

2021年 2月 22日

豊橋技術科学大学長 殿

電気・電子情報工学専攻

学位審査委員会

委員長 内田 裕久



論文審査及び最終試験の結果報告

このことについて、博士学位論文審査を実施し、下記の結果を得ましたので報告いたします。

学位申請者	小松 和暉		学籍番号	第 143229 号
申請学位	博士 (工学)	専攻名	大学院工学研究科博士後期課程 電気・電子情報工学専攻	
博士学位 論文名	Nonlinear Self-Interference Cancellers for In-Band Full-Duplex Radios (帯域内全二重無線のための非線形自己干渉キャンセラ)			
論文審査の 期間	2021年 1月 14日 ～ 2021年 2月 22日			
公開審査会 の日	2021年 1月 28日		最終試験の 実施日	2021年 1月 28日
論文審査の 結果※	合格		最終試験の 結果※	合格
審査委員会(学位規程第6条) 学位申請者にかかる博士学位論文について、論文審査、公開審査会及び最終試験を行い、別紙論文内容の要旨及び審査結果の要旨のとおり確認したので、学位審査委員会に報告します。 委員長 大平 孝  委員 市川 周一  上原 秀幸  印 印				

※論文審査の結果及び最終試験の結果は「合格」又は「不合格」の評語で記入すること。

論文内容の要旨

本論文は、帯域内全二重無線実現に必須な非線形自己干渉除去器の技術課題に取り組んだ成果をまとめたものである。帯域内全二重無線の実現を阻害する大きな問題に自己干渉がある。自己干渉は、所望信号に対して非常に大きく、また無線伝搬路と無線通信機を構成する高周波回路の非線形性により歪んでいる。非線形な歪みを考慮したデジタル自己干渉除去器は、一般に、計算量が大きく、収束性が悪い。本論文は、デジタル自己干渉除去器の計算量と収束性の課題を解決する方法を提案している。加えて、干渉除去性能の理論解析法を構築し、更なる干渉除去性能の向上について論じている。

本論文は、全6章で構成されている。第1章は序論であり、帯域内全二重無線と自己干渉除去、高周波回路であるミキサと増幅器の関係を示している。また、比較手法となる時間領域並列ハマーシュタイン型干渉除去器について説明している。第2章では、無線伝搬路と非線形要素の全体を周波数領域で学習する並列ハマーシュタイン型干渉除去器を提案している。第3章では、第2章で提案した手法をもとに、計算量と収束性を改善するための基底選択法を提案している。第4章では、第2章および第3章で提案した並列ハマーシュタイン型干渉除去器とは異なり、無線伝搬路と無線通信機の回路構成の事前知識を利用し、繰り返しの途中で無線伝搬路と非線形要素を個別に学習する干渉除去器を提案している。提案する干渉除去器は、推定する未知数を本質的に削減できるため、比較手法の時間領域並列ハマーシュタイン型干渉除去器に比べ計算量と収束性を飛躍的に改善できることを示している。第5章では、帯域内全二重に並列ハマーシュタイン型干渉除去器を適用した際の干渉除去性能の理論解析法を提案している。提案解析法は、直交多項式による一般フーリエ級数展開を利用することで、増幅器の特性や干渉除去器の次数の柔軟な設定を可能にするものである。また、干渉除去器にとって望ましい増幅器の特性について言及している。第6章は結論であり、これまでの章を総括するとともに、今後の課題と展望を述べている。

審査結果の要旨

帯域内全二重無線は、周波数利用効率を2倍に高めることができるため、次世代の無線通信技術として注目されている。しかしながら、所望信号に比べ非常に大きな自己干渉が問題である。帯域内全二重無線の実現には、高精度な干渉除去を実用的な計算量と現実的な時間で達成しなければならない。

本論文では、計算量と収束性の両課題を解決するために、随所に分割統治の概念が応用されている。第2章および第3章で提案されている周波数領域の学習では、信号の周波数領域での直交性を利用した干渉除去器を構成し、周波数ごとに分割した自由度に加え、基底ごとに分割した自由度を与えている。これにより、自己干渉信号の伝送路特性を学習する上で重要な周波数成分と基底のみを選択して学習することを可能にしている。従来の時間領域の手法に対して、計算量を約1万分の1に削減し、わずか6個のトレーニングシンボルで収束して、45 dB以上の除去性能を達成している。第4章では、自己干渉信号の伝送路特性を無線伝搬路と無線通信機を構成する高周波回路の要素ごとに分割した干渉除去器を提案している。単純に分割するだけでは、各入出力特性が相互に作用する。そこで、各入出力特性を演算子として記述し、逆演算子による相互作用の緩和と未知数の推定の繰り返し処理を可能にしている。第2章および第3章で提案している周波数領域の手法に対して、計算量半分、収束性2倍、6 dBの除去量改善を達成している。第5章で提案している解析法は、自己干渉信号の伝送路特性と干渉除去器を直交多項式によって分割した表現に基づいている。これにより、増幅器の特性を多項式だけでなく一般の関数に拡張できる。解析結果は、シミュレーション結果と高い精度で一致しているだけでなく、理想的な飽和特性を持つ増幅器よりも望ましい増幅器特性の存在を示唆している。これらの干渉除去器の設計指針や通信性能の理論解析は、帯域内全二重無線の実現を大きく押し進める成果であり、学術的、工学的に高く評価できる。

以上より、本論文は博士（工学）の学位論文に相当するものと判定した。

(各要旨は1ページ以上可)