

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

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

受付日 2011年3月30日, 採録日 2011年10月3日

概要: 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1つに、フラッディングを用いる方法がある。フラッディングの効率化に関する研究は多いが、密な環境での冗長なメッセージを抑制しつつ全域にメッセージを行きわたらせることを目的としている。そのため、これらの既存手法を周辺情報の配布に用いると情報を配布する必要のない範囲までメッセージが配布されてしまう。そこで本論文では、少数の固定端末が存在する環境を想定し、情報の発生地点を通過する移動端末がほとんど存在しない範囲へのフラッディングを抑制する手法を提案する。提案手法では、受信した情報の配布元に直接通信できる地点に到達した移動端末が、中継経路の固定端末の識別子を記載した受信確認(ACK)を返信し、ACKで通知された固定端末がフラッディング範囲を拡張していく。これにより、情報の発生地点を通過する可能性の高い移動端末に効率的に周辺情報を配布可能にする。提案手法の評価をシミュレーション実験により行い、有効性を確認した。

キーワード: アドホックネットワーク, フラッディング制御, Time To Live (TTL), ack-carry

An Information dissemination Method Based on Ack-carry Scheme in Mobile Ad Hoc Networks

TOSHIMITSU FUJII^{1,a)} MITSURU KAJI^{1,2} YUYA SASAKI¹
TAKAHIRO HARA¹ SHOJIRO NISHIO¹

Received: March 30, 2011, Accepted: October 3, 2011

Abstract: Flooding is one of the most fundamental approaches to deliver information that is likely to be of interest to surrounding mobile nodes in mobile ad hoc networks. A number of research groups have proposed flooding protocols on purpose to reduce redundant retransmissions from neighboring nodes. In those approaches, unnecessary transmissions are not minimized in an area where no nodes are interested in the information. In this paper, we propose a flooding method that suppresses transmissions of information to unnecessary destinations in mobile ad hoc networks with some fixed nodes. In the proposed method, a mobile node sends an acknowledgement (ACK) including the addresses of fixed nodes that relayed the information when mobile node passes near the source node of the received information, and the fixed nodes specified in the ack expand the flooding area. By doing so, the source node can effectively deliver the information to mobile nodes which are likely to pass near the source node. We confirmed the effectiveness of our proposed method through some simulations.

Keywords: mobile ad hoc networks, flooding control, Time To Live (TTL), ack-carry

¹ 大阪大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Science and Technology,
Osaka University, Suita, Osaka 565-0871, Japan

² パナソニック株式会社
Panasonic Corporation, Kadoma, Osaka 571-8501, Japan

^{a)} fujii.toshimitsu@ist.osaka-u.ac.jp

1. はじめに

近年, IEEE802.11 や Bluetooth をはじめとする無線通信技術の発展と, PDA (Personal Digital Assistant) や携帯電話などの計算機の小型化や高性能化にともない, ユー

ザが携帯型の端末を持ち歩き、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。これらの計算機端末を保持する歩行者や車のドライバに、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さかんに開発されている。たとえば、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、渋滞回避による温暖化ガス排出量の削減、事故の回避や移動の高度化が期待されている。これまでに、道路交通情報通信システム（VICS: Vehicle Information and Communication System）など様々な手段で周辺の交通情報や地域に密着した情報を配布するサービスが提供されている。VICS においては、FM 多重放送や電波ビーコン・光ビーコンを用いて道路交通情報を配布している。しかしながら、FM 多重放送などの広域無線ネットワークを使用して配布する場合、帯域の制限から主要な道路や交差点などの情報しか配布できていない。また、情報の配布に FM 多重放送などの放送波を使用する場合には、情報の収集に別の通信基盤を必要とするという問題もある。局地的な情報を配布する電波ビーコン・光ビーコンも VICS においてはセンタとの通信基盤を必要とするため高速道路や主要な道路にしか設置されていない。そのため、ルータ機能を持つ無線通信端末のみで一時的なネットワークを形成するアドホックネットワークが注目されている。アドホックネットワークは既存の通信基盤を必要とせず、自律分散的にネットワークが形成できるため、周辺情報の共有などへの応用が期待されている。しかしながら、移動端末のみで構成されるアドホックネットワークには、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。特にアドホックネットワークでは、通信帯域に限りがあるため、必要としない端末への配布を抑制するなど、通信帯域を有効に活用しなければならない。

そこで本研究では、少数の固定端末が存在する無線アドホックネットワークにおける効率的な周辺情報の配布手法を提案する。効率的な配布を行うためには、発生した情報がどこに必要とされているかを把握する必要があるが、発生した時点ではどこで必要とされるかは分からない場合が多い。そのため本研究では、初期状態は狭い範囲でフラッディングを行い、情報の発生地点付近を通過する移動端末へ情報を中継することが成功した固定端末がフラッディングの範囲を拡大する手法を提案する。これにより、多くの移動端末が移動してくる方角ではより遠方で情報を受信することができるが、そうでない方角には近い範囲にしか配布されない。提案手法では、情報の発生地点に最も近い固定端末が配布元となり、その情報を含むメッセージをフラッディングする。このメッセージを受信した移動端末は、配布元の通信範囲を通過する際、メッセージを中継した固定端末の識別子を記載した受信確認（ACK）を直接

返信（carry）する。配布元の端末は、次回以降の配布時にこの識別子を添付し、これを受信した固定端末は自身の識別子がメッセージに含まれている場合、フラッディングの範囲を拡張する。シミュレーション評価により、提案手法によるフラッディング範囲の制御によって、より遠方で情報を受信したことを示す最大受信ホップ数の平均値をトラヒックを増やさずに大きくすることを確認した。

以下では、2 章で関連研究を紹介し、本研究との比較を行う。3 章で本論文の想定環境について述べ、4 章で提案手法について詳細に説明する。5 章でシミュレーション実験の結果を示す。最後に 6 章で本研究のまとめと今後の課題について述べる。

