

疎なアドホックネットワークにおける 固定端末を用いたフラディング制御について

藤井 俊充^{†1} 加治 充^{†1,†2} 佐々木 勇和^{†1}
原 隆浩^{†1} 西尾 章治郎^{†1}

アドホックネットワークにおいて周辺に情報を配布するためのアプローチの一つに、フラディングを用いる方法がある。筆者らはこれまでに、少数の固定端末が存在する環境を想定し、周辺情報を必要とする端末が存在しない範囲へのフラディングを抑制する手法を提案した。これまでに提案した従来手法では、情報を中継する移動端末が固定端末間に常時存在する環境を想定していたため、移動端末が疎な環境では効率的に配布範囲を拡張することができないという問題があった。そこで本稿では、移動端末による carry-and-forward を利用し、疎な環境においても必要な方向へ配布範囲を拡張できるように、従来手法を拡張する。

On Flooding Control using Fixed Nodes in Sparse Mobile Ad Hoc Networks

TOSHIMITSU FUJII,^{†1} MITSURU KAJI,^{†1,†2}
YUYA SASAKI,^{†1} TAKAHIRO HARA^{†1}
and SHOJIRO NISHIO^{†1}

Flooding is one of the most fundamental approaches in order to deliver information to surrounding mobile nodes in mobile ad hoc networks. In our previous work, we have proposed two flooding methods that suppress transmissions of information to unnecessary destinations in mobile ad hoc networks with some fixed nodes. In these methods, the fixed nodes control the flooding area by using an acknowledgement (ACK) from mobile nodes. Since only a small number of fixed nodes exist in the entire network, intermediate mobile nodes play a significant role for sending messages to distant nodes. Therefore, the previous methods cannot expand the flooding area efficiently in a sparse environment. In this paper, we propose two methods that use a carry-and-forward technique to adapt to such a sparse environment.

1. はじめに

近年、無線通信技術の発展と携帯電話などの計算機の小型化や高性能化に伴い、ユーザが時間や場所に関係なくネットワークに接続できる環境が普及しつつある。これら計算機端末を保持するユーザに、周辺の交通情報や店の割引情報などの地域に密着した情報を提供するための技術やサービスが盛んに開発されている。例えば、渋滞情報や事故情報を周辺の車や歩行者へ迅速に配布することで、事故の回避や移動の高度化が期待されている。しかし、固定のネットワークを使用する ITS (Intelligent Transport Systems) は、そのインフラ構築コストの高さから普及が進んでない。車車間通信などの移動端末のみで構成されるアドホックネットワークの研究も盛んであるがネットワークごと移動してしまった場合にはその場所に周辺情報を残しておくことが困難であるなど、実用化には未解決の課題も多い。

そこで筆者らは、少数の固定端末と多数の移動端末から構成されるアドホックネットワークを想定し、効率的な周辺情報配布手法を提案した^{6),7)}。文献7)で提案した手法では、周辺情報を必要とする端末が存在しない方向への配布を抑制するために、ack-carry 方式によるフラディング制御を行っている。ack-carry 方式では、配布情報を有用と判断した移動端末は情報の発生地点を通過することを想定し、情報を受信した端末がその情報の発生地点を通過する際に情報を中継した固定端末の識別子を含んだ受信確認 (ACK) を配布元である固定端末に送信する。これにより、ACK を受信した配布元の固定端末が、フラディングを延長すべき方向つまり自身の付近を通過する端末が存在する方向を把握することができ、効率的な周辺情報の配布が可能となる。一方、渋滞情報や事故情報などの情報を受信した端末は、配布元を避けるように経路を変更することが考えられる。そのため筆者らは、移動端末が情報の発生地点を避けるように移動する場合においても、情報を必要とする端末が存在する方向へ配布範囲を拡張できる手法を文献6)で提案した。しかし、これらの手法では、配布元からのフラディングにより情報を配布するため、移動端末が疎な環境では、固定端末間に情報を中継する移動端末が存在しない状況が起り、配布範囲内の移動端末に情報を配布できない場合がある。

^{†1} 大阪大学大学院情報科学研究科

Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

^{†2} パナソニック株式会社

Panasonic Corporation

そこで本稿では、これまでに筆者らが文献 7)、文献 6) で提案した両手法を、移動端末が疎な環境に対応できるように拡張する。拡張手法では、固定端末間に十分な数の移動端末が存在しない場合、移動端末が carry-and-forward を用いて、固定端末まで情報を転送する。これにより、従来手法では情報を受信できなかった固定端末からフラッディングを再開することが可能となり、疎な環境においても周辺情報の配布範囲を拡張することができる。

以下では、第 2 章で関連研究を紹介し、本研究との比較を行う。第 3 章で本稿の想定環境について述べ、第 4 章で従来手法について説明する。第 5 章で本稿の提案手法について説明する。最後に第 6 章で本稿のまとめと今後の課題について述べる。

