

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 1 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2012

課題番号：21760288

研究課題名（和文） 複雑な無線環境における学習を用いた周波数資源制御技術の研究

研究課題名（英文） A Learning-based Radio Resource Control Mechanism for Various and Dynamic Wireless Communication Environments

研究代表者

新熊 亮一（SHINKUMA RYOICHI）

京都大学・大学院情報学研究科・准教授

研究者番号：70362580

研究成果の概要（和文）：

本研究では、動的で複雑な無線環境において、個々の無線局が環境に対して適切に行動（周波数チャネル、送信電力の大小、伝送形式の決定）できるようなメカニズムについて研究を行った。まず問題を無線局同士の「交渉」としてモデル化した。そして、ゲーム理論におけるナッシュ交渉の理論を導入し、通信制御アルゴリズムと通信プロトコルの設計を行った。シミュレーションを構築し、設計したアルゴリズムとプロトコルを評価した。

研究成果の概要（英文）：

This study discusses a mechanism that enables individual wireless nodes to 'act' appropriately according to their various and dynamic communication environments. The 'actions' here include decision making for frequency channel selection, transmission power adjustment, and transmission format selection. This study modeled the problem as a 'bargaining' problem between wireless nodes. Then, the communication control algorithm and the communication protocol were designed based on the Nash bargaining solution, which was introduced from the game theory. The simulation results showed the proposed algorithm and protocol work well.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	500,000	150,000	650,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・通信・ネットワーク工学

キーワード：通信方式（無線、有線、衛星、光、移動）無線アクセスネットワーク、周波数資源制御

1. 研究開始当初の背景

無線通信システムは一部の人の利便性のためだけのものではなく、福祉、防犯、防災・被災支援など、人々が安心・安全に生活するためのインフラとして期待されている。しか

し、その実現には、次のような2つの課題がある。① わが国では、すでに人口と同程度数の無線局が利用されているが、安心・安全のためのインフラ実現にはさらに数倍の無線局が必要になり、周波数資源は確実に不足

してしまう ② 無線 LAN のような免許不要周波数帯を用いたシステムは、導入コストの小ささから人々の生活環境に浸透した。しかし、免許不要ゆえの無計画な局の設置が、深刻な電波干渉を引き起こしており、安心・安全には欠かせない信頼性保証型の通信が困難になっている。このように、安心・安全のインフラ実現には無線通信品質の大幅な改善とその保証が必須であり、周波数資源利用の効率化、干渉の予防・回避技術の研究が急務である。そこで、期待されるのが、コグニティブ(認知)無線を用いた周波数資源制御である。本技術では、各無線局が周辺で使用されている電波の周波数や電力、そして自身が他へ与える干渉を認知し、適切な周波数帯、伝送形式、電力等(これらのセットを「行動」と呼ぶ)を自律的に選択し、使用する。これによって、周波数の空間的な利用効率が向上し使用可能な周波数資源が増加することで通信品質の改善や保証が可能になる。しかしながら、上述のうち、「認知」の技術に関しては学術的にも産業界においても研究開発が進んでいるが、一方で、適切な形式を自律的に選択する「制御」についてはまだブレークスルーが見つかっていない。これには 2 つの原因がある。① 想定しなければならない環境が多次元(周波数、電力、空間)であるため、入力に対して適切な解を出力するアルゴリズムを設計することが困難である ② 端末移動やトラフィック変動によって環境が時間変動するだけでなく、ある端末によるある行動の選択が全体の行動へと波及するといったように、複雑な振る舞いをする。そのため、ある瞬間での最適な解が、次の瞬間、あるいは長期間では、妥当な解とは限らない。本研究では、上記の問題を解決し、多次元で複雑な無線環境において、個々の無線局が適切に行動(周波数、電力、伝送形式を決定)できるためのメカニズムを研究する。そこで、鍵となる技術が人工知能分野や複雑系分野で注目を集める強化学習である[3]。強化学習はロボットやエージェントに試行錯誤を繰り返させることで適切な行動/解を見つけさせる手法である。無線環境においてもこれを活用することで、個々の端末が自身が認知あるいは他の端末から得た情報を元に学習し、環境に対して適切に行動するようになる。本研究では、特に、「交渉」に着目し、個々の端末が交渉を通じて学習することで、個々の通信品質、公平性、全体の周波数利用効率を改善できるメカニズムを設計する。そして、多次元で複雑な無線環境を模したシミュレーションにより有効性を示す。

