

# マルチホップネットワークにおける経路選択の特性評価

藤井 聡佳 (指導教員：小口 正人)

## 1 はじめに

テザリングやモバイルルータなどの移動無線ノードの普及および Wi-Fi ダイレクトを用いた仮想マルチホップ網の構成技術などにより、移動メッシュネットワークの実現性が高まってきた。移動メッシュネットワークでは、ノード間でのパケットリレーにより、近隣の AP から所望の目的地に通信が可能であるが、その QoS (例えばスループット) は、AP 選択方法に大きく依存する。AP 選択を決める大きな要因は、無線 LAN の特徴であるマルチレート通信と送信機会均等制御である。

本稿では、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、目的のサーバに接続するために、伝送レートが異なり、なおかつ経由ノード数も異なる複数の経路が可能であるネットワークを想定する。ネットワーク全体の合計スループットが最大になるような AP 選択方法を提案し、その性能評価を行う。

## 2 従来研究

メッシュあるいはマルチホップネットワークにおける AP 選択方法は数多く検討されており、またマルチレートでの AP 選択方法についても、多くの研究がある。本稿では、これらを同時に考慮するマルチホップマルチレートでの AP 選択方法を示す。[1] では、既存端末に加えて新規端末を収容するときの AP 選択方法を示しているが、本稿では、一般的に、端末数と AP 選択結果が性能にどのような影響を与えるかを評価し、理想的な AP 選択方法を検討する。また従来の研究では、理想的あるいは理論的な伝搬モデルを用いたものが多いが、本稿では、現実に即したモデルを計測結果を基に利用している。

## 3 マルチホップとマルチレートの特性および電波モデル

### 3.1 マルチホップ

マルチホップ網では、リンク容量は、リレー時に送信および受信のために 2 度使用されることにより、中継ごとにスループットが低下する。例えば、エッジノードにおいては、端末数が  $n$  で、リレー先が  $k$  ヶ所するとき、uplink 方向のスループットは  $1/n$  程度になる。従って、端末数が多いほどマルチホップは不利になる。

### 3.2 マルチレート

フレーム受信状況に応じて適切な伝送を行うため、可変の伝送レートが用いられる。低伝送レートでは、フレーム送信に時間がかかる。一方、CSMA/CA では、送信機はどの伝送レートに対しても均等である。そのため、既存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、低伝送レート端末の送信終了を待つ時間が長くなり、高伝送レート端末および全体の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 [2]。逆に、既存低伝送レート端末に対して、高伝送レート端末が加わると、全体の

スループットが向上する、スループット押し上げ効果と呼ばれる状況が生じる。

### 3.3 電波モデル

[3] では、市街地カフェなどの公衆無線 LAN スポットでの実際のスループット計測結果が示されている。理想的あるいは理論的な距離対スループット特性と比較して、距離によるスループット減少が著しく、比較的近距离でも低スループットとなっている。そこで本稿でも、1 ホップの距離は高伝送レート、2 ホップの距離は低伝送レートというモデルを採用する。

## 4 マルチホップマルチレートにおける AP 選択方法と合計スループット

図 1 に示すようなマルチレートマルチホップ無線 LAN において、伝送レートの組み合わせとホップ数を変えて、合計スループットを評価した。主なシミュレーション諸元を表 1 に示す。伝送レートは IEEE 802.11g 無線 LAN を想定して、3.3 節で述べたように、端末から AP1 へ直接接続する場合 (1 ホップ) には低伝送レート 6Mbps、中継端末を利用する場合 (2 ホップ) には高伝送レート 54Mbps を設定した。

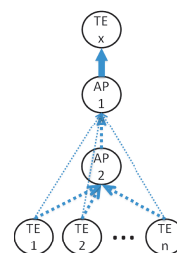


図 1: マルチレートマルチホップトポロジ

表 1: シミュレーション諸元

シミュレータ	QualNet 6.1
トラヒック特性	CBR
データサイズ	1500Bytes
送信間隔	1 $\mu$ s
物理層 (無線)	IEEE 802.11g
伝送レート	無線: 6, 54Mbps 有線: 100Mbps
バッファサイズ	150packets
シミュレーション時間	30s

まず、Performance anomaly を考慮した 1 ホップの場合のマルチレートの 1 端末当たりのスループットは、リレー回線での転送も含めて、各端末の伝送レート  $v_i$  の調和平均式 ( $Thru$ ) で表すことができる [1]。この式による送信端末台数 10 台までの合計スループットの推移を図 2 に示す。

$$Thru = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{v_i}}$$

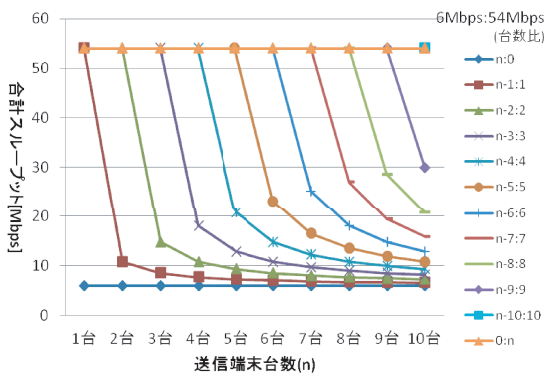


図 2: マルチレート通信時の合計スループット理論値

次に、今回のモデルにおける合計スループットの近似式 ( $Thru(m)$ ) を示す。2 ホップの場合には、最終的なスループットは、2 ホップ目だけで決まるため、1 ホップ目のスループットは計上しないとすると、次式のようになる。ここで、 $m = (6\text{Mbpsの台数}) + \min(1, (54\text{Mbpsの台数}))$  とし、 $\min$  の値は、2 ホップ経由する端末が無いときは 0、1 つ以上ある時は、常に 1 として、リレー回線のスループットだけを乗算する。

$$Thru(m) = \frac{m}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{v_i}}$$

