

VANETにおけるランダムネットワークコーディングを用いたエリア内位置依存情報配信手法の評価

楠 嶺 生 宏^{†1} 石 原 進^{†2}

本稿では、VANETを用いて位置依存情報を、情報が生成された位置の周辺エリアを走行する車両に対して情報の有効期限の間配信し続ける手法について議論する。筆者らは、これまでにPush型のエリア内位置依存情報配信手法として、ランダムネットワークコーディングとOpportunistic型データ通信を組み合わせたRNC based Regional Data Distribution on VANETs(R2D2V)を提案している。R2D2Vでは、高車両密度時におけるデータの斉配によるバケット衝突や帯域浪費の問題に対して、ランダムネットワークコーディングの利用、車両速度に応じたビーコンパケットの送信間隔の動的変更、周辺車両密度によるデータの返信確率の動的変更の3つの技法を組み合わせることで、低トラフィックで確実なデータ配信を可能にする。R2D2Vは、1) 情報有効領域にいる全車両に対して短時間で確実に情報を配信する、2) 情報生成後に情報有効領域に新たにやってくる車両に対しても短時間で情報を配信する、ことを目的に設計されている。しかし、これまでに1)に対する評価は行われているが、2)に対する評価や各パラメータの詳細な評価は行われていない。そこで本論文では、A) 各車両の通信可能半径を大きくした場合のデータ配信に対する受信率の変化、B) 情報の生成された位置周辺(有効領域)に情報生成後に新たに進入した車両が情報を低遅延で受信できるか、C) 返信確率の変更による配信の遅延・確実性とデータ配信トラフィックの間のトレードオフ、の3点に着目して詳細な評価を行った。シミュレーションの結果、通信可能半径が大きく、かつ車両密度が高いときではR2D2Vが単純なOpportunistic型配信よりも有効領域内の全車両だけでなく、有効領域に新しく進入した車両に対して低遅延、低トラフィックでデータを配信できることを確認できた。

An evaluation of location dependent information distribution with random network coding in a local area on VANETs

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

In this paper, we discuss a method for continuously providing location-

dependent information generated by a vehicle to other vehicles being driven in the surrounding areas of a location where the information was generated during the information effective period using Vehicular Ad hoc NETWORKS(VANETs). We have proposed a scheme called R2D2V which uses both random network coding and opportunistic data dissemination techniques. The main purposes of this scheme are i) disseminating location-dependent information rapidly and reliably to vehicles in the effective area of the information, and ii) providing the information to vehicles coming to the effective area of the information after the information was generated. In this paper, we focus on the following scenario and evaluate this scheme for the second purpose. A) Changes in data reception ratio in the data effective area when each vehicles' communication range is large, B) Whether vehicles newly coming to the data effective area after the information was generated can obtain a data item quickly, C) The trade-off between data distribution traffic and data reception ratio in the data effective area by changing the probability of replying to Hello messages. The simulation results showed that R2D2V can achieve high delivery ratio with low data distribution traffic and low delay when the vehicle density is high against all vehicles in the data effective area.

1. イントロダクション

本論文では、交通事故や渋滞が局所的に発生したとき、各車両が自車に搭載されているカメラで画像や動画を作成し、その情報を車車間通信のみを利用して情報が生成された位置の周辺に存在する車両に対して情報の有効期限の間配信し続けるシステムについて議論する。このシステムでは1) 情報有効領域にいる全車両に対して短時間で確実に情報を配信する、2) 情報生成後に情報有効領域に新たにやってくる車両に対しても短時間で情報を配信する、の2つを目的とする。筆者らは、既にこのようなエリア内位置依存情報配信のための手法として、ランダムネットワークコーディング(RNC³⁾)とOpportunistic型データ通信を組み合わせた手法RNC based Regional Data Distribution on VANETs(R2D2V)¹⁾²⁾を提案している。アドホックネットワークにおけるデータ配信の一般的な手法としてはフラッディングが挙げられるが、単純なフラッディングでは一度情報配信動作が終了すると、その情報は配信されなくなる。そのため、新たにフラッディングの配信エリアにやってくる車両はそ

