

VANETにおける車速・車両密度を考慮したRNCを用いた位置依存情報配布の検討

楠 嶺 生 宏^{†1} 石 原 進^{†2}

車車間アドホックネットワーク (VANET: VehiculAr Ad hoc NETworks) において, 現在位置周辺で起きた事故や渋滞など位置に依存する情報を自動的に取得できるアプリケーションを考える. 情報を生成した車両からフラッディングなどによって情報配信を行えば, マルチホップの通信で通信可能な範囲にいる車両全体に情報配布を行うが, そのときに通信範囲外にいる車両はその情報を受信することは出来ない. 本稿では, データに関連する位置に近づいた車両が発する Hello パケットを受信した車両が, そのデータを持っていた場合に依ってデータを送信することでデータ配信を行うシナリオを考える. この場合, 車両密度が高い場合には, すでにデータを保持する車両から多くの冗長なデータが送信され, 帯域を浪費し, 更にパケット衝突によりデータの配信性能を悪化させることが見込まれる. 本稿では, この対策のために 1) データ配信でのランダムネットワークコーディングの利用, 2) 動的な Hello 送信間隔の調整, 3) 車両密度による応答確率の変更, を行う方法を提案する. シミュレーションの結果, 提案方式は交通量が大きい場合に, 少ないトラフィックで確実なデータ配信を可能であることが確かめられた.

A Study of location dependent information distribution based on velocity and density with RNC on VANETs

NARUHIRO KUSUMINE^{†1} and SUSUMU ISHIHARA^{†2}

In this paper, we discuss an application for disseminating location dependent information generated by vehicles to other vehicles approaching the location where the information was generated in vehicular ad hoc networks (VANETs). Though flooding is a typical way to disseminate information in ad hoc networks, it is hard to deliver information to vehicles which are out of multi-hop communication range of the sender. We focus on a data delivery strategy in which vehicles which have a location dependent data items and receive Hello messages from a vehicle in the delivery area of the data item broadcast it to improve the data delivery ratio in low vehicle density conditions. This strategy wastes wireless communication bandwidth when the density of vehicles is

high. To solve this problem, we propose a data delivery strategy consisting of (i) using random network coding, (ii) adjusting hello sending interval, and (iii) changing the probability of replying to Hello messages according to the vehicular density. Simulation results show that this strategy achieves high data delivery ratio with low data delivery traffic when the vehicle density is high.

1. はじめに

近年, ITS (Intelligent Transport Systems) への取り組みで, 事故情報や渋滞情報を車車間通信 VANET (VehiculAr Ad hoc NETworks) によって伝達・配信することによりリアルタイム性の高い情報を取得する方法の研究が盛んに行われている. VANET では, 情報を生成した車両がフラッディングをすることで, マルチホップの通信で通信可能な範囲に存在する全ての車両に情報を配信することが可能である. しかし, そのときマルチホップで通信可能な範囲の外に存在する車両には情報を配信することが難しい. そこで本稿では, 位置依存情報 (特定の位置で生成されたその位置に関連付けられた情報) を生成・保持する車両がその情報を必要とする他車両と遭遇した場合にデータをブロードキャストで配信する方法を考える. 各車両が送信している Hello メッセージを受信することで, 車両は他車両の現在位置を知る. 位置依存情報を持つ車両は, その情報が他車両が必要であることを情報生成位置と他車両の現在位置との距離で判断し, そのデータを送信する. これにより情報が生成されたときには, 情報を生成した車両と通信することができなかった他車両に対しても, 確実に情報を配信することが出来る (図 1).

以上の様に, Hello に対する応答として情報配信を行う場合, 車両密度が高い地域では, 大量の Hello メッセージが一度にネットワーク内にブロードキャストされることになる. また, 受信した Hello メッセージに対して, 通信範囲内に存在した全ての端末がデータの返信をしようとすると, ブロードキャストストームと同様の問題が発生し, 冗長な情報が過剰に送信され, 無線通信帯域を浪費する他, パケットロスが誘発されてしまうという問題がある.

