

車車間通信を利用した局地的交通情報の共有方式に関する一考察

吉川 潤^{†1} 齋藤 淑^{†1} 小花 貞夫^{†1}

ドライバが道路や交通の状況に応じて走行できるように, 車車間通信により渋滞や事故, 路面状態など性質の異なる様々な局地的な交通情報を周辺車両で効率的に配布することによって運転中の快適性や安全性の向上を目的とし, 交通情報を多くの車両間で共有するための方式を提案する. 本方式は, 交通情報の種類ごとに異なる配布距離および配布方向の制御により, 高トラヒック時の冗長な通信を削減することを特徴とする. 一般道での交通状況を模したシミュレーションにより, 本方式の性能評価を行い, 情報生成頻度が高い場合での情報拡散率, 通信トラヒックの削減等の観点から有効性を示した. 提案方式によって, 拡散率は方向制御を行わない方式(比較方式 1)から 14%, 範囲制御を行わない方式(比較方式 2)から 204%の向上し, 総送信回数では, 比較方式 1 から 38.0%~82.6%, 比較方式 2 から 55.6%~94.0%の送信回数を削減できた.

Study on Efficient Local Traffic Information Sharing by Inter-vehicle Communications

JUN YOSHIKAWA^{†1} KIYOSHI SAITO^{†1} SADA OOBANA^{†1}

1. はじめに

高度道路交通システム(ITS: Intelligent Transport Systems)では, 人, 道路や自動車の間での情報の受発信を行い, 道路交通が抱える事故や渋滞, 環境対策など様々な課題を解決することを目的としている. 中でも, 近年では車車間通信により, お互いの位置・速度情報等を頻繁に交換して衝突を防止するシステムの研究開発が行われてきている¹⁾が, 今後は, 安全運転のみならず, エコドライブや運転の快適性・利便性向上を図るシステムの実現により, 一般車両による車載器の積極的な導入が強く期待される. 筆者らは, ドライバが道路や交通の状況に応じて走行できるように, 車車間通信により渋滞や事故, 路面状態など性質の異なる様々な局地的な交通情報を周辺車両で効率的に配布することによって運転中の快適性や安全性の向上を目的とし, 交通情報を多くの車両間で共有するための方式を提案する. 本方式は, 交通情報の種類ごとに異なる配布距離および配布方向の制御により, 高トラヒック時の冗長な通信を削減することを特徴とする. 一般道での交通状況を模したシミュレーションにより, 本方式の性能評価を行い, 情報生成頻度が高い場合での情報拡散率, 通信トラヒックの削減等の観点から有効性を示す.

2. 局地的な交通情報共有の概要とその課題

局地的な交通情報の共有とは, 事故や緊急車両の存在などといった広範囲ではない特定の地理的範囲に低遅延で知らせるべき局地的な交通情報をその地理的範囲内に存在する車両間で共有する. 道路を走行する車両はそのような局地的な交通情報共有を行うべき事象を観測した時点で情報を生成し, ブロードキャストを行う. 情報生成車両から情報を受信した車両は, 地理的条件や情報の種類に応じた制御下で情報の再転送を繰り返し, 必要な範囲内の車両との情報共有を実現する. これを実現するには次のような課題がある.

(a) パケットを転送する車両の適切な選択

すべての車両が情報の再転送を行うと通信トラヒックが圧迫されパケットの衝突が頻繁に起きてしまう. そのため, 再転送を行うべき車両を適切に選択する必要がある.

(b) 情報の種類に応じた配布制御

ドライバが必要とする交通情報には, 表 1 に示すように様々な種類があり, 情報の種類によって配布すべき範囲(距離や方向), 緊急度が異なる. そのため 1 つのチャンネルで全ての情報を, 同一の範囲に向けて配布を行うと通信トラヒックが圧迫されてしまうため情報の種類ごとに適切な範囲制御を行う必要がある.

3. 従来方式とその課題

交通情報を周囲の車両に配布する先行研究が行われており, それらには路側機の設置を前提とし, 車車間+路車間通信で情報パケットを転送し, 拡散率を向上させている方式²⁾もあるが, 路側機の設置を前提とする場合, 実現に

^{†1} 電気通信大学大学院 情報理工学系研究科情報・通信工学専攻
Department of Communication Engineering and Informatics, Graduate School of
Informatics and Engineering The University of Electro-Communications