2. 関連研究

アドホックネットワークにおいて位置依存情報を共有するために、2 つの代表的なアプローチが用いられる。1 つ目は、周辺の情報を必要とする端末が、情報を保持している端末に問い合わせる方法である。問合せを行う端末は、必要な情報を保持していると予想される端末に向けて検索クエリ（問合せ）を送信する。周辺情報を問い合わせる場合、検索クエリの送信には一般にジオキャスト [2], [3] が用いられる。

文献 [2] はアドホックネットワークにおけるジオキャストに関する先駆的な研究である。ジオキャストでは、送信先の端末の識別子を指定するのではなく、位置座標を指定してメッセージを送信することで、指定した領域内に存在する端末にメッセージが届けられる。文献 [2] の手法では、送信元が 1 つの頂点となり、目的領域を包含する最小の四角形を転送領域として、メッセージを受信した端末が自身がその領域内に存在する場合に限り、受信したメッセージをさらに転送する手法を提案している。さらに、メッセージを受信した端末が、目的領域の中央の座標との距離を、メッセージを送信してきた端末と比べ、自身の方がある一定値以内で近ければ、受信したメッセージを再転送する手法を提案している。このようなジオキャストを用いた検索クエリによるアプローチでは、情報の受信者が取得したい情報の座標を事前に特定できている必要がある。これは、目的地や経路があらかじめカーナビなどに設定されているなどの場合を除いて、一般に成り立たない。またジオキャストでは、配布元および中継端末において GPS などの位置情報システムを必要とするという制約がある。

一方、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。フラッディングは、配布元からブロードキャストによる情報配布を行い、それを受信した端末が次々とブロードキャストによる再転送を行う手法である。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。アドホックネットワークでは、通信帯域が限られているため、転送するデータ量が多い場合、パケット衝突による転送遅延の増大やスループットの低下が発生する。そのため、フラッディングの効率化に関する研究が多く行われている [4], [5], [6], [7]。しかしこれらの研究では、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すべ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。

また、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。文献 [10] では、ferry と呼ばれる特定経路を巡回する移動端末が情報の転送を援助する。ferry 以外の端末は ferry の移動経路を分かっているものとし、送信する情報はまず ferry に転送する。他端末から情報を収集した ferry は、目的地もしくは他の ferry へその情報を転送する。文献 [10] のような車両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は carry-and-forward と呼ばれ、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 [9] 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。また、マルチパスルーティングアルゴリズムを提案することにより転送遅延時間をさらに抑えている。文献 [11] では、情報を保持する端末との接触機会が多くなるように固定端末を配置する方法を提案している。これらの研究は、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。しかしこれらの既存研究では、carry-and-forward や固定端末を、ネットワーク分断への耐性を目的として利用しており、無駄な情報配布を抑制するための配布範囲の決定に利用する本研究とは異なる。

3. 想定環境

本章では、本論文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のいくつか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したりするには膨大なコストがかかると考えられる。そのため、必要最低限の機能を持った端末をある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。したがって、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、固定端末はすべ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、フラッディングを用いた配布を行う。これは、飛び出し注意といった交通情報を取り扱う場合、目的地や経路がカーナビなどに設定が行われておらず、移動端末が自身の行き先（つまり将来に必要な情報）を把握していない場合でも、情報が配布されることが望ましいためである。フラッディングによる配布は、情報の更新の有無に関係なく定期的に行うこととする。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つど、再転送する。飛び出し情報などの交通情報は、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。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。これらの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。なお、提案手法は移動特性を利用した周辺情報配布を行うため、評価においては、動的に移動特性が変化する環境を想定した。

4. 提案手法

本章では、まず提案手法におけるフラッディングの初期

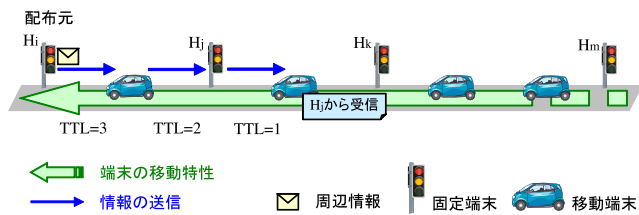


図 1 TTL = 3 の通常配布

Fig. 1 Normal dissemination (TTL = 3).

状態について述べる。その後、移動端末による受信確認 (ACK) の運搬 (ack-carry), フラッディングの拡張について説明する。最後に、道路上における動的な特性変化に対応するためのタイムアウトについて説明する。

4.1 フラッディングの初期状態

ある固定端末から新たに周辺情報の配布を開始する場合、自身が配布元となる周辺情報がどこに必要とされるのかまだ分からないため、小さな k (基準 TTL) での k -ホップフラッディングを開始する。 k -ホップフラッディングは、TTL (Time To Live) の初期値が k であるフラッディングのことである。TTL はフラッディングにおいて情報を配布する範囲を制限するために用いられ、再転送されるたびに 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。

配布される周辺情報には、TTL に加え配布元の固定端末の識別子が添付される。なお、複数の異なる配布範囲の周辺情報が 1 つの固定端末から配布される場合には、自身の識別子に加えてこれらを区別する識別子も付加する必要がある。また提案手法では配布元の識別子に加えて、固定端末が情報を中継するたびに、自身の識別子を追加する。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。

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 には配布元の H_i から移動端末によって、情報が中継されている。そのため、 H_j の付近に存在する移動端末が H_j から受信した周辺情報には、配布元の固定端末 H_i の識別子と、情報を中継した固定端末である H_j の識別子が添付されている。なお、初期状態では、配布元の H_i と固定端末 H_j の周辺の道路にしかフラッディングされておらず、配布元に近づく端末すべてに情報を配布することができていない。

4.2 移動端末による受信確認の運搬 (ack-carry)

移動端末が配布元の固定端末以外から周辺情報を受信した場合、受信した周辺情報とその周辺情報に添付されている固定端末の識別子のリストを自身に保存する。なお、受

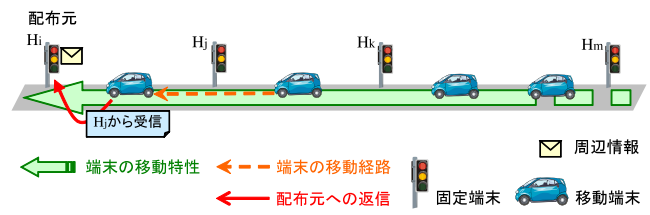


図 2 移動端末からの返答

Fig. 2 Ack from a mobile node.

