

VANETにおけるランダムネットワーク コーディングを利用した位置依存情報配信手法の 時間・進行方向を考慮した改良

楠 嶺 生 宏^{†1} 石 原 進^{†2}

本稿では, 突発的に発生した事故や渋滞に関連する情報(位置依存情報)を VANET (Vehicular Ad hoc NETWORKs) を用いて, 情報生成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するシステムについて議論する. 筆者らは, これまでにランダム線形ネットワークコーディングと Opportunistic 型データ配信を組み合わせた RNC based Regional Data Distribution on VANETs(R2D2V) を提案している. R2D2V では, 車両密度が高い場合におけるデータの一齐配信によるパ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. しかし, R2D2V では情報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るが, 情報生成後に新たに有効領域に進入する車両(新規進入車両)に対しては期待したような迅速な情報配布が出来なかった. そこで本論文では, 新規進入車両に対する迅速な情報配布を達成するために, 車両の位置と進行方向, 情報が生成されてからの経過時間を考慮した情報配布を行う R2D2V の改良手法を提案する. シミュレーションの結果, 改良手法では車両密度が高いときにおいて R2D2V や単純な Opportunistic 型配信よりもより低トラフィックで効率的にデータを配信できることを確認した.

An improvement of location dependent information distribution using random network coding on VANETs with time and moving direction

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

In this paper, we discuss a system 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. R2D2V consists of 1) using random linear network coding to deal with packet collisions, 2) adaptively changing Hello sending intervals and 3) adaptively changing the probability of replying to Hello messages to reduce packet collisions and waste of wireless communication resources. Though R2D2V can achieve a high data delivery ratio with low data delivery traffic to vehicles in the data effective area when the vehicle density is high, it cannot delivery data with low delay to vehicles coming to the data effective area after the information was generated. To deal with this problem, we propose improvement schemes for R2D2V which control the packet transmission according to the time elapsed data generation and vehicle's moving direction. The simulation results showed that our improved methods can achieve a higher delivery ratio with low data distribution traffic and low delay when the vehicle density is high compared with R2D2V.

1. はじめに

近年, 車々間アドホックネットワーク (Vehicular Ad hoc NETWORKs: VANET) を用いて, 渋滞情報や事故情報などのある位置に関連する情報(位置依存情報)を車々間で共有することが期待されている. VANET ではサービスの利用範囲の制限が少なく, 通信インフラの設置や管理を必要としないために低コストでサービスを提供することができる. 筆者らは, 交通事故や渋滞が局所的に発生したとき, 各車両が自車の車載カメラで現場を撮影し, その画像を VANET を用いて情報が生成された位置周辺(以下, 有効領域と記述)に存在する車両に対して低遅延で配信して車両間で共有するアプリケーションの実現を目標として, ランダム線形ネットワークコーディング (RNC³⁾) と Opportunistic 型データ配信⁴⁾ を組み合わせた手法 RNC based Regional Data Distribution on VANETs (R2D2V)¹⁾²⁾ を既に提案している.

VANET における一般的なプッシュ型の情報配信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パケットを受信した全ての端末が受信したパケットをブロードキャストすることを繰り返すだけであり, 冗長なパケット転送が多く行われる(プ

^{†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

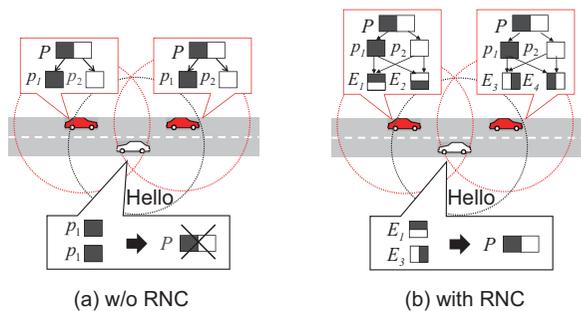


図 1 VANET における RNC を利用した情報配信の利点

ロードキャストストーム問題)．また，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ため，情報生成後新たに情報の配信範囲にやってくる車両(以下，新規進入車両と表記)はその情報を受信できない．一方で，プッシュ型の情報配信ではなく車両同士が遭遇した時にデータの転送を行う Opportunistic 型の情報配信⁴⁾⁵⁾がある．この Opportunistic 型の情報配信では，情報保持車両が新たな車両と遭遇した時に，自身の持つ情報をその車両に対して配信するため，情報生成後に情報の配信範囲にやってくる車両に対しても情報配信が可能である．筆者らの提案する R2D2V では，各車両が定期的に送信しているパケット(以下 Hello パケット)を情報保持車両が保持情報の有効領域内で受信した場合に，必要とされているデータを送信する．しかし，このデータ配信方法では車両密度が高い場合，多くの車両が送信した Hello パケットに対して多くの車両がデータを配信するため，無線通信帯域の浪費，パケットロスの誘発を招いてしまう．そこで，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情報を必要とする車両へのデータ到着率を向上させるために，RNC を利用することを考える．