2. 研究の目的

本研究では、学習に基づき、個々の通信品質の向上と公平性、全体の周波数利用効率を

改善できるメカニズム設計を行うことを目標とする。特にある時刻での静的な状況での最適化は本研究では意味をなさず、長期間あるいは実時間での有効性を示さねばならない。さらには、実時間での学習に要する時間の重要性も考慮して、アルゴリズムの高速化を行い、また、実装の容易さやオーバヘッドにも配慮して、メカニズム全体の簡潔化も行う。最終的には、インターネットにおける TCP のフロー制御や、無線アクセスにおける 2 進バックオフ・送信電力制御と匹敵する簡潔さとスケラビリティの高さを目指す。

さらに、上述の通り、従来の研究では理想的な協調が前提になっていることが多いが、長期的にはそれが最適とも限らない。例えば、マルチエージェント解析による結果から、公平な人ばかりの社会よりも独占的な人ばかりの社会の方が、結果的には長く存続し公平性も高いことが示されている。本研究は、個々の無線局が協調の度合いを他の局との交渉を通じて決定し、長期的な品質・効率改善を図る点で非常に独創的である。上述の通り、コグニティブ無線研究はまだ認知技術の段階であり、本研究の技術が周波数資源制御技術のブレークスルーとなることができれば、学術的な価値は非常に大きい。

本研究のような周波数資源の利用効率を飛躍させる新技術は緊急性を有した課題であり、産業界でもその実現が望まれているものの、市場モデルが未確定な現状では、民間企業の積極性はまだ低い。したがって、大学が本研究課題のけん引役となる必要があり、応募者が研究を行なう意義は大きい。

3. 研究の方法

まず、前述のとおり、本研究の鍵となるのは「交渉」に基づいた学習である。まず、交渉の理論をコグニティブ無線環境に適用し、その理論に基づいて学習アルゴリズムを設計する。そして、学習アルゴリズムに基づいてプロトコルを設計し、シミュレーションによる評価を行う。具体的な手順は下記の通りである。1. 交渉の理論として「ナッシュ交渉解」を採用する。ナッシュ交渉解は交渉における最も妥当な唯一の解であり、現実世界の交渉においても有用な解である。まず、コグニティブ無線環境の問題をナッシュ交渉の問題に落とし込む作業を行う。2. ナッシュ交渉問題に基づいて学習アルゴリズムの設計を行う。交渉を行うことを前提とした学習モデルがあるので、これを参考にする。3. 端末が学習アルゴリズムを実行するために必要な端末の環境情報の認知や端末同士の情報交換などを行うためのプロトコルを設計し、メカニズム全体が動作するように設計する。4. コグニティブ無線環境を模したシミュレーションを構築し、設計したメカニズ

ムを、個々の通信品質、公平性、全体の周波数利用効率の指標から評価する。5. 評価結果から問題点の洗い出しを行う。5. で望ましい結果が得られない時のため、複数のメカニズムを並行して設計しておく。4. で比較評価を行い、最も優れた方式を採用する。

次に、これまで設計したメカニズムに改良を加え性能の改善を図る。次に、学習アルゴリズムが要する時間を評価し、その短縮を図る。さらに、実装の容易さやオーバーヘッドも考慮して、メカニズム全体の簡潔化を行う。詳細は次の通りである。1. これまでに洗い出した問題に基づいてメカニズムの改良を行い、これまでに行った評価と同様の指標で評価、改良を繰り返す。2. アルゴリズムが安定的な解を発見する所要時間(学習時間)を実時間尺度で評価する。3. 学習時間が現実的に許容可能な範囲におさまるよう、アルゴリズムの高速化を図る。この際、性能と学習時間とはトレードオフの関係が存在すると予想されるが、性能劣化を最小限(例えば20%)にとどめられるようにする。4. メカニズム全体において、端末間の情報交換に要するオーバーヘッドや、アルゴリズムの複雑度を見直し、それらを最小化するために、メカニズムの簡潔化を行う。5. コグニティブ無線環境を模したシミュレーションを用い、高速化アルゴリズムを用いた改良メカニズムを、これまで設計したメカニズムと比較評価する。6. 許容内の性能劣化で、大幅な(例えば80%)の学習時間の短縮とオーバーヘッドの削減が得られるまで評価と改良を繰り返す。5. で望ましい結果が得られない場合を想定して、これまでと同様に、ベースとなる学習アルゴリズムとして、複数のオプションを用意しておくことが重要である。

