

片方向リンクを含むアドホック網における 経路要求の中継制御に基づく高能率経路制御方式

森野博章[†] 三好 匠^{††} 小川将克^{†††}

† 中央大学研究開発機構 〒112-8551 文京区春日 1-13-27
†† 芝浦工業大学システム工学部電子情報システム学科 〒337-8570 埼玉県さいたま市見沼区深作 307
††† NTT アクセスサービスシステム研究所 〒239-0847 神奈川県横須賀市光の丘 1-1
E-mail: morino@m.ieice.org, miyoshi@se.shibaura-it.ac.jp, m-ogawa@ansl.ntt.co.jp

概要

アドホック網では、互いに送信電力の異なる端末が多い場合、多くの片方向リンクが生じる可能性がある。その際、網の接続性を高めるためには、片方向リンクを積極的に利用した経路構築を行うことが必要である。本稿では、この条件を満たす経路制御を、オンデマンド型の原理に基づいて効率よく行う方式を提案する。DSR 等の既存の方式は、双方向リンクの網において、ルートキャッシュ等の機構により処理の効率化が図られるが、片方向リンクを扱う場合にはこれらの機構の有効性が低下し、経路構築の際の制御トラフィックが増大する問題がある。提案方式では、リンク切断時に行われる経路再構築において、経路要求を行う範囲を、切断された元の経路の周囲に限定することで従来方式と比べて制御トラフィックを低減する。シミュレーションを用いた評価により、提案方式は DSR と比較し、経路再構築の制御トラフィックを約 60%、パケットの送信遅延を約 30%、それぞれ低減できることを明らかにした。

An efficient ad hoc routing protocol based on the relay control of route requests for handling unidirectional links

Hiroaki MORINO[†], Takumi MIYOSHI^{††} and Masakatsu OGAWA^{†††}

[†]Research and Development Initiative Chuo University
1-13-27 Kasuga, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8551 Japan

^{††}Department of Electronic Information Systems, Shibaura Institute of Technology
307 Fukasaku, Minumna-ku, Saitama-shi, Saitama, 337-8570 Japan

^{†††}NTT Access Network Service Systems Laboratories
1-1 Hikarinooka, Yokosuka-shi, Kanagawa, 239-0847 Japan

Abstract In ad hoc networks, when transmission power of each terminal is different, many unidirectional links will be generated. In order to achieve high connectivity in these networks, routing protocols should construct routes by actively using unidirectional links. This paper presents a novel ad hoc routing method that efficiently constructs routes using unidirectional links based on the on-demand routing principle. Though existing methods such as DSR efficiently work for bidirectional links, they generate much control overhead in the route construction using unidirectional links, because optimization schemes of them do not efficiently work. The proposed method aims to reduce control overhead of route reconstruction as compared with conventional methods. In the route reconstruction, the proposed method performs route request in the restricted region around the broken route and it leads to reduction of control traffic. The results of performance evaluation by simulation show the proposed method reduces the number of RREQ packets by about 60 % and reduces packet transmission delay by about 30% compared to DSR.

1. まえがき

無線 LAN の高速化と端末の処理能力の向上を背景として、端末間のマルチホップの中継を用い、基地局を介さなくとも端末同士の通信が可能となるアドホック網の技術が近年注目されている。アドホック網は、地下等の基地局を設置しにくいエリアにおける、端末間の低コストの通信手段として期待されている。アドホック網において通信品質を向上させるためには、通信中の端末の移動・端末の離脱に迅速に対応できる経路制御が重要となる。

アドホック網の経路制御への一般的な要求として、遅延・パケット損失率などの通信品質を維持しつつ、バッテリーリソースの少ない端末でも動作するよう、制御トラフィックを少なく抑えることが求められる[1]。さらに、今後のアドホック網においては、多様なバッテリー能力をもつ端末が網を構成すると考えられ、端末の消費電力低減の手法の一つとして、送信電力制御が頻繁に用いられると考えられる[2]。この場合端末毎に通信距離が異なることによって生じる片方向リンクの効率的な扱いが重要である。片方向リンクの存在状況は事前には予測しにくいいため、様々な条件において網の接続性を高めるためには、経路制御において、片方向リンクを除外せずに、積極的に活用した経路構築を行うことが求められる。