はインフラの整備が必要となり、設置コストや運用コストに加え、インフラ整備がされていない場所では利用できないという大きな課題が残るため、本提案では車車間通信のみを利用する。情報を転送する中継車両の選択方法として最遠車両を選択する方式^{3,4)}と交差点車両を選択する方式²⁾などが存在し、最遠車両を中継車両に選択する場合、遠方の車両に最短ホップ数で到達するという利点がある。また、交差点車両を中継車両として選択する場合には、都市部など道路以外の領域に建造物が存在し、電波が遮蔽される環境において、交差点内に存在する車両のみが多方向の車両へ通信を行えるため、パケットの拡散率の向上に繋がる。緊急度を考慮した方式^{3,6)}では、IEEE802.11e 標準で規定される Enhanced Distributed Channel Access(EDCA)やポーリング等のアクセス制御を用いて高緊急度の情報を優先的に転送し、低遅延化を実現している。しかしながら、これらの方式では、情報の種類に関わらず全ての情報が同一の範囲に配布されることで、情報の種類によっては不必要な通信が行われており、情報生成頻度の高い場合では著しく配布性能が低下することが懸念される。

本稿では、車車間通信を用いて、配布範囲制御により拡散率の向上と通信トラフィックの削減を目的とした車車間の局地情報共有方式を提案する。

4. 局地的交通情報共有方式の基本設計

提案方式における処理の流れを図1に示す。図1に示された各機能(1)~(3)を順番に説明していく。

(1) 情報の配布範囲制御(新機能)

配布する交通情報には配布範囲(距離と方向)のパラメータを設定し、その配布範囲外では転送はせず、範囲内でのみ情報の配布を行う。情報ごとの配布範囲を表1に示す。情報生成車両の進行方向を0度とし、情報ごとの配布角度内を配布方向とする。渋滞情報の例では、渋滞を観測した車両より後方の車両に渋滞の存在を知らせる必要があるため、図2のような配布範囲とする。

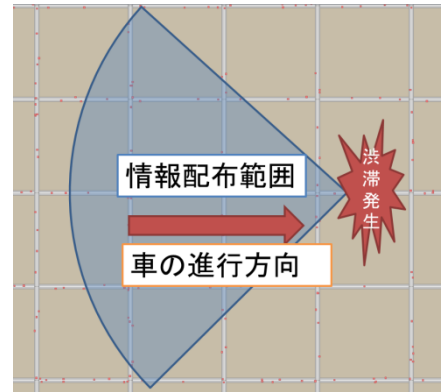


図2 情報配布範囲の例

表1 交通情報の種類(例)

情報	緊急度	配布範囲	配布方向	配布角度	検出方法
事故	高	中	進行方向逆向き	90度	エアバッグ検知
緊急車両	高	中	進行方向	90度	緊急車両による発信
急ブレーキ	高	狭	進行方向逆向き	30度	加速度センサー
通行止め	中	中	両方向	全方位	ドライバーの入力
渋滞	低	広	進行方向逆向き	60度	平均速度

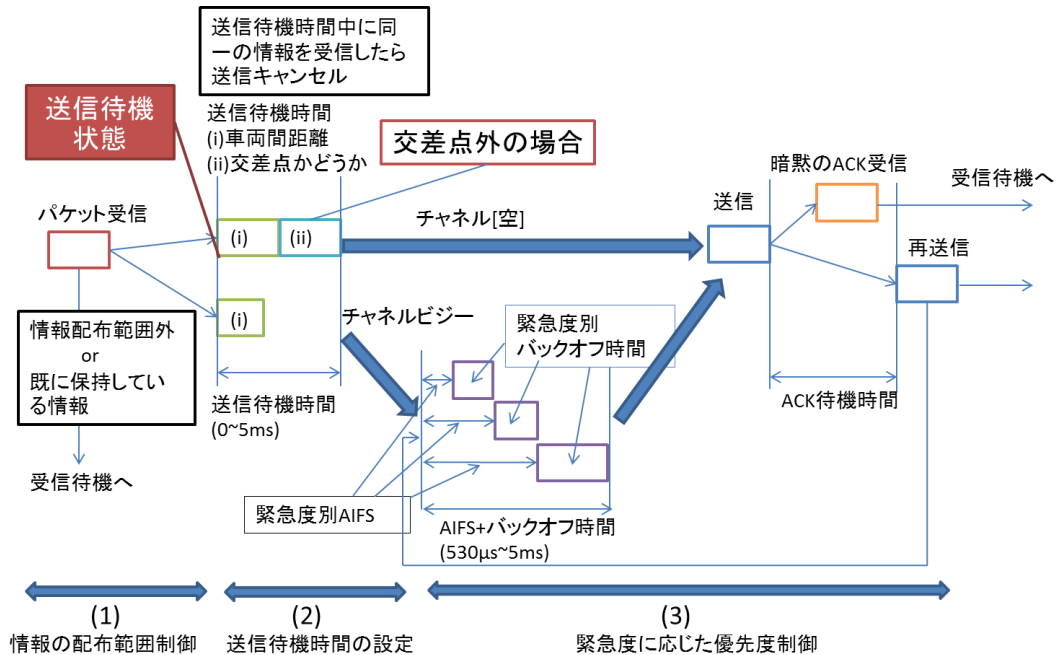


図1 処理の流れ

(2)送信待機時間の設定(既存手法の¹⁻²⁾拡張)