^{†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

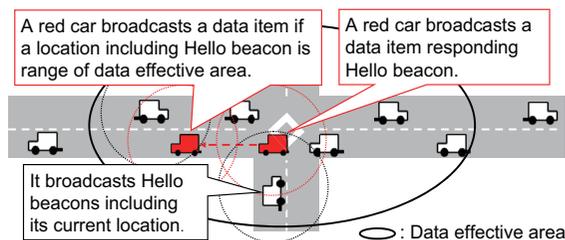


図 1 VANET における Hello パケットを利用した Opportunistic 型データ配信

の情報を受信することが出来なくなってしまう。これに対して、R2D2V でも採用されている Opportunistic 型のデータ配信は、各車両が別の車両と出会うたびに保持しているデータを配信するため、情報の有効領域に新たにやってくる車両にもデータを配信することが可能になる。本稿では、各車両は定期的にビーコンパケット（以下 Hello パケットと記述）を送信しており、情報有効領域内で Hello パケットを受信した情報保持車両は受信した Hello と自車両の現在の周辺状況を考慮した確率に応じて情報をブロードキャストする、と仮定する（図 1）。上記のように、Hello に対する応答として情報配信を行う opportunistic なデータ配信を行う場合、車両密度が高い地域では、大量の Hello パケット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 パケットに対して、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。

この問題に対して R2D2V では、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 (RNC³) の利用、車両速度に応じた Hello パケットの送信間隔の動的変更、Hello パケットに対するデータの返信確率の動的変更を適用している。これまでの研究では、R2D2V は有効領域内にいる車両に対して単純な Opportunistic 型配信よりも低遅延かつ確実なデータ配信が可能であり¹⁾、情報生成位置から離れた地点を走行する車両にも低遅延でデータを配信できることが分かっている²⁾。しかしながら、情報生成後に新たに有効領域に進入する車両に対する情報配信の効果、ならびに本手法に用いるパラメータの効果に対する詳細な評価は行われていない。

そこで本稿では、以下の 3 点、A) 各車両の通信可能半径の変化による受信率の変化、B)

情報生成後に情報の有効領域に新たに進入する車両への低遅延でのデータ提供、C) 返信確率の変更による配信の確実性とデータ配信トラフィックの間のトレードオフ、に着目して評価を行う。以下、2 章で関連研究としてランダムネットワークコーディングを用いた VANET での情報配信技術、Hello パケットの送信制御手法、ブロードキャストにおける最適化手法について述べる。3 章ではエリア内位置依存情報配信手法 R2D2V の動作の概要と本稿で新たに追加した同走車両への配信抑制オプションについて説明する。4 章で R2D2V のシミュレーション方法とその結果について述べ、R2D2V が各車両の通信可能半径が大きいつきに単純な Opportunistic 型配信に比べて低トラフィックで確実なデータ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

MANET や VANET 上でのランダム線形ネットワークコーディング (以下 RNC) を利用した情報配信は既にいくつか提案されている⁷⁾⁸⁾⁹⁾。Park らは、Codecast と呼ばれる MANET 上での情報配信に RNC を適用したマルチキャストプロトコルを提案した⁷⁾。この手法では、送信ノードはデータ転送前にデータパケットを複数の断片に分割し、それぞれの断片を RNC により符号化することで符号化パケットを生成後、ブロードキャストする。中継ノードは、受信した複数の符号化パケットを改めて符号化、ブロードキャストする。受信ノードは、転送中のデータ転送経路を気にせず、受信した多種の符号化パケットから元のデータパケットを復号する。また Lee らは、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メント系の大きなデータの配信を目的とした CodeTorrent と呼ばれる P2P 型のファイル配信プロトコルを提案している⁸⁾。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⁹⁾。

これらの手法に対して筆者らの手法 R2D2V は、VANET 上での RNC を利用した情報配信に加えて、周辺車両密度を考慮したデータの返信確率の動的変更によるトラフィック制御を組み合わせている点で文献 7) と異なる。また、本研究の目指す方針としては、文献 8) とは異なり、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。加えて、文献 9) 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。

Opportunistic 型の情報配信におけるアプローチとしては, Maihofer らが提案した Abiding Geocast が挙げられる⁴⁾. Abiding Geocast では情報生成端末によって設定された期間, 特定地域に対して繰り返し情報の配信が行われる. 情報の配信方法に固定サーバを利用する手法や特定領域内の移動端末が動的にサーバとなる手法, 特定地域の端末が新たに遭遇した端末に配信する手法をとっている. このプロトコルに対して, 本手法では情報配信に RNC を利用する点で異なる.

