

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 25 日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560470

研究課題名(和文)窓関数を用いないOFDM信号の帯域外漏洩電力抑圧法に関する研究

研究課題名(英文)Sidelobe Suppression for OFDM Signal without Window Function

研究代表者

太田 正哉(Ohta, Masaya)

大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：70288786

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、OFDM(直交周波数分割多重)通信方式において送信信号の隣接帯域への漏洩電力を抑圧することを目的として行われた。具体的には窓関数を用いない帯域外漏洩電力抑圧法であるN-continuous OFDMとその派生法の問題を解決する手法を提案し、有効性および実装方法について検討した。研究の結果、提案したNCSP-OFDM法は従来法と同程度の漏洩電力抑圧性能を持ち、かつ、従来法で問題となっていた誤り率の劣化を大幅に改善できることを確認した。また本手法は従来法と比較してサブキャリア数の少ないシステムに有効であることを確認した。

研究成果の概要(英文)：This research has proposed a novel method to reduce unwanted emissions into adjacent bands in OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) system. This method is derived from a conventional method called as N-continuous OFDM that is a kind of precoding methods and does not use windowing functions.

From the experimental results of the research, the power spectral density and symbol error rate characteristics of the proposed method equal to or greater than those of the conventional method were obtained without using the iterative algorithm. The proposed method was confirmed to be particularly effective on a system with a small number of subcarriers.

研究分野：情報通信

キーワード：マルチキャリア通信 OFDM 帯域外漏洩電力 サイドローブ N-continuous OFDM 誤り率

1. 研究開始当初の背景

OFDM 送信信号はシンボル間が不連続に接続されるため、隣接する帯域に高い漏洩電力が生じるという問題があり、これを抑圧するためにさまざまな手法が提案されている。

一般的な漏洩電力抑圧法として、接続前の各 OFDM シンボルの両端を延伸し緩やかに減衰させる窓関数をかけ、この部分を重ねて接続することで接続部分を滑らかにする手法がある。この手法は計算量が少なく容易に実現できるが、延伸した減衰部がデータ送信にかかわらないため伝送効率が低下する。この対策として、ガードインターバルの一部を減衰部とする方法もあるが、実質的なガードインターバル長が短くなるため、遅延スプレッドの広い強いフェージング環境では誤り率特性が劣化する。

そこで窓関数を用いず、接続部を N 次微分まで連続にするような挿入シンボルを重畳し、受信側でこれを除去する N-continuous OFDM と呼ばれるプレコーディング法が提案された。本手法は OFDM シンボルを延伸しないため伝送効率を低下させずに帯域外漏洩電力を抑圧できる。ただし誤り率特性が通常の OFDM より悪いことがわかっており、これを改善する手法が必要である。

これに対して報告者は以前、N-continuous OFDM の誤り率特性劣化の原因を分析し、本手法で計算される挿入シンボルの電力が、帯域の両端で極めて高いことが誤り率特性の劣化の原因であることを突き止め、これを回避する 2 つの手法を提案していたが、その有効性や実装上の問題について十分に検討されていなかった。

2. 研究の目的

本研究は、OFDM 通信方式において送信信号の隣接帯域への漏洩電力を抑圧する新しい手法を提案し、実用化に向けた性能評価を行うことを目的としている。具体的には窓関数を用いない帯域外漏洩電力抑圧法である N-continuous OFDM とその派生法の問題を解決する手法を提案し、有効性および実装方法について検討する。

(1) SLM の導入

N-continuous OFDM の改善法として報告者らが以前から提案していた SLM (Selected Mapping) を導入した手法について、特に回路実装の観点から検討する。

(2) SSP の誤り率改善

SSP (Spectrum Sculpting Precoder) は N-continuous OFDM から派生したプレコーディング法で、狙った帯域の漏洩電力を N-continuous OFDM よりも急峻に落とすことができるが、N-continuous OFDM と同様な誤り率劣化の問題がある。この問題を解決する手法について検討する。