端末数が多く, パケットロスが頻発しやすい無線ネットワークにおいてデータの到着率を向上させるために, ランダムネットワークコーディング (RNC)²⁾ を応用した試みが行われ

^{†1} 静岡大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Shizuoka University

^{†2} 静岡大学創造科学技術大学院
Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University

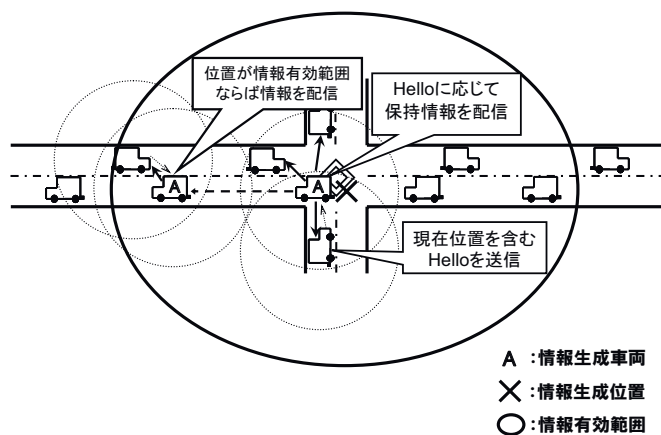


図 1 VANET での Hello の送信と応答によるデータの配信

ている³⁾。RNC とは、中継端末が中継中の複数のパケットに対してランダムに係数ベクトルを選択し、有限体による線形結合をとることで符号化処理を行う手法である。符号化処理が行われたパケットは符号化パケットと呼ばれる。受信側の端末は、多種の符号化パケットを収集し、各符号化パケットに含まれる係数がそれぞれ線形独立であるならば元のデータへの復元を行うことができる。無線環境では、ある端末が送信したパケットは、その通信可能な範囲に存在する全ての端末が可能である。よって端末数が多ければ多いほどネットワーク内に容易に多種の符号化パケットを流通させることができ、端末の移動や端末密集地域でのデータ配信によりパケットロスがより発生しやすい状況であったとしても高確率で元のデータに復元できることが見込める。この RNC をアドホックネットワークに利用した情報配信の有効性は単純な移動モデルにおいてはシミュレーションで検証されているが⁴⁾、現実的な車両の移動特性を考慮した場合には十分に検証されていない。本稿では、Hello に対する応答として行う情報配信に RNC を用いることとして、その効果を検証する。

一般に、高速走行中では車両の密度は低いですが、渋滞箇所や交差点での信号待ちの最中では、車両密度が高い。このように道路上では車両密度が場所、時間によって異なる。車両の密度が高い場合にすべての車両が短い間隔で Hello (あるいはビーコン) パケットを送信し続けると、無線通信帯域を浪費するため、車両密度や速度に応じてこれらのパケットの

送信間隔や送信電力を動的に変更する方法が検討されている。また、Hello に対する応答としてパケットを送出する処理を行う場合、車両密度が高い場合には複数の車両から同時にパケットが送信され、ブロードキャストストームと呼ばれる問題と類似の問題が生じる。ブロードキャストストームに関しては種々の解決方法が既に提案されている。本稿で扱う RNC を使い Hello に対する応答として位置依存情報を配布するという方式においても、動的な Hello の送信制御、複数端末による同時応答に対する対策を施すことは必要である。本稿では、RNC を利用した VANET での Hello メッセージの配信とそれに対する位置依存情報の配信において、車両速度に基づく Hello 送信間隔の動的変更、車両密度に応じて Hello に対する応答の送信確率を動的に変更する方法を組み合わせた方式を提案し、シミュレーションによりその効果を検証する。

以下、2 章で関連研究として本研究での基盤技術となる RNC とその応用研究、VANET での情報配信技術について述べる。3 章では本稿で提案する車速・車両密度を考慮した RNC 利用の VANET での位置依存情報配信の配信方法について説明する。4 章で現実的な車両移動モデルを用いたシミュレーションによる提案手法の評価について述べ、本手法によって高車両密度においても少ないトラフィックで確実な位置依存情報の配信が可能であることを示す。最後に 5 章で本論文のまとめとする。

2. 関連研究

2.1 ランダムネットワークコーディング (RNC)

ランダムネットワークコーディング (RNC)²⁾ は、中継端末が複数のパケットに対してそれぞれランダムな係数を選択し、有限体での線形結合をとることでネットワークコーディング¹⁾を行う手法である。

RNC の符号化と復号化の動作を以下に示す。複数のパケット $P_i (i = 1, 2, \dots, N)$ に対し、1 回の符号化処理対象パケット数を N とする。このとき、中継端末にはランダムに係数ベクトル $C = (c_1, c_2, \dots, c_N)$ が与えられ、受け取ったパケットとの線形演算が行われる。このときの出力パケットは符号化パケット $P_{out} (= \sum_{i=1}^N P_i c_i)$ と与えられる (図 2)。ここで、 c_i は有限体 $GF(2^m)$ の要素であり、演算はパケットを有限体の要素とみなして有限体上で行われる。また、上記の演算は多段にわたって行われる。複数の符号化パケット P_{out} を受信した端末は、受信した符号化パケットを有限体の要素とみなし、再びランダムに決められた係数ベクトルとの線形演算を行うことで新たな符号化パケットを生成する。つまり、中継端末が出力した符号化パケット P_{out} は、次の中継端末への入力パケットとなる。

