

研究報告書

「無線通信制御の自己最適化機構」

研究期間：平成 29 年 10 月～平成 31 年 3 月
研究者番号：50149
研究者：西尾 理志

1. 研究のねらい

本研究は、無線ネットワーク、特に無線 LAN の課題である、不適切な運用によって生じる周波数の非効率的な使用とそれに伴うユーザの無線ネットワーク使用体感品質低下の解消に向けた、無線ネットワークの自動最適設定機構の実現を目指す。無線 LAN 端末の総出荷台数は全世界で 300 億台に達し、様々な場所で使用されている。無線通信環境が混雑するとともに、多様化・複雑化し、ユーザの通信品質は低下している。無線 LAN には多数の設定パラメータが存在し、適切に設定することで混雑や通信品質を解消できるが、誤った設定は逆に周囲のユーザの通信に悪影響をおよぼし通信品質低下をまねく。

本研究では、無線ネットワーク自体が自律的に試行錯誤しその結果から学習することで自己の設定を最適化する、無線ネットワークの自己最適化機構の実現を目指す。無線電波やトラフィックなどの観測データから状態を把握し、その状況における各パラメータ設定を評価し、最適なパラメータ設定を導き出す。さらに、同技術に対応した無線端末間で協力し、自身の学習結果を共有することで無線ネットワーク設定に関する集合知を形成し、100 以上のケースで最大性能を発揮する汎用性を持った最適化機構を実現する。

2. 研究成果

(1) 概要

無線通信制御の自己最適化機構の研究課題では大きくは2つの研究成果をあげている。一つは「無線最適設定の学習方式」である。各無線端末が観測可能な情報から現状を把握し、現状における各パラメータ設定の有効性を評価するモデルを教師あり学習に基づき学習する方式を提案した。本方式により各パラメータを評価し、評価値が最大となるものを選択することで、最適な無線パラメータ設定を実現する。本方式により、従来の設定方式に比べて 30%スループットを向上させることに成功した。

もう一つの成果は「分散協調的学習機構」である。世界には何十億台もの無線 LAN 端末が存在し、毎秒何千もの通信フレームを送信している。本技術では、1 つ目の成果により各無線端末が学習した結果を統合することで、集合知を形成し、効率よく学習を実行する。その際、端末ごとの学習結果の優劣や、学習したモデルの共有の際の無線通信帯域消費を考慮する必要がある。本研究成果では、学習に寄与しそうな端末を選択的に参加させることでより効率的な学習を実現する。本技術により、学習性能が一定以上に高まるまでに必要な時間を 30%削減した。

(2) 詳細

研究成果 A「無線最適設定の学習方式」[業績 2,3,4]

本研究では教師あり学習に基づく最適パラメータ設定方策の学習方式を提案した。AP (Access Point) と複数の STA (Station) からなる BSS (Basic Service Set) が複数共存する環境を想定する。この環境において、1 つの BSS のみが学習方式に対応しているものとする。対応する BSS の AP (エージェントと呼ぶ) は、他の BSS からの干渉電力、他の BSS の送信 STA 数など無線ネットワーク情報の観測、および、送信電力やチャネル、A-MPDU サイズ、RTS スレッシュールドなど各種パラメータを変更可能とする。エージェントは下記の学習方式に基づき設定方式を学習し、学習完了後はその方式に従いパラメータを動的に変更する。

提案方式は2つの学習器、通信品質学習器と、観測をもとにパラメータを決定する設定学習器、およびパラメータ探索器からなる。まず通信品質学習器を学習し、現状と、あるパラメータ設定を用いたときの通信品質推定値を予測可能とする。この通信品質推定値が最大となるパラメータを探索することで、最適なパラメータを決定する。学習の初期段階では、エージェントは初期設定のパラメータを用いて無線通信サービスを提供し、通信品質を観測する。同時に通信品質を特徴づける要因、例えば干渉電力、フレームロス率やジッタ等を観測する。観測値とパラメータを特徴量、通信品質をラベルとした訓練データセットを生成し、通信品質学習器を教師あり学習により更新する。上記の通信品質学習器の訓練手順を、パラメータを一定の範囲内でランダムに変化させながら実施し通信品質学習器の予測精度が一定以上になるまで実施する。

次に学習された通信品質学習器をパラメータの評価器として、最適パラメータの探索と設定学習器の学習を実施する。最適パラメータ探索では、通信品質学習器において観測値を固定し、パラメータ部分を勾配法やメタヒューリスティクスに基づき変化させながら出力が最大となるパラメータ設定を探索する。機械学習では、一般的に推論は学習に比べて高速に実行できるため、パラメータを実際に変更して通信させてその良し悪しを探索する場合と比べて、一回の探索コストは非常に小さい。得られた最適パラメータを用いて設定学習器を教師あり学習により更新する。通信品質学習器の精度が高い限り、設定学習器には最適あるいは準最適なパラメータをラベルとした訓練データが与えられる。