(3) プレコーディング行列の拡張

N-continuous OFDM の問題点として帯域両端に生じる挿入シンボルの電力ピークを、よ

り効率的に削減できる手法について検討する。

(4) 誤り率劣化の根本的解決法

N-continuous OFDM の誤り率劣化の問題をより効果的に改善する新手法を検討する。N-continuous OFDM は送信信号のデータ部にプレコーディングによって得られる挿入シンボルが重畳されることが原因であった。この問題を解決する手法を検討する。

3. 研究の方法

(1) SLM の導入

N-continuous OFDM ではデータシンボルをプレコーディングし、挿入シンボルを重畳した後に IFFT に通して送信信号を得るため、挿入シンボルの影響で誤り率が劣化する。そこで、データシンボルの位相をランダムに回転し、挿入シンボルの電力を最小化することを考える。事前にランダムな位相回転系列を M 通り用意し、これによってデータシンボルを回転する。M 通りの回転に対して挿入シンボルを計算し、最小電力の挿入シンボルを選択して送信に使用する。このような手法を SLM (Selected Mapping) という。

本手法は本研究助成を受ける前に報告者が提案した手法であり、数値実験の結果、誤り率の劣化が改善されることを確認されていた。しかし、回路実装の観点からは未評価であった。そこで本システムを FPGA に実装することを想定し、システムを VHDL で設計し、論理合成ソフトウェアによってその回路規模を評価する。

(2) SSP の誤り率改善

SSP の誤り率改善法として SLM の導入を提案する。N-continuous OFDM に SLM を導入する場合と同様、IFFT 前のデータシンボルをランダムに位相回転することで挿入シンボルの電力を抑圧し、誤り率の改善を図る。

(3) プレコーディング行列の拡張

N-continuous OFDM の使用帯域の外側にただか 2 本のサブキャリアを用意し、これを用いることで使用帯域端の挿入シンボルのピーク電力を大きく抑圧し、誤り率を改善することができる。本手法は報告者が本研究助成を受ける前に提案した手法であり、本助成において、より詳細な評価を行うことを計画していた。

ところが、その後研究を進めた結果、この 2 本のサブキャリアを使うことなく誤り率を改善できる手法を考案した(これにより申請時の計画を一部修正することとなった)。本手法はプレコーディングに使用する行列を拡張する手法で、挿入シンボルの電力が帯域によらず一定となり、挿入シンボルのピーク電力の偏りが完全に消去できる手法である。これに用いる行列を報告者らは Grinder 行列と名付けた。

本提案手法の Grinder 行列は最急降下法に

よって求められるため、局所最適解にとらわれる可能性がある。そこで数値実験によりその性能を評価した。

(4) 誤り率劣化の根本的解決法

N-continuous OFDM の原理は、ブロック伝送される各 OFDM シンボルについて、前後のシンボルの接続部分が N 次微分まで滑らかとなる制約条件を元にプレコーディング行列を設計し、これにより挿入シンボルを生成する。この際、送信信号のデータ部にも挿入シンボルが重畳されることが誤り率劣化の原因である。そこで挿入シンボルをガードインターバル部だけに留めることを前提に、前後のシンボル間の接続についてだけでなく、ガードインターバル部後端と、データ部先端間の接続も N 次微分まで滑らかとなるよう制約条件を変更し、プレコードする手法を提案する。本手法を N-continuous Symbol Padding OFDM (NCSP-OFDM) と称する。

本手法は理論上データ部に挿入シンボルが重畳されないことから AWGN チャネルにおいて誤り率の劣化はない。ただし、マルチパスフェージング環境下ではガードインターバル部がデータ部に漏れ出ることから、その評価が必要である。また、接続部を滑らかにするために挿入されるシンボルが従来法より短いため、帯域外漏洩電力抑圧性能が低下する懸念があるため、評価が必要である。さらに、ガードインターバルの相関を用いたシンボル同期手法に悪影響が出る可能性があるため、その影響についても評価する必要がある。