信した周辺情報の TTL が 1 以上であれば、前述したとおり移動端末も中継を行う。別の場所で同じ配布元からの周辺情報を再受信した場合には、保存している周辺情報を更新し、識別子のリストには新たに受信した固定端末の識別子を追加する。また、別経路で中継された同じ周辺情報を受信した場合にも、保存している識別子のリストに、新たに受信した固定端末の識別子を追加する。その後、移動端末が受信した周辺情報の発生日点付近に到達した場合、配布元の固定端末に受信確認 (ACK) を送信する。ACK には、保存しておいた固定端末の識別子のリストを添付する。図 2 は、図 1 において、固定端末 H_j 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、情報を中継した固定端末のリストを ACK で返信している様子を示す。ここで、識別子リストには固定端末 H_j が格納されている。なお、移動端末が周辺情報の発生日点付近に到達しなかった場合には、ACK は配布元に返信されない。

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できるため、添付されている中継端末の識別子を、受信した時刻とともに記憶しておく。すでに記憶していた識別子がある場合、記憶している受信時刻を最新のものに更新する。

周辺情報を受信した移動端末が、その情報の発生日点付近に到着したかの判断は、過去にマルチホップ通信で受信した周辺情報を、配布元から直接受信したことで判断できる。ただし、本論文のシミュレーション評価においては、移動端末が配布元の固定端末の通信範囲に入ったかの判断を、周辺情報に配布元の固定端末の座標を付加することにより行っている。これは評価指標に用いている有効受信数を確実にカウントするためである。

4.3 フラッディングの拡張

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記憶している場合には、フラッディングを延長する端末のリストとして周辺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 節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。移動端末が中継する場合は、このリストが添付されていても、通常の手順で中継を行う。

図 3 は、図 2 において返信された受信確認 (ACK) により取得した固定端末 H_j の識別子を添付して、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_j は、情報に添付されたリストに自身の識別子が存在するため、TTL をリセットし転送する。これにより、固定端末 H_k の周辺までフラッディングを拡張している。

4.4 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ともに記憶している。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。

図 4 は、通行止めが原因で端末の移動特性が変化し、固定端末 H_j より先には情報配布が不要となっている様子を示す。この場合、タイムアウトにより H_j 、 H_k の情報が削除され、初期状態と同様な状態、すなわち固定端末 H_k 以降にはフラッディングされなくなる。

なお、状況変化により新たな方角から移動端末が来るようになった場合には、すでに説明した ACK を用いた処理により、その方角に情報が配布されるようになる。

提案手法では、配布元を通過する移動端末からのみ ACK

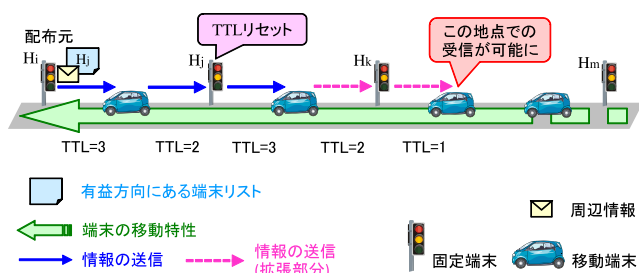


図 3 ack-carry を用いた TTL = 3 の拡張配布

Fig. 3 Expanded dissemination with ack-carry (TTL = 3).

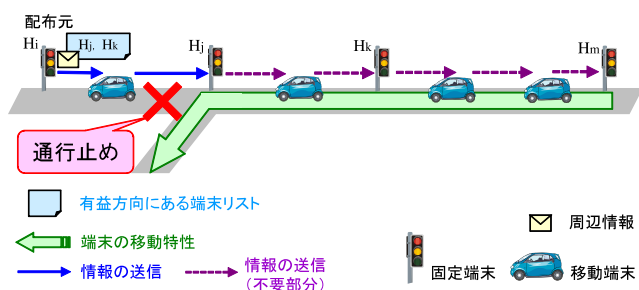


図 4 状況変化による不要な配布

Fig. 4 Unnecessary dissemination by change of a situation.

を受信し、その ACK により把握した方向へフラッディングを拡張するため、移動端末の移動経路の偏りが強いほど、一定の方向から来る移動端末からしか ACK は送信されず、効率の良い配布範囲の設定が可能となる。したがって、無駄な方向への配布が減り端末が有効な情報を受信できる割合が向上すると考えられる。また、移動特性は、朝は都市へ夕方は郊外へ向かう方向へ偏りが強いといったことや、通行止めなどの交通事情により時間的に変化することが考えられるが、タイムアウトの利用により、このような移動特性の動的な変化に対応できる。また、一般的な移動特性として、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が、提案手法ではこのような状況は想定しておらず、対応することはできない。

5. 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 Qualnet [8] を用いた。

5.1 シミュレーション環境

本実験ではまず、配布範囲の拡張と移動特性の変化への対応が行えているかを確認するために、単純な環境での評価を行った。その後、実際の道路図と交通量を用いて、実環境に近づけた環境で評価を行った。以下、順に具体的なシミュレーション環境を示す。

5.1.1 環境 A

5,000 [m] × 5,000 [m] の 2 次元平面領域に、図 5 に示す交差点の間隔が 1,000 [m] となる道路を想定した。固定端末の設置間隔は、固定端末どうしが直接通信できない状況を想定して、通信範囲約 130 [m] より大きく 200 [m] と設定した。これは市街地の信号の間隔などを考慮すると妥当であると考えられる。移動端末は車を想定しているため、移動速度は 15 [m/s] とした。一般的に、移動速度は端末によって異なることが考えられるが、今回のシミュレーションでは、簡単のため、速度はすべて同じとした。本研究では、移動端末は受信した情報を即座に中継することを想定

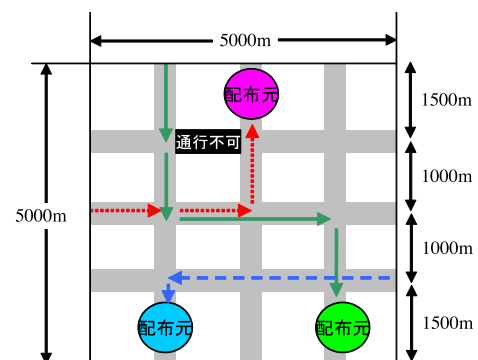


図 5 想定する道路と移動特性

Fig. 5 Assumed road and mobility pattern.

