

令和元年6月12日現在

機関番号：14701

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K12422

研究課題名(和文) IEEE802.11に基づいた高速かつ高信頼な無線メッシュ網アーキテクチャの開発

研究課題名(英文) A High Speed and Reliable Wireless Mesh Network Architecture Based on IEEE802.11

研究代表者

吉廣 卓哉 (Yoshihiro, Takuya)

和歌山大学・システム工学部・准教授

研究者番号：80362862

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、スロット化CSMAを前提とした無線メッシュ網において、隠れ端末問題を起こさないスケジューリング・経路計算手法であるCATBSを改良する。まず、無線メッシュ網において経路制御プロトコルに組み込み可能な軽量のヒューリスティックアルゴリズムの構築を行い、計算能力が高くないノードが自律分散的にスケジューリング計算を行えるようにする。次に、高速通信時でも自律分散的に隠れ端末を探索し、高速通信に対応した干渉モデルを用いてスケジューリングを行う手法を提案し、高速通信時でもフレーム衝突を防ぐ無線メッシュ網の実現を目指す。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、無線端末が有線ケーブルを使うことなくマルチホップ通信できる無線メッシュ網の高速化を促進する。無線メッシュ網はこれまで、複数端末間の通信の干渉を抑えることが難しく、実用的な通信速度を実現することが困難であった。本課題では、スロット化CSMA上で動作するスケジューリング方式CATBSを改良することによってこの問題の解決を目指す。具体的には、CATBS上で問題点となっていたスケジューリングの計算負荷と、現在標準的に用いられているような高速通信への対応の2点の問題を解決し、スロット化CSMAを用いた実用的な無線メッシュ網の実現に向けて技術水準を向上した。

研究成果の概要(英文)：We improved the joint routing and scheduling algorithm CATBS that works on slotted-CSMA-based wireless mesh networks. First, we designed a light-weight heuristic joint routing and scheduling algorithm that works in distributed environment on low-power devices that has low computational or memory resources. Second, we proposed a method to fit the algorithm to the high-speed IEEE802.11 standards. By introducing interference models that can work with high-speed communications, we make a reliable estimation for hidden-terminals and incorporate it in the joint routing and scheduling algorithm, which significantly reduces the frame collision in the wireless mesh networks.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：無線メッシュ網 経路制御 スケジューリング スロット化CSMA 組合せ最適化

様式 C - 19, F - 19 - 1, Z - 19, CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

大規模(スケラブル)で高速・高信頼な無線メッシュ網が、ライセンス不要な 2.4GHz 帯で自律的に構成できれば、誰もが手軽に利用できる無線インフラが実現され、IoT 時代において幅広く利用される利用価値が高い技術となる。大規模・高速・高信頼な無線メッシュ網は、数十年にわたり非常に活発に研究されてきた。しかし、MAC 層に CSMA (IEEE802.11) を用いると隠れ端末問題が、TDMA を用いるとスロット同期とスケジューリング計算量が深刻な問題となり、実用的な通信性能が発揮できない。

一方、無線センサ網を対象とするならば、IEEE802.15.4 のような、大規模ネットワークを自律的に構成可能な技術は多数提案されており、これらの多くは CSMA と TDMA のハイブリッド MAC プロトコルを用いる。しかし、低速でデータを集約すれば良いセンサ網とは異なり、高速なデータ通信インフラを担う無線メッシュ網に対する通信性能への要求は厳しく(大きなパケットに対しても高速、低遅延、低損失率が要求される)、無線センサ網の通信方式を適用するのは難しい。

申請者は、センサ網で頻繁に用いられるスロット化 CSMA (時分割スロット内で CSMA を動作させる)に独自の工夫を加えることで、実用的な無線メッシュ網の実現を目指している。センサ網では小さいパケットを低速・高遅延で収集できれば良いため隠れ端末を多少許した緩いスケジューリングでも実用的な動作をするが、メッシュ網ではフレーム衝突のない厳密なスケジューリングによる高速・低遅延な通信が求められる。申請者はスロット化 CSMA を対象として、少ないスロット数でフレーム衝突をゼロにするスケジューリング法を開発し、シミュレーション評価を通じてほぼゼロ衝突で高速・低遅延通信が可能であることを確認した。