ある情報ごとに転送すべき車両を決定するために、送信待機時間の設定する。

(a)転送時の最遠車両の優先

パケットを受信した車両は、送信車両からの距離による送信待機時間(T_1)を計算する。CR は送信可能距離、Dist は送受信車両の距離、 K_1 は比例定数を表す。

$$T_1 = \frac{CR - Dist}{CR} * K_1 \quad \dots \text{式(1)}$$

式(1)で求められる T_1 は受信車両と送信車両の距離が長いほど小さい値をとる。

(b)交差点車両の優先

情報パケットを受信した車両が、交差点にいない場合、送信待機時間(T_2)を一定値(K_2)とし、交差点にいる場合には $T_2 = 0$ とする。

$$\begin{cases} T_2 = 0 & \text{if in intersection} \\ T_2 = K_2 & \text{if not in intersection} \end{cases} \quad \dots \text{式(2)}$$

送信車両と受信車両の距離によって得られる T_1 と車両が交差点内に存在するかによって得られる T_2 を用いて送信待機時間(T)を式(3)のように設定する。

$$T = T_1 + T_2 \quad \dots \text{式(3)}$$

式(3)は、送信者と受信者の距離が最も長く、かつ受信者が交差点にいる場合に最優先でチャンネルアクセスを行うことを表す。また、車両は、自車両の送信待機状態に入っている情報と同一の情報を受信した場合、送信をキャンセルすることで冗長パケットの伝搬を抑制する。

(3) 緊急度に応じた優先制御(既存手法ベース)

緊急度に応じた優先制御では、どの情報を先に転送するか、および再送を行うかを決定する。緊急度は1,2,3の3段階とし、最も緊急性の高い情報を緊急度1とした。

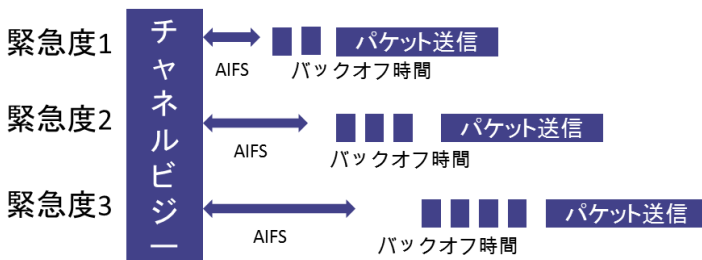


図3 EDCAによる優先度制御

(a) 緊急度の制御

緊急度の制御は、IEEE802.11eのQoS制御機能であるEDCAを用いて実現する。EDCAでは、通信するデータをいくつかのAC(Access Category)に分類し、分類ごとにAIFS(arbitration IFS)とCW(Contention Window)の幅を決めることができる。そのため、図3のように緊急度によって送信機会の得やすさに差をつけることで優先制御を可能とした。緊急度ごとのAIFSとCWサイズを表2に示す。なお、1スロットは $10\mu s$ とし、AIFSとCWサイズの和となる待ち時間は緊急度ごとに重複しない。

(b) 高緊急度情報の信頼性向上

緊急度1の情報は暗黙のACKを利用し、信頼性を向上させる。暗黙のACKとは、図4に示すようにある車両が送信した情報を他車両が再転送したことを検知し、情報が他車両に正しく転送されたことを確認する仕組みである。また、車両の状態遷移を図5に示す。ある待機状態の車両が交通情報を生成もしくは他車両から受信した場合、その情報の緊急度が高ければ情報を送信後、暗黙のACKを確認する。暗黙のACKが確認できなければ3回まで再送を行う。もし、緊急度が低ければ1回だけ情報を送信し、待機状態に戻る。