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既に提案されている. 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 パケットの送信電力を周辺車両の密度を知ることで動的に変更する手法を提案している¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾. 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¹³⁾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. 本手法においても文献¹³⁾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.

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発生するブロードキャストストーム¹⁴⁾に関する解決策としては以下の手法が提案されている¹⁴⁾¹⁵⁾. 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¹⁴⁾. 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¹⁵⁾. 本手法では, 受信した 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を利用して Hello パケットに対する応答の送信確率を調整し, 高端末密度下でのデータ配信トラフィックの制御を加えている.

3. R2D2V: RNC based Regional Data Distribution on VANETs

本章ではエリア内位置依存情報配信手法 R2D2V の概要を説明するとともに新たに追加した同走車両への配信抑制オプションについて説明する.

3.1 想定環境

R2D2V では以下に示す環境を想定している.

- 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.

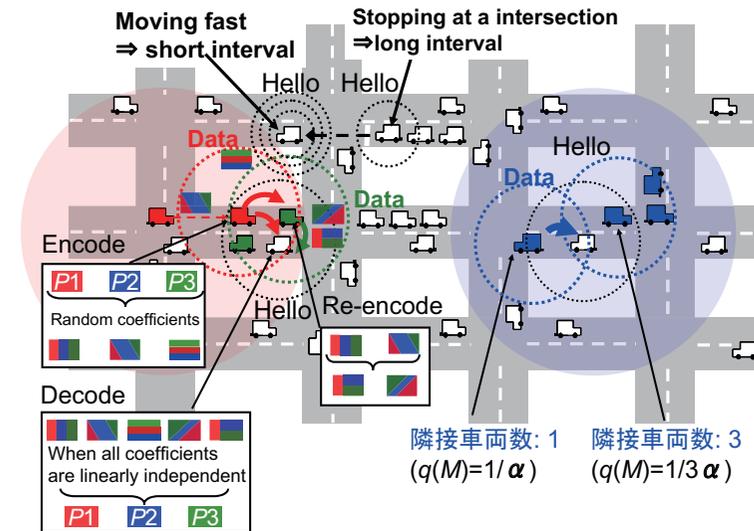


図 2 R2D2V でのデータ配信

- 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, 前回送信したデータパケットの送信時刻を含む Hello パケットをブロードキャストする.
- 端末 x は, 他端末 y から Hello パケットを受信すると, y の ID を x の保持する隣接車両リストに追加する. その Hello パケットの有効時間が経過すると, x は y の ID 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.
- 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.

表 1 Hello パケットの送信間隔

Speed [km/h]	Sending intervals [ms]
60 ~	100
40 ~	200
20 ~	300
10 ~	600
1 ~ 10	1200

3.2 データの配信動作

以下, R2D2V におけるデータの配信動作 (図 2) の概要について説明する.

3.2.1 データの符号化・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 パケットを受け取ると, 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, ある確率で断片および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, 符号化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数の合計 M が N に満たない場合は, 符号化パケット M 個のみを生成し, 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を, ランダムに N 個選択した係数を用いて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.

3.2.2 Hello パケットの送信周期の動的変更

各端末は, Hello パケットを送信する際に自身の現在の移動速度を確認する. その移動速度に基づき, 表 1 に従って Hello パケットの送信間隔を決定する.