2. 関連研究

情報の受信者が取得したい情報を事前に特定できない場合には、情報の配布元から一定の範囲にフラッディングなどで配布する方法が有効である。容易に多くの端末に情報を配布できる手法であるが、単純なフラッディングでは多数の冗長なメッセージが送信される。そのため、フラッディングの効率化に関する研究が行われている^{2),3)}。しかしこれらの研究の多くでは、密なアドホックネットワークにおいて、ブロードキャスト転送を行う端末を少なくしつつ、ネットワーク内の端末全てに情報を配布することを目的としており、どの端末が情報を必要としているかは考慮していない点で本研究と異なる。

疎なアドホックネットワークでは、マルチホップ通信のみで目的地へ情報を転送できるとは限らない。そこで、移動端末がパケットを保持したまま移動し、新たな転送相手が現れると転送を再開する手法である carry-and-forward では、自動車により構成されたアドホックネットワーク (VANET: Vehicular Ad hoc Networks) のように移動が激しい環境においても、情報の転送成功率を向上させることができる。文献 5) では、carry-and-forward 手法において転送遅延時間を抑える 2 つの手法を提案している。これらの手法では、各端末の移動速度や道路ごとの平均移動速度などの交通情報を用いて、移動端末が情報を自身で運ぶか、転送するかを決定する。さらに、文献 1) では、転送する情報を一時的に保持しておくために、各交差点に固定端末を配置することを想定している。固定端末は、情報を転送するのに最適な方向に移動端末が存在しない場合、その方向に向かう移動端末が現れるまで情報を保持しておく。これにより、目的地までの転送遅延時間が少ないルートで、情報を転送することが可能となる。これら研究は、一部のパケットを保持して移動する点や固定端末を利用する点で、本研究と類似している。一般的な carry-and-forward では、位置や進行方向などを利用して情報の転送先を決定しなければならないが、本研究ではこのような情報を必要

とせず、carry-and-forward における転送先を容易に決定できる。

3. 想定環境

本章では、本稿で想定する環境について説明する。

3.1 端末の構成

情報が配布される移動端末に加えて、交差点の信号機や道路上の街灯などに設置された少数の固定端末が存在するものとする。一般的に、メッシュネットワークを構築できるほど固定端末を多く設置したり、固定端末すべてがインターネットに接続できるようにするには膨大なコストがかかると考えられる。そのため、情報の発信や中継ができる必要最低限の機能を持った固定端末を互いに直接通信できない程度の間隔で設置し、移動端末および固定端末は無線によるマルチホップ通信のみを用いるものとする。従って、情報を発生場所の固定端末から拡散させるには、移動端末が情報を中継する必要がある。なお、評価においては、固定端末は全て道路上にあり無線の到達半径の約 1.5 倍の間隔で存在するものとした。

3.2 周辺情報の配布方法

配布すべき情報は、情報の発生地点から最も近い固定端末に転送され、その固定端末が配布元となる。配布元の固定端末からは、情報の更新の有無に関係なく定期的にフラッディングによる配布を開始する。これは、配布を開始した時点で、配布範囲に存在していない移動端末にも確実に周辺情報を届けるためである。そのため、別経路で中継されてきた同じ周辺情報 (同じタイミングで配布された情報) を受信した場合は再転送しないが、定期的にフラッディングされる周辺情報を違うタイミングで受信した場合にはその都度、再転送する。飛び出し注意などの交通情報は、その情報の発生場所を通過する予定の端末にとって有用な情報である。配布する情報が店の割引情報などであった場合は、その情報を有用であると判断した端末は、情報の発生地点を通過するように経路を変更する可能性が高い。また、渋滞情報などの交通情報を受信した端末は、情報の発生地点を通過しないように経路を変更する考えられる。そこで、本研究では、周辺情報を配布すべき対象は、情報の発生地点を通過する可能性がある移動端末とする。

3.3 移動端末の移動特性

実際の人や車の移動では、交差点や道路などの物理的な構造に従って、多くが目的地に向かって最短距離を移動する。これらの道路構造および目的地には一般に偏りがある。そこで本研究では、情報の発生地点を通過する移動端末がその地点までに用いる経路に偏りがある環境を想定する。これら移動経路の偏りを発生させる要因を移動端末の移動特性と呼ぶ。

移動特性は、通行止めや道の建設により動的に変化することが考えられる。

4. 従来手法

本章では、筆者らがこれまでに提案した二つの従来手法^{6),7)}について述べる。まず、配布情報を有用とする移動端末は情報の発生地点を通過することを想定した ack-carry 方式によるフラッディング制御手法について述べる。その後、情報受信後に情報の発生地点を避けるように経路を変更することを想定したフラッディング制御手法について述べる。

