

狭域交通情報共有のための車車間通信における 車両位置情報に基づく効率的な中継転送方式の提案

吉川潤† 湯 素華† 小花 貞夫†

ITS(高度交通システム)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も強く期待される。本稿では、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等の局地的な交通情報を周辺車両で効率的に共有させることを目的として、中継車両選択における従来方式の問題点であったほぼ同位置にある車両間での通信の衝突を防止するために、700MHz帯を使って共有される位置情報から順序付けによる中継転送方式を提案する。シミュレーションにより提案方式と既存方式を比較し、35%の拡散率向上、55%の遅延時間の低減を実現した。

Relative-position-based collision-free relay selection for efficient local sharing of traffic information

JUN YOSHIKAWA† SUHUA TANG† SADA OOBANA†

In ITS (Intelligent Transport Systems), inter-vehicle communications (IVCs) are used to exchange position and speed information between vehicles to avoid collisions. Besides this support system for safe driving, new functions like eco-driving, and comfort and convenience of driving are also strongly expected. This paper aims at efficient, local diffusion of congestion and accident information so that drivers can learn road and traffic conditions before hand, and change their routes accordingly. IVCs take place over two bands: 700MHz for safe driving and 5.9GHz for comfort driving. With the 700MHz band, vehicles learn the same local map of vehicles. This information provides the relative position between vehicles, and is used for relay selection for the communications in the 5.9GHz band. More specifically, potential relay vehicles are sorted according to their distances from the sending node, and the farthest, available vehicle is selected as the relay. The proposed scheme is implemented via network simulator. Extensive evaluations confirm that the proposed scheme achieves both higher diffusion rate and lower latency, compared with state-of-the-art methods.

1. はじめに

ITS(高度道路交通システム)では、車両間通信により、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も強く期待される。本稿では、ドライバが道路や交通の状況に応じて円滑かつ快適に走行できるように、車車間通信により渋滞や事故等の局地的な交通情報を周辺車両で効率的に共有させるための車両における中継転送方式の提案し、シミュレーション評価により有効性を確認する。

2. 交通情報共有の概要とその課題

狭域交通情報共有の概要を図1に示す。狭域交通情報共有とは、車車間通信や路車間通信を用いて車両が走行中に捕捉した様々な交通的な事象に関する情報を共有することで円滑で快適な運転を実現する仕組みである。共有する情報は事故・渋滞情報や緊急車両情報、路面情報、急制動情報、ドライバリクエストなどを想定し、情報の種類や位置データなどの小容量データを中心とする。またマルチホッ

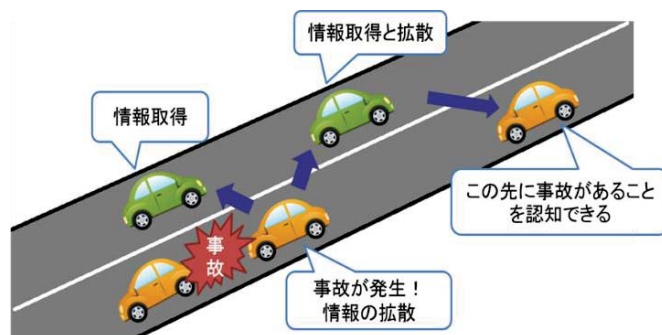


図1 交通情報共有方式の概要

ブ中継を行うことで遠くの車両に情報を伝達する。

車車間通信を利用して交通情報の共有を目的とする研究は数多く存在[2-8]するが、車車間通信において車両の急制動や安全運転支援や渋滞情報などの運転快適性を向上させるための通信では、通信の対象は特定の車両ではなく、情報を拡散させる範囲内に存在する不特定多数の車両へ伝達する必要がある。さらに各車両が高速に移動していることを考えるとモビリティに利点のあるブロードキャストによる情報の拡散が望ましいと考えられる。ブロードキャストによる情報の拡散を実現する上での問題点として遠方まで情報を伝達させる上でどの車両に中継させるかという課