しているため、端末の移動速度の違いが手法の性能に影響を及ぼすことはない。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。

情報は様々な場所から発生することを想定し、情報の配布元となる固定端末は、ネットワーク内に 3 台存在するものとし、図 5 の丸印で表される位置に配置した。これらの端末は、一定の発行間隔 I [秒] ごとに情報を配布する。周辺情報は交通情報などを想定しているため、データサイズは比較的小さい 128 [B] とした。交差点などの移動端末が密集する場所ではパケット衝突が多発する。これを効率的に回避する方法が文献 [4], [5], [6], [7] で提案されているが、本シミュレーションでは簡単のため、端末ごとに受信してから転送するまでの遅延時間をランダムに決定する方法を用いた。具体的には、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、すべての道路の端から 3 [秒] 間隔で出現するものとした。各移動端末は、道路上の交差点に進入した際、以下の特性に従って進行方向を決定するものとした。

- 図中の矢印の方向から進入した場合

80%の確率で、同じ矢印の示す方向に移動し、20%の確率で、それ以外の方向（進入してきた道路を除く）からランダムに選択した方向に進行する。なお、複数の矢印が図示されている箇所（図中の緑と赤の矢印が重なっている道路）から進入した場合は、交差点に進入する前の道路の矢印に対応する移動特性を示すものとした。

- 上記以外の場合

進入してきた道路以外からランダムに選択した方向に進行する。

なお、図 5 で「通行不可」としている道路は、進行先を選択しないものとした。さらに、移動特性が変化する環境で評価するために、シミュレーション開始から 5,000 [秒] の時点で、図 5 に示す通行不可の道路が開放され、図 6 に示す移動特性に変化するものとした。

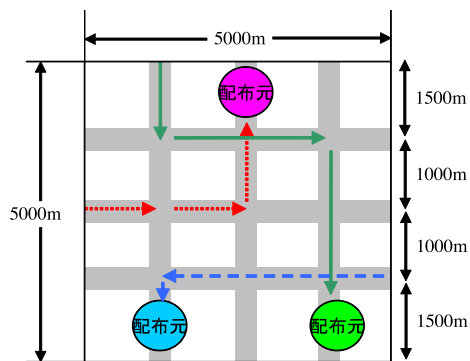


図 6 状況変化による移動特性変化

Fig. 6 Change in mobility pattern by change of a situation.

5.1.2 環境 B

図 7 に示す 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。図内の数字は、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 [12] を参考にした。移動速度などのパラメータは環境 A と同様とし、情報の配布元となる固定端末は、交通量が比較的多い図 7 の中央あたりの交差点に 1 台のみ配置した。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た。また、各移動端末は、道路上の交差点に進入した際、移動可能な道路の交通量の比に従って、進行方向を決定するものとした。

以上のシミュレーション環境において、9,000 [秒] を経過させたときの以下の評価値を調べた。なお、9,000 [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

情報の配布元となる固定端末に ACK を返した移動端末が、ACK を返信する前にその配布元の固定端末からの情報を受信した回数（全端末分）の合計。

- 有効受信割合

ネットワーク内の全移動端末が情報を受信した回数に対する有効受信数の割合。この有効受信割合が高いほど、情報が有効である、つまり配布元を通過する端末が多い方向へ情報を配布できており、情報が必要とさ

矢印: 進行方向

数値: 12 時間の通過車両数

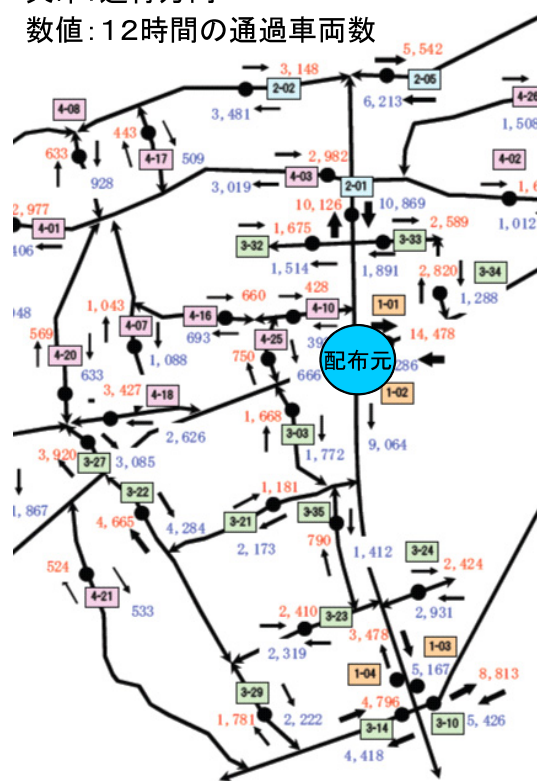


図 7 道路図と交通量

Fig. 7 Road and traffic information.

