

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 3月 31日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23760340

研究課題名（和文） MIMO通信における送信ピーク電力を考慮した信号処理に関する研究

研究課題名（英文） Research on signal processing techniques considering peak transmit power in MIMO communication systems

## 研究代表者

牟田 修 (OSAMU MUTA)

九州大学・日本エジプト科学技術連携センター・准教授

研究者番号：80336065

## 研究成果の概要（和文）：

MIMO 通信システムにおいて、送信電力増幅器の電力利用効率を改善するには、増幅すべき送信信号のピーク対平均電力比（PAPR）を低減することが重要となる。本研究課題では、送信ピーク電力および電力効率を考慮した MIMO 信号処理技術を開発することを目的とする。MIMO マルチキャリア伝送およびベクトル符号化伝送における送信信号の PAPR を位相制御に基づき抑圧する技術を開発した。また、マルチキャリア信号の PAPR を低減するための適応ピークリミタを開発し、電力増幅器の非線形歪み補償技術と併用する場合の有効性を示した。

## 研究成果の概要（英文）：

In MIMO systems, it is important to reduce peak-to-average power ratio (PAPR) of the transmit signal for improving power efficiency at transmitter power amplifier. The objective of this research is to develop adaptive signal processing techniques for power efficient MIMO multi-carrier/multi-code communication systems. Phase control based PAPR reduction techniques and adaptive peak amplitude cancellation techniques for MIMO multi-carrier and vector coding systems are developed. The effectiveness of the developed PAPR reduction methods combined with an adaptive linearization technique was confirmed.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,500,000	1,050,000	4,550,000

## 研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・通信・ネットワーク工学

キーワード：MIMO、マルチキャリア信号、符号多重信号、ピーク対平均電力比、PAPR 低減

## 1. 研究開始当初の背景

基地局同士を無線により中継接続した通信システム（無線バックホール）が注目されている。無線バックホールでは一部のコア基地局のみを有線回線に接続し、その他の基地局は無線中継によりコア基地局に接続される。無線バックホールは有線回線の敷設費用を抑えながら通信可能エリアを拡大できるものの、その実現には中継回線の大容量化が求められる。中継回線の大容量化を図る手段

として、送受信局で複数のアンテナ素子を用いて情報の空間多重伝送を実現する MIMO (Multi-Input Multi-Output) 技術が検討されている。伝搬路の時間変動が比較的静的とみなせる中継回線においては、送信局と受信局の双方で伝搬路情報を利用する適応信号処理を導入することが効果的である。送受信双方で適応信号処理を導入した MIMO システムとして、固有ビーム空間分割多重(Eigen-Beam Space Division Multiplexing: E-SDM)や符号分

割多重(CDM)の一種である MIMO ベクトル符号化伝送(MIMO-Vector Coding: MIMO-VC)が知られている。

ところで、無線通信システムでは帯域外輻射電力に対する要求が厳しく、送信電力増幅器に対して高い線形性が求められる。しかしながら、多数の信号を多重して伝送するマルチキャリア伝送やベクトル符号化伝送では、送信信号のピーク対平均電力比 (PAPR: Peak to Average Power Ratio)が上昇するため、送信電力増幅器における非線形歪みにより帯域外へのスペクトル放射を生じる。バックオフ量を増加し電力増幅器を線形領域で動作させることで帯域外輻射電力を低減できるものの、電力利用効率が大きく低下する。この問題を解決するには、電力増幅器の非線形歪み補償技術に加えて、増幅器に入力される信号の PAPR を低減することが重要となる。

## 2. 研究の目的

複数のアンテナ素子を有する MIMO (Multi-Input Multi-Output) 無線通信において、送信電力増幅器の電力利用効率を改善するには、増幅すべき送信信号のピーク対平均電力比 (PAPR: Peak-to-Average Power Ratio) を低減する必要がある。本研究では、マルチキャリア伝送やベクトル符号化伝送などを対象として、MIMO システムにおける PAPR 抑圧技術を開発することを目的とする。

