

無線メッシュネットワークにおける負荷適応型 マルチパスルーティング

河村 裕之 森野 博章

芝浦工業大学大学院工学研究科 〒135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5

E-mail: {m108043, morino}@shibaura-it.ac.jp

あらまし 無線メッシュネットワークにおいては、互いに近接したリンクは限られた無線リソースを共有しており、通信帯域の有効利用のためには適切に負荷を分散する経路選択法が必要である。複数の経路を用いるマルチパスルーティングは、1通信セッションあたりのトラフィック量が比較的大きなときに、トラフィック分散をおこなう有望な手法といえる。しかし、一般的な、各経路に対して均等に負荷を分配するような手法では十分な輻輳回避を行うことはできない。本稿ではマルチパスルーティングにおいて、各経路の遅延コストの差分によって経路毎のトラフィックを適応的に割り当てる手法を提案する。また、シミュレーションによって平均遅延時間および、遅延時間の分散において提案手法が有用であることを示す。

キーワード 無線メッシュネットワーク, 複数経路, 負荷分散, 遅延推定

Load-balanced multipath routing based on delay cost in wireless mesh networks

Hiroyuki Kawamura and Hiroaki Morino

Graduate school of Engineering, Shibaura Institute of Technology, 3-7-5 Toyosu Koto-ku Tokyo, 135-8548 Japan

E-mail: {m108043, morino}@shibaura-it.ac.jp

Abstract In wireless mesh network, links physically close to each other works by sharing limited wireless resource, and appropriate load-balanced routing is crucial for efficient use of bandwidth. Multipath routing is one of promising approaches for load-balanced routing, particularly offered load per a session is relatively high. Although many past studies on multi-path routing aim to distribute offered load to each path equally, it is not sufficient to avoid congestion. This paper presents adaptive per-route-load allocation scheme in multi-path routing, where load is determined depending on the difference of delay cost of each route. Simulation results confirm the usefulness of the proposed scheme both in terms of average delay and delay variance.

Keyword Wireless mesh network, multipath routing, load balancing, delay estimation

1. はじめに

無線 LAN の速度の向上, 端末の低価格化に伴い, ユーザ自身が無線通信機器をマルチホップで接続して自律的に網を構築するアドホック網の形態が注目されている。中でも無線 LAN アクセスポイント (AP) をマルチホップ接続し無線バックボーンとして利用するメッシュネットワークは, 安価なアクセス網としての利用の他, 災害復旧支援のためのネットワーク [1], セキュリティ向上支援のためのセンサデバイスと連携した地域コミュニティネットワーク

[2]への利用などが検討されている。

メッシュネットワークをバックボーンネットワークとして利用する場合, 送信データ量の大きなセッションを多数サポートする必要がある。その場合, 一時的に多くのトラフィックが集中する箇所, いわゆるホットスポットが生成され性能低下を招く可能性があるため, トラフィックの分散を考慮したルーティングが必要である。

従来, メッシュネットワークにおいてトラフィック分散を目的とするルーティングとして, 各リンクで測

定したトラフィック量に基づいてリンク評価値を決め、スループットの大きい経路あるいは遅延の小さい経路を選択する手法が検討されている[3][4]。これらの多くは各セッションが宛先ノードに対して単一の経路を設定し、リンク評価値の変動に対応して一定周期で経路を変化させることにより、網のトラフィック状況の変化に対応する。

しかし例えば、物理的に近い位置でトラフィック量の大きい複数のセッションがほぼ同時に開始される箇所にはホットスポットが生成される場合、その箇所を通過するセッションが一斉に近隣のリンクを通る経路に変更し、その結果それらのリンクが新しいホットスポットとなるケースが起こりうる。この場合、ホットスポットの場所が周期的に場所を変えて発生する状況となり、輻輳の解消に時間を要する。