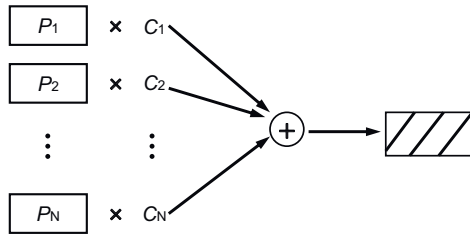


図2 ランダムネットワークコーディング

送信端末から送出された N 個の packets を $\mathbf{X} = (x_1, x_2, \dots, x_N)^T$ と表す。このとき、受信端末で元の packets に復元するには少なくとも N 個の異なる符号化 packets P_{out} を受信しなければならない。受信端末に届いた N 個の packets を $\mathbf{P} = (P_{out,1}, P_{out,2}, \dots, P_{out,N})^T$ とする。 $P_{out,i}$ は、係数 $c_i = (c_{i,1}, c_{i,2}, \dots, c_{i,N}) (c_{i,j} \in GF(2^m), 1 \leq i, j \leq N)$ を用いて以下のように示すことが可能である。

$$P_{out,i} = c_{i,1}x_1 + c_{i,2}x_2 + \dots + c_{i,N}x_N \quad (1)$$

これより P と c_i は

$$P = \mathbf{C}\mathbf{X} \quad (2)$$

$$\mathbf{C} = \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_N \end{pmatrix} \quad (3)$$

と表すことができる。このとき、 \mathbf{C} の逆行列 \mathbf{C}^{-1} が存在すれば元の送信 packets \mathbf{X} を復元することができる。

RNC では、符号化する際に係数ベクトルをランダムにすることで、ネットワークポロジに関係なく必要最低限の packets が収集できれば復元の可能性が高まる。このため、packet ロスが頻発したりポロジが変化しやすい環境においても有効である。無線アドホックネットワークでは、一度の packet 送信で隣接端末全てに packets を受信させることが出来るので容易に異なる係数ベクトルによる符号化 packets をネットワーク上に流通させることが可能である。このため、packet ロスが発生しやすい状況においても符号化 packets

を収集することで高い確率で配信されたデータを復元できることが見込める。

2.2 RNC を用いた VANET での情報配信

RNC を VANET に応用した一例として、CodeTorrent⁴⁾ が挙げられる。CodeTorrent は、VANET 上において BitTorrent⁵⁾ と同様に複数の端末から分割したデータを受信するアプローチでファイル共有を行う。BitTorrent では、ただ単に分割されたデータそのものを送信しているが、CodeTorrent では、分割されたデータの配信に RNC を用いている。

以下に CodeTorrent の動作を示す。CodeTorrent では、ファイル P を保持する端末がファイルのメタデータを定期的にブロードキャストしている。そのメタデータに対して関心を持った端末はそのファイルに対する要求を定期的にブロードキャストし続ける。要求を受け取った端末は、ファイルを持っていればファイルを N 個の断片に分割し、ランダムに選択される係数を用いて符号化 packets を生成してブロードキャストする。また、符号化 packets を所持している端末が要求を受信した場合、自身の持つ符号化 packets を元に新たな係数に従って符号化を行い、新たな符号化 packets をブロードキャストする。符号化 packets を N 個以上保持したノードは、各符号化 packets で用いられている係数がそれぞれ線形独立である場合、元のファイル P を得る。

文献 4) では、この手法を用いることで、VANET 上での RNC を用いたファイル配信が、マルチホップのユニキャストベースでのファイル要求と応答に基づく RNC を利用しないファイル配信に比べてファイル全体の取得に要する時間を大幅に短縮可能であることが示されている。CodeTorrent では、遅延に対して強い制限を設けずに、音楽データなどエンターテインメント系の大きなデータの配信を目的にしている。一方、本研究では事故や渋滞状況のような特定位置に関連付けられている情報 (位置依存情報) を配信し、運転支援に用いることを目指している。運転支援系のアプリケーションは、エンターテインメント系のデータ配信に比べて遅延および配信成功率に関して高い性能が求められる。

加藤らは、高速道路のような片側 2 車線の直線道路で複数の端末が近距離で協調走行することを条件にした上で路車間と車車間の双方の通信に RNC を用いている⁶⁾。路側に設置されたインフラの通信半径内に存在する複数の端末が、インフラから RNC により符号化されたデータを受信する。データを受信した各端末が、インフラの通信半径外に移動すると、端末同士で RNC を用いた情報配信を繰り返す。RNC を用いない場合でのデータ配信では、断片 packets の欠如が発生してしまい、効率よくファイル共有を行えない可能性がある。一方、この方法では、RNC を用いることで複数の端末間に分散的に符号化 packets を配信可能であり、ファイル共有が容易になる。加藤らの研究成果では、複数の車両が協調的に走行