## 3. 研究の方法

### (1) 適応変調ベクトル符号化伝送における位相制御型 PAPR 抑圧技術

周波数選択性の伝搬環境下において直交多重伝送を実現する手法として、ベクトル符号化(VC)伝送が知られている。VC は伝搬路相関行列の固有ベクトルを拡散符号とする符号分割多重(CDM)の一種である。一般的に、VC において送受信器間に形成される各固有パスの利得(固有値) はパス毎にそれぞれ異なるため、VC において十分な性能を得るには、各固有パスの利得に応じてベクトル毎の変調方式を適応的に決定すること(適応変調との併用)が重要となる。また、複数の送受信アンテナを用いる MIMO システム(MIMO-VC)に拡張することで周波数利用効率を向上できる。MIMO-VC では、送信局と受信局の双方において伝搬路情報を必要とする。したがって、MIMO-VC は、伝搬路特性の時間的変動の影響が大きい移動通信環境(アクセス回線)よりも、例えば、伝搬路変動が比較的緩やかである中継基地局間の通信に適していると考えられる。したがって、本検討では適応変調 MIMO-VC に着目する。

ところで、複数の符号ベクトルを多重させる VC では、送信信号のピーク対平均電力比 (PAPR) が多重数とともに上昇するため、マ

ルチキャリア伝送と同様に PAPR の抑圧が課題となる。マルチキャリア信号や CDM 信号の PAPR 低減技術として、ピークリミタや位相制御の方式が検討されている。ピークリミタによる振幅制限を行う場合、振幅制限により生じる非線形歪みが VC における符号ベクトル間の直交性を崩すため、特に多値変調時の復調特性を大きく劣化させる。一方、後者の位相制御の方式として、選択マッピング (Selected Mapping: SLM)や部分系列伝送 (Partial Transmit Sequence: PTS)等が知られている。これらの方式は PAPR を最小とするように各ベクトルの位相を制御する方式であり、固有ベクトル間の直交性を崩すことなく信号を伝送できるので多値変調を用いる場合にも有効である。したがって、本研究では、適応変調 MIMO-VC システムに適した PAPR 抑圧技術として位相制御に基づく手法を検討する。位相制御に基づく方式を用いる場合、位相制御情報を受信機側に通知する必要がある。

本研究では、適応変調 MIMO-VC システムにおいて、誤り訂正符号の復号外部情報を利用することで、位相制御情報を通知することなく受信側で元の情報を復元する手法を示した。また、QAM シンボルの I 相、Q 相の最上位ビットのみをスクランブルすることで PAPR を抑圧する手法を示した。

### (2) 適応ピーク振幅制限に基づく PAPR 抑圧方式

無線通信システムの基地局-端末間の通信において送信信号の PAPR を抑圧する場合、前述の中継局間の通信と異なり、受信端末の仕様変更や受信側での付加的な信号処理が不要であることが望ましい。このような要求を満たすには、クリッピング&フィルタリング(C&F)方式や Peak Windowing(PW)方式等のピークリミタに基づく手法を用いることが効果的である。C&F 方式は、リミタにより生じた帯域外輻射電力をフィルタ(LPF)により除去する方式である。しかし、C&F ではフィルタにより帯域外輻射電力を除去する際にピーク値の再生成が生じることが問題となる。クリッピングとフィルタリングを繰り返し行うことで、ピーク再生成の影響を抑えることができるが、繰り返し処理に伴う計算量の増大が問題となる。一方、PW 法は滑らかに減衰する窓関数を送信信号に乗算することでピーク電力を抑圧する方式であり、フィルタリングによる演算量の増加を低減できる。この方式では窓関数乗算により生じる帯域外輻射電力を許容値以下に抑える必要がある。一般的に、無線通信システムでは帯域外へのスペクトル放射が厳しく規制されている。帯域外輻射電力は、隣接チャネル漏洩電力比 (ACLR: Adjacent Channel

Leakage power Ratio) として規定され、この ACLR を許容値以下に抑える必要がある。

本研究では、帯域外漏洩電力と帯域内歪み電力を許容値以下に抑えながら、送信信号の PAPR を低減させるピークリミタを開発した。第1の方式として、滑らかな窓関数を送信信号に繰り返し乗算する繰り返しPW方式を提案した。PAPR低減に要する計算量を従来のPW方式に比べて低減できる。第2の方式として、適応ピークキャンセラを提案した。提案方式では各サブキャリアの孤立パルスをシンボル中央で同位相となるように合成することで基本パルスを生成する(図1)。事前に生成した基本パルスを用いてピーク振幅値を模擬し、それを反復的に逆位相加算することで基準値を超える送信信号振幅を打ち消す。隣接チャネル漏洩電力および帯域内歪み電力の上昇量を推定することで、それらを基準値以下に抑えながら PAPR を低減する。