4.1 ack-carry 方式によるフラッディング制御手法⁷⁾

4.1.1 フラッディングの初期状態

配布元となる固定端末は、周辺情報がどこに存在する移動端末に必要とされるのかまだ分からないため、配布する範囲を制限するために基準 TTL (Time To Live) を小さな値に設定したフラッディングにより情報を配布する。TTL の初期値は配布元からの転送回数の上限値であり、転送される度に 1 ずつ減少していき、TTL が 0 となった情報は転送されない。各固定端末は情報を中継する度に自身の識別子を情報に添付して転送する。移動端末が中継する場合には、自身の識別子は添付しない。添付した固定端末の識別子は、後述するフラッディングの拡張において使用される。

4.1.2 移動端末による受信確認の運搬 (ack-carry)

情報を受信した移動端末は、その情報の発生地点を通過する際、配布元である固定端末に ACK を直接送信する。ACK には、自身が受信した情報に添付されていた識別子 (各固定端末が中継する度に追加した識別子) を添付する。これにより、ACK を受信した配布元の固定端末は、配布元に向かって移動する移動端末が多い経路付近に存在する配布元以外の固定端末を把握することができる。この時、中継した端末の識別子と共に ACK を受信した時刻を記憶しておく。既に記憶していた識別子が ACK に添付されていた場合、記憶している時刻を最新のものに更新する。

4.1.3 フラッディングの拡張

ACK を受信した配布元の固定端末は、ACK に添付された識別子をフラッディングを延長する端末として、次の配布時に情報に添付してフラッディングを行う。周辺情報を中継する固定端末は、配布元から添付されてきたリストに自身の識別子が含まれていた場合には、TTL の値を基準 TTL にリセットして再送信する。含まれていない場合には、4.1.1 項で説明した手順で再送信する。これらの処理により、情報を配布する範囲を、配布元に向かって移動する端末が存在する方向に拡張することが可能となる。

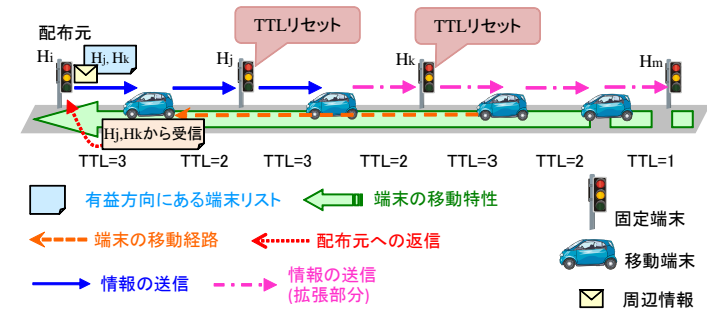


図 1 ack-carry 方式による情報配布
Fig. 1 Information dissemination with ack-carry

図 1 は、固定端末 H_i が配布元となり TTL の初期値を 3 としたフラッディングにより周辺情報を配布している様子を示す。固定端末 H_j および H_k から情報を受信した移動端末が、配布元の端末 H_i に対して ACK を返信した後、新たに固定端末 H_k の識別子を添付することで端末 H_j, H_k が TTL をリセットし、フラッディングを拡張している。

4.1.4 タイムアウト

配布元の固定端末は、ACK で通知された固定端末の識別子を、最後に通知された時刻と共に記憶している。その時刻からの経過時間が基準値より大きくなった場合には、記憶していた識別子を削除する。この処理により、状況変化によって移動端末が来なくなった方向へ周辺情報が配布されなくなる。

4.2 経路変更を考慮したフラッディング制御手法⁶⁾

文献 6) では、情報受信後の経路変更に対応するために、文献 7) で提案した手法を以下のように変更した。

4.2.1 変更した処理

移動端末が ACK を送信するタイミングを変更し、配布元ではなく各固定端末が TTL をリセットすべきか判断できるようにすることで、情報受信後の経路変更に対応する。以下に詳細を述べる。

- 固定端末が情報を中継する度に、配布元の識別子に加えて、最後に経由した固定端末としてその識別子を添付する (その情報をそれまでに中継した全固定端末の識別子は添付しない)。
- 移動端末が初めて周辺情報を受信した時、その情報が通過予定の地点に関する情報で

あった場合、添付されている最後に情報を経由した固定端末に ACK を返信する。

- 周辺情報を中継する固定端末は、これまでに移動端末から ACK を受信している場合、TTL をリセットして再送信する。

4.2.2 新たに追加した処理

4.2.1 項で述べた処理だけでは、配布する情報とは無関係な理由によって移動端末が来なくなった方向へも周辺情報が配布されたままとなる。そこで、配布する必要がない方向への配布を抑制するため、リセットメッセージと削除メッセージを利用する。