3.2.3 Hello パケットに対するデータ配信確率の動的変更 (トラフィック抑制制御)

データを返信する際に, 隣接車両リストに含まれる他端末の総数 M から車両密度を考慮して, Hello パケットに対する配信確率 $q(M)$ を M に対して単調減少になるように以下の式で与える. α は正の実数である.

$$q(M) = \min\left(\frac{1}{\alpha M}, 1\right) \quad (1)$$

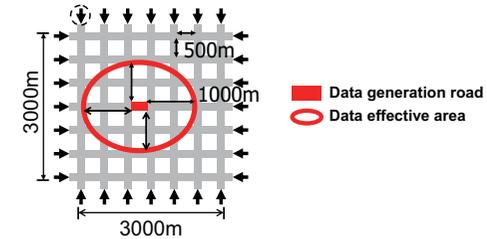


図 3 情報生成道路と情報有効領域

3.2.4 同走車両への配信抑制オプション

文献 1),2) で提案した R2D2V の動作に加えて, 本稿では R2D2V に以下の改良を施した. 車両は多くの場合, 周囲を走行している同じ車両から頻りに Hello パケットを受信することになる. 各車両が保持する隣接車両リストには, Hello パケットの有効時間内であればそれを送信してきた端末の情報が残っている. 周囲の車両が全く変わらない場合に, 同一の Hello 送信元に対して同じデータを何度も送信することは無駄である. そこで, 各車両は隣接車両リストに残っている他車両から Hello パケットを受信しても, 新たに自身が生成, あるいは他の車両から受信したデータ (情報) がない限りデータの配信動作を行わないように設定する. これにより, 車両密度高い場合におけるデータ配信トラフィックを抑制する.

4. シミュレーション評価

文献 1)2) では R2D2V が, 車両密度が高い場合において情報生成後に有効領域内全体に低遅延かつ確実なデータ配信が可能であること, 情報生成位置から離れた位置にいる端末にも低遅延でデータを配信できることを示した. しかし, 本手法の目的の 1 つである「情報生成後に新たに有効領域に進入する車両に素早くデータを配信する」ことに対する評価と本手法に用いるパラメータの効果に対する詳細な評価が行われていない. そこで本章では前章で提案したエリア内位置依存情報配信手法 R2D2V の性能を以下の点に着目してシミュレーションを行うことで評価した.

- A) 各車両の通信可能半径を大きくした場合の受信率の変化
- B) 情報生成後に新たに有効領域に進入する車両への低遅延でのデータ提供
- C) 返信確率の変更による配信の確実性とデータ配信トラフィックの間のトレードオフ

表 2 シミュレーション諸元

Parameter	Value
Simulation field [m]	3000 × 3000
Packet size of encoded frame [bytes]	1500
Packet size of Hello message [bytes]	100
Number of vehicles in the inlet flow [vehicle/h·Lane]	100, 300, 500, 700
Communication bandwidth [Mbps]	11
Communication range [m]	100, 200, 500
Data effective area range [m]	1000
Hello message TTL [s]	1
Finite field GF(2 ^m)	m=8
α of the probability of replying q(M)	0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 5

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¹⁶⁾ 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, 200, 500 [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 パケットを表 1 に従った時間でブロードキャストする。Hello パケットは、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。

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。図 3 のような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 100, 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向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。

