

無線メッシュネットワークにおける電力残量と負荷を考慮した適応型ルーティングプロトコル

中村 勇介[†] 小山 明夫[†]

山形大学大学院理工学研究科[†]

1. はじめに

近年、モバイル端末の普及などを背景に、無線 LAN のアクセスポイント(AP: Access Point)を相互に無線接続して広域無線 LAN エリアを提供する無線メッシュネットワーク(WMN: Wireless Mesh Network)が普及しつつある。また、ユーザに提供できるネットワーク性能やバッテリー駆動の AP を用いている WMN のネットワーク管理に関して、データ伝送経路を決定するルーティングは重要な要素となる。本稿では、ネットワーク長寿命化と高品質なネットワーク性能の提供を目的としたルーティングプロトコルを提案する。具体的な手法として AP の電力残量の均等化と負荷の分散を行う。また、負荷を考慮したメトリックとして ECD, EED を提案する。シミュレーションにより性能評価を行った結果、従来手法と比較してネットワーク性能、電力残量の均等性とも向上することを示した。

2. 関連研究

2.1. HWMP(Hybrid Wireless Mesh Protocol)

HWMP[1]は WMN で採用されている標準化ルーティングプロトコルである。

2.2. Airtime

Airtime は HWMP で採用されているメトリックである。Airtime はチャネルアクセスオーバーヘッド O_{ca} , プロトコルオーバーヘッド O_p , テストフレームビット数 B_t , 伝送レート r , フレームエラー率 e_f を用いて式(1)で表される。

$$\text{Airtime} = \left[O_{ca} + O_p + \frac{B_t}{r} \right] \frac{1}{1 - e_f} \quad (1)$$

Airtime は 1 フレームの伝送遅延に送信回数を掛け、リンクでの再送を考慮した伝送遅延を表す。

2.3. 関連研究の問題点

HWMP はノードの電力を考慮しておらず、従来 AP に代わりモバイル AP を用いた場合、モバイル AP の電力枯渇を招く可能性がある。また Airtime はネットワークの負荷状況を反映するパラメータがなく、負荷による性能劣化に陥る恐

れがある。

3. 提案手法

3.1. ECD(Expected Contention Delay)

ECD は自身がパケットを送信できるまでの予想待ち時間である。これは隣接ノードの負荷を反映している。ECD の値が大きいほど隣接ノードの負荷が大きいことを表し、電波干渉などの影響を受けやすいことを示す。ECD の値は隣接ノードの平均キュー長(NAQ: Neighbor Average Queue)の値により 3つの式に分岐する。ここでキュー長はノードのキューに滞留しているパケット数を表し、負荷パラメータとして用いている。

i) $NAQ > 1$

各隣接ノードが平均 1 パケットより多くキューに滞留させており、処理のため複数回の送信を発生するものと考ええる。自身は全ての送信機会で送信権を隣接ノードと争うとし、ノード i における ECD は隣接ノード数 N , 隣接ノード平均伝送遅延 NAA (Neighbor Average Airtime)を用いて式(2)で表される。

$$ECD_i = N \times NAA \quad NAQ > 1 \quad (2)$$

ii) $0 < NAQ \leq 1$

隣接ノードは 1 回の送信でキューのパケットを処理でき、送信後は送信要求を発生しないと考える。1 回で自身が送信できる場合と最後まで送信できない場合の中間を取り、この場合の ECD は式(3)で表される。

$$ECD_i = \frac{N}{2} \times NAA \quad 0 < NAQ \leq 1 \quad (3)$$

iii) $NAQ = 0$

自身は隣接ノードと送信権を争うことなく 1 回で送信権を獲得できると考える。この場合の ECD は式(4)で表される

$$ECD_i = 0 \quad NAQ = 0 \quad (4)$$

3.2. EED(Expected End-to-end Delay)

EED は送信元から宛先(End-to-End)までパケットが到着するまでの予想遅延時間である。隣接ノードの負荷を表す ECD と経路上の負荷を合わせて EED というメトリックで表す。ノード ij 間のリンクにおける EED_{ij} はノード i の ECD の値 ECD_i , リンク ij の Airtime の値 $Airtime_{ij}$, ノード i のキュー長 Q_i を用いて式(5)で表される。経路としての評価値はリンクの EED の総和である。

$$EED_{ij} = (ECD_i + Airtime_{ij}) \times (Q_i + 1) \quad (5)$$

An Adaptive Routing Protocol Considering Electricity Remaining Quantity and Network Load in Wireless Mesh Networks

Yusuke Nakamura[†], Akio Koyama[†]