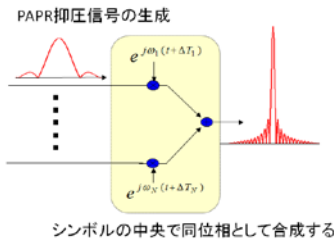


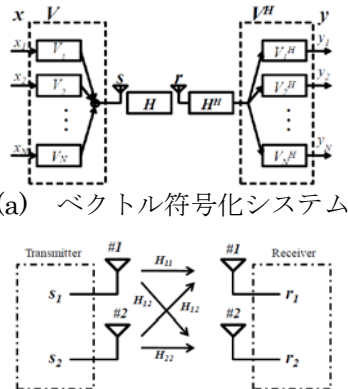
図1: ピーク抑圧用基本パルスの生成方法

#### 4. 研究成果

(1) 適応変調ベクトル符号化伝送における位相制御型 PAPR 抑圧技術

① 適応符号化VC方式

図2に2x2MIMO-VCシステムの構成を示す。ここで、 $\mathbf{H}_{ij}$ は送信アンテナ*i*と受信アンテナ*j*間の伝搬路行列を表す。ブロック間干渉を除去するため、Zero-Padding Guard Interval(ZP-GI)と呼ばれる無信号区間を連続する2ブロック間に挿入する。VCブロック長を*N*、ZP-GI長を*N<sub>g</sub>*とすると、ZP-GI挿入後のブロック長は*K=N+N<sub>g</sub>*となる。



2x2 MIMO 伝搬路モデル

図2: MIMO ベクトル符号化システム

SISO (Single-Input Single-Output)システムにおける送信信号を  $\mathbf{s}=(s_1, \dots, s_N)^T$  とするとき、受信信号は  $\mathbf{r}=(r_1, \dots, r_K)^T=\mathbf{H}\mathbf{s}+\mathbf{n}$  となる。 $\mathbf{n}=(n_1, \dots, n_K)^T$ は雑音ベクトルである。 $\mathbf{H}$ は伝搬路行列( $K \times N$  Toeplitz 行列)であり、次式で与えられる。

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} h(0) & 0 & 0 & \dots & 0 \\ h(1) & h(0) & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & h(1) & h(0) & \ddots & \vdots \\ h(L-1) & \vdots & h(1) & \ddots & 0 \\ 0 & h(L-1) & \vdots & \ddots & h(0) \\ 0 & 0 & h(L-1) & \dots & h(1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & h(L-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

*L* はインパルス応答長を表す。伝搬路相関行列  $\mathbf{H}^H\mathbf{H}$  を固有ベクトルからなる行列  $\mathbf{V}$  と固有値を対角要素とする対角行列  $\Lambda = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N)$  に分解することで次式を得る。

$$\mathbf{H}^H\mathbf{H} = \mathbf{V}\Lambda\mathbf{V}^H, \quad \mathbf{V}^H\mathbf{V} = \mathbf{I}_{NN}$$

ここで、 $\lambda_i$  は *i* 番目の固有値を表す。 $\mathbf{V}$  は  $N \times N$  のユニタリ行列であり、列ベクトルが各固有ベクトルを表す。 $\mathbf{I}_{NN}$  は  $N \times N$  単位行列である。受信側では ZP-GI を除去した後、受信信号  $\mathbf{r}$  の復調を行い、次式を得る。

$$\mathbf{y} = \mathbf{V}^H\mathbf{H}^H\mathbf{r} = \Lambda\mathbf{x} + \mathbf{V}^H\mathbf{H}^H\mathbf{n} \quad (1)$$

2x2MIMO-VCシステムの受信信号は

$$\begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_{11} & \mathbf{H}_{21} \\ \mathbf{H}_{12} & \mathbf{H}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{n}_1 \\ \mathbf{n}_2 \end{bmatrix} = \mathbf{H}_m\mathbf{s} + \mathbf{n}_m$$

で与えられる。したがって、

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \Lambda_m \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \mathbf{V}_m^H\mathbf{H}_m^H \begin{bmatrix} \mathbf{n}_1 \\ \mathbf{n}_2 \end{bmatrix}$$

ここで、 $\mathbf{H}_m^H\mathbf{H}_m = \mathbf{V}_m\Lambda_m\mathbf{V}_m^H$ ,  $\mathbf{V}_m^H\mathbf{V}_m = \mathbf{I}_{N'N'}$  である。