現在、アドホック網の経路制御方式は、IETF(Internet Engineering Task Force)等において盛んに検討されている。経路制御方式の原理は、大きく分けて、オンデマンド型[3][4]とテーブル駆動型[5][6]があるが、同時に扱う通信コネクション数が特に多くない場合には、制御トラフィックの低減の目的でみるとオンデマンド型が優れていることが知られている[7]。オンデマンド型に基づいて、上記の条件を満たし片方向リンクにより経路を構築できる代表的な方式として、DSR[3]がある。しかし、DSR は基本的に双方向リンクに対して有効な手法であり、片方向リンクを含む網に適用すると、ルートキャッシュをはじめとする最適化機構の有効性が減少し、フラッドイングによる経路構築が多用され、制御トラフィックが増加することが問題となる。

そこで本論文では、オンデマンド型の経路制御方式において、片方向リンクを扱う場合に、従来よりも効率のよい経路構築を行う方式を提案する。提案方式は、通信中のリンク切断に伴う経路再構築の効率

を高めることを目的とする。つまり、経路再構築において、経路要求を行う範囲を、切断された元の経路の周辺に限定することで、経路構築の性能を維持しながら、制御トラフィックの大幅な低減を図る。

2. 片方向リンクを含むアドホック網の想定動作状況と、経路制御方式への性能要求

2.1 アドホック網の想定動作状況

本稿では、以下の状況で動作するアドホック網を想定する。

(1) 端末の移動頻度が高い

端末の移動速度は歩行速度程度 (数m/s)であるが、静止時間が少なく、移動頻度が高い状況を想定する。

(2) アドホック網に加わる負荷は中程度であるが、端末が高密度で存在する

アドホック網で同時に扱われる通信コネクション数は最大10程度であるが、端末台数は最大で100台以上の高密度な網を想定する。

2.2 経路制御方式への性能要求

一般に、片方向リンクを利用して経路構築を行う場合、送信元端末から宛先端末への経路と、逆の経路は、それぞれ異なる端末を経由し、異なる無線リンクが使用される場合が多い。従って、双方向リンクで経路を構築する場合と比べ、リンクの切断が生じやすく、経路再構築が行われる頻度が高いと考えられる。このことから、経路制御に対しては、特に、リンク切断に伴う経路再構築を低い制御トラフィックで行うことが求められる。

3. 関連研究

アドホック網の既存の経路制御方式の中で、オンデマンド型に基づく代表的な手法として、DSR、AODV[4]がある。このうち、AODV は、片方向リンクを候補から除外して経路を構築する手法であり、本稿で検討する方式の要求に適さない。一方、DSR は片方向リンクを用いた経路構築が可能な方式である。

DSR では、片方向リンクを含む網で動作する場合、送信元端末から宛先端末への経路と、その逆の経

路を分けて扱い、各々の経路は RREQ (RouteREQuest)パケットをフラッディングすることにより構築される。本稿ではこれを双方向フラッディングと呼ぶ。フラッディングは多くの制御トラフィックを生ずるため、各端末が、可能な限りルートキャッシュに蓄積された最近の経路情報を利用して経路を構築することで、制御トラフィックの低減を図る。また、リンク切断に伴って経路再構築を行う際には、切断された経路のみを部分的に再構築することで、さらに制御トラフィックを低減する。

しかし、DSR は、基本的に双方向リンクに対して有効な手法であり、片方向リンクを多く含む網では、以下の2つの理由で効率が低下する。第一の理由は、経路再構築の際に、上で述べた部分的な再構築が困難でありではなく、経路全体の再構築が必要となることである。これは、DSR では通常、経路のリンクの切断を判断するために、リンクバイリンクでデータパケットのACK制御を行うが、リンクが片方向の場合にはACK制御をエンド・エンドで行わざるを得ず、従ってリンクが切断されても切断リンクの特定が難しいためである。第二の理由は、DSR のルートキャッシュへ蓄積する経路情報を取得する手法として、データパケットの漏れ聞きによる手法が特に有効であることが報告されているが[8]、この手法は双方向リンクにおいて有効な手法であり、片方向リンクの多い網では、実現が困難であることである。これにより、ルートキャッシュの有効性が大きく減少し、フラッディングによる経路構築が用いられる頻度が増加する。以上の2つの理由により、DSR では、経路再構築の際に制御トラフィックが大幅に増大する。