することが条件として挙げられているが、本研究では、各車両はそれぞれ独立に走行する状況を想定している。

2.3 Hello メッセージの送信タイミング

VANET において大量に発生する Hello パケットを他端末に対して確実に到着させつつデータの配信を低遅延かつ確実にを行うためには、高車両密度時でも通信帯域を効率的に使用し、データ配信のための帯域を常に確保できる状態にしておく必要がある。Hello パケットの送信制御に関するアプローチとしては、送信電力を動的に変更する方法と送信間隔を動的に変更する方法がある。Hartenstein らは、通信要求に用いられる Hello パケットによる大幅な帯域消費がデータの配信を妨害してしまうことに着目して Hello メッセージの送信電力を周辺車両の密度を知ることによって動的に変更する手法を提案している⁷⁾⁸⁾⁹⁾。文献 7) では、ネットワーク内に存在している各端末の位置が既知であるものとし、各端末が、受信するであろう Hello パケット送信者の数を計測して最大数を超えないようにそれぞれ最適な送信出力を設定する手法を提案している。文献 8) では、文献 7) の改善策として各端末が分散処理で適切な通信距離を設定する手法を提案している。また、文献 9) では、8) の手法が高車両密度下においてオーバーヘッドの増加が問題視されることを改善するために端末の台数の分布のみを配信することで、分散的に端末の密度を推測する手法を提案している。Hello パケットの送信間隔を動的に変更する戦略は、よく知られており、ITS フォーラムが定めた 5.8GHz 帯を用いる車車間通信における実験ガイドライン¹⁰⁾ では車両の移動速度に応じて 4 段階の送信間隔を定めている。

本稿ではまず出来るだけ単純な戦略を利用するという観点から、文献 10) に示されている車両速度に応じた送信周期の動的変更を利用することにした。

2.4 周辺端末を考慮したブロードキャスト配信の最適化

端末密度の高いアドホックネットワークでのフラッディングにおいては、ブロードキャストストーム¹¹⁾という問題が起こる。ブロードキャストストームとは、フラッディングのためにブロードキャストされたパケットを周辺の多くの端末が受信し、それらがほぼ同時にブロードキャストによって転送を行うことで、冗長な配信が行われて無線通信帯域を浪費する問題である。本稿で想定する Hello に対して周辺端末が応答を返すというシナリオにおいても同様の問題が発生する。

ブロードキャストストームに対しては既に多くの解決策が提案されている¹¹⁾¹²⁾¹³⁾。Ni らの手法では、各端末はパケットを受信後にランダムに決定される転送待ち時間を挿入し、転送待ち時間中に同じパケットを送信した他の端末との距離 d_{\min} に基づきブロードキャスト

を行うかどうかの決定をする¹¹⁾。Williams らは、ブロードキャストする端末を確率により選択する手法を提案している¹²⁾。この手法では、各端末は過去に受信したメッセージの履歴を用いて受信したパケットの転送を行う確率を設定する。周囲に他の多くの端末が存在する場合は、周囲の端末がメッセージを送信してくれることを期待し、メッセージ送信確率を低く設定する。逆に、周囲の端末密度が低い場合は、自身がメッセージを送信しなければならないためメッセージ送信確率を高く設定する。また、Peng らは、事前に把握した近隣のトポロジ情報に基づいて、転送を行う端末を決定する方法を提案している¹³⁾。

本稿では、上述した既存技術を参考に、受信 Hello パケットの情報から生成する隣接車両リストから推測できる周辺の車両密度に基づいて Hello パケットに対する応答の送信確率を調整することとした。

3. 車速・車両密度を考慮した RNC 利用の位置依存情報配信

本章では、VANET における位置依存情報配信に、RNC、動的な Hello メッセージの送信間隔調整、車両密度によるデータの配信確率制御を用いることで効率的にデータ配信を可能にする方法について提案する。

3.1 想定環境

以下に本稿で提案する手法での想定環境を示す。

- 各車両は無線通信端末を搭載しており、通信範囲内の他車両と VANET を構成する。
- 路側の通信インフラは存在せず、端末以外の設備、アクセスポイント、固定のデータサーバを利用しない。
- 車両は信号などの交通ルールに従って、道路上を移動する。
- 各車両は、GPS を用いることで自身の位置を知ることができる。
- 各車両は、自身の移動速度に応じて送信周期を変動させつつ自身の端末 ID、現在時刻、位置を含む Hello メッセージをブロードキャストする。
- 端末 x は、他端末 y から Hello メッセージを受信すると、 y を x の保持する隣接車両リストに追加する。その Hello メッセージの有効時間が経過すると、 y を x の隣接車両リストから削除する。
- 端末には、十分な記憶領域が確保され、通信中に記憶領域が不足することは無い。
- 生成される位置依存情報は、1 回のブロードキャストでは全て配信することができない大きさであるとし、それぞれ生成端末 ID、生成位置の座標、生成時刻が付加されているものとする。