- 各固定端末は、周辺情報の受信時点で添付されていた最後に経由した固定端末の識別子を、自身より一つ前で経由した固定端末として記憶しておく。
- 移動端末から ACK を受信した固定端末は、自身が TTL をリセットすることを伝えるリセットメッセージを、記憶しておいた「自身より一つ前で情報を経由した固定端末」に送信する。
- リセットメッセージを受信した固定端末は、送信元の識別子を記憶しておく。
- ACK を受信して TTL をリセットする端末となってから一定時間、リセットメッセージおよび ACK を受信しなかった場合に、TTL のリセットを止めることを報告する削除メッセージを過去にリセットメッセージを送った端末へ送信する（タイムアウト）。
- 削除メッセージを受信した端末は、記憶しておいたリセットメッセージの送信元の識別子を削除する。この削除により自身が転送を行った後に TTL をリセットする固定端末が存在しなくなり、その後一定時間経過してもリセットメッセージおよび ACK を受信しなければ、TTL のリセットを止め、同様に自身も削除メッセージを送信する。

図 2 は、固定端末 H_i が配布元となり TTL の初期値を 3 としたフラッディングにより周辺情報配布を行っている様子を示す。固定端末 H_k から情報を受信した移動端末が、最後に経由した固定端末である H_k に対して ACK を返信した後、固定端末 H_j に続き H_k も次回配布時から TTL をリセットし、フラッディング範囲を拡張している。また、配布範囲の拡張により H_k 付近で情報を受信した移動端末は、配布元を避けるようにして移動する。

5. 提案手法

従来手法では、固定端末間に情報を中継する移動端末が十分に存在しない場合、配布すべき範囲通りの配布が行われず。さらに、配布元または各固定端末が配布範囲を ACK により正しく把握できないためタイムアウトにより配布範囲が縮小されてしまうという問題がある。また、4.2 節で述べた文献 6) の手法では、リセットメッセージと削除メッセージを

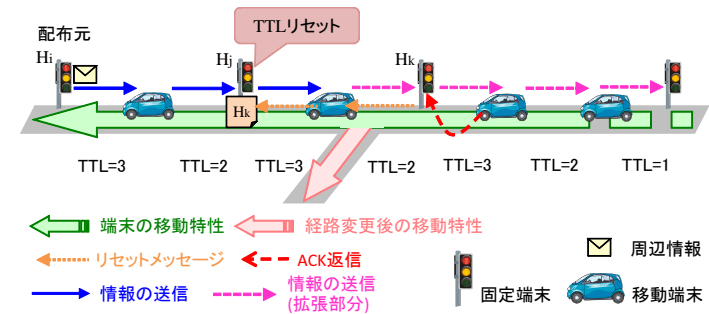


図 2 情報受信後の経路変更を考慮した情報配布
Fig. 2 Information dissemination considering route change of mobile nodes

利用しており、これらのメッセージが正しく受信されなかった場合には、各固定端末が自身の後で TTL をリセットする端末が存在するかを正しく把握することができないため、配布すべき方向にも関わらず配布を抑制したり、配布する必要がなくなった方向への配布を続けてしまうといった問題がある。

本章では、4 章で述べた二つの従来手法を、移動端末が疎な環境に対応できるようにそれぞれ拡張した手法を説明する。

5.1 提案手法 1: 文献 7) の手法の拡張

文献 7) で提案した ack-carry 方式を移動端末が疎な環境へ対応可能にするため、4.1 節で説明した処理に以下のような処理を加える。

- 前回の情報経由時に TTL をリセットした固定端末は、一定時間情報を受信していない場合、途中で中継の失敗が起こったと判断し、周辺情報を要求するメッセージ（周辺情報要求メッセージ）をブロードキャストする。この時、以前に受信した情報の新しさを示すシーケンス番号を添付する。
- 周辺情報要求メッセージを受信した移動端末は、添付されたシーケンス番号の情報より新しい情報を保持しているかつ、その情報の TTL をリセットするリストに周辺情報要求メッセージを送信した端末の識別子があれば、保持している情報をその端末に送信する。TTL をリセットするリストにその固定端末の識別子がなければ、保持している情報を送信する代わりに周辺情報要求メッセージを送信することを止めさせるためのストップメッセージを送信する。
- 新しい情報を移動端末から受信した固定端末は、その情報の TTL をリセットし配布す

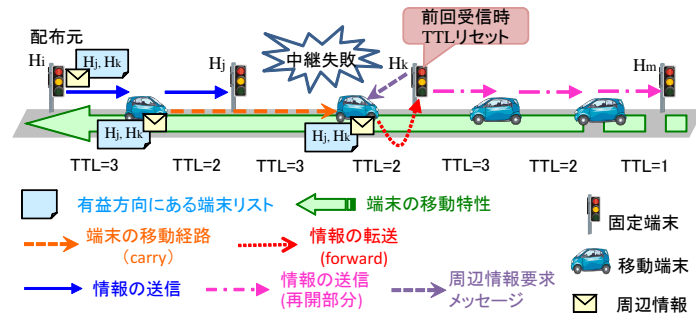


図 3 carry-and-forward を用いた配布
Fig. 3 Information dissemination with carry-and-forward