RNC では，端末がランダムに選択した係数と複数のパケットを線形結合により組み合わせさせて符号化パケットを生成する．各端末が送信毎にランダムに係数を選択し，パケットに対して符号化処理をすることで，多種の符号化パケットが生成される．この多種の符号化パケットを受信した端末は各パケットに含まれるそれぞれの係数が互いに線形独立であれば元のパケットに復号することが出来る．VANET では車両が自律的に移動を行うため，車両同士が協調して情報を配信することが困難である．図 1 のように，車両 C が送信した Hello

パケットに対して，2 台の車両(車両 A, B) が 1 回のブロードキャストでは配信しきれない大きさの保持情報を配信するケースを考える．ここでは簡単のため，配信されるデータ P を 2 つに分割して配信する場合について説明する．図 1(a) のように RNC を用いない場合には，車両 A, B がそれぞれデータ P を p_1 と p_2 に分割し，車両 C に対してブロードキャストする．このとき，パケットロスによって車両 C が p_1 しか受信できないと，車両 C は元のデータ P を復元することが出来ない．次に，図 1(b) のように RNC を用いると，車両 A, B はそれぞれがランダムに選択した係数を用いて p_1, p_2 を符号化し，それぞれ E_1, E_2 および E_3, E_4 の符号化パケットを生成してブロードキャストする．ここで，パケットロスによって車両 C が E_1, E_3 しか受信できなかったとする．このとき車両 C は E_1, E_3 に含まれるそれぞれの係数を参照し，互いの係数が線形独立ならば，元のデータ P に復元することが出来る．このように RNC を用いることで，各車両が符号化したパケットを配信するだけで，パケットロスが起こりやすく，車両同士が協調して通信を行うことが困難な条件でも Hello 送信車両がデータを受信できる可能性が高まる．R2D2V ではこの RNC の利用に加えて，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利用することで車両へのデータ到着率の向上を可能にする．

これまでに行った性能評価では，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で，より確実にデータ配信が可能であることが分かっている²⁾．しかしながら，新規進入車両に対しては期待したような迅速な情報配布は出来なかった¹⁾．R2D2V では周辺車両の台数に基づいて，Hello パケット受信後のデータ返信確率を小さくするようにしている．本来，新規進入車両のような情報生成位置から離れた位置にいる車両に対しては情報を短時間で配信する必要がある．しかしながら，R2D2V では場所や時刻に関係なく周辺車両の数のみで返信確率を決定するため，車両密度が高い場合には返信確率が極端に小さくなってしまふ．このため，新規進入車両に対するデータの配信回数が低下していた．従って，新規進入車両に対しては高い確率でデータを配信するように，車両密度以外の条件を用いてデータ送信確率を制御する必要がある．このためのパラメータとしては，データ生成後からの経過時間，車両の進行方向，車両と情報生成位置間の距離，各車両の情報受信回数等が考えられるが，本稿ではデータ生成後からの経過時間，車両の進行方向，ならびに車両と情報生成位置間の距離に着目して R2D2V を改良し，新規進入車両に対する迅速な情報配布を行う手法を提案する．

以下，2 章で関連研究について述べ，3 章ではエリア内位置依存情報配信手法 R2D2V の

動作と性能の問題点について説明し、その解決策として車両の進行方向、データが生成されてからの経過時間を踏まえた R2D2V の改良手法の動作について説明する。4 章で改良手法のシミュレーションによる性能評価の方法とその結果について述べ、改良手法が単純な Opportunistic 型配信や R2D2V に比べ、新規進入車両に対して短時間での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を述べる。

