

5D-4

モバイルアドホックネットワークにおける
リミテッドブロードキャストの測定と評価

峰松美佳¹ 齊藤匡人² 間 博人³ 徳田 英幸^{1,3}

¹慶應義塾大学 環境情報学部 ²総合政策学部 ³政策・メディア研究科

1 はじめに

無線技術の発達や無線端末の普及に伴い、無線端末の移動に対応し、動的にネットワークを構築するモバイルアドホックネットワーク (MANET) が注目を集めている。MANET は、電波が届かず直接通信できない無線端末間においても途中の端末がデータを転送することによりマルチホップ通信を可能にする。また、端末の移動に伴いネットワークの形態が動的に変化するため、必要に応じて経路探索を行う。MANET で用いられるルーティングプロトコルには、経路探索時にフラッディングを用いるものがある。図 1 にフラッディングを図示する。まず、送り元が送信可能な全てのノードに対してパケットをブロードキャストする。次に、パケットを受け取った各中間ノードが送信可能な全てのノードにパケットを転送する。このように、ブロードキャストを繰り返すことをフラッディングと呼ぶ。しかし、フラッディングはネットワークにかかるオーバーヘッドが高い。

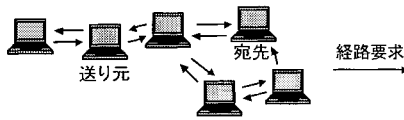


図 1: フラッディング

そこで本稿では、通信リンクが切れて新しい経路を探す際に、通信リンクが切れる前まで使用していた経路のホップ数を基にフラッディングの範囲を制限する Hop-Wise Limitation (HoWL) を提案し、シミュレーションによる測定評価を報告する。

2 関連研究

フラッディングによるオーバーヘッドを軽減することをリミテッドブロードキャストと呼び、既存研究として以下の 3 種類が挙げられる。

Distance-Based Scheme [1] は送り元ノードとパケットを受け取るノードの距離がユーザが設定した閾値より近い場合は経路要求パケットを転送しないことによりオーバーヘッドを抑える。ノード間の距離は電波強度と伝送距離から求める [2]。

LAR [3] は位置情報と宛先ノードの平均移動速度をもとに経路要求パケットを流す地理的範囲を制限する。LAR は位置情報を得るため GPS のような機器と各ノードの移動速度を知る手段を必要とする。これに対して HoWL は特別な機器や情報を必要としない。

CEDAR [4] ではコアノードと呼ばれるノードを選出し、コアノードだけに経路要求パケットを流すことによりオーバーヘッドを抑える。この方式では、コアノードを選出する

アルゴリズムとノードの移動に伴うコアノードの再選出を必要とする。

3 HoWL の設計

無線環境では有線環境に比べ帯域が限られているため、帯域の有効利用は重要な課題である。本方式は、通信リンクが切れる前まで使用していた経路のホップ数を指標としたリミテッドブロードキャストを行い、ネットワークにかかるオーバーヘッドを軽減する。

HoWL は通信リンクが切れて新しい経路を探す際、次のように機能する。

1. 通信リンクが切れる前まで使用していた経路のホップ数を調べる。
2. 1 の値に基づきフラッディングの範囲を制限して経路要求を行う。
3. 一定時間内に 2 に対する応答がなければ、範囲を広げて再度経路要求を行う。

3.1 予備実験

リミテッドブロードキャストの範囲内に宛先ノードがない場合、再度経路要求を行う必要が生じる。このため、最適なホップ数の制限値を推測する予備実験をシミュレーションで行う。Network Simulator 2 (ns-2) [5] を利用し、一定時間内に使用された経路のホップ数の変動を調べた。また、今回は経路探索時にフラッディングを行う MANET プロトコルとして、Dynamic Source Routing (DSR) [6] を利用する。ノードの移動モデルには random way point model [7] を用いる。このモデルでは、各ノードがシミュレーション領域内から無作為に目的地を選択し、目的地へ到達すると指定された時間だけ静止して、また次の目的地を選択する。トラフィックを流すノードを 10 台選択し、1 秒間に 4 パケットの Constant Bit Rate (CBR) フローを送信し続ける。