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

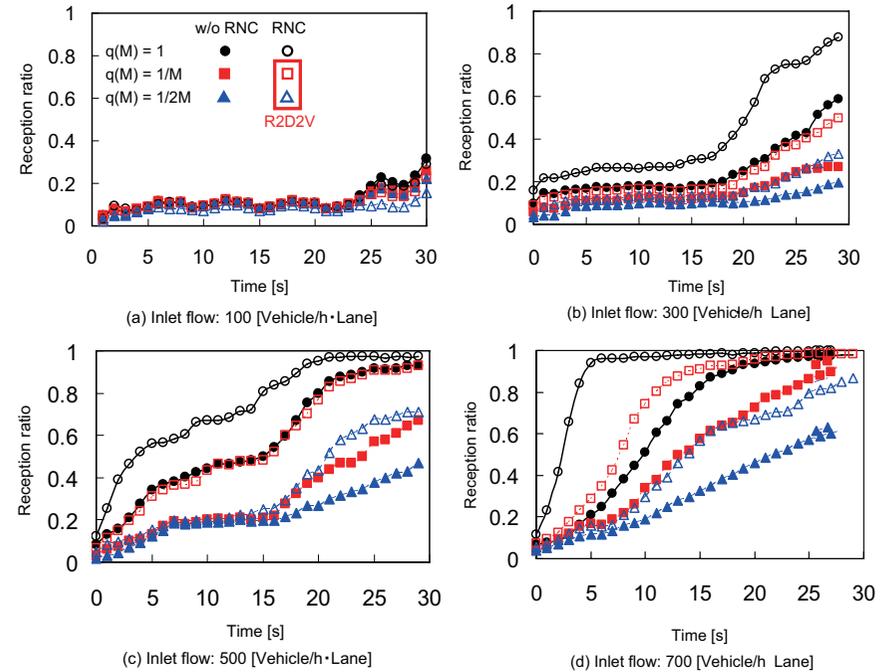


図 4 各車両の通信可能半径 100[m] の時の有効領域内の受信率

情報を生成することとした。位置依存情報のデータサイズは 7.5 [kB] であるとし、データの分割数 N は 5 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 [byte] のパケットで送信されるものとした。3 章で説明した R2D2V 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、それを保持する車両は、Hello パケット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

本章では、RNC の利用と周辺車両密度によるデータの返信確率の動的変更制御を併用したものを R2D2V とし、前節で述べた着目点で R2D2V の性能が機能しているか、または