2. 研究の目的

本提案では、一般ユーザが無線基地局を設置するだけで高速かつ信頼性のある無線マルチホップ通信を実現することを目的とする。このためには、上記スロット化 CSMA に基づいたスケジューリング方式が、現在用いられている無線 LAN 規格の下で、自律分散的に動作する必要がある。このために、本研究では、次の 2 点の研究開発を行った。

まず、(1)大きな計算能力を持たない無線基地局上でも動作するスケジューリングアルゴリズムを開発する必要がある。従来法はスケジューリング問題を部分 MAX-SAT に帰着して解く方法を用いているが、帰着された MAX-SAT 問題のサイズが非常に大きいため数 GB 程度のメモリサイズでは対応できない問題がある。また、問題が NP 困難であるため、解く際にも非常に大きな計算能力を必要とする問題があった。本研究では、スケジューリング問題を直接的に解くヒューリスティックアルゴリズムを開発することにより、必要とされるメモリサイズ、および計算時間を劇的に小さくする。

次に、(2)最新の無線通信規格を用いた場合にも対応できるスケジュールを開発する必要がある。従来法は、フレーム衝突のないスケジュールを計算する際に電波干渉モデルとしてシングルディスクモデルを用いている。本モデルでは通信可能距離と干渉距離が等しいと仮定することから、6Mbps 程度の低速通信の場合には比較的現実合った電波干渉予測ができるのに対して、より高速な無線 LAN 規格を用いた場合には現実との乖離が大きくなるために適用できない問題があった。本研究では、より現実的な電波干渉モデルを用いるように従来手法を拡張することにより、高速な無線 LAN 規格を用いた場合にも機能するスケジューリング方式を開発する。

3. 研究の方法

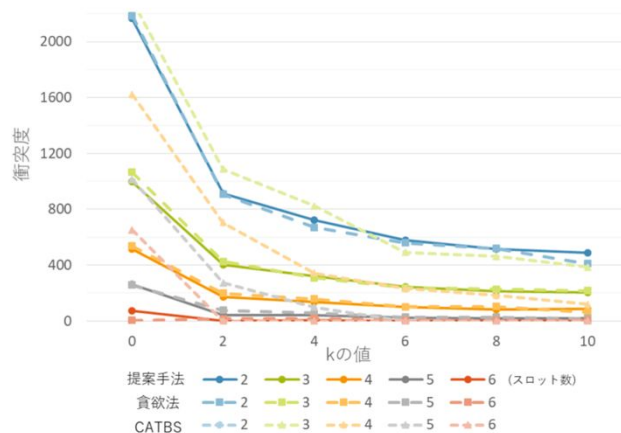
(1)メモリ量および計算量の小さいスケジューリングアルゴリズムの開発は、従来のような全探索アルゴリズムではなく、貪欲法に基づいたヒューリスティックアルゴリズムを設計することにより行う。具体的には、スケジューリング問題をトポロジ最適化問題とスロット割り当て最適化問題に分割し、定式化した上で、それぞれを解くアルゴリズムを設計する。前者に関しては、媒介中心性に基づいた方法を設計する。媒介中心性とは、ある頂点や枝が 2 頂点間の最短経路の構成要素としてどの程度用いられるかを数値化したものであり、グラフ上の任意の 2 頂点の通信を媒介するにあたり、各頂点や枝がどの程度の重要性を持つかを表している。媒介中心性を用いることで、経路制御にあたり重要なリンクを優先的に残し、重要でないリンクを省くことで、スケジュールに用いるリンク集合を近似的に最適化計算する。後者に関しては、隠れ端末問題を誘引し得るリンクペアを衝突リンクペアと定義し、衝突リンクペアが可能な限り少なくなるような、貪欲法に基づいた探索アルゴリズムを設計する。これら二種類の最適化問題を解くことで、最適に近いスケジュールを、小さい計算量とメモリ量で解くことができる。

