

アドホックルーティングにおける隣接ノード数に応じた経路確立手法に関する一考察

A Study on Route Establishment Method based on Node Density in Ad-hoc Routing

今川 裕人† 横田 英俊† 井戸上 彰†
Yujin IMAGAWA Hidetoshi YOKOTA Akira IDOUE

1. はじめに

近年の無線通信技術の性能向上やモバイル端末の高機能化・軽量化に伴い、モバイル端末のみでネットワークを構成するアドホックネットワーク[1]に対する注目が集まり、多くの研究が行われている。アドホックネットワークでは各モバイル端末(ノード)が中継機能を有し、自律分散的に通信のための経路を確立する。アドホックネットワーク技術が普及し日常的に用いられると、多数のノードがネットワークに参加・接続する形態が予想される。このようなノードが多数存在するアドホックネットワークでオンデマンド型のルーティングプロトコルを用いた場合、フラッディングされる制御パケットの数が必要以上に増加してしまい、中継ノード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、パケット転送の際のシグナリングによる消費電力の増加が問題となる。

筆者らは文献[2]でノードが多数存在するアドホックネットワークにおいて、隣接ノード数に応じて中継ノードにおける制御パケットのフラッディングによる伝搬を確率的に抑制し、かつ経路を分散させるための経路確立手法の提案を行った。本稿では、提案手法についてさらに計算機シミュレーションにより評価を行い、その有効性について報告する。

2. 関連研究

本稿ではノードが多数存在するアドホックネットワークでの経路確立手法に注目している。これまでに提案されているアドホックルーティングプロトコルはプロアクティブ型とオンデマンド型に大きく分類することができる。プロアクティブ型[3]では各ノードは定期的に経路更新情報を交換し、ネットワーク上の全ノードに対する経路情報を保持する。しかし、これらのプロトコルはノードが多数存在するアドホックネットワークにおいては管理する経路が多くなり制御が困難となる。プロアクティブ型の一つとして大規模網に適したクラスタ型プロトコル[4]も提案されている。このプロトコルではネットワークを複数のノードから構成されるノード群(クラスタ)に分け、クラスタ内から選出されたクラスタヘッドがクラスタ内外の通信を代表して行う。そのため、大規模網でも効率のよい通信が期待できるが、クラスタヘッドの移動などによるクラスタヘッドの再選出のオーバーヘッドや一部のノードに負荷が集中してしまう問題を回避できない。一方、オンデマンド型[5]では経路はフラッディングにより通信の要求時に構築され、各ノードはアクティブな経路のみを保持するため、アドホックネットワークでのノード数が増加しても保持する経路数を抑制することができる。ただし、ノード数の増加とともにフラッディングによる制御パケットの数も増加し、中継ノードで

の消費電力増加や輻輳の発生などの問題が生じてしまう。

文献[6]では、ノードの電波伝搬半径から求められるノード密度に注目してアドホックネットワークにおける最適な隣接ノード数について議論が行われている。ここでは、通信半径を大きくすると1ホップで到達可能な距離が広がるが、関与するノード数が多くなってしまい、ネットワークの輻輳を引き起こしてしまうトレードオフが存在することが報告されている。本稿ではこの点に注目し、ノード数が多い状況でも経路数を抑制できるオンデマンド型をベースに制御パケットのフラッディングを隣接ノード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用いる。

3. 提案方式概要

本提案方式ではオンデマンド型のルーティングプロトコルの一つであるAODV[5]をベースとする。各ノードが隣接ノードから受信する経路要求メッセージ(RREQ)の数から隣接ノード数を見積もり、また、既確立の経路数を考慮してRREQの中継を時間確率的に提供する。