シミュレーションシナリオは以下のパラメータを組み合わせ合わせて合計 60 通りを用意する。

- 平均移動速度：1, 20 m/s
- ノード：30, 40, 50 台
- 静止時間：0, 30, 60, 120, 200 秒
- シミュレーション時間：200, 600 秒
- シミュレーション領域：1500 m×300 m

1500 m×300 m の領域内で 50 台のノードを平均 20 m/s で動かしたシナリオを例に取る。各フローごとにホップ数の変動を調べ、その割合を図 2 に示す。

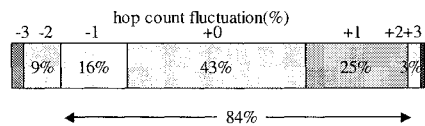


図 2: 経路応答のホップ数の変動 (20 m/s, 50 台)

全てのシナリオにおいて、通信リンクが切れる前まで使用していた経路のホップ数と次に使用する経路のホップ数の差は -3 から +3 の間の値を取り、±1 以内が平均 8 割強を占めた。

Performance Analysis of Limited Broadcast over Mobile Ad Hoc Networks
Mika Minematu¹, Masato Saito², Hiroto Aida³, Hideyuki Tokuda^{1,3}
¹Faculty of Environmental Information, Keio University
²Faculty of Policy Management, Keio University
³Graduate School of Media and Governance, Keio University
5322, Endo, Fujisawa, Kanagawa 252-8520, Japan
E-Mail: {mine.masato, haru, hxt}@ht.sfc.keio.ac.jp

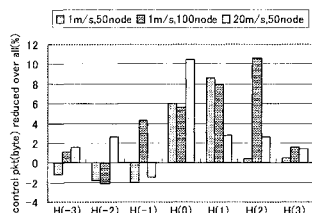


図 3: 従来のフラッディングに対するオーバーヘッド減少率

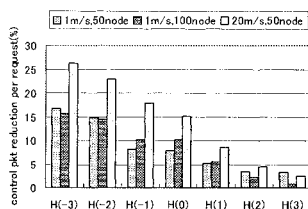


図 4: 経路要求パケット数の減少率

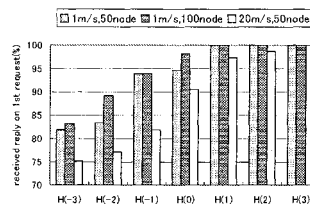


図 5: リミテッドブロードキャストで応答が返ってくる確率

3.2 HoWLにおけるホップ数の制限値

HoWLでは、通信リンクが切れて新しい経路を探す際に、ホップ数を制限して経路要求を行う。制限値は以下の式より求める。 $TTL = hop_old + a$ 。ここで、 hop_old は通信リンクが切れる前まで使用していた経路のホップ数、 a は hop_old に加減する変数値、 TTL は経路要求パケットのホップ数の制限値である。予備実験の結果より、 a には-3から+3の7通りが考えられる。動的に a を決定するには、移動速度を考慮に入れる必要がある。例えば、予備実験の結果より、移動速度が20 m/sの時は1 m/sの時と比べホップ数の変動が大きい。これより、移動性の高いシナリオほど a が大きい方が好ましいと予測される。

4 シミュレーション評価

従来のフラッディングとHoWLのオーバーヘッドを比較する。比較には経路探索のための制御パケットである、経路要求パケットと応答パケットの総バイト数を用いる。

HoWLは、ns-2 [5]上のシミュレーションモジュールとして実装を行う。 a にはシミュレーションを通して常に同じ値を用い、応答がなければ従来のフラッディングを用いて再度経路要求を行う単純な方式を使用する。 a には、予備実験より-3から+3を用いる。今後はそれぞれを $H(a)$ と記述する。例えば、5ホップの経路を用いていた場合は、通信リンクが切れて新しい経路を要求する際、 $H(-3)$ では2ホップに、 $H(+3)$ では8ホップに範囲を制限して経路要求を行う。

4.1 モデリング

シミュレーションシナリオには以下の3つを用いる。

- S1 領域:1500 m×300 m, ノード:50台, 速度:平均1 m/s
- S2 領域:1500 m×600 m, ノード:100台, 速度:平均1 m/s
- S3 領域:1500 m×300 m, ノード:50台, 速度:平均20 m/s

