

(続紙 1)

京都大学	博士 (情報学)	氏名	中村 道春
論文題目	メモリ多項式モデルを用いた電力増幅器の非線形歪み補償に関する研究		
(論文内容の要旨)			
<p>ワイヤレス移動通信システムが扱う通信トラフィックは増加しており、これを扱うために通信機器内で発生するエネルギー消費の増加を抑えることが急務である。ワイヤレス移動通信システムの中で最も多く電力を消費しているのは無線基地局における電力増幅器であるため、電力増幅器の省電力化技術の研究開発が非常に重要である。電力増幅器における省電力化技術の一つとして、電力増幅器を高効率で動作させる際に発生する非線形歪みを抑制するために必要な非線形歪み補償技術に関する検討が行われている。電力増幅器における非線形歪み補償技術として、電力増幅器単体の非線形特性の逆特性を電力増幅器の入力に施すプリディストーション処理を、デジタル信号処理により行うデジタルプリディスタータ (Digital Pre-distorter: DPD) が、アナログ歪み補償技術に比べ扱いやすく、高精度で消費電力オーバーヘッドの少ない歪み補償を実現できることから広く検討されている。</p> <p>DPD では、電力増幅器の非線形特性あるいはその逆特性を、ビヘイビオラルモデルと呼ばれる数式化したモデルで扱う。中でもメモリ多項式 (Memory Polynomial: MP) モデルは比較的簡単な構成モデルとして知られている。電力増幅器において所望の非線形特性が複雑な構成のビヘイビオラルモデルで表現されている場合は、歪み補償動作の要求性能に照らして精度劣化が許容できる範囲の非線形特性を持つメモリ多項式モデルに変換してから DPD にすることが望ましい。そのためには複雑な構成のビヘイビオラルモデルをメモリ多項式モデルに変換する方法、特に変換に伴う精度劣化が小さく、かつリーズナブルな計算負荷で変換可能なメモリ多項式モデルのパラメータ抽出方法の確立が必要とされているが、これまで検討されている抽出方法は計算量と数値安定性の観点で問題があった。</p> <p>本論文では、周波数ドメイン演算によるメモリ多項式モデルのパラメータ抽出方法を提案し、計算機シミュレーション評価により、その有効性を検討した。提案方法は、メモリレス非線形要素と線形時不変要素で構成されるメモリ多項式モデルが、線形時不変要素の周波数特性により特定できることに基づいて導出する。従来のパラメータ抽出法に比べ少ない計算量で実現でき、数値安定性に優れたパラメータ抽出を実現できる。</p> <p>本論文の成果により、現在運用中の第5世代さらに第5世代以降のワイヤレス移動通信システムで今後無線基地局装置の数が増加した場合においても、複数無線基地局装置の電力増幅器に関する設定パラメータをソフトウェアにより手動および自動で変更でき、無線基地局の省電力でかつ効率的な運用が期待できる。</p> <p>本論文の構成は、まず第1章で、ワイヤレス移動通信システムとその消費エネルギー増加の傾向、無線基地局の低消費電力化における非線形歪み補償技術の位置づけ述べた。第2章では、DPD において非線形特性を扱うビヘイビオラルモデルやプリディストーション処理に適用する逆特性モデルの導出について既存研究内容を中心に概説した。第3章では、周波数ドメイン演算によるMPモデルのパラメータ抽出方法の具体的な計算方法を確立した。そして逆特性モデルの導出で複雑化した5次インバースモデルをメモリ多項式モデルに変換して DPD に適用するシナリオを想定し、モデル変換誤差や、DPD に適用した際の歪み補償特性、またモデル変換に必要な計算量の評価を実施した。第4章では、第3章で導いた計算方法による計算が、変換対象である逆特性のビヘイビオラルモデルのパラメータに由来する部分と、統計情報としてあらかじめ</p>			

計算可能な増幅する信号に由来する部分に分離でき、MPモデルのパラメータが、変換対象である逆特性のビヘイビオラルモデルの入出力データを必要とせず、そのパラメータから確定的に算出可能であることを示し、変換したMPモデルがプリディストータとして元の逆特性のビヘイビオラルモデルに代えて適用可能であることを示した。第5章では、変換対象が非線形次数ごとに分離されていない入出力データである場合に対して、提案した周波数ドメイン演算によるMPモデルのパラメータ抽出を可能にするため、第3章で導いた計算方法に、直交多項式および段階的なパラメータ抽出を適用する拡張を行い、実用上十分な歪補償特性が確保できることを示した。最後に第6章にて本論文の結論を述べた。

(論文審査の結果の要旨)

本研究は、ワイヤレス移動通信システムの無線基地局における電力増幅器の省電力化の実現を目的として、デジタル信号処理により電力増幅器の非線形歪み補償を行う デジタルプリディストorter (Digital Pre-distorter: DPD) において非線形電力増幅器の非線形特性やその逆特性を扱うために使用されるビヘイビオラルモデルに関し、メモリ多項式 (Memory Polynomial: MP) モデルに注目し、高効率動作と信号品質の維持を両立させるパラメータ抽出法に関して提案、評価し、実用上十分な歪補償特性が確保できることを実証したものである。得られた主な研究成果は以下の通りである。

1. MP モデルがその構成要素である線形時不変 (Linear Time-Invariant: LTI) 要素の周波数特性により決定できることに着目した数値安定性に優れたパラメータの抽出の計算方法を提案し、最小二乗法を用いる従来方式に比べ計算量を1/3程度に削減できることを示した。
2. 提案パラメータ抽出法が変換元モデルパラメータに由来する部分と増幅する信号に由来する部分に分離することが可能であることを明らかにし、増幅する信号に由来する部分があらかじめ計算可能な統計情報として与えられれば、変換元モデルの入出力データを用意する必要なく、変換元モデルのパラメータから確定的に MP モデルのパラメータが決定できることを明らかにした。
3. 提案パラメータ抽出法を非線形電力増幅器の入出力の観測データなど非線形次数ごとに分離されていない非線形特性を対象にしたパラメータ抽出に用いることができるよう、線形・非線形ベース関数に直交多項式を用いることと、低次パラメータによる非線形特性の推定値をパラメータ抽出の対象の非線形特性から減算して高次パラメータ抽出を段階的に行うことを併用することにより周波数ドメイン演算による MP モデルのパラメータ抽出を可能にした。

以上、本論文は、ワイヤレス移動通信システムの無線基地局における電力増幅器の省電力化の実現する非線形電力増幅器の非線形特性やその逆特性を扱うために使用されるビヘイビオラルモデルの研究を行い、省電力化、高効率化につながる有用ないくつかの要素技術に関して知見を与えたものであり、学術上また實際上、将来の無線通信システムの発展に貢献するところが少なくない。よって、本論文は博士 (情報学) の学位論文として価値あるものと認める。

また、令和4年2月15日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。また、本論文のインターネットでの全文公表についても支障がないことを確認した。なお、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

要旨公開可能日： 令和4年4月1日以降