る。ストップメッセージを受信した固定端末は、今後、新たにメッセージを受信するまでは、周辺情報要求メッセージを送信しない。

以上のように、配布すべき範囲に存在する固定端末が中継が失敗により情報を受信できなかった場合、既に情報を受信した移動端末がその固定端末まで情報を運搬し転送する。この際、移動端末はどの固定端末が情報を受信できなかったかを把握することができないため、固定端末から移動端末へ保持している情報の転送を要求する周辺情報要求メッセージを送信している。

図 3 では、固定端末 H_j と H_k の間の中継を失敗したため、 H_k が周辺情報要求メッセージを送信し、それを受信した移動端末が保存していた情報を H_k に転送している。その後、固定端末 H_k からフラッディングを再開することで、遠方の移動端末も情報を受信できるようになる。

5.2 提案手法 2: 文献 6) の手法の拡張

文献 6) で提案した経路変更に対応したフラッディング手法を、移動端末が疎な環境に対応させるには、配布情報の carry-and-forward に加えて、これらのリセットメッセージと削除メッセージの再送処理が必要である。メッセージの再送処理は以下のように行う。

- 各固定端末は、リセットメッセージや削除メッセージで把握した「自身が経由した後で TTL をリセットする固定端末」の識別子を、情報に添付する。
- TTL をリセットする端末は、情報に添付された識別子に自身の識別子がなければリセットメッセージを再送する。TTL をリセットしない端末は、自身の識別子があれば削除

メッセージを再送する。

提案手法 2 では提案手法 1 と同様に、周辺情報を carry-and-forward を用いて転送する。リセットメッセージや削除メッセージは、どのタイミングで送信が開始されるかわからず、受信側の固定端末が要求を出すことができないため、carry-and-forward ではなく再送処理を用いる。

6. 性能評価

本章では、性能評価のために行ったシミュレーション実験の結果を示す。実験では、ネットワークシミュレータ Qualnet4.0⁴⁾ を用いた。

6.1 シミュレーション環境

1,500[m]×2,500[m] の 2 次元平面領域に、固定端末を道路に沿って約 200[m] 間隔で配置した。道路の構成は、図 4 の道路図とし、図内の数字は道路の交通量を示す。道路の構成および交通量は、大阪府箕面市が平成 21 年に調査したもの⁸⁾ を参考にした。ただし、移動端末が疎な環境として、この交通量をすべて 1/3 とした。情報の配布元となる固定端末は、交通量が比較的多い図 4 の中央あたりの交差点に 1 台のみ配置した。この端末は、一定の発信間隔 I [秒] ごとにサイズ 128[B] の情報を、設定した基準 TTL を用いたフラッディングにより配布を開始する。情報を受信した端末は、 $[0, 2]$ [秒] の範囲内でランダムに決定した時間待機し、次のブロードキャストを行うものとした。

移動端末は、道路の端から交通量に従った間隔で出現するものとし、移動経路はダイクストラのアルゴリズムを用いて決定した。各枝(リンク)のコストは、距離を交通量で重み付けしたものとした。移動端末の移動速度は 15[m/秒] とした。端末間の通信は、IEEE802.11b を想定し、伝送速度 11[Mbps]、通信伝搬距離が 130[m] 程度となる送信電力でデータを送信するものとした。

以上のシミュレーション環境において、27,000[秒] を経過させたときの以下の評価値を調べた。なお、27,000[秒] 経過した時点で、ネットワーク内の道路上に存在する端末は、評価の対象としない。

- 有効受信数:
固定端末に ACK を返信した移動端末が、ACK を返信するまでにその配布元の固定端末からの情報を受信した回数の総数。
- 有効受信割合:
ネットワーク内の全移動端末が新規の情報を受信した回数に対する有効受信数の割合。

