

マルチホップ環境の無線ネットワークにおいて スループットの向上と公平性の改善を実現する通信プロトコルの提案とその評価

森田 泰生 指導教員：田 学軍

1 はじめに

無線 LAN (Local Area Network) は IoT デバイスの普及等により現在様々な場所で利用されている。そこで使用される MAC (Medium Access Control) プロトコルは無線 LAN の重要な技術の 1 つであり、通信効率と大いに関係がある。無線通信プロトコルには集中制御型 DCF (Distributed Coordination Function) と中央制御型 PCF (Point Coordination Function) がある。分散型には制御ノードがなく、各ノードは自律しているため、自由にネットワークに加入や脱退がすることができるという利点がある。一方で、ノード数の変動に伴いスループットや公平性が大幅に低下するという問題点がある。特にマルチホップ環境においては従来のバックオフアルゴリズムだと改善に限度があることを示している [1]。先行研究である OBEM (Optimizing Backoff by dynamically Estimating the number of nodes in Multi-hop networks) [2] は、隣接ノード数を推測して、最適なバックオフアルゴリズムである。これによって、低スループットや低公平性を改善することができる。この提案手法には問題点があり、ノードの密度によって隣接ノード数の推測精度が低下する。よって、隣接ノード数の推測精度に関する問題を改善し、ベースとなる従来手法 IEEE 802.11 DCF が抱える問題も改善することを目指す。本稿で提案する新しい MAC プロトコル ITMN (Improving Throughput of Multihop wireless networks by acquiring the Number of neighbor nodes) は、隣接ノード数に応じた最適な CW (Contention Window) を算出して、任意の無線ネットワークに最適なバックオフアルゴリズムを実現する。提案手法 ITMN を評価するにあたり、円形トポロジーと四角形トポロジーでのシミュレーションの結果に基づいて行った。

2 従来手法と先行研究

従来手法 IEEE 802.11 DCF は、制御ノードを必要とせず、各ノードが自律して送信する通信手法である。この方式では、衝突を回避するために、CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) を採用している。CSMA/CA では、ノードが送信を行う前にバックオフと呼ばれる待機期間がある。このバックオフには以下のようなアルゴリズムがある。

- (i) 送信するノードは、範囲 $[0, CW - 1]$ からランダムで選ばれた値でバックオフタイマーを初期化する
- (ii) アイドル状態（隣接ノードが送信していない状態）であれば、スロットタイムごとにタイマーを 1 つずつ減少
- (iii) ただし、周囲のノードが送信を行ったときにはタイマーをその間停止させる
- (iv) タイマーが 0 に達したときに送信を行う
- (v) 送信成功したら CW を CW_{min} にリセットし、終了する
- (vi) 衝突が発生したら CW を 2 倍して、(i) に戻る
- (vii) CW が CW_{max} に達すると失敗し、パケットを廃棄する

CW は小さすぎると衝突が発生しやすくなり、大きすぎると

無駄な待機時間が発生する。つまり、CW はネットワークの変動に適応した値でないと、効率よく通信することができない。しかしこのバックオフアルゴリズムだと、ノードが多くなるとともに衝突が高頻度で発生しやすくなり、スループットや公平性が著しく低下する問題点がある。

先行研究 OBEM は、隣接ノード数を推測して、その推測値によって CW を調整することで、ネットワークの変動に適応したバックオフを実現する提案手法である。これによって、従来のバックオフアルゴリズムよりも通信効率が向上する。まずノード数を推測するためには、隣接ノードのイベントを一定期間観測して、収集しておく。その結果から、隣接ノード数を推測して、理論解析を通じて CW を求めるという手法である。しかし、この手法だと、ノードの密度によって隣接ノード数の推測精度が低下するという問題がある。

