

MIMO シングルキャリア伝送における基地局電力利用効率の改善と受信回路の低消費電力化についての調査研究

研究代表者 牟田 修 九州大学 日本エジプト科学技術連携センター 准教授
研究分担者 兼本 大輔 山梨大学 医学工学総合研究部 助教
研究分担者 古川 浩 九州大学 大学院システム情報科学研究院 教授

1 はじめに

屋内ブロードバンド無線通信を実現する一形態として、基地局間を無線により中継接続した通信網(無線バックホール)が検討されている[1]。無線バックホールでは、基幹網と有線接続された基地局(コアノード)を基点として、その周囲にコアノードと無線で中継接続された基地局(スレーブノード)を複数配置することで、通信エリアを拡張する。したがって、中継回線の高速化と中継基地局の小型化・低消費電力化が求められる。無線バックホールにおいて中継回線の大容量化を図るには、送受信で複数のアンテナ素子を用いる MIMO (Multi-Input Multi-Output) 無線通信と併用することが有効である[2]。

複数のアンテナ素子を有する MIMO 無線通信では、基地局の小型・低消費電力化が重要となる。本研究では、MIMO シングルキャリア伝送を対象として、基地局電力利用効率の改善と受信装置の小型・低消費電力化のための信号処理技術について調査研究を行った。主要な成果として、

- (1) MIMO シングルキャリア伝送におけるアンテナ素子あたりの送信最大電力抑圧技術
 - (2) 低分解能 A/D 変換時の非線形歪みに対処する適応等化技術および非線形歪み軽減技術
- について以下にまとめる。

2 MIMO シングルキャリア伝送におけるアンテナ素子あたりの送信最大電力抑圧技術

2-1 オフセット QAM 信号に対する PAPR 抑圧技術の適用効果

無線通信において送信電力増幅器の電力効率を改善するには、その入出力特性の線形性を高めることに加えて、送信信号のピーク電力対平均電力比(PAPR: Peak to Average power Ratio)を低減することが重要である。一般に、シングルキャリア(SC)信号の PAPR は低い。しかしながら、送信信号の変調多値数や送信フィルタの帯域制限特性に応じて PAPR が上昇するため、SC 伝送においても PAPR 低減が必要となる。本節では、シングルキャリア オフセット QAM (SC-OQAM)伝送に着目し、選択マッピング(SLM: Selected Mapping)による PAPR 抑圧方式と併用する場合の PAPR 抑圧特性を評価する。

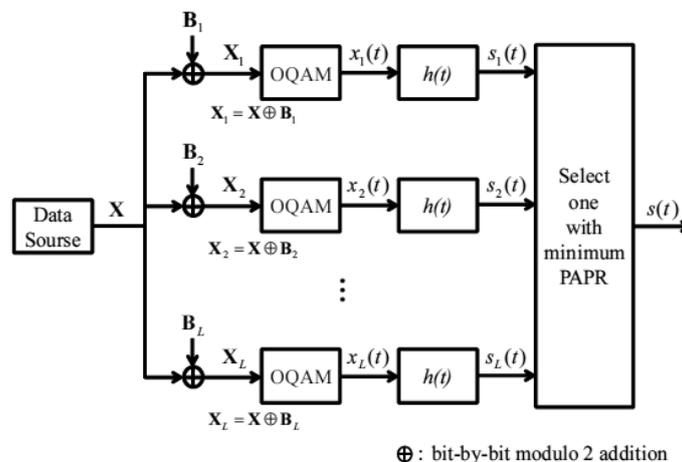


図 1. SLM を適用した OQAM 送信系の構成

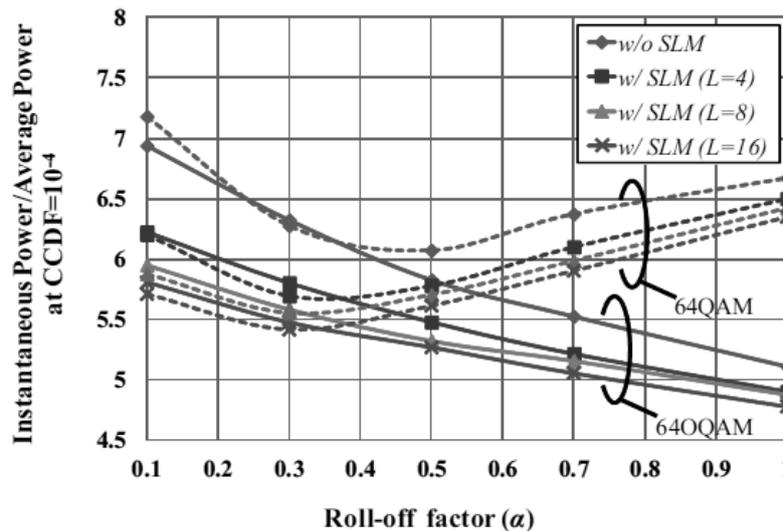


図 2. SLM 適用時におけるロールオフ率と PAPR 特性の関係

選択マッピング(SLM: Selected Mapping) [3] を用いる OQAM 変調システムの送信機構成を図 1 に示す. オフセット QAM(OQAM) とは I 軸と Q 軸の時間を $1=2$ シンボルずらして変調した QAM であり, 信号軌跡が零点を通過しないことから包絡線変動を抑えることができる[4]. SLM 方式では, 変調信号に異なる位相回転を与えることで同じ情報を持つ複数の候補系列を生成し, PAPR が最も低くなる系列を選択する. 送信信号系列 $\mathbf{X} = [x_1, x_2, \dots, x_N]$ に $L = 2M$ 個の異なる位相系列 $\mathbf{B}_n = [b_{n1}, b_{n2}, \dots, b_{nN}]$ ($n = 1, 2, \dots, L$) をビット毎に $\text{mod}2$ 加算する. ここで, $X, B_n \in \{0, 1\}^N$ である. したがって, 位相回転が施された信号 X_n は, $X_n = X \oplus B_n$ と表される. ここで, \oplus はビット毎の $\text{mod}2$ 加算を表す. L 個の候補系列の中から PAPR が最小の系列を送信信号として選択する. SLM 方式では, M ビットの位相制御情報を受信機に通知する必要がある. 本論文では, 位相制御情報が受信機に誤りなく通知されているものと仮定する.