一方、上記の DSR の問題を解決するため、片方向リンクに対して逆経路を構築する汎用の枠組として SRL[9]が提案されている。SRL では、各端末が、自端末から、ある決められた範囲の近傍端末との間で、距離ベクトル方式により経路を構築することで、網の全ての片方向リンクについて、逆経路を構築する。SRL に対し、DSR、AODV 等の一般のオンデマンド型の方式を組み合わせることで、各端末間での経路構築が可能となる。SRL と DSR を組み合わせた方式では、前述の DSR における片方向リンク特有の問題点が解消されるため、その分制御トラフィックが低減される。しかし一方で、端末の移動頻度が高い場合には、距離ベクトル方式によって経路を維持するために各端末が定期的送信する制御パケットが

制御トラフィックを増加させる。総合的な制御トラフィックを低減するという観点で見ると、SRL は通信コネクション数が数十程度の負荷の高い状況でのみ有効であり、本稿で想定する負荷条件には適さないと考えられる。

4. 経路要求の中継制御に基づく 経路制御方式の提案

前節で述べた問題点を解決するため、本論文では、オンデマンド型の経路制御方式において、フラッディングよりも効率の良い手法で経路構築を行うことで制御トラフィックを低減する方式を提案する。提案方式は、通信中のリンク切断に伴う経路再構築を対象とし、経路要求の制御パケットが中継される範囲を、切断された元の経路の周囲に限定することで、経路構築の性能を維持しながら、制御トラフィックと遅延を低減させるものである。

4.1 提案方式の動作

提案方式は、DSR をベースとして拡張を図ったものである。以下、特に断りのない場合には、制御パケットのフォーマットは DSR と同一であるとして説明する。

4.1.1 通信開始時の経路構築

本方式において、送信元端末と宛先端末の間で通信開始時に経路を構築する場合の動作は、片方向リンクを扱う DSR と同じであり、送信元端末と宛先端末との間で、双方向のフラッディングを行うことにより経路を構築する。

図1は、通信開始時に、送信元端末 S と宛先端末 D の間で構築される経路の例を示している。以下では、図1で示した各端末が静止しているものとし、図に示された経路を対象として動作を説明する。

なお、簡単のため、以下では、送信元端末から宛先端末への経路を往路、逆の経路を復路とそれぞれ呼ぶ。

4.1.2 パケットの漏れ聞きを利用した 推定ホップ数の設定

通信が開始されると、S は、D に対して往路によりユニキャストでデータパケットを送信する。D はデータパケットを受信すると直ちに S に対して復路を用いて ACK パケットを送信する。本方式では、パケットの経

路制御にはソースルーティングを用いる。すなわち、各パケットのヘッダには、経路の送信元端末から宛

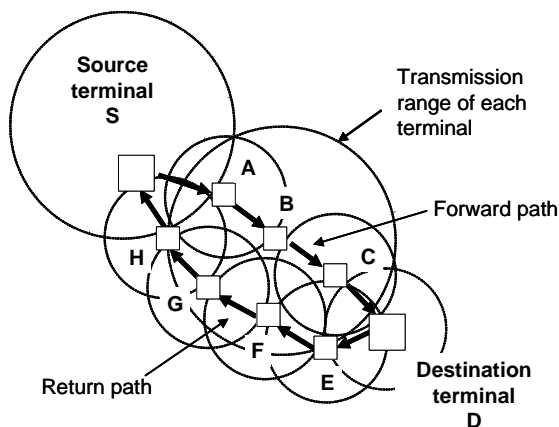


図 1 通信開始時に送信元端末と宛先端末との間で構築される経路の例

先端末までの全ての経路情報を付加する。

次に、往路・復路を構成する各端末の電波到達範囲内にある端末は、各々の経路上の端末でパケットが送信される際に、そのパケットの漏れ聞きを行い、そのヘッダに書かれた経路情報を利用して、自端末から S および D およびまでの推定ホップ数を設定する。

例として、S、D 間の端末配置と経路が図 1 の通りであるとし、このうちの往路について、各端末が、データパケットの漏れ聞きを行い、S および D までの推定ホップ数を設定する手順を図 2 を用いて説明する。

