信する Multiple Connectivity をサポートする機能を有する。典型的には、スモールセルエリア 20 A に入ったユーザ装置 30 に対して、スモールセル基地局 20 は広い帯域幅による高速という長所を活用したデータ通信を行う一方、マクロセル基地局 10 はユーザ装置 30 との接続を維持したまま、ユーザ装置 30 に制御信号を送信し、ユーザ装置 30 からスモールセル基地局 20 との接続に必要な信号を受信する。この場合、マクロセル基地局 10 は、ユーザ装置 30 の無線通信ネット 20  
ワークへの接続およびユーザ装置 30 のモビリティを維持する役割を果たす。つまり、スモールセル基地局 20 は U プレーン (user plane) を担当し、マクロセル基地局 10 は C プレーン (control plane) を担当する。スモールセル基地局 20 は、ユーザ装置 30 とデータ通信を行うだけでなく、データ通信に必要ないくつかの制御信号もユーザ装置 30 と交換してもよい。マクロセル基地局 10 とスモールセル基地局 20 は、上位レベルの制御情報を共有する。

#### 【0024】

マクロセル基地局 10 は、スモールセルエリア 20 A に入ったユーザ装置 30 がスモールセル基地局 20 と通信するために必要な情報 (サイドインフォメーション) をスモールセル基地局 20 に供給する。このようなマクロセル基地局 10 によるユーザ装置 30 とス 30  
モールセル基地局 20 の通信の支援をマクロアシストまたはネットワークアシストと呼ぶ。図 4 の例では、スモールセル基地局 20 とマクロセル基地局 10 は中央制御局 12 に接続されており、中央制御局 12 が両者の間の情報を中継する。但し、スモールセル基地局 20 とマクロセル基地局 10 は直接接続されていてもよい。

#### 【0025】

このネットワークでは、下りリンクの無線通信には OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) が使用され、上りリンクの無線通信には SC-FDMA (Single Carrier-Frequency Division Multiple Access) が使用される。スモールセル基地局 20 の下りリンクの無線通信は、OFDMA の多重の利益に加え、MIMO の空間多重の利益を享受する。 40

#### 【0026】

図 4 の例では、マクロセル基地局 10 とスモールセル基地局 20 は同じ無線アクセス技術 (RAT (Radio Access Technology)) を使用する。例えば、マクロセル基地局 10 とスモールセル基地局 20 は LTE-A またはそれ以降の 3GPP (Third Generation Partnership Project) の規格に準拠した通信を行ってもよい。しかし、マクロセル基地局 10 とスモールセル基地局 20 は、異なる RAT を使用してもよい。例えば、マクロセル基地局 10 とスモールセル基地局 20 のいずれかが、Wi-Fi (登録商標) などの無線 LAN の規格に準拠した通信を行ってもよい。

#### 【0027】

以下、スモールセル基地局 20 が無線送信局であり、ユーザ装置 30 が無線受信局であ 50

る例をとって、本発明に係る実施の形態を説明する。但し、本発明に係る無線送信局は、スモールセル基地局 20 に限らず、複数の送信アンテナとこれらの送信アンテナから放出される電波のビームの方向を制御する機構を有する他の通信装置であってもよい。

【0028】

第 1 の実施の形態

図 5 は、本発明の第 1 の実施の形態に係る無線送信局と無線受信局の構成を示すブロック図である。図 5 に示すように、無線送信局は、プリコーダ (precoder) 40、 $N_T$  個の逆高速フーリエ変換器 42、 $N_T$  個のガードインターバル (GI) 付与器 44、 $N_T$  個の電力調整部 46、 $N_T$  個の電力増幅器 48、および  $N_T$  個の送信アンテナ素子 50 を備える。

10

【0029】

送信アンテナ素子 50 は Massive MIMO の送信アンテナセット 51 を構成する。プリコーダ 40 は、データ信号の  $M$  本のストリームに、プリコーディングウェイトを与え、 $N_T$  個の電気信号を生成する。このように、電気信号にプリコーディングウェイトを与えることにより、送信アンテナ素子 50 から放出される電波のビームの方向が制御される。 $N_T$  個の電気信号は、逆高速フーリエ変換器 42 で逆高速フーリエ変換され、GI 付与器 44 によりガードインターバルを付与されて、電力調整部 46 に供給される。

【0030】

電力調整部 46 は、 $N_T$  個の送信アンテナ素子 50 に供給される電気信号の電力 ( $N_T$  個の電力増幅器 48 に供給される電気信号の電力) の相違が減縮されるように、少なくとも一部

20

【0031】

の送信アンテナ素子 50 に供給される電気信号の電力 (電力増幅器 48 に供給される電気信号の電力) を調整する。図 5 では、 $N_T$  個の電力調整部 46 が示されているが、電力調整部 46 は、電力調整される電気信号の数と同じ数、設けてもよい。電力増幅器 48 は一定の増幅率で電気信号を増幅する。これらの電力増幅器 48 は同じ性能を有する。

30

【0032】

無線送信局の送信アンテナ素子 50 から放出された電波は、 $H$  で示された伝搬路を通じて、無線受信局の受信アンテナ素子 62 に受信される。

【0033】

無線受信局は、 $N_R$  個の受信アンテナ素子 62、 $N_R$  個のガードインターバル (GI) 除去器 64、 $N_R$  個の高速フーリエ変換器 66、およびポストコーダ 68 を備える。

