

再送信代行を含んだ無線マルチホップ配送の性能評価

東京電機大学大学院 理工学研究科 情報システム工学専攻

島田 弥奈 桧垣 博章

E-mail: {mina, hig}@higlab.net

モバイルアドホックネットワークにおける無線マルチホップ配送では、ルーティングプロトコルによって検出された配送経路に含まれるすべての移動コンピュータが順にすべてのデータメッセージを転送することによって、エンドエンドの配送が実現されている。本論文では、各無線転送ホップにおいて、次ホップ移動コンピュータにより近い移動コンピュータが前ホップ移動コンピュータに代わってデータメッセージの再送信を行なう機構を導入することにより、マルチホップ配送経路を動的に変更し、配送遅延の短縮と御メッセージの削減を実現する手法を提案する。また、これを実現するための拡張 AODV プロトコルおよびデータ配送プロトコル MMDTP(Meander Multihop Data Transmission Protocol) を提案する。さらにシミュレーション実験により、1 ホップのデータメッセージ配送に要する再送信回数の削減と、マルチホップ配送におけるエンドエンド配送遅延の短縮効果を評価する。

MMDTP:Meander Multihop Data Transmission Protocols whith Surrogate Retransmission for Shorter Transmission Delay

Mina Shimada and Hiroaki Higaki

Department of Computers and Systems Engineering

Tokyo Denki University

E-mail: {mina, hig}@higlab.net

In a mobile ad-hoc network, network topology changes dynamically due to mobility of computers, battery consumption and failure of mobile computers. Until now, many ad-hoc routing protocol tolerating such changes of network topology have been proposed. Here, all data messages are forwarded by all mobile computers included in a message transmission route detected by an ad-hoc routing protocol. No intermediate mobile computers are added and removed other than in route repair and switching. This paper proposes a dynamic modification of a message transmission route for achieving shorter end-to-end transmission delay with less control messages in an ad-hoc network. Here, data messages are retransmitted not by a previous hop mobile computer but by another mobile computer which receives them correctly and is the nearest to a next hop mobile computer. This paper shows a routing protocol and a data message transmission protocol for the dynamic route modification according to the surrogate of retransmission. Performance evaluation is simulation shows that own proposal method achieves reduction of numbers of retransmission i.e., shorter end-to-end transmission delay, especially in a dense ad-hoc network.

1 背景と目的

コンピュータ技術とネットワーク技術の発達により、移動コンピュータを構成要素を含むモバイルネットワークの普及が進んでいる。限られた無線送信電力を用いる移動コンピュータ群によって構成されるモバイルアドホックネットワークにおいて、高いコネクティビティを得るために、送信元移動コンピュータから送信先移動コンピュータまで配送される各パケットを中継移動コンピュータが順次転送する無線マルチホップ配送が用いられる。DSR [7]、AODV [12]、TORA [9]、DSDV [11]、OLSR [6]、FACE [4] 等によって検出された送信元移動コンピュータ $M_s (= M_0)$ から送信先移動コンピュータ $M_d (= M_n)$ までのマルチホップ配送経路は、中継移動コンピュータの列 $R = \{M_0 \dots M_n\}$ として与えられる。送信元移動

コンピュータ M_0 は、中継移動コンピュータ M_1 へデータメッセージを送信する。中継移動コンピュータ $M_i (0 < i < n)$ は移動コンピュータ M_{i-1} から受信したデータメッセージを移動コンピュータ M_{i+1} へ転送する。中継移動コンピュータ M_{n-1} が送信したデータメッセージを送信先移動コンピュータ M_n が受信することによって、マルチホップ配送が完了する。このように、従来の無線マルチホップ配送では、ルーティングプロトコルによって定められた経路に沿ってデータメッセージの転送が行なわれる。

各無線ホップの通信には、IEEE802.11 [1] や Bluetooth [2] 等の無線 LAN プロトコルが用いられる。ここでは、ホップバイホップの受信確認が行なわれる。しかし、無線信号に含まれるデータメッセージの受信成功確率は、中継コンピュータの移動による

