

論文の内容の要旨

論文題目 次世代ワイヤレス通信システム向け広帯域電力増幅器の非線形歪補償技術の研究

氏名 福田 英輔

概要

近年の爆発的なモバイルトラフィックを収容するため、第4世代(4G)、更には第5世代モバイル(5G)の研究が進められている。なかでも電力増幅器はモバイルネットワーク全体の約40%のエネルギーを消費しているため、その低消費電力化が大きな技術課題となっている。電力増幅器には線形性のみならず高い電力効率が求められるため、できるだけ飽和出力レベルに近い領域で増幅器を動作させることで電力効率の向上を図ると同時に、発生する非線形歪の逆特性を増幅器前段で生成しこれを補償するDigital Pre-Distortion (DPD)方式が多く用いられている。しかし、4Gや5Gでは、従来以上に広い周波数帯域幅を使用するため、過去の入力信号が現在の非線形歪に影響を与える、所謂、「メモリ効果」が現れ、DPDの非線形歪補償性能を劣化させる。本論文では、まず、メモリ多項式モデルを簡略化した広帯域電力増幅器のモデリングを行い、「分離型メモリ多項式モデル」(第3章)を導いた。次に、この増幅器モデルに基づき、新たな非線形歪補償方式である「分離更新型プリディストーション (SU-DPD^{*1})方式」(第4章)を考案し、その非線形歪補償効果とそれに伴う電力効率の改善性能を示した。更に、本SU-DPD方式を「パラレル・ウィーナ型モデルへ適用」(第5章)した場合の非線形歪補償能力を示し、SU-DPDを適用できる増幅器モデルの拡張について検討した。本研究により、広帯域電力増幅器の効率的な非線形歪補償が可能になり、次世代ワイヤレス通信システム向け基地局増幅器の低消費電力化を達成できる見通しを得た。

^{*1} SU-DPD: Separate Updating Digital Pre-Distortion

論文の内容の詳細

第1章 序論

4Gや5Gなどの高速ワイヤレス通信システムの要求性能を俯瞰し、モバイルネットワークにおける広帯域電力増幅器の位置づけと背景について述べるとともに、論文全体の構成を示す。

第2章 ワイヤレス通信向け電力増幅器

モバイルネットワークに不可欠な電力増幅器の課題を線形性と電力効率の観点から概説し、特に、ワイヤレス通信の高速化に伴い顕在化する「メモリ効果」を有する広帯域電力増幅器の技術課題を述べる。

第3章 分離型メモリ多項式モデル

構成が簡易で適用範囲が広いことから多くの研究者が採用しているメモリ多項式モデルの係数を、半導体デバイスのジャンクション温度に応じて変動する非線形性に対応付けられるパラメータと、相対的にゆっくりと変動する準定常なLTI (Linear Time-Invariant)フィルタのインパルスレスポンスに分離できることを示す。

第4章 分離更新型プリディストーション(SU-DPD)方式

(1) 目的

メモリ効果を有する広帯域電力増幅器の電力効率の改善を目的に、処理量の少ない新たな非線形歪補償技術を検討する。

(2) 方法

分離型メモリ多項式モデルの二つのパラメータの変動速度が大きく異なることに着目し、これらを独立に推定・更新する手法を考案した。更に、これらのパラメータを用いて非線形歪の逆特性を生成し、非線形歪を効率的に補償する「分離更新型プリディストーション(SU-DPD)方式」を考案した。隣接チャネル漏洩電力比(ACLR^{*2})を評価尺度として用いて非線形歪補償性能をシミュレーションにより評価した。

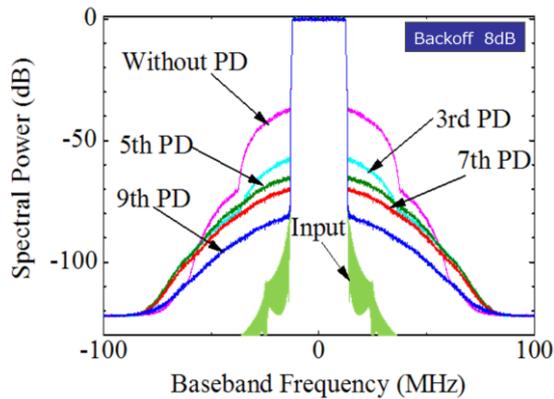
^{*2} ACLR: Adjacent Channel Leakage power Ratio

