

機関番号：12701

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009 ～ 2010

課題番号：21760279

研究課題名(和文) 低消費電力 MIMO 無線通信を実現するシェイピング技術の研究

研究課題名(英文) Shaping techniques for low power consumption MIMO wireless communications

研究代表者

落合 秀樹 (OCHIAI HIDEKI)

横浜国立大学・工学研究院・准教授

研究者番号：20334576

研究成果の概要(和文)：送受信端末で複数アンテナを用いることにより大容量化をはかる Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) 無線通信方式の低消費電力化に貢献し得る(送信側における)送信信号のピーク電力低減技術および(受信側における)簡易な信号分離技術を考案した。さらに、シングルキャリア変調信号の包絡線変動についての理論解析を行い、その電力効率の限界を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：We have developed peak power reduction and low-complexity signal detection techniques for multiple-input multiple-output (MIMO) wireless communications systems. We have also analyzed the distribution of signal envelope of band-limited single-carrier systems and revealed its limitation in terms of power efficiency.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2010 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：情報通信工学

科研費の分科・細目：通信・ネットワーク工学

キーワード：変復調、電力増幅器、無線通信、シェイピング、MIMO

1. 研究開始当初の背景

近年、インターネットの大容量化およびユビキタス化への需要は高まる一途であり、無線通信研究者および技術者の大半が、限られた周波数帯域において如何にして伝送速度を上げるかにしのぎを削っている。帯域制限下において伝送速度を向上させるための一般的な手法としては、直交振幅変調(QAM: Quadrature Amplitude Modulation)などの多値変調方式、および Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) 無線通信技術の適用が挙げられる。QAM 変調技術は、早くより DSL(Digital Subscriber Line) などの有線系で実用化が進み、最近では無線 LAN に代表される無線通信システムにおいても実装されている。これに対し MIMO 無線通信技術は、

複数の送受信アンテナを用いることによりアンテナ数に比例して通信路容量を増加させる方式である。MIMO 技術は 1990 年代後半に注目されて以来急速に研究開発が進み、無線 LAN 規格 IEEE802.11n や WiMAX などのいわゆる次世代ブロードバンド無線通信の標準規格に盛り込まれるとともに、周波数帯域が枯渇している現状を打破する技術として期待されている。

一方、IEEE802.11a 以降の無線 LAN 規格や WiMAX 等に採用され、デジタル無線の事実上の標準となっている伝送方式として、直交周波数分割多重(OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing)が挙げられる。OFDM は、広帯域の信号を狭帯域の複数のサブキャリアに分割し、直交性が維持で

きる最小限の間隔でオーバーラップさせているため、周波数利用効率が高く、かつ周波数選択性のフェーディングにロバストであるといった大きな利点がある。しかしながらその反面、生成される信号のダイナミックレンジ（ピーク電力）が大きいため、電力増幅回路で消費される電力の利用効率が著しく低いといった欠点を有し、特に複数の送信アンテナを有する MIMO 通信方式へ適用する場合、供給電力の著しい浪費は避けられない。

2. 研究の目的

以上の背景を踏まえ、本研究では電力増幅前のベースバンド信号の段階において送信信号のピーク電力を低減することにより、電力増幅回路における効率の改善を第一の目的とする。具体的には、これまでに本研究代表者が考案したピーク電力低減手法に基づいた、MIMO 無線通信システムに適用可能な新たなピーク電力低減手法を提案することにより、MIMO 無線通信システムの低消費電力化を実現することを目的とする。また、OFDM の代替として現在広く研究されているシングルキャリア変調方式の適用も見据え、シングルキャリア変調信号のピーク電力分布について理論的に解析することにより、その電力効率の限界を明らかにする。

3. 研究の方法

本研究代表者は、関連する先行研究において、主として以下についての研究成果を上げてきた。

- (1) クリッピングアンドフィルタリングを用いた OFDM 信号のピーク電力低減手法の提案とその特性の理論解析
- (2) 帯域制限された OFDM 信号のピーク電力分布の理論解析
- (3) OFDM 信号およびシングルキャリア変調信号の大幅なピーク電力低減を行うシェイピング手法の考案

本研究は上記の成果を MIMO 無線通信方式へ発展させるとともに、OFDM のみでなくシングルキャリア変調方式に注目して研究を進めた。さらに、MIMO の受信回路の消費電力を左右する処理として、受信信号の信号分離が挙げられる。一般に、送信信号の多値化により伝送レートを大きくすると、受信回路における信号分離に要する信号処理のオーダは指数関数的に増大する。そこで本研究では、主として送信側で問題となるピーク電力のみでなく、受信側での信号分離についても取り組んだ。