(2)高速通信に対応したスケジューリング方式は、各ノードが定期的に発する IEEE802.11 のビーコンを観測することで行う。各ノードが周囲のノードの通信との干渉可能性を調べ、この結果を周囲のノードと共有し、この情報に基づいて高速通信時の隠れ端末問題の発生箇所を特定する。高速通信に対応するために、隠れ端末問題の発生箇所は、通信可能距離と干渉距離を区別して扱うダブルディスクモデルを適用することで求める。高速通信に対応したモデルで干渉関係を計算することで、高速通信時にもフレーム衝突を起こしにくいスケジュールを自律分散的に計算することができる。

4. 研究成果

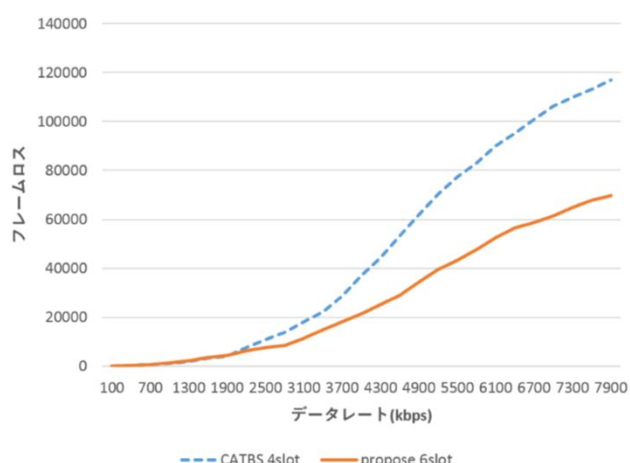
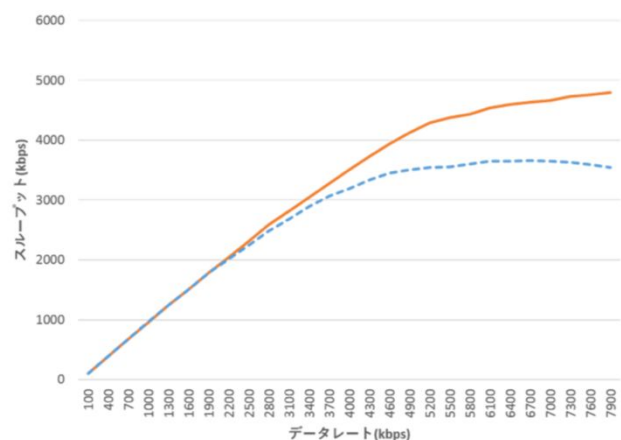
(1) 自律分散環境でも動作するスケジューリングアルゴリズムの設計

メモリ量および計算量の小さいスケジューリングアルゴリズムを設計・実装し、格子トポロジのネットワークに適用することで、提案手法の性能評価を行った。従来手法 CATBS と、提案アプローチに従った貪欲法、そして、提案アプローチに従い探索を導入した提案手法の性能を比較している。その結果を右図に示す。評価指標である衝突度は、スケジュールにおいて衝突可能性があるリンク組合せの数を表しており、小さいほど衝突可能性が低い。また、用いることができるスロット数が多いほど衝突度を低減できるため、スロット数として2～6スロットが使える場合を比較した。本結果から、提案アプローチに従って設計した貪欲法と提案手法は、従来手法である CATBS と比較して衝突度を低く抑えることができることが明らかとなった。なお、従来法は MAX-SAT による全探索であるためメモリ量と計算量がかなりかかるのに対して、提案アプローチに基づいた方法では、一般的な PC でも数秒～数分で実行可能な程度に計算量は小さく、必要メモリ量についても数キロバイトもあれば十分なほど小さい。上記より、提案手法は自律分散環境の比較的低い計算資源を持つ端末の上でも動作し、スケジュール性能も従来法と比較して十分に高いことが明らかになった。