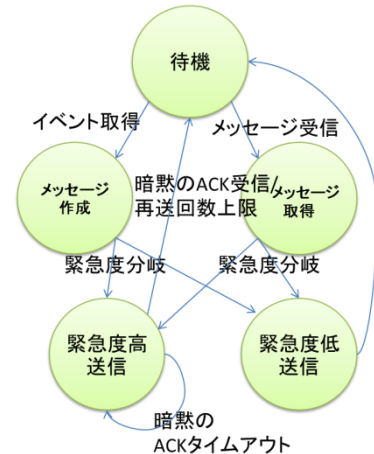


図5 各車両の状態遷移



図4 暗黙のACK

表2 緊急度別のAIFSとCWサイズ

緊急度	AIFS	CWサイズ
1	2スロット	50-250スロット
2	3スロット	250-400スロット
3	6スロット	400-500スロット

5. シミュレーション評価

提案方式の有効性をシミュレーションにより評価する。

5.1 シミュレーション概要

シミュレーション条件を表3に示した。ネットワークシミュレータ Scenargiel.6⁷⁾を用いて、一般道での交通流を模したシミュレーション評価を行う。シミュレーションエリアは図6のような1.5km×1.5kmのグリッド状の片側1車線道路とし、道路以外のエリアは建物とし電波を遮蔽する。道路の交差点には信号を設置し、30sごとに青信号と赤信号に変化する。各車両は時速30km/h - 60km/hを最高速とし図6の外周に設置された緑色のエリアから対辺の緑色のエリアへ矢印で示したように目的地を設定し、移動を行う。各車両は、信号や道路の混雑状態から移動経路を選択する。道路を走行する車両は全て普通車とし、車両長は5mとする。また、無線通信方式はIEEE802.11pを採用する。配布させる情報は、緊急度、配布範囲（距離と方向）などが設定されている。情報に含まれる設定値については表4にまとめた。それぞれの設定値の範囲は表5に示す。それぞれの設定値はランダムに選ばれるため、どの種の情報も等しい割合で生成される。なお、各車両がシミュレーションエリア内に十分に均一に配置され、情報の発信を始めたときを0秒とし統計値を取り始めるものとする。

表3 シミュレーション条件

項目	設定値
シミュレーションエリア	1.5km × 1.5km
シミュレーション時間	60s
シミュレーション試行回数	3回
交差点間隔	300m
信号の有無	有
道路の車線数	片側1車線
車両台数	300台(60m/台)
車両速度	30kmh - 60km/h
通信方式	IEEE802.11p 5.9Ghz帯
伝送速度	3Mbps
パケットサイズ	128byte
送信出力	20dbm(100mw)
電波伝搬モデル	多賀モデル

表4 パケットに含まれる情報

情報生成時刻
情報生成座標
情報生成車両ID
緊急度
配布距離
配布方向

5.2 比較対象および評価項目

シミュレーションの対象とする方式は、提案方式、提案方式1から配布方向制御を除いた配布距離制御のみの方式（比較方式1）、配布範囲制御を行わない方式(比較方式2)とする。上記のそれぞれの方式を用いて以下の指標を評価する。

- a)情報拡散率
- b)1送信当たりの受信成功数およびエラーレート
- c)配布範囲別の拡散率および遅延
- d)緊急度別の拡散率および遅延

いずれの方式でも、拡散率は基本設計の項で記述した情報ごとの配布範囲内における情報保持車両数/配布範囲内車両数によって求められる拡散率の平均とする。また、情報生成頻度とは、各車両の1秒あたりの情報生成個数とする。

5.3 シミュレーション結果

5.3.1 情報生成頻度と情報拡散率

情報生成頻度と方式ごとの情報拡散率を図7に示す。1秒あたりの情報生成頻度0.1個/台から0.3個/台のような配布情報数が少ない場合では、比較方式のほうが提案方式よりも約4%~6%ほど拡散率が高くなっている。一方で、情報生成頻度1個/台以上では提案方式の拡散率が最も高く、比較方式1から14%、比較方式2から、204%、拡散率が向上している。