よって、提案手法 ITMN は、高スループットと高公平性を実現し、トポロジーに関わらず隣接ノード数を正しく取得することを目指す。

3 提案手法 ITMN

ITMN は、高スループットや高公平性の実現する新しい MAC プロトコルである。ITMN は任意のネットワークの変動に適用可能であり、異なる環境に応じて最適な CW を動的に設定することが可能である。マルチホップ環境では隠れた端末問題などにより衝突が多く発生するため、スループットが著しく低下する。そのため各ノードは衝突を避け、効率のいい通信を行うために最適な CW を設定する必要がある。ITMN は以下に示す 3 つのステップを踏むことで、極端な通信性能の低下を改善することができる。また、任意のノードに着目して、そのノードのことをタグノードとする。

1 つ目は、隣接ノードから RTS/CTS パケットを傍受して、その送信元をまとめる。隣接ノードから送信される RTS/CTS パケットを受信することで、タグノードは周辺にどのぐらいのノードが存在するか認知できるようになる。

2 つ目は、一定期間 RTS/CTS パケットを傍受したら、そのパケット数から隣接ノード数を取得する。

3 つ目は、取得した隣接ノード数から最適な CW を算出して設定する。CW の算出は理論解析により式を導いており、その計算に必要なパラメータは隣接ノード数から算出することができる。

以上のアルゴリズムを経ることで、高スループットかつ高公平性を実現することができる。

4 シミュレーション結果

ITMN は、円形と四角形のトポロジーでシミュレーションを行い、従来手法 IEEE 802.11 DCF と先行研究 OBEM と比較した。円形トポロジーでのシミュレーション結果では、ITMN と 802.11 DCF のスループットと公平性を比較する。それぞれを図 1 と図 2 に示す。このときパケットサイズは、4000, 8000, 12000 bit で検証を行った。また、四角形のトポロジーのシミュレ

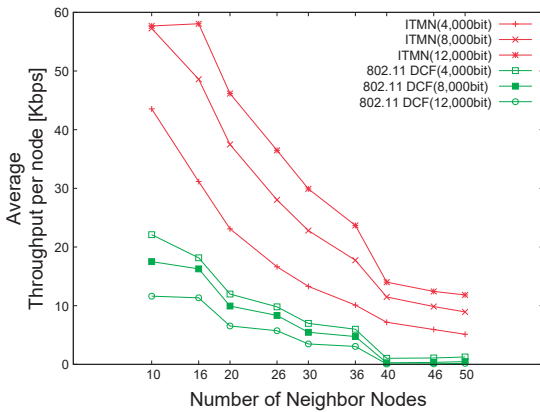


図1 隣接ノード数 vs. 1ノードあたりの平均スループット (円形)

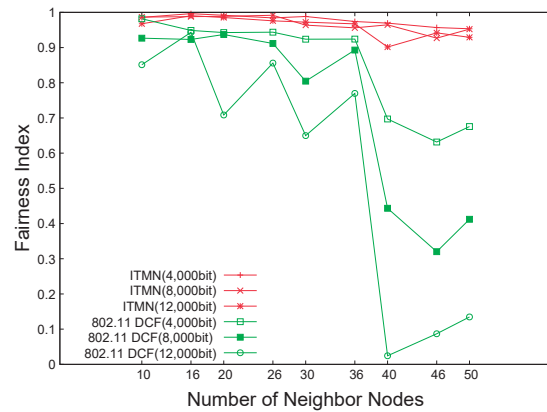


図2 隣接ノード数 vs. 公平性 (円形)

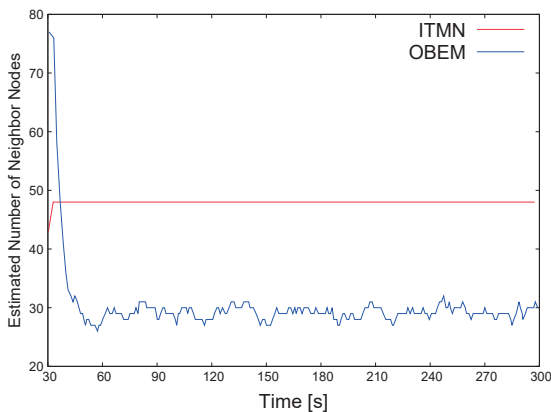


図3 Dノードによる隣接ノード数の推測精度 (四角形)

