

マルチホップマルチレートネットワークにおける 接続先選択と中継ノードのスケジューリングの性能評価

藤井 聡佳[†]

村瀬 勉[‡]

小口 正人[†]

[†]お茶の水女子大学

[‡]NEC

1. はじめに

Wi-Fi での通信カバレッジ拡大のために、モバイルアドホックネットワーク (MANET) 技術を用いた中継通信方法が注目されている。経路ノードとして、スマートフォンなどの Wi-Fi ユーザ端末を想定した場合、中継端末自身の経路メリットの考慮や自身のトラヒックの優先制御も必要である。本稿では、MANET の各ノードにおける、経路トラヒックと自身のトラヒックとの送信スケジューリング方法が全体のスループットに与える影響について調査する。

送信目的ノードまでの接続経路が複数存在し、それぞれに伝送レートが異なる (マルチレート) ような MANET のスループットは接続先選択に大きく依存する。この接続先選択において、本稿で検討対象とするのは次の二つの特性である；一つは、ノードからの距離が遠くなるにつれてマルチレート制御によって伝送レートが低下するため、スループットが低下してしまうこと、もう一つは、ホップ数増加にともなって CSMA/CA の送信機会の関係からスループットが大幅に低下してしまうことである。本稿では、さらに、中継ノードは転送トラヒックだけでなく自身のトラヒックも送信し、中継トラヒックと自身のトラヒックをノード自身が決めた配分で送信制御 (スケジューリング) する、という仮定をおく。このとき、このスケジューリングの内容はあらかじめ決められた後で広告され、他ノードは、このスケジューリングと伝送レートとホップ数を考慮して、接続先のノードを選択するとする。

2. 従来研究

[1] では、自身のアップリンクトラヒックのパケットを一つ送信するたびに転送アップリンクトラヒックのパケットを一つ転送することで、ホップ数の異なるユーザ間のスループット差異を解消するスケジューリング方法を提案しているが、マルチレート通信における特性には言及していない。一方、[2] では、無線メッシュ網に接続するユーザが目的のサーバに到達するまでの経路上のマルチレート通信性能を考慮することで、最大のスループットを得られる AP 選択手法を提案しているが、スケジュー

リング方法には言及していない。しかしながら、これらスケジューリング方法と接続先選択制御を組み合わせた場合の通信特性は、より複雑なものとなる。なぜなら、スケジューリング方法により異なる接続先を選択する場合があります、それにとまってシステム全体のリンク容量が変化するという依存関係が存在するからである。

3. 接続先選択とスループット

3.1 マルチレートと Performance anomaly

無線 LAN では、フレーム受信状況に応じて適切な伝送を行うため、各端末それぞれに適した伝送レートが用いられる。CSMA/CA の送信機会均等性により既存の高伝送レート端末に対して低伝送レート端末が加わると、高伝送レート端末およびシステム合計スループットが著しく低下する Performance anomaly と呼ばれる状況が生じる [3]。本稿では、キャリアセンス範囲内にすべてのノードが含まれるような小規模な MANET を対象としており、Performance anomaly はシステム全体に影響を及ぼす。

Performance anomaly を考慮した、送信端末数 n 台、1 ホップの場合のマルチレートの端末 1 台あたりのスループットは、各端末の伝送レート v_i の調和平均 $\frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{v_i}}$ に

よって、おおよその値を求めることができる [2] とされているため、本稿でもこの計算式でスループットを算出している。

3.2 評価モデル

中継ノードのスケジューリング内容と接続先選択の関係を調査するために図 1 に示すトポロジで、中継ノード、接続ノード、システム全体のそれぞれのスループットを評価した。図 1 において、AP-受信端末間の有線通信以外は、全てのノードは、お互いに相手をキャリアセンスドメインに含み、全てのノードは同じチャネルを用いて通信を行う。 $n (\geq 1)$ 台の未接続ノード (テナントと呼ぶ) は中継可能ノード (オーナー 1 または 2、と呼ぶ)、基地局 (AP と表記) を経由し、有線受信端末へ向けて片方向の飽和 UDP トラヒックを流す。各オーナーも同方向に自身の UDP トラヒックを流す。各ノード間では、図に示したような (距離に応じた最適な) 伝送レートが使われる。

オーナーは、スケジューリングを任意に決めることができ、テナントは、そのスケジューリングを知った上で、好きなオーナーに接続できるとする。ここでは、テナン

Performance evaluation with packet scheduling in on multi-hop multi-rate relay network with weighted round robin scheduling and connecting node selection

[†] Satoka Fujii, Masato Oguchi

[‡] Tutomu Murase

Ochanomizu University ([†])

NEC Corporation([‡])

トは自身のスループットを最大にすることを目的とし、
 そうなるようなオーナーに接続し、この対応を考慮して、
 オーナーは、自身のスループットを最大にすることを目的とし、
 スケジューリングを決めるものとする。オーナー 1 は、
 自身の送信トラヒックを非常に高く優先するスケジューリングが
 一見、自身のスループット向上につながるように思えるが、
 テナントがオーナー 2 に接続すると前述の Performance anomaly
 が発生するため、自身のスループットも低下してしまう。一方、
 自身のトラヒックの優先度を下げすぎても、スループットは低下
 する。従って、オーナー 1 には、テナントを適度に自身に
 接続させるように誘導する適当なスケジューリング方法がある
 はずである。そこで、スケジューリングの比が
 【[オーナー 1] : [オーナー 2] : [オーナー 1 経由のテナント
 合計] : [オーナー 2 経由のテナント合計] = $a : b : 1/p : 1/(1-p)$ 】
 となるように設定し、パラメータとスループットの関係性を調べた。