れない方向への配布を抑制していることを示している。ACK を返信した後に受信した回数は有効受信数に数えられないので、双方向の道路が多い環境では、この値は 0.5 以下となる。

- 平均受信ホップ数

情報の配布元となる固定端末に ACK を返した移動端末が、その配布元から情報を受信するのに要したホップ数の平均。この値が大きくなると事前に情報を受信できているため、性能が良いことを示す。

- 最大受信ホップ数

情報の配布元となる固定端末に ACK を返した移動端末が、その配布元から情報を受信するのに要したホップ数の最大値（配布された情報ごとの平均）。平均受信ホップ数と同様に、この値が大きくなると事前に情報を受信できているため、性能が良いことを示す。

- 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、および ACK メッセージの総バイト数。

5.2 評価結果

5.2.1 基準 TTL による影響（環境 A）

まず、適切な基準 TTL を決定するために、基準 TTL と配布範囲およびトラヒックの関係を評価した。結果を図 8 に示す。この図において、横軸は基準 TTL を表す。縦軸は、配布範囲の拡張が行われているかを検証するた

め、図 8(a) に有効受信数、図 8(b) に平均受信ホップ数、図 8(c) に最大受信ホップ数、図 8(d) の縦軸はトラヒックを示す。なお、情報の配布元の端末からの情報発信間隔 I は 10 [s] とし、タイムアウト時間はなしとした。実験では比較のため、配布範囲を提案手法における基準 TTL に固定したフラッディング（固定フラッディング）における性能も評価した。図 8 では、左側に提案手法の基準 TTL を 1 から 5 で変化させたときの結果を示し、右側に固定フラッディングで TTL を 35 から 55 に変化させたときの結果を示す。

図 8(a) の結果より、提案手法では基準 TTL が 3 ホップのときに性能が大幅に向上し、それを超えると若干の向上を続けることが分かる。これは、基準 TTL が 2 ホップ以下るとき、配布元以外の固定端末が情報の伝搬を行わない（2 ホップでは隣の固定端末に届いた時点で TTL が 0 となる）ため、提案手法における配布範囲の拡張が行われず、TTL を固定したフラッディングを繰り返すためである。基準 TTL が 3 ホップになると、隣接の固定端末が移動端末へ情報を伝播可能となるため ack-carry による配布範囲の拡張が可能になる。基準 TTL が 4 以上で若干の向上を続けるのは、3 ホップのときと同じように配布範囲の拡張は行われるが、3 ホップを超えた分、移動端末が遠くで情報を受信できるからである。

図 8(b), (c) の結果より、提案手法は基準 TTL が 3 のとき、TTL が 45 の固定フラッディングと有効な配布範囲

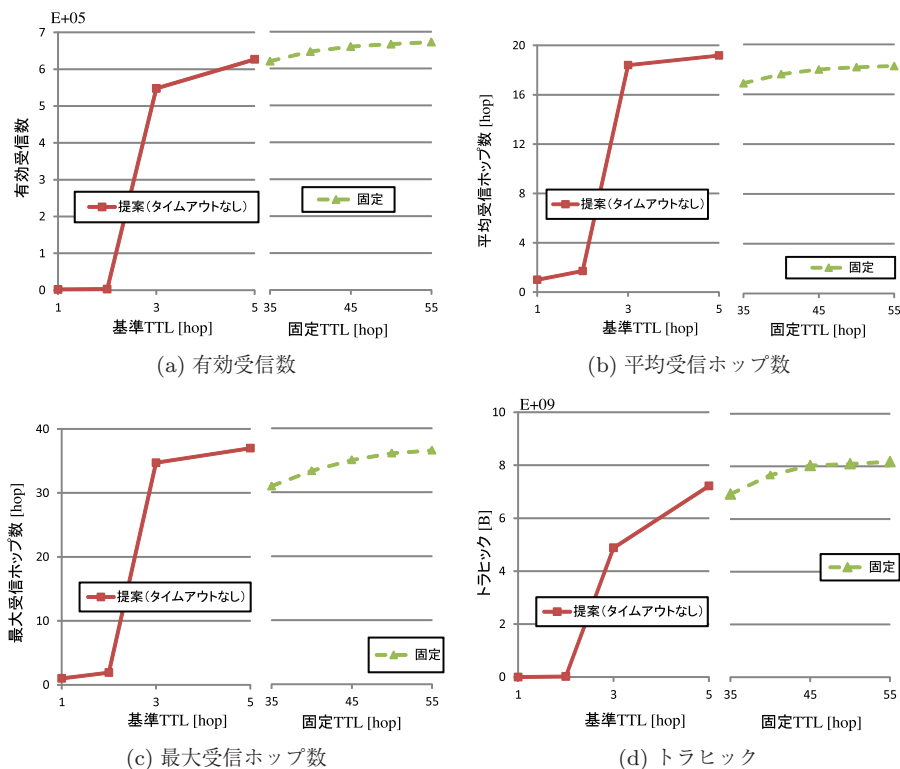


図 8 基準 TTL による影響

Fig. 8 Effect of initial TTL.

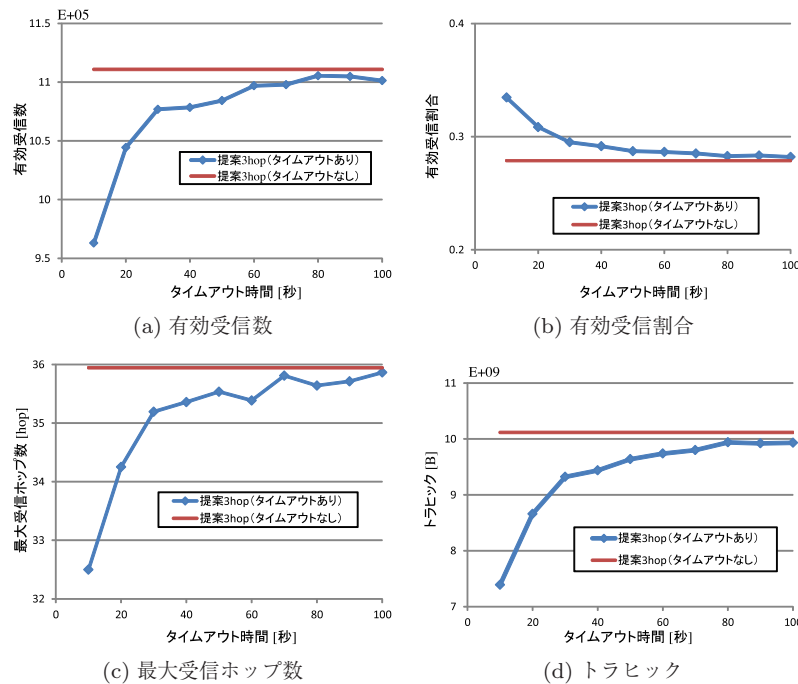


図 9 タイムアウトの影響

Fig. 9 Effect of timeout.