2. 関連研究

特定エリア内における情報配布の代表的なアプローチとしては、Maihofer らが提案した Abiding Geocast が挙げられる⁶⁾。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送が行われる。文献 6) では、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が提案されている。また、屋代らは Nomadic Agent (NA) と呼ばれるインフラに依存しない位置情報サービス提供システムを提案している⁷⁾。NA では、モバイルエージェントが特定の物理的エリア内に存在する端末上に留まり、位置依存情報を周辺端末に提供する。端末が存在する限り、その場所に情報が留まり、その近傍に移動してきた端末が情報を取得できる。Abiding Geocast や NA に対して R2D2V では、RNC を用いる点で異なる。

MANET に RNC を用いた例として、松田らは、MANET 上でのブロードキャスト通信において RNC を用いることで、パケットロス回避する方式を提案している⁸⁾。また、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ている⁹⁾。Codecast 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 を用いて符号化することによって符号化パケットを生成した後、ブロードキャストする。パケットを受信したノードは、そのパケットを再符号化してブロードキャストするか、複数個の符号化パケットから元のデータパケットへ復号する。これに対し、R2D2V やその改良手法では RNC を利用した情報配信に加えて、周辺車両密度、位置、進行方向、時間によるトラフィック制御を組み合わせている点で文献 9) と異なる。

端末密度の高いアドホックネットワークでのフラディングにおいて発生するブロードキャストストームに関する解決策は数多く提案されているが、代表的なものとしては以下の手法がある¹⁰⁾¹¹⁾。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に基づき

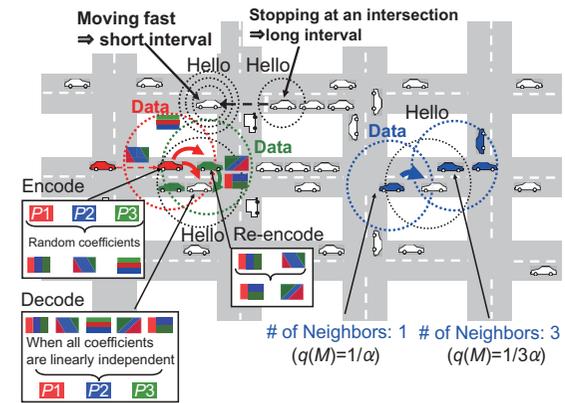


図 2 R2D2V でのデータ配信

ブロードキャストを行うかどうかの決定をする¹⁰⁾。Williams らは、ブロードキャストする端末を確率的に選択する手法を提案している¹¹⁾。これらの手法に対して R2D2V や改良手法では、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、高端末密度環境でのデータ配信トラフィックの制御を加えている。

また、Tung らは、VANET におけるブロードキャスト利用のデータ配信の効率化のために、道路セグメントに従って車両をグループ化し、車両の進行方向を踏まえたうえで次ブロードキャスト転送車両を選択する手法を提案している¹²⁾。転送先の車両を限定することで高車両密度時でのブロードキャスト配信時に発生するブロードキャストストームを回避し、各車両が持つデータを効率的に配信可能である。改良手法でも同様に、進行方向を踏まえて、ブロードキャストする端末を選択するが、情報配信に RNC を用いている点で異なる。

3. 時間・進行方向を考慮した R2D2V (RNC based Regional Data Distribution on VANETs) の改良

本章ではまず、本手法のベースとなる R2D2V²⁾ の動作概要と、これまでに R2D2V の性能評価で明らかになった課題について説明する。そして、その課題を解決するための改良手法の動作概要について説明する。

3.1 R2D2V: RNC based Regional Data Distribution on VANETs

R2D2V は、RNC と Opportunistic 型のデータ配信を組み合わせたエリア内情報配信手法である。R2D2V では、高車両密度地域における複数車両による情報の冗長配信に伴う無線通信帯域の浪費、多数の車両の一斉配信によるパケットロスを回避するために、RNC、車速に応じた Hello パケットの送信間隔の動的変更、周辺車両密度に応じた Hello パケットに対するデータ返信確率の動的変更を利用している (図 2 の青色の車両)。以下で、R2D2V での情報配信動作について説明する。

3.1.1 R2D2V での情報配信動作

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 パケットを受信すると、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 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 N 個から符号化パケットを N 個生成し、符号化係数と共にブロードキャストする (図 2 の赤色の車両)。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 (図 2 の緑色の車両)。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、存在しないパケットを表すためにパケットの一部の係数を 0 として線形演算を行う。

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 個に含まれるそれぞれの係数が互いに線形独立である場合、情報を復元する。係数が線形独立でなく、復元できなければ受信した符号化パケットをそのまま保持し続ける。