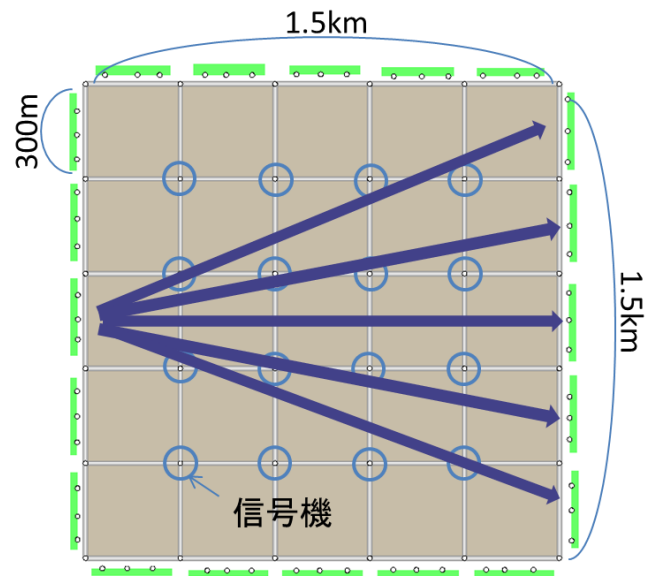


図6 シミュレーションエリア

表5 緊急度と配布範囲の設定値

緊急度	配布範囲	配布方向
1,2,3	300m,500m,700m	30度,60度,90度,全方位

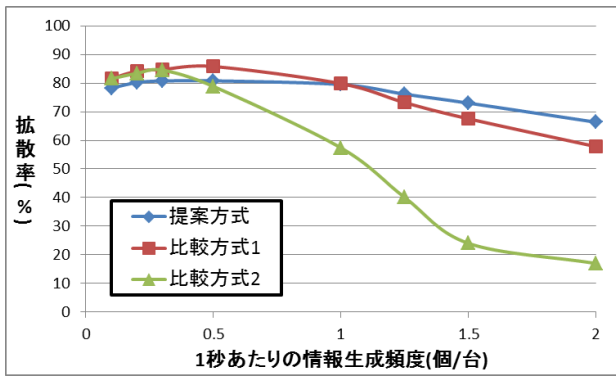


図7 情報生成頻度と拡散率

5.3.2.1 送信当たりの受信成功数およびエラーレート

方式別の情報生成頻度と送信一回あたりの平均受信成功数を図8に示す。情報生成頻度によらず、提案方式が最も受信成功数が多く、提案方式は比較方式1よりも19.0%~39.5%、比較方式2よりも55%~138.7%向上している。また、図9は、エラーレートを表している。エラーレートはPHY層で検知したシグナルを正しく受信できない割合であり、受信エラー回数/総受信回数により求められる。総受信回数には過去に一度受け取っているデータの受信も含まれるものとし、受信成功数と正しく受信できなかった回数の和である。受信エラーは、干渉による受信エラーが主であるが、送信中による受信エラー、低受信信号強度による受信エラーも含まれる。エラーレートは、提案方式が最も低く、比較方式1より、31.4%~35.3%、比較方式2より、48.4%~51.4%低くなっている。加えて、図10に示す総送信回数では提案方式が最も少なく、比較方式1より38.0%~82.6%、比較方式2より55.6%~94.0%の送信回数を削減できている。

5.3.3 配布範囲別の拡散率

提案方式における情報生成頻度と配布距離別の拡散率の変化を図11、情報生成頻度0.5個/台における配布距離別の平均遅延時間を図12に示す。また、配布方向別の拡散率を図13、情報生成頻度0.5個/台における配布方向別の平均遅延

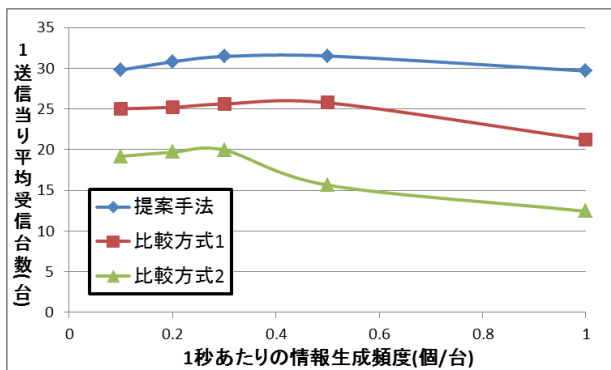


図8 1送信当たりの受信成功数

時間を図14に示す。図11より、全ての情報生成頻度において300m情報の拡散率が最も高く、700m情報の拡散率が最も低くなっており、情報生成頻度が2個/台の時に差は最も大きく約20%低下している。また、図12より、300m情報は最も遅延が少なくなっている。図13では、配布角度による拡散率について、30度と60度情報の拡散率は90度、全方位情報に比べて最大で約5%低くなっている。遅延時間では30度情報の遅延が少なく、全方位情報の遅延が大きくなっている。