が同等になると考えられる．ここで，図 8(d) より，基準 TTL が 3 のときのトラフィックは TTL が 45 の固定フラッディングに比べ大幅に低いことが分かる．これらから，等方向に情報を配布する固定フラッディングとは異なり，提案手法では移動特性に従って有効な範囲に情報配布が行われていることが分かる．

図 8(d) の結果より，基準 TTL の増加にともない，提案手法のトラフィックが増加していることが分かる．また，図 8(b) および (c) における結果と比べると，基準 TTL が 3 ホップを超えた場合，平均受信ホップ数と最大受信ホップ数の性能が，トラフィックの増加の割に向上していないことが分かる．これにより，提案手法における基準 TTL は，固定端末間の距離を考慮に入れた小さな値を設定すべきであると考えられる．たとえば，固定端末どうしが 2 ホップで通信可能な距離である場合，基準 TTL は，ack-carry を可能にするために最低限必要な 3 ホップに設定すべきである．実環境では，固定端末間の間隔が必ずしも一定でないため，基準 TTL は各固定端末ごとに決定するのが有効となる．具体的には，隣の固定端末を経由して移動端末が情報を受信したときに TTL が 0 となるように基準 TTL を設定するのが，情報の配布範囲の効率的な拡張の観点から最適と考えられる．

5.2.2 タイムアウトの影響 (環境 A)

移動特性が変化する場合，タイムアウトの有無によって提案手法の性能が変化するものと考えられる．提案手法では，タイムアウト時間が大きすぎると移動特性の変化に適応できなくなり，小さすぎると配布範囲を拡張することができなくなる．そこで，提案手法におけるタイムアウト時

間の影響を調べるために，タイムアウト時間を変化させたときの提案手法の性能を評価した．提案手法における基準 TTL を 3 ホップ，発信間隔 I を 5 [秒] とし，タイムアウトを使用しない場合との比較を行った．結果を図 9 に示す．タイムアウト時間は 10 [秒] から 100 [秒] まで 10 [秒] 刻みで変化させた．縦軸は，図 9(a) では有効受信数，図 9(b) では有効受信割合，図 9(c) では最大受信ホップ数，図 9(d) ではトラフィックを示す．

図 9 の結果より，提案手法はタイムアウト時間の増加にともない，タイムアウトを設定しない場合の性能に近づくことが分かる．これは，図 9(b) の結果から分かるように，配布範囲が拡張されやすくなるのと同時に，移動特性の変化にすぐに対応できず，不必要な方向への配布を続けてしまうためである．一方，タイムアウトを短く設定すると，配布範囲が拡張されにくくなり，有効受信数は減少するものの，移動特性の変化に早く適応でき，不必要な方向への配布を抑制できるため，有効受信割合は高くなりトラフィックも減少する．

5.2.3 発信間隔の影響 (環境 A)

発信間隔の影響を調べるために，発信間隔 I を変化させたときの提案手法の性能を評価した．結果を図 10 に示す．この図において，横軸は発信間隔 I を示し，扱う情報が周辺情報であることと交差点の間隔，端末の移動速度を考慮し，5, 10, 25, 50, 100 [秒] と変化させた．縦軸は，図 10(a) では有効受信数，図 10(b) では有効受信割合，図 10(c) では最大受信ホップ数，図 10(d) ではトラフィックを示す．タイムアウト時間は図 9 の結果から適当な値と考えられる情報の発信間隔 I の 2 倍と，比較のためタイムアウトなしを

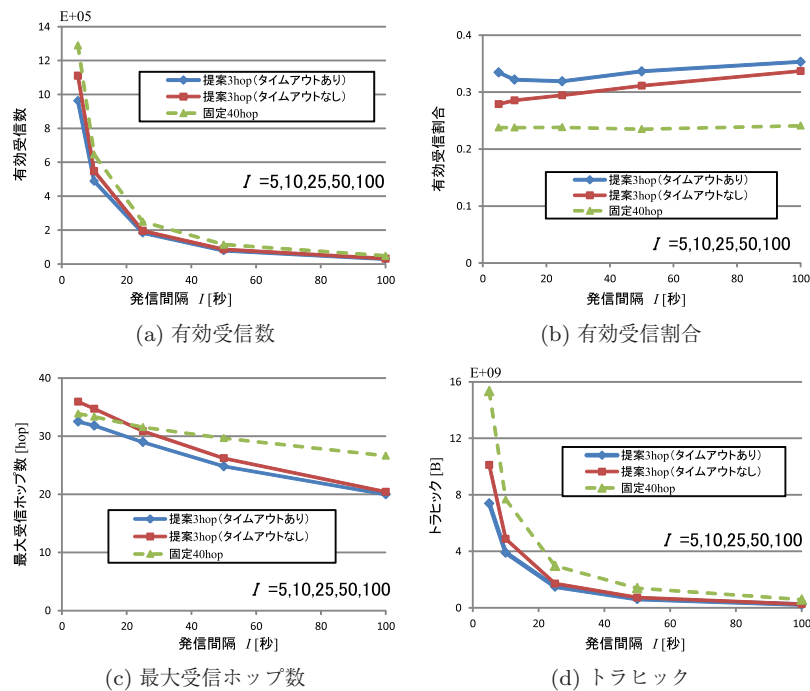


図 10 発信間隔による影響
Fig. 10 Effect of dissemination interval.