【0034】

受信アンテナ素子 62 で受信された電波に由来する電気信号は、ガードインターバル (GI) 除去器 64 によりガードインターバルが除去されて、高速フーリエ変換器 66 で高

40

【0035】

速フーリエ変換され、ポストコーダ 68 に供給される。ポストコーダ 68 は、 $N_R$  個の電気信号にポストコーディング行列を与え、データ信号の  $M$  本のストリームを再生する。

【数 1】

$y$

は、下記の式 (1) で表すことができる。

50

【数 2】

$$\mathbf{y} = \mathbf{BHPs} + \mathbf{Bn} \quad \dots(1)$$

【0036】

ここで、

【数 3】

**B**

10

は、 $M \times N_T$  のプリコーディング行列であり、

【数 4】

**H**

は、 $N_R \times N_T$  のチャネル行列であり、

【数 5】

20

**P**

は、 $N_R \times M$  のポストコーディング行列であり、

【数 6】

**S**

30

は、送信信号ベクトルであり、

【数 7】

**n**

は、無線受信局の熱雑音に起因する雑音ベクトルである。

【0037】

無線受信局は、式(1)を利用した公知の手法でデータ信号のM本のストリームを再生する。

40

【0038】

無線送信局のプリコード40でプリコーディング行列を与えるためのアルゴリズム(プリコーディングアルゴリズム)には、例えば、固有モードプリコーディング(eigenmode precoding)、ゼロフォーシング(Zero Forcing(ZF))、チャネル行列のエルミート転置(Hermitian transpose)をプリコーディング行列として使う方法、および非線形ビームフォーミング(nonlinear beam forming)などがある。これらのアルゴリズムは公知であり、詳しくは説明しない。

【0039】

図6は、この実施の形態の無線送信局のMassive MIMOの送信アンテナセット51を示す斜視図である。図6に示すように、この送信アンテナセット51は、横方向(x方向)に

50

16個、縦方向（ $y$ 方向）に16個の正方形一様平面アレーであって、256個の送信アンテナ素子50を有する。アンテナ素子50の横方向の間隔 $\Delta x$ は使用される波長の半分であり、縦方向の間隔 $\Delta z$ も使用される波長の半分である。

【0040】

Massive MIMOに限らず、MIMOにおいては、無線送信局が複数のストリームを送信するためにプリコーディングを行うので、複数の送信アンテナ素子のうち特定の送信アンテナ素子に供給される電気信号の電力が、他の送信アンテナ素子に供給される電気信号の電力よりも極めて高い。プリコーディングの結果、各送信アンテナ素子に供給される電気信号の電力は、送信アンテナ素子全体の配列、使用されるプリコーディングアルゴリズム、その送信アンテナ素子の位置、およびビームの送信方向に依存すると考えられる。

10

【0041】

図7は、電力調整部46を有しない無線送信局が固有モードプリコーディングによって電波を放出する場合の送信電力の分布を調査したシミュレーション結果を示すグラフである。シミュレーションにおいては、図6に示す送信アンテナセットによって、送信アンテナセットがなす平面に対して $90^\circ$ の角度で16ストリームを放出すると想定し、仲上・ライス分布のフェージング（ $K = 10$  dB、 $K$ はライス係数である）を有する伝搬路を想定し、各送信アンテナ素子50に供給される電気信号の電力の時間平均値を計算した。

【0042】

図7から明らかなように、送信アンテナセットの中央に配置された送信アンテナ素子50での電力が低いのにに対して、送信アンテナセットの端部に配置された送信アンテナ素子50での電力が顕著に高い。特に、送信アンテナセットの四隅に配置された送信アンテナ素子50での電力は極めて高い。

20

【0043】

図8は、電力調整部46を有しない無線送信局がゼロフォーシングによって電波を放出する場合の送信電力の分布を調査したシミュレーション結果を示すグラフである。シミュレーションにおいては、図6に示す送信アンテナセットによって、送信アンテナセットがなす平面に対して $90^\circ$ の角度で16ストリームを放出すると想定し、仲上・ライス分布のフェージング（ $K = 10$  dB）を有する伝搬路を想定し、各送信アンテナ素子50に供給される電気信号の電力の時間平均値を計算した。

【0044】

図8から明らかなように、送信アンテナセットの中央に配置された送信アンテナ素子50での電力が低いのにに対して、送信アンテナセットの端部に配置された送信アンテナ素子50での電力が顕著に高い。特に、送信アンテナセットの四隅に配置された送信アンテナ素子50での電力は極めて高い。ゼロフォーシングでは、固有モードプリコーディングに比べて、端部での電力が高く、ダイナミックレンジがより上昇する。

30

【0045】

図9は、電力調整部46を有しない無線送信局がチャネル行列のエルミート転置をプリコーディング行列として使うプリコーディングアルゴリズムによって電波を放出する場合の送信電力の分布を調査したシミュレーション結果を示すグラフである。シミュレーションにおいては、図6に示す送信アンテナセットによって、送信アンテナセットがなす平面に対して $90^\circ$ の角度で16ストリームを放出すると想定し、仲上・ライス分布のフェージング（ $K = 10$  dB）を有する伝搬路を想定し、各送信アンテナ素子50に供給される電気信号の電力の時間平均値を計算した。但し、このプリコーディングアルゴリズムでは、ストリームの角度は $90^\circ$ に限定される。図9から明らかなように、この場合には、電力の分布はかなり平坦であり、ダイナミックレンジが小さい。