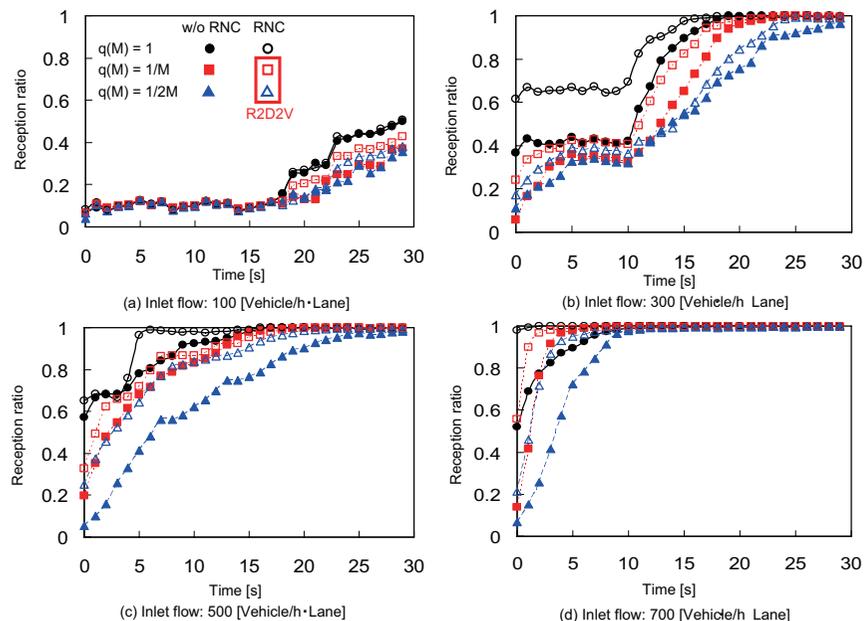


図5 各車両の通信可能半径 200[m] の時の有効領域内の受信率

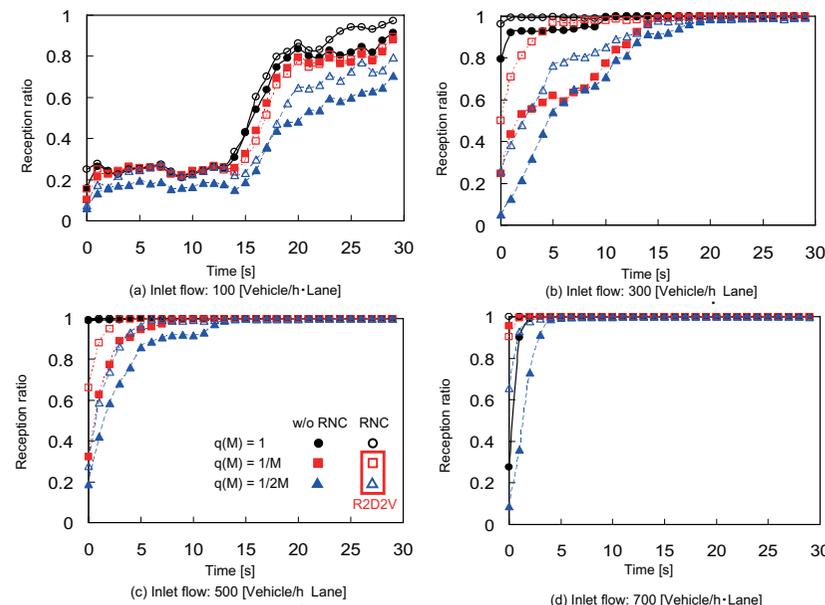


図6 各車両の通信可能半径 500[m] の時の有効領域内の受信率

それぞれの技術が機能しているかについて議論する．シミュレーション条件を表2のように設定し、各条件でシミュレーションを30回行った．なお、シミュレーションでは、前章で述べた同走車両への配信抑制オプションを動作に含めており、このオプションのトラフィックの抑制効果を確認している．以下の指標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（5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

4.2.1 各車両の通信可能半径を大きくした場合の受信率

図4, 5, 6(a)–(d)にそれぞれ、各車両の通信可能半径を100, 200, 500 [m]と変化させたときの車両流入量が100, 300, 500, 700[台/h-lane]における情報生成直後から30 [s]までの有効領域内の車両の情報受信率の変化を示す．図4～6より、通信可能半径の大きさに関わ

らず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、車両密度によるトラフィックの抑制を強くした場合、つまり $\alpha=2$ のときは、 $q(M)=1$ や $q(M)=1/M$ ($\alpha=1$) のときと比べて受信率が上昇するための時間が長くなっている．図6(a)に示されるように、流入車両台数が100[台/h-Lane]のときでは、通信半径を大きくしても情報生成後しばらくは受信率はあまり上昇しないが、情報生成後15[s]を越えると受信率が急激に上昇する．一方、流入車両台数が300, 500, 700[台/h-Lane]のとき、通信半径の大きさに関わらず、RNCを用いた場合の受信率が大きく上昇している．これより車両密度が高いときには、単純な Opportunistic 型配信よりも RNC を用いたほうが有効領域内に低遅延でのデータ配信が可能であることがわかる．

特に実質的な車両密度が最も高い図6(d)の流入車両台数が700[台/h-lane]の場合をみると、どの配信方法でも情報生成後すぐに有効領域内全体にデータが配信されていることがわかる．しかし、RNCを用いない場合で $q(M)=1$ のときと $q(M)=1/M$ のときを比較す

