

論文の内容の要旨

論文題目	Studies on Power Allocation for Multiple Access with Successive Interference Cancellation (和訳：逐次干渉除去を用いた多元接続システムのパワー割り当てに関する研究)
学位 申請者	林 会 発

未来の無線通信ネットワークでは、あらたにIoT(Internet of Things)のような潜在的なアプリケーションが登場することで、接続される端末数が急激に増加し、膨大な数の端末を収容しなくてはならない。そのため、無線アクセスネットワークは、大規模な端末の多元接続と高い周波数利用効率を求められる。情報理論の視点から見ると、直交多元接続は必ずしも最適なプロトコルではない。多元接続の通信路容量の限界を達成するためには、非直交多元接続とマルチユーザ検出(MUD: multiuser detection)技術が必要になる。非直交の符号分割多元接続(CDMA: code-division multiple access)については、複数のMUD技術が提案されている。その中で、逐次干渉除去(SIC: successive interference cancellation)は、その低複雑さと良好な検出性能から、実用化が期待されているMUD方法である。

ランダムアクセスはバースト的なデータを扱うために設計されたプロトコルである。チャンネル化された多元接続法と比較すると、遅延特性が改善できる。基地局による集中的な割り当てと違い、端末同士がお互いに自律的に競合してチャンネルを占有するため、パケットの衝突が一定の確率で発生する。そのため、トラフィック負荷が高くなった場合は、衝突が増加し、スループットが劣化する。しかし、マルチパケット受信(MPR: multiple packet reception)技術と呼ばれる複雑な検出方法を活用することで、複数のパケットが衝突している受信信号でも複数のパケットを分離して検出することが可能となる。SIC受信機は、逐次的に正しく検出したパケットを受信信号から除去することで、さらに多数のパケットを検出できる可能性を持つ。

増加する無線端末による無線周波数資源の不足に対応するため、ダイナミックな周波数共用を行うコグニティブ無線(CR: cognitive radio)が有望な技術の

一つとして期待されている。コグニティブ無線は、プライマリユーザ (PU: Primary User) が利用する周波数をセカンダリユーザ (SU: Secondary User) が共用することを、プライマリ基地局の干渉量を制限し、プライマリシステムの QoS (Quality of Service) を保護することを条件に認めるものである。この時、セカンダリ基地局への上りリンクで多元接続する際には、干渉量を抑制ため、セカンダリ端末の送信電力の割り当てが不可欠である。

多数の多元接続システムにおいて、送信電力割り当て方法はよく研究されている。基地局が集中的に電力を制御するかどうかにより、電力制御の方法は二つのタイプに分類できる。集中電力割り当て方法は、基地局が下りチャネル通じて端末の送信電力を制御する。分散電力割り当て方法は、端末が与えられた送信電力と分布の情報によって送信電力を自律的に決定する。

本論文では、逐次干渉除去を用いたランダムアクセスシステムの分散電力制御の研究を行う。本論文は全体が6章で構成されており、1章で研究背景を、2章では関連する基礎技術についての説明を行っている。3章ではスループット特性の改善を目指して、衝突状態でも複数のパケットの復号が可能である一般的な SIC 受信機のための、分散電力割り当て (DPA: decentralized power allocation) を提案する。4章では、MAC 層と物理層双方を考慮して、全体データレートを最大化するための、改良 DPA アルゴリズムを提案する。また推定ユーザ数が実際のユーザ数とミスマッチを引き起こした場合の性能評価を行う。5章では、より現実的なモデルの下で、コグニティブ無線における二次ユーザのランダムアクセスのための DPA アルゴリズムを提案する。さらにフェージング環境における干渉電力低減のための日和見型送信プロトコルを提案する。最後に 6 章で、本論文をまとめる。

論文審査の結果の要旨

学位申請者氏名 林 会 発

審査委員主査 藤井 威生

委員 唐沢 好男

委員 山尾 泰

委員 石橋 功至

委員 八木 秀樹

委員 ※Won-Yong Shin

第一章では、本論文全体の背景について説明している。本論文で考える非直交多元接続(NOMA: Non-orthogonal multiple access)は将来の無線アクセス方式として、周波数利用効率を改善できる技術であり、近年高い注目を集めている。現在、検討されているNOMA方式では、周波数利用効率の準最適性や、比較的実装の複雑度が小さい点から、逐次干渉キャンセラ(SIC: successive interference cancellation)の適用が広く検討されている。SICを用いたNOMA方式では、高い周波数利用効率を得るために、他ユーザの干渉量を制御する送信電力割り当てが重要となる。本論文では、SICを用いたランダムアクセスのための、分散電力割り当てについて検討することとし、本章でその位置づけを明確化している。

第二章では、本論文に関連する技術のオーバービューとして電力制御を用いた多元接続方式について、過去の様々な研究を参照しながら紹介している。はじめに、無線通信の多元接続方式について述べ、干渉を許容するアルゴリズムや干渉を回避するアルゴリズムについて説明している。次に、本研究の核となるSICについてその従来技術の説明を行っている。さらに、キャパシティの議論からその有用性について述べている。その後、多元接続環境での電力制御として、集中制御と分散制御についてそれぞれの利点・欠点を明らかにし、本研究では簡易な分散制御を適用することの理由について明確に述べている。

第三章では、SICに分散電力割り当て(DPA: decentralized power allocation)を適用することにより、無線アクセスプロトコルでの衝突回避を行わない環境でもスループット特性が改善することを示している。ここでは、衝突回避を行わないランダムアクセスプロトコルを採用し、受信側にはSIC機能を持つ受信機を備えることで、複数のパケットの複号が可能となることを示している。加えて、電力制御をマルチレベル化し、準最適な制御を行うことでスループット改善効果を示している。最終的に、シミュレーションと解析からその有効性を評価している。

第四章では、第三章で評価した分散電力制御をおこなうことでSICの性能改善とスループットの向上を図った手法に対して、MAC層と物理層双方を考慮して、クロスレイヤで全体データレートを最大化するための、改良DPAアルゴリズムを提案する。ここでは、アクティブなユーザ数に応じた電力レベルの推定により、スループットの改善を図っている。また、推定ユーザ数が実際のユーザ数とミスマッチを引き起こした場合の性能評価を行う。ここでは計算機シミュレーションにより、その有効性を確認している。

第五章では、コグニティブ無線における二次ユーザのランダムアクセスのためのDPAアルゴリズムを提案している。本章ではより現実的なモデルとして、SICの動作が不完全な場合を想定して、ランダムなユーザ数での性能評価を行っている。また、コグニティブ無線環境を考慮して、フェージング環境で、プライマリユーザに対しての干渉度を低減するため、二次ユーザとしての電力制限が存在する環境での日和見型送信プロトコルの提案を行っている。これらの提案について、計算機シミュレーションによりその有効性を評価している。

最後に第六章では、本論文の全体をまとめ、将来の課題について述べている。

本論文について、平成28年2月2日に公聴会および最終審査会を開催して、学位授与の審査を行った。審査の結果、本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値を有するものと認める。