変調方式は 64QAM および 64 オフセット QAM(OQAM)とする. 送信フィルタのロールオフ率と PAPR 特性の関係を図 2 に示す. 縦軸は CCDF(補累積分布関数) = 10^{-4} における送信信号の正規化瞬時電力値を示す. SLM 方式の候補系列数を $L = 4, 8, 16$ とする. 比較のため, PAPR 抑圧を行わない場合の特性を合わせて示す. 図 2 より, ロールオフ率が減少するにつれて, 各信号の PAPR 値は上昇するものの, SLM 方式の効果も大きくなるため PAPR の上昇が抑えられることが確認できる. 一方, ロールオフ率が大きい場合は SLM 方式による PAPR 抑圧効果は減少するものの, 64QAM 信号とは異なり, フィルタ帯域幅を拡大することにより PAPR を低減できる. 以上の結果から, 特に送信フィルタのロールオフ率が高い場合において, SC-OQAM 方式は SC-QAM 方式と比べて低 PAPR 特性を達成できることから, 以下の検討では SC-OQAM 方式に関して特性評価を行う.

2-2 アンテナ素子あたりの最大出力制約下での MIMO シングルキャリア伝送技術

無線バックホールなどの固定中継回線では, 電波伝搬特性の時間変動がアクセス回線と比べて緩やかであり, 伝搬路が比較的静的とみなせるため, 送信機側で伝搬路情報を利用する信号処理と複数のアンテナ素子を用いる MIMO 技術を併用することが効果的である. 送受双方で伝搬路情報を利用する MIMO 技術として, 送受信空間フィルタリングが知られている[5]. 特に, MIMO 伝搬路行列を特異値分解することにより得られる固有ベクトルを用いて送受信空間フィルタの指向性制御を行う場合, 固有ビーム空間分割多重 (SDM: Space Division Multiplexing) と呼ばれる. 固有ビーム SDM では空間的な固有チャネルが形成され, 各固有チャネルはそれぞれ異なった品質(伝送容量)を持つことから, 送信機側でそれぞれ適切な電力割当とビットローディングを行うことで伝送特性を改善できる.

送受信で空間フィルタを用いる MIMO 空間分割多重システムにおいて, 総送信電力一定の制約下で各アンテナ重み係数を最適化する場合, 1 つのアンテナ素子に一時的に出力が集中する可能性がある. このような一時的な最大出力値にあわせて, 大出力の電力増幅器をアンテナ毎に設置することはコストや規模の点か

ら望ましくない。しかしながら、アンテナ毎の出力をある値以下に強制的に制限する場合、多重信号間の直交性が崩れるため、信号間干渉が発生する。したがって、通信品質の低下を抑えながら、アンテナ素子毎の送信出力を増幅器の出力可能値以下に制限することが重要となる。

本節では、アンテナ素子当たりの最大電力が制限された MIMO 空間分割多重システムに適した送信アンテナ重み係数の制御手法を提案する。伝搬路特性と雑音電力が送信機側で既知であると仮定して、送受信信号間の平均二乗誤差を評価基準とし、これをアンテナ素子当たりの送信電力制限下において最小化することにより重み係数を最適化する。アンテナ素子当たりの送信電力が制限された MIMO システムにおける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。これにより、アンテナ素子当たりの送信電力制限が通信品質に与える影響を明らかにするとともに、提案方式の有効性を示す。

検討システムの構成を図 3 に示す。 $\mathbf{F}(\omega)$ はルートレイズドコサインフィルタの周波数伝達特性である。 \mathbf{H} は $M \times N$ MIMO 伝搬路行列、 $\hat{\mathbf{H}}$ は \mathbf{H} の推定値を表す。仮想受信信号 $\hat{\mathbf{Y}}$ と送信信号 \mathbf{X} の誤差関数は、 $\mathbf{e}(\mathbf{W}_t) = \mathbf{X} - \hat{\mathbf{Y}}$ で与えられる。下式の通り、アンテナ素子当たりの最大出力電力値と総送信電力値が制約された条件の下で、仮想的に求めた受信点における平均二乗誤差 (MSE) を最小にする送信重み \mathbf{W}_t を求める。

$$\begin{aligned} & \text{Minimize } E[\|\mathbf{e}(\mathbf{W}_t)\|^2] = E[\|\mathbf{X} - \hat{\mathbf{Y}}\|^2] \\ & \text{subject to } \sum_{i=1}^N |w_{ij}|^2 \leq p_{\max} \quad \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K |w_{ij}|^2 \leq P_{\max} \end{aligned}$$

ここで、 p_{\max} はアンテナ素子当たりの平均出力電力の上限値、 P_{\max} 平均総送信電力の上限値とする。また、 w_{ij} は \mathbf{W}_t の (i,j) 成分であり、送信信号 x_i に対して乗算される送信アンテナ # j の送信重みを表す。本検討では簡単のため、伝搬路行列 $\hat{\mathbf{H}}$ は送信側において既知とする。送信機における仮想受信 MSE 演算部では、受信点における平均二乗誤差と受信重み $\hat{\mathbf{W}}_r$ を仮想的に求め、それを最小化させる送信重み \mathbf{W}_t を反復的に求める。受信機では、MMSE 規範による空間フィルタリング(信号分離)を行う。