研究において得られた結果はまず、国内研究会で早めに発表し、聴講者との議論を通じて今後の方向性を決めていく。また、まとまった成果が得られた時点で、国際会議での発表、論文誌への投稿を行う。特に、本研究の方法論や成果を広く報知するため、また、費用対効果を高めるため、極力、参加者数の多い国際会議、読者数の多い論文誌を選んで投稿する。

4. 研究成果

コグニティブ無線環境では、複数の無線局それぞれが環境を認知し、認知した情報(干渉量、衝突率、要求品質など)に応じて使用可能な無線リソース(周波数帯域、送信電力)を制御することが求められる。本研究では、このような極めて動的で複雑な無線環境において、個々の無線局が環境に対して適切に行動(周波数チャンネル、送信電力の大小、伝送形式の決定)ができるようなメカニズムについて研究を行っている。特に、複数の無線局

が無線リソースを使用する権利を競合的に獲得する問題に取り組んだ。まずこの問題を無線局同士の「交渉」としてモデル化した。つまり、無線局は他の局との交渉を通じて自身の獲得量に対して妥協する。そして、ゲーム理論におけるナッシュ交渉の理論を導入し、その理論に基づいて通信制御アルゴリズムと通信プロトコルの設計を行った。コグニティブ無線環境を模したシミュレーションを構築し、設計したアルゴリズムとプロトコルを評価した。その結果から、周波数利用効率、公平性、送信エネルギーの利用効率の点で、提案手法は単純なヒューリスティック手法に比べてはるかに高い性能を与えることを示した。さらに、複数の学習アルゴリズムを想定して検討を行ってきた。計算に要する時間、実装の容易さ、オーバーヘッドを総合的に考慮して、メカニズムの最適化を行なった。詳細は次の通りである。1. 各アルゴリズムが安定的な解を発見する所要時間(学習時間)を実時間尺度で評価した。ただし、性能と学習時間とは予想どおりトレードオフの関係が存在したが、性能劣化を最小限にとどめられるようにした。2. 各アルゴリズムを用いた場合に、メカニズム全体において発生する情報交換のオーバーヘッドや実装のオーバーヘッドがどの程度となるか、定量的な評価を行なった。3. コグニティブ無線環境を模したシミュレーションを用いて、アルゴリズムを相互に比較評価した。アルゴリズムの優劣は予想どおり条件によって異なったため、様々な条件を与えて多角的な評価を行なった。条件の生じる尤度によって結果を重み付けし、各アルゴリズムの総合的な性能を比較評価した。4. 3. で最も優れていると評価されたアルゴリズムをベースとして、メカニズム全体の設計を見直し、改良の余地があれば改良を行なった。

得られた成果を、国内研究会などにおいて発表し、聴講者からフィードバックを得た。また、国際会議 PIMRC(Personal Indoor and Mobile Radio Communications)で発表した。この議論をふまえて研究を進展させ論文誌 IEEE Transactions on Wireless Communications に投稿し、採択・出版された。さらに電子情報通信学会総合大会でも発表を行った。特に、本研究の方法論や成果を広く報知するため、また、費用対効果を高めるため、よく引用される論文誌を選んだ。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計7件)

K. Nishide, H. Kubo, R. Shinkuma, and T. Takahashi, "Virtual Multi-AP Access for

Transport-level Quality Improvement
in Wireless Local Area Networks with
Hidden Stations" 電子情報通信学会英文論
文誌, vol.E93-D, no.12, 2010, pp. 3251-3259

(2)研究分担者 ()

研究者番号 :

D. Zhang, R. Shinkuma, and N. Mandayam
"Bandwidth exchange: an energy
conserving incentive mechanism
for cooperation" IEEE Trans. Wireless
Communications, vol.9, Issue 6, 2010,
pp.2055-2065

(3)連携研究者 ()

研究者番号 :

K Nishide, H Kubo, R Shinkuma, T
Takahashi, "Detecting Hidden and
Exposed Terminal Problems in Densely
Deployed Wireless Networks," IEEE Trans.
Wireless Communications, vol.11, issue 11,
2012, pp.3841-3849.

[学会発表] (計 5 件)

[図書] (計 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
出願年月日 :
国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
取得年月日 :
国内外の別 :

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者 京都大学大学院情報学研究
科・准教授・新熊亮一

(SHINKUMA RYOICHI)

研究者番号 : 70362580