S1とS3より移動速度が異なるシナリオの比較を行う。また、S1とS2よりノードの密度は同じで領域の広さが異なるシナリオの比較を行う。S2においてもホップ数は-3から+3の間を変動した。

4.2 結果考察

従来のフラッディングと比較した際のHoWLの制御パケットの減少率を図3に示す。 $H(0)$, $H(1)$, $H(2)$, $H(3)$ の場合には全て従来のフラッディングを用いるよりも性能が良くなる。

HoWLには、1回の経路探索で生じる制御パケットの減少率と制限した範囲内に相手がいる確率のトレードオフが存在する。図4に従来のフラッディングと比較した経路要求パケット数の減少率を示す。これは1回の経路探索で生じる経路要求パケット数の平均と比較したものである。図5に各 a での応答パケットが返ってくる確率を示す。図4と図5より、経路要求パケットが減少するほど応答が返ってくる確率は低くなり、応答が返ってくる確率が高くなるほど経路要求パケットの減少率は低くなる事が分かる。例と

して、S2の結果を用いて考察する。 $H(-2)$ を用いた場合、1回の経路探索で生じる経路要求パケットは平均14.4%減少した反面、制限した範囲内に相手が存在せず再度経路要求した確率が平均10.9%と高く、全体では平均2.1%制御パケットが増加している。また、 $H(+3)$ を用いた場合は、再度経路要求した確率は0%であるが、1回に生じる制御パケットは平均0.8%しか減少しなかったため、全体で平均1.6%しか減少しなかった。図3-図5より $H(0)$ の場合には、経路探索の回数と1回に生じる制御パケットの量のバランスが良く性能が高い。

また、HoWLはホップ数の変動が少ないシナリオにおいてより有用だが、S3のような移動性の高いシナリオにおいても有用性を示せた。

5 まとめと今後の課題

フラッディングは一般的にオーバーヘッドが高いと言われている。そこで本稿では、通信リンクが切れて新しい経路を探す際に、通信リンクが切れる前まで使用していた経路のホップ数を指標としたリミテッドブロードキャストであるHoWLを提案した。ホップ数の変動を調べた結果、今回用いたシナリオ下ではノードの速度、静止時間、密度、領域、シミュレーション時間に関わらず、常に-3から+3の間を変動し、±1以内の変動が8割を占めた。この結果を基に、従来のフラッディングと $H(-3)$ - $H(+3)$ にかかるオーバーヘッドを比較し、HoWLを利用すると最大で10.6%オーバーヘッドが減少することを示した。

今後は、最適な経路要求パケットのホップ数の制限値とシミュレーションのパラメータの関係を調べ、環境に応じて動的にアルゴリズムを選択する仕組みを構築する。また、HoWLの利点を活かすため、今回はHoWLを用いた経路要求に対して応答がない場合は従来のフラッディングを使用するという手法を用いたが、徐々に範囲を広げる方法も試す。さらに、異なるトラフィックモデルの適用も考慮する必要がある。

参考文献

- [1] Ni, S. and Tseng, Y. and Chen, Y. and Sheu, J.: The Broadcast Storm Problem in a Mobile Ad Hoc Network, in *Proceedings of ACM MOBICOM'99* (1999).
- [2] Wesel, E.: *Wireless Multimedia Communications: Networking Video, Voice, and Data*, published by Addison-Wesley (1998).
- [3] Ko, Y. and Vaidya, N.: Location-Aided Routing (LAR) in Mobile Ad Hoc Networks, in *Proceedings of ACM MOBICOM'98* (1998).
- [4] Sivakumar, R. and Sinha, P. and Bharghavan, V.: CEDAR: a Core-Extraction Distributed Ad hoc Routing algorithm, in *IEEE Journal on Selected Areas in Communication*, volume 17, number 8 (1999).
- [5] Network Simulator 2, : <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- [6] Broch, J. and Johnson, D. and Maltz, D.: *The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks*, Internet-Draft, draft-ietf-manet-dsr-05.txt (2001).
- [7] Johnson, D. and Maltz, D.: *Dynamic source routing in ad hoc wireless networks*, in *Mobile Computing*, edited by Tomasz Imielinski and Hank Korth, chapter 6, pp. 153-181. Kluwer Academic Publishers (1996).