3.1.2 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 3.1.2 に従って Hello パケットの送信間隔を決定する。

3.1.3 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。

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

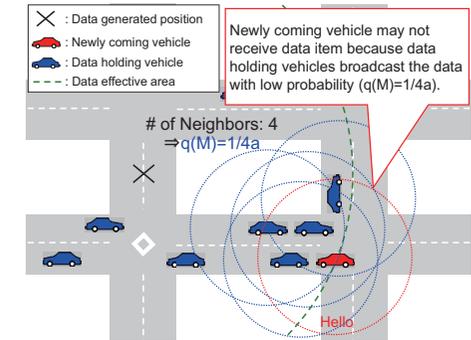


図 3 R2D2V の性能に関する問題点

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

3.2 R2D2V の性能に関する課題

これまで提案してきた R2D2V の性能をシミュレーションにより評価した結果、R2D2V では有効領域内に短時間でデータを配信可能であるが、新規進入車両に対する情報配信の遅延が RNC を利用したのみの場合と比較して大きくなってしまふことが分かった¹⁾。R2D2V が行っている周辺車両密度を考慮したトラフィック抑制制御では、場所や時刻に関係なく、周辺車両の数のみに基づいて Hello パケットに対するデータの返信確率を決定するために、車両密度が高い地域においてデータ保持車両が保持データをブロードキャストしない可能性が高くなってしまふ。これによる配信パケット数の低下が、新規進入車両に対する短時間での配信率の低下を招いていた (図 3)。この課題を解決し、新規進入車両への迅速な情報配布を達成するためには車両密度だけでなく、データ生成後からの経過時間、車両の進行方向、車両と情報生成位置との距離、各車両のデータ受信回数、等によるデータの配信回数の適当な制御が必要であると考えられる。本稿では、データ生成後からの経過時間と車両の進行方向、ならびに車両と情報生成位置との距離に着目する。

R2D2V では、有効領域でデータの有効期限の間データを配信し続けることによりその領域内の車両への配信率を高める。しかしながら、情報生成後しばらくしてから有効領域に進入するような車両に対しては、データを保持している車両が多く存在することが考えられるため、必ずしもデータ保持車両全てがデータを配信する必要はない。従って、新規進入車両への確実な情報配信のためには、データが生成されてからの経過時間によるトラフィック制

御が効果的であると考えられる。

他方、新規進入車両の進入位置付近での確実なデータ配信を行うには、配信データを必要とするであろう車両、すなわち情報生成位置に近づくような車両に対してのみ優先的にデータを配信することが考えられる。情報生成位置から離れるように走行する車両に対してデータを配信しても、その車両にとっては既に受信している、あるいはそのデータを必要としない、といったケースが想定されるためである。

これらを踏まえて、本稿では R2D2V にデータ生成後からの経過時間、車両の進行方向を考慮した改良手法を提案する。

3.3 R2D2V の改良手法の設計

以下、改良手法の適用範囲について述べた後にそれぞれの情報配信動作について説明する。

3.3.1 R2D2V の改良手法の適用範囲

R2D2V では、車両密度が高い地域における有効領域内での情報配信は、短時間で確実に配布できることが確かめられている¹⁾。そこで改良手法では、情報生成位置付近は R2D2V の情報配信方法をそのまま利用することとし、新規進入車両の進入位置付近の動作のみ改良する。データ生成位置から Hello 送信車両の位置までの距離 $r (r > 0)$ に対して、閾値 $r_t (r_t < L)$ を設定し、 $0 < r < r_t$ の範囲では各車両は R2D2V を適用した情報配信を行う。一方、 $r_t \leq r < L$ の範囲では、新規進入車両への配信率を高めるためにデータ生成後からの経過時間、車両の進行方向、車両と情報生成位置間の距離を考慮した情報配信動作を行う。

3.3.2 データ生成後からの経過時間を考慮した情報配信方法 (R2D2V-T)