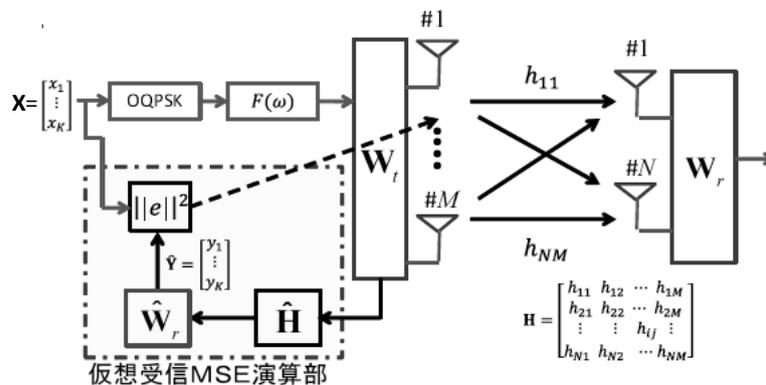


図 3. 検討システムの構成

アンテナ素子当たりの送信可能電力の制限下において、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。比較方式として、線形スケールリング(Liner Scaling)を適用した固有モード伝送(E-SDM)の特性を評価する。線形スケールリング方式は、固有モード伝送におけるストリーム間の直交性を崩さないように(アンテナ当たりの最大出力値が制限値以下となるように)総送信電力を低減させる方式である。計算機シミュレーション結果を図 4, 5 に示す。送信アンテナ $M=4$ 、受信アンテナ $N=2$ である MIMO 一様レイリーフェージング伝搬路、アンテナ間のフェージング相関は無相関と仮定する。アンテナ当たりの正規化最大出力値を $\gamma (= p_{\max}/P_{\max})$ と定義する。アンテナ素子当たりの出力制約がない場合、 $\gamma=1$ となる。変調方式はオフセット QPSK (OQPSK)とし、送信ストリーム数を 2 とする。図 4 はアンテナ当たりの許容平均出力で正規化された瞬時電力値の相補累積分布関数 (CCDF) を示す。送信フィルタのロールオフ係数を 0.5 とする。提案手法($\gamma=0.25$)

を用いることで、 $CCDF=10^{-4}$ における瞬時電力値を固有モード伝送時 ($\gamma=1$) と比べて約 2.7dB 低減できる。また、線形スケールリング手法 ($\gamma=0.25$) と比べて $CCDF=10^{-4}$ における瞬時電力値が約 0.6dB 増加する。これは、提案手法は制約内でできるだけ送信電力の低下を抑えるように送信重みを決定しているためである。

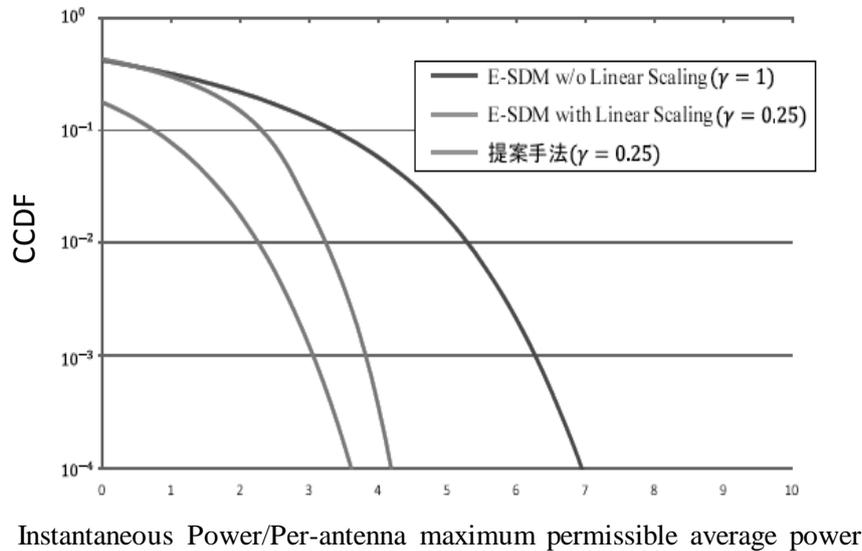


図 4. アンテナ当たりの平均電力で正規化された送信信号瞬時電力値の CCDF 特性

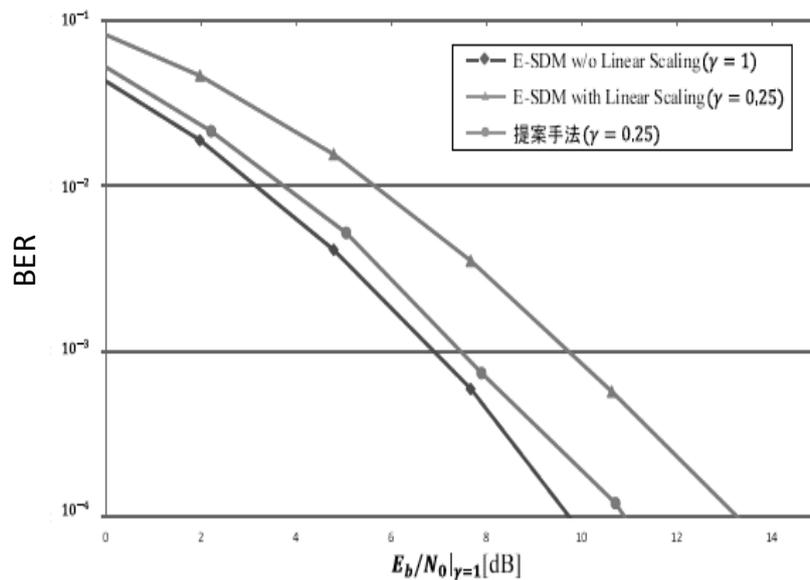


図 5. ビット誤り率 (BER) 特性

アンテナ当たりの最大出力が制限される ($\gamma < 1$) の場合、 $\gamma=1$ の場合と比べて総送信電力が低下する。本論文では、アンテナ素子当たりの電力制限に起因する総送信電力の低下を反映させた指標として、アンテナ当たりの出力制限がない ($\gamma=1$) の場合の E_b/N_0 値を用いる。本論文では、それを $E_b/N_0|_{\gamma=1}$ と定義する。ここで、 E_b はビット当たりのエネルギー、 N_0 は雑音電力密度を表す。図 5 に、 $E_b/N_0|_{\gamma=1}$ に対する検討方式のビット誤り率 (BER) 特性を示す。本評価では、 $\gamma=1$ での E_b/N_0 値が同一である場合、アンテナ素子当たりの電力制限に起因する送信電力の低下量が大きい手法ほど特性が劣化する。比較方式として、線形スケールリングを用い

る固有モード伝送の BER 特性を示す。ここで、固有モード伝送では、線形スケーリングとは独立に BER 再送化基準に基づく最適電力制御を各ストリームに対して適用している。図 5 より、提案手法 ($\gamma=0.25$) を用いることで、BER= 10^{-3} において線形スケーリング方式を用いる場合に比べて約 2dB 特性が改善されることを確認できる。