40

【0046】

図7～図9のシミュレーション結果から、送信アンテナ素子50に供給される電気信号の電力の相違を減縮する電力調整部46を設ける場合には、下記のように電力を調整することが好ましいと理解される。

- ・ 無線送信局で固有モードプリコーディングまたはゼロフォーシングを使用する場合に

50

は、送信アンテナセット 5 1 の端部に配置された送信アンテナ素子 5 0 に供給される電気信号の電力を減衰させるべきである。特に、送信アンテナセット 5 1 の四隅に配置された送信アンテナ素子 5 0 ( 図 1 0 の送信アンテナ素子 5 0 C ) に供給される電気信号の電力を、四隅以外の端部に配置された送信アンテナ素子 5 0 ( 図 1 0 の送信アンテナ素子 5 0 E ) に供給される電気信号の電力よりもさらに減衰させるべきである。図 1 0 において、送信アンテナ素子 5 0 E は、送信アンテナセット 5 1 の 4 つの端部にそれぞれ 1 列にあるのであるが、2 列でもよい。

- ・これに代えてまたはこれに加えて、無線送信局で固有モードプリコーディングまたはゼロフォーシングを使用する場合には、送信アンテナセット 5 1 の中央に配置された送信アンテナ素子 5 0 に供給される電気信号の電力を増加させるべきである。

10

- ・無線送信局で使用されるプリコーディングアルゴリズムによって、電力調整を行うべきか否かを決定すべきである。

- ・無線送信局で使用されるプリコーディングアルゴリズムによって、電力調整の程度を決定すべきである。

- ・無線送信局で 1 つのプリコーディングアルゴリズムしか使用しないのであれば、電力調整の程度は固定でもよい。

- ・無線送信局でチャネル行列のエルミート転置をプリコーディング行列として使うプリコーディングアルゴリズムしか使用しないのであれば、電力調整はしなくてよいかもしれない。但し、この場合も電力調整を行ってもよい。

- ・電力調整の手段の詳細については後述するが、さらに従来の OFDM における PAPR 低減手段を用いてもよい。この場合、PAPR 低減に用いるパラメータとして、プリコーディングアルゴリズムやアンテナ素子の情報を用いてもよい。

20

#### 【 0 0 4 7 】

図 5 に示す各電力調整部 4 6 の最も簡単な構成は、減衰率が固定の減衰器または増幅率が固定の増幅器である。無線送信局で 1 つのプリコーディングアルゴリズム ( 例えば、固有モードプリコーディングまたはゼロフォーシング ) しか使わないのであれば、減衰率または増幅率は固定でよい。すなわち、電力調整部 4 6 は、送信アンテナ素子 5 0 に供給される電気信号の電力 ( 電力増幅器 4 8 に供給される電気信号の電力 ) を、あらかじめ設定された調整量だけ調整すればよい。使用されるプリコーディングアルゴリズムに対して、複数の送信アンテナ素子 5 0 に供給される電気信号の電力の相違が減縮されるように ( 好ましくは電力の時間平均値が一様になるように ) 、減衰率または増幅率、すなわち調整量を選択することができる。

30

#### 【 0 0 4 8 】

送信アンテナセット 5 1 の四隅以外の端部に配置された送信アンテナ素子 5 0 ( 図 1 0 の送信アンテナ素子 5 0 E ) に供給される電気信号の電力は、減衰器である電力調整部 4 6 で減衰すなわち低減される。送信アンテナセット 5 1 の四隅に配置された送信アンテナ素子 5 0 ( 図 1 0 の送信アンテナ素子 5 0 C ) に供給される電気信号の電力も、減衰器である電力調整部 4 6 で減衰される。送信アンテナ素子 5 0 C についての減衰量は、送信アンテナ素子 5 0 E についての減衰量より大きいことが好ましい。他の送信アンテナ素子 5 0 ( 送信アンテナセット 5 1 の中央に配置された送信アンテナ素子 5 0 ) に供給される電気信号の電力は、増幅器である電力調整部 4 6 で増幅すなわち増加される。

40

#### 【 0 0 4 9 】

電力調整部 4 6 を有しない無線送信局について、シミュレーションまたは実験により各送信アンテナ素子 5 0 に供給される電気信号の電力 ( 例えば電力の時間平均 ) を調査し、調査結果に基づいて、電力調整部 4 6 の減衰率または増幅率、すなわち調整量を選択することができる。例えば、減衰率は電力の逆数であってよい。

#### 【 0 0 5 0 】

送信アンテナセット 5 1 のすべての送信アンテナ素子 5 0 に供給される電気信号 ( すべての電力増幅器 4 8 に供給される電気信号の電力 ) にそれぞれ電力調整部 4 6 を設ける場合には、送信アンテナセット 5 1 のすべての送信アンテナ素子 5 0 に供給される電気信号