時間を時刻 $t=0$ から時間間隔 T ごとに分割し、それぞれの区間を T_j ($j=1,2,\dots$) と呼ぶ。ただし、 T_j は時刻 $t=jT$ から $t=(j+1)T$ の区間を表すものとする。各区間 T_j において隣接ノードから受信したRREQの合計を N_j とする。この時、 N_j の指数重みつき移動平均を $\bar{N}_j = (1 - \alpha)\bar{N}_{j-1} + \alpha N_j$ と定める。ここで、 α は(0,1)の値を取る指数重みつき平均の定数である。この値をRREQ中継の確率的な抑制のための指標として用いる。また、ノード i が現在収容している経路の本数を r_i 、このノードが収容可能な経路の本数を R_i とし、収容率を $L_i = r_i/R_i$ と定義する。

パスの確立の際にはAODVと同様に、送信元ノードはRREQをブロードキャストする。RREQを受け取ったノードはそのRREQを再送したことがなければ、次に示す確率に従ってRREQを再ブロードキャストする。ここで、ブロードキャストする確率の計算方法を示す。

ある時間区間 T_j において、閾値 h 、 l 、 $h > l$ に対して、 A_j を

$$A_j = \begin{cases} - & \text{if } \bar{N}_j > h, \\ + & \text{if } \bar{N}_j \leq l, \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases}$$

と定める。このとき、ノード i で時間区間 $T_{j=k}$ においてRREQを再ブロードキャストする確率(以下、転送確率とする)を

$$p_i(k) = \min[\max(0, 1 - f(L_i) + A_k), 1]$$

と定義する。ここで $f(L_i)$ は非負の値、 $f(L_i)$ は[0,1]の値を取る単調増加関数とする。本稿では、 $f(L_i) = \min(L_i, 1)$ を用いた。ただし、 α は[0,1]の値を取る。

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

4. 性能評価と考察

計算機シミュレーション[7]により、AODV と提案方式の比較評価を行った。評価環境として IEEE802.11 無線 LAN を用いた。ランダムに選択された 2 ノード間における 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 の固定レートとした。また、単位時間に通信を行うノードの割合を通信頻度 F と定義した。両方式において、RREQ の最大中継ホップ数(TTL)を 7 とし、Gratuitous RREP オプションは使用せず、エラー時の再度の経路確立、データ転送は行わないものとした。また、提案方式において $\alpha=0.0625$ 、 $T=0.1$ 秒、 $R_f=100$ とした。

筆者らは文献[2]において、RREQ の転送確率に関連するパラメータ($\alpha, \beta, \gamma, \delta$)を変化させた結果より、AODV と比較して性能を劣化させずに RREQ 数を減少できる適当なパラメータ値が存在することを報告した。本稿ではさらに考察を進め、隣接ノード数が変動した場合における提案方式の性能に注目する。試験環境として矩形領域にノードをランダム配置し、ノード数を固定した上で領域の広さを変動させることにより隣接ノード数を変化させる。図 1 において領域の広さに対するパス確立成功率の関係を表す。図 2 では領域の広さに対する 1 経路確立あたりの RREQ 数を示す。ただし、ノード数は 100、通信頻度は $F=5\%$ とした。本稿では RREQ の転送確率に関連するパラメータの設定例として、Set 1: ($\alpha, \beta, \gamma, \delta$)=(0.15,0.5,1,6)、Set 2: ($\alpha, \beta, \gamma, \delta$)=(0.1,0.6,1,4)、Set 3: ($\alpha, \beta, \gamma, \delta$)=(0.15,0.6,1,3)の 3 種類を用いた。

図 1 より、それぞれの領域の広さにおいて提案方式のパス確立成功率が AODV よりも改善していることが分かる。特に、領域が狭くなるにつれて、すなわち隣接ノード数が増加するにつれてパス確立成功率の改善度が上昇している。これは隣接ノードが多い状況において提案方式の効果がより発揮されることを示している。

図 2 から各領域の広さにおいて AODV よりも提案方式の方が 1 経路確立あたりの RREQ の数を減少できることが分かる。とくに、領域の広さが狭い場合に最大約 60%もの低減が見られる。RREQ 数の減少数は領域が狭くなるにつれて大きくなっている。