(2) 高速通信に対応したスケジューリング方式の開発

高速通信に対応したスケジューリング方式を設計・実装し、ネットワークシミュレータ Scenargie を用いて性能評価した。30 ノードをランダム配置したトポロジにおいて Constant Bit Rate(CBR)フローを 15 本ランダムに発生させ、通信性能を調査した。無線通信規格は、IEEE802.11g の 48Mbps とした。提案手法と、従来手法である CATBS を比較した。従来手法は 4 スロット、提案手法は 6 スロットの結果を示している。従来手法、提案手法ともに 4-8 スロットの場合を試し、もっとも結果が良かったスロット数を選んで比較した。右上図はスループットの比較であり、データレートが低い場合はあまり差がないが、データレートが高くなると差が大きくなる。これは、データレートが大きくなるにつれてフレーム衝突率が高くなるためであり、従来法よりも、高速通信に対応した提案法の方が衝突を低く抑えられていることがわかる。右下図はフレームロス数の比較であるが、スループットの場合と同様の理由で、明らかに提案手法の方がフレームロスが少なくなっていることがわかる。上記により、提案手法は高速通信により適した電波干渉モデルを用いることにより、高速通信時の衝突を大幅に減らすことに成功し、通信性能を向上できることが明らかとなった。



5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計2件)

[1] Y. Mori and T. Yoshihiro, Link-speed Aware Scheduling for Slotted CSMA Based Wireless Mesh Networks, International Journal of Informatics Society (IJIS), Vol.10, No.3, pp.129-138, 2019. (査読有)

[2] T. Noi and T. Yoshihiro, A Scheduling for Slotted-CSMA-based Wireless Mesh Networks to Reduce Delivery Delay, IPSJ Journal of Information Processing (JIP), Vol.27, No.2, pp.117-124, 2019. (査読有)

〔学会発表〕(計8件)

[1] T. Yoshihiro and T. Noi, Collision-free Channel Assignment is Possible in IEEE-802.11-based Wireless Mesh Networks, IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC2017), 2017. (査読有)

[2] 森康弘, 吉廣卓哉, スロット化 CSMA を用いた無線メッシュ網構築方式における最適な通信速度の検討, 第 85 回モバイル通信とパーベイシブコンピューティング研究会(MBL), 2017. (査読無)

[3] 斉藤明日香, 吉廣卓哉, CATBS に置ける貪欲なスケジューリングアルゴリズム, 情報処理学会関西支部大会, 2017. (査読無)

[4] 森康弘, 吉廣卓哉, 無線メッシュ網 CATBS に置ける高速通信に対応したスケジューリング法, 情報処理学会関西支部大会, 2017. (査読無)

[5] 斉藤明日香, 吉廣卓哉, CATBS に置ける媒介中心性に基づいた貪欲なスケジューリングアルゴリズム, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2017)シンポジウム, 2017. (査読無)

[6] 森康弘, 吉廣卓哉, CATBS に置けるビーコン観測に基づいた高速通信対応スケジューリング法, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2017)シンポジウム, 2017. (査読無)

[7] 野井貴央, 吉廣卓哉, スロット化 CSMA を用いた無線メッシュ網に置ける遅延を低減するためのスケジューリング法, 第 83 回モバイル通信とパーベイシブコンピューティング研究会(MBL), 2017. (査読無)

[8] T. Yoshihiro and T. Nishimae, Practical Fast Scheduling and Routing over Slotted CSMA for Wireless Mesh Networks, IEEE/ACM International Symposium on Quality of Services (IWQoS2016), 2016. (査読有)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

特になし

6. 研究組織

(1)研究分担者

なし

(2)研究協力者

なし

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。