50

(すべての電力増幅器 4 8 に供給される電気信号の電力)の電力の時間平均値を容易に一樣にすることができる。また、送信アンテナセット 5 1 の四隅を含む端部での電力を低減するため、無線送信局全体で利用できる電力に余裕が生ずるので、送信アンテナセット 5 1 の各送信アンテナ素子 5 0 に供給される電気信号の電力を全体的に増加させることができる。

#### 【 0 0 5 1 】

しかし、多数の電力調整部 4 6 を設けるのは、回路の規模が大きくなり、電力消費も増大する。そこで、減衰器である電力調整部 4 6 だけを設けて、送信アンテナセット 5 1 の端部の送信アンテナ素子 5 0 に供給される電気信号の電力だけ調整してもよいし、増幅器である電力調整部 4 6 だけを設けて、送信アンテナセット 5 1 の中央の送信アンテナ素子 5 0 に供給される電気信号の電力だけ調整してもよい。

10

#### 【 0 0 5 2 】

以上のように、この実施の形態においては、複数の送信アンテナ素子に供給される電気信号の電力の相違が減縮される。したがって、送信アンテナ素子に供給される電気信号の電力が電力増幅器 4 8 で増幅される場合でも、電力増幅器 4 8 から出力される信号の非線形歪みを低減することができる。

#### 【 0 0 5 3 】

図 1 1 は、第 1 の実施の形態の無線送信局の変形を示す。この変形では、プリコード 4 0 は、異なるプリコーディングアルゴリズム(例えば、固有モードプリコーディングおよびゼロフォーシング)から選択されたプリコーディングアルゴリズムを使用して、送信アンテナ素子 5 0 に供給される電気信号にプリコーディングウェイトを与える。電力調整部 4 6 は、減衰率が可変の減衰器または増幅率が可変の増幅器である。この無線送信局は、電力制御部 5 2 を有しており、電力制御部 5 2 は、プリコード 4 0 で使用されるプリコーディングアルゴリズムに応じて、電力調整部 4 6 の調整量(電力調整部 4 6 が減衰器の場合には減衰率、電力調整部 4 6 が増幅器の場合には増幅率)を調整する。したがって、電力調整部 4 6 は、プリコード 4 0 で使用されるプリコーディングアルゴリズムに応じて、電力の調整量を変更する。電力制御部 5 2 は、コンピュータプログラムによって動作する CPU (central processing unit) であってよい。この変形でも電力調整部 4 6 は、電力調整の対象となる少なくとも一部の送信アンテナ素子 5 0 に対して設けてよいし、すべての送信アンテナ素子 5 0 に対して設けてすべての送信アンテナ素子 5 0 に供給される電気信号の電力を調整してもよい。

20

30

#### 【 0 0 5 4 】

電力調整部 4 6 を有しない無線送信局について、各プリコーディングアルゴリズムでのシミュレーションまたは実験により各送信アンテナ素子 5 0 に供給される電気信号の電力(例えば電力の時間平均)を調査し、調査結果に基づいて、電力調整部 4 6 の減衰率または増幅率、すなわち調整量を選択することができる。例えば、減衰率は電力の逆数であってよい。

#### 【 0 0 5 5 】

この変形では、上記の実施の形態の効果に加えて、無線送信局で複数のプリコーディングアルゴリズムを使用する場合に、プリコード 4 0 で使用されるプリコーディングアルゴリズムに応じて、適切に電力の調整量を変更することができる。

40

#### 【 0 0 5 6 】

### 第 2 の実施の形態

図 1 2 は、本発明の第 2 の実施の形態の無線送信局を示す。図 1 2 において、図 5 と共通する構成要素を示すために同一の符号が使用され、これらの構成要素については詳細には説明しない。

#### 【 0 0 5 7 】

第 2 の実施の形態の無線送信局は、少なくとも一部の送信アンテナ素子 5 0 に供給される電気信号の電力を測定する複数の測定部 5 4 と、電力制御部 5 6 を有する。測定部 5 4 は、電力調整の対象となる少なくとも一部の送信アンテナ素子 5 0 に対して設けてよいし

50

、すべての送信アンテナ素子 5 0 に対して設けてすべての送信アンテナ素子 5 0 に供給される電気信号の電力を測定してもよい。

【 0 0 5 8 】

電力調整部 4 6 は、減衰率が可変の減衰器または増幅率が可変の増幅器である。第 1 の実施の形態と同様に、電力調整部 4 6 は、電力調整の対象となる少なくとも一部の送信アンテナ素子 5 0 に対して設けてよいし、すべての送信アンテナ素子 5 0 に対して設けてすべての送信アンテナ素子 5 0 に供給される電気信号の電力を調整してもよい。

【 0 0 5 9 】

電力制御部 5 6 は、コンピュータプログラムによって動作する CPU であってよい。電力制御部 5 6 は、電力制御部 5 6 の測定結果に基づいて、各送信アンテナ素子 5 0 に供給される電気信号の電力の時間平均または正規化電力を計算し、これらの時間平均電力または正規化電力に従って、電力調整部 4 6 の調整量（電力調整部 4 6 が減衰器の場合には減衰率、電力調整部 4 6 が増幅器の場合には増幅率）を調整する。したがって、電力調整部 4 6 は、測定部 5 4 で測定された電力に基づいて（より具体的には、時間平均電力または正規化電力に従って）、電力の調整量を変更する。例えば、減衰率は時間平均電力または正規化電力の逆数であってよい。この場合、電力調整部 4 6 は、時間平均電力または正規化電力の逆数を、送信アンテナ素子に供給される電気信号の電力に乗算する。

