

高密度アドホックネットワークにおける端末位置に応じた経路確立の効率化に関する検討 Study on Efficient Route Establishment According to Node Location in Dense Ad-hoc Networks

野一色 裕人[†]
Yujin Noishiki

横田 英俊[†]
Hidetoshi Yokota

井戸上 彰[†]
Akira Idoue

1. はじめに

モバイル端末の小型化や高性能化に伴い、多様な機能の搭載が可能となっている。特に、無線 LAN や Bluetooth などの無線通信技術の発達により、センサーやタグ、ならびにウェアラブル端末などの多数の端末が互いに接続し、ユビキタスネットワークを実現すると予想される。また、GPS 受信機などの普及に伴い、端末の物理的な位置の取得が可能となってきており、位置情報を利用した機能やサービスが増えている。端末同士が接続し通信を行うユビキタスネットワークの実現手段として、アドホックネットワーク[1]への注目が集まっており、多くの研究が報告されている。アドホックネットワークでの経路制御手法の一つであるオンデマンド型の経路制御手法では、経路確立のために制御パケットのブロードキャストを繰り返すフラッディングという動作を行う。しかし、多数の端末が接続し、端末が高密度に存在するアドホックネットワーク(以下、高密度アドホックネットワークとする)では、フラッディングによる制御パケットのブロードキャストのオーバーヘッドが増大し、通信の輻輳の発生やシグナリングによる電力消費の増加が問題となる。

筆者らはこれまで高密度アドホックネットワークにおいて、隣接端末数と経路の集中度に注目し確率的に制御パケットの再ブロードキャストを抑制し、フラッディングのオーバーヘッドを低減させる手法について検討を行ってきた[2]。本稿では、各端末が位置情報を取得できる環境で、端末位置に応じて制御パケットの再ブロードキャストを制御し、経路確立を効率化する手法について提案する。さらに、提案手法を実装し、基本性能の評価について報告する。

2. 関連研究

これまでに提案されているアドホックネットワークでの経路制御手法については、テーブル駆動型とオンデマンド型の二種類に大別することができる。テーブル駆動型の経路制御手法としては OLSR[3]などが挙げられる。これらの手法では、定期的に制御パケットを送信することで経路情報を交換し、ネットワークに接続する全端末に対する経路情報を保持し、トポロジの変化があった場合は制御パケットを送信して情報の更新を行う。しかし、多数の端末が参加する高密度なアドホックネットワークでは、端末数の増加に伴い、管理すべき経路情報も増大し、制御が困難になってしまう。一方、オンデマンド型の経路制御手法は、テーブル駆動型とは異なり、通信要求の存在する端末への経路情報のみを保持する。宛先端末への通信要求が発生したとき、その端末への経路情報を保持していない場合には経路探索動作を開始する。経路探索動作では、制御パケットを隣接端末に対しブロードキャストする動作を繰り返すフラッディングにより、ネットワーク全体に制御パケットを

伝達し、経路の確立を行う。しかし、高密度アドホックネットワークでは、フラッディングによる制御パケットのブロードキャスト数が増大し、中継端末ではパケットの衝突やユーザデータの輻輳が発生し、また、経路確立の際のシグナリングによる電力消費の増加が問題となる。

筆者らはこれらの問題を解決するため、制御パケットのフラッディングを隣接端末数ならびに経路の集中度に応じて抑制し、効率よく経路を確立する手法を提案し、性能評価を行ってきた[2]。本稿では、高密度アドホックネットワークにおいて各端末が端末位置情報を保持している環境を想定し、オンデマンド型の経路制御手法を用いたときに、端末位置に応じてフラッディングでの制御パケットのオーバーヘッドを抑制する手法の提案を行う。

3. 提案方式概要

各端末は、GPS 受信機などにより取得した自端末の位置情報や、経路確立動作などにより得た他の端末の位置情報を位置情報キャッシュと呼ばれるテーブルに登録し管理を行う。それぞれの位置情報は、端末名、緯度、経度ならびに更新時刻の情報で構成され、各情報は登録後、一定時間 T の間更新がなければ削除される。また、新たな位置情報を取得した際には更新時刻の新しいものを優先する。位置情報キャッシュに登録された位置情報は経路確立動作において参照され制御パケット転送の制御に用いられる。

