

論文の内容の要旨

論文題目	Studies on Resource Allocation for Spectrum Sharing considering Interference Constraint of Primary System (和訳：プライマリシステムの干渉制限を考慮した周波数共用のためのリソース割り当てに関する研究)
学位申請者	稲毛 契

現在、無線通信では周波数資源の枯渇が深刻な問題となっており、抜本的な対策技術として異種無線システム間の周波数共用に注目が集まっている。その中でもコグニティブ無線技術が周波数共用を実現する技術として多くの検討がなされている。コグニティブ無線とは周辺の無線環境を端末自身が認識し、その結果に基づいて自身の通信方式を動的に変更可能とする技術である。このコグニティブ無線を用いて、既に専用帯域を割り当てられている既存システム（プライマリシステム）の周波数帯をコグニティブシステム（セカンダリシステム）が二次的に利用する。

周波数共用を行う際に、セカンダリシステムはプライマリシステムの通信を保護する必要があるが、その保護を規定する干渉制約規範については複数の指標を用いた制約式が提案されている。しかしながら提案された指標による制限では、セカンダリシステムが制約を満たしていたとしても、幅広い信号対雑音電力（SNR）を持つシステムの一部へ大きな通信品質劣化を回避できない問題があった。本論文では、この問題に着目し広域のSNR領域をサポート可能な干渉制約の規範の検討を行った。規範にはセカンダリシステムからの干渉を受ける前の通信容量と干渉後の劣化した通信容量の比を通信容量保持率として定義し指標として用いている。また、既存研究ではセルラ通信のような多ユーザに対して動的にリソースを割り当てるスケジューリング動作への影響を考慮した検討が未検討であることから、提案指標が動的なリソース配分を行うシステムに対して保護可能であるかの影響評価も行っている。提案した通信容量保持率に基づいた干渉制約は広いSNRの領域のプライマリ受信機に対して閾値を変更することなく大きな劣化を全領域で回避可能であり、動的割り当てのスケジューリング性能指標のうち、ユーザ間の公平性および遅延の保護特性に対して従来の指標を用いた干渉制約式よりも良好な特性を示すことを示した。

周波数共用では規定した干渉制約式を満足することで周波数共用が可能となるため、この提案した指標を用いた干渉制約式に基づいた周波数共用方法について、制約達成方法としてセカンダリシステムの送信電力制御の検討を行った。

この送信電力制御は干渉制約で求められる指標値を閾値以上に保ち、その条件を満足できない確率を一定以下に抑えることを目的としている。セカンダリシステムが取得可能なチャネル情報が限定的であるとした状態で電波伝搬における確率的な信号強度の振る舞いを考慮し、解析結果から厳密な制約達成が可能な送信電力決定式を提案した。また、厳密式は閉形式で記述できないため、より簡易に用いることができる簡易な送信電力制御についても検討を行っている。解析的評価より、厳密式、簡易式の両手法が提案した干渉制約を達成可能であることを確認し、簡易化したことによるセカンダリ側の性能劣化が小さいものであることを示した。

最後に干渉制約によって送信電力を制限された状態であり、プライマリシステムからの干渉が到来することによるセカンダリ端末の性能劣化が発生する環境での高い通信品質が達成可能なリソース分配について検討を行った。提案するリソース分配法では、干渉制約の指標に用いた通信容量保持率の概念を適用し、効率的なスケジューリングの設計を検討した。その際に必要な情報を増加させることなく、過去と現在のフィードバック情報を用いて通信容量保持率の概念を拡張した重み係数を利用することで限定的なフィードバック情報から各端末のチャネル状態を補正し、重み係数と従来のスケジューリング指標の組み合わせで高レートあるいは高い公平性を達成した。

以上の3つの検討により、幅広いSNRを持つシステムおよび動的リソース割り当てを行うシステムの保護可能な干渉制約を提案したことにより周波数共用可能な対象システムの拡大、特にセルラ通信システムとの周波数共用、セルラ通信の規格で検討されている異なるヘテロジニアスネットワークへの性能向上にも貢献するものである。また提案した干渉制約達成の手法により、セカンダリシステムの周波数共用実現について貢献できるものである。制約達成下におけるセカンダリシステム性能向上が可能なリソース分配手法では重み係数と従来のスケジューリング指標の組み合わせで、高レートあるいは高公平性を達成可能であることは、コグニティブ無線におけるアプリケーションの要求に応じたリソース分配を可能とするもので、周波数共用の実現に対する貢献といえる。

