

# 端末の移動と転送の組合せによる 無線マルチホップ配送における漸次移動経路変更手法

倉林 諒太<sup>†</sup> 桧垣 博章<sup>†</sup>

東京電機大学 未来科学部 ロボット・メカトロニクス学科<sup>†</sup>

## 1 はじめに

無線マルチホップネットワークでは、互いに隣接するノード列で構成される無線マルチホップ配送経路に沿ってデータが順次転送される。ノードが疎に分布する場合、中継ノードがデータを保持し、転送可能となる位置まで移動する。このように、データの転送とデータを保持した移動との組合せによってデータ配送を実現する従来手法では、特定のノードのみが移動するために消費電力が不均等となり、配送遅延が延長する。本論文では、無線マルチホップ配送経路を動的に更新することで、ノード移動に要する消費電力を均等化し、データの配送遅延を短縮する手法を提案する。この配送経路更新では、各ノードが移動区間を局所的に更新するため、前後ホップノードが隣接せずすれ違う可能性がある。本論文では、この問題を解決する手法を提案する。

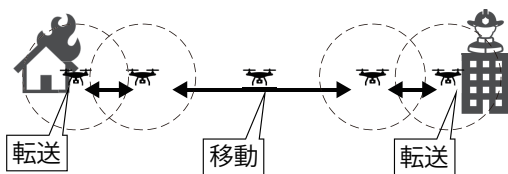


図 1: 転送と移動の組合せによるデータ配送

## 2 関連研究

ノード移動を含むデータ配送を実現する DTN [2] 手法が多数提案されている。Epidemic Routing [4] では、隣接ノード間で保持するデータの複製を行ない、データを保持したノードが送信先ノードと隣接する機会を待つ。Message Ferrying [5] では、特定ノードがノード群間を巡回することで、無線マルチホップ配送経路が構成されないノード間のデータ配送を実現する。NDBAR [1] では、経路探索メッセージ  $Rreq$  を転送できない場合に、高電力無線信号を用いる。データ配送時は、高電力無線信号を用いたノードがフェリーノードとなる。しかし、検出された経路が更新されることはない。

## 3 提案手法

本論文では、特定のノードではなく、無線マルチホップ配送経路を構成するすべてのノードにおいて転送と移動を組み合わせ、送信元ノードから送信先ノードへの継続的なデータ配送を実現することを想定する。これを実現する初期配送経路検出手法と動的な配送経路変更をとまなうデータ配送手法を提案する。

### 3.1 初期配送経路検出手法

初期配送経路は、経路探索メッセージ  $Rreq$  を送信元ノード  $N^s$  から送信先ノード  $N^r$  まで GEDIR[3] ルーティングプロトコルを基礎とした以下の経路探索プロトコルによって検出する。すなわち、 $Rreq$  を受信した各無線ノード  $N_i$  は、 $|N_{i+1}N^r| (< |N_iN^r|)$  を最小とする隣接ノード  $N_{i+1}$  に  $Rreq$  を転送する。このような隣接ノードが存在しない場合には、 $N_i$  は線分  $N_iN^r$  上を  $N^r$  に向かって移動し、 $|N_{i+1}N^r| < |N_iN^r|$  を満足する  $N_{i+1}$  を検出した時点で停止し、 $Rreq$  を  $N_{i+1}$  に転送する。 $N_i$  が  $N_{i-1}$  から  $Rreq$  を受信した位置を  $LN_i^-$ 、 $N_{i+1}$  へ  $Rreq$  を送信した位置を  $LN_i^+$  とする。経路探索応答メッセージ  $Rrep$  は、 $LN_i^+$  に停止している  $N_i$  が  $N_{i+1}$  が  $LN_{i+1}^-$  で送信したものを受信し、線分  $LN_i^+LN_{i+1}^-$  上を移動し、 $LN_{i+1}^-$  で停止している  $N_{i+1}$  へ  $LN_i^+$  で送信することによって順次転送されることで、 $N^s$  から  $N^r$  へとマルチホップ配送される。

以降、各  $N_i$  が  $LN_i^-$  で  $N_{i-1}$  からデータを受信し、線分  $LN_i^-LN_i^+$  上を移動し、 $LN_i^+$  で  $N_{i+1}$  へデータを送信し、線分  $LN_i^+LN_{i+1}^-$  上を移動することを繰り返すことによって、 $N^s$  から  $N^r$  へのデータ列の配送が実現できる。しかし、図 2 に示すように、初期配送経路は線分  $N^sN^r$  に対して迂回することが一般的であり、配送経路長の延長は配送遅延を延長し、ノード移動コストを増加させる。また、配送経路探索時のノード配置によって各ノードの移動距離にはばらつきがある。このため、中継ノードが移動区間の端点で送受信待ちのために停止することによってデータの配送遅延が延長する。