4. 研究成果

本節では、はじめに各年度に別けて本研究の主要成果を列挙する。

2009 年度の主な成果は以下の通りである。

- (1) MIMO-OFDM 方式およびシングルキャリア FDMA 方式において、クリッピングアンドフィルタリング手法を適用することにより送信側でピーク電力を低減するとともに、受信側でクリッピング歪みを除去することにより誤り率特性を改善する手法を提案し、計算機シミュレーションによりそれらの有効性を示した。
- (2) 帯域制限されたシングルキャリア信号の電力分布の信号点近似に基づく理論解析を行った。本手法は特に多値変調の解析に有効である。この結果より、シングルキャリア通信方式においてもピーク電力問題が顕著となることを理論的に明らかにし、さらなるピーク電力低減の必要性を示した。
- (3) これまで本研究者が提案してきたシェイピング技術を多値変調へ適用し、ピーク及び平均電力の両者を効率よく低減する手法を提案し、その有効性を明らかにした。さらに、入力信号に高い相関がある場合には、送信波形フィルタのインパルス応答を入力信号の相関にマッチさせることにより、送信平均電力を低減できることを示し、その有効性を計算機シミュレーションにより実証した。

一方、2010 年度の主な成果は以下の通りである。

- (4) 帯域制限されたシングルキャリア変調信号の厳密な瞬時電力分布の理論計算式を導出した。これにより PSK および QAM 変調されたシングルキャリア信号の電力効率を理論的に厳密に算出することが可能である。本手法より、パワーアンプの電力効率を考慮した今後の無線通信方式に対する有用な設計指針を得ることができる。
- (5) OFDM 変調方式に対してトレリスシェイピングおよび M アルゴリズムを適用することにより、送信側における信号のピーク電力低減に要する計算量を軽減する手法を提案し、その有効性を計算機シミュレーションにより示した。
- (6) MIMO 通信技術の実装における課題として、受信機での信号分離に膨大な計算量を要する点が挙げられる。この問題を緩和するため、ベイズ推定と信号点近似手法に基づいた簡易な信号分離法を提案し、その有効性を計算機シミュレーションにより確認した。本提案技術が今後の MIMO 無線通信システムの受信機の簡易化に貢献するものと期待できる。

以下では、上記成果のうちの(4)に焦点をあててその概要と数値結果を示す。詳しくは成果リストに挙げた雑誌論文①を参照され

たい。シングルキャリア変調信号は一般にピーク電力分布が低いといわれるが、OFDMと同程度に厳しい（ロールオフ率が0に近いフィルタにより）帯域制限を行うと、そのピーク電力は著しく増加する。しかしながらこれまで、帯域制限されたシングルキャリア信号の電力分布は計算機シミュレーションのみにより評価されてきた。一方、本研究では、特性関数およびハンケル変換を導入することにより、これを理論的に解析することに成功した。図1にその数値例を記す。図では、QPSKおよび64QAM変調され、さらにロールオフ率0.1および0.4のルートコサインフィルタで帯域制限されたシングルキャリア変調信号の瞬時電力が横軸の値を超える確率(CCDF特性)の理論値とシミュレーションによる結果の比較を示している。図より、計算機シミュレーションにより得られた分布と理論値が一致しており、シミュレーション結果が正しいことを裏付けている。また同図より、QPSK変調信号であっても、ロールオフ率が小さくなればそのピーク電力が大きくなり、よってシングルキャリア変調方式においてもピーク電力低減技術の適用が重要であることを示している。

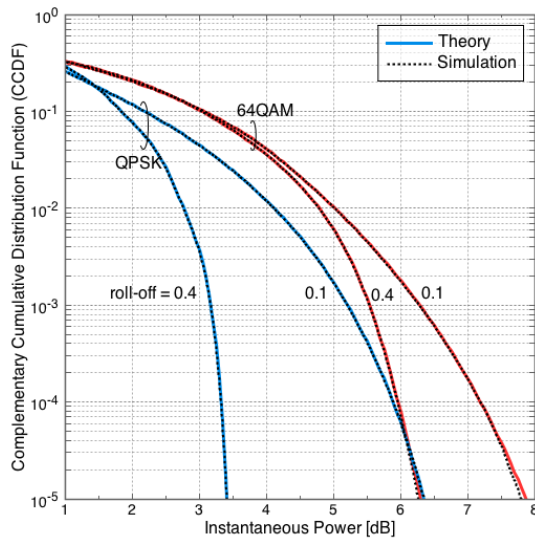


図1 理論解析とシミュレーションの比較

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計8件)

- ① H. Ochiai, “Exact and Approximate Distributions of Instantaneous Power for Pulse-Shaped Single-Carrier Signals,” IEEE

Transactions on Wireless Communications, vol. 10, no. 2, pp. 682-692, February 2011. (査読有)

