

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 1 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25330103

研究課題名(和文) 無線網性能向上のための実用的かつ高精度な電波干渉推定手法の開発

研究課題名(英文) Interface estimation method for graph coloring-based link scheduling in wireless relay networks

研究代表者

谷口 義明 (TANIGUCHI, Yoshiaki)

近畿大学・理工学部・講師

研究者番号：50532579

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：TDMA型無線網では、電波干渉が発生すると推定される無線リンクに異なる電波資源(タイムスロット)を割り当てる。これまで本分野の理論研究では、リンク間の電波干渉が推定可能という前提のもと、ネットワークの利用効率を最適化する電波資源割り当て法の研究が行われてきた。これらの理論研究では、電波干渉推定手法として、プロトコル型電波干渉推定手法が一般的に用いられる。本研究では、ツリートポロジを形成するTDMA型無線網を対象として、新しい電波干渉推定手法を提案した。評価の結果、提案手法の精度が高いこと、提案手法を用いることによりネットワーク性能が最大16%向上することを確認した。

研究成果の概要(英文)：In TDMA-based wireless networks, graph coloring-based link scheduling is often used to assign time slots to links. In the graph coloring-based link scheduling, an interference estimation method is required to make a conflict graph from a wireless network topology. Among interference estimation methods, the protocol method has been widely used until now. In this research, we comparatively evaluate the effect of interference estimation methods on the performance of wireless relay networks, where the network topology is a tree. Through simulation experiments, we show that the accuracy of interference estimation with a receiver-based interference estimation method (our proposal) is higher compared to that with the protocol method. In addition, we show that the network performance is improved by up to 16% by using the receiver-based method compared to the protocol method.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：無線ネットワーク 電波干渉モデル プロトコルモデル SINR TDMA タイムスロット スループット

1. 研究開始当初の背景

近年、固定網が敷設されていない離島や僻地、あるいは大規模災害等による障害により固定網が利用不可能な状況において、経済的、迅速なバックホールの構築を可能とする無線メッシュネットワーク技術が大きな注目を集めている。無線メッシュネットワークは、固定網への接続機能を持つゲートウェイノードと複数のメッシュノードがマルチホップ接続されることにより構成される(図1)。無線メッシュネットワークは、メッシュノードを設置することによりサービス領域を容易に拡大できる一方で、網内の効率的なパケットのルーティング、時空間的に効率の良い電波資源割当、など挑戦的な課題を数多く内包し、理論的立場、実用的立場の双方から活発な研究開発が行われている。

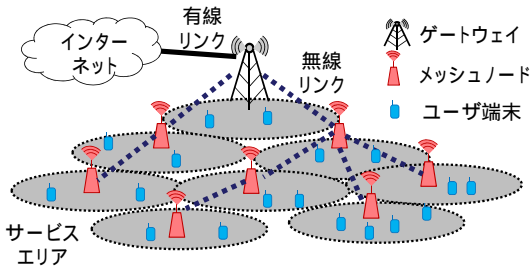


図1. 無線メッシュネットワーク(リレーネットワーク)

無線ネットワークにおいては、近接する複数の無線リンクが同時に使用されると、無線信号が衝突し、各リンクで無線信号を正常に受信できなくなる電波干渉の問題がある。無線メッシュネットワークでは、メッシュノードはモビリティを持たずネットワーク構成は安定するため、あらかじめ干渉関係があると推定されるリンクに異なる電波資源(タイムスロット)を割り当てることにより電波干渉を避ける TDMA 制御(時分割多元接続制御)を行うことが主に想定されている。無線メッシュネットワーク中のリンクの干渉関係をグラフとして表した場合、電波干渉を避けて電波資源を割り当てる問題はグラフ彩色問題と等価となるため、グラフ理論に基づきネットワークの利用効率を最適化する電波資源割り当て手法がこれまでに検討されてきた。しかし、従来のグラフ理論に基づく理論研究では詳細な電波干渉や電波伝達特性を考慮していない場合が多く、得られた理論成果を実用段階にまで高めるための検討は十分に行われているとは言えない。特に、従来の理論研究で電波干渉の推定手法として用いられているプロトコル型電波干渉推定手法は、簡易に電波干渉を推定でき理論的に扱いやすい反面、その推定精度は低い。電波干渉の推定精度低下は、電波資源割り当て後のネットワークの利用効率低下に直結するため、高精度な電波干渉推定手法の開発が極めて重要となる。