$\mathbf{V}_m$  は  $N' \times N'$  ユニタリ行列を表す。 $\Lambda = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{N'})$ ,  $N'=2N$  である。上式は周波数選択性 MIMO 通信路が互いに直交する複数の周波数一様 SISO 通信路に分解されることを表す。このとき、各固有パスにおける信号対雑音電力比(SNR)は固有値 $\lambda_i$ に依存し、その値はパス毎に異なる。したがって、VCにおいて十分な伝送特性を得るにはSNRに応じて適切な変調方式を用いること(適応変調との併用)が重要となる。

適応変調VCシステムにおける無符号化時のBER特性は次式で与えられる。

$$\text{BER} = \frac{\sum_{i=1}^N p_{f(i)}(\lambda_i) f(i)}{\sum_{i=1}^N f(i)}, \quad p_2(\lambda) \approx \frac{1}{2} \text{erfc}\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0} \lambda}\right), \quad \text{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^\infty \exp(-u^2) du$$

$$p_4(\lambda) \approx \frac{3}{8} \text{erfc}\left(\sqrt{\frac{4 E_b}{10 N_0} \lambda}\right) - \frac{9}{64} \left\{ \text{erfc}\left(\sqrt{\frac{4 E_b}{10 N_0} \lambda}\right) \right\}^2$$

$$p_6(\lambda) \approx \frac{7}{24} \text{erfc}\left(\sqrt{\frac{1 E_b}{7 N_0} \lambda}\right) - \frac{49}{384} \left\{ \text{erfc}\left(\sqrt{\frac{1 E_b}{7 N_0} \lambda}\right) \right\}^2$$

ここで、 $\text{erfc}(x)$ は相補誤差関数である。 $f(i)$ は*i*番目の固有チャネルに対して、ビット割当無し(0ビット)、QPSK(2ビット)、16QAM(4ビット)、または64QAM(6ビット)のいずれかを割り当てるビットローディング関数で

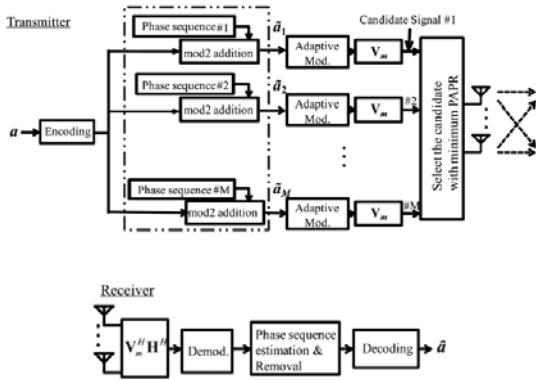


図 3: 送受信機構成

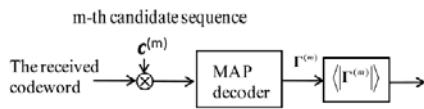


図 4:  $m$  番目の候補信号に対する復号器の外部値演算

ある。本稿では BER 最小化基準に基づくビットローディング (適応変調) を行う。

## ② PAPR 抑圧方式

提案方式を用いる MIMO-VC システムの送受信機構成を図 3 に示す。送信機では SLM 方式による PAPR 抑圧を行う。まず、送信系列をターボ符号化し、次にランダムな位相系列を mod2 加算することで符号化系列をスクランブルする。スクランブル後の系列を用いて適応変調 (適応ビットローディング) を行った後、VC を行う。異なる位相系列を用いてスクランブルすることで同じ送信系列から  $M$  通りの候補送信信号を生成できる。送信機ではこれらの  $M$  個の候補信号の中からピーク電力最小のものを選択して送信することで PAPR を低減する。受信機側では VC 信号を各符号ベクトルに分解 (de-multiplex) した後、復調と誤り訂正復号を行う。提案方式では、誤り訂正符号の性質を利用することで、スクランブルに用いた位相系列 (位相制御情報) を通知することなく元の情報を復元する (位相系列のブラインド推定を行う)。