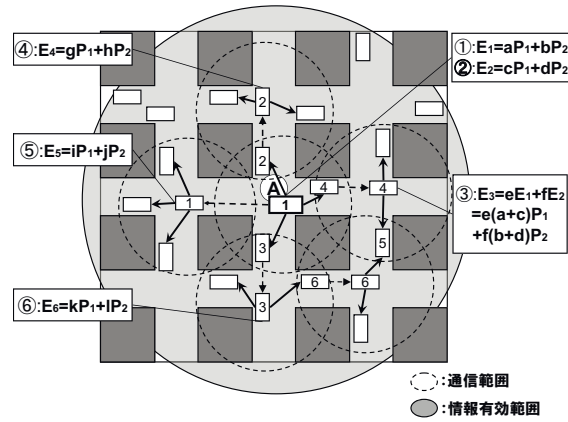


図3 ランダムネットワークコーディング適用の位置依存情報配信

表1 Hello メッセージの送信周期

車両速度 [km/h]	送信周期 [ms]
60 ~	100
40 ~	200
20 ~	300
10 ~	600
10 未満	1200

位置依存情報 $P(A, t)$ を時刻 t で生成し保持しているとする。端末 1 は端末 2 から Hello メッセージを受信すると、Hello に含まれる端末 2 の位置が、 $P(A, t)$ の有効範囲内であることを知る。このとき、端末 1 は自身が持つ $p_1(A, t)$, $p_2(A, t)$ とランダムに選択した係数 (a, b) を線形演算して符号化パケット E_1 を生成してブロードキャストする。また別の隣接端末 4 からも Hello を受信すると、新たに係数 (c, d) をランダムに選択して別の符号化パケット E_2 を生成してブロードキャストを行う。(図中①②)

符号化パケットを受信、オーバーヒアした隣接端末 2, 3, 4 は、符号化パケットを必要以上保持している場合に復号動作を開始する。各符号化パケットに含まれる係数が線形独立である場合、元の情報 $p_1(A, t)$, $p_2(A, t)$ を復号化する。

復号化が出来た断片、符号化パケットを受信した端末はそれらを保持し、新たに Hello メッセージを受信したときにそれらを用いて新たな符号化パケットを生成する。(図中③~⑥) 図中③で端末 4 は受信した E_1, E_2 をもとに新たな符号化パケット $E_3 = eE_1 + fE_2$ を生成し、ブロードキャストしている。

車両台数が多い場合、大量の Hello に対して周辺車両が保持するデータを一齐に配信するため、パケットの衝突が頻繁に発生する。このため、断片そのものを配信するケースでは、元のデータを構成する全ての断片を確実に受信する可能性が低下する。断片パケットを何度も受信したとしても、それが一部の断片ばかりならば、元のデータパケットを復元することができない。ところが RNC を利用する場合は、断片の種類を考慮することなく符号化パケットを収集すればよい。符号化パケットにはそれぞれ各車両がランダムに選択した係数が含まれているので、その係数が線形独立であるならば、符号化パケットを復元することができる。車両密度が多い場所では多数の符号化パケットを受信することが可能であるため、復号化できる可能性が高い。以上の点から、車両密度が高い場所では、RNC を用いることで高い信頼性で位置依存情報を配信できると考えられる。