†電気通信大学 大学院情報理工学研究科
The University of Electro-Communications - Graduate School of Informatics and Engineering

題がある。

中継車両の選択方式として、既に送信者と受信者の距離情報を用いてより遠方の車両を中継車両として選択する方式[2-6]が提案されているが、都市部での高密度な車両環境で複数車線存在する場合などほぼ同位置に車両がいる場合、それぞれが中継するパケットが衝突し、配信効率を低下させるという問題がある。この問題を解決するために本稿では距離ではなく順番付けによる中継転送方式を提案し、効率的で低遅延での狭域交通情報の拡散を実現する。

3. 先行研究と問題点

3.1 既存の中継ノード選択方式

移動体アドホックネットワークでの既存の中継ノード(車両)の選択方式について以下にまとめる。

(a) Flooding

パケットを受け取ったノードはそのパケットが既に受け取ったパケットかどうかに関わらず周囲のノードに中継を行う。

(b) Probabilistic Scheme[7]

確率的に中継を行うかを決定する方式である。ブロードキャストによるパケットを最初に受信したときに確率 P によって中継を行うかを判定する。 $P=1$ の場合、Flooding と同様の振る舞いになる。

(c) Counter-Based Scheme[7]

中継を行う場合にランダムな待ち時間を設定し、パケットの送信を開始する前に他のノードから同じパケットを n 回受信することで送信をキャンセルする方式である。 n は閾値によって決められる。

(d) Distance-Based Broadcast[8]

VANET における距離ベースのマルチホップブロードキャストの中継車両選択方式であり、パケットを受信してから中継するまでに受信者と送信者の距離に応じて変化する線形的な待ち時間を用いることで実現する。受信者と送信者の距離が長ければ送信待ち時間は短くなり、優先的に送信できる。もし、送信待ち中に同一の情報を受信した場合は他の車両が中継したことを認知し、送信をキャンセルして冗長な通信を抑制する。

3.2 先行研究の問題点

1) Probabilistic Scheme, Counter-Based Scheme の問題点

ランダムな待ち時間の設定により、中継すべきノード(車両)が単一に絞られないことにより冗長な通信が行われる点や送信者から最も遠いノード(車両)が選択されない可能性があることから遠方のノード(車両)へ情報を伝達する際に中継回数が増え、効率的でない中継が行われる問題点がある。

2) Distance-Based Broadcast の問題点

ほぼ同位置に存在する車両が複数ある場合、それらの車両による中継パケットが衝突してパケット到達率が低下する問題点がある。

4. 位置情報に基づく順序付けによる中継転送方式

4.1 提案方式の概要

前章の問題点を解決する方式として、安全運転支援システムでの 700MHz 帯によって交換される周囲の車両の位置、速度、移動方向の情報に基づいた順序付けによる中継転送方式を提案する。また、本稿で扱う交通情報は、ITS 利用が許可されている 5.8GHz 帯にて通信するものとする。

4.2 機能詳細

4.2.1 車両相互の車両位置把握

700MHz 帯を利用して、100ms 毎に周囲の車両と位置、速度、移動方向の情報および車両 ID を交換する。それを元に各車両は周囲の車両の位置を格納する。車両位置を相互に交換するパケットには、ARIB より定められる STD T109[9]に準拠する以下の表 1 の情報が含まれるものとする。

表 1 位置情報パケットの構造

項目	説明
NodeId	車両番号
NodePositionX	車両の X 座標
NodePositionY	車両の Y 座標
Speed	車両の速度
DirectionofMove	車両の進行方向
CurrentTime	現在時刻

4.2.2 中継車両の選択(基本的な選択方法)