図 2 では、S から D へ 4 ホップの経路が確立されており、経路上の端末 A が送信するデータパケットを、周辺に位置する X1~X7 が漏れ聞きする場合を考える。A が送信するデータパケットのヘッダには S から D への経路の中継端末である A、B、C のネットワークアドレスが記載されている。これにより、X1~X7 は、経路上での A から D、および S から A へのホップ数を知ることができる。これをそれぞれ $H(A \rightarrow D)$ 、 $H(S \rightarrow A)$ とすると、X は S、D への各々の推定ホップ数を $He(S)$ 、 $He(D)$ として、

$$He(S) = H(S \rightarrow A) + 1$$

$$He(D) = H(A \rightarrow D) + 1$$

と設定する。

図では、パケットの送信端末とパケットの漏れ聞きを行う端末との関係が斜線入りの矢印で示されている。一般に各端末は、経路上の複数の端末が送信するパケットの漏れ聞きを行うことができるが、この場合は、その中で最も小さい H の値を利用して、 $He(S)$ 、 $He(D)$ を設定する。

同様に、復路についても、経路を構成する端末の電波到達範囲内にある端末は、ACK パケットの漏れ聞きを行い、 $He(S)$ 、 $He(D)$ を設定する。

なお、設定された $He(S)$ 、 $He(D)$ の値は、設定された時刻から、推定ホップ数情報有効期限 L_H の間だけ有効となる。

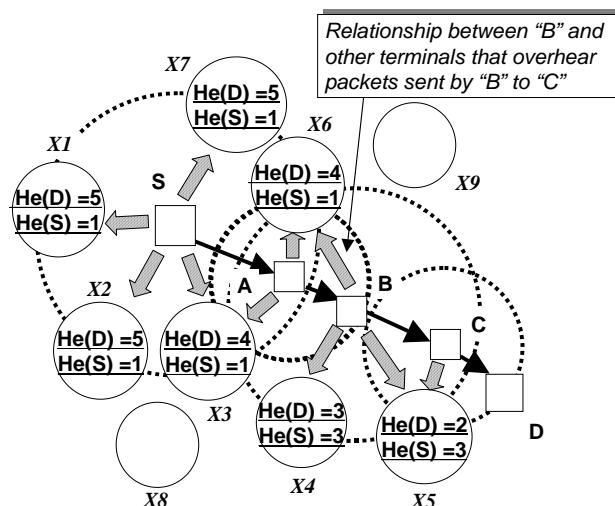


図 2 通信中における、パケットの漏れ聞きによる推定ホップ数情報の取得の動作

4.1.3 リンク切断に伴う経路再構築

4.1.2 において、S がデータパケットを送信した後、一定時間 T_{wait_ack} 以内に D から ACK パケットを受信しなければ、最大で N_{retx} 回再送を行う。再送を行っても、ACK パケットを受信できない場合は、S は、往路・復路の中のいずれかのリンクが切断されたと判断し、往路・復路ともに新しい経路を構築する。本方式では、1 回の経路再構築において、S は、最大で 2 回の経路要求を行う。以下では 2 回の各々の経路要求の動作を説明する。

(1) S による 1 回目の経路要求

(1-1) S から D への RREQ パケットの送信

経路要求において、S はまず 切断された経路における自端末から D までのホップ数を、自端末における D への推定ホップ数 $He(D)$ と設定する。次に、D への RREQ(Route REQuest)パケットを生成し、RREQ パケットに、自端末の $He(D)$ を書き込んで、パケットを 1 ホップ先の全端末にブロードキャストする。

(1-2) S から 1 ホップ離れた端末における

RREQ パケットの中継

(1-1) でブロードキャストされた RREQ パケットを受信した各端末は、もし、自端末が、D に対して有効な推定ホップ数情報を持っていれば、すなわち現在時刻から過去 L_H の時間の間に D を宛先端末とするパケットの漏れ聞きを行っていれば、以下のようにして RREQ パケットを中継する。

まず、端末は、RREQ パケットに書かれた $He(D)$ を参照し、4.1.2 で自端末が設定した $He(D)$ と比較する。なお、RREQ パケットを受信した端末が、切断された経路を構成する端末であった場合は、切断された経路上における自端末から D までのホップ数を、自端末における $He(D)$ として設定する。次に、2 つの $He(D)$ の値の大小に応じ、RREQ パケットの中継を行うか否かを以下のように決定する。

- (a) 自端末の $He(D)$ の方が小さければ、(d) に進む。
- (b) 自端末の $He(D)$ の方が大きいか、あるいは 2 つの $He(D)$ の値が等しければ、(c) に進む。
- (c) ある決められた待機時間 T だけ待機する。待機中、自端末の $He(D)$ より小さい $He(D)$ が書かれた RREQ パケットを k 個以上受信したら、中継を行わない。そうでなければ、(d) に進む。
- (d) $[0, T]$ のランダムな時間だけ待機した後、RREQ パケットの $He(D)$ の値を自端末の $He(D)$ で上書きして中継する。