距離の変化、他の無線マルチホップ通信による無線信号、周辺環境からのノイズによって時々刻々変化する。そのため、ルーティングプロトコルによって検出された経路に沿って配送することが一時的に困難となり、ホップごとの再送信回数が増加する可能性がある。このとき、中継移動コンピュータよりも次ホップ移動コンピュータに近い他の移動コンピュータがデータメッセージの再送信を代行することによって、より少ない回数の再送信でデータメッセージを転送することができる場合がある。さらに、再送信を代行した移動コンピュータが次々ホップ移動コンピュータを自身の無線信号到達範囲に含む場合には、次ホップ移動コンピュータへの転送を行わないことも可能である。

このように、ルーティングプロトコルによって検出された経路に対する動的な中継移動コンピュータの追加、削除によって、再送信回数の削減、データメッセージ配送遅延縮小、制御メッセージ数の削減が可能である。本論文では、無線マルチホップ配送の各無線ホップにおいて、次ホップにより近い移動コンピュータが再送信を代行する動的経路修正データ配送プロトコルを提案し、これを実現するためのAODVを基礎とするルーティングプロトコルを構成する。提案手法は、経路探索要求メッセージ *Rreq* と経路探索応答メッセージ *Rrep* を交換する任意のオンデマンドアドホックルーティングプロトコルに適用することができる。

2 従来手法

IEEE802.11は、無線通信デバイスを備えたコンピュータ間の直接通信を対象としたプロトコルである。IEEE802.11において、送信移動コンピュータ M_t が受信移動コンピュータ M_r にデータを送信する手順について述べる。 M_t はまず、DIFS インターバル (IEEE802.11b では $50\mu s$) の間、キャリアセンスを行なう。この間に、近隣移動コンピュータが通信を行わない場合、 M_t はさらにバックオフ時間経過する間キャリアセンスを行なう。なお、バックオフ時間の最大値 BFT は以下の式で表される。

$$BFT = (32 \cdot 2^n - 1) \times SLT \quad (1)$$

ただし、 n は再送信回数 ($0 \leq n \leq 5$)、 SLT はスロットタイム ($20\mu s$) である。この間も近隣移動コンピュータが通信を行わないならば、データの送信を開始する。 M_t がデータを送信すると、SIFS インターバル ($10\mu s$) 経過後、 M_r は、 M_t へ受信確認メッセージである *Ack* メッセージを送信する (図1)。

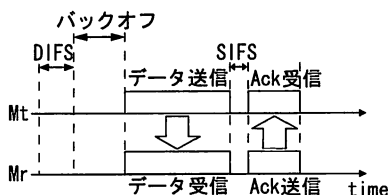


図1: IEEE802.11の受信確認

一方、 M_r がデータメッセージを正しく受信できなかったとき、 M_r は *Ack* メッセージの送信を行なわ

ない。 M_t は、データ送信から DIFS インターバルの間、 M_r からの *Ack* メッセージを待機する。DIFS インターバルが経過する前に M_r からの *Ack* メッセージを受信しなかったならば、 M_t は再送信回数 n を1増加し、バックオフ時間を設定し、キャリアセンスを行なう。バックオフ時間の間、近隣移動コンピュータが通信を行わない場合、 M_t はデータメッセージの再送信を開始する (図2)。

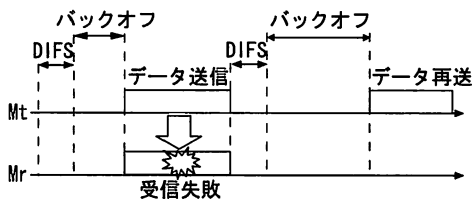


図2: IEEE802.11の再送信

移動コンピュータ群によるマルチホップ配送を実現するためには、ルーティングプロトコルが必要であり、これまでに様々なルーティングプロトコルが提案されている [10]。アドホックルーティングプロトコルを用いて検出された経路は中継移動コンピュータの列であり、データメッセージをこれらの中継移動コンピュータによる転送によって配送する。これまでに提案されているデータ配送プロトコルでは、すべてのデータメッセージが検出経路に含まれるすべての中継移動コンピュータによって、検出時の順番に転送されることとしている。中継移動コンピュータが追加、削除されるのは、コンピュータの移動やバッテリー切れ、故障などによるネットワークポロジの変化や周辺環境からのノイズによる無線リンクの継続的な信頼性低下に対応するための経路修復や経路切替がなされた場合のみである。各データメッセージの配送経路が各無線ホップにおける次ホップ移動コンピュータへの転送の成否によって動的に変更され、結果として中継移動コンピュータが追加、削除された異なる経路を用いて各データメッセージがマルチホップ配送される手法は提案されていない。