以上の通り、アンテナ素子当たりの送信電力制限下の MIMO 空間分割多重システムにおいて、ストリーム間の直交性と雑音の影響を同時に考慮した送信重み係数の最適化手法を示した。提案手法を用いることにより、MIMO システムにおいて伝送特性の劣化を抑えながらアンテナ素子当たりの最大出力値を低減することができるので、基地局電力利用効率の改善に有効である。

3 低分解能 A/D 変換器を用いる MIMO シングルキャリア受信機の検討

MIMO システムにおける送信電力増幅器の電力効率を改善するには、その入出力特性の線形性を高めることに加えて、ピーク電力対平均電力比 (PAPR) の低い変調方式を用いることが重要である。また、受信機アナログ回路の回路規模を削減するには、A/D 変換器 (ADC: Analog-to-Digital Converter) を簡素化することが有効である。本研究では、MIMO システムにおけるシングルキャリア方式として PAPR の低いオフセット QAM (OQAM) に関して評価を行う。また、受信アナログ回路の簡素化の観点から、IF (Intermediate Frequency) サンプリング方式の低分解能 A/D 変換器を採用する。

以下では、MIMO シングルキャリア OQAM システムにおいて、低分解能 A/D 変換器を受信機で用いる場合の非線形歪みの影響を軽減する手法を提案する。

3-1 MIMO 受信機における非線形歪みの影響を考慮した非線形等化手法

本検討では、送信電力増幅器の電力効率改善と受信アナログ回路の簡素化の観点から、IF (Intermediate Frequency) サンプリング方式の低分解能 A/D 変換を行うシングルキャリア低包絡線 OQPSK システムについて評価を行う。シングルキャリア変調はマルチキャリア変調と比べて PAPR が低いため、送信電力増幅器の電力効率の点で有利である。ところで、無線通信ではマルチパス伝搬路が形成されるため、遅延時間の異なる複数の波が受信点に到来し、受信信号の包絡線に変動が生じる。受信機の A/D 変換器の分解能が低い場合、この包絡線の変動成分が失われるため、等化特性(伝送特性)が劣化する。本検討では、低分解能 A/D 変換時の非線形歪みの影響を軽減する手法として、伝搬路における符号間干渉と A/D 変換時の量子化誤差の両方を同時に補償する非線形等化手法(修正最尤系列推定 (MLSE: Maximum Likelihood Sequence Estimation)) を提案する。

1bit 量子化 A/D 変換を用いるシングルキャリア定包絡線 OQPSK システムの送受信機構成を図 6 に示す。送信機では定包絡線位相変調方式 (OQPSK) を用いる。受信機では、IF サンプリングによる 1bit A/D 変換器を用いる受信構成を採用する。受信機回路における AD 変換器の分解能が低い場合、消費電力と回路面積の削減が可能となるものの A/D 変換時の非線形歪みが増加する。この問題に対処するために、上述の修正 MLSE 等化方式を用いる。この方式は、量子化誤差推定を行いその影響を軽減すること、および等化器の推移可能な状態数に制約を加えて計算量の削減を行うことの 2 点が特長であり、それ以外は従来の MLSE (Viterbi) 等化技術と同様である。

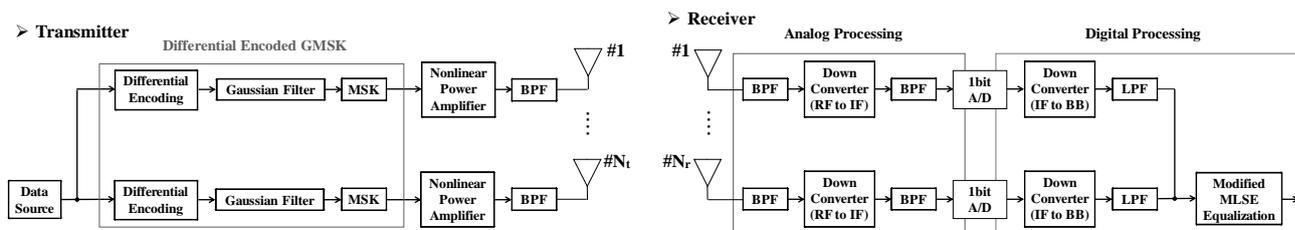
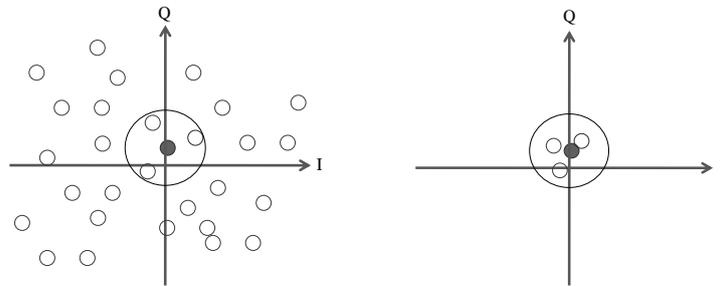


図 6. 1bit 量子化 A/D 変換を用いるシングルキャリア位相変調システムの送受信機構成

修正MLSE等化における信号処理の考え方は、受信される可能性のある候補信号(受信信号の複製値)の中から、受信系列の観測値(実際の受信信号)との2乗誤差を最小とする候補値(すなわち、受信系列と一番類似した候補値)を探し出すことであると表現できる。検討方式では、量子化誤差の推定を2ステップ(粗推定と高精度推定)のに分けて実行する。例えば、図7(a)に示すように、全候補信号の中から最も近い受信信号候補点(に対応する送信系列)を選択する。このとき、量子化誤差を粗推定することにより、演算量を抑えながら量子化誤差の影響を考慮した複製値を求める。全複製値との比較演算を行い、受信系列の観測値の近傍にある候補値のみを選択する。図7(b)は受信点の近傍にある3つの候補値のみが選択され、そのほかは候補から除外された状態を示す。高精度の量子化誤差推定を実行することで、それらの3つの候補値の中から最も可能性の高い候補を選択する。これにより、高精度演算が必要な候補数を抑えながら、量子化誤差の影響を考慮した最尤系列推定が可能となる。