(1-3) S から 2 ホップ以上離れた端末における

RREQ パケットの中継

(1-2) で中継された RREQ パケットを受信した各端末は、(1-2) と同様にしてパケットを中継するか、否かを決定する。こうして、D が S からの最初の RREQ パケットを受信すると、D は、そのパケットが辿った経路

を新しい往路と決定する。

なお、上記の動作において、各端末は、同じ順序番号の RREQ パケットを 2 度以上受信したら、過去にその番号の RREQ パケットを中継したかどうかに関係なく、そのパケットを破棄する。

以上の動作と同様に、復路についても、RREQ パケットの中継を行うことにより経路を構築する。

(2) S による 2 回目の経路要求

(1) において、S が 1 回目の経路要求を行った後、 T_{wait_route} の時間内に往路と復路が決定しない場合には、S は 2 回目の経路要求を行う。2 回目の経路要求においては、4.1.1 で述べた通信開始時の経路構築と同様に、往路、復路ともに、RREQ パケットをフラッディングし、これにより経路を構築する。2 回目の経路要求でも経路が決定しない場合には、通信を終了する。

例として、図 2 で示した経路で、SA 間のリンクが切断されたとし、経路再構築における S から D への RREQ パケットの中継の動作を図 3 に示す。

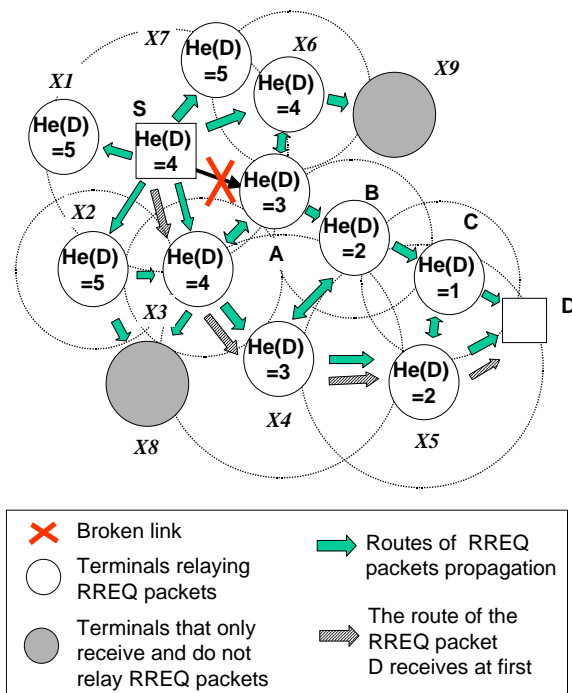


図 3 経路再構築における RREQ パケットの中継の動作

4.2 本方式の特徴

本方式は、リンク切断に伴う経路再構築において、経路要求を効率化する方式であり、以下の特徴をもつ。

- (1) 経路要求において、RREQパケットの中継範囲を、切断された元の経路の周囲に制限することによって、フラッディングによる経路構築と比較して、RREQパケットの送信回数が低減される。
- (2) 各端末が、経路要求の宛先への推定ホップ数の値を利用して、RREQパケットの中継優先制御と中継抑止制御を行うことで、経路構築性能を低下させることなく、RREQパケットの送信回数が低減される。

5. 性能評価条件

5.1 評価対象とする経路制御方式

評価対象とする経路制御方式は提案方式と、DSRの2つとする。

本論文で評価する DSR の動作は、文献[3]および[10]に従っている。ただし、経路構築の遅延時間の性能に関して、提案方式と可能な限り同じ条件で比較を行うため、以下の点で異なる設定を行っている。

- 経路要求においてはNon propagate route request は用いず、RREQパケットのフラッディングのみを用いる。
- 経路再構築における、送信元端末からの経路要求は、最大 2 回まで行われるものとする。

さらに、提案方式、DSR とも、各端末はルートキャッシュを持たず、現用の経路のリンクが切断された場合には、送信元端末が直ちに経路再構築を行うとする。提案方式と、DSR の動作は、経路要求の方式を除けば同一である。2 つの経路制御方式の共通パラメータ及び提案方式の固有パラメータを表1に示す。