3 再送信代行

IEEE802.11などの無線LANプロトコルでは、送信移動コンピュータが送信した無線信号に含まれるデータメッセージを受信移動コンピュータが正しく受信できた場合には、受信コンピュータが送信コンピュータに対して受信確認メッセージ (*Ack*) を送信する。したがって、無線LANプロトコルを用いた無線マルチホップ通信においては、各ホップにおいて受信確認メッセージが交換され、ホップバイホップの受信確認を行なうこととなる。もし、受信コンピュータが正しくデータメッセージを受信できない場合には、受信確認メッセージを送信しない。データメッセージ送信後の一定時間内に受信確認メッセージを受信しない場合には、送信移動コンピュータは、データメッセージを再送信する。

無線信号の送受信に全方向アンテナが用いられることを仮定するとその受信強度は、送信移動コン

ピユータからの距離の $h(=2 \sim 4)$ 乗に反比例する。

$$P_r = P_t \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^h g_t g_r \quad (2)$$

ここで、 P_t は送信電力、 P_r は受信電力、 λ は波長、 d は移動コンピュータ間の距離、 g_t と g_r はそれぞれ送信ゲインと受信ゲイン (定数) である。受信移動コンピュータの周囲には様々な電磁波ノイズが存在し、無線信号の受信を妨げる。また、送信移動コンピュータ以外の移動コンピュータが送信した無線信号も受信移動コンピュータにとってはノイズとなる。このような環境のもとで、受信移動コンピュータが正しくメッセージを受信することができる確率 P_s は、ノイズの信号強度 P_n のもとでの S/N 比によって定まり、 S/N 比に対して単調減少する。

$$P_s = f(P_n/P_r) = f(P_n/P_t) \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^h g_t g_r \quad (3)$$

したがって、 P_s は d に対して単調減少する。図3に示すように、移動コンピュータ M_i から送信された無線信号は、次ホップ移動コンピュータ M_{i+1} に加え、 M_i の無線信号到達範囲にあるすべての移動コンピュータが受信可能である。もし、 M_{i+1} がこの無線信号に含まれるデータメッセージを正しく受信できない場合、従来の無線 LAN プロトコルにおいては、タイムアウト後に M_i が同一の無線信号を再送信する。しかし、 M_i よりも M_{i+1} に近い移動コンピュータ M' がこの無線信号に含まれるデータメッセージを正しく受信している場合には、 M_i が再送信するよりも M' が再送信することによって、 M_{i+1} がこのデータメッセージを正しく受信する確率を高めることができる。

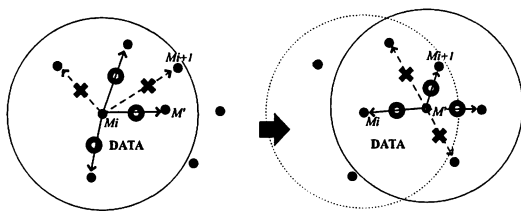


図 3: 再送信の代行

この手法を実現するためには、 M_i の無線信号到達範囲にある移動コンピュータ M が M_i よりも M_{i+1} に近いかなかを判断できなければならない。さらに、 M_i から送信された無線信号に含まれるデータメッセージを正しく受信できた移動コンピュータが複数存在する場合、 M_{i+1} により近い移動コンピュータがこのデータメッセージを含む無線信号を再送信することによって、 M_{i+1} がこのデータメッセージを正しく受信する確率をより高めることができる。そのため、このデータメッセージを正しく受信した M_{i+1} により近い移動コンピュータを決定する手法を導入することが必要である。

各移動コンピュータ M が GPS 等の位置取得デバイスを備えている場合には、 M_{i+1} の位置情報を M に通知することによって、 M は $|MM_{i+1}|$ を計算

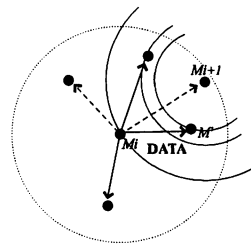


図 4: 待機時間の決定

することができる。これを実現するためには、経路探索要求メッセージ $Rreq$ か探索経路応答メッセージ $Rrep$ に送信移動コンピュータの位置情報をピギバックすればよい。 M は、 M_{i+1} の無線信号到達範囲にあることから、これらの位置情報を取得することが可能である。GEDIR [3]、COMPASS [13]、FACE、GFG [5]、GPSR [8] などの位置情報を用いたルーティングプロトコルが適用できる環境では、この方法を用いることができる。一方、各移動コンピュータ M に自身の位置情報を取得するデバイスが搭載されていない場合には、 $Rreq$ か $Rrep$ を含む無線信号の受信強度から (2) 式を用いて $|MM_{i+1}|$ を推定することとなる。ルーティングプロトコルとして、DSR、AODV、TORA 等の $Rreq$ メッセージのフラッディングを用いる環境では、一般に移動コンピュータに位置取得デバイスが搭載されていないため、この方法を用いることとなる。