この問題に対応する手法として、宛先ノードとの間に複数の経路を確立することでトラフィック分散を図る手法が提案されている[5][6][7]。[5][6]では各経路に均等な量のパケットを送信することでトラフィックの均衡化を実現する。文献 [7]は有線網を対象とした研究で、各経路へ割り当てるパケットの送信レートの最適値を、経路の遅延量をパラメータとして解析的に導出する手法が提案されている。しかし、この手法では送信元のノードが、経路上の各リンクを流れる複数のセッションのトラフィック量の情報を把握する必要であり、その通知のオーバーヘッドが大きいことからメッシュネットワークに適用することは困難であると考えられる。

本稿では、メッシュネットワークにおけるマルチパスルーティングの packets 分配レート決定手法の一つとして、各経路で測定されるエンド・エンド遅延コストの値に応じて、パケットの分配レートを一定周期ごとに徐々に変化させてゆくヒューリスティックな手法を提案する。

2. メッシュネットワークにおけるマルチパスルーティング

メッシュネットワークの経路制御方式は OLSR, TBRPF に代表されるプロアクティブ方式と、AODV, DSR を始めとするリアクティブ方式に分類される。各方式について、マルチパスルーティングの手法が提案されている。

網のトラフィックを分散するために複数の経路を利用する場合は、経路の中継ノードが可能な限り互いに独立である方が望ましく、上記の2方式のうちプロアクティブ方式の方がその性質を実現しやすい。そこで本稿では OLSR を利用したマルチパスルーティング手法を前提とした検討を行う。

OLSR では網のノードの中でフラディングの中継を最適化する MPR(Multi Point Relay)と呼ばれるノード群が決定され、任意のノード間の経路は、MPR のみの中継ノードとして構築される。標準の OLSR の動作では網を連結するために必要最小限の数の MPR のみが決定されるため、各ノードの間で単一の経路しか構築されないが、オプションとして冗長な数の MPR を決定して接続すると、複数の経路を構築することが可能となる。冗長な MPR を利用した複数経路構築の具体的な手法は、OLSR の RFC には示されていないが、筆者らが文献[8]においてその動作の検討を行っている。

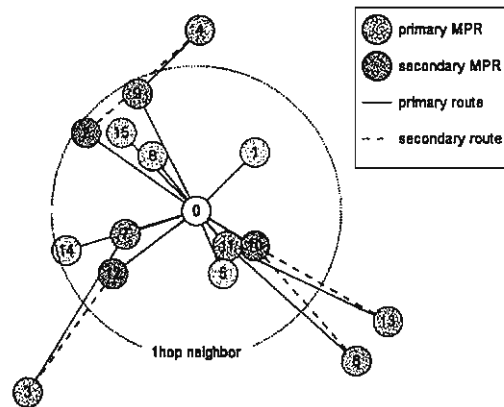


図 1 MPRを用いた複数経路構築

図 1 に 16 台のノードのネットワークにおいて、ノード 0 を中心として冗長な数の MPR を選出することで複数経路を構築する例を示している。ノード 0 は直接通信可能なノードの中から、最小限数の MPR としてノード 2, 10, 12 を選出し、冗長な数の MPR として 7, 9, 11 を選出し、各々を経由することで 2 ホップ先のノードに対して 2 本の経路を構築する。

本稿では、一般的なメッシュネットワークのノード配置を考慮して 2 本の複数経路通信方式でのレート分配方式を検討する。

3. マルチパスルーティングにおける負荷適応レート分配方式の提案

本稿では、2 節で示したマルチパスルーティング方式の利用を想定し、遅延コストを考慮した各経路へのレート分配方式を提案する。

3.1. 提案方式の前提条件

本方式は、各ノードが複数の無線 LAN インタフェースを備えたマルチチャンネルネットワークへ適用するものとする。各ノードは 3 つの無線 LAN インタフェースを有し、おのおのを送信、受信、制御メッセージ交換に利用する。制御メッセージ交換用のインタフェースは全ノードが同じチャンネルに設定する。一方、受信用のインタフェースは各ノードで異なるチャンネルに静的に設定する。

さらに、各ノードは一定周期 T_s 毎に受信チャンネルがアクティブである時間比率（これをチャンネル利用率と呼ぶ） $\rho(t)$ を測定し、制御チャンネルを利用したフラディングにより全ノードに対して $\rho(t)$ の値をブロードキャストする。