用いた．実験では比較のため，配布範囲を 40 ホップに固定したフラッディングにおける性能も評価した．ここで，配布範囲を 40 ホップに固定したフラッディングは，ネットワーク全体へのフラッディングに相当する．

図 10(a) および図 10(b) の結果より，情報の発信間隔が大きくなると，シミュレーション時間内における配布元からの発信回数が減少するため，すべての場合で有効受信数が減少するが，提案手法では有効受信割合がわずかに大きくなること分かる．これは，配布範囲を拡張しにくくなり，配布元により近い範囲にのみ情報が配布されるようになるからである．配布元付近の端末ほど，配布元を通過する可能性が高いため，有効受信割合がわずかに増加する．提案手法においてタイムアウトを設定した場合，有効受信数がわずかに減少するものの，有効受信割合が大きくなること分かる．これは，タイムアウトの設定によって，移動特性の変化に対応し，情報を必要とする端末が多く存在しない道路への情報伝搬を抑制できたためである．また，提案手法における有効受信数は配布範囲を 40 ホップに固定したフラッディングより小さく，有効受信割合が大きくなること分かる．

図 10(c) の結果より，提案手法においてタイムアウトを設定した場合，タイムアウトを設定しない場合と比較して最大受信ホップ数が小さくなること分かる．一方，タイムアウトを設定しない場合，特に発信間隔が短い場合において最大受信ホップ数が大きくなり，配布範囲を 40 ホップに固定した場合を上回ることが分かる．これは，移動特性の変化にかかわらず配布範囲を拡張し続けることで，より遠方の移動端末が情報を受信する機会が増加したためであ

ると考えられる．また，配布間隔の増加にともない，タイムアウトの有無による最大受信ホップ数の差が小さくなること分かる．これは，発信間隔の増加にともなってタイムアウト期間が大きくなり，提案手法におけるタイムアウトの効果が小さくなるためである．また，発信間隔が長くなると全体的に最大受信ホップ数が小さくなる．これは，移動端末が配布範囲に進入してから次のフラッディング開始までの期間が長くなり，遠方で情報を受信できる機会が減少するためである．

図 10(d) の結果より，提案手法は，タイムアウトを設定することで移動特性が変化する環境においてもトラフィックを抑えることができていことが分かる．また，固定フラッディングに比べてトラフィックを半分に抑えることができてい．このことから，ネットワーク容量が限られている場合，提案手法では固定フラッディングと比べ発信間隔を半分に設定することができ，より新鮮な情報を配布することができると考えられる．

5.2.4 実交通量による評価（環境 B）

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 2 倍として，実交通量に基づく環境における提案方式の性能評価を行った．実験では比較のため，ネットワーク全体への配布に相当する 30 ホップ，トラフィックが提案方式とほぼ同じになる 6 ホップ，基準 TTL と同じ 3 ホップに固定したフラッディングにおける性能も評価した．結果を図 11 に示す．この図において，横軸は発信間隔 I を表し，環境 A と同様に 5, 10, 25, 50, 100 [秒] と変化させた．縦軸は，図 11(a) では有効受信数，図 11(b) では有効受信割合，図 11(c) では最大受信ホップ

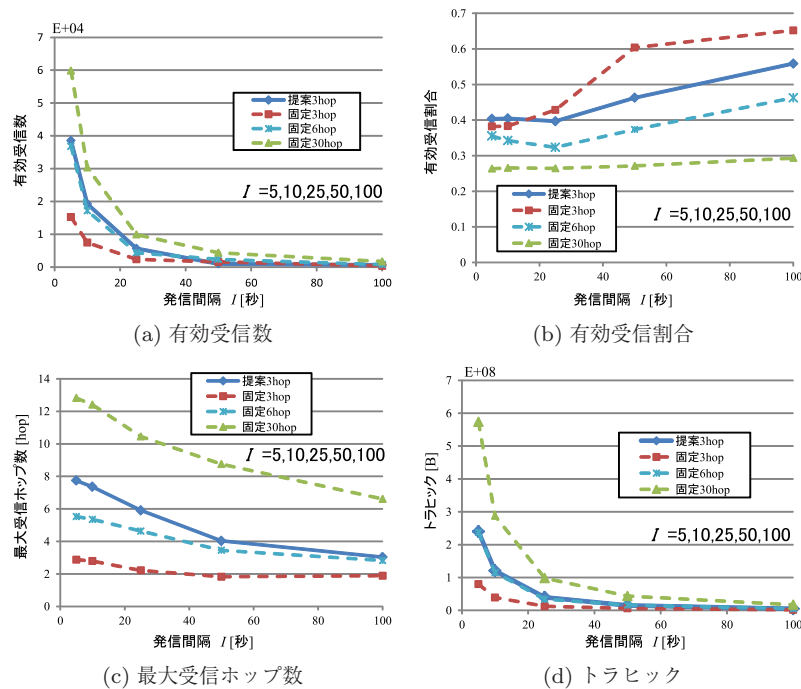


図 11 実交通量に基づく評価

Fig. 11 Evaluation with the real traffic information.

数, 図 11(d) ではトラヒックを示す。

図 11(a) の結果より, 提案手法は, ネットワーク全体へのフラッディングを表す配布範囲を 30 ホップに固定したフラッディングと比べ有効受信数が小さく, 図 11(c) の結果より, 最大受信ホップ数が 5 ホップ程度低いことが分かる。しかしながら, 図 11(b) および図 11(d) の結果から, 有効受信割合およびトラヒックが改善されていることが分かる。

また, 図 11(a) および図 11(d) の結果より, 有効受信数とトラヒックにおいて, 提案手法は配布範囲を 6 ホップに固定したフラッディングとはほぼ同程度の性能であり, 図 11(c) の結果から, 配布範囲を 6 ホップに固定したフラッディングと比べ, 2 ホップ程度遠方で受信できていることが分かる。図 11(b) の結果より, 有効受信割合も改善されていることが分かる。したがって, 提案手法は固定フラッディングよりも性能が良いことが分かるが, 図 10 の結果よりも大きな差が見られない。これらは, 移動端末の密度が影響していると思われる。密度が低いと, 移動端末が固定端末間を経由する機会や ACK が返信される機会が減少し, 提案手法において効率的に配布範囲を拡張することができないため, この環境では全体的に提案手法の性能が低下したと考えられる。このことから, 提案手法におけるタイムアウト時間は, 移動端末の密度を考慮に入れて設定すべきであると考えられる。