各車両は前述の相互の車両位置把握機能で格納した位置情報を使用し、送信車両の位置と自車両の位置から中継優先度を決定する。中継が必要な情報を受け取った車両は受信したパケットから送信者の位置情報を取得し、自車両との距離を計算する。その後、周囲の車両と送信車両の距離を算出し、自車両の中継優先度を決定する。パケットを受信したすべての車両が同一位置情報に基づいて処理することにより周辺車両間で共通の中継優先度が共有される。中継優先度が 1 の時、最も優先され、優先度の最大値は後述の PRIORITY_MAX として動的に変更する。図 2 に示す、距離により中継優先度を算出する既存方式とは異なり、図 3 で示すように送信元車両からの距離ではなく順番により決定する。算出した中継優先度に応じて、各車両の送信待ち時間(後述)を設定することで中継機会に差をつけることにより既存方式では通信が衝突していた問題を回避可能と

する。中継優先度は送信者から最も遠方にある車両が最も高く、等距離に他の車両がいる場合は車両 ID を比較し、小さい車両を優先する。また、各車両は、中継前に他の車両の中継を確認したら中継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。

また、位置情報は 700Mhz 帯で交換されるため、狭域交通情報を共有する 5.8GHz 帯よりも遠くまで電波が到達することから、各車両が取得している位置情報に基づきすべてに中継優先度を付与した場合、実際の交通情報の通信では電波が到達しない可能性がある。そのため、想定される 5.8GHz での通信可能距離内(例えば 380m と設定)でのみ中継優先度を付与することで適切な中継車両の選択制御を可能とする。

(1) 送信待機時間

中継優先度により算出される送信待機時間は MAC (Media Access Control) 層に実装される。MAC 層での送信待機時間はバックオフ時間と呼ばれ、Counter-Based Scheme では、式(1)で表されるように DIFS(Distributed coordination function Interframe Space)と呼ばれる固定長の待機時間とコンテンションウィンドウの範囲内で選択されるランダム値×スロットタイムにより決定されるが、提案方式では式(2)により決定する。

$$\begin{aligned} \text{WaitTime(待機時間)} = & \text{DIFS} + \\ & \text{Random_NUM}(\text{CW_MIN}, \text{CW_MAX}) \\ & * \text{SLOT_TIME} \end{aligned} \quad (1)$$

CW_MIN:コンテンションウィンドウ最小値
CW_MAX:コンテンションウィンドウ最大値

$$\begin{aligned} \text{WaitTime(待機時間)} \\ = & \text{DIFS} + \text{RelayPriority} * \text{SLOT_TIME} \end{aligned} \quad (2)$$

RelayPriority:中継優先度

(2) 交差道路に存在する車両に対する中継優先度割当

交差道路に存在する車両の中継は車両の進行方向とは異なる方向への情報拡散に有効であるため、情報を受信した車両が送信者から異なる方向に存在する場合、直線方向の車両へ割当てられる中継優先度とは重複しない中継優先度を割当てる。

(3) 中継優先度の割当車両台数の動的変更

中継優先度を設定し、中継が可能となる車両の台数を PRIORITY_MAX として表現する。中継優先度は、情報を受信した全ての車両に付与するわけではなく、通信状況によって変化する PRIORITY_MAX の値の台数に付与する。割当台数(PRIORITY_MAX)が 3 と 5 の時の割当例を図 4 に示す。