3.2. 提案手法の動作

通信開始時に送信ノードが、宛先ノードとの間で互いに異なる MPR を経由する 2 本の経路を設定し、これをここでは経路 1、経路 2 と呼ぶ。各経路に対するパケットの送信レートの分配比を $\alpha_1(t), \alpha_2(t)$ ($\alpha_1(t) + \alpha_2(t) = 1$) とする。

通信開始時 $t=0$ では、送信レートの分配比を $\alpha_1(0) = \alpha_2(0) = 0.5$ とする。

通信開始後、一定周期 T_R 毎に、2 本の各々の経路の遅延コスト c_1, c_2 を式 $c_i = \sum_{j=1}^{h_i} 1/(1-\rho_j)$ により更新する。（ h_i は経路 i のホップ数、 ρ_j は送信ノードから j ホップ目の中継ノードにおけるチャンネル利用率）

次いで、 c_1, c_2 の値を利用し、 $\alpha_1(t), \alpha_2(t)$ の値を以下の式により決定する。

(b-1) $c_1 < c_2$ の場合、

$$\begin{aligned}\alpha_1(t) &= 1 - \alpha_2(t) \\ \alpha_2(t) &= \min\left(1 - 1/2(1 - c_1/c_2)^k, 1\right); \\ &\quad (0 < k \leq 1)\end{aligned}$$

(b-2) $c_1 > c_2$ の場合、

$$\begin{aligned}\alpha_1(t) &= \min\left(1 - 1/2(1 - c_2/c_1)^k, 1\right) \\ \alpha_2(t) &= 1 - \alpha_1(t)\end{aligned}$$

すなわち、遅延コストの大きい経路の送信レートの一部をコストの小さい経路へ振り分け、その量を $(1 - \min(c_1, c_2)/\max(c_1, c_2))^k$ の値に応じて決定する。

k は 2 つの経路の遅延コストの差を、送信レートの振り分け量に反映させる度合いを調整するためのパラメータである。 $k=1$ の場合、振り分け量は、 $|c_1 - c_2|$ の値に比例して増加する。一方、 k を 0 に近い値に設定すると、振り分け量は $|c_1 - c_2|$ にほとんどよらない値となる。

4. 性能評価モデル

提案方式について、シミュレーションによる性能評価を行った。まず評価に利用するノード配置モデルを図 2 に示す。今回は、簡単のため各ノードが六角形の頂点に配置され、ノードが静止しているモデルを設定する。各ノードはネットワークのノード間の接続情報を既に持っているものとし、シミュレーションにおいては経路構築の処理は行われぬものとする。

次に、通信方式およびセッションのトラフィックに関する諸元を表 1 に示す。通信方式としては、各ノードの同期が取れているものとし、分散型 TDMA による通信を想定する。パケットはスロット長に等しく、またパケットの衝突は起こらないものとする。ネットワーク全体で M 個の周波数チャンネルが利用可能であり、各チャンネルを利用するノード数が可能な限り均等になるようにノードへの受信チャンネル設定を行う。

提案方式の比較対象となる経路制御方式は以下の 2 方式である。

(1) 単一経路方式

3.3 節で示した遅延コストが最小の経路のみを利用し、周期 T で経路を切り替える方式。

(2) 複数経路・ランダム分配方式

宛先ノードとの間に2本の経路を構築し、各経路を交互に利用してパケットを送信する方式。

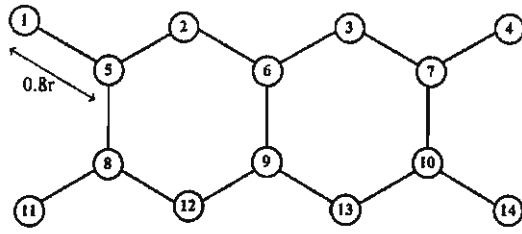


図 2 ノード配置図 (r はノードの通信距離)