研究代表者の所属する研究グループでは

TDMA 型無線メッシュネットワークの研究に取り組んでいる。その中で、プロトコル型電波干渉推定手法のパラメータを適切に調整することにより、電波干渉の推定精度およびネットワークの利用効率を向上できることを明らかにした。また、プロトコル型電波干渉推定手法の精度推定の限界と、電波干渉推定手法自体の精度向上の余地についても初期検討を行った。これらの経緯からプロトコル型電波干渉推定手法を抜本的に見直した高精度な電波干渉推定手法の開発が必要であるとの着想に至った。

2. 研究の目的

以上の研究背景に鑑み、本研究課題では、無線メッシュネットワークにおける従来の理論研究を実用段階に高めるために、実用的かつ高精度な電波干渉推定手法を開発する。

3. 研究の方法

本章ではプロトコル型電波干渉推定手法および本研究で開発した受信端末視点型電波干渉推定手法について述べる。以降、ノードを n_i ($1 \leq i \leq N$)、送信ノード n_i および受信ノード n_j からなるリンクを $l_{i,j}$ 、2つのノード n_i, n_k 間のユークリッド距離を $d_{i,k}$ と表記する。

プロトコル型電波干渉推定手法は本分野において最もよく用いられる電波干渉推定手法である。本手法では、リンク $l_{i,j}$ の送信ノード n_i は送信距離 r_i および干渉比 ($1 \leq \alpha$) というパラメータを持つ。リンク $l_{i,j}$ は、 $d_{i,k} < r_i$ を満たすような受信ノード n_k を持つリンクへ電波干渉を与える。本手法の動作例を図2に示す。

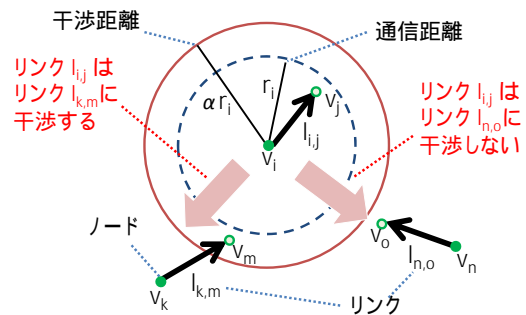


図2: プロトコル型電波干渉推定手法

一方、受信端末視点型電波干渉推定手法は、プロトコル型電波干渉推定手法の動作を改良した手法である。本手法では、リンク $l_{i,j}$ の受信ノード n_j は干渉比 というパラメータを持つ。リンク $l_{i,j}$ は、 $d_{k,j} < d_{i,j}$ を満たすような送信ノード n_k を持つリンクから電波干渉を受ける。本手法の動作例を図3に示す。

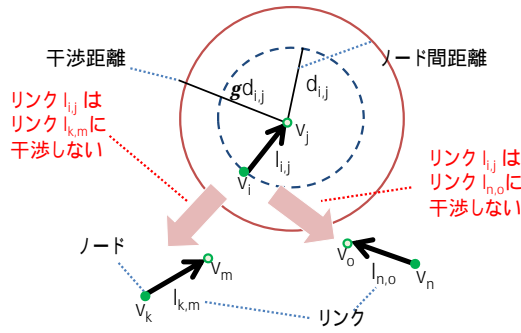


図 3：受信端末視点型電波干渉推定手法

4. 研究成果

電波干渉推定手法の精度をシミュレーションにより評価した。シミュレーションでは、 1×1 の領域に 1 台のゲートウェイノードと $N - 1$ 台のリレーノードをランダムに配置した後、ゲートウェイノードを根とするツリー状トポロジを生成する。その後、生成されたリンク集合のべき集合の各要素集合に対して、そのリンク集合に含まれるリンクが同時に使用可能であるか（電波干渉せずに同一の電波資源を割当てられるか）を電波干渉推定手法により推定し、真陽性、真陰性、偽陽性、偽陰性のいずれに分類されるかを調べる。それぞれに分類された標本の数から F 値を算出し、精度とする。なお、電波干渉の有無の真値を調べるために SINR モデルを用いる。また、それぞれの電波干渉推定手法を利用して電波資源を割り当てた場合に、必要となる電波資源数（タイムスロット数）も調査した。以下、紙面の都合上、得られた結果の一部を示す。