R2D2V-T では、データが生成された時刻からの経過時間に伴って、各車両のデータ配信確率を変更させる。データ保持車両は、新規進入車両から Hello パケットを受信すると、自身の現在位置と Hello 送信車両の現在位置が自身の保持するデータの生成位置に対してどちらが近くにいるかを把握する。Hello 送信車両のほうがデータ保持車両よりも情報生成位置から離れている場合のみ、データ保持車両は、以下に示すような自身が保持するデータの生成されてからの経過時間 T に従った Hello パケットに対する配信確率 $q(T)$ で符号化パケットを送信する。 β は正の実数である。それ以外の場合、何も送信しない。

$$q(T) = \min\left(\frac{\beta}{T}, 1\right) \quad (2)$$

3.3.3 車両の進行方向を考慮した情報配信方法 (R2D2V-D)

R2D2V-D では、データ保持車両と Hello 送信車両の進行方向の関係によってデータを配信するか決定する。データ保持車両は、新規進入車両から Hello パケットを受信すると、

表 2 R2D2V-D におけるデータ保持車両の保持データ送信条件

Hello 送信車両の動き	データ保持車両と 同じ方向に進行 ($0^\circ \leq \theta < 90^\circ$)		データ保持車両と 異なる方向に進行 ($90^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$)	
	生成位置に近づく	生成位置から離れる	生成位置に近づく	生成位置から離れる
データ保持車両の 方が生成位置に近い	送信	—	送信	—
Hello 送信車両の 方が生成位置に近い	送信	—	送信	送信

自身の現在位置と Hello 送信車両の現在位置が自身の保持するデータの生成位置に対してどちらが近くにいるかを把握する。その後、データ保持車両は自身の進行方向と Hello 送信車両の進行方向のなす角度 θ によってデータを配信するかどうかを決定する。データ保持車両の Hello 送信車両に対するデータ配信条件を表 2 に記すように設定した。この条件の中で、データ保持車両が Hello 送信車両に対して保持データを配信しないのは、データ保持車両と Hello 送信車両が互いに同じ方向に進行して車両が情報生成位置から離れるような場合と、データ保持車両と Hello 送信車両が互いに異なる方向に進行して Hello 送信車両が情報生成位置から離れるような場合である。それ以外の条件では、データ保持車両は Hello 送信車両に対して自身の持つ保持データより生成した符号化パケットを必ず送信する。

3.3.4 データ生成後からの経過時間と進行方向を考慮した情報配信方法 (R2D2V-TD)

R2D2V-TD では、データ生成後からの経過時間と車両の進行方向を踏まえてデータの配信を行う。データ保持車両は、新規進入車両から Hello パケットを受信すると、自身の現在位置と Hello 送信車両の現在位置が自身の保持するデータの生成位置に対してどちらが近くにいるかを把握する。データ保持車両は、自身よりも情報生成位置から離れていて、情報生成位置に近づくような Hello 送信車両に対してのみ、式 (2) に従った確率で符号化パケットを送信する。それ以外の場合では、データ保持車両は何も送信しない。

4. シミュレーション評価

前章で提案した改良手法の性能をシミュレーションを行うことにより評価した。

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¹³⁾ を用いた。車両の移動する領域として $3000 \text{ [m]} \times 3000 \text{ [m]}$ 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

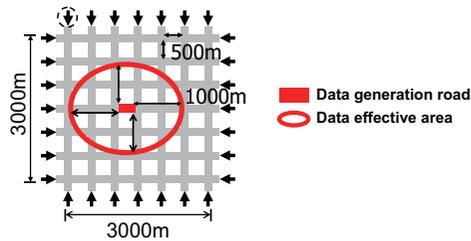


図 4 情報生成道路と情報有効領域

表 3 シミュレーション諸元

Parameter	Value
Simulation field [m]	3000 × 3000
Packet size of encoded frame [bytes]	1000
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]	200
Data effective area range [m]	1000
r_t [m]	150, 850
Finite field GF(2^m)	$m=8$
α	0.5, 1, 2
β	0.5, 1

用い、通信帯域幅を 11 [Mbps]、通信可能半径を 200[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 パケットを自身の速度に合った間隔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 3 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 4 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。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 4[kB] であるとし、データの分割数 N は 4 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 1000 [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 の改良手法と比較するため、この方法の他に、R2D2V と、RNC を用いない単純な Opportunistic 型の通信方法でのシミュレーションも行った。この RNC を用いない方法では、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 $q(M) = 1$ に従って、

RNC による符号化を用いないでブロードキャストする。

4.2 シミュレーション結果

シミュレーションによって得た結果を以下に示す。本節では、改良手法が新規進入車両に対して短時間かつ低トラフィックで配信可能であるか議論する。各条件でシミュレーションを 100 回行った。これより、以下の指標を比較することで性能を評価する。