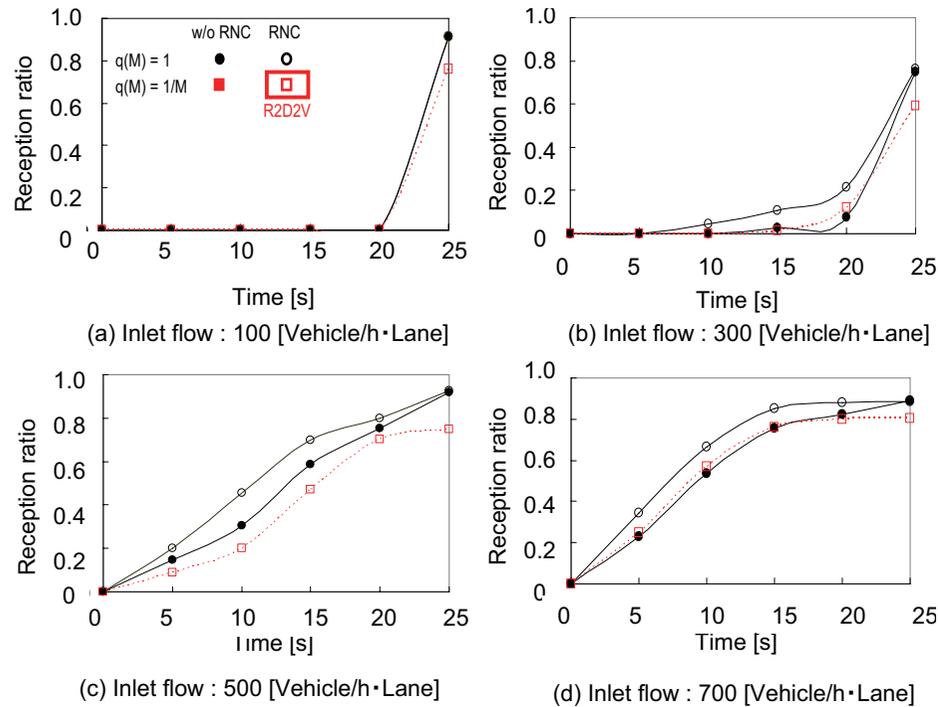


図7 情報生成後 (0,10] に新たに有効領域に入った車両がデータを受信するまでの時間と受信率の CDF

ると、返信確率を動的にしている方が受信率が高い値を示している。加えて、RNC を有効にした場合でも同様に返信確率を動的にすることで受信率が高い値を示している。これは、車両密度が高い地域でブロードキャストを続けることで、パケットロスが頻発し、全ての断片パケットを受信できる確率が低下するためである。この結果より、車両の通信可能半径が大きく、車両密度が高い場合には、周辺車両密度に基づいてトラフィックを抑制する方が良い。一方で、図4～6をみると分かるように α の値を大きくしてトラフィックの抑制を強くする ($q(M)=1/2M$) と受信率も低下してしまう。トラフィックを抑制し、かつ低遅延な配信を達成するには α の値を2よりも小さい値にするべきである。

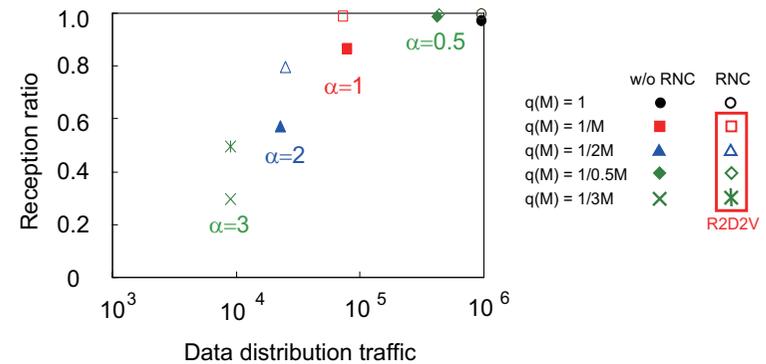


図8 データ配信トラフィックと受信率の関係

4.2.2 情報生成後に有効領域に新たに進入した車両のデータパケットの受信成功数

図7(a)–(d)に通信可能半径が100[m]のときの車両流入量100, 300, 500, 700 [台/h·lane]において、情報生成後0～10[s]の時間に新たに有効領域内に進入した車両の受信成功までにかかる時間と受信率の累積分布をそれぞれ示す。

流入車両台数が少ないときは、情報生成直後には情報の有効領域全体にデータが行き渡っていないため、有効領域に新たに進入した車両にデータを配信するには時間がかかることが分かる(図7(a)(b))。それに対して、流入車両台数が多いときは、情報生成後すぐにある程度有効領域にデータが広がるため、有効領域に新たに進入した車両のうち、10[s]以内にデータを受信できる車両が多い(図7(c)(d))。これは、提案手法に用いられている Opportunistic 型のデータ配信が機能しているといえる。しかし、図7(a)–(d)の $q(M)=1/M$ の場合(つまり R2D2V)、他の手法に比べて受信率がほぼ同等、あるいは劣ってしまっている(図7(c))。この結果から、新たに進入する車両に対して今回評価したパラメータの範囲ならびにそれを用いたトラフィックの抑制制御手法では、低遅延で渡すべきデータの配信を阻害しているといえる。

4.2.3 データ返信確率動的変更手法のトラフィック減少効果

図8に通信半径が100[m]のときの車両流入量が700[台/h·lane]における情報生成から25[s]後のデータの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 $q(M)=1$, $q(M)=1/\alpha M$ ($\alpha = 0.5, 1, 2, 3$) と変化させたところ、 α を大きくしてトラフィックの抑制制御を強くするとRNCを用いたほうがRNCを用