本提案方式では、オンデマンド型の経路制御方式での経路確立の効率化を目指しており、本稿ではベースとして、オンデマンド型の一つである AODV[4]を用いる。宛先端末への通信要求が発生したときには、AODVと同様に、経路確立動作を開始し、送信元端末は RREQ を隣接端末に対しブロードキャストする。RREQ を受信した端末は、宛先端末への経路情報を保持しておらず、その RREQ を再送したことがなければ、RREQ を再ブロードキャストする。これらの RREQ 送信時には送信元端末、宛先端末、ならびに RREQ を再送する端末の位置情報が搭載される。RREQ を受け取った端末は搭載された位置情報を解析し、位置情報キャッシュへの登録動作を行う。RREQ の再送時には、位置情報キャッシュに登録されている端末位置情報に応じて再ブロードキャストの可否を判断する。再ブロードキャストの判断基準として、送信元端末からの距離、ならびに宛先端末への距離という二つの要素を考慮する。提案方式では、送信元端末、宛先端末、再送対象の RREQ を一ホップ前で中継した端末(中継端末)、ならびに自端末の端末位置を利用し、 S_1 を送信元端末と自端末との距離、 S_2 を送信元端末と中継端末との距離、 D_1 を宛先端末と自端末との距離、ならびに D_2 を宛先端末と中継端末との距離とする。図 1 に各変数と端末の位置関係を示す。ここで、再送確率の基準値を p_0 、 $0 \leq p_0 \leq 1$ とし、係数 γ_1 、 $\gamma_2 \geq 0$ に対し、RREQ の再送確率 p を次の式で定義する。

$$p = p_0 + \gamma_1(S_1 - S_2) - \gamma_2(D_1 - D_2).$$

[†]株式会社 KDDI 研究所, KDDI R&D Laboratories, Inc.

宛先端末、もしくは宛先端末への経路情報を保持する端末が RREQ を受信すると、送信元端末に向けて RREQ パケットをユニキャスト送信し、送信元端末が RREP を受信すると通信が開始される。

4. 実装と性能評価

提案方式の評価を行うため、提案方式ならびに AODV を実装し、性能比較を行った。ノート型 PC に OS として Linux-2.4.20 を採用し、AODV ソフトウェア AODV-UU[5] を元に実装した。また、無線 I/F には IEEE802.11b を用い、位置情報については CF 型の GPS 受信機により取得可能な構成とした。高密度アドホックネットワーク環境での評価を行うため、17 台のノート型 PC を用いて図 2 に示すネットワークを構築した。図中の端末間を結ぶ線は経路生成の一例を示している。実験では図中の電波伝搬範囲上で隣接した端末以外からのパケットをフィルタリングして、端末間の接続状態を模擬した。各端末の移動はないものとし、各端末は他の端末の位置情報を既知であると仮定した。通信には、ランダムに選択された 2 端末間における 1 つの通信セッション時間を 1 秒とし、パケットサイズは 512 バイト、転送速度は 64kbps の固定レートの UDP トラヒックを用いた。トラヒックの生成パターンは両方式で同一のもので比較を行った。ここで、単位時間に通信を行う端末の割合を通信頻度 F と定義する。両方式において、RREQ の最大中継ホップ数を 7 とし、エラー時には再度のデータ転送は行わないものとした。ただし、提案方式において各定数は、 $p_0=0.75$ 、 $\gamma_1=0.001$ 、ならびに $\gamma_2=0.002$ とした。

図 3 に各方式における通信頻度に対する一経路生成あたりの RREQ 数および経路確立成功率を示す。提案手法により従来の AODV と比較して、経路確立の成功率を維持した上で、一経路生成あたりの RREQ 数を約 10% 減少させることがわかる。また、表 1 に示した各方式における経路のホップ数より、提案方式が AODV に比べホップ数の短い経路を選択する傾向がわかる。