提案方式における位相系列ブラインド推定部の構成を図 4 に示す。復号器の入力系列に対して位相系列の候補を乗算する。送信信号系列がスクランブルされていない場合、復号器の出力 (外部情報) は最大化されると考えられる。この性質に基づき、提案方式では図 4 に示す通り、復号器の入力系列に対して位相系列候補  $C(m)$ ,  $m=1,2,\dots,M$ , を乗算し、MAP (maximum a posteriori) 復号器の出力 (外部値) およびその絶対値平均を求める (図 4)。位相系列候補数が  $M$  個である場合、それらに対応する  $M$  個の復号器出力が求まるので、絶対値平均  $\langle |\Gamma^{(m)}| \rangle$  を最大とする  $C(m)$  を正

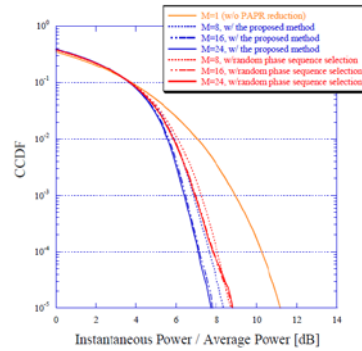


図 5: CCDF 特性

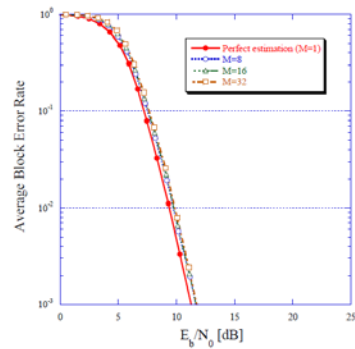


図 6: BER 特性

しい位相系列とみなす。  $C(m)$  を受信系列から取り除いた後、繰り返し復号を実行する。

## ③ 計算機シミュレーション

提案方式の特性を計算機シミュレーションにより評価する。  $2 \times 2$  MIMO-VC システムにおいて、符号ベクトル数 32、一次変調方式を QPSK, 16QAM, 64QAM とし、符号化率 0.5 のターボ符号および繰り返し回数 8 回の Max-log-map 復号を用いる。減衰型 6 パスレイリーフェージング伝搬路を仮定する。

PAPR 抑圧効果を確認するために、MIMO-VC 信号の瞬時電力値の CCDF (補累積分布関数) を図 5 に示す。提案方式を適用することで PAPR が低減されていることを確認できる。提案方式を適用した場合のブロック誤り率 (BLER) 特性を図 6 に示す。比較のために位相系列の推定が完全である場合の特性 ( $M=1$ ) も合わせて示す。候補系列数が  $M=32$  である場合においても提案方式は推定が完全である場合とほぼ同等の BLER 特性が得られることを確認できる。

## ④ 自己同期スクランブラを用いる方式

この他、MIMO-VC システムにおいて、送信 QAM シンボルの最上位ビットのみをスクランブルする SLM 方式を提案した。詳細は発表論文③⑥に掲載されている。

## (2) ピーク振幅制限に基づく PAPR 抑圧技術

### ① 繰り返し Peak Windowing (PW) 方式

従来の PW 方式では次式の窓関数を用いる。

$$b(t) = 1 - \sum_{-\infty}^{\infty} a_n g(t - t_n)$$

ここで、 $g(t)$ はガウス関数、 $a_n$ および $t_n$ は基準値を超えるピーク振幅値と検出時刻を表す。従来方式では信号振幅値を過剰に減衰させる Over attenuation の問題を生じる。この問題を解決するために、図 7 に示すように滑らかな関数  $g(t)$ を送信波形に繰り返し乗算する方式(繰り返し PW)を提案する。繰り返し PW 方式における PAPR 抑圧手順を図 8 に示す。

提案方式を適用した OFDM システムの特性を計算機シミュレーションにより評価する。キャリア数を 840、変調方式を 64QAM とする。OFDM 信号の瞬時電力値の CCDF 特性を図 9 に示す。比較のため、C&F 方式の特性も示す。繰り返し PW 方式による PAPR 低減効果を確認できる。提案方式の計算量評価結果を図 10 に示す。ここで、PAPR 抑圧に要する OFDM シンボルあたりの乗算回数を計算量と定義した。提案 PW 方式は従来方式と比べて計算量を削減できることがわかる。