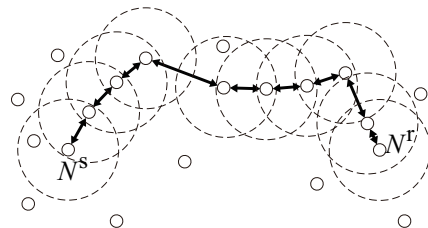


図 2: 初期配送経路

Gradual Route Modification in Wireless Multihop Network with Combination of Mobility and Forwarding

<sup>†</sup>Ryota Kurabayashi and <sup>†</sup>Hiroaki Higaki

<sup>†</sup>Department of Robotics and Mechatronics, Tokyo Denki University

### 3.2 動的経路更新手法

前節末で述べた問題点を解決するために、提案手法では各ノード  $N_i$  の移動区間である線分  $LN_i^- LN_i^+$  の端点を順次更新する。  $N_i$  が  $LN_i^-$  に到達しても前ホップ隣接ノード  $N_{i-1}$  が  $LN_{i-1}^+$  に到達していないためにデータが転送されない場合には、  $N_i$  の移動距離が  $N_{i-1}$  の移動距離に比して長いことが考えられる。そこで、図3に示すように、  $N_i$  は  $LN_i^-$  で停止するのではなく、線分  $LN_i^- LN_{i-1}^-$  上を  $LN_{i-1}^-$  に向かって移動する。この移動時に線分  $LN_{i-1}^- LN_{i-1}^+$  上を移動する  $N_{i-1}$  と隣接したならば、  $N_i$  は  $N_{i-1}$  からデータを受信する。このとき、  $N_{i-1}$  はデータを送信した位置を新しい  $LN_{i-1}^+$  とし、  $N_i$  はデータを受信した位置を新しい  $LN_i^-$  とする。同様に、  $N_i$  が  $LN_i^+$  に到達しても次ホップ隣接ノード  $N_{i+1}$  が  $LN_{i+1}^-$  に到達していないためにデータが転送されない場合には、  $N_i$  は  $LN_i^+$  で停止するのではなく、線分  $LN_i^+ LN_{i+1}^+$  上を  $LN_{i+1}^+$  に向かって移動する。この移動時に線分  $LN_{i+1}^+ LN_{i+1}^-$  上を移動する  $N_{i+1}$  と隣接したならば、  $N_i$  は  $N_{i+1}$  へデータを送信する。このとき、  $N_i$  はデータを送信した位置を新しい  $LN_i^+$  とし、  $N_{i+1}$  はデータを受信した位置を新しい  $LN_{i+1}^-$  とする。なお、線分  $LN_i^- LN_{i-1}^-$  上を移動する  $N_i$  が  $LN_{i-1}^-$  に到達しても  $N_{i-1}$  と隣接しない場合、および、線分  $LN_i^+ LN_{i+1}^+$  上を移動する  $N_i$  が  $LN_{i+1}^+$  に到達しても  $N_{i+1}$  と隣接しない場合には、各端点で停止して前後ホップノードと隣接するまで待機する。

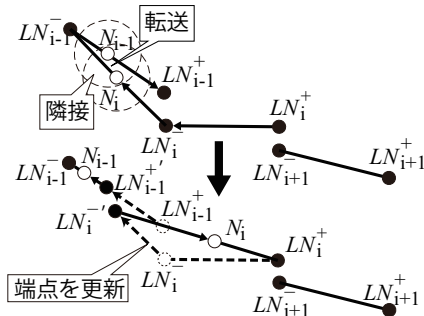


図3: 移動および移動経路変更規則

このような移動区間の更新を実現するためには、  $N_i$  が  $LN_{i-1}^-$  と  $LN_{i+1}^+$  を得ることが必要である。そこで、  $N_i$  が  $N_{i-1}$  と隣接してデータを受信するときに  $LN_i^+$  と  $LN_{i-1}^-$  を互いに交換し、  $N_i$  が  $N_{i+1}$  と隣接してデータを送信するときに  $LN_i^-$  と  $LN_{i+1}^+$  を互いに交換する。本経路更新手法によって、前後ホップノード間で移動距離が局所的に調整される。また、図3において  $|LN_i^- LN_i^+| < |LN_i^- LN_{i-1}^-| + |LN_{i-1}^- LN_{i-1}^+|$  (三角不等式)、  $|LN_{i-1}^- LN_{i-1}^+| < |LN_{i-1}^- LN_{i+1}^+|$  であるから、配送経路長は短縮されることとなる。すなわち、無線マルチホップ配送経路は線分  $N^s N^r$  に順次近づくこととなる。