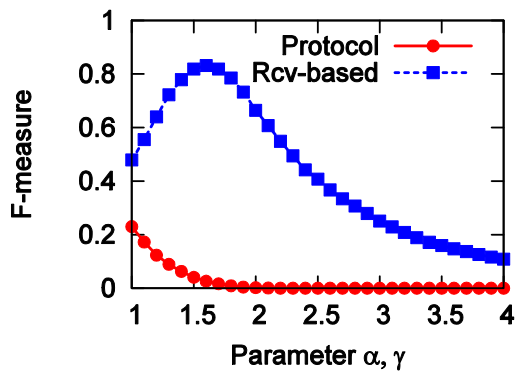


図 4：パラメータと精度の関係。受信端末視点型電波干渉推定手法はプロトコル型電波干渉推定手法より精度が高い。

図 4 に、干渉比を変えた場合の各電波干渉推定手法の精度の変化を示す。本結果は 100 回の試行の平均であり、ノード数 $N = 20$ とした。図より、受信端末視点型電波干渉推定手法の精度は、プロトコル型電波干渉推定手法の精度より高いことが分かる。これは、受信端末視点型電波干渉推定手法では、受信端

末視点で干渉の有無を判断すること、干渉判断を行う領域がリンク距離によって適応的に調整されることによる。また、図より、受信端末視点型電波干渉推定手法の精度が極大値を持つことが分かる。これは、干渉比を小さくすると、同時に使用不可能なリンク集合を使用可能であると誤推定する割合（偽陽性率）が上がるのに対して、干渉比を大きくすると、同時に使用可能であるリンク集合を使用不可能と誤推定する割合（偽陰性率）が上がるためである。

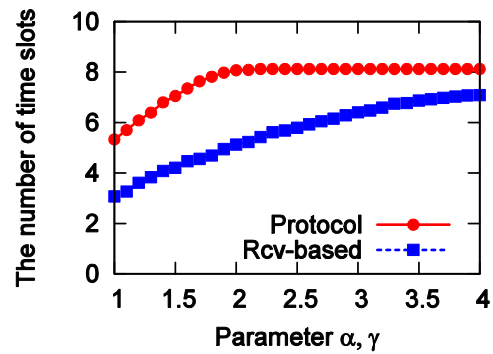


図 5：パラメータと必要となる電波資源数の関係。受信端末視点型電波干渉推定手法はプロトコル型電波干渉推定手法より必要な電波資源が少ない（効率が良い）

図 5 に、同じ評価環境において、それぞれの電波干渉推定手法を用いて資源割り当てを行った場合の、電波資源数（タイムスロット数）を示す。図に示されるように、受信端末視点型電波干渉推定手法を用いることにより、少ない電波資源で効率の良い資源割り当てが行えることが分かる。

本研究では、さらに TDMA 型無線ネットワークの効率的な使用を行うための様々な手法についても同時に検討した。障害物が与える影響や、自己組織的に電波資源を割り当てる手法や、さらに異なる電波干渉モデルに基づく資源割り当て法についても検討した。詳細については 5 章に示す発表論文を参照されたい。

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 6 件)

1. Y. Taniguchi, "Evaluation of interference estimation methods for graph coloring-based link scheduling in wireless relay networks," *Information*, vol.18, no.8, pp.3705-3716, Aug. 2015. (査読有)
2. Y. Taniguchi, K. Inoue, "Design and evaluation of self-organizing scheduling mechanism adaptive to traffic load for wireless networks," *Information*, vol.18, no.6A, pp.2503-2512, June 2015. (査読有)