3.2.2 Hello メッセージの送信周期の動的変更

各端末は、Hello メッセージを送信する際に自身の現在の移動速度を確認する。その移動

- 位置依存情報の生成位置から半径 L 以内の範囲をその情報の有効領域とする。 L は無線通信可能距離に対して十分大きいものとする。

3.2 データの配信動作

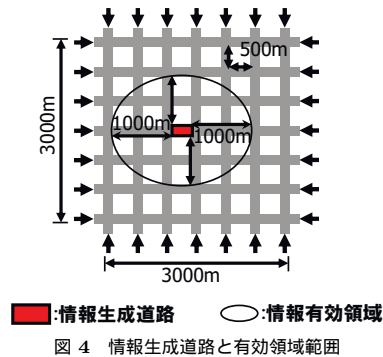
以下、提案手法におけるデータの配信動作について説明する。

3.2.1 データの符号化方法と復号化方法

各端末は、自分の現在位置に関連付けられた位置依存情報を生成すると、それを N 個の断片に分割して保持し続ける。各端末は、他の端末が送信した Hello メッセージを受け取ると、自身が保持する情報の断片、あるいは他端末から受信した符号化パケットの生成位置が受信した Hello メッセージの送信者の有効領域内であるならば、ある確率で断片あるいは受信済みの符号化パケット $1 \sim N$ 個から生成した符号化パケットを生成し、係数と共にブロードキャストする。このとき、断片および受信済みの符号化パケットの合計 M が N に満たない場合は、 M 個のみを生成、ブロードキャストする。符号化パケットは、 N 個の断片あるいは符号化パケットと、ランダムに N 個選択した係数をガロア体上で線形結合させることにより生成される。使用可能な断片および符号化パケットの数が N 未満である場合、一部の係数が 0 であるとみなす。

符号化パケットを受信すると、端末は新たに受信した符号化パケットと同一の情報に対するそれまでに保持している符号化パケット N 個から情報を復元する。

図3に具体例 ($N=2$) を示す。端末 1 は A 地点において断片 $p_1(A, t)$, $p_2(A, t)$ からなる



速度に基づき、表 1 に従って Hello メッセージの送信間隔を決定する。この値は ITS フォーラムで発表された車車間通信システムの実験ガイドライン¹⁰⁾ と同じものである。

3.2.3 Hello メッセージに対する配信確率の動的変更

各車両は、Hello メッセージの受信により生成する隣接車両リストに含まれる端末の ID の総数を M であるとして、Hello に対する配信確率 $q(M)$ を M に対して単調減少になるように計算する。本稿では、単純に以下の式で P を求めることとした。ここで、 α は 1 以上の定数である。

$$P = \frac{1}{\alpha M} \quad (4)$$

4. シミュレーション評価

前章で提案した情報配信の有効性をシミュレーションにより評価した。

4.1 シミュレーションモデル

ネットワークシミュレータとして JiST/SWANS シミュレータ¹⁴⁾ を用いた。車両の移動する領域として 3000[m] × 3000[m] の 2 次元平面上に、東西南北方向に道路を 500[m] 間隔にそれぞれ 7 本、計 14 本を含むマップを用いた。MAC には、IEEE802.11DCF を用い、通信帯域幅を 11[Mbps]、通信可能半径を 100[m] とした。また、位置依存情報の有効領域の半径は 1000[m] とした。各端末は Hello メッセージを表 1 に従った時間でブロードキャストする。Hello メッセージは、UDP、IP ヘッダを含めて 100 [bytes] のパケットとした。その他、シミュレーション諸元を表 2 に示す。

4.1.1 移動モデル

交通シミュレータ NETSIM により各車両の移動シナリオを作成した。各車両はシミュレーション領域の端にある 28 箇所の道路の端点から流入し、シミュレーション領域内の道路に沿って自由走行速度 60[km/h] で移動する。自由走行速度とは、走行に影響を与える障害や交通制御がないときの走行速度である。そのため交通渋滞や信号待ち、交差点での右左折時の走行速度は適宜変化している。車両の流入量は、各道路に対して 1 時間当たりの流入台数として与えるものとし、シミュレーションでは 300, 500, 700[台/h · lane] の値を使用した。

シミュレーション領域内に流入した車両は、交差点において各方角に設定されている分岐率(直進 80%, 右折 10%, 左折 10%) に従い移動方向を決定する。車両が領域の端にある道路の端点に達したときは領域から流出するものとした。各交差点に設置された信号の間隔は青 26[s]、黄 3[s]、赤 31[s] の 60[s] 周期で切り替えるように設定した。

4.1.2 データ生成モデル

マップ内に十分な数の車両が存在する状態になるシミュレーション開始後 500[s] の時点で、マップの中央にある 1 つのセグメントを走行中の車両 1 台がその位置に関する位置依存情報を生成することとした。

データの分割数 N は 2 であり、断片および符号化パケットは UDP、IP ヘッダを含めて 1500 バイトのパケットで送信されるものとした。

4.1.3 情報配信方法

3 章で説明した情報配信方法と比較するため、この方法の他に、RNC を用いない方法のシミュレーションも行った。この方法では、位置依存情報を生成した車両および、それを車両は、Hello メッセージを送信してきた車両位置が位置依存情報の有効範囲内ならば、保持しているその情報の断片全てを確率 $q(M)$ に従って、符号化せずにブロードキャストする。