本方式を計算機シミュレーションにより評価した。無線ネットワークのシミュレーションには市販のシミュレータを使用した。BSS が 9 個、互いに干渉を及ぼす範囲でランダムな位置に存在する環境を 10 パターン生成し、各環境にエージェントがいる BSS を一つランダムに配置した。通常の BSS は 3 つのチャネルをランダムに選択し、その他のパラメータは一般的に用いられる設定とした。エージェント BSS はチャネル、RTS スレッシュールド、A-MPDU サイズ、A-MSDU の有無を設定変更可能とした。各環境で STA の数と配置、エージェントのパラメータを変更しながら 1000 試行の通信シミュレーションを実施し、そのうち 900 試行をすべての環境から集約し、集約したデータを用いて通信品質学習器を訓練した。

図1に環境1および環境4における通信品質学習器の推定したスループットとシミュレーション結果を示す。テストデータにおけるシミュレーション結果と予測結果は概ね一致している。

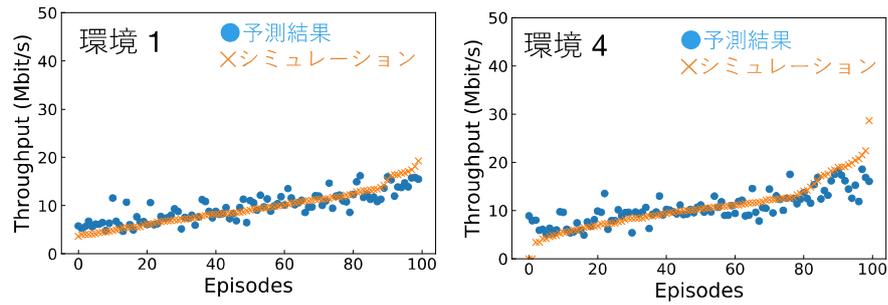


図1 通信品質学習器の精度評価。横軸は各試行スループットが低い順からソートした場合のインデックスである。

この通信品質学習器を用いてパラメータ最適化を行った場合の性能を評価する。各環境で50試行のシミュレーションを実施したときのスループットの平均値を図2に示す。提案方式はランダム設定に比べ53%、従来方式(干渉電力からチャンネルのみ設定)より30%程度の性能向上を達成した。

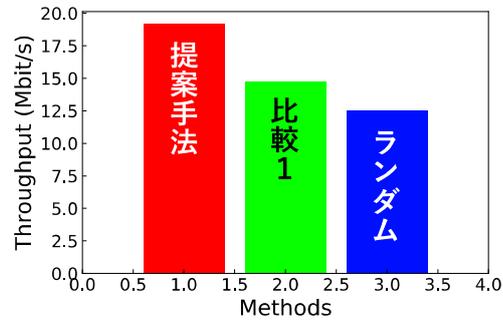


図2 パラメータ最適化方式のシステムスループット評価

研究テーマB「分散協調的学習機構」 [業績1,2,3,5]

複数のエージェントでの学習を効率よく統合する機構として Federated Learning [McMahan17] に基づく学習機構を検討した。Federated Learning は端末に分散して存在するデータと、その端末の計算能力を活用して教師あり学習タスクを解く学習方法である。本研究課題においては、無数に存在する無線 LAN において、それぞれの学習結果を統合することに応用可能である。一方、通信ネットワーク上で学習結果を統合する際は、それぞれの学習結果の品質の違い、具体的には学習に用いたデータ量の多寡や種類の豊富さや共有時の通信帯域の消費を考慮する必要がある。

本テーマでは、エージェントの持つ通信資源、計算資源、データ資源の差異に着目し、学習に寄与するエージェントのみを選択的に学習に参加させることで、学習の時間効率を向上させる手法を検討した。提案方式では、各エージェントから収集した通信速度、計算能力、データ量の情報をもとに、それぞれのエージェントが学習に参加した場合の消費時間を推定する。推定した消費時間をもとに、一定の時間制約の中でエージェント数を最大化するエージェントの組み合わせを探索する。これは、一般的に Federated Learning の性能がモデルの更新頻度とエージェント数が多いほど良くなるためである。