表 1 シミュレーション諸元

無線通信方式	分散 TDMA
ノードの通信距離 r	100m
周波数チャネル数 M	3
各ノードにおけるチャネル利用率の測定間隔 T_s	20 スロット長
1セッションのトラフィック量	0.2~0.52 (通信速度を1とした相対値)
セッションの継続時間	シミュレーション時間と同一

表 2 提案方式のパラメータ

レート配分の実行周期 T_R	200 スロット長
k	0.2~0.5

5. 性能評価結果

図 2 のノード 1-ノード 11, ノード 2-ノード 12 とノード 3-ノード 13, ノード 4-ノード 14 の間をそれぞれ結ぶ、計 4 本のセッションをシミュレーション開始から終了まで与える。各セッションのトラフィック量を通信速度を 1 とした相対値で 0.2 から 0.52 まで変化させたときの、各方式における全てのセッションの平均パケット送信遅延時間の変化を図 3 に示す。なお遅延時間は、TDMA のスロット数を単位として表示している。

図 3 において、セッションのトラフィック量が少

ない場合には、各方式における差は少ない。しかし、単一経路方式ではトラフィック量が 0.3 を超えると遅延時間が増加し始め、さらにトラフィック量を増加すると遅延時間の振動がみられる。提案方式、複数経路・ランダム配分方式ともに、トラフィック量 0.4 付近から平均遅延時間の増加がみられるが、平均遅延時間が 100 スロットを超える点でのトラフィック量を比較すると、単一経路方式では約 0.36, 複数経路・ランダム配分方式では約 0.495, 提案方式では約 0.515 であり、提案方式によってネットワークに収容可能な最大トラフィック量を拡大できることがわかる。

次に、1セッションのトラフィック量を 0.48 としたとき、各方式における平均パケット送信遅延時間の平均値を図 4 に、分散値を図 5 にそれぞれ示す。またシミュレーション中に各ノードにおいてバッファされているパケット数の累積分布を図 6 に示す。

図 4 において、提案方式は単一経路選択方式に対して平均遅延時間を大きく削減することがわかる。全セッションの平均(all)では複数経路・ランダム配分方式と比較して、平均遅延時間を約 30%低減できている。また図 5 の結果より、遅延分散に関しても提案方式は他方式と比較し低く抑えられている。また、 k の値が小さいほど遅延時間の平均値・分散値とも小さくすることができている。

図 6 において、提案方式は各ノードにバッファされているパケット数の分布を、他方式と比較しバッファ数の小さな領域に集中させることができおり、特定ノードに対してパケットが集中する状態を避けることが可能であるとわかる。