各移動コンピュータ M が M_{i+1} との距離を得ているという前提のもとで、 M_i からのデータメッセージを含む無線信号が送信された場合、 M が M_i に代わってこの無線信号の再送信を行なうのは、以下の条件を満足する場合である。

[再送信条件]

- (1) M が無線信号に含まれるデータメッセージを正しく受信している。
- (2) M_{i+1} が無線信号に含まれるデータメッセージを正しく受信していない。
- (3) M が (1) を満たす移動コンピュータのなかで最も M_{i+1} に近い。□

(2) は、 M_{i+1} が受信確認応答メッセージ (Ack) を送信しないことによって確認することができる。つまり、 M_{i+1} がデータメッセージを正しく受信しているのであれば、SIFS インターバル経過後に M_{i+1} が Ack メッセージを含む無線信号を送信することから、この無線信号が送信されない (M がこの無線信号を受信しない) ことによって、(2) を満足することが確認できる。(3) を確認するために、各移動コンピュータ M は、以下に定める待ち時間を設定する。

$$W_M = |MM_{i+1}|/|M_i M_{i+1}| \times (DIFS - SIFS) \quad (4)$$

データメッセージを正しく受信した移動コンピュータ M は、SIFS インターバル経過後 W_M だけ待機する。この待機期間中に M_{i+1} を含むいずれかの移動コンピュータが Ack メッセージを送信した場合には、 M はこのデータメッセージを含む無線信号を再送信する必要がない。なぜならば、この無線信号を送信した移動コンピュータは M よりもタイムアウト

が小さく、 M_{i+1} により近いからである。もし、待機期間中に M_{i+1} を含むいずれの移動コンピュータが送信した Ack メッセージを含む無線信号をも受信しなかった場合には、 M はただちに Ack メッセージを含む無線信号を M_i に送信する。 M_i を含む M の無線信号到達範囲にある移動コンピュータは、 M がこのデータメッセージを正しく受信した M_{i+1} に最も近い移動コンピュータであり、 M が M_{i+1} への再送信を M_i に代わって行なうことから、自身が再送信する必要がないことを知ることができる。

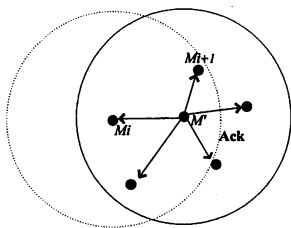


図 5: Ack の代行送信 (再送代行の通知)

上記の手法を用いた場合、待機時間が経過した移動コンピュータ M が送信した Ack メッセージが M の無線信号到達範囲にあるすべての移動コンピュータに受信されない場合、複数の移動コンピュータがデータメッセージを含む無線信号を再送信することがある。この場合、CSMA/CA により待ち時間が最小の移動コンピュータが再送信を代行することになり、必ずしも M_{i+1} に最も近い移動コンピュータが再送信を代行することにならない。しかし、いずれの移動コンピュータが再送信を代行した場合でも、 $|MM_{i+1}| < |M_iM_{i+1}|$ なる移動コンピュータによる再送信代行であることは保証されていることから、 M_i が再送信を行なう場合に比べて高い確率で正しくデータメッセージを M_{i+1} が受信することができる。また、Ack メッセージが正しく受信されないことによって複数の移動コンピュータが再送信を代行した場合、他の移動コンピュータが再送信した無線信号とこれに対する M_{i+1} からの Ack メッセージを含む無線信号とを受信することができる。これらを受信することによって、再送信代行をスケジュールしている移動コンピュータが再送信の代行を中止することが可能である。