[†]Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University

3.3. 経路構築手順

提案手法の経路構築手順を簡単に説明する。提案手法の経路構築手順は初期経路構築フェーズと経路再構築フェーズに分かれる。初期経路構築フェーズではネットワークの通信性能を重視した経路構築を行い、経路再構築フェーズではネットワーク長寿命化のため比較的電力に余裕がある経路へと切り替える。

3.4. 初期経路構築フェーズ

提案メトリック EED で負荷を考慮した経路構築を行う。負荷を避けて経路構築を行い負荷を分散させる。負荷集中により起きる特定ノードの電力消費増大を防ぐことも目的としている。

3.4.1. 経路探索

経路探索は送信元ノードから宛先ノードへの経路を探索するプロセスである。

- i) 送信元ノードは経路探索メッセージ(PREQ: Path REQuest)をフラッディングすることにより宛先ノードを探索する。PREQ には送信元アドレス、宛先アドレス、メトリックなどの情報が格納されている。
- ii) PREQ を受信したノードは PREQ のメトリックと送信元ノード方向の経路表を更新する。宛先ノードでないとき PREQ をブロードキャスト中継する。
- iii) 宛先ノードが PREQ を受信したとき同様に PREQ と経路表を更新し、経路応答プロセスに移行する。

3.4.2. 経路応答

経路応答は宛先ノードが送信元ノードへ発見された経路を通知するプロセスである。

- i) 宛先ノードは経路応答メッセージ(PREP: Path REPLY)を送信元ノードへユニキャストで送信する。PREP には PREQ と同様の情報が格納されている。
- ii) PREP を受信したノードは PREP のメトリックと宛先ノード方向の経路表を更新し、送信元ノードでないとき PREP をユニキャスト中継する。
- iii) 送信元ノードが PREP を受信したとき同様に PREP と経路表を更新し、宛先へのデータ送信を開始する。

3.5. 経路再構築フェーズ

比較的電力に余裕がある宛先までの経路が他に存在した場合、初期経路構築フェーズで構築した経路をその経路へ切り替える。これは全体のノードの電力残量を均等に近づけ、ノードの電力枯渇を遅らせることが目的である。

3.5.1. 再構築判断

各ノードは定期的に Lifetime(残り寿命時間)を測定している。Lifetime[s]は RemainingEnergy(ノード残電力)[J]/DrainingRate(電力消費速度)[J/s]

表 1. シミュレーション結果

| | 成功率[%] | 遅延[ms] | 電力残量標準偏差 |
|------|--------|--------|----------|
| 従来手法 | 57 | 1448.7 | 2.1658 |
| 提案手法 | 79.46 | 500.77 | 1.4897 |

で表される。各経路の中継ノードの Lifetime が最大値の 50%~10%(10%刻み、計 5 回)を下回ったとき、経路再構築を試みる。該当ノードは経路の送信元ノードへ再構築要求メッセージを送信し、再構築を開始させる。また該当経路の中継ノード中で最小の Lifetime も同時に通知する。再構築要求メッセージを受信した送信元ノードは初期経路構築フェーズと同様の経路構築を再度行う。ただしいくつか異なる点がある。

- i) PREQ に最小 Lifetime を追加で格納する。最小 Lifetime 以上の Lifetime を持つノードのみが PREQ を中継する。
- ii) 経路探索の際は各経路で中継ノードの最小 Lifetime を記録しながら中継し、各経路を比較し最大の最小 Lifetime を持つ経路へ切り替える。

4. 性能評価

ns3 によるシミュレーション評価を行った。

4.1. シミュレーションシナリオ

AP25 台を 100m 間隔で 5×5 のグリッド状に配置した。ランダムに送信、受信ノードを 1 つずつ選択し、CBR フロー(400kbps)5 本を 240 秒間送信したときの従来手法と提案手法の平均伝送成功率、遅延、電力残量均等性(シミュレーション終了時の全ノードの電力残量の標準偏差)を測定した。ノード電力初期値は全て 10[J]とした。

4.2. 結果

シミュレーション 5 回分の平均した結果を表 1 に示す。提案手法は負荷を考慮して経路構築を行っているため負荷による性能劣化を防いでいる。また、経路再構築により電力に余裕のある経路に切り替えることで全体の電力残量が均等に近づいている。

5. まとめ

本稿では、提案メトリック ECD, EED と経路再構築手法を用いて電力残量の均等化と負荷分散を達成するルーティングプロトコルの提案を行った。ns3 によるシミュレーション評価の結果、従来手法と比較しネットワーク性能、電力残量均等性とも向上することを確認した。

参考文献

- [1] IEEE Std.802.11TM-2007, "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," IEEE Computer Society, Sept.2007.