6. おわりに

本研究では, アドホックネットワークにおいて, 周辺情報を必要とする端末が存在しない範囲への配布を抑制する

ために, ack-carry 方式によるフラッディング制御手法を提案した。提案手法では, 情報の発生地点を通過した場合に配布元に受信確認 (ACK) を直接送信する。ACK は, 周辺情報を受信した端末が情報の発生地点を通過しなかった場合には送信されない。そのため, 受信した情報を中継した固定端末の識別子を ACK に含めることで, 情報の配布元は自身の付近を通過する移動端末が多く存在する範囲にある固定端末を, フラッディングを拡張すべき方向として把握する。この ack-carry 方式により把握した範囲に従って, フラッディングによる配布範囲を拡張することにより, 情報の発生地点を通過する可能性が高い移動端末に周辺情報を配布できる。

提案手法では, 周辺情報の配布のために固定端末を用いることを前提としている。これは, 今後, LED 付きの街灯などが普及するものと考えられ, コストの低い簡易な固定端末をその街灯に取り付けることは比較的容易であると予測しているためである。

シミュレーション実験により, 提案手法は, 通常のフラッディングよりトラヒックを削減しつつ, 多くの情報を必要とする端末に配布できていることを確認した。また, 実際の道路図や交通量を使用することで, 実環境に近い環境での評価も行った。

提案手法では, ある周辺情報はその配布元を今後通過する移動端末にとって有効であると仮定し, 通過時に配布元である端末に直接 ACK を返すことで, 情報を配布すべき方向にある固定端末を把握していた。しかし, 実環境において, 渋滞情報のように有効な情報を受信することで, 移動経路を変更するということが考えられる。この場合, 提

案手法では、配布元である端末は、自身の配布する情報などの範囲に有効であるかを把握することができない。そこで今後は、このような状況にも対応できる手法について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] Ding, Y. and Xiao, L.: SADV: Static-node-assisted adaptive data dissemination in vehicular networks, *IEEE Trans. Vehicular Technology*, Vol.59, No.5, pp.2445-2455 (2010).
- [2] Ko, Y.B. and Vaidya, N.H.: Geocasting in mobile ad hoc networks: Location-based multicast algorithms, *Proc. IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (WMCSA'99)* (Feb. 1999).
- [3] Ko, Y.B. and Vaidya, N.H.: Flooding-based geocasting protocols for mobile ad hoc networks, *Mobile Networks and Applications*, Vol.7, No.6, pp.471-480 (2002).
- [4] Liu, X., Jia, X., Liu, H. and Feng, L.: 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).
- [5] Liu, H., Jia, X., Wan, P.J., Liu, X. and Yao, F.F.: A distributed and efficient flooding scheme using 1-hop information in mobile ad hoc networks, *IEEE Trans. Parallel and Distributed Systems*, Vol.18, No.5, pp.658-671 (2007).
- [6] Paruchuri, V., Duresi, A. and Jai, R.: Optimized flooding protocol for ad hoc networks, *Proc. IEEE Int. Computing Research Repository (CoRR'03)* (Nov. 2003).
- [7] Sasson, Y., Cavin, D. and Schiper, A.: Probabilistic broadcast for flooding in wireless mobile ad hoc networks, *Proc. IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC'03)*, pp.1124-1130 (2003).
- [8] Scalable Network Technologies: Creators of Qualnet Network Simulator Software, available from <http://www.scalable-networks.com/>.
- [9] Skordylis, A. and Trigoni, N.: 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).
- [10] Zhao, W., Ammar, M. and Zegura, E.: A message ferrying approach for data delivery in sparse mobile ad hoc networks, *Proc. Int. Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc'04)*, pp.187-198 (May 2004).
- [11] Zhao, W., Chen, Y., Ammar, M., Corner, M., Levine, B. and Zegura, E.: Capacity enhancement using throw-boxes in DTNs, *Proc. Int. Conf. on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems (MASS'06)*, pp.31-40 (Oct. 2006).
- [12] 大阪府箕面市ホームページ, 入手先 <http://www.city.minoh.lg.jp/index.html>.



藤井 俊充

2010 年大阪大学工学部電子情報工学科卒業。現在、同大学大学院情報科学研究科博士前期課程在学中。路車間通信による情報配布方法に興味を持つ。日本データベース学会学生会員。



加治 充 (正会員)

1995 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士前期課程修了。同年松下電器産業株式会社(現、パナソニック株式会社)入社。現在、同社エナジーソリューション開発センターにおいて、分散システムの開発研究に従事。大阪大学大学院情報科学研究科博士後期課程に在籍。



佐々木 勇和

2009 年大阪大学工学部電子情報エネルギー工学科卒業。現在、同大学大学院情報科学研究科博士後期課程在学中。モバイル環境における検索技術に興味を持つ。日本データベース学会学生会員。



原 隆浩 (正会員)

1995 年大阪大学工学部情報システム工学科卒業。1997 年同大学大学院工学研究科博士前期課程修了。同年同大学院工学研究科博士後期課程中退後、同大学院工学研究科情報システム工学専攻助手、2002 年同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻助手、2004 年より同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻准教授となり、現在に至る。工学博士。1996 年本学会山下記念研究賞受賞。2000 年電気通信普及財団テレコムシステム技術賞受賞。2003 年本学会研究開発奨励賞受賞。2008 年、2009 年本学会論文賞受賞。モバイルコンピューティング、ネットワーク環境におけるデータ管理技術に関する研究に従事。IEEE、ACM、電子情報通信学会、日本データベース学会各会員。



西尾 章治郎 (正会員)

1975 年京都大学工学部数理工学科卒業。1980 年同大学大学院工学研究科博士後期課程修了。工学博士。京都大学工学部助手，大阪大学基礎工学部および情報処理教育センター助教授，大阪大学大学院工学研究科教授を経て，

2002 年より大阪大学大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻教授となり，現在に至る。2000 年より大阪大学サイバーメディアセンター長，2003 年より大阪大学大学院情報科学研究科長，2007 年より 2011 年まで大阪大学理事・副学長を歴任。この間，カナダ・ウォータールー大学，ビクトリア大学客員。データベース，マルチメディアシステムの研究に従事。現在，Data & Knowledge Engineering 等の論文誌編集委員。本会では理事を歴任し，論文賞，功績賞を受賞。電子情報通信学会フェローを含め，ACM，IEEE 等 8 学会の各会員。