この a と b を定めると、自ずと全体スループット中で
 テナントスループットの占める割合も決まる。すると、
 各 p について各テナントスループットが最大化できるテナ
 ントの接続パターン (s 台がオーナー 1 に、 t 台がオー
 ナー 2 に) も定まる。また、オーナーのスループットが最大
 化できる接続パターンは a と b には依存するが、 p に
 依存しない。従って、オーナーは、テナントスループット
 の最大化を同時に満たす範囲で p をとるのが最適となる
 ことから、オーナーの重み付け a, b を定めると、最適
 なテナントの重み付け p も一意に定まる。

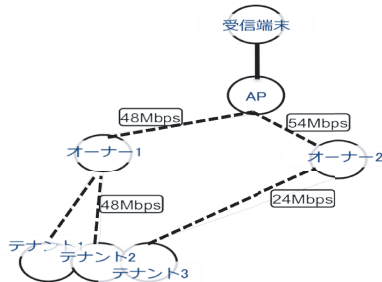


図 1: 評価モデルのトポロジ

3.3 評価結果

前節の評価モデルにおいて、 $a = 2, b = 2, n = 3$ 、
 $0.1 \leq p \leq 0.9$ とし、テナント 1 ~ s ($s \leq n$) がオーナー 1 を
 経由、 t ($t \geq 1$) ~ n がオーナー 2 を経由したときの、台数
 比 $s:t$ ごとの各スループットを図 2-4 に示す (オーナー 2
 およびテナント 1 ~ $n-1$ は省略)。

Performance anomaly を考慮すると、全体スループット
 およびオーナーのスループットを最大化するためには
 全テナントがオーナー 1 を経由するのがよいが、テナント
 n のスループットはスケジューリングのパラメータ p に大
 きく依存するため、これを最大化するためには、 $0.5 \leq p$
 の場合のみ全テナントがオーナー 1 を経由するのがよい。
 また、 p が 0.9 に近づくほど各テナント間のスループット
 差が大きくなってしまいうため、平等な接続先選択とは

いえない。したがって、テナント間の平等性を担保しつつ
 全体スループットやオーナーのスループットを最大化する
 ためには、 $p = 0.5$ 付近で全テナントがオーナー 1
 に接続するのがよいといえる。

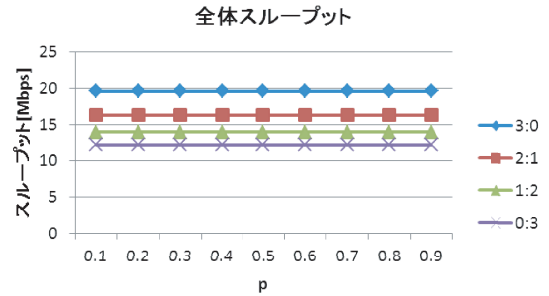


図 2: 全体スループット

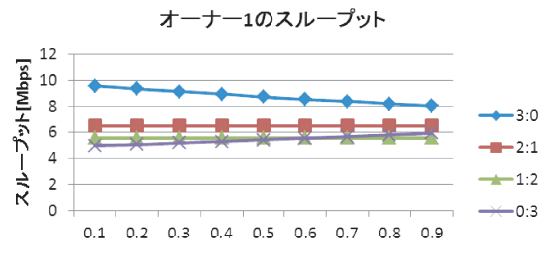


図 3: オーナー 1 のスループット

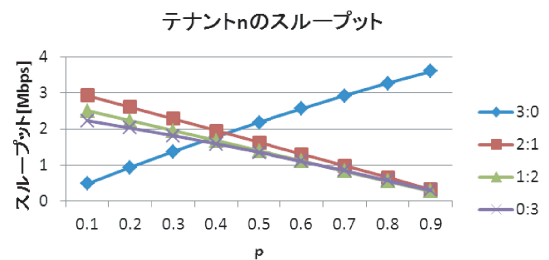


図 4: テナント n のスループット

4. まとめ

複数のモバイル端末やモバイルルータがマルチホップ
 ネットワークを構成し、伝送レートが異なり、なおかつ
 経由ノード段数も異なる複数の経路が可能であるネット
 ワークにおいて、中継ノードが転送トラヒックおよび自
 身の送信トラヒックに対して、あるスケジューリングを決
 める。このスケジューリングに応じて、各種スループット
 のそれぞれの値を最大にすることを目的とすると、適
 切なテナントの接続方法を明らかにした。スケジューリ
 ングのパラメータがある値の範囲においては、全テナ
 ントが一方のオーナーに接続することで、テナント間の公
 平性を担保しつつ全体スループットやオーナーのスル
 ープットを最大化することが可能である。

参考文献

- [1] J. Jun et al., "Fairness and QoS in Multihop Wireless Networks," IEEE VTC2003.
- [2] 三木ほか, "無線メッシュ網における...", 信学技報, IN2009-158, 2010.
- [3] M. Heusse, et al., "Performance anomaly of 802.11b," IEEE INFOCOM2003.