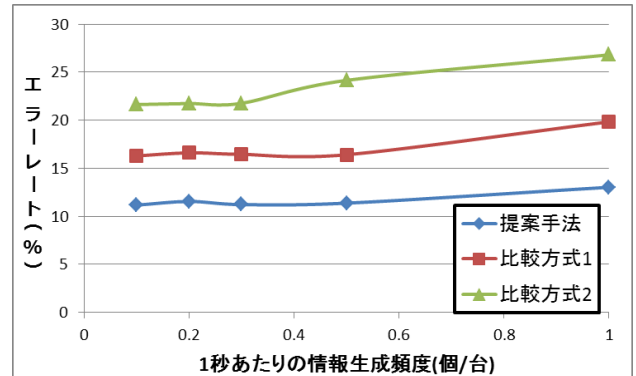


図9 エラーレート

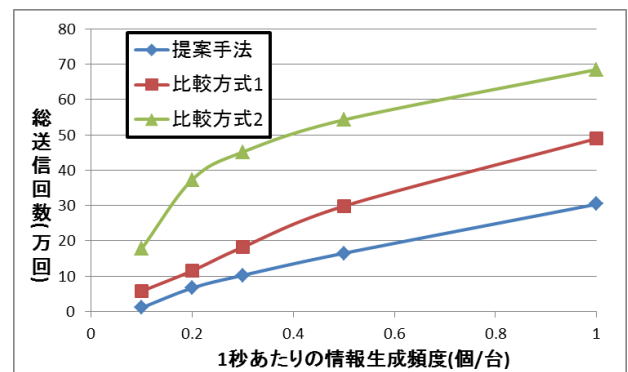


図10 総送信回数

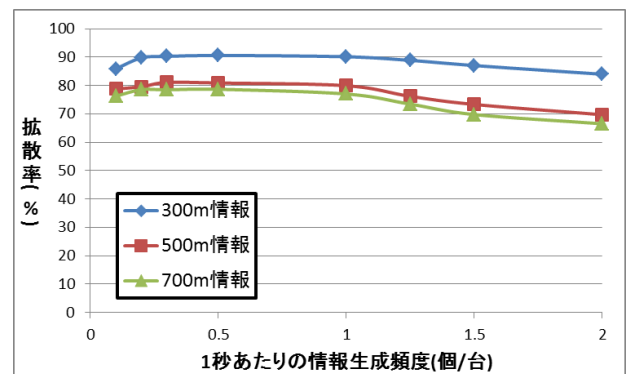


図11 配布距離別の拡散率

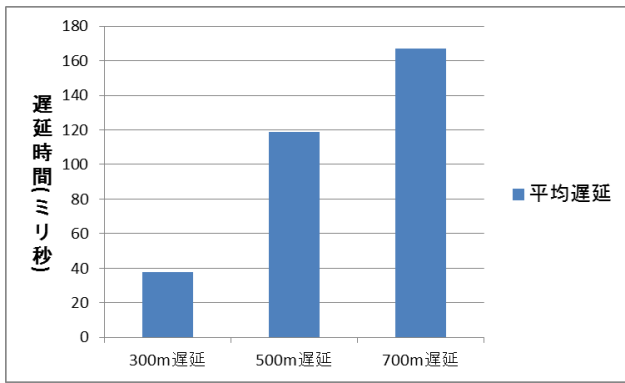


図 12 配布距離別の遅延時間

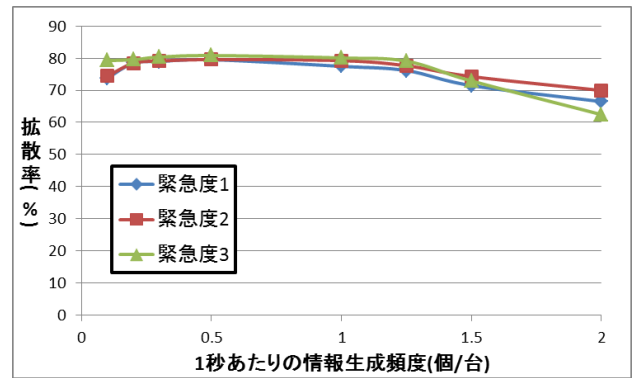


図 15 緊急度別の拡散率

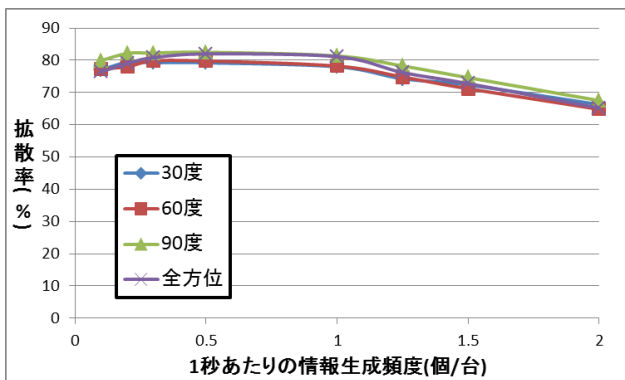


図 13 配布方向別の拡散率

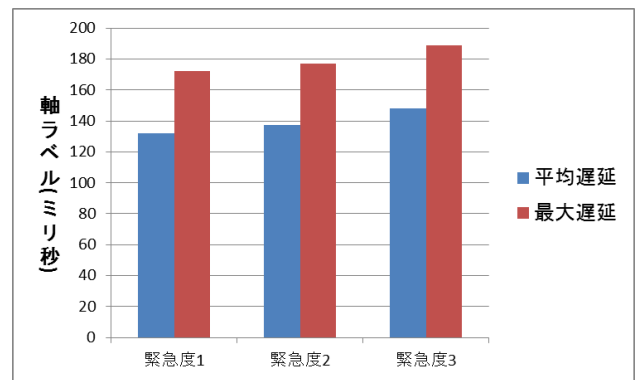


図 16 緊急度別の平均遅延と最大遅延

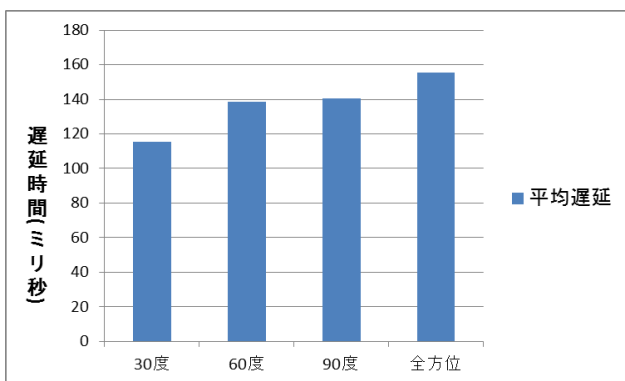


図 14 配布方向別の遅延時間

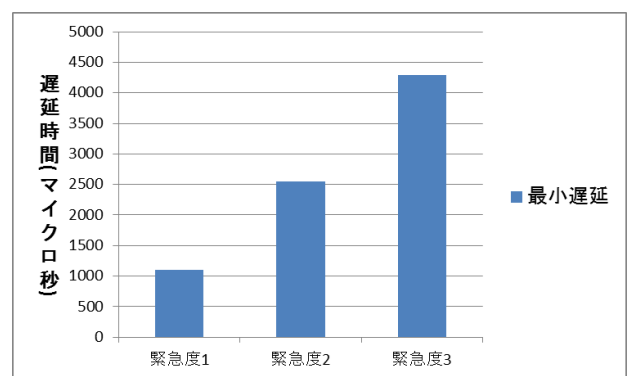


図 17 緊急度別の最小遅延

5.3.4 緊急度別の拡散率および遅延

提案手法における緊急度別の情報生成頻度と拡散率の変化を図 15 に、情報生成頻度 0.5 個/台における緊急度別の平均および最大遅延時間を図 16 に、緊急度別の最小遅延時間を図 17 に示す。