

氏名	ステパン クチュエラ Stepan Kucera
学位(専攻分野)	博士(情報学)
学位記番号	情博第316号
学位授与の日付	平成20年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	情報学研究科通信情報システム専攻
学位論文題目	Cross-layer Design of Resource Management in Wireless Networks with Distributed Control (分散制御無線ネットワークにおける資源管理のクロスレイヤ設計)
論文調査委員	(主査) 教授 吉田 進 教授 高橋 達郎 教授 守倉 正博

論文内容の要旨

無線通信モジュールの小型低廉化に伴い、膨大な数の機器に容易に無線通信機能が搭載可能になってきた。その結果、従来の集中制御ネットワークとは異なり、無線端末どうしが自律分散的に情報交換を行い、臨機応変にネットワークを構築する、いわゆるアドホックネットワークが注目されるようになり、セルラ無線ネットワークを補完しつつ、次世代移動通信の一翼を担う技術として大いに期待されている。無線ネットワークにおいては電力制御をはじめとする無線リソース管理が周波数有効利用の観点から重要である。セルラ無線ネットワークでは集中制御によって電力制御を行うため、安定性を確保可能である。一方、アドホックネットワークでは分散制御によって電力制御を行う必要性があり、その安定性は自明でない。本論文では複数の周波数帯域を共有する端末(移動局)群が干渉制限下で非同期にマルチホップ伝送を行う無線アドホックネットワークを仮定し、無線リソース管理、とりわけ分散電力制御とその制御安定性に着目して研究を行った成果を取りまとめている。

本論文は全6章から構成されている。

第1章は序論であり、本研究の背景及び位置づけ、取り扱う無線リソース管理に関する問題と提案する解法の概要について述べている。

第2章では、OSIモデルに基づいて無線アドホックネットワークにおける無線リソース管理のためのマルチレイヤモデルを定義するとともに、複数の送受信ペアに対する分散制御リソース割り当てをゲーム理論により解決するための基本的な枠組み(フレームワーク)を導入し、そこで重要な役割を果たす最適応答関数やレート割り当て関数について説明している。

第3章では、まずリソース割り当て、特に複数の端末群の間での分散電力制御を非協力ゲーム理論の一般的な枠組みの中でとらえるとともに、均衡点への収束に関するダイナミクスについて述べている。引き続き、無線アドホックネットワークにおける最適な送信電力ならびにレート割り当てのための分散制御非同期アルゴリズムを提案している。ここで、最適とは送信電力制御が収束することを意味しており、ネットワーク全体における送信電力とその結果として生ずる干渉量のトレードオフ点、いわゆるナッシュ均衡点が存在することを意味している。

第4章では、単一の周波数帯域を仮定した第3章の議論を複数の周波数帯域が存在する無線ネットワークに発展させ、送信電力/レート割り当て、周波数帯域受付制御からなる最適リソース管理実現のための3層(物理層、データリンク層、ネットワーク層)からなるネットワークアーキテクチャを提案している。具体的には、受付制御に用いる評価尺度を明確化し、物理層における送信電力制御からネットワーク層におけるルーティング制御に至るクロスレイヤ分散制御アルゴリズムにより安定な制御が実現されることを示している。

第5章では、提案スキームの性能を既存の方式と比較しながら評価している。数値解析的な計算機シミュレーションにより、収束の安定性が保証されているのみならず、様々なトポロジーや端末密度においても、提案方式が公平で、ロバストで、比較的高いレートを与えるという点で優れていることを明らかにするとともに、局所的な情報によって電力制御を行っても

他ユーザに悪影響を与えないことを示している。

第6章は結論であり、本論文で得られた主要な研究成果について要約するとともに、将来に向けた研究課題についても述べている。

論文審査の結果の要旨

自律分散制御無線アドホックネットワークはセルラ無線ネットワークを補完しつつ、次世代移動通信の一翼を担う技術として期待されている。集中制御を行うセルラ無線ネットワークとは対照的に、自律分散制御無線アドホックネットワークでは分散的に電力制御を初めとする無線リソース制御を行う必要があり、制御の安定性・収束性は必ずしも自明ではない。本論文では複数の周波数帯域を共有する端末（移動局）が干渉制限下で非同期にマルチホップ伝送を行う無線アドホックネットワークにおける無線リソース管理、とりわけ分散電力制御とその理論的な実現可能性や安定性に着目して行った研究の成果を取りまとめたものであり、得られた主な研究成果は次の通りである。

- (1) 無線アドホックネットワークを前提に、送信電力や周波数チャネル等の無線リソース管理のためのマルチレイヤモデルをOSI参照モデルに基づいて定義するとともに、ゲーム理論の概念に基づく数学的な枠組みを用いた解析法を提案し、提案モデルの汎用性を明らかにしている。
- (2) 無線リソース割当て問題、とりわけ最適分散送信電力制御に関連して、均衡点へ収束するダイナミクスを特徴づける非協力ゲーム理論の一般的な枠組みについて述べている。ここで、最適の意味は、送信電力制御が収束することであり、ネットワーク全体における送信電力とその結果として生ずる干渉量のトレードオフ点、いわゆるナッシュ均衡点の存在を意味している。
- (3) 前述の議論を複数の周波数帯域が存在する無線ネットワークに発展させ、アドホックネットワークにおいて物理層、データリンク層、ネットワーク層の3層が、それぞれ自レイヤの電力制御、受付制御、経路制御に関する要求を満たすように逐次分散制御を行う新しい安定なネットワークアーキテクチャを提案している。
- (4) 計算機シミュレーションにより、提案スキームの性能と既存の方式との比較評価を行い、収束の安定性が保証されているのみならず、様々なトポロジーや端末密度においても、提案方式が公平で、ロバストで、比較的高いレートを与えらるという点で優れていることを明らかにするとともに、局所的な情報によって電力制御を行っても他ユーザに悪影響を与えないことを確認している。

以上要するに本論文は、無線アドホックネットワークにおける無線リソース管理、とりわけ分散電力制御とその安定性に着目して解析を行う枠組みを提案するとともに具体的な特性評価を行ったものであり、学術上、實際上寄与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。また、平成20年2月7日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。