4. 研究成果

(1) SLM の導入

SLM を導入した N-continuous OFDM の回路実装実験を行った。回路規模を評価したところ、SLM による回路増加分は極めて小さく、実装上の問題が生じないことを確認した。

(2) SSP の誤り率改善

SLM を導入した SSP の性能を評価するため理論的解析を行った。解析の結果、ランダムパターンが 4 程度で挿入シンボルの電力ピークが 3dB 程度下がること示され、数値実験の結果とおおよそ合致した。またこの手法を OFDM 信号に適用した結果、従来の SSP の誤り率劣化が改善された (図 1 参照)。

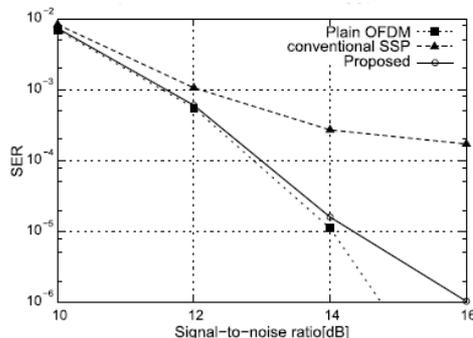


図 1 SLM を導入した SSP の誤り率

(3) プレコーディング行列の拡張

最急降下法によって求められた Grinder 行列を用いてプレコーディングを行い、挿入シンボルの電力スペクトルを評価した。

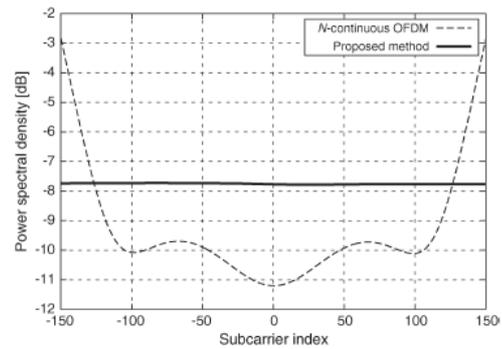


図 2 挿入シンボルの PSD

図 2 に示す結果で、破線は従来法、実線は提案法である。結果より挿入シンボルの電力スペクトルは帯域によらず完全に平滑化されており、これによって帯域端で生じていた誤り率劣化を大きく改善することができた。

(4) 誤り率劣化の根本的解決法

提案した NCSP-OFDM の漏洩電力抑圧性能を実験的に評価した。図 3 に示す結果より提案法は従来法とまったく同じ結果となり、挿入シンボルの短縮による性能劣化がないことが確認された。

次に AWGN およびマルチパスフェージング環境下での誤り率について評価した。図 4 よ

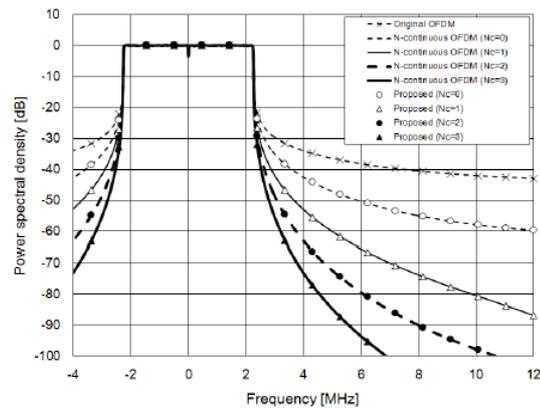


図 3 漏洩電力抑圧性能

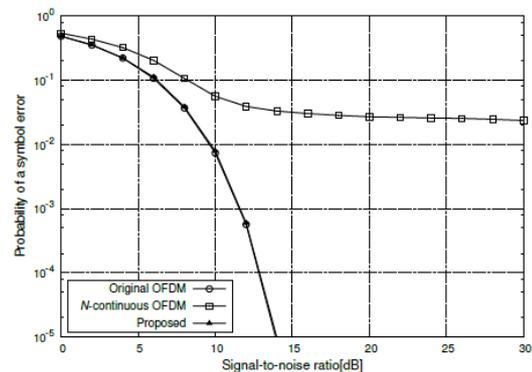


図 4 誤り率特性 (AWGN)