各緊急度による拡散率の差はほぼなく、情報生成頻度 2 個/台では緊急度 2 の情報は緊急度 1 の情報より拡散率が高くなっている。そのため、緊急度 1 の情報が多くの車両に配布されていないが、図 16、図 17 より、緊急度 1 の情報は緊急度 2 や緊急度 3 の情報よりも低遅延で配布されていることがわかる。

6. 考察

6.1 拡散率に関する考察

図 7 で、1 秒当たりの情報生成頻度が低い場合 (0.1 個/台 ~ 0.3 個/台) に、提案方式と比較して、方向制御を行わない方式(比較方式 1)および範囲制御を行わない方式(比較方式 2)の拡散率が高くなっている理由として、情報生成数が少ない場合では、通信トラヒックに十分な空きがあり配布範囲制御による通信トラヒックの削減の必要ないため、提案方式は拡散率の向上に寄与していないことが考えられる。加えて、拡散率を評価する際に、生成した情報全てを統計対象とし、提案方式では範囲内で配布した情報はシミュレーション終了まで再配布されない。そのため、配布範囲内

外への車両の流入出によって拡散率が低下しているものと思われる。更に、図7で提案方式が、方向制御を行わない方式よりも拡散率が低くなっている原因として図18のように、ある車両が30度、60度情報の生成を行う際に道路上に丸印のような孤立した配布範囲を設定してしまうことが挙げられる。孤立した配布範囲の車両には、電波が到達するパスがないにもかかわらず、統計上では拡散率の母数となってしまうため拡散率が見かけ上、低下している。