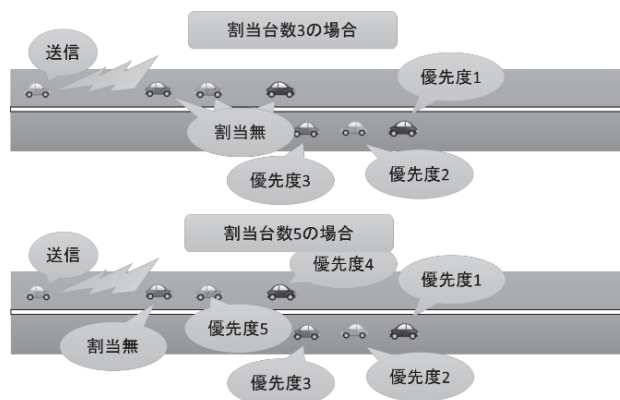


図 4 中継優先度の割当例

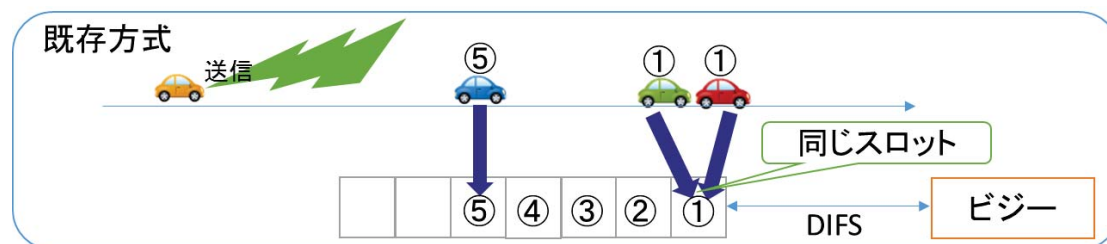


図 2 Distance Based Broadcast による中継車両選択

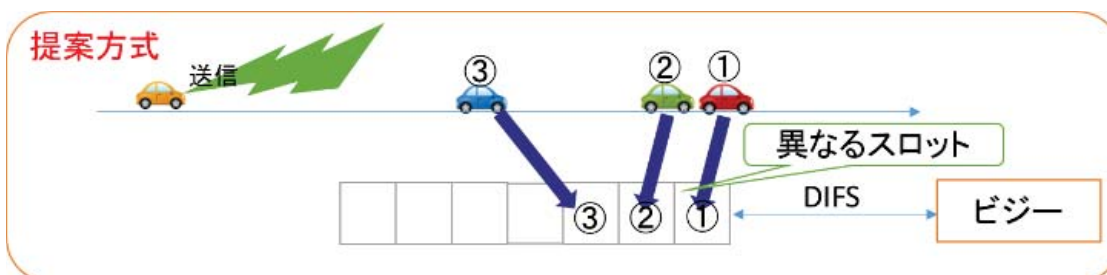


図 3 提案方式による中継車両選択

割当台数を小さくした場合、送信者から遠い車両のみが中継することで効率的な情報の拡散が可能であるが、その車両が隠れ端末問題等により情報を受信できなかった場合、それ以上情報の拡散が行われないという問題点がある。