- 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データの断片(4 個)を受信できた端末の割合。
- データの配信トラフィック：有効領域内で配信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 新規進入位置付近の車両の受信率

図 5(a)–(d) に $r_t=850$ [m]、車両流入量が 700, 500, 300, 100[台/h·lane] における情報生成後 5 ~ 15[s] の時間に新たに 850 [m] $< r < 1000$ [m] の有効領域内に進入した車両(新規進入車両)の受信率をそれぞれ示す。この図では、RNC を使用しない場合で $q(M) = 1$ の場合と R2D2V($\alpha=1$), R2D2V-D, R2D2V-T($\beta=1$), R2D2V-TD($\beta=1$) の場合をプロットしている。

車両流入量が最も大きい 700[台/h·lane] の場合(図 5(a)) をみると、どの配信方法でも情報生成 5 秒後には新規進入車両に対して、データを配信できている。その中でも R2D2V-TD($\beta=1$) が最も短時間で情報を配信できている。また、R2D2V-T($\beta=1$) と R2D2V-D が R2D2V-TD の次に高い受信率を示しているが、両方式間の受信率に大きな差は見られない。いずれの改良方式も、改良前の R2D2V ($\alpha=1$) よりも短時間でデータを配信できてい

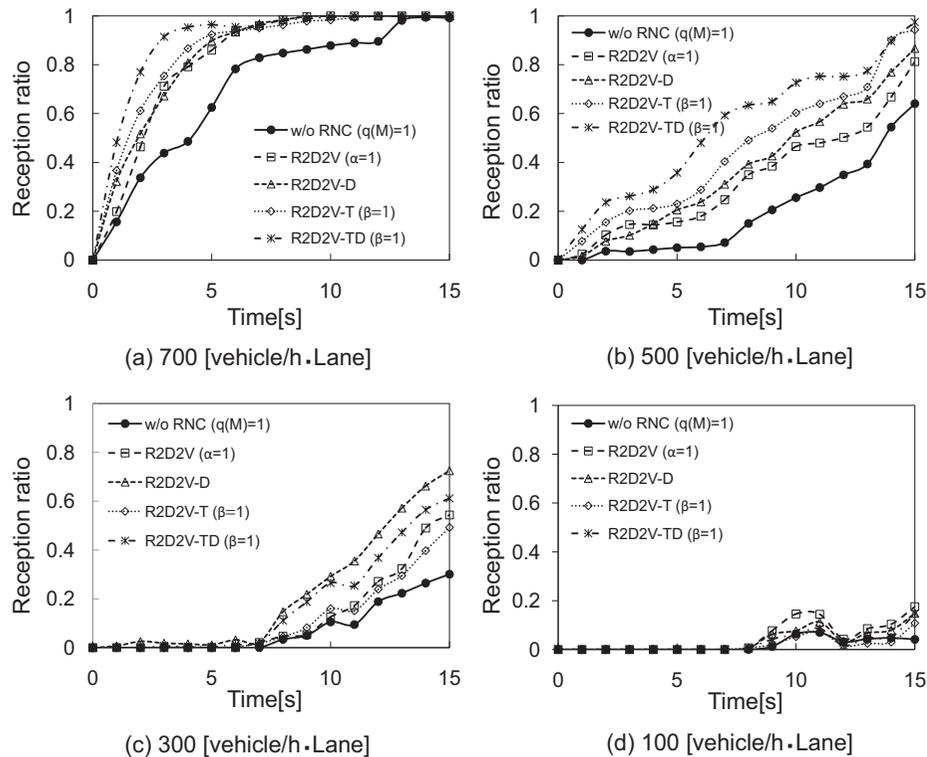


図5 情報生成後(5,15)で新たに850[m]r1000[m]の有効領域に進入した車両の受信率の変化

る。R2D2V で用いている車両密度によるトラフィックの抑制は高車両密度環境においては、極端にデータの返信確率を低下させてしまう。それに対し、改良方式のように、データ生成後からの経過時間や車両の進行方向によって、配信確率を低減させるほうが、短時間でデータを効果的に配信できるといえる。

次に、車両流入量が500[台/h.lane]の場合をみると、車両流入量が700[台/h.lane]とほぼ同じく、R2D2V-TDが最も短時間で情報を配信できることがわかる。3つの改良方式のいずれも、改良前のR2D2Vよりも短時間で情報を配信できている。