論文審査の結果の要旨

学位申請者氏名 稲毛 契

審査委員主査 藤井 威生

委員 唐沢 好男

委員 山尾 泰

委員 小島 年春

委員 ※田久 修

平成26年2月13日に論文審査のための公聴会および最終試験を、5名の審査委員出席のもとで実施した。当日は学位申請者から6.0分かけて論文内容の発表を行ってもらい、その後40分間の質疑応答を行うことで、研究内容に対する学術面及び実用面双方からの視点で質疑応答を行った。今回審査を行った学位論文は、コグニティブ無線における周波数共用環境での既存システムの周波数帯を他システム（二次システム）が二次利用するために干渉制限指標及びリソース割り当てに関する研究を行ったものである。まず、既存システムに与える干渉状態の評価規範について提案を行い、幅広い通信品質の既存システムを保護可能な干渉制限およびその干渉制限を達成可能な送信電力制御の検討を行った。次に、既存システムが複数端末に対して無線リソースをスケジューリングするモデルへと拡張し、二次システムが干渉を回避しつつ、効率的なリソース割り当てを行う手法に関する検討を行った。

各章の構成は以下のような内容である。

第一章では、本論文で取り扱うセルラシステムにおける周波数共用技術について、その課題を概説し、研究テーマの着想に至る経緯を記述している。また、本論文で着目する周波数共用規範の必要性を述べ、本論文の研究の位置づけを明確にしている。

第二章では、本研究で取り扱うコグニティブ無線の現状の紹介を行っている。まず、コグニティブ無線の全体像を述べた後、コグニティブ無線の基本となる、マルチモードシステムとダイナミックスペクトラムアクセスの紹介をしている。本論文でターゲットとするダイナミックスペクトラムアクセスでは一次システムと二次システムとの間での周波数共用を行うが、この周波数共用方式として、アンダーレイ型とオーバーレイ型という二つの形態の説明を行っている。また、周波数共用に外部からの情報を併用する技術の概説を行い、関連研究に関する紹介を行っている。

第三章ではセルラネットワークにコグニティブ無線の周波数共用を適用するヘテロジニアスネットワーク技術を、セルラ通信の基礎技術から、無線リソースの適応利用を行うスケジューリング技術などを含めて概説している。その後干渉制限のための基礎技術としてセル間干渉に関する制御法の紹介を行っている。

第四章では、本論文の主題である周波数共用のための新たな規範として提案する通信容量保持率についての説明を行っている。本規範は一次システムの通信路容量の周波数共用による低下割合に基準値を設け、その基準を下回る確率を一定以下に抑えるというものであり、一次システムの通信路容量を大幅に劣化させることなく二次システムが同一の周波数を活用できるものである。この新たな規範の優位性を理論解析とシミュレーションにより確認している。

第五章は、第四章で提案した通信容量保持を活用して、通信路容量の劣化を最小限に抑えるための二次システムの送信電力制御技術についての検討を行ったものである。この送信電力制御は干渉制約で求められる指標値を閾値以上に保ち、その条件を満足できない確率を一定以下に抑えることを目的としている。二次システムが取得可能なチャネル情報が限定的であるとした状態で電波伝搬における確率的な信号強度の振る舞いを考慮し、解析結果から厳密な制約達成が可能な送信電力決定式を提案した。また、厳密式は閉形式で記述できないため、より簡易に用いることができる簡易な送信電力制御についても検討を行っている。解析的評価より、厳密式、簡易式の両手法が提案した干渉制約を達成可能であることを確認し、簡易化したことによるセカンダリ側の性能劣化が小さいものであることを示している。

第六章では、一次システムからの干渉が到来することによる二次システム端末の性能劣化が発生する環境での高い通信品質が達成可能な無線リソース分配法について検討を行った。提案するリソース分配法では、干渉制約の指標に用いた通信容量保持率の概念を適用し、効率的なスケジューリングの設計を検討した。その際に必要な情報を増加させることなく、過去と現在のフィードバック情報を用いて通信容量保持率の概念を拡張した重み係数を利用することで限定的なフィードバック情報から各端末のチャネル状態を補正し、重み係数と従来のスケジューリング指標の組み合わせで高レートあるいは高い公平性を達成している。

最後に、第七章で本論文全体をまとめ、本分野の研究の将来の方向性についてまとめている。

上記の論文の内容と公聴会当日の質疑応答の結果、これらの研究活動は本学術分野の発展に大きく寄与するものであり、本学位申請者稲毛契は博士（工学）の学位を授与されるにふさわしい人物であると評価し論文審査を合格と判定した。