割当台数を大きくした場合、中継が行われたことを通信の衝突等によって確認できなかった場合、不要な中継を行ってしまう問題がある。

提案方式における処理フローを図5示す。パケットは表2に示す情報を含むものとする。

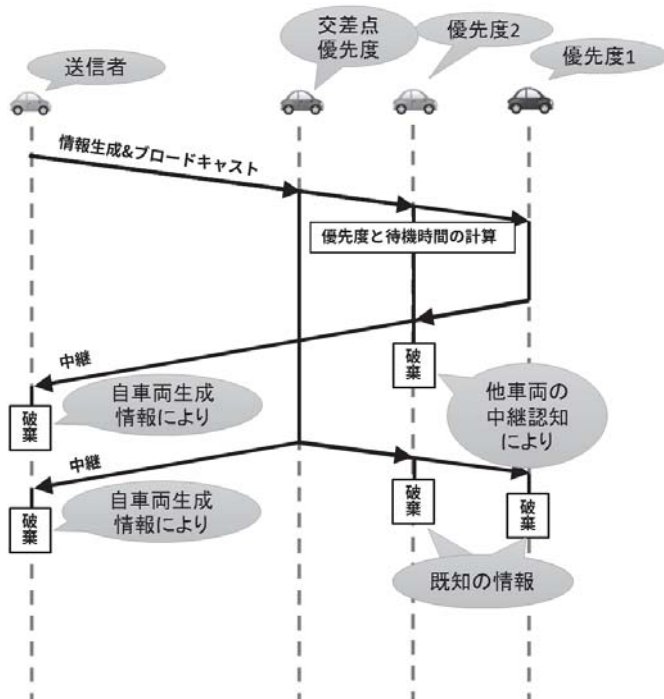


図 5 提案方式の処理フロー

表 2 パケットの構造

項目	説明
BroadcastTime	情報を生成した時間
SourceNodeId	情報生成した車両番号
SourceNodePositionX	情報を生成した車両の X 座標
SourceNodePositionY	情報を生成した車両の Y 座標
maxHopCount	最大ホップ数
counterThreshold	中継回数の閾値
RelayPriority	中継優先度
RelayNodeId	中継車両の車両番号
EventData	イベントデータ

5. シミュレーション評価

5.1 シミュレーション概要

提案方式の有効性をシミュレーションにより検証するため、提案方式と3節で述べた比較方式を汎用ネットワークシミュレータ Scenargie[10]に実装した。比較方式は

Counter-Based Scheme[7], Distance-Based Broadcast[8]を対象とした.

提案方式と比較方式の評価項目は、情報生成間隔を変化させたときの、1)情報拡散率、2)総通信回数、3)エラーレート、4)平均遅延時間とする。また、提案方式における中継優先度の割当車両台数の動的変更機能と交差道路車両への中継優先度割当機能の評価、ならびに 700MHz 帯を利用した位置情報交換の正確性評価も行った。評価では、シミュレーション時間内における平均値を使用する。

5.1.1 比較方式の実装

(1) Counter-Based Scheme(比較方式1)

各車両は情報を生成し、発信する。情報を受信した車両は、ランダムな送信待機時間の終了後に送信する。送信待機時間は以下の式による。

$$\text{WaitTime} = \text{Random}(0.1 - 0.5) * \text{SECOND} \quad (3)$$

送信待機時間に同一のパケットを閾値 n 回受信することで送信をキャンセルする．今回， $n=1$ とする．

(2) Distance-Based Broadcast(比較方式 2)

通信可能距離を任意の分割するセクタ数で除し，送信車両と受信車両の距離を計算し，自車両が何番目のセクタに存在するかにより待機時間を設定する．待機時間は以下の式による．なお，ここでは，SPLITNUM=100，Distance=380 とする．

$$[\text{MySector}] = \frac{\text{Distance} * \text{MAXRANGE}}{\text{SPLITNUM}} \quad (4)$$

$$\text{WaitTime} = \frac{(0.5 - 0.1)}{SPLITNUM} * MySector \quad (5)$$

MySector:自分のセクタ番号， Distance:送信者からの距離，
SPLITNUM:セクタ分割数， MAXRANGE:通信可能距離.

5.2 シミュレーション条件

交差点間隔 400m で 4×4 のグリッド状のマップに 500 台の車両を配置する。道路以外の部分には建物が存在し、各交差点には信号機が設置する。各ノードはランダムに決定された初期位置からランダムに移動し、一定間隔で情報を生成する。電波伝搬モデルは建物による電波の遮蔽を考慮する ITU-R P.1411 の標準に従う。主なシミュレーションの設定値を表 3 に示す。

表 3 シミュレーション設定値

項目	値
通信方式	IEEE 802.11p
伝送速度	3Mbps
周波数帯	5.8GHz
パケットサイズ	128byte – 512byte
最大ホップ数	100
電波伝搬モデル	ITU-R P.1411
情報生成間隔	0.5s/台-8s/台
評価エリア	1.6km x 1.6km
交差点間隔	400m
信号の有無	有(全ての交差点)
車線数	2
車両位置	ランダム
車両台数	500 台
車両長	5m
車両速度	30km/h-60km/h
シミュレーション時間	120s
試行回数	30