5.2 評価モデル

5.2.1 端末移動モデル及びトラフィックモデル

端末移動モデルとしては、Random Waypoint Model[10]を用いる。端末は 100m x 100m のエリア中を移動する。各端末は、ランダムに選択した目的地

に向かって、0m/s から 3m/s の間で移動し、目的地に達すると、別の目的地を選択して移動する。各端末はシミュレーションの間、静止することなく移動を継続する。

また、トラフィックモデルのパラメータを表2に示す。

5.2.2 無線 LAN のパラメータ

各端末が備える無線 LAN のパラメータを表 2 に示す。表に示すように、2 種類の通信距離の無線 LAN が存在するとし、それぞれの値を 30m、10m とした。この条件のもとで、片方向リンクの割合が最大となるよう、両者の無線 LAN の存在割合を 1:1 と設定した。

5.3 シミュレーション条件

1 回のシミュレーション時間は 3000 秒とし、1 組の評価パラメータに対する評価結果は、異なる 5 個の乱数種に対する結果の平均をとることにより得た。

6. 性能評価結果

提案方式、DSR の各々において、端末台数を変化させた場合の、経路再構築成功確率、及び経路再構築の際の RREQ パケットの送信回数特性を、それぞれ図 4、図 5 に示す。

ここで、経路再構築成功確率は、1 回の経路再構築で最大 2 回行われる経路要求のどちらかで、往路・復路が共に成功する確率を表している。

提案方式は、DSR と比較し、ほぼ同等の経路再構築成功確率を維持しながら、RREQ パケットの送信回数を最大で約 60%低減している。さらに、端末台数が多い条件でより高い低減効果が得られることが示されている。これは、推定ホップ数の値を利用した中継抑止制御が、端末密度が高い条件でより効果を発揮するためである。

次に、図 6 に、データパケットの送信遅延特性を示す。送信遅延は、データパケットが端末に発生してから、宛先端末に到着するまでの時間を表している。送信遅延特性についてもまた、端末台数の増加につれて高い低減効果が現れており、最大で約 30%の低減となっている。これは、RREQ パケット送信回数を低減したことにより、各端末の送信バッファのパケット数が減少し、送信待ち遅延が低減されたためである。

以上の結果より、提案方式は、DSR と比較して、RREQ パケットの送信回数の低減効果、及びデータパケットの送信遅延の低減効果があること、また端末

台数の多い状況でより高い低減効果を得られることが定量的に示された。

表1 経路制御方式のパラメータ

共通パラメータ	
T_{wait_route}	250ms
T_{wait_ack}	100ms
N_{retx}	1
フラッディングにおける RREQ パケットの中継の待機時間	[0ms, 10ms] のランダム値
提案方式に固有のパラメータ	
中継抑止のしきい値 k	10
RREQ パケットの中継の待機時間 T	5ms
推定ホップ数情報の有効期間 L_H	6 s

表2 トラフィックモデルのパラメータ

網が同時に扱う通信コネクション数	10
通信コネクションの保留時間	20 秒
データパケットのペイロード	512bytes
データパケットの送信レート	5 パケット/秒

表3 無線 LAN とそのパラメータ

アクセス制御方式	CSMA/CA, ACK 制御なし (バックオフ時間等のパラメータは IEEE802.11 と同一)
伝送速度	2Mbps
通信距離	30m, 10m (各々の端末は、1:1の割合で存在する)