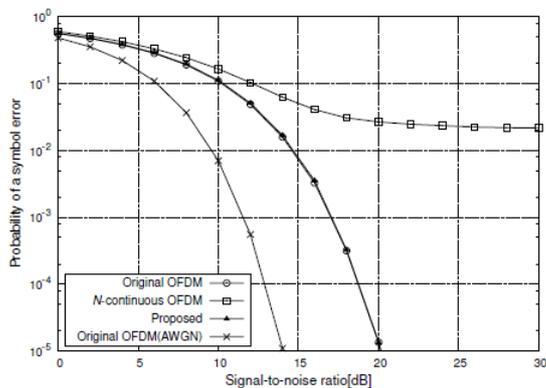


図5 誤り率特性 (マルチパス)

り AWGN 下においては理想的な結果と一致しており、誤り率劣化が生じないことが確認できる。また図5よりフェージング下でも理想的な場合と結果が重なっており、提案法の有効性が確認された。

さらに、同期性能について評価した結果、従来法よりも同期性能は良く、さらに簡単な補正でさらに改善できることを確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計4件)

太田正哉, 鳥越薫平, 川崎耀, 山下勝己, 基地局停止時のスマートフォンを用いた近距離通信システムに関する基礎的検討, 査読有, 電気学会論文誌C, 印刷中

H.Kawasaki, M.Ohta, K.Yamashita, Extension of N-continuous OFDM Precoder Matrix for Improving Error Rate, 査読有, IEEE Communications Letters, no.19, pp.283-286, 2015.
DOI: 10.1109/LCOMM.2014.2379643

川崎耀, 太田正哉, 山下勝己, コグニティブ無線に向けた NCSP-OFDM のサイドローブ抑圧性能の評価, 査読有, 電気学会論文誌C, no.134, pp.1624-1625, 2014.
DOI: 10.1541/ieejieiss.134.1624

M.Ohta, Y.Kanematsu, K.Yamashita, Improvement of SER of spectrum sculpting precoder with SLM for sidelobe suppression of OFDM signal, 査読有, IEICE Communication Express, vol.3, no.3, pp.118-123, 2014.
DOI: 10.1587/comex.3.118

〔学会発表〕(計5件)

M.Ohta, H.Kawasaki, K.Torigoe, K.Yamashita, Matrix Decomposition Suitable for FPGA Implementation of N-continuous OFDM, International

Conference on ICT Convergence 2014 (ICTC2014), 2014年10月23日, 釜山(韓国).

H.Kawasaki, T.Fujita, M.Ohta, K.Yamashita, Timing Synchronization Performance of N-continuous Symbol Padding OFDM, International Conference on ICT Convergence 2014 (ICTC2014), 2014年10月23日, 釜山(韓国).

H.Kawasaki, M.Ohta, K.Yamashita, N-continuous Symbol Padding OFDM for Sidelobe Suppression, The 2014 IEEE International Conference on Communications (ICC2014), 2014年6月12日, シドニー(オーストラリア).

M.Ohta, H.Kawasaki, K.Yamashita, FPGA Implementation of N-continuous OFDM with SLM for Sidelobe Suppression, The 28th International Technical Conference of Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC2013), 2013年7月2日, 麗水(韓国).

M.Ohta, Y.Kanematsu, K.Yamashita, Spectrum Sculpting precoder with SLM for Sidelobe Suppression of OFDM signal, The 28th International Technical Conference of Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC2013), 2013年7月2日, 麗水(韓国).

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕
なし

6. 研究組織

(1)研究代表者
太田 正哉 (OHTA, Masaya)
大阪府立大学大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 70288786

(2)研究分担者
なし

(3)連携研究者
なし