【 0 0 6 0 】

図 1 3 は、この実施の形態に係る無線送信局が電波を放出する場合の送信電力の分布を調査したシミュレーション結果を示すグラフである。シミュレーションにおいては、図 6 に示す送信アンテナセットによって、送信アンテナセットがなす平面に対して 9 0 ° の角度で 1 6 ストリームを放出すると想定し、仲上・ライス分布のフェージング（ $K = 10$  dB）を有する伝搬路を想定し、各送信アンテナ素子 5 0 に供給される電気信号の電力の時間平均値を計算した。シミュレーションでは、送信アンテナセット 5 1 のすべての送信アンテナ素子 5 0 に供給される電気信号の電力（すべての電力増幅器 4 8 に供給される電気信号の電力）の各々に、当該電力の時間平均または正規化電力の逆数を乗算した。シミュレーションでは、固有モードプリコーディング、ゼロフォーシング、チャネル行列のエルミート転置をプリコーディング行列として使うプリコーディングアルゴリズムについて、電力分布を調査し、図 1 3 に示す同じ結果が得られた。図 1 3 から明らかなように、電力の時間平均値の分布は平坦であり、電力の時間平均値を一様にする事ができた。

【 0 0 6 1 】

以上のように、この実施の形態においては、複数の送信アンテナ素子に供給される電気信号の電力の相違が減縮される。したがって、送信アンテナ素子に供給される電気信号の電力が電力増幅器 4 8 で増幅される場合でも、電力増幅器 4 8 から出力される信号の非線形歪みを低減することができる。また、この実施の形態では、電力調整部 4 6 は、測定部 5 4 で測定された電力に基づいて、少なくとも一部の送信アンテナ素子 5 0 に供給される電気信号の電力を調整するので、実際の電力に応じて、適切に電力の調整量を変更することができる。また、無線送信局で複数のプリコーディングアルゴリズムを使用しうる場合に、プリコード 4 0 で使用されるプリコーディングアルゴリズムに応じて、適切に電力の調整量を変更することができる。

【 0 0 6 2 】

第 3 の実施の形態

図 1 4 は、本発明の第 3 の実施の形態の無線送信局を示す。図 1 4 において、図 1 2 と共通する構成要素を示すために同一の符号が使用され、これらの構成要素については詳細には説明しない。第 3 の実施の形態の無線送信局は、情報送信部 5 8 を備える。情報送信部 5 8 は、CPU であってよい。

【 0 0 6 3 】

情報送信部 5 8 は、電力制御部 5 6 による電力調整部 4 6 での電力の調整結果を示す情報を生成し、この情報を無線受信局に送信する。情報の送信形式は、情報を直接的に示す制御情報であってよい。あるいは、特別な情報送信部 5 8 を設けずに、参照信号に電力調

10

20

30

40

50

整部４６で行った電力調整と同じ電力調整を行い、無線受信局が電力の調整結果を推定してもよい。つまり、電力の調整結果を無線受信局に間接的に通知してもよい。

【００６４】

上記のように、電力調整部４６が少なくとも一部の送信アンテナ素子５０に供給される電気信号の電力を調整する場合には、送信アンテナセット５１で形成される実際のビームの方向が、プリコード４０のプリコーディング行列で引き起こされるビームの方向とは異なる。無線送信局が電力調整部４６での電力の調整結果を無線受信局に通知することによって、無線受信局は、例えばポストコード６８のポストコーディング行列を補正するなどの処置によって、実際のビームに適した受信処理を行うことが可能である。第３の実施の形態は、第２の実施の形態の修正であるが、上記の修正は第１の実施の形態およびその変形

10

【００６５】

他の変形

以上、Massive MIMOを例示して本発明の実施の形態を説明したが、本発明はMassive MIMOに限られず他のMIMOにも適用可能である。送信アンテナセットの送信アンテナ素子の数は２５６に限られず、例えば９でもよいし、送信アンテナセットは正方形アレーに限られず、円形アレーまたは他の形状のアレーでもよい。

【００６６】

上記の実施の形態では、スモールセル基地局２０が無線送信局であり、ユーザ装置３０が無線受信局であるが、無線送信局はＧＭ（グループモビリティ）中継局であって、無線受信局は基地局１５であってもよい。図１５は、ＧＭ中継局の用途を示す。ＧＭ中継局２００は、移動可能な乗物１００に固定的に搭載されており、Massive MIMOのアンテナセット２２０を備える。ＧＭ中継局２００は、基地局１５と通信し、少なくとも基地局１５への上りリンク通信にMassive MIMOを使用する。基地局１５は、マクロセル基地局１０であってもよいし、スモールセル基地局２０であってもよい。ＧＭ中継局２００は、ユーザ装置３０と通信するための送受信アンテナ２１０と通信する。ＧＭ中継局２００は、基地局１５と乗物１００内のユーザ装置３０との通信を中継する。つまり、ＧＭ中継局２００は、基地局１５から送信された乗物１００内のいずれかのユーザ装置３０宛ての下りリンク信号を例えばアンテナセット２２０で受信し、送受信アンテナ２１０でそのユーザ装置３０宛ての下りリンク信号を送信する。また、ＧＭ中継局２００は、乗物１００内のいずれかのユーザ装置３０から送信された上りリンク信号を送受信アンテナ２１０で受信し、アンテナセット２２０で上りリンク信号のビームを基地局１５に向けて送信する。乗物１００は、不特定かつ複数のユーザを収容し得るバス、列車、トラム、その他の公共交通機関の乗物であるが、自家用車等の個人用の乗物であってもよい。このように、同様に移動する複数のユーザ装置３０で構成されるグループのために信号を中継するため、中継局２００は、ＧＭ（グループモビリティ）中継局と呼ばれる。