一方、移動コンピュータの配置によっては、 M_i の無線信号到達範囲にある他の移動コンピュータが送信した Ack メッセージを含む無線信号を受信できない場合がある。図 6 の場合、移動コンピュータ M'_p と M'_q は、いずれも M_i と M_{i+1} の無線信号到達範囲にあるが、互いの無線信号到達範囲にはない。この場合、 M_i から送信されたデータメッセージを正しく受信し、 M_{i+1} および他の移動コンピュータから Ack メッセージを含む信号が送信されなかった場合、それぞれが待機時間経過後に Ack メッセージを送信してしまう。この Ack メッセージの受信によって、 M_i およびそれぞれの無線信号到達範囲にある移動コンピュータはデータメッセージを含む無線信号の再送信が不要であることを知ることができるが、 M'_p と M'_q は互いの送信した Ack メッセージを受信するこ

とができないために、再送信の代行をスケジュールしてしまう。さらに、互いが送信したデータメッセージを含む無線信号を受信することもできない。しかし、 M'_p と M'_q はいずれも M_{i+1} の無線信号到達範囲に含まれていることから、これらが送信したデータメッセージを含む信号が M_{i+1} で衝突する可能性があるものの、いずれかが送信したデータメッセージが正しく受信された場合には、Ack メッセージを受信することによって、再送信の代行を中止することが可能である。

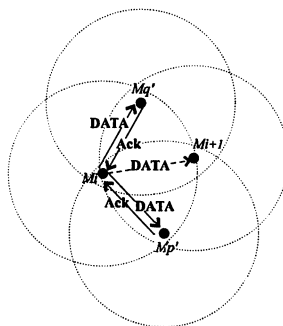


図 6: 再送信の多重代行

なお、 M_i から M_{i+1} へのデータメッセージ転送の再送信を M が代行するとき、マルチホップ配送経路 R 上の移動コンピュータ $M_j (i+1 < j \leq n)$ が M の無線信号到達範囲にあることがある。この場合、 M は M_{i+1} ではなく M_j を次ホップ移動コンピュータとしてデータメッセージを転送する (図 7)。この転送が成功したならば、移動コンピュータ $M_k (i+1 \leq k < j)$ は動的に R から除かれたこととなる。ただし、これは M によって再送信を代行されたデータメッセージのみについてのことであり、後続のデータメッセージの配送経路の変更を強いるものではない。本章で述べた再送信代行機構と動的な次ホップ除去機構を供えた動的経路修正データ配送プロトコル MMDTP (Meander Multihop Data Transmission Protocol) を設計した [14]。

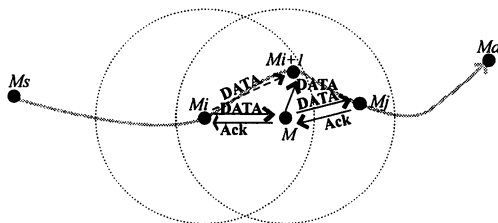


図 7: 再送信代行による次ホップ移動コンピュータの一時的な除去

4 評価

本章では、提案した再送信代行機構による無線マルチホップ配送性能を実験評価する。

まず、再送信代行機構導入によって1ホップのデータメッセージ転送に要する再送信回数の削減効果をシミュレーション実験によって評価する。送信移動コンピュータ M_t を中心とした半径 100m の円内に $N-2$ 台の移動コンピュータを一様分布乱数を用いてランダムに配置する。また、移動コンピュータ M_r を M_t から距離 x の位置に配置する。こうして得られた移動コンピュータに対して、 M_t から M_r へのデータメッセージ転送を提案プロトコルを用いて行なう。 $N=2$ の場合、シミュレーション領域に存在する移動コンピュータは M_t と M_r のみであり、従来の再送信代行を用いないデータメッセージ転送手法に相当する。

ここで、送信した制御メッセージの受信に失敗する確率が距離 l に対して次の $f(l)$ で与えられるとする (図 8)。

$$f(l) = \begin{cases} 0 & (0 \leq l \leq \bar{l}) \\ (l - \bar{l}) / (100 - \bar{l}) & (\bar{l} \leq l \leq 100) \end{cases}$$

このとき、次ホップ移動コンピュータへデータメッセージを転送するまでに要する時間をシミュレーション実験によって測定する。ここでは、データメッセージの送信回数を要する時間の指標とする。従来手法に対する削減率を $\bar{l} = 0\text{m}, 20\text{m}, 40\text{m}, 60\text{m}, 80\text{m}$ として測定した結果を図 9 に示す。移動コンピュータ数の増加にともなって転送時間が短縮される。この性能改善率は $N=20$ 以上ではほぼ一定となっており、1 ホップの転送に要する時間は 87.1%短縮される。