いない場合よりも良好な受信率が得られた。また、 $q(M) = 1$, $q(M) = 1/\alpha M$ ($\alpha=0.5, 1$) の場合を比べると、RNC を用いた場合はトラフィック抑制制御によりトラフィックが $1/10$ に減少できるものの、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。加えて、 α の値を大きくするとトラフィックの抑制にはつながるが、同時に受信率の低下にもつながる。図 8 をみると、 $\alpha = 2$ より大きくなると RNC を用いる用いないに関わらず受信率が大きく低下してしまう。この結果より、 α の値は 2 以下の数値にすべきである。

5. ま と め

本論文では、VANET におけるエリア内位置依存情報配信手法である、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 パケットの送信間隔の調整、および車両密度に応じて情報の返信確率の動的変更を組み合わせた手法 R2D2V の性能評価をシミュレーションにより検証した。シミュレーションによる詳細な評価によって以下の知見が得られた。

- 1) 各車両の通信半径が大きく、かつ車両密度が高いときは、R2D2V はランダムネットワークコーディングを用いないときよりも短い遅延で確実なデータ配信が可能。
 - 2) 有効領域に新たに進入する車両に確実にデータを配信することに関しては RNC の利用が効果的である。ただし、車両密度に応じて Hello パケットへの返信確率を変更してトラフィックを抑制する手法を用いると配信率が大きく低下する。
 - 3) $\alpha \geq 2$ になると、受信率が大きく低下する。高い受信率を得るためには一定量のトラフィックが必要である。
- 今後は、得られた知見を利用して車両密度が低いときでも確実にデータを配信できるようなトラフィック抑制手法の提案および検証と情報が多数生成される場合での検証を行っていく予定である。

参 考 文 献

- 1) 楠嶺生宏, 石原進: 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, マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO2010), pp.8-15 (2010)
- 2) Kusumine., N., and Ishihara., S.: R2D2V: RNC based Regional Data Distribution on VANETS, in Proc. of IEEE Vehicular Networking Conference 2010 (VNC2010), pp.271-278 (2010).
- 3) Ho, T., Medard, M., Koetter, R., Karger, D. R., Effros, M., Shi, J., and Leong, B.: A random linear network coding approach to multicast, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol.22, pp.107-120 (2004).
- 4) Maihofer C., Leinmuller T., and Schoch, E.: Abiding geocast: time-stable geocast for ad hoc networks, Proc. of the 2nd ACM international workshop on Vehicular Ad hoc Networks (VANET '05), pp.20-29 (2005)
- 5) 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).
- 6) Gkantsidis, C. and Rodriguez, P.: Network coding for large scale content distribution, Proc. of IEEE Infocom 2005 (2005).
- 7) Park, J. S., Gerla, M., Lun, D. S., Yi Y., and Medard M.: Codecast: a network-coding-based ad hoc multicast protocol, in Proc. of Wireless Communications, pp.76-81, (2006).
- 8) Lee, U., Park, J.-S., Yeh, J., Pau, G. and Gerla M.: CodeTorrent: Content distribution using network coding in VANET, in Proc. of MobiShare'06 (2006).
- 9) Ahmed S. and Kanhere S.-S.: VANETCODE: Network coding to enhance cooperative downloading in vehicular ad hoc networks, in Proc. of IWCMC (2006).
- 10) Moreno, T.-M., Santi, P., and 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).
- 11) Moreno, T.-M., Santi, P., and Hartenstein, H.: Distributed fair transmit power adjustment for vehicular ad hoc networks, in Proc. of IEEE communications society on sensor and ad hoc communications and networks (SECON '06), Vol.2, pp.479-488 (2006).
- 12) 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).
- 13) 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).
- 14) Ni, S. -Y., Tseng, Y. -C., et al.: The broadcast storm problem in a mobile ad hoc network, in Proc. of ACM Mobicom 99, pp.151-162 (1999).
- 15) Camp, T.: Comparison of broadcasting techniques for mobile ad hoc networks, in Proc. of 3rd ACM MobiHoc 2002, pp.194-205 (2002).
- 16) JiST - Java in Simulation Time / SWANS - Scalable wireless ad hoc network simulator: <http://jist.ece.cornell.edu/index.html>