図8に量子化誤差の推定部の構成を示す。量子化誤差推定部は候補状態絞り込みのための粗推定部と推定精度改善のための高精度推定部からなり、目的に応じてこの2つを適応的に切り替えて利用する。図9に修正MLSE等化におけるトレリス線図の一例を示す。図2と同様の考えに基づき、状態数の絞り込みの際は量子化誤差を粗推定し、絞り込まれた候補値の中から最尤のものを決定する場合に量子化誤差の高精度推定を行う。トレリス線図における演算の詳細は発表資料に記載されている。図10に検討方式のビット誤り率(BER)特性を示す。量子化誤差の推定を行うことで、量子化誤差の推定を行わない場合に比べてBER特性が改善されていることを確認できる。



(a) Step1:量子化誤差の粗推定 (2) Step2:量子化誤差の高精度推定

図7. 2ステップ量子化誤差推定の基本概念 (赤丸:実際の受信信号、白丸:候補信号)

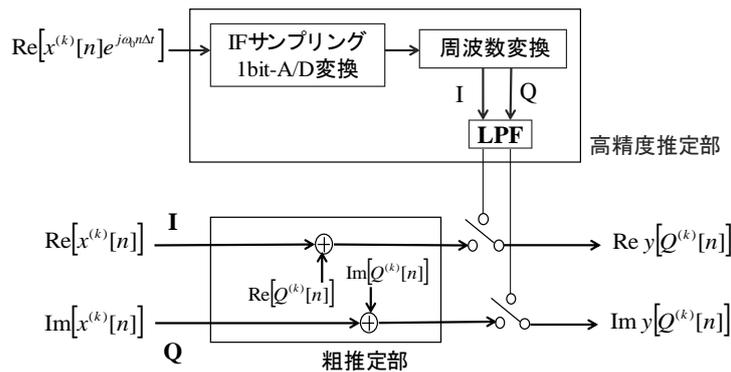
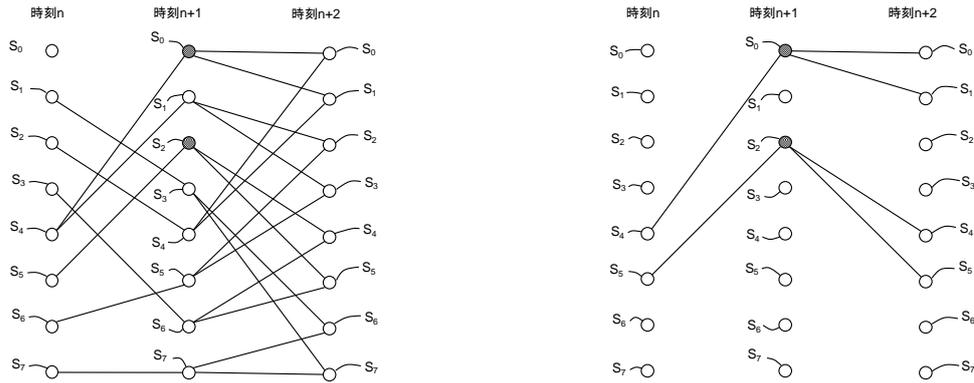


図8. 2ステップ量子化誤差推定部の構成



(a) 量子化誤差の粗推定と状態数削減 (b) 量子化誤差の高精度推定と誤差メトリックの計算
 図 9. 修正 MLSE 等化におけるトレリス線図の例および信頼度に基づく状態数削減手法[1]-[3]

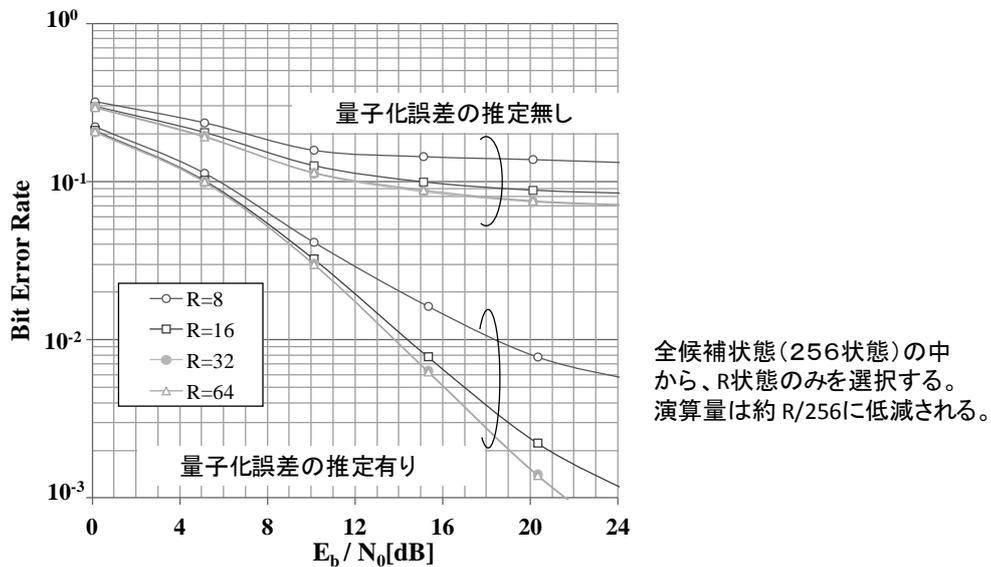


図 10. 計算機シミュレーション結果 (ビット誤り率特性)

3-2 低分解能 A/D 変換器における非線形歪み軽減手法

本論文では、低分解能 A/D 変換器を用いる受信機における非線形歪みの影響を軽減する手法として、ディザ信号およびヒステリシス効果を応用した A/D 変換技術を提案する。PAPR の低いシングルキャリア伝送である OQAM を評価対象として、提案技術の有効性を示す。検討システムの構成を図 11 に示す。送信信号として OQAM を用いる。受信機では IF サンプリングによる A/D 変換を導入し、最尤系列推定(MLSE)による非線形等化・信号検出を行う。提案非線形歪み軽減方式 (ディザ ADC, ヒステリシス ADC) について、以下で述べる。