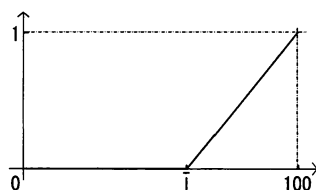


図 8: 制御メッセージ紛失率

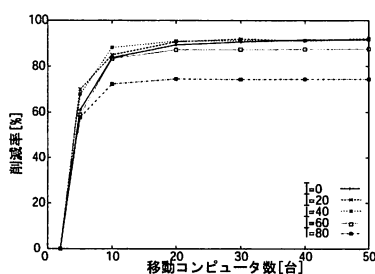


図 9: 転送時間の削減率

提案プロトコルでは、次ホップ移動コンピュータがデータメッセージを受信しても、次ホップ移動コンピュータが送信した Ack メッセージの受信に失敗した近隣移動コンピュータがデータメッセージの再送信を行うことが考えられる。そこで、これらの移動コンピュータによるデータメッセージ再送信が終

了するまでに要する制御メッセージ数と時間について同様にまとめたものを図 10、図 11 に示す。再送信代行を行なわない場合においても、再送信が終了するためにはデータメッセージの受信に成功した後 Ack メッセージの受信に成功しなければならない。結果として、提案手法を用いることにより、制御メッセージ数は 98.2%削減され、転送プロトコル終了までの時間は 99.1%短縮される。したがって、1 ホップの転送手続きが終了するまでに要するオーバーヘッドは、次ホップがデータメッセージを受信するまでのオーバーヘッドよりも高い改善率が再送信代行によって得られている。

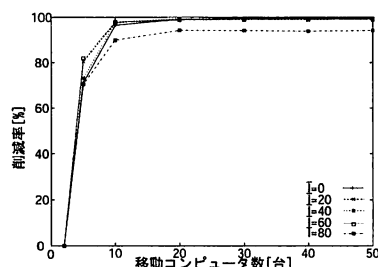


図 10: 制御メッセージ数の削減率

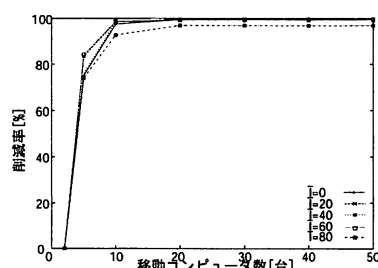


図 11: 転送プロトコル終了までの時間の削減率

次に、マルチホップ配送環境における MMDTP によるマルチホップ配送遅延の短縮効果をシミュレーション実験によって検証する。1000m × 1000m の領域に 50-400 台の移動コンピュータを一様分布乱数を用いて配置する。無線信号到達範囲を 100m とし、紛失モデルは前章の $\bar{l} = 60\text{m}$ とする。送信元移動コンピュータから送信先移動コンピュータまでのマルチホップ配送遅延を提案手法を用いる場合と用いない場合について測定し、提案手法による短縮率をまとめたものを図 12 に示す。MMDTP により 3.3-45% の配送遅延削減が実現され、この削減効果は移動コンピュータ密度が高い環境ほどより高いことが分かる。

また、実現された配送遅延削減効果の大部分は再送信代行機構によるものであることが分かる。そこで動的な次ホップ除去による効果を分析する。図 13 は次ホップ除去による配送遅延短縮効果の出現率を示したものである。出現率は 1.2-17% であり、必ずしも高くないことが分かる。これは、フラッディングに基づく AODV による検出経路においては、再送信代行した移動コンピュータが次々ホップを無線

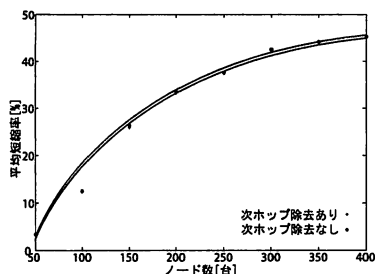


図 12: MMDTP による転送時間削減率

信号到達範囲に含むことが少ないためと考えられる。一方、図 14 には、短縮効果が現れる場合の短縮率を示す。短縮率は 3.0–7.0% であり、移動コンピュータ密度の上昇とともに上昇することが分かる。以上により、動的な次ホップ除去は配送遅延削減を実現するが、その効果はルーティングプロトコルで検出された経路の性質に依存することが分かる。