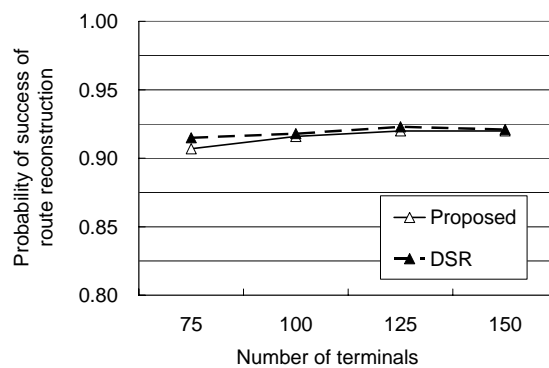


図4 経路再構築成功確率

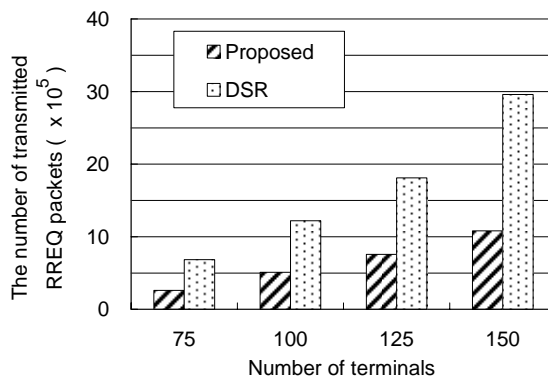


図5 経路再構築の際の RREQ パケットの送信回数

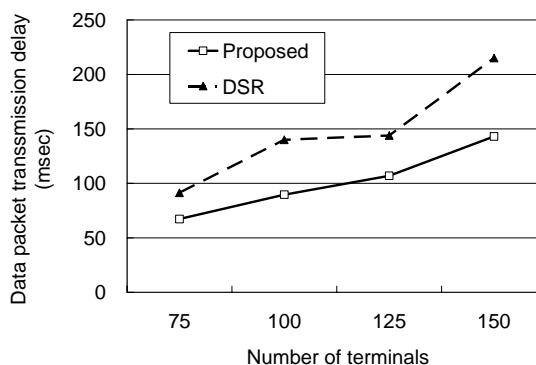


図6 データパケットの送信遅延

7. まとめ

本稿では、片方向リンクを多く含むアドホック網において、オンデマンド型の原理に基づき、従来方式と比較して、経路構築の際の制御トラフィックを大幅に低減する経路制御方式の提案を行った。

提案方式では、網の各端末は、アクティブな経路の上を流れるデータパケットの漏れ聞きを行っておき、その経路が再構築される際には、漏れ聞きを行った端末のみが経路要求に参加する。また、各端末は、漏れ聞きを利用して、経路の宛先端末へのホップ数を推定し、経路要求を中継する際は、推定ホップ数値を利用した中継優先制御・中継抑止制御を行う。この2つの機能により、経路要求の際のRREQパケットの送信回数を低減する。

性能評価の結果、提案方式は、DSRと比較して、RREQパケットを最大で約60%、データパケットの送信遅延を最大約30%、それぞれ低減することを明らかにした。

本稿では、性能評価において、端末が備える無線LANの通信距離が2種類存在するという条件で評価を行ったが、今後は、さらに多様な通信距離の無線LANを備える端末が混在する状況を想定した場合の評価を行うことが課題である。

参考文献

- [1] Scott Corson and Joe Macker, "Mobile Ad hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations," IETF RFC 2501 Jan 1999.
- [2] Swetha Narayanaswamy, Vikas Kawadia, R. S. Sreenivas and P. R. Kumar, "Power Control in Ad-Hoc Networks: Theory, Architecture, Algorithm and Implementation of the COMPOW protocol," European Wireless 2002, pp. 156-162, Feb 2002.
- [3] David B Johnson, David A. Maltz and Yih-Chun Hu, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR)," IETF internet-draft <draft-ietf-manet-dsr-7.txt> Aug 2002.
- [4] Charles Perkins, Elizabeth Belding-Royer and Samir Das, "Ad Hoc On Demand Distance Vector (AODV) Routing," IETF RFC 3561 Jul 2003.
- [5] Thomas Clausen and Philip Jacquet, "Optimized Link State Routing Protocol," IETF RFC 3626 Oct 2003.
- [6] Richard Ogier, Fred L. Templin and Mark Lewis, "Topology Dissemination Based on Reverse-Path Forwarding (TBRPF)," IETF RFC 3684 Feb 2004.
- [7] Sung-Ju Lee, Mario Gerla and Chai-Keong Toh, "A simulation study of table-driven and on-demand routing protocols for mobile ad hoc networks," IEEE Network Magazine, no. 4, pp. 48-54, Jul/Aug 1999.
- [8] Josh Broch, David A. Maltz, David B. Johnson, Yih-Chun Hu and Jorjeta Jetcheva, "A Performance Comparison of Multi-Hop Wireless Ad Hoc Network Routing Protocols," Proc. of ACM MOBICOM '98, pp.85-97, Oct 1998.
- [9] Venugopalan Ramasubramanian, Ranveer Chandra and Daniel Mossé, "Providing a bidirectional abstraction for unidirectional ad hoc networks," Proc. of IEEE INFOCOM 2002, pp. 1258-1267, June 2002.
- [10] David B. Johnson and David Maltz, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks(DSR)," Mobile Computing edited by T. Imielinski and H.Korth, pp.151-181, Kluwer Academic Publishers 1996.