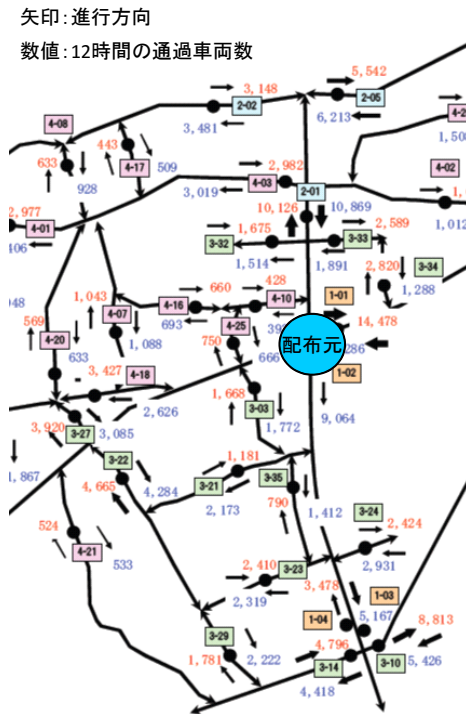


図 4 道路図と交通量
Fig. 4 Road and traffic information

- 最大有効受信距離:
固定端末に ACK を返信した移動端末が、初めて情報を受信した際の配布元からの距離の平均。
- トラヒック:
シミュレーション時間内に送信されたメッセージの総バイト数。
- 情報運搬距離:
移動端末が保存した情報を固定端末に送信するまでに運搬した距離の合計（運搬中に新たな情報を受信した場合は、その地点から固定端末に送信するまでの距離とする。）

6.2 評価結果（提案手法 1）

提案手法における基準 TTL を 3 ホップ、タイムアウト時間は情報の発信間隔 I の 3 倍、周辺情報要求メッセージを送信するまでの待ち時間は発信間隔に 5[秒] を加えた値、周辺情報要求メッセージの送信間隔は 5[秒] として、性能評価を行った。提案手法においては、移動端末による carry-and-forward の効果を調べるため、carry-and-forward を一つの情報につき一回としたものと無制限としたものを評価した。実験では比較のため、基準 TTL を 3 ホップとした従来手法（ack-carry 方式によるフラッディング制御手法）における性能も評価した。結果を図 5 に示す。この図において、横軸は発信間隔 I を表し、5,10,25,50,100[秒] と変化させた。縦軸は、図 5(a) では最大有効受信距離、図 5(b) では有効受信割合、図 5(c) では有効受信数、図 5(d) ではトラヒック、図 5(e) では発信間隔が 10[秒] の時のトラヒック内訳、図 5(f) では移動端末が運搬した情報の距離の合計を示す。

図 5(a) より、提案手法は従来手法に比べ配布範囲を拡張できていることが分かる。これにより、提案手法は移動端末による carry-and-forward により固定端末間に情報を中継する移動端末が存在しない場合に対応できていることが分かる。

図 5(b) は有効受信割合を示しており、双方向道路でのシミュレーションを行っているため、値が 0.5 程度でもよい性能であることを示す。提案手法は従来手法とほぼ同等の割合を示している。さらに、図 5(c) の結果から、提案手法は、有効受信割合を維持しつつ、多くの端末に情報を配布できていることが分かる。しかし、配布できた端末が多い分、提案手法の方が従来手法に比べて、トラヒックが大きいことが図 5(d) から分かる。

図 5(e) は、発信間隔が 10[秒] の時のトラヒック内訳を示す。ここで、「更新情報」は carry-and-forward を用いることで、固定端末に転送された情報によるトラヒックを示し、「周辺情報-有効」は有効な情報によるトラヒック、「周辺情報-無益」は有効でない情報によるトラヒック、「周辺情報-その他」は同じ情報や固定端末に送信されたトラヒックを示す。この図より、提案手法における周辺情報要求メッセージのトラヒックは他のトラヒックに比べて小さいことが分かる。これは、周辺情報要求メッセージは、基本的に移動端末が疎な領域の固定端末が送信するため、トラヒックの増加分が小さいからであると考えられる。

図 5(f) より、発信間隔が短くなるほど情報を運搬する距離が短くなることが分かる。これは、移動端末が情報を運搬している時に次の配布が配布元から開始されることで新たな情報を受信し、保存した情報が更新されることが多くなるためである。