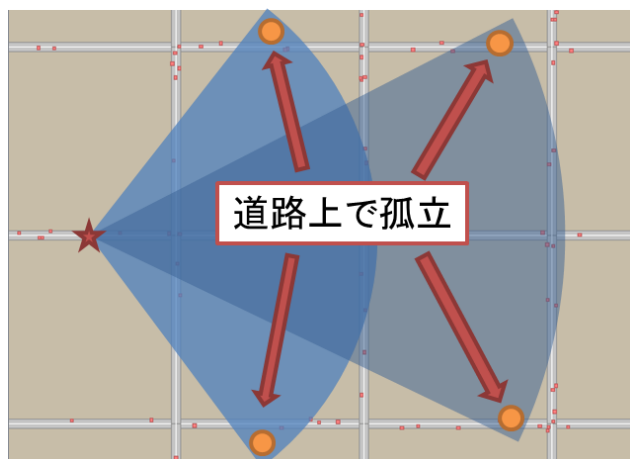


図18 孤立した配布範囲

図7で、1秒当たりの情報生成個数が1.5個/台～2個/台の場合、提案方式の拡散率が最も高くなっている。シミュレーションでは、各車両が毎秒1.5個以上の情報を生成することは現実的ではないが、都市部では道路の車線数の増加や交差点間隔が短くなることで更なる通信トラヒックの混雑が考えられる。また、図11で、500m,700m情報の拡散率が300m情報の拡散率よりも低い理由として、配布距離が長くなることで情報配布に必要なホップ数が多くなることによって情報配布性能が低下する要因になっている。また図13で、30度、60度情報の拡散率が90度、全方位情報の拡散率よりも低い理由として、図18に示した孤立した配布範囲設定の影響だと考えられる。

6.2 転送遅延に関する考察

図12で配布距離により平均遅延に差が出ている原因として情報配布に必要なホップ数による影響が出ていると思われる。また、図16で示す緊急度ごとの遅延時間に差が出ない理由は、図14の300m情報の遅延と500m情報の遅延の差が81.1msに対して図18の緊急度1と緊急度2の遅延の差は5msとなっているように緊急度の違いによる遅延時間の差と比較してホップ数の違いによる遅延時間の差が大きいからだと思われる。本シミュレーションでは、すべての情報の配布範囲をランダムに設定したが、実環境では、事故や急ブレーキなど緊急度の高い情報は配布範囲が狭いことが想定されるので、緊急度が高い(配布範囲が狭い)情報の転送遅延と緊急度が低い(配布範囲が広い)情報の転送

遅延は大きくなることが想定される。

7. まとめ

本稿では、性質の異なる様々な交通情報を適切な配布範囲に配布することによる通信トラヒック混雑時の拡散率の向上や通信トラヒックの削減を目的とした方式を提案し、シミュレーションによりその有効性を確認した。提案方式によって、拡散率は方向制御を行わない方式(比較方式1)から14%、範囲制御を行わない方式(比較方式2)から204%の向上し、総送信回数では、比較方式1から38.0%～82.6%、比較方式2から55.6%～94.0%の送信回数を削減できた。

今後の課題として、急ブレーキ情報等といった失われるべき情報と事故情報等、その範囲に停滞させておくべき情報の性質を区別し、より実環境に近い配布制御を検討していく必要がある。

参考文献

- 1) 宮本進生, 四方博之, シヤクダールユンチメグ, ヌリ シラジ マハダット, 大山 卓, 三浦 龍, 小花貞夫, "CDMA vs. TDMA: 安全運転支援のための車車間通信システム特性評価", 電子情報通信学会論文誌, Vol.J93-A, No.7, pp.474-484 (July 2010)
- 2) GokhanKorkmaz, EylemEkici, Fusun Ozguner, Umit Ozguner: "Urban Multi-Hop Broadcast Protocol for Inter-Vehicle Communication Systems", VANET '04 Proceedings of the 1st ACM international workshop on Vehicular ad hoc networks, Pages 76-85(2004)
- 3) Chakkaphong Suthaputthakun, Aura Ganz, "Priority Based Inter-Vehicle Communication in Vehicular Ad-Hoc Networks using IEEE 802.11e", IEEE Vehicular Technology Conference, 2007. VTC2007-Spring(2007)
- 4) Chakkaphong Suthaputthakun, and Zhili Sun, "Priority based Routing Protocol with Reliability Enhancement in Vehicular Ad hoc Network", The 2nd International Conference on Communications and Information Technology(2012)
- 5) M. Torrent-Moreno, D. Jiang, and H. Hartenstein, "Broadcast Reception Rates and Effects of Priority Access in 802.11-Based Vehicular Ad-Hoc Networks", The 1st ACM international workshop on Vehicular ad hoc networks (VANET04), (Oct. 2004)
- 6) S. Yang, H. Refai, and M. Xiaomin, "CSMA based Inter-Vehicle Communication Using Distributed and Polling Coordination", The 8th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC05), (Sep. 2005).
- 7) Space-Time Engineering, "Scenarijie Simulator 1.6", <http://www.spacetime-eng.com/en/company.html>