(1) ディザ信号を応用する方式 (ディザ ADC)

デルタシグマ A/D 変換器に用いられる低分解能量子化器の非線形性を抑える手段として、ディザ信号と呼ばれるランダム信号を重畳した上で量子化する手法が広く検討されている[6]。A/D 変換器の入力にディザ信号を重畳することで量子化雑音を白色化する効果を得ることができる。本研究では、ディザ信号を応用することで、低分解能 A/D 変換器を用いる受信機における非線形歪みを軽減する方法を検討した。図 12(a)は、1bit 分解能 A/D 変換器の入力に M 系列で作成した疑似乱数列をディザ信号として信号へ加算するモデルを示す。ディザ信号の大きさは入力信号に合わせて調整可能な構成とし、その大きさを表すパラメータを β とする。

検討 A/D 変換回路のトランジスタモデルを図 12(b) に示す. 本回路では入力信号に依存した電流と, ディザ生成回路から発生するディザ信号電流をクロスカップルトランジスタで足し合わせて, 最終判定を行う回路である. またディザ生成回路ブロックを図 12(c)に示す. この回路では, D-FF を用いて構成される M 系列発生回路より生成されるデジタルビットを基に, ディザ信号を意味する雑音電流をコントロールすることで, ディザ電流の加算を行っている. またディザ信号の大きさを制御するために, テール電流源を外部から調整できるように設計されている.

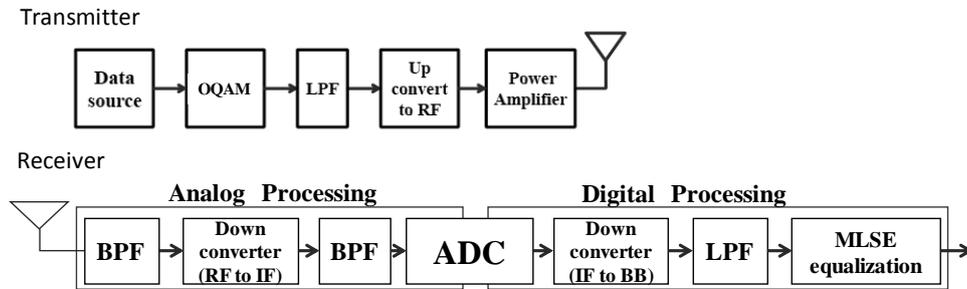


図 11. 検討システムの構成

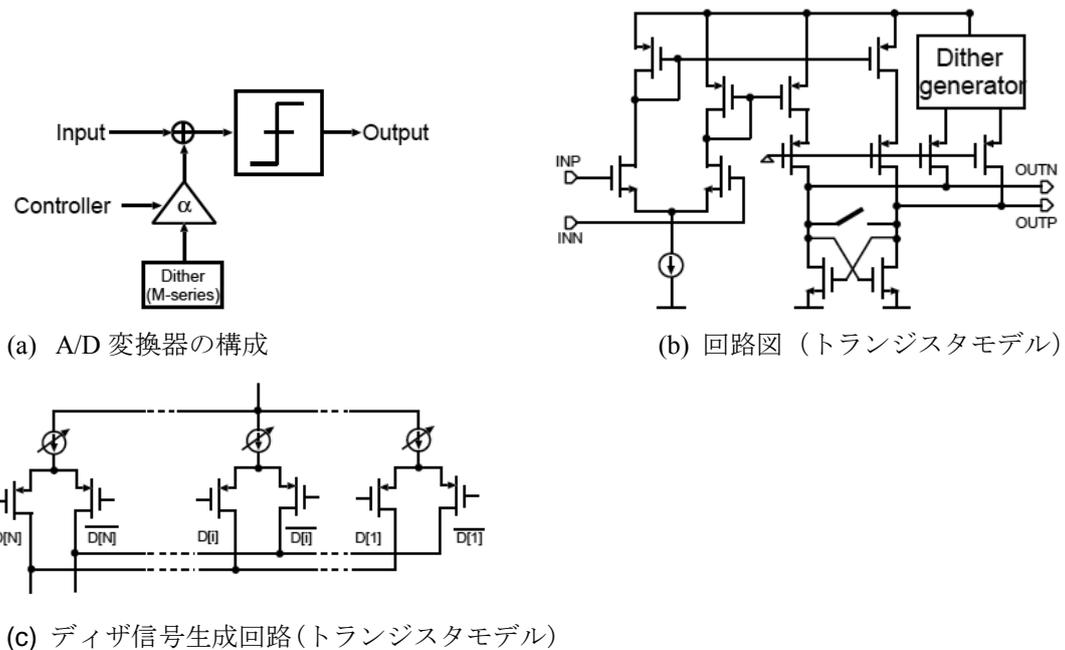


図 12. ディザ A/D 変換器の構成

(2) ヒステリシス効果を応用する方式 (ヒステリシス ADC)

1bit 分解能 A/D 変換器の比較器において, 出力の一部が入力に正帰還される現象はヒステリシスと呼ばれる[7]. 我々は, 比較器のヒステリシスの影響を積極的に利用し, 1bit 分解能 A/D 変換器の非線形性を抑えた 1bit 分解能 A/D 変換器を提案する. ヒステリシスを応用した A/D 変換器(ヒステリシス A/D 変換器)の構成を図 13 に示す. 図 13(a)に示すように, ヒステリシスの大きさを外部からコントロールできる回路構成とし, その大きさを表すパラメータを β とする. また, 提案方式では, サンプルホールド回路の接続と後段のデジタル MUX の信号パスを切り替えることで, 通常のヒステリシスの符号を反転させることが特徴である. ヒステリシス A/D 変換器のトランジスタモデルを図 13(b)に示す. ヒステリシス A/D 変換器の入出力の一例を図 14 に示す. 図 14 に示す通り, 通常のヒステリシスの符号を反転させ, β の値により入

力への帰還量を制御することで、A/D 変換器の出力状態が変化することを確認できる。 $0 < \beta < 1$ の場合、A/D 変換器の量子化出力の状態数を、回路規模の増加を抑えながら、従来の 2 状態 (1bit) から 3 状態に増加できる。