5.3 情報拡散率に関する評価と考察

8s-0.5sまで情報生成間隔を変化させたときの平均拡散率を図6に示す。図6より、全ての情報生成間隔で提案方式が最も拡散率が高く、特に情報生成間隔が0.5sの時に比較方式1(Counter-Based Scheme)よりも拡散率が最大35.0%向上している。また比較方式2(Distance-Based Broadcast)では2.7%から32%に向上している。シミュレーションでは、信号により交差点付近に車両が多く存在するため、比較方式2において通信が衝突しやすいことが原因で、比較方式2が最も悪い結果になったと考えられる。

また、情報生成間隔8sの時の方式ごとの拡散率分布を図7に示す。提案方式では拡散率100%の情報の個数が最も多い結果となったことより、最速車両の中継やパケットの衝突を回避することでより多くの車両へ情報を拡散できていることが確認できる。

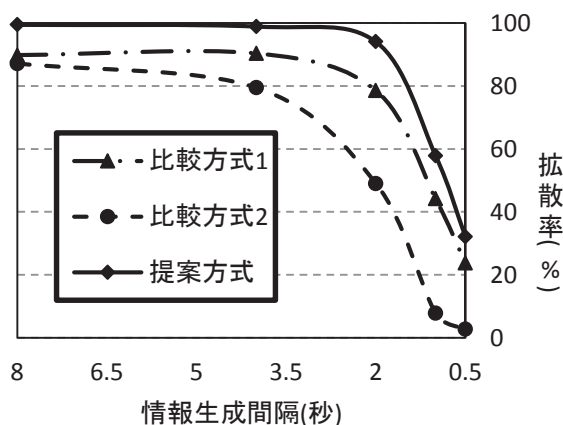


図 6 情報生成間隔と拡散率

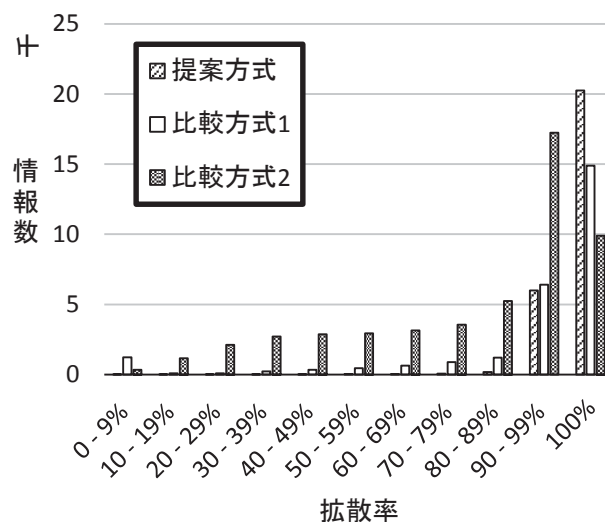


図 7 方式別の拡散率分布

5.4 通信回数と信頼性に関する評価と考察

図8に情報生成間隔を変化させたときの総送信回数を示した。8s-2sでは提案方式と比較方式1(Counter-Based Scheme)の総送信回数は同等であり、1s, 0.5s間隔では総送信回数を最大20.5%削減できていることがわかる。全ての情報生成間隔で比較方式2の送信回数が増えており情報生成間隔が1sの時に提案方式では最大28.25%削減できている。

8sから4s, 4sから2sの間隔で情報を生成する場合、時間当たりで倍の情報が生成されることより同等の拡散率を維持するためには、総送信回数も約2倍になるはずである。しかし2sから1sおよび1sから0.5sでは総送信回数の増加率は鈍化しており、通信トラヒックに空きがなくなっていることが予想される。