5. おわりに

本稿では、多数の端末が参加した高密度アドホックネットワークにおいて、端末の位置情報に応じて経路確立のためにブロードキャストされる制御パケットを抑制し、効率的に経路確立を実現する手法について報告した。今後は端末が移動した場合など他の実験環境においても実験を行う予定である。最後に、日頃御指導頂く KDDI 研究所平田会長ならびに浅見所長に感謝致します。

参考文献

[1] S. Corson and J. Macker, "Mobile ad hoc networking (MANET): Routing protocol performance issues and evaluation considerations," IETF RFC2501, 1999.
 [2] 今川, 横田, 井戸上, "オンデマンド型アドホックルーティングにおける経路確立の効率化手法に関する検討," 情処研報, Vol. 2003, No. 67, 2003.
 [3] T. Clausen and P. Jacquet, "Optimized Link State Protocol (OLSR)," IETF RFC 3626, 2003.
 [4] C. Perkins, E. Royer and S. Das, "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing," IETF RFC3561, 2003.
 [5] AODV-UU (<http://user.it.uu.se/~henrik/aodv/>)

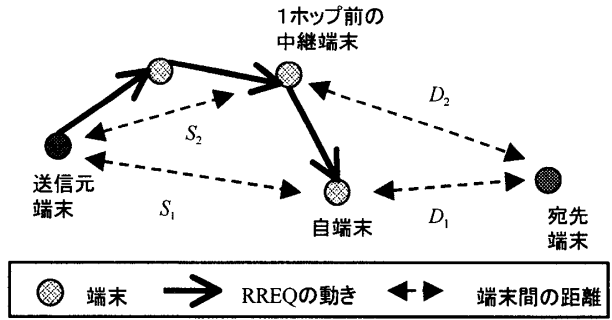


図 1. 提案方式での端末位置関係

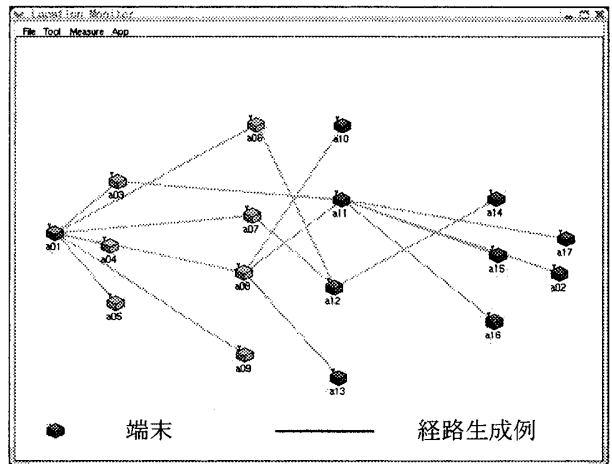


図 2. ネットワーク構成

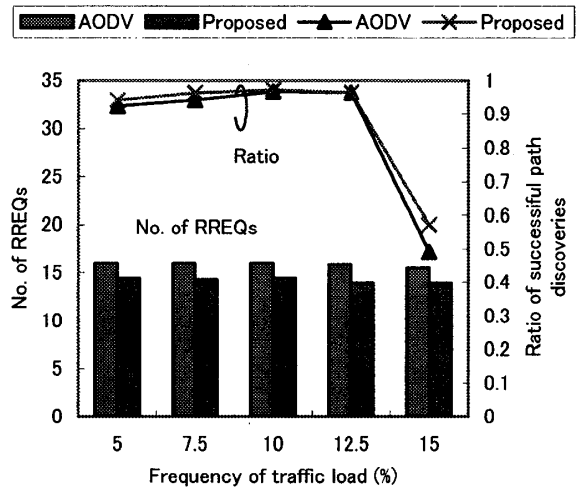


図 3. 通信頻度に対するパス確立成功率ならびに一経路生成あたりの RREQ 数

表 1. 各経路制御方式における経路のホップ数

経路制御方式	AODV	提案方式
平均ホップ数	2.35	2.11
最大ホップ数	4	3