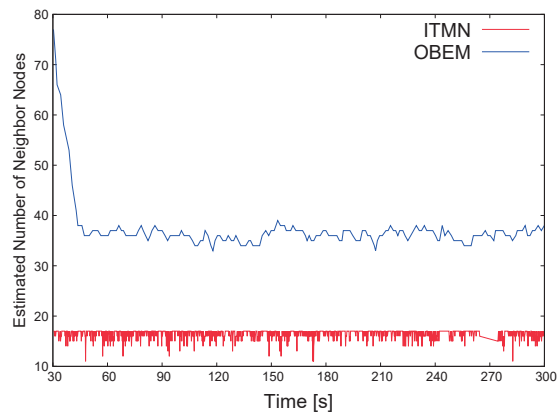


図4 Sノードによる隣接ノード数の推測精度 (四角形)

ションでは、ITMN と OBEM の隣接ノード数の推測精度の比較を行う。ここで、ノードの密度が最大となるノードを D ノード、ノードの密度が最小となるノードを S ノードとする。それぞれの隣接ノード数の値を図3と図4に示す。このときパケットサイズは、4000 bit で検証をした。

まずスループットと公平性についての評価を述べる。スループットは隣接ノード数の増加と反してスループットが低下する。ITMN と 802.11 DCF のスループットを比較すると、隣接ノード数やパケットサイズに関わらず ITMN の方がスループットがずっと高いことを示している。隠れ端末問題などの理由より発生する衝突を回避して、高スループットを実現している。

次に、公平性の評価を述べる。公平性とは、ノードが平等に通信することを意味している。公平性に関する計算は、Chiu と Jain [3] の FI (Fairness Index) に準じる。公平性は $FI \leq 1$ で、等号成立条件は全てのノードのスループットが一致するときである。802.11 DCF の公平性は、隣接ノード数やパケットサイズの増加に反して公平性が大きく低下している。802.11 DCF だと、ノードが多くなると通信することが困難になり、各ノードのスループットに大きな差が生じる。一方で、ITMN は隣接ノード数やパケットサイズに関わらず、公平性がほぼ一定であり、0.9 以上を保持している結果となった。この結果から、ITMN を実装しているノードは、平等に送信できている。

最後に、隣接ノード数の推測精度についての評価を述べる。D ノードと S ノードそれぞれ隣接ノード数を 48 と 17 になるように設定されている。OBEM における隣接ノード数の誤差はは D

ノードだと 20 前後、S ノードだと約 30 という結果となった。一方で、ITMN による誤差はほぼない結果となった。以上の結果から、ITMN はノードの密度に関わらず隣接ノード数が正しく取得できていることを示すことができた。

5 まとめ

本研究では、マルチホップ環境で適用できる分散型 MAC プロトコル ITMN を提案した。ITMN は、正しく隣接ノード数を取得することができ、最適な CW を算出することによって、隠れ端末問題などによる衝突を抑制して、高スループットと高公平性を実現することができた。

参考文献

- [1] J. Li, X. Zeng and Q. Su, "Performance Investigation of Back-off Algorithms in Multihop Wireless Networks," 2008 The 9th International Conference for Young Computer Scientists, 2008, pp. 564-569, doi: 10.1109/ICYCS.2008.289.
- [2] T. Sanada, X. Tian, T. Okuda and R. Horie, "A Novel MAC Protocol in Multi-hop Wireless Networks Through Dynamically Optimizing Backoff", WISATS2019, January 2019, to appear.
- [3] Dah-Ming Chiu, Raj Jain, Analysis of the increase and decrease algorithms for congestion avoidance in computer networks, Computer Networks and ISDN Systems, Volume 17, Issue 1, 1989, Pages 1-14, ISSN 0169-7552. [Online]. Available: [https://doi.org/10.1016/0169-7552\(89\)90019-6](https://doi.org/10.1016/0169-7552(89)90019-6)