

(続紙 1)

京都大学	博士 (情報学)	氏名	森 聖太
論文題目	In-Band Full-Duplex Transmission for Next Generation Mobile Communication (次世代移動通信における帯域内全二重通信)		
(論文内容の要旨)			
<p>第5世代移動通信システム (5G) の商用展開およびその5Gを利用した様々な新しいアプリケーションの誕生に伴い、個人で利用する通信容量は増大し続けることが予想されている。このような将来爆発的に増大する通信トラフィックを収容するためにミリ波やテラヘルツ波など高周波数帯の利用が検討されている。しかし、これらの周波数は、現状5Gで利用されているマイクロ波帯での通信と異なり広い通信エリアを確保できない。そこで現状利用されているマイクロ波帯において、周波数利用効率を向上させる技術の開発が急務である。本論文ではこの課題を解決するために5Gにおいて帯域内全二重通信 (In-Band Full-Duplex: IBFD) を実現することを目的とする。</p> <p>このIBFDは同じ周波数帯、同じ時間において送信と受信を同時に実行する複信方式であり、従来の半二重通信システムと比較すると、理論的には周波数利用効率を2倍にすることが可能になる。しかし、IBFDを導入したセルラシステム (Full-Duplex Cellular: FDC) を実現する場合、基地局で発生する自己干渉 (Self-Interference: SI) や端末同士で干渉する端末間干渉 (Inter-User Interference: IUI) が通信品質や基地局が複数の端末に通信リソースを割り振るスケジューリング動作に重大な影響を与える。また、5GにおけるFDC (5G-FDC) の実現のためには、5Gの信号フォーマットを利用した干渉抑圧及び低減手法の開発が必須である。しかし、これらの方式はまだ確立されていない。</p> <p>5G-FDC実現のために、本論文では初めにデジタルSIキャンセラ (Digital SI Cancellation: D-SIC) を提案する。本手法では、5Gの信号構成や、通信路符号化手法として5Gに採用された低密度パリティチェック符号を考慮しており、現行の5Gに直接導入が可能である。さらに、5G-FDCの実現可能性を実証するため、提案D-SICを導入した5G-FDC物理層プロトタイプをソフトウェア無線機 (Software-Defined Radio: SDR) を用いて開発する。このプロトタイプは基地局、上り (Uplink: UL) 信号を送信する端末、下り (Downlink: DL) 信号を受信する端末から構成されており、5G-FDCの実証が可能である。</p> <p>次に、本論文では逐次干渉キャンセラ (Successive Interference Cancellation: Successive IC) に基づくIUIキャンセラ (IUI Cancellation: IUIIC) を提案する。まず、簡単なモデルを用いた計算機シミュレーションにより、IBFD適用可能領域とIBFD適用率の点でSuccessive ICを用いたIUIICの有効性を示す。その後、IUIキャンセル性能向上のために5Gの信号構成及び通信路符号化を考慮したIUIICを提案する。また、IUIICを導入した5G-FDCシステム全体の動作形態を確立するために、端末スケジューリング及び適応変調アルゴリズムも併せて提案する。</p> <p>さらに本論文では、5G-FDCを電波伝搬特性が変動する環境でも導入および検証を行うために、通信性能やチャネル状態情報の測定が可能でかつ5Gに関連する任意の送受信信号処理手法を導入可能な5G測定プラットフォームを開発する。そして実フィールド</p>			

ドにおける5G-FDCの実現可能性及び有効性について議論を行う。具体的には開発した5G測定プラットフォームを用い、屋外環境及び屋内工場環境を想定したフィールドで電波伝搬データを取得する。実測データに基づく実験評価結果から、実フィールドへのIBFDの導入が実現可能であること、提案IUICがULスループット向上に効果的であることを示す。

本論文の構成は、まず第1章で移動通信システムの背景やIBFDを適用する意義及び実現に際する課題について述べる。第2章では、本論文の前提知識となる5Gの物理層について概説を行う。第3章では、IBFD導入時に発生するSIの低減のため、5GをベースとしたD-SICの提案を行い、計算機シミュレーションによる評価を行う。そして、開発した5G-FDC物理層プロトタイプを用いた実機実験により提案手法の有効性の範囲及び5G-FDCの実現可能性を実証する。第4章では、5G-FDC実現に際して課題となるIUIを低減するため、端末スケジューリング及び適応変調アルゴリズムを含む5GベースIUICを提案し、計算機シミュレーションによりその有効性を示す。第5章では5Gに関連する新技術の実機実験に汎用的に利用可能な、5G測定プラットフォームを開発する。そして、本プラットフォームの利用例の1つとして、高速移動環境下で利用可能な受信信号処理を提案し、その有効性を実機実験により示す。第6章では実フィールドにおけるIBFDの実現可能性及び有効性について実測データに基づき議論を行い、実フィールドへのIBFDの導入に関して展望する。最後に第7章で本論文の結論を述べる。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、5Gにおいて5G-FDCを実現する上での各種課題を解決する送受信信号処理技術および5G-FDCを電波伝搬特性が変動する環境でも導入および検証可能とするために必要となる送受信信号処理技術を提案し、これら要素技術を実機に実装し、その有効性を示したものである。本研究で得られた主な研究成果は以下の通りである。

1. 5G-FDC実現の上での課題の一つであるSIの影響を低減するために、5Gの信号構成や、通信路符号化手法として5Gで採用された低密度パリティチェック符号を考慮したデジタルSIキャンセラ(D-SIC)を提案し、このD-SICを実装した5G-FDC物理層プロトタイプを開発し、IBFD環境下でUL通信がSIの影響を受ける場合でも、提案D-SICによりUL通信が可能であることを示し、5G-FDCを実機により実証している。
2. 5G-FDC実現の上での課題の一つであるIUIの影響を低減するために、逐次干渉キャンセラ(Successive IC)に基づく、5Gの信号構成及び通信路符号化を考慮したIUIキャンセラ(IUIC)、およびIUICを導入した5G-FDCシステムを確立するための端末スケジューリング及び適応変調アルゴリズムを提案し、5G-FDCシステムにおいてIUICを用いない場合と比較してIUICの導入によりDLスループットは僅かに減少するものの、ULスループットを大幅に向上可能であることを示している。
3. 5G-FDCを電波伝搬特性が変動する環境でも導入および検証を行うために、通信性能やチャンネル状態情報の測定が可能でかつ5Gに関連する任意の送受信信号処理手法を導入可能な5G測定プラットフォームを開発し、屋外環境及び屋内工場環境を想定したフィールドで電波伝搬データを取得し、この実測データに基づく実験評価結果から、実フィールドへのIBFDの導入が実現可能であること、提案IUICがULスループット向上に効果的であることを示している。

以上、本論文は、5G-FDCの実現を目指す上での各種課題解決に向けた高度送受信信号処理技術に関する研究、実機実証を行い、5Gの次の世代のシステムいわゆる第6世代移動通信システム(6G)の実現につながるいくつかの要素技術、基盤技術に関して知見を与えたものであり、学術上また実用上、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。

令和6年1月19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、当面の間、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。