4.2 シミュレーション結果

シミュレーション条件を表 2 のように設定し、シミュレーションを 30 回行った。また、以下の点を比較することで性能を評価した。

- 受信率：有効領域内に存在する全端末のうち、符号化パケットの復号により断片(2 個)を受信している端末の割合
- データの配信トラフィック：生成されたデータパケット(断片パケットおよび符号化パケット)1 つあたりのブロードキャスト回数

パラメータ	値
シミュレーションフィールド [m]	3000 × 3000
断片, 符号化パケットのサイズ [bytes]	1500
Hello パケットサイズ [bytes]	100
車両流入量 [台/h · lane]	100, 300, 500, 700
通信帯域幅 [Mbps]	11
通信半径 [m]	100
データ有効領域の半径 [m]	1000
データ有効時間 [s]	500
Hello メッセージの有効時間 [s]	3
シミュレーション時間 [s]	1000
有限体の大きさ $GF(2^m)$	$m=4$
配信確率 $q(M)$ の α	1 ~ 5

4.2.1 データの受信率

図 5(a)–(d) にそれぞれ、車両流入量が 100, 300, 500, 700[台/h·lane] のときの情報生成直後から 100 秒までの有効領域内の車両の情報受信率の変化を示す。この図では、RNC を使用しない場合で $q(M) = 1$ のときと、RNC を用いて $q(M) = 1$ の場合、 $q(M) = 1/\alpha M$ ($\alpha=1, 3, 5$) の場合をプロットしている。流入車両台数が多いほうが、短時間に受信率が上昇することが分かる。また、 α の値が大きくなるにつれて受信率が上昇するための時間が長くなっている。

車両流入量が 100 と 300[台/h·lane] のとき、RNC を用いない場合のほうが短時間に受信率が上昇しているが、方式間で大きな差はみられない。これは、車両密度が低い場合では Hello に応答する車両が少なく、パケットの衝突が起こりにくいため、単純なブロードキャスト配信でも断片パケットを受信しやすくなるためである。

一方、車両流入量が 500 と 700[台/h·lane] の場合、RNC を用いた場合のうち、 $q(M) = 1/\alpha M$ ($\alpha=1$) のケースでは、RNC を用いない場合よりも短時間でデータの配信ができていく。 $q(M) = 1$ の場合と $q(M) = 1/\alpha M$ の場合の違いはわずかであり、特にその傾向は車両流入量が 700[台/h·lane] の時に顕著である。また、 α の値の違いにより、配信に要する時間の変化が生じている。この結果より、車両密度が高い場合には、RNC の使用による効果が高いこと、車両密度によって応答のトラフィックの抑制が効果的に働いていることがわかる。

4.2.2 返信確率 $q(M)$ による配信トラフィックの減少

図 6 にそれぞれ車両流入量が 500[台/h·lane] のときの情報生成から 25[s] 後のデータの

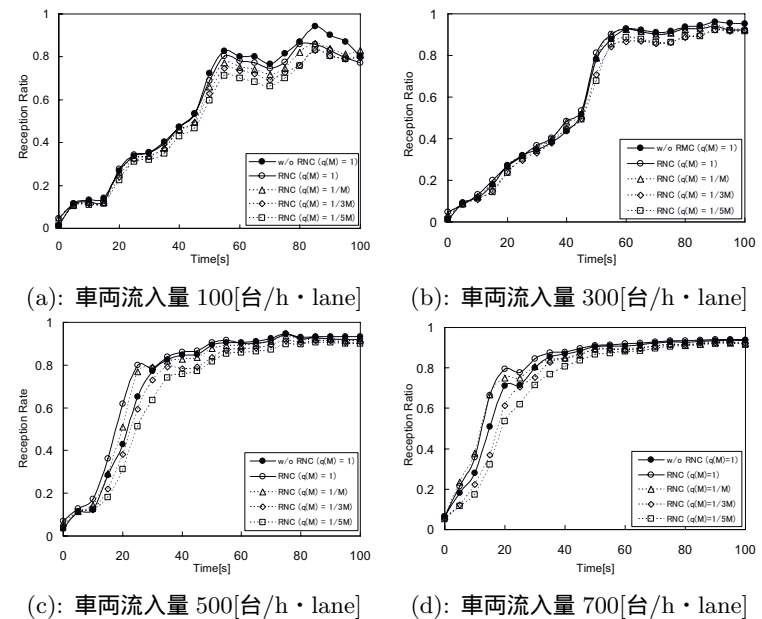


図 5 有効領域内の受信率の時間的変化

配信トラフィックと受信率の関係を示す。RNC を用いた場合と用いない場合で、それぞれ返信確率を変化させたところ、 $q(M)$ が同じ場合には RNC の利用の有無によりトラフィックに大きな差は見られないものの、RNC を用いた場合、大幅に受信率が向上していることがわかる。また、 $q(M) = 1$ 、 $q(M) = 1/\alpha M$ の場合を比べると、RNC を用いた場合はトラフィックが大幅に違うものの、受信率の違いはごくわずかである。