一方、車両流入量が300[台/h.lane]の場合では、車両台数が少ないためにどの情報配信

手法を利用しても新規進入車両がデータを受信するにはしばらく時間がかかる。車両密度が高い場合では、R2D2V-TDとR2D2V-Tが有効であったが、車両密度が低い場合では、R2D2V-Dが最も良い受信率を示している(図5(c))。その次に、R2D2V-TD、R2D2V-Tの受信率が良い。この理由としては、車両密度が低い場合においてR2D2V-TDやR2D2V-Tのように単純にデータの経過時間に従って配信確率を減少させると、情報生成後に有効領域に車両が多く存在しない場合、情報が広範囲に配信されないことが考えられる。そのため、車両密度が低い場合では、経過時間に従った送信制御を行わず、進行方向を利用してデータの配信率を高めるR2D2V-Dの方が相対的に良く効果が得られている。

車両流入量が最も小さい100[台/h.lane]の場合では、いずれの方式を用いても受信率はあまり向上しない。これは、有効領域内の車両台数が少なく、短時間で広範囲に情報を配信することができないためである。

4.2.2 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6(a)に車両流入量が700[台/h.lane]における情報生成から5[s]後までのデータの配信トラフィックと情報有効領域内の全車両の受信率、同図(b)に車両流入量が300[台/h.lane]における情報生成から15[s]後までのデータの配信トラフィックと情報有効領域内の全車両の受信率の関係を示す。これらの図より、単純なOpportunistic型のデータ配信よりも、データ配信にトラフィック制御を加えたほうが情報有効領域全体での受信率が総じて良く、中でも図6(a)ではR2D2V-TDが、図6(b)ではR2D2V-Dが、最も低トラフィックで高い受信率を示していることが分かる。

車両密度が高い場合(図6(a))、R2D2V-T($\beta=1$)とR2D2V-Dも高い受信率を達成しているが、R2D2V-TDと比較すると、どちらもトラフィックが多い。また、R2D2V($\alpha=1$)とR2D2V-TD($\beta=1$)の場合を比較すると、トラフィックの差はわずかであるものの、R2D2Vの方が受信率が低い。これらの結果より、車両密度が高い地域ではR2D2V-TDが今回提案した改良方式の中で最も高い効果があることが分かる。特にR2D2V-TDは、R2D2Vに対して、同程度のトラフィックで約1.3倍の受信率を得られている。

一方で、車両密度が低い場合(図6(b))でも、3つの改良方式はR2D2V($\alpha=1$)よりも高い受信率が得られている。しかしながら、車両密度が高い場合ではR2D2V-TDが最も高い効果があるのに対し、車両密度が低い場合にはR2D2V-Dが改良方式の中で最も高い効果があることが分かる。有効領域内の車両の台数が少ない状況において、データ生成後からの経過時間のみを踏まえた確率を利用して情報を配信しようとする、情報生成後に有効領域内の広範囲にデータを配信することが出来ず、新規進入車両に対する情報配信に遅延が