- ② H. Ochiai, “An Approximate Distribution of Instantaneous Power in Band-Limited PSK Signals,” in Proceedings of The 2010 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM 2010), Miami, December 2010. (査読有)
- ③ M. Tanahashi and H. Ochiai, “Symbol Insertion: A Low-Complexity Joint Peak Power Reduction and Forward Error Correction for Single-Carrier Systems,” IEEE Transactions on Communications, vol. 58, no. 11, pp. 3244-3253, November 2010. (査読有)
- ④ M. Tanahashi and H. Ochiai, “On the Distribution of Instantaneous Power in Single-Carrier Signals,” IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 9, no. 3, pp. 1207-1215, March 2010. (査読有)
- ⑤ M. Tanahashi and H. Ochiai, “Analysis and Efficient Computation of Instantaneous Power Distribution of Single-Carrier Signals,” in Proceedings of The 2009 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM 2009), Hawaii, December 2009. (査読有)
- ⑥ M. Tanahashi and H. Ochiai, “Improving Error Rate Performance of Correlated Sources by Non-Root-Nyquist Pulse Shaping,” in Proceedings of 2009 IEEE 70th Vehicular Technology Conference Fall (VTC2009-Fall), Anchorage, Alaska, September 2009. (査読有)
- ⑦ H. Ochiai, “Some Practical Considerations for Peak Power Reduction of OFDM Systems (招待論文),” in Proceedings of The 12th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC 2009), Sendai, Japan, September 2009. (査読有)
- ⑧ M. Tanahashi and H. Ochiai, “On Destructive Superposition of Shaping Pulses in Band-Limited Linear Modulation Systems,” Proceedings of The 2009 IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT 2009), Seoul, Korea, June 2009. (査読有)

[学会発表] (計12件)

- ① 吉沢竜太, 落合秀樹, 「M アルゴリズムを用いたトレリスシェイピングによる OFDM 信号のピーク電力低減効果」, 電子情報通信学会技術報告, RCS2010-299, pp. 295-300, YRP【2011年3月4日】
- ② 棚橋誠, 落合秀樹, 「MIMO 伝送における信号点分布の近似に基づく MMSE 型信号分離法」, 電子情報通信学会技術報告,

RCS2010-300, pp. 301-306, YRP【2011年3月4日】

- ③ H. Ochiai, “Effectiveness of Peak Power Reduction Schemes for OFDM and Single-Carrier Systems (招待講演),” Workshop on Broadband Single Carrier and Frequency Domain Communications, The 2010 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM 2010), マイアミ, 米国【2010年12月6日】
- ④ 棚橋誠, 落合秀樹, 「MIMO空間多重における信号点分布の近似に基づくMMSE型信号分離法」, 情報理論とその応用シンポジウム予稿集, 松代【2010年12月1日】
- ⑤ 棚橋誠, 落合秀樹, 「非線形歪みを受けたシングルキャリア信号の線形MMSE推定」, 電子情報通信学会総合大会, B-5-79, 大阪府立大【2010年9月15日】
- ⑥ 棚橋誠, 落合秀樹, 「帯域制限されたシングルキャリア信号の瞬時電力分布解析」, 電子情報通信学会総合大会, B-5-78, 東北大【2010年3月16日】
- ⑦ 南木聡一, 落合秀樹, 「MIMO-OFDM方式におけるクリッピング歪みの反復補償に関する検討」, 電子情報通信学会技術報告, RCS2009-196, pp. 173-178, 機械振興会館【2009年12月18日】
- ⑧ 棚橋誠, 落合秀樹, 「シングルキャリア信号の瞬時電力分布の計算法」, 電子情報通信学会技術報告, WBS2009-49, pp. 73-78, 熊本大【2009年12月9日】
- ⑨ 寺田健吾, 落合秀樹, 「シングルキャリアFDMAへのクリッピング歪み補償の適用に関する検討」, 電子情報通信学会技術報告, WBS2009-38, pp. 13-18, 熊本大【2009年12月8日】
- ⑩ 落合秀樹, 「(チュートリアル講演) MIMO-OFDMにおけるピーク電力低減技術」, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, AT-2-4, 新潟大【2009年9月17日】
- ⑪ 棚橋誠, 落合秀樹, 「記憶のある情報源に対する非ルートナイキストフィルタの適用効果」, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-5-4, 新潟大【2009年9月15日】
- ⑫ 棚橋誠, 落合秀樹, 「非ルートナイキストフィルタを用いた相関のある情報源の伝送誤り率改善法」, 電子情報通信学会技術報告, WBS2009-9, pp. 13-18, 静岡大【2009年7月23日】

〔産業財産権〕

○出願状況(計1件)

名称: 信号分離方法および信号分離装置
発明者: 棚橋誠、落合秀樹
権利者: 横浜国立大学
種類: 特許
番号: 特願 2010-258157
出願年月日: 2010年11月18日
国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.ochiailab.dnj.ynu.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

落合 秀樹 (OCHIAI HIDEKI)
横浜国立大学・工学研究院・准教授
研究者番号: 20334576

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者