一方、RNC を用いない場合ではトラフィックの減少に伴って、受信率の減少がみられる。このことから、RNC および車両密度に応じた返信確率の動的変更によって、より少ないトラフィックでより確実に位置依存情報の配信ができることがわかる。

5. ま と め

本論文では、VANET における Hello に対する応答として位置依存情報を配信する方法において、ランダムネットワークコーディング、車両移動速度による Hello メッセージの

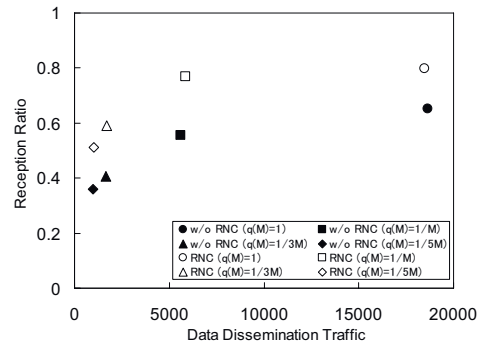


図 6 応答バケットのトラフィックと受信率の関係

送信間隔の調整，および車両密度に応じて情報の返信確率の動的変更を行う方法を提案し，現実的な車両走行モデルを用いたシミュレーションによりその効果を検証した．シミュレーションの結果から，提案方式では，高車両密度時においては RNC を用いていない場合に比べて，より少ないトラフィックで確実にデータ配送を行うことが可能であることが確認できた．また，車両密度による返信確率の動的変更がトラフィック抑制に効果的であることも確かめられた．今後の課題としては，データの分割数を増やした場合の性能の検証，情報が多数生成される場合における情報配信のスケジューリング方式の検討が挙げられる．

参 考 文 献

- 1) Ahlswede, R., Cai, N., Li, S. -Y. R., and Yeung, R. W.: Network information flow, IEEE Trans. Information Theory, vol.46, no.4, pp.1204–1216 (2000).
- 2) Ho, T., Medard, M., Koetter, R., Karger, D. R., Effros, M., Shi, J., and Leong, B.: A random linear network coding approach to multicast, in Proc. of IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol.22, pp.107–120 (2004).
- 3) 松田崇弘, 野口拓, 滝根哲哉 : ランダムネットワークコーディングを用いたアドホックブロードキャスト, 信学技報, vol.106, No.237, pp.145–150 (2006).
- 4) Lee, U., Park, J.S., Yeh, J., Pau, G., Geria, M.: CodeTorrent: Content distribution using network coding in VANET, in Proc. of MobiShare'06 (2006).
- 5) Bit Torrent, <http://www.bittorrent.com/>
- 6) Ahmed, S., Kanhere, S. S.: VANETCODE: Network coding to enhance cooperative downloading in vehicular ad-hoc networks, in Proc. of IWCMC (2006).
- 7) Torrent-Moreno, M., Santi, P., Hartenstein, H.: Fair sharing of bandwidth in

VANETs, in Proc. of ACM international workshop on vehicular ad hoc networks (VANET'05), pp.49–58 (2005).

- 8) Torrent-Moreno, M., Santi, P., Hartenstein, H.: Distributed fair transmit power adjustment for vehicular ad hoc networks, in Proc. of IEEE communications society on sensor and adhoc communications and networks (SECON 06), Vol.2, pp.479–488 (2006).
- 9) Mittag, J., Schmidt-Eisenlohr, F., Killat, M., Harri, J., and Hartenstein, H.: Analysis and design of effective and low-overhead transmission power control for VANETs, in Proc. of ACM international workshop on vehicular internetworking (VANET 2008), pp.39–48 (2008).
- 10) ITS 情報システム推進会議: 5.8GHz を用いた車々間通信システムの実験ガイドライン, ITS Forum RC005 (2007.5.18).
- 11) Ni, S. -Y., Tseng, Y. -C., and et al.: The broadcast storm problem in a mobile ad hoc network, in Proc. of ACM Mobicom 99, pp.151–162 (1999).
- 12) Camp, T.: Comparison of broadcasting techniques for mobile ad hoc networks, in Proc. of 3rd ACM MobiHoc 2002, pp.194–205 (2002).
- 13) Peng, W., Lu, X.: On the reduction of broadcast redundancy in mobile ad hoc networks, in Proc. of MobiHoc, pp.129–130 (2000).
- 14) JiST – Java in Simulation Time / SWANS – Scalable wireless ad hoc network simulator: <http://jist.ece.cornell.edu/index.html>