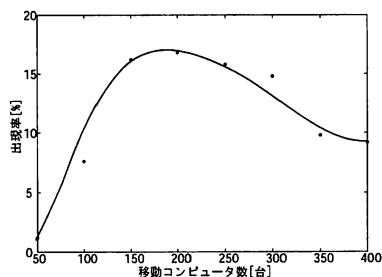


図 13: 経路修正により転送時間が削減される割合

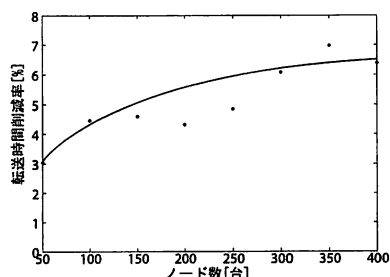


図 14: 次ホップ除去による転送時間の削減率

5 まとめ

本論文では、アドホックネットワークにおいて、経路に含まれない移動コンピュータが無線信号の再送信を行う手法を導入することにより、ルーティングプロトコルによって検出された無線マルチホップ配送経路に動的に中継移動コンピュータの追加、削除を行い、エンドエンド伝達遅延を縮小する手法を提案した。ここでは、各無線通信ホップにおいて、Ack メッセージ送信待ち時間を次ホップ移動コンピュ

タとの距離に比例して設定し、経路上にない移動コンピュータがデータメッセージの再送信を代行することで、動的に経路に加わる。これを実現するためのルーティングプロトコルとデータ配送プロトコルを設計した。また、シミュレーション実験により、再送信代行機構の導入による 1 ホップ配送に要する遅延の削減効果、動的な中継移動コンピュータの削除も含めた場合のエンドエンド配送遅延の削減効果をシミュレーション実験によって確認した。

参考文献

- [1] "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," Standard IEEE 802.11 (1997).
- [2] "Wireless MAC and PHY Specifications for Wireless Personal Area Networks," Standard IEEE 802.15.1 (2002).
- [3] Basagni, S., Chlamtac, I., Syrotiuk, V.R. and Woodward, B.A., "A Distance Routing Effect Algorithm for Mobility," Proceedings of the International Conference on Mobile Computing and Networking, pp. 76–84 (1998).
- [4] Bose, P., Morin, P., Stojmenovic, I. and Urrutia, J., "Routing with Guaranteed Delivery in Ad Hoc Wireless Networks," Proceedings of the 3rd ACM International Workshop on Discrete Algorithms and Methods for Mobile Computing and Communications, pp. 48–55 (1999).
- [5] Datta, S., Stojmenovic, I. and Wu, J., "Internal Node and Shortcut Based Routing with Guaranteed Delivery in Wireless Networks," Proceedings of the IEEE International Conference on Distributed Computing and Systems, pp. 461–466 (2001).
- [6] Jacquet, P., Muhlethaler, P., Clausen, T., Laouiti, A., Qayyum, A. and Viennot, L., "Optimized Link State Routing Protocol for Ad Hoc Networks," Proceedings of IEEE International Publication, pp. 62–68 (2001).
- [7] Johnson, D.B., Maltz, D.A., Hu, Y.C., and Jetcheva, J.G., "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks," Internet Draft, draft-ietf-manet-dsr-04.txt (2000).
- [8] Karp, B. and Kung, H.T., "GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless," Proceedings of the 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, pp. 243–254 (2000).
- [9] Park, V. and Corson, S., "Temporally-Ordered Routing Algorithm (TORA) Version 1 Functional Specification," Internet Draft, draft-ietf-manet-tora-spec-04.txt (2001).
- [10] Perkins, C.E., "Ad Hoc Networking," Addison-Wesley (2000).
- [11] Perkins, C.E. and Bhagwat, P., "Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers," Proceedings of ACM SIGCOMM'94, pp. 234–244 (1994).
- [12] Perkins, C.E. and Royer, E.M., "Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing," Proceedings of IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, pp. 99–100 (1999).
- [13] Urrutia, J., "Two Problems on Discrete and Computational Geometry," Proceedings of the Japan Conference on Discrete and Computational Geometry, pp. 42–52 (1999).
- [14] 島田, 松垣, "再送信代行を含む無線マルチホップ配送の性能評価," 情報処理学会第 14 回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, pp. 49–54 (2006).