3. Y. Taniguchi, M. Sasabe, T. Watanabe, H. Nakano, ``Tracking pedestrians across multiple microcells based on successive Bayesian estimations,`` The Scientific World Journal, vol.2014, article ID 719029, 7 pages, Aug. 2014. DOI: 10.1155/2014/719029 (査読有)
4. G. Hasegawa, S. Takagi, Y. Taniguchi, H. Nakano, M. Matsuoka, ``Design and evaluation of time slot assignment algorithm for IEEE 802.16j relay networks,`` International Journal of Computer Networks, vol.6, no.3, pp.50-65, June 2014. (査読有)
5. G. Hasegawa, Y. Ise, Y. Taniguchi, H. Nakano, ``Effect of radio wave obstruction by obstacles on performance of IEEE 802.16j wireless multi-hop relay networks,`` International Journal on Advances in Networks and Services, vol.6, no.1-2, pp.17-26, June 2013. (査読有)
6. Y. Taniguchi, G. Hasegawa, H. Nakano, ``Self-organizing transmission scheduling considering collision avoidance for data gathering in wireless sensor networks,`` Journal of Communications, vol.8, no.6, pp.389-397, June 2013. DOI: 10.12720/jcm.8.6.389-397 (査読有)

〔学会発表〕(計 10 件)

1. Y. Taniguchi, ``Experimental evaluation of a WiFi device in an undersea environment,`` in Proceedings of UKSim/IEEE AIMS 2015, pp.408-411, Kota Kinabalu, Malaysia, 2015 年 12 月 2 日.
2. T. Yoshida, Y. Taniguchi, ``Estimating the number of people using existing WiFi access point in indoor environment,`` in Proceedings of ECCS 2015, pp.46-53, Rome, Italy, 2015 年 11 月 7 日.
3. 伊礼泊正敏, 谷口義明, ``TDMA 型無線網におけるリンクスケジューリングのための電波干渉推定手法の評価,`` 電子情報通信学会関西支部 第20回学生会研究発表講演会論文集, p.35, B2-5, 神戸大学, 兵庫, 2015 年 3 月 5 日.
4. 井上紘兵, 谷口義明, ``無線ネットワークにおける自己組織型重み付きスケジューリング,`` 電子情報通信学会関西支部 第20回学生会研究発表講演会論文集, p.34, B2-4, 神戸大学, 兵庫, 2015 年 3 月 5 日.
5. Y. Taniguchi, ``A study on radio interference estimation method for wireless relay network link

scheduling,`` in Proceedings of UKSim/IEEE ICAIET 2014, pp.292-297, Kota Kinabalu, Malaysia, 2014 年 12 月 4 日.

6. Y. Taniguchi, ``Desynchronization-based weighted scheduling adaptive to traffic load for wireless networks,`` in Proceedings of I4CT 2014, pp.130-134, Langkawi, Malaysia, 2014 年 9 月 2 日.
7. 高木祥一, 長谷川剛, 谷口義明, 中野博隆, 松岡茂登, ``IEEE 802.16j リレーネットワークのための発見的手法に基づくタイムスロット割当アルゴリズムの比較評価,`` 電子情報通信学会技術研究報告 (ネットワークシステム研究会), vol.113, no.472, pp.237-242, NS2013-217, シーガイア, 宮崎, 2014 年 3 月 7 日.
8. 肥後恒平, 長谷川剛, 谷口義明, 中野博隆, 松岡茂登, ``重回帰分析を用いた IEEE 802.16j リレーネットワークのスループット解析,`` 電子情報通信学会技術研究報告 (ネットワークシステム研究会), vol.113, no.472, pp.231-236, NS2013-216, シーガイア, 宮崎, 2014 年 3 月 7 日.
9. K. Higo, G. Hasegawa, Y. Taniguchi, H. Nakano, M. Matsuoka, ``Multiple regression analysis of IEEE 802.16j relay network throughput,`` in Proceedings of UKSim/IEEE ICACT 2014, pp.437-441, Pyeongchang, Korea, 2014 年 2 月 17 日.
10. S. Takagi, G. Hasegawa, Y. Taniguchi, H. Nakano, M. Matsuoka, ``Comparative evaluation of heuristics for time slot assignment in IEEE 802.16j relay networks,`` in Proceedings of ICMU 2014, pp.83-84, Bras Basah, Singapore, 2014 年 1 月 6 日.

〔その他〕

ホームページ等
<http://www.icnl.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

谷口 義明 (TANIGUCHI, Yoshiaki)
 近畿大学・理工学部・講師
 研究者番号: 50532579