6.3 評価結果（提案手法 2）

提案手法における基準 TTL を 3 ホップ、削除メッセージ送信までの待ち時間は 450[秒]、

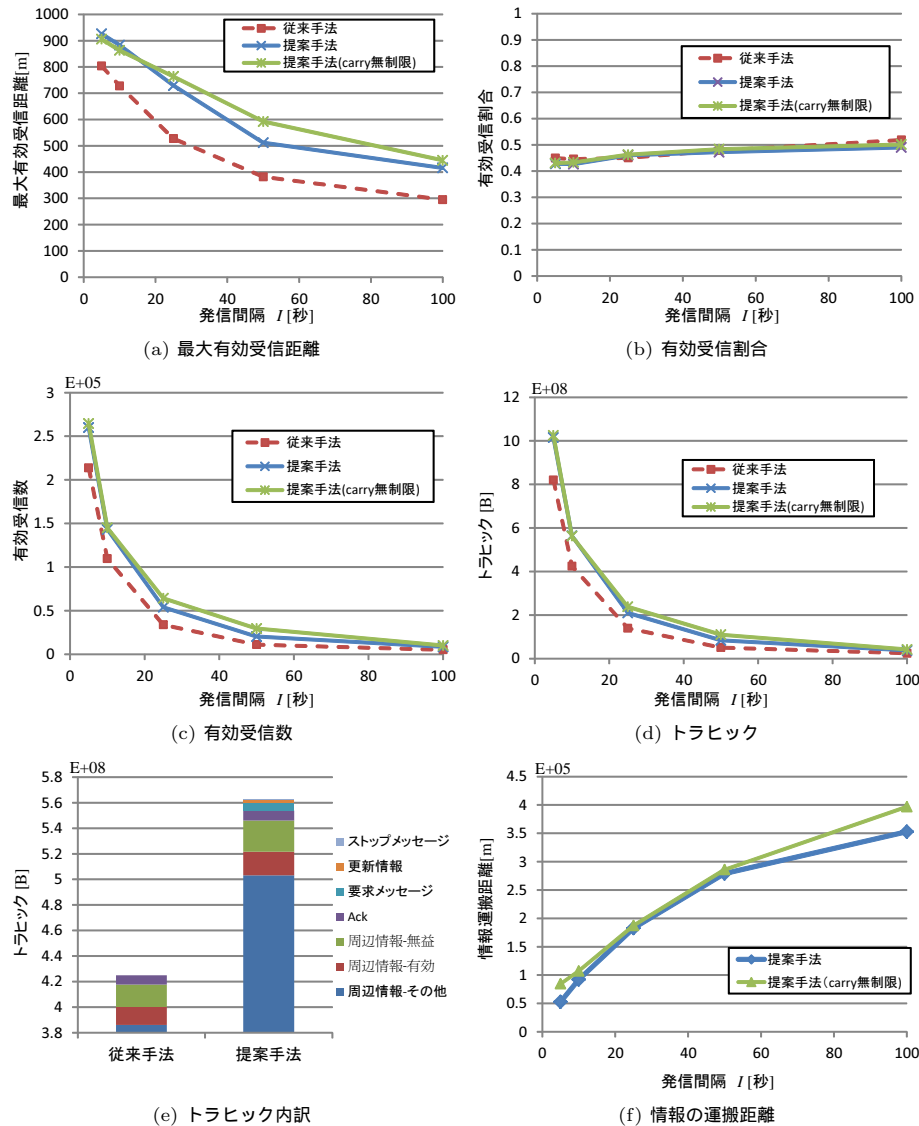


図5 発信間隔による影響 (提案手法1)
 Fig.5 Effect of dissemination interval (proposed method 1)

周辺情報要求メッセージを送信するまでの待ち時間は発信間隔に5[秒]を加えた値, 周辺情報要求メッセージの送信間隔は5[秒]として, 性能評価を行った. 実験では比較のため, 基準 TTL を3ホップとした従来手法(経路変更を考慮したフラッディング制御手法)における性能も評価した. 結果を図6に示す. この図において, 横軸は発信間隔 I を表す. 縦軸は, 図6(a)では最大有効受信距離有効受信数, 図6(b)では有効受信割合, 図6(c)ではトラヒック, 図6(d)では発信間隔が10[秒]の時のトラヒック内訳を示す.

図6(a), (b)より, 提案手法は移動端末による carry-and-forward を利用することで, 従来手法より配布範囲を拡張することができ, 移動端末が疎な環境でより多くの移動端末に事前に情報を配布できることが分かる.

図6(c)より, 提案手法は従来手法よりトラヒックが大きいことが分かる. これは, 提案手法は従来手法よりもより多くの移動端末に情報を配布できているためだけでなく, 図6(d)から分かるように, メッセージの再送処理によりリセットメッセージのトラヒックが増加していることも影響している.

7. おわりに

本稿では, 少数の固定端末と多数の移動端末から構成されるアドホックネットワークを想定してこれまでに筆者らが文献7), 文献6)で提案したフラッディング制御手法を, 移動端末が疎な環境においても適用可能となるように拡張した. これらの提案(拡張)手法では, 移動端末が受信した情報を保持しておき, 中継する移動端末が存在しなかったことで情報を受信できなかった固定端末の所まで移動端末が保持した情報を運搬する carry-and-forward を利用する. 移動端末による情報の運搬により, 情報を受信できなかった固定端末からフラッディングを再開することが可能となり, 移動端末が疎な環境でも周辺情報を効率的に配布できるようになる. シミュレーション実験の結果, 提案手法は, 移動端末が疎な環境において従来手法よりも情報を必要としている方向に配布範囲を拡張できていることを確認した.