図6と図8を併せてみると比較方式1および比較方式2では提案方式よりも送信回数が多いにもかかわらず拡散率が向上していない。この結果から、提案方式では一回の送信でより多くの車両が情報を取得できていることがわかる。対して、比較方式1および比較方式2では同一の情報が複数回中継されていることやパケットの衝突によって効率的な情報拡散が行われていないと予想される。

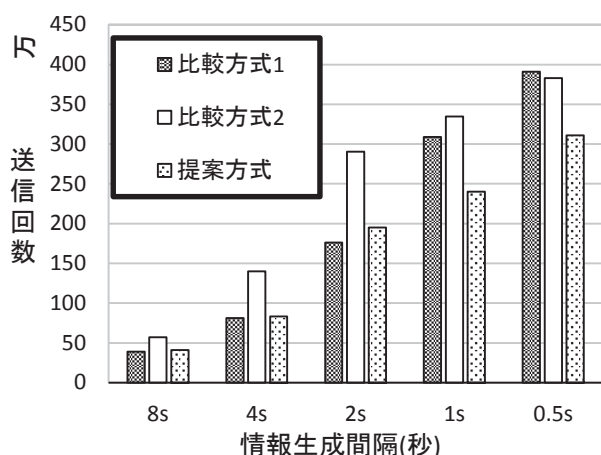


図 8 情報生成間隔と送信回数

図 9 より、情報生成間隔 1s, 0.5s の時 (高トラフィックの時), 提案方式ではエラーレートが比較方式 1(Counter-Based Scheme)および比較方式 2(Distance-Based Broadcast)よりも低い値で抑えられていることにより信頼性の高い通信ができていていることがわかる。一方で、8s-2s の時にエラーレートが提案方式で若干高い値を示しているのは、トラフィックに空きがある場合には拡散率を高めるために中継優先度割当台数を高い値に動的に設定し情報の拡散に冗長性を持たせていることが原因と考えられる。

比較方式 2(Distance-Based Broadcast)については、信号待ちの車両など近くの位置に複数の車両が存在する場合、通信がかならず衝突してしまうためエラーレートでは提案方式および比較方式 1(Counter-Based Scheme)よりも高い値を示している。

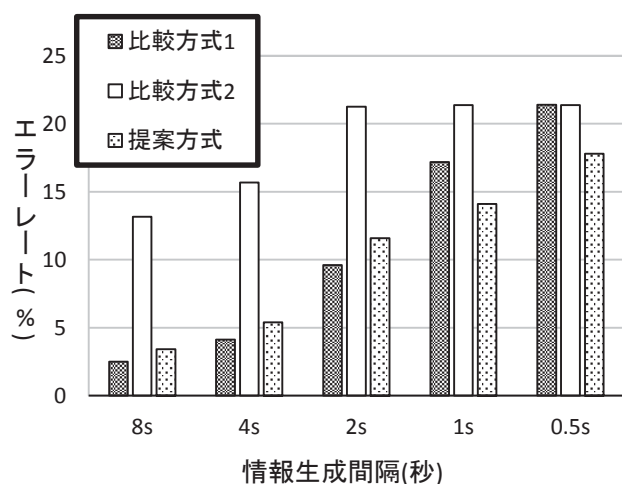


図 9 情報生成間隔とエラーレート

5.5 遅延時間に関する評価と考察

図 10 は情報生成間隔を変化させたときの平均遅延時間を示す。提案方式では比較方式 1(Counter-Based Scheme)よりも情報生成間隔 2s のときに最大で 55.3%, 比較方式 2(Distance-Based Broadcast)よりも 62.9%遅延時間を低減している。提案方式では、送信者から最も遠くの車両を中継車両に選択することにより情報のホップ数を減少させる点や交差道路の車両を中継車両と選択することで遅延時間の増大を防いでいる点が大きく寄与している。また提案方式と比較方式 1 において情報生成間隔が 1s の時よりも 0.5s の時に遅延時間が減少している理由として、0.5s の場合にはトラフィックが圧迫され中継の際にデータが失われてしまうことで、少ないホップ数の情報の遅延時間のみが統計値として得られていることが原因と考えられる。比較方式 2, 提案方式の情報生成間隔 2s から 1s の結果でも同様の現象が起きていていると考えられる。