提案方式の性能をシミュレーションにより評価した。ここでは、学習方式の良さのみを評価するため、一般の画像のクラス分類タスクを用いて評価した。図3に学習経過時間に対する識別精度のグラフを示す。赤色で示された従来方式に比べ、適切に設定した提案方式は、一定の識別精度を達成するまでにかかる時間を、最大で30%程度短縮することができた。

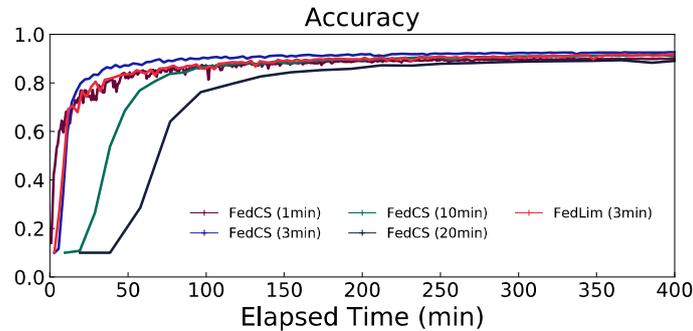


図3 予測精度の時間特性。学習進行に伴い精度が向上。

[McMahan17] H. B. McMahan, et al., “Communication-efficient learning of deep networks from decentralized data,” Proc. AISTATS, Apr. 2017.

研究目的の達成状況

無線通信制御の自己最適化機構に必要な要素技術である「無線最適設定の学習方式」と「分散協調的学習機構」について、個々の技術として確立できてきた。しかし、両技術を統合しての評価や、統合に伴う課題の発見・解決がまだ残されている。

3. 今後の展開

今後はより複雑な環境での評価、および、両研究成果を統合した最適化機構の設計と評価を行う。加えて、実機実装を行い、実環境で評価することで、本研究アイデアの実現可能性を実証していく必要がある。

本研究成果は市販の無線 LAN 装置へもソフトウェア実装により比較的簡単に実装可能なものであり、産業応用可能な技術である。加えて、本研究成果は、最近の機械学習技術をもとにした無線通信分野の課題を解決する技術であり、通信制御における多数の課題に対しても適用可能であると考えられる。

4. 自己評価

・研究目的の達成状況

要素技術としてはある程度の性能のものが確立できた。一方で、より複雑な環境での評価や、両者を統合した最適化機構の実現までは至らなかった。これは当初は深層強化学習の応用で解決できるとされていた学習タスクが、実環境の制約(得られる情報や探索頻度の制限)を考慮したとき、現状の技術では解決が難しく、方針変更したことに起因する。しかし、それにより新たなアプローチの開発に至った点では、怪我の功名といえる。

・研究の進め方(研究実施体制及び研究費執行状況)

機械学習に精通する米谷先生と協力して研究を進めるなど効率的に研究を遂行できた。また、研究費執行に関しても計画的に執行し、研究遂行にあたり非常に有効的に活用できた。

・研究成果の科学技術及び学術・産業・社会・文化への波及効果

本研究成果は無線通信分野において汎用性のあるものであり、多数の無線通信の課題に応用できるものと考えられる。特に、近年は無線通信分野への機械学習応用が盛んに行われており、その中で機械学習方式の一つとして応用する価値があるものとする。

・研究課題の独創性・挑戦性

本研究課題は、従来のモデル化・最適化に基づく制御からのパラダイムシフトを狙う、独創的かつ挑戦的な課題であった。学習方式についても、強化学習の困難さから、新しい学習方法を検討し、有効性を示した。また、分散協調的な学習機構においても、最新の学習方式を無線通信分野にいち早く取り込むなど挑戦的に研究を進めた。

5. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表

- | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Takayuki Nishio and Ryo Yonetani. Client Selection for Federated Learning with Heterogeneous Resources in Mobile Edge. Proc, IEEE ICC, Shanghai, China, May 2019. |
| 2. Koji Yamamoto and Takayuki Nishio, Machine Learning and Stochastic Geometry: Statistical Frameworks Against Uncertainty in Wireless LANs, IEEE ICC, Shanghai, China, Mya 2019. |
| 3. 西尾理志, 【チュートリアル】 無線ネットワークでの機械学習, 電子情報通信学会 CS 研究会, Apr. 2019. |
| 4. 西尾理志, 無線 LAN パラメータの自己最適化に向けた学習メカニズム, 電子情報通信学会 総合大会, March 2019. |
| 5. 西尾理志, 【招待講演】 機械学習の基礎と無線通信制御への応用, 電子情報通信学会 高信頼制御通信研究会, Jan. 2018. |

(2) 特許出願

研究期間累積件数: 0 件

(3) その他の成果(主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等): 0 件