本稿のシミュレーション実験では, 実際の交通量の統計量に基づいて移動端末の移動経路を決定したが, 実環境では交通量は時間的に変化することが考えられる. そのため, 様々な環境でシミュレーション実験を行い提案手法の有効性を, より詳細に評価する予定である. また, 提案手法では, 配布範囲内の固定端末は carry-and-forward により情報を受信できるが, これから拡張すべき範囲に存在する固定端末は配布範囲の端に存在する固定端末からマルチホップ通信により情報を受信する必要がある. 移動端末が疎な環境では, このマルチ

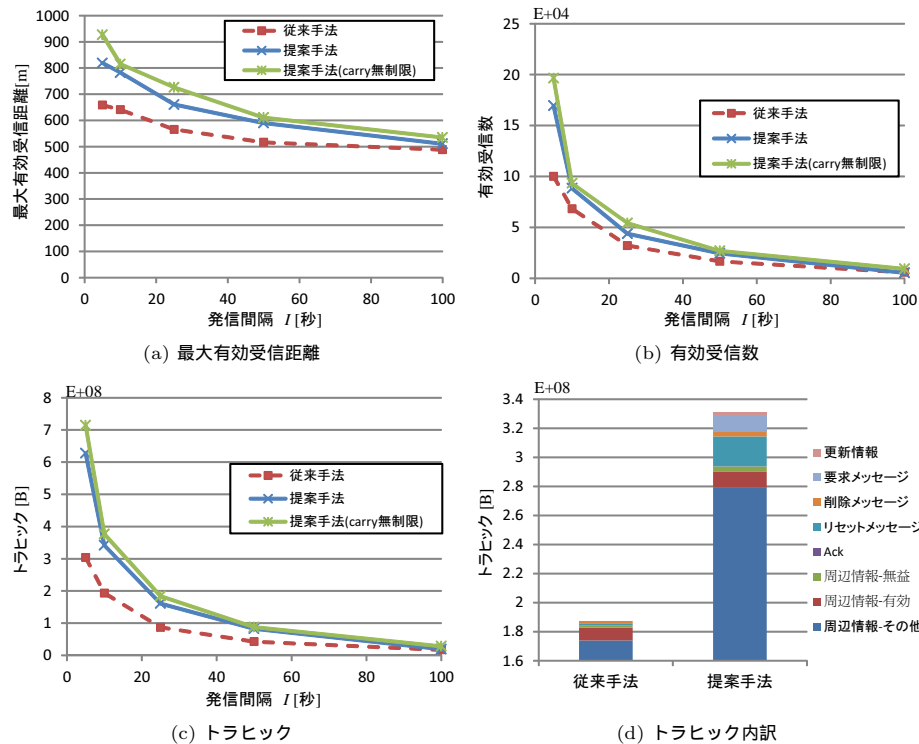


図 6 発信間隔による影響 (提案手法 2)

Fig. 6 Effect of dissemination interval (proposed method 2)

ホップ通信が失敗する可能性があり、配布範囲をすばやく拡張することができないといったことが考えられる。そこで今後は、このような場合に対応できる手法を検討する予定である。

謝辞 本研究の一部は、(財)近畿移動無線センター・モバイルワイヤレス助成金、および文部科学省科学研究費補助金・基盤研究 S(21220002)の研究助成によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

1) Y.Ding, and L.Xiao, "SADV: Static-node-assisted adaptive data dissemination in vehicular networks," IEEE Trans. on Vehicular Technology, vol.59, no.5, pp.2445-

2455 (Jun. 2010).

- 2) X.Liu, X.Jia, H.Liu, and L.Feng, "A location aided flooding protocol for wireless ad hoc networks," Proc. Int. Conf. on Mobile Ad-Hoc and Sensor Networks (MSN'07), pp.302-313 (Dec. 2007).
- 3) H.Liu, X.Jia, P.J.Wan, X.Liu, and F.F.Yao, "A distributed and efficient flooding scheme using 1-hop information in mobile ad hoc networks," IEEE Trans. on Parallel and Distributed Systems, vol.18, no.5, pp.658-671 (May 2007).
- 4) Scalable Network Technologies: Creators of Qualnet Network Simulator Software, <URL: <http://www.scalable-networks.com/>>
- 5) A. Skordylis, and N. Trigoni, "Delay-bounded routing in vehicular ad-hoc networks," Proc. Int. Symposium on Mobile ad hoc networking and computing (MobiHoc'08), pp.341-350 (May 2008).
- 6) 藤井俊充, 加治 充, 佐々木勇和, 原 隆浩, 西尾章治郎, "アドホックネットワーク上の周辺情報配布における情報受信による経路変更を考慮したフラッディング制御について," 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO 2011) シンポジウム論文集, vol.2011, no.1, pp.271-278 (July 2011).
- 7) 藤井俊充, 加治 充, 佐々木勇和, 原 隆浩, 西尾章治郎, "モバイルアドホックネットワークにおける ack-carry 方式を用いた情報配布手法," 情報処理学会論文誌, vol.53, no.1 (Jan. 2012).
- 8) 大阪府箕面市ホームページ
<URL: <http://www.city.minoh.lg.jp/index.html>>