

審査の結果の要旨

氏 名 李 云

本論文は「コグニティブネットワークとヘテロジニアスネットワークの協調によるスペクトルの効率的利用に関する研究」(“A Study of Efficient Spectrum Utilization by Cooperation of Cognitive and Heterogeneous Wireless Networks”)と題し、一般ユーザが構築するコグニティブ無線ネットワーク(CRN)と携帯キャリアの提供するヘテロジニアスネットワーク(HetNet)を独立に扱って無線リソースの有効利用を図ろうとしてきた既存研究に対して、両者間でのサービス連携と協調により利用可能な周波数資源を増加させる手法を示している。周波数資源の有効利用のため、電波の一次利用者が使用していない時間や場所で二次利用者の利用を許すCRNが研究されてきたが、その性能向上には、周波数使用状況の収集をより広範囲かつ多数のノードで実施する必要がある。一方、近年の携帯電話網では、マクロセルの中にフェムトセルのような小半径のセルを重畳する運用がされており、セルの効率的制御には、セルから見えない地点の電波利用状況を知る必要があった。本論文は、この問題に対し、協調ゲーム理論に基づく周波数スペクトルデータ収集モデルを提案し、コグニティブ無線ネットワークが利用可能な周波数資源を拡大できるだけでなく、携帯電話網のセルの最適化も同時に解決できることを示し、シミュレーションにより、その有用性を明らかにしている。本論文は、英文で記述され、7章から構成されている。

第1章は「Introduction」と題し、周波数使用状況を広範囲かつ多数のノードで収集して得られた情報を基に周波数資源をダイナミックに利用し周波数資源の有効利用を図るという本研究の背景を述べ、CRNの周波数モニタリング機能を使ってHetNetへ携帯電波の利用状況を伝え、その見返りとして、CRNの共通制御チャンネルとしてHetNetを使う枠組みを提唱している。

第2章は「Grassroots Spectrum Measurement」と題し、75MHz～3GHzの周波数帯の周波数利用状況を可視化するツールSpectrumMapを製作し、東京都心の様々な場所と様々な時間帯で測定した観測データを表示することを試みている。一つの応用として、衛星チャンネルを利用してノイズフロアを推定し、Wi-FiのDuty Cycleを求めることができることを示した。

第3章は「A Near-optimal Sensing Schedule for Multi-hop Cognitive Radio Network」

と題し、ノードの協調効果を知るため、まず協調せずに行動した場合の実現可能なスループットを求めている。ノード間の同期を仮定した従来方式とは異なり、ノードが独立にマルコフ決定過程に基づいて最適的な行動を選択する枠組みでスループットを求めた。提案した計算方法では大幅な計算量の削減が可能である。ただし、協調を前提としない場合、実現可能なスループットは高くないことも示している。

第4章は「Augment SpectrumMap with User Crowdsourcing - A Novel User Participation Model for Data Collection」と題し、共通制御チャンネルがあるコグニティブ無線ネットワークを前提に、その周波数スペクトルデータの収集作業に多くのCRNノードを参加させる過程を協調ゲーム理論の枠組みでモデル化し、適当なインセンティブを与えると有効なデータ収集協調が生まれること、協調の効果はノード数が少ないほど顕著に出ることを示した。

第5章は「On the Cooperation Between Cognitive Radio and Femto Cell Networks for Cooperative Spectrum Sensing and Self-organization」と題し、CRNの共通制御チャンネルにHetNetを用い、前章の方式を携帯電話網のカバー地域で適用可能なように拡張した。HetNetのノードの参加インセンティブを基地局の運用を自動化するSON (Self Organizing Network) を最適化すること、CRNノードの参加インセンティブを広範囲な周波数スペクトルデータの収集することとした場合、協調ゲーム理論の枠組みの落としとで、二つのネットワークの協調を実現でき、双方のネットワークのパフォーマンスを改善できることを示した。

第6章は「Improve Spectrum Efficiency for General MIMO Relaying Broadcast Channel with Imperfect Channel State Information」と題し、前章の枠組みではCRNの周波数利用状況のデータ交換によりHetNetのスループットが犠牲になるため、物理的にHetNetのダウンリンク速度を増大させる手法を検討した。中継局の存在を前提にした場合のダウンリンク伝送におけるMIMOのprecodingに関し、中継中も基地局が伝送する全二重型中継伝送方式を提案し、従来の半二重型通信よりスループットが改善することを示した。

第7章は「Conclusion」と題し、本論文の目標、成果、将来課題を総括している。

以上これを要するに、本論文では無線周波数資源の有効利用を目指すCRNの周波数スペクトルデータ収集問題に対し、HetNetをスペクトルデータ収集のための制御チャンネルに使う提案をし、CRNとHetNetのノードに適当なインセンティブを与えることにより、協調ゲーム理論の枠組みで解けることを示したものであり、現実のネットワークの運用と周波数の効率的利用への貢献が期待され、電子情報学上貢献するところが少なくない。

よって本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。