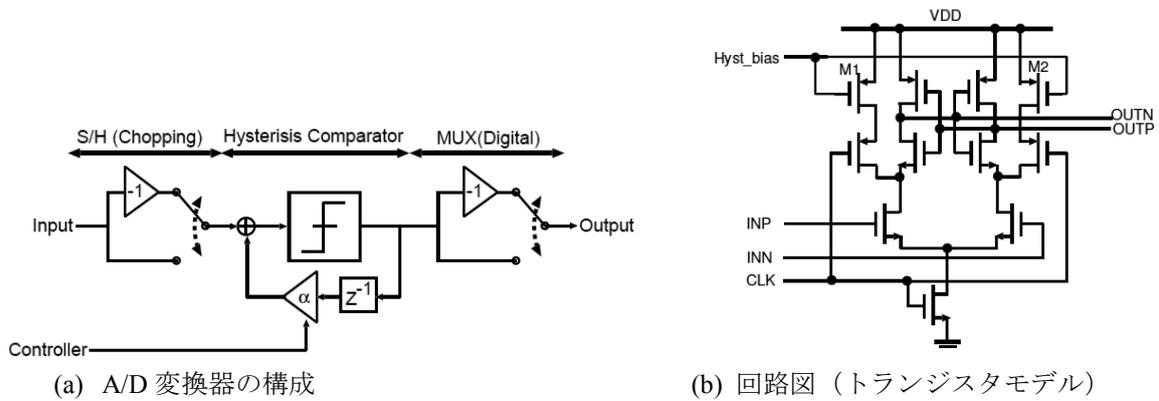


図 13. ヒステリシス A/D 変換器の構成

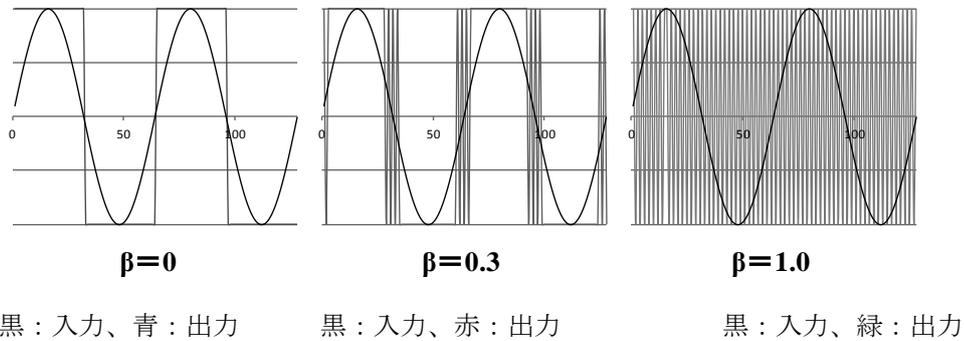


図 14. ヒステリシス A/D 変換器の入出力波形

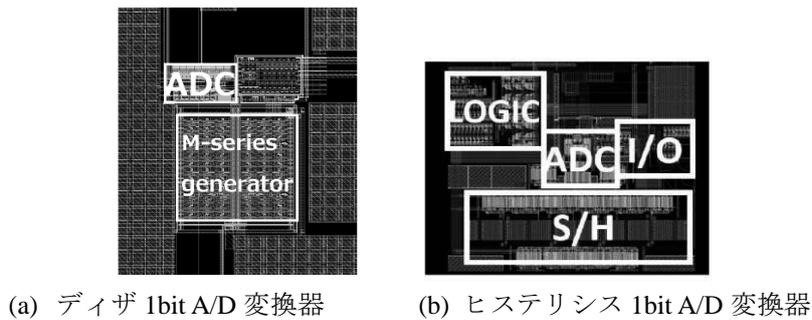


図 15. 1bit 分解能 A/D 変換器レイアウト図

ディザ信号機能およびヒステリシス機能を有する 1bit 分解能 A/D 変換器の設計例を図 15(a)(b)にそれぞれ示す。提案方式 (ディザ A/D 変換およびヒステリシス A/D 変換) は複数ビット量子化時に適用可能である。オフセット QPSK (OQPSK) およびオフセット 16QAM (O16QAM) の受信機に提案方式を適用した場合の伝送特性を計算機シミュレーションにより評価する。周波数選択性フェージング回線下での E_b/N_0 に対する OQPSK および O16QAM の BER 特性 (シミュレーション結果) を図 16(a)(b)にそれぞれ示す。ここで、 E_b は 1 ビット当たりのエネルギー、 N_0 は雑音電力密度を表す。伝搬路モデルとして、等レベル 6 波レイリーフェージング伝搬路を仮定し、各パス間の遅延時間差を 0.5 シンボルとする。A/D 変換器の量子化ビット数を OQPSK に対しては 1, 2 ビット、O16QAM に対しては 1, 2, 3 ビットとする。また、ディザ信号の大きさを示すパラメータ β は事前に与える最良値として 0.3 とする。A/D 変換器の量子化ビットを これらの結果よ

り、OQPSK および O16QAM のいずれの場合においても、ヒステリシスを応用した方法はディザ信号を用いる方法に比べて BER 特性を改善できることがわかる。また、提案手法は複数ビット A/D 変換時に拡張可能であり、その効果を確認できる。

以上の結果より、ヒステリシスを応用した方式は、ディザ信号を付加する方式に比べてアナログハードウェアを規模は若干大きくなるものの、ディザを用いる方式よりも BER 特性を改善することができ、非線形歪みの影響をより軽減できることを示している。