20

30

【００６７】

上記の実施の形態では、電力増幅器４８の前段に電力調整部４６が配置されているが、本発明は実施の形態に限定されない。電力調整部４６は、電力増幅器４８に供給される電気信号の電力を調整することができれば、任意の位置に配置することができる。

40

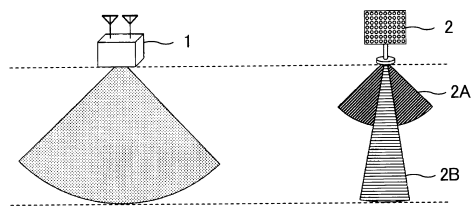
【符号の説明】

【００６８】

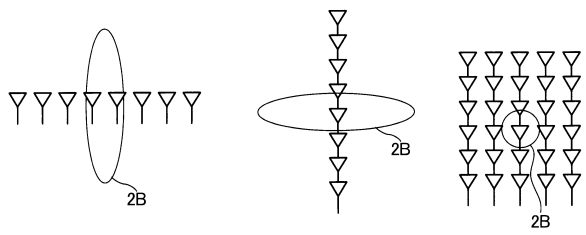
２ 基地局、１０ マクロセル基地局、１２ 中央制御局、１５ 基地局（無線受信局）、２０ スモールセル基地局（無線送信局）、３０ ユーザ装置（無線受信局）、４０ プリコード、４２ 逆高速フーリエ変換器、４４ ガードインターバル（ＧＩ）付与器、４６ 電力調整部、４８ 電力増幅器、５０ 送信アンテナ素子、５１ 送信アンテナセット、５２ 電力制御部、５４ 測定部、５６ 電力制御部、５８ 情報送信部、６２ 受信アンテナ素子、６４ ガードインターバル（ＧＩ）除去器、６６ 高速フーリエ変換器、６８ ポストコード、１００ 乗物、２００ ＧＭ中継局（無線送信局）、２１０ 送受信アンテナ、２２０ アンテナセット。