### 3.3 すれ違い回避手法

$N_i$  の移動区間である線分  $LN_i^- LN_i^+$  の両端点  $LN_i^-$  および  $LN_i^+$  は、それぞれ  $N_{i-1}$ 、  $N_{i+1}$  と隣接するとき更新される。この更新された位置が  $N_{i+1}$ 、  $N_{i-1}$  へ通知されるのは、それぞれが  $N_i$  と隣接する時であり、こ

の時間は  $N_{i-1}$  と  $N_{i+1}$  が  $N_i$  とは異なる古い位置を保持することとなる。このため、線分  $LN_i^- LN_i^+$  (新)  $LN_i^+$  上を移動する  $N_i$  と線分  $LN_{i+1}^- LN_i^-$  (旧) 上を移動する  $N_{i+1}$  とが互いに隣接しないまま、それぞれ線分の端点まで移動してしまうことが考えられる(図4)。このすれ違いを回避するために必要十分条件は以下の通りである。

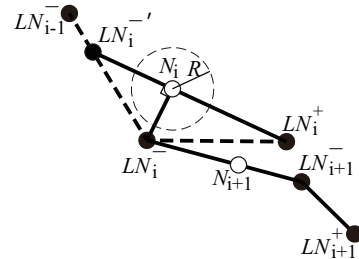


図4: 前後ホップノードのすれ違い

[すれ違い回避条件] 線分  $LN_i^- LN_i^+$  (新)  $LN_i^+$  上を移動する  $N_i$  と線分  $LN_{i+1}^- LN_i^-$  (旧) 上を移動する  $N_{i+1}$  とが隣接せずにすれ違うことを回避する必要十分条件は、ノードの無線信号到達距離を  $R$  とするとき、  $LN_i^-$  (旧) から線分  $LN_i^- LN_i^+$  (新)  $LN_i^+$  までの距離が  $R$  以下となることである。□

この条件を満足する範囲で  $N_i$  が移動するためには、  $N_i$  の線分  $LN_i^- LN_{i-1}^-$  上の移動を制限すればよい。これは、  $LN_i^-$  (旧) から線分  $LN_i^- LN_i^+$  (新)  $LN_i^+$  に降ろした垂線の足を  $H$  としたとき、  $LN_i^- LN_{i-1}^-$  上の  $N_i$  の移動距離の増加にともなって  $|LN_i^- H|$  が単調に増加するためである。  $L := |LN_i^- LN_i^+|$  とすると、  $N_i$  の線分  $LN_i^- LN_{i-1}^-$  上の移動距離は以下で制約される。

$$LR(R \cos \theta + (L^2 - R^2)^{1/2} \sin \theta) / (R^2 - L^2 \sin \theta)$$

## 4 まとめ

本論文では、データの転送とデータを保持したノードの移動との組合せによる無線マルチホップ配送における初期経路探索手法と動的経路更新手法とを提案した。また、移動区間の更新情報が前後ホップノードに遅延して伝達されることによるすれ違いの回避条件を明らかにし、それを実現するノードの移動制約を定めた。

## 参考文献

- [1] Chuah, M. and Yang, P., "Node Density-Based Adaptive Routing Scheme for Disruption Tolerant Networks," Military Communication's Conference, pp. 1-6 (2006).
- [2] Farrel, S. and Cahill, V., "Delay- and Disruption-Tolerant Networking," Artec House (2006).
- [3] Lin, X. and Stojmenovic, I., "Geographic Distance Routing in Ad Hoc Wireless," Technical Report TR-98-10, SITE, University of Ottawa (1998).
- [4] Vahdat, A. and Becker, D., "Epidemic Routing for Partially-Connected Ad Hoc Networks," Technical Report CS-200006, Duke University (2000).
- [5] Zhao, W., Ammar, M. and Zegura, E., "A Message Ferrying Approach for Data Delivery in Sparse Mobile Ad Hoc Networking," Proceedings of the International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing, pp. 187-198 (2004).