## ② 帯域外輻射電力を考慮した適応ピークキャンセラ

提案方式を用いる MIMO-OFDM システムの送信機構成を図 11 に示す。送信アンテナ数を 2 とする。提案方式の概要を以下に示す。送信信号  $x(t)$ の最大振幅値の検出時刻を  $t_0$  とする。 $|x(t_0)|$ が基準閾値  $A_{th}$ を超える場合、それを打ち消すようにピーク抑圧(PC)信号  $p_r(t)$ を加算する。このとき、OFDM 信号  $x'(t)$ は

$$x'(t) = x(t) + p_r(t) = x(t) - A_p e^{j\theta} g'(t - t_0)$$

と表される。ここで、 $A_p = |x(t_0)| - A_{th}$  である。 $\theta$  は  $x(t_0)$ の位相を表す。 $g'(t) = w(t)g(t)$  である。 $w(t)$ は窓関数、 $g(t)$ は図 1 の基本パルスを表す。 $g'(t)$ の加算により上昇した帯域外輻射電力を次式により推定する。

$$P_o = P_o(i-1) + |A_p^{(i)}|^2 \Delta p$$

ここで、 $A_p^{(i)}$ は  $i$  回目の反復時における OFDM 信号の最大振幅である。 $\Delta p$  は  $g'(t)$ の帯域外輻射電力量であり、事前に与えることができる。提案方式では、基準値を超える信号振幅値が無くなるか、 $P_o$ が許容値を満たさなくなるまで PC 信号の加算を繰り返す。

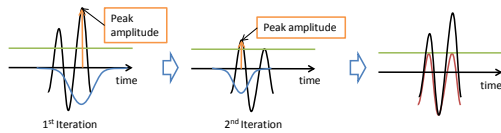


図 7: 繰り返し PW 方式の説明図

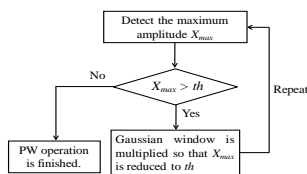


図 8: 繰り返し PW 方式の処理手順

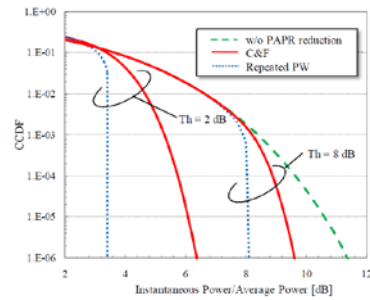


図 9: BER 特性

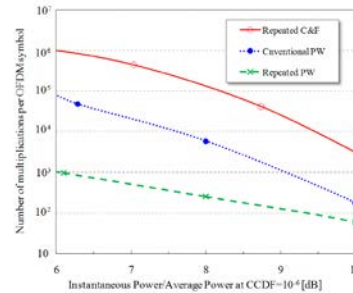


図 10 計算量評価

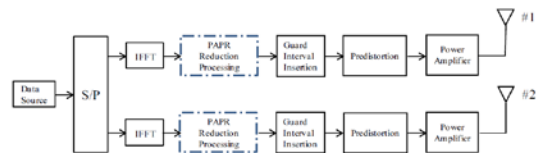


図 11: 送信機構成

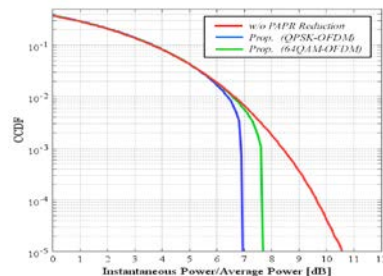


図 12: CCDF 特性

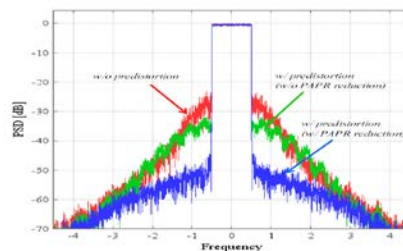


図 13: 電力スペクトル密度特性

提案方式の有効性を計算機シミュレーションにより評価する。OFDM システムのキャリア数を 840、変調方式を QPSK とする。帯域外輻射電力(ACLР)および帯域内歪み電力(EVM)の許容値を -50dB、-20dB とする。提案方式の瞬時電力値の CCDF を図 12 に示す。また、適応プレディストータ(増幅器の非線形

歪み補償技術)適用時の電力増幅器出力における電力密度スペクトルを図 13 に示す。ACLR および EVM の許容値は満たされている。提案方式とプレディストータを併用することで PAPR および帯域外輻射が低減されていることを確認できる。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① O. Muta, Effect of Phase Control-based Peak-to-Average Power Ratio Reduction on Multi-Input Multi-Output Adaptive Modulated Vector Coding Systems, IET Communications, 査読有, vol.6, issue16, 2012, pp.2769-2774.
- ② E. M. Mohamed, O. Muta, and H. Furukawa, Adaptive Channel Estimation for MIMO-Constant Envelope Modulation, IEICE Transactions on Communications, 査読有, vol.E95-B, no.7, 2012, pp.2393-2404.
- ③ Y. Takase, O. Muta, and Y. Akaiwa, Effects of PAPR Reduction Based on Peak Limiter in IEEE802.16e Based OFDM System, IEICE Transactions on Communications, 査読有 vol.E94-B, no.5, 2011, pp.1467-1471..