50

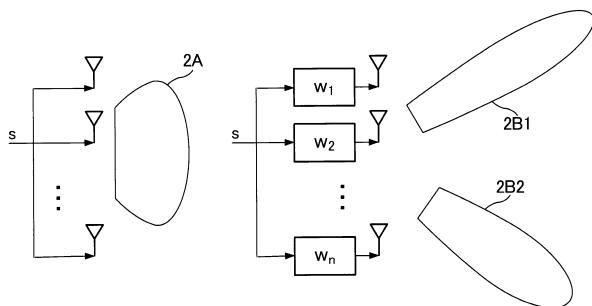
【図 1】



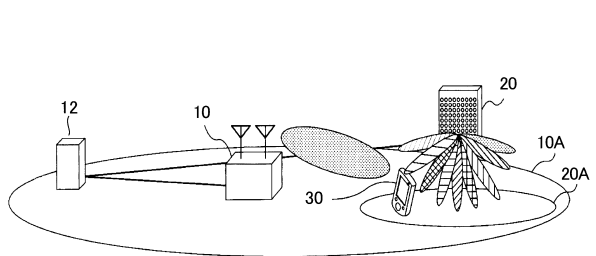
【図 3】



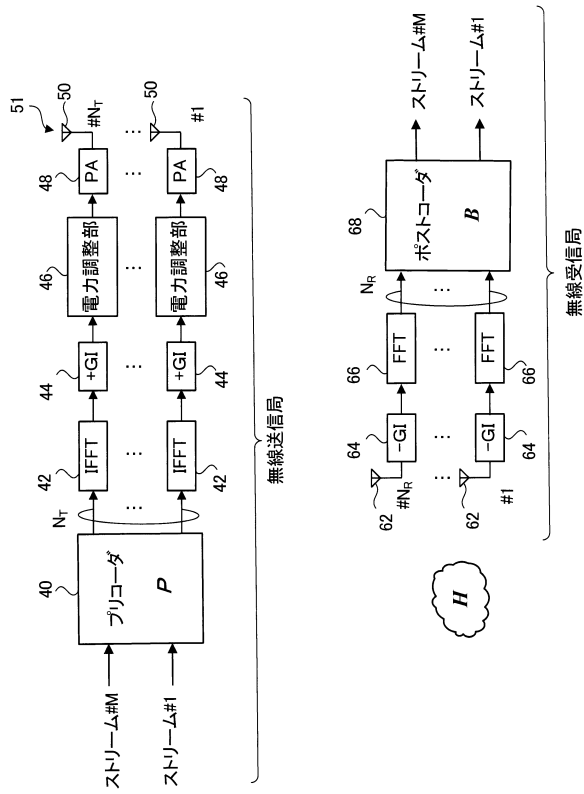
【図 2】



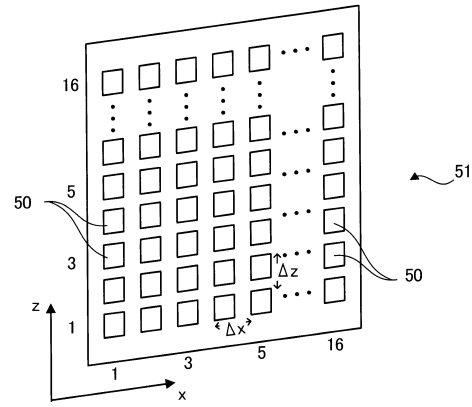
【図 4】



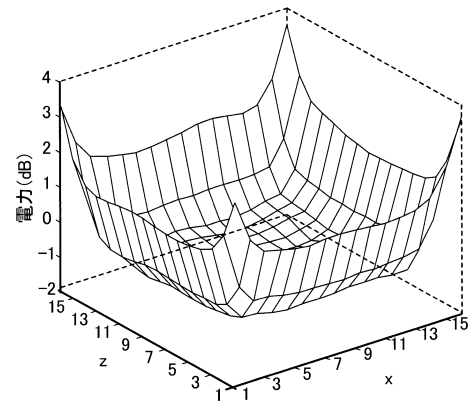
【図 5】



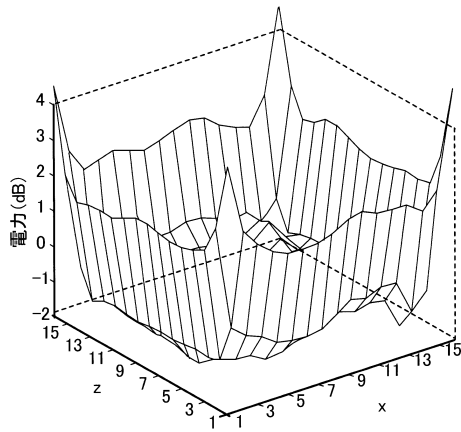
【図 6】



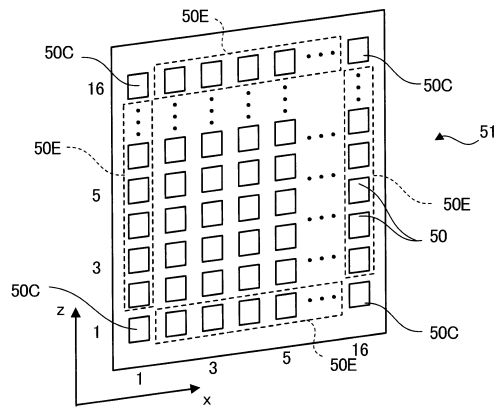
【図 7】



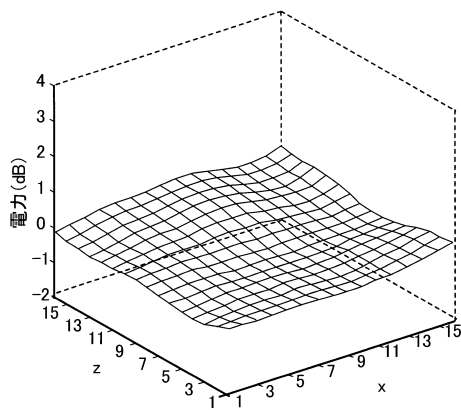
【図 8】



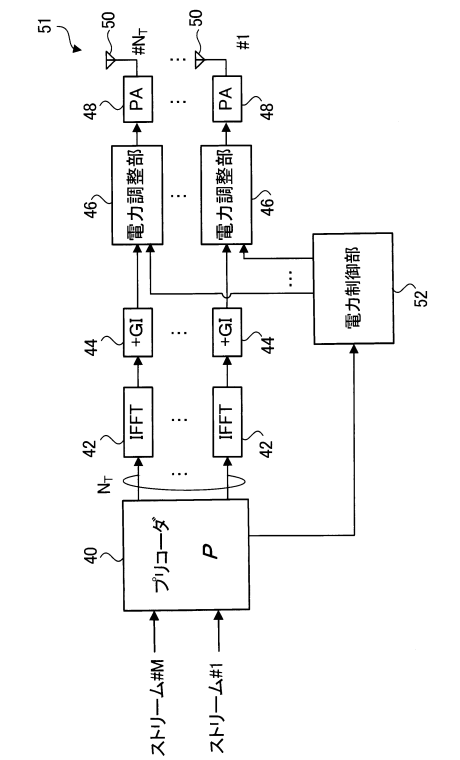
【図 10】



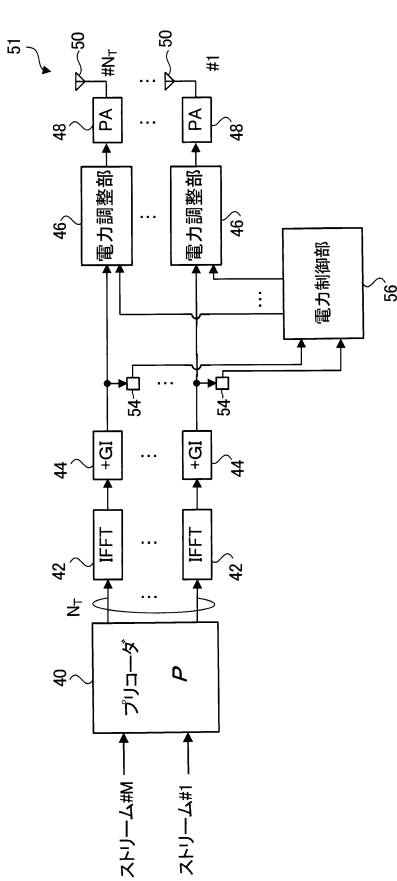
【図 9】



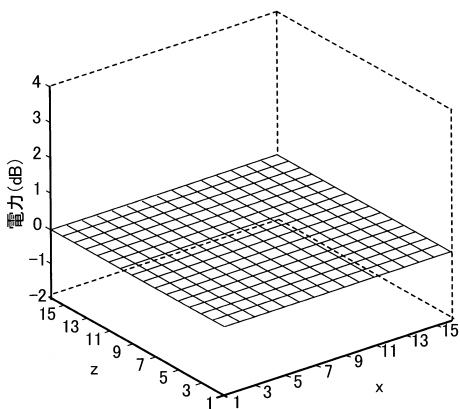
【図 1 1】



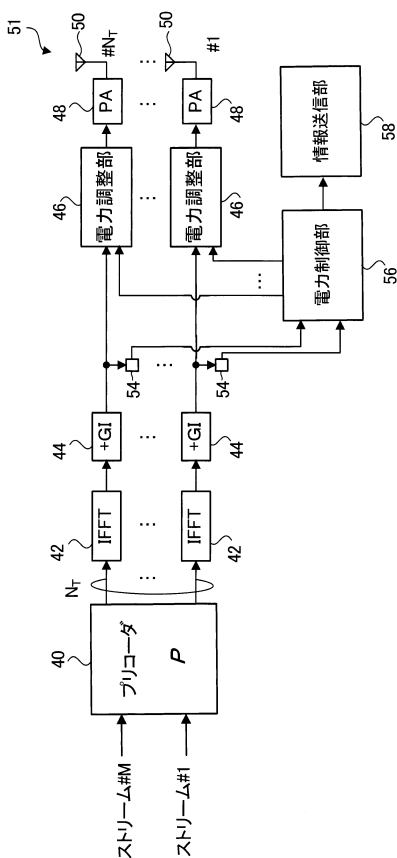
【図 1 2】



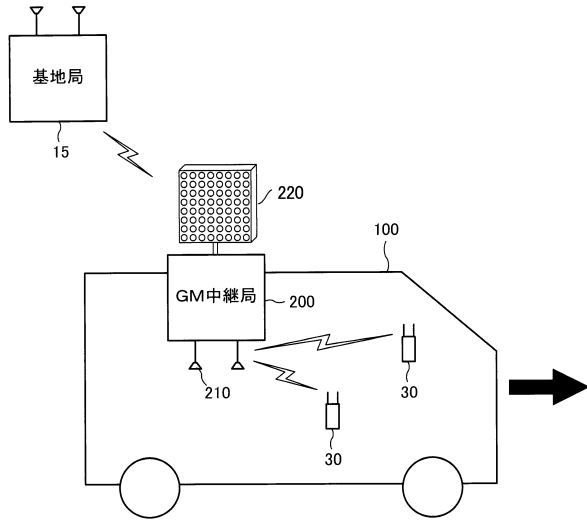
【図 1 3】



【図 1 4】



【図 15】