(3) 結果

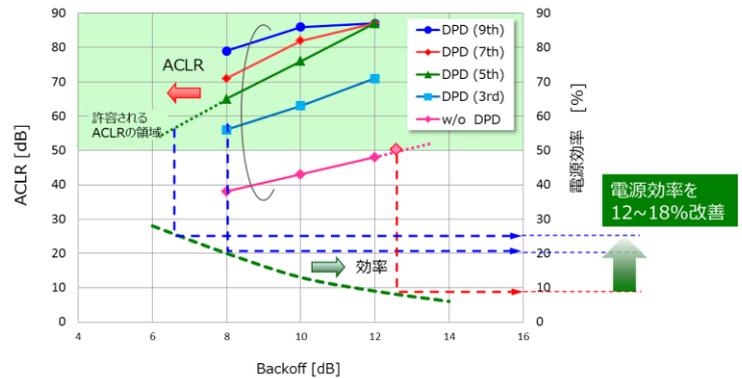
飽和出力レベルから8 dBバックオフした点で電力増幅器を動作させたとき、SU-DPD方式を適用しない場合と比較して出力スペクトラムのACLRを18 dB以上改善し、基地局増幅器のACLR規格を満足できることを明らかにした。

(4) 結論

SU-DPD方式を適用しない場合には、ACLR規格を満足するために12 dB以上のバックオフが必要であるが、SU-DPD方式を適用することによりバックオフを4 dB低減することが可能になり、この結果、広帯域電力増幅器の電力効率を12~18%改善でき



SU-DPDによる非線形歪の改善



SU-DPDによる ACLR, ならびに電力効率の改善

ることを示した。これにより、4Gや5Gなどの次世代モバイルネットワークの消費電力を大きく低減できる見通しを得た。

第5章 パラレル・ウィーナ型モデルへの適用

(1) 目的

広帯域電力増幅器のモデルには多数のバリエーションがあるが、SU-DPD方式を分離型メモリ多項式モデル以外の増幅器モデルに適用した場合の効果を予測するため、とりわけ、非線形部とLTI部の順序が逆の構成になっているパラレル・ウィーナ型モデルを取り上げ、SU-DPD方式の非線形歪補償能力を評価し、その適用範囲の拡張を検討した。

(2) 方法

パラレル・ウィーナ型モデルを分離型メモリ多項式モデルと見なした場合の誤差、ならびにSU-DPD方式を適用した場合の非線形歪補償能力をシミュレーションで評価した。

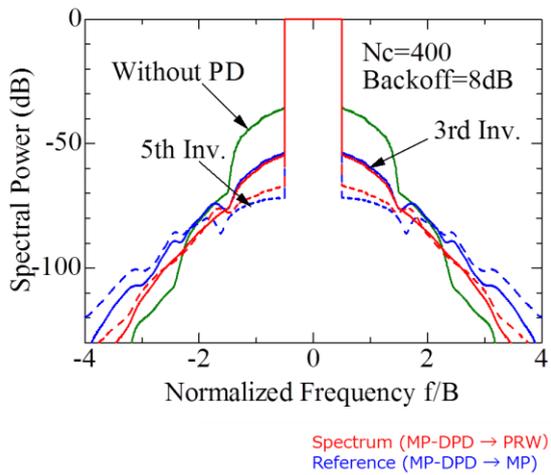
(3) 結果

増幅器のバックオフが8 dBのとき、5次のDPDではACLRの改善量に限界が見られるものの、3次のDPDではパラレル・ウィーナ型モデルの増幅器にSU-DPD方式を適用しても同等の非線形歪補償能力を有することを明らかにした。また、SU-DPDを適用しない場合と比較してACLRを20 dB以上改善できることを示した。

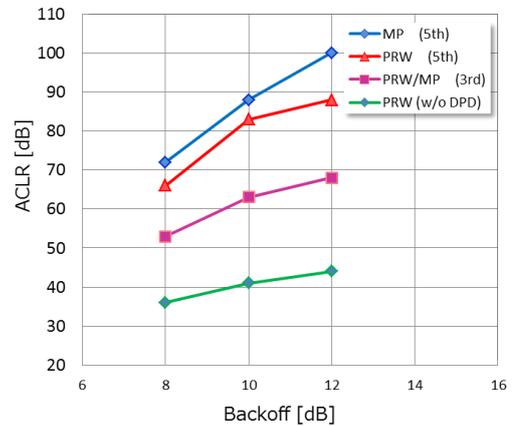
(4) 結論

パラレル・ウィーナ型モデルを分離型メモリ多項式モデルと見なしてSU-DPD方式を適用しても、実用上十分な非線形歪補償効果が得られ、基地局増幅器の所要ACLR

を満足できることを示した。これにより、SU-DPD方式を適用可能な増幅器モデルの範囲の拡大に一定の道筋をつけた。



パラレル・ウィーナ型モデルに SU-DPD を適用した場合の出カスペクトラム



パラレル・ウィーナ型モデルに SU-DPD を適用した場合の ACLR 改善性能

第6章 結論

「分離型メモリ多項式モデル」に基づき、メモリ効果を持つ広帯域電力増幅器の高効率化の手法として「分離更新型プリディストーション (SU-DPD)方式」を考案し、その非線形歪補償性能を評価した。更に、「パラレル・ウィーナ型モデルへの適用」について検討を行い、本方式の有効性と適用領域を拡張できる可能性を示した。以上の結果、次世代ワイヤレス通信システムにおける技術課題の一つである基地局増幅器のエネルギー消費を低減できる見通しを得た。