本近似式には、コリジョン及びバックオフの影響が含まれていないため、実際には、コリジョンの影響をより多く受ける 2 ホップのスループットは低くなる。本近似式による送信端末台数 10 台までの合計スループットの推移を図 3 に示す。

本近似式から、 $n = 1$  の時には、低伝送レート (1 ホップ) よりも高伝送レート (2 ホップ) の場合の方が高スループットである。しかし、台数が増えると共に、大幅に減少する。一方、 $n$  台すべてが低伝送レートの場合には、スループットはほとんど減少しないので、この両極端の場合のスループットは、台数が増えると (今回のパラメータ設定では、 $n = 10$  において) 逆転する。また、低伝送レートと高伝送レートを混在させるのは、得策ではない。

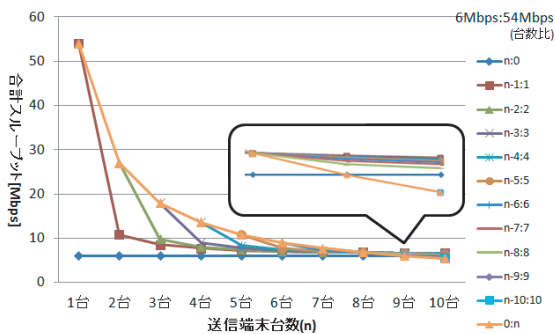


図 3: 近似式における合計スループット

次に、シミュレーション結果を図 4 に示す。図 4 では、それぞれの  $n$  値において、2 ホップ高伝送レートで通信する端末数と 1 ホップ低伝送レートで通信する端末数とをそれぞれ、 $0 \sim n$  と  $n \sim 0$  に変えたときの合計スループットを各色で示している。得られた結果は、近似式 ( $Thru(m)$ ) と同じ特性であるが、逆転は、4 台の時に発生し、近似式の結果と比較して少ない台

数から低伝送レートが有利であることが確認できた。しかしながら、逆転後も差分はそれほど大きくないため、逆転前の性能を考慮して AP を割り当てることが重要だと思われる。また伝送レートの混在すなわち、1 ホップと 2 ホップの経路の混在使用は不利であることも確認した。

従って、AP 選択方法としては、2 ホップ高伝送レートで接続しておくのが良く、接続台数が、ある程度多くなったときに、1 ホップ低伝送レートに AP を切り替えるといった選択が理想である。

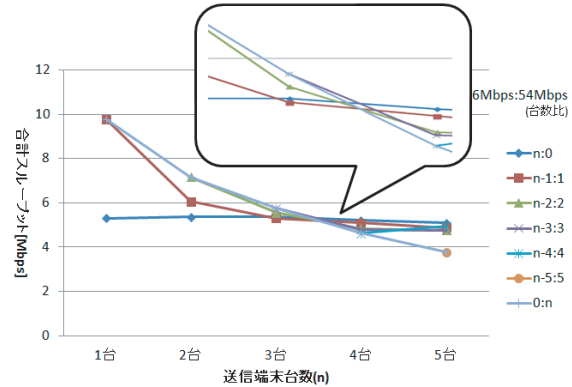


図 4: マルチホップ通信時の合計スループット

## 5 まとめと今後の課題

複数の端末に適切な AP 選択を行わせるために、Performance anomaly とマルチホップによるスループットの低下の影響を考慮しつつ、伝送レートとマルチホップ段数の組み合わせと合計スループットとの関係を調査した。低伝送レートで少ない段数 (シングルホップ) の経路と高伝送レートで多い段数の経路とが選択できるときに、複数の端末を最大スループットで収容するためには、全ての端末をどちらか一方の経路に振り分けるように AP を選択すべきであることを定量的に評価して確認した。

今後は、距離と伝送レートとの関係に基づいた伝送レート設定を行い、中継ノードの個数を増やすなど、より現実的なモデルについてシミュレーションを行う必要がある。

## 参考文献

- [1] 三木富美枝, 野林大起, 福田豊, 池永全志:無線メッシュ網における経路特性を考慮した AP 選択手法, 信学技報, IN2009-158, pp.85-90, 2010 年 3 月.
- [2] M. Heusse, F. Rousseau, G. Berger-Sabbatel and A. Duda, "Performance anomaly of 802.11b," Proc. of IEEE Inforcom 2003, vol.2, pp.836-843, Mar.2003.
- [3] 金井謙治, 赤松祐莉, 甲藤二郎, 村瀬勉:無線 LAN の実スループット特性に基づく寄り道経路探索の評価, 信学技報, NS2011-265, pp.487-492, 2012 年 3 月.
- [4] 藤井聡佳, 村瀬勉, 小口正人:マルチホップネットワークにおける経路選択の特性評価 (DEIM2013,2013 年 3 月発表予定)