上記の考察より提案方式が隣接ノード数に応じて RREQ の転送を確率的に提供することで、隣接ノードの少ない環境では RREQ の減少数は少ないが、隣接ノード数が多い環境では転送される RREQ の数を大きく低減可能であり、かつパス確立成功率も改善していることが分かった。また RREQ 転送確率に関連するパラメータ($\alpha, \beta, \gamma, \delta$)について、様々な隣接ノード数の環境においても共通のパラメータを用いて効率的に動作することが示された。

5. おわりに

本稿では、隣接ノード数ならびに送信データを中継するノードに收容されている経路の数に応じて、中継ノードでの制御パケットの再ブロードキャストを確率的に抑制する提案手法に対し、計算機シミュレーションによりその効果を示した。最後に、日頃御指導頂く KDDI 研究所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," 情報研報, Vol. 2003, No. 67, 2003.
- [3] C. Perkins and P. Bhagwat, "Destination-Sequenced Distance Vector routing (DSDV) for mobile computers," in Proc. SIGCOMM94, 1994.
- [4] C. Chiang, H. Wu, W. Liu and M. Gerla, "Routing in Clustered Multihop, Mobile Wireless Networks with Fading Channel," in Proc. SICON, 1997.
- [5] C. Perkins and E. Royer, "Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing," in Proc. MILCOM97, 1997.
- [6] E. Royer, P. Melliar-Smith and L. Moser, "An Analysis of the Optimum Node Density for Ad hoc Mobile Networks," in Proc. IEEE ICC2001, 2001.
- [7] Network Simulator 2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>

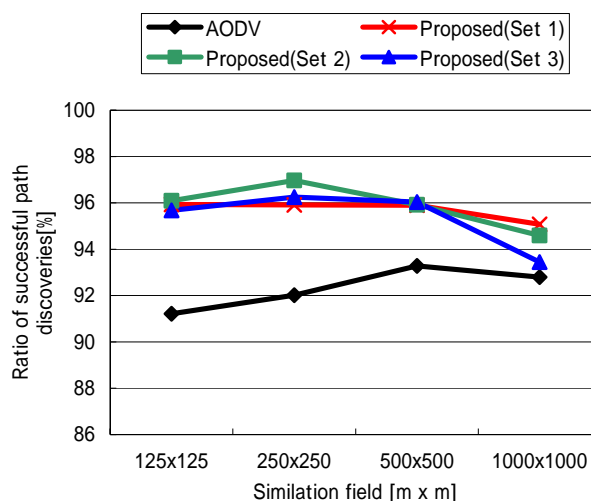


図 1: 領域の広さに対するパス確立成功率

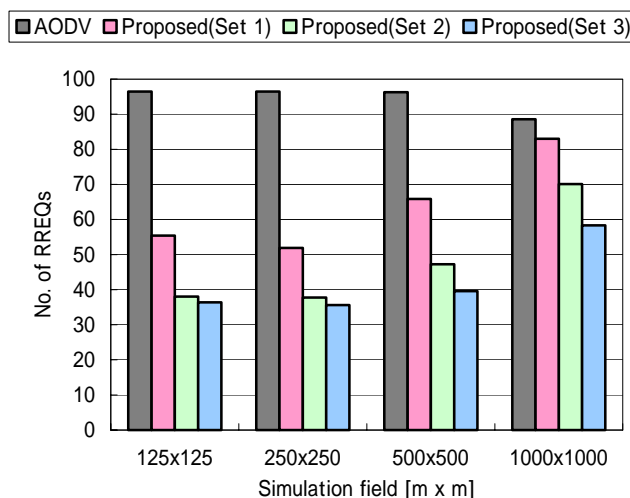


図 2: 領域の広さに対する 1 経路確立あたりの RREQ 数