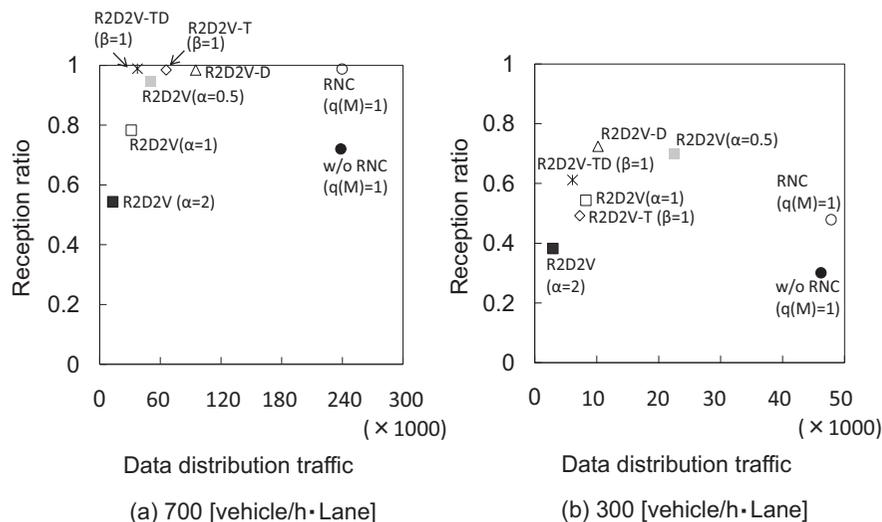


図 6 データ配信トラフィックと受信率の関係

生じてしまう．そのため，ここでは単純に経過時間だけでトラフィックを抑制するのではなく，車両の進行方向によってトラフィックを抑制するほうが効果が高い．

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，RNC，車両速度による Hello パケットの送信間隔の調整，および車両密度に応じたデータの返信確率の動的変更を組み合わせた手法 R2D2V にデータ生成後からの経過時間，車両の進行方向および車両と情報生成位置間との距離を考慮して改良した手法を提案した．改良手法では，i) データ生成後からの経過時間を考慮したデータの返信確率の変更 (R2D2V-T)，ii) 情報生成位置に近づく車両に高い確率でデータを送信する (R2D2V-D)，iii) データ生成後からの経過時間と車両の進行方向を考慮したデータ送信 (R2D2V-TD) によって車両密度が高い場合における新規進入車両への迅速な情報配布を可能にする．シミュレーションの結果，改良手法である R2D2V-T，R2D2V-D，R2D2V-TD は，R2D2V よりも有効領域内で短時間に情

報を配信可能であることが確かめられた．特に，R2D2V-TD は，車両密度が十分高い場合には，R2D2V よりもデータの配信速度を約 1.3 倍向上させることが可能であり，新規進入車両の進入位置付近で低トラフィックかつ短時間なデータ配信を達成するための手法として適していることが確認できた．しかしながら，車両密度が低いところでは R2D2V-TD よりも車両の進行方向によって配信確率を変更する R2D2V-D のほうが高い効果が得られることも分かった．これは，車両密度が低い時にはデータを保持する車両の増加速度が低いいため，単純に経過時間に基づいてデータ送信を抑制すると，本来配信すべきタイミングでのデータの送信が行えなくなるためである．今後，単純に時間のみを踏まえた配信方法だけではなく，配信済のデータ量の推定値を用いる等の検討の必要がある．

謝辞 本研究は，科学研究費補助金基盤研究 (B) 「リアルタイム画像カーナビのための効率の車々間データ配信技術 (課題番号 23300024)」の助成によるものである．ここに記して謝意を示す．

参 考 文 献

- 1) 楠嶺生宏, 石原進: 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, 情報処理学会研究報告高度交通システム (ITS), vol.7, pp.1-8 (2011).
- 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 Transactions on Information Theory pp.4413-4430 (2006).
- 4) Xu, B., Ouskel, A. and Wolfson, O.: Opportunistic Resource Exchange in Inter-vehicle Ad-hoc Networks, Proc. IEEE MDM'04, pp.4-12 (2004).
- 5) Vahdat A. and Becker. D.: Epidemic routing for partially-connected ad hoc networks, Technical Report CS-2000-06, Duke University, (2000).
- 6) Maihofer, C., Leinmuller, T. and Schoch, E.: Abiding geocast: time-stable geocast for ad hoc networks, Proc. 2nd ACM international workshop on Vehicular Ad hoc Networks (VANET'05), pp.20-29 (2005)
- 7) 屋代智之, LaPorta, T. F.: Nomadic Agent System : インフラに依存しない位置情報サービス提供システム, 情報処理学会論文誌, vol.46, no.12, pp.2952-2962 (2005).
- 8) 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).
- 9) Park, J. S., Gerla, M., Lun, D. S., Yi Y. and Medard M.: CodecCast: a network-

coding-based ad hoc multicast protocol, IEEE wireless communication magazine, vol.13, no.5, pp.76–81, (2006).

- 10) Ni, S. -Y., Tseng, Y. -C., et al.: The broadcast storm problem in a mobile ad hoc network, Proc. ACM Mobicom 99, pp.151–162 (1999).
- 11) Camp, T.: Comparison of broadcasting techniques for mobile ad hoc networks, in Proc. of 3rd ACM MobiHoc 2002, pp.194–205 (2002).
- 12) Tung L.-C. and Gerla M.: An Efficient Road-Based directional Broadcast Protocol for Urban VANETs, Proc. IEEE Vehicular Networking Conference 2010 (VNC2010), pp.9–16 (2010).
- 13) JiST - Java in Simulation Time / SWANS - Scalable wireless ad hoc network simulator: <http://jist.ece.cornell.edu/index.html>