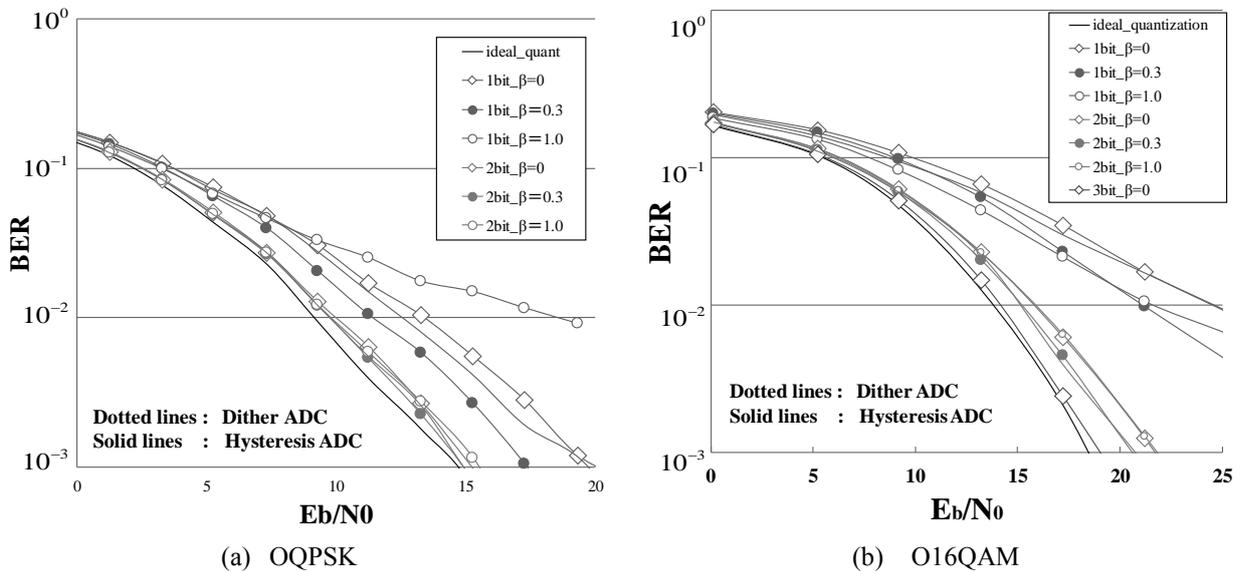


図 16. 提案方式のビット誤り率特性

4 まとめ

本論文では、MIMO シングルキャリア伝送を対象として、基地局電力利用効率の改善と受信装置の小型・低消費電力化のための適応信号処理技術について調査研究を行った。MIMO シングルキャリア伝送の基地局において、送信信号の振幅変動を抑圧する信号処理技術を適用することで送信電力増幅器における電力利用効率を改善させるとともに、IF サンプリングによる低分解能（例えば、1 ビット量子化）A/D 変換器を導入した受信構成とすることで受信機回路を簡素化し、特に複数のアンテナ素子を有する MIMO 受信機の回路規模の削減を図った。本検討では、低 PAPR 特性を有するシングルキャリア変調方式として、シングルキャリアオフセット QAM (SC-OQAM) に関して特性評価を行った。MIMO シングルキャリア空間分割多重伝送において、アンテナ素子当たりの送信ピーク電力を抑圧する送信線形プリコーディング手法を提案した。提案方式を適用することにより、MIMO 空間分割多重伝送における伝送特性の劣化を抑えながらアンテナ素子当たりの最大出力値を低減することができるので、基地局電力利用効率の改善に有効である。また、低分解能 A/D 変換回路を用いる MIMO シングルキャリア方式の受信機において、A/D 変換器の非線形歪みの影響を軽減する非線形等化方式を開発し、量子化誤差影響下における伝送特性を改善できることを示した。さらに、ディザ信号およびヒステリシス効果を応用することで、A/D 変換器における非線形歪みの影響を軽減する方式を開発した。また、それらの技術を適用した 1bit A/D 変換器の構成方法を示すとともに、提案方式を用いることで、SC-OQAM 受信機における非線形歪みの影響を軽減できることを計算機シミュレーションにより確認した。今後の課題は、アンテナ素子数がさらに多い MIMO 空間分割多重システムに提案方式を拡張し、基地局電力利用効率の改善と受信装置の小型・低消費電力化の観点から検討を進めることである。

【参考文献】

- [1] 比嘉, 古川, “線トポロジー型無線マルチホップネットワークにおける高効率中継伝送方式,” 信学論 B, vol.J90-B, no.12, pp.1225-1238, Dec. 2007.
- [2] F. Ono and K. Sakaguchi, “MIMO Spatial Spectrum Sharing for High Efficiency Mesh Network,” IEICE Trans. Commun., vol.E91-B, no.1, Jan. 2008.
- [3] R. W. Bauml, R.F. H. Fischer and J. B. Huber, “Reducing the peak-to-average power ratio of multi-carrier modulation by selected mapping,” Electron. Lett., vol.32, no.22, pp.2056-2057, Oct. 1996.
- [4] 赤岩, “デジタル移動通信技術のすべて,” コロナ社, 2013.
- [5] T. Ohgane, T. Nishimura and Y. Ogawa, “Applications of Space Division Multiplexing and Those Performance in a MIMO Channel,” IEICE Trans. Commun., vol.E88-B, no.5, pp.1843-1851, May 2005.
- [6] 山崎, “広帯域音響信号の量子化への大振幅ディザの適用,” 日本音響学会誌 39(7), 452-462, July 1983.
- [7] R. Jacob Baker, CMOS Circuit Design, Layout, and Simulation, Third Edition, Wiley-IEEE Press, 2010.

〈発表資料〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
1bit ADC を用いる無線シングルキャリア位相変調システムの伝送特性評価	電子情報通信学会 通信方式研究会	2013 年 3 月
無線シングルキャリア位相変調信号に適した 1bit A/D 変換器の構成と性能評価	電子情報通信学会 通信方式研究会	2013 年 3 月
オフセット QAM 信号に対する選択マッピングによる PAPR 抑圧の効果	電気関係学会九州支部第 66 回 連合大会	2013 年 9 月
Effects of MLSE Equalization for Constant Envelope Modulation Signals Affected by ADC Nonlinearity	The 28th edition of the International Conference on Information Networking (ICOIN2014)	2014 年 2 月
A Novel Idea of One Bit Resolution ADC for Small Analog Hardware Wireless Receivers	IEEE Symposium on Low-Power and High-Speed Chips (COOL Chips XVII)	2014 年 4 月
Linearity Enhancement Technique for one bit A/D converter in wireless communication devices	International Symposium on Consumer Electronics 2014 (ISCE2014)	2014 年 6 月
A Peak Power Aware Linear-Precoding Scheme for MIMO-SDM Systems	IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications 2014 (PIMRC2014)	2014 年 9 月