[学会発表] (計 15 件)

- ① O.Muta, PAPR Reduction and Related Techniques for Power Efficient Multi-Carrier/Multi-Code Communication Systems, IEICE Information and Communication Technology Forum 2013, 2013年5月, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina.
- ② T. Hino and O. Muta, Adaptive Peak Power Cancellation Scheme under the Requirements of ACLR and EVM for MIMO-OFDM Systems, Proc. IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications 2012, 2012年9月, Sydney, Australia.
- ③ O. Muta, Partial Scrambling PAPR Reduction for Multi-Code Vector Coding in Adaptive Modulated MIMO Systems, Proc. International OFDM workshop 2012, 2012年8月, Essen, Germany.
- ④ 福永龍太, 牟田 修 et al, 量子化雑音影響下における MIMO 差動符号化 GMSK 適応等化方式の特性評価, 電子情報通信学会 無線通信システム研究会, 2012年11月, 東京電機大学.
- ⑤ 日野貴哉, 牟田 修 et al, 適応ピークキャンセラを用いた MIMO-OFDM 信号のピーク電力低減に関する検討, 電子情報通信学会 通信方式研究会, 2012年7月, 知名町公民館 (沖永良部島).

- ⑥ 牟田 修, MIMO ベクトル符号化伝送における位相制御によるピーク電力抑圧の一検討, 電子情報通信学会 通信方式研究会, 2012年7月, 知名町公民館 (沖永良部島).
- ⑦ 福永龍太, 牟田 修 et al, 量子化雑音影響下での GMSK システムにおける差動符号化の効果, 電子情報通信学会 ソサイエティ大会, 2012年9月, 富山大学.
- ⑧ 日野貴哉, 牟田 修, MIMO-OFDM システムにおける適応プレディストータとピークキャンセラを併用する電力増幅器の非線形歪み補償, 電気関係学会九州支部第65回連合大会, 2012年9月, 長崎大学.
- ⑨ 高島聖, 牟田 修, 電力増幅器非線形歪み影響下の OFDM システムにおける PAPR 低減のためのサブキャリア位相制御規範に関する検討, 電気関係学会九州支部第65回連合大会, 2012年9月, 長崎大学.
- ⑩ 福永龍太, 山下勇輝, 牟田修, et al, MIMO シングルキャリアシステムにおける E 級電力増幅信号のモデル化とシミュレーション評価, 電気関係学会九州支部第65回連合大会, 2012年9月, 長崎大学.
- ⑪ K. Kotera, O. Muta, et al, Efficient Nonlinear Equalization Scheme for MIMO Constant Envelope Modulation Receivers Affected by Quantization Error, International Conference on Information Networking (ICOIN) 2012, 2012年2月, Bali, Indonesia.
- ⑫ O. Muta, Phase-Sequence Blind Estimation for Phase-Rotation based PAPR Reduction in MIMO Coded-OFDM Systems, International Conference on Signal Processing and Communication Systems 2011, 2011年12月, Honolulu, USA.
- ⑬ O. Muta, Effect of Phase Control Based PAPR Reduction in MIMO Adaptive Modulated Vector Coding Systems, International Conference on Wireless Communications and Signal Processing, 2011年11月, Nanjing, China.
- ⑭ 小寺康平, 牟田 修 et al, 量子化雑音影響下の定包絡線位相変調システムにおける非線形等化の計算量削減, 電子情報通信学会 総合大会, 2012年3月, 岡山大学.
- ⑮ 小寺康平, 牟田 修 et al, ADC の量子化雑音影響下における定包絡線位相変調信号の非線形等化手法に関する検討, 電子情報通信学会 ソサイエティ大会, 2011年9月, 北海道大学.

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

牟田 修 (OSAMU MUTA)

九州大学・日本エジプト科学技術連携センター・准教授

研究者番号: 80336065