---

フロントページの続き

(72)発明者 須山 聡

東京都千代田区永田町二丁目 1 1 番 1 号 山王パークタワー 株式会社 N T T ドコモ 知的財産部  
内

(72)発明者 奥村 幸彦

東京都千代田区永田町二丁目 1 1 番 1 号 山王パークタワー 株式会社 N T T ドコモ 知的財産部  
内

審査官 羽岡 さやか

(56)参考文献 特開 2 0 0 7 - 1 0 4 5 4 7 ( J P , A )

特表 2 0 1 3 - 5 3 1 4 1 2 ( J P , A )

特開 2 0 1 0 - 2 8 3 4 8 0 ( J P , A )

特開 2 0 1 1 - 2 5 9 1 4 0 ( J P , A )

特開 2 0 1 2 - 2 3 1 3 2 2 ( J P , A )

特開 2 0 1 2 - 1 9 9 9 2 0 ( J P , A )

シン キュン他, 高周波数帯を用いた超高速 M a s s i v e M I M O O F D M 伝送における  
平均信号電力補正による P A P R 削減法 , 電子情報通信学会 2 0 1 4 年通信ソサイエティ大会  
, 2 0 1 4 年 9 月 9 日 , P.335 , B-5-64

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H 0 4 B 7 / 0 2 - 7 / 1 0

H 0 4 J 9 9 / 0 0

H 0 4 W 1 6 / 2 8