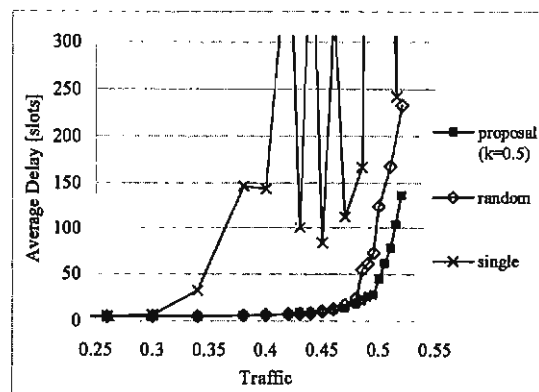


図 3 トラフィック量と平均遅延時間

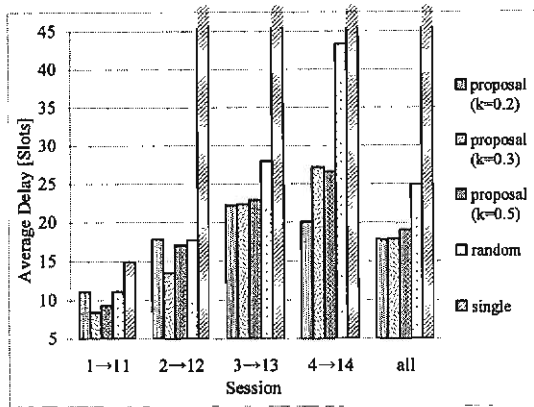


図 4 セッション毎の遅延時間の平均値

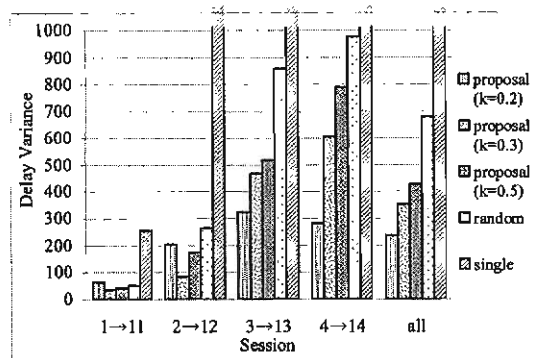


図 5 セッション毎の遅延時間の分散値

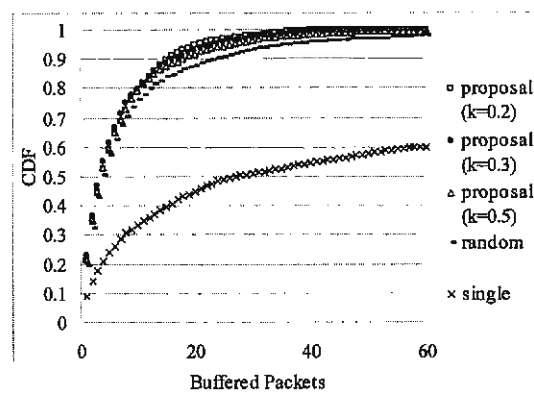


図 6 バッファパケット数の分布

6. まとめ

本稿では、メッシュネットワークにおけるマルチパスを利用したトラフィック分散手法として、エンド・エンドの遅延をコストとし、高コストの経路から低コストの経路に対してパケットの送信レートを振り分ける手法を提案した。提案手法は単一の経路を切り替えて用いる手法、二本の経路にランダムにパケットを振り分ける手法と比較し、エンド・エンド間での平均遅延を低減し、トラフィック分散効果が高いことをシミュレーションで示した。

課題として、今回行ったシミュレーションでは、小規模かつ対称なネットワークを模しているが、ノードの分布やトラフィックの分布が不均一な状況における評価を行う必要がある。

また、パケットを配分する手法においてはパケット到着順序が入れ替わることによる上位レイヤにおける遅延が発生することが問題となるため、順序入れ替わりを抑制する手法が必要である。

文献

- [1] 間瀬憲一, "山古志ねっと共同実験プロジェクト第6回アドホックネットワーク・ワークショップ, pp.4-1 - 4-4, 2007年1月。
- [2] 井上真杉, 中内清秀, ベドカフレ, 森野博章, 実藤亨, 「無線論理メッシュパスに基づくコミュニティ通信サービスプラットフォーム」信学技報 RCS2007-, 2007年8月。
- [3] S-B.Lee, J. Cho, A. T. Campbell, "A hotspot mitigation protocol for ad hoc networks," *Ad Hoc Networks Journal*, Vol 1, Issue 1, pp. 87-106 July 2003.
- [4] D. S. J. De Couto, D. Aguayo, J. Bicket and R. Morris "A high-throughput path metric for multi-hop wireless routing," *Wireless Networks*, Vol.11, No.4, pp.419-434, Jul 2005.
- [5] T. Murakami, M. Bandai and I. Sasase, "Split Multi-Path Routing Protocol with Load Balancing Policy," *IEICE Trans. on Commun.* Vol.E89-B No.5 pp.1517 - 1525, May 2006.
- [6] Y. Ganjali, A. Keshavarzian, "Load balancing in ad hoc networks: single-path routing vs. multi-path routing," *Proc. of IEEE INFOCOM 2004*, pp. 1120- 1125.
- [7] H. Han, S. Shakkottai, C. V. Hollot, R. Srikant and D. Towsley, "Multipath TCP: A joint congestion control and routing scheme to exploit path diversity in the Internet," *IEEE/ACM Trans. On Networking*, Vol.14, No.6, Dec 2006.
- [8] 河村裕之, 森野博章
「マルチホップアドホック網におけるMPRを利用した複数経路構築」電子情報通信学会東京支部学生発表会 2008年3月