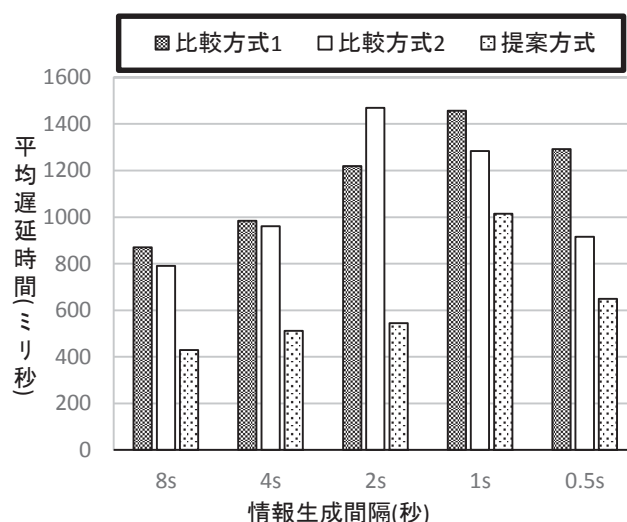


図 10 情報生成間隔と遅延時間

5.6 中継優先度の割当車両台数の動的変更に関する評価と考察

中継優先度の割当台数の最大値を 20, 50, 100 と静的な値に設定し、情報生成間隔を変化させたときの結果を図 11 に示す。結果から、割当台数を多く設定した場合、通信範囲内にいる多くの車両に中継優先度を割り当てるため、仮に、中継に最適な車両が情報を中継できなかった場合でもそれよりも中継優先度の低い車両が中継することで情報の拡散が止まることを防げる利点があり、情報生成間隔が長い場合では拡散率を高く保てることがわかる。

一方で、割当台数を少なく設定した場合、中継に最適な車両のみが中継可能な車両となることで、多くの通信が衝突することになる情報生成間隔が短い場合では、1 回の通信で多くの車両へ情報を拡散できることで拡散率が高くなっていると考えられる。

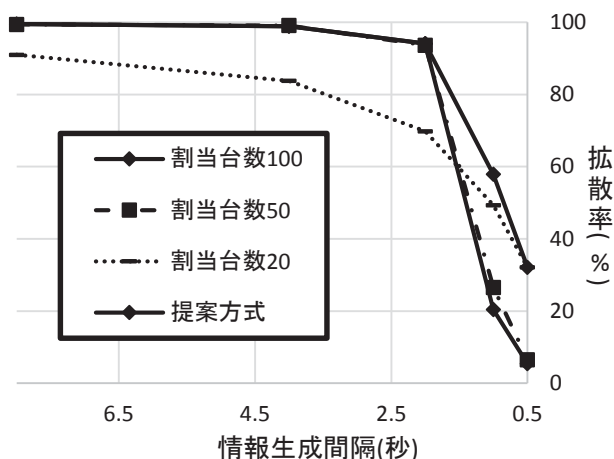


図 11 優先度割当台数の変化と拡散率

5.7 交差道路の車両への中継優先度の割当に関する評価と考察

図 12 には交差道路に存在する車両に中継優先度を割り当てる機能の有無と拡散率の変化を示す。情報生成間隔が長い場合、中継優先度の割当車両台数は多く設定されるので、交差道路車両への中継優先度割当機能の有無にかかわらず中継可能車両として選択される。そのため拡散率に大きな差はでない。一方で、情報生成間隔が短くなると中継優先度の割当車両台数は小さい値に設定されるため交差道路の車両は中継可能車両として選択されない場合がある。結果として、交差道路の車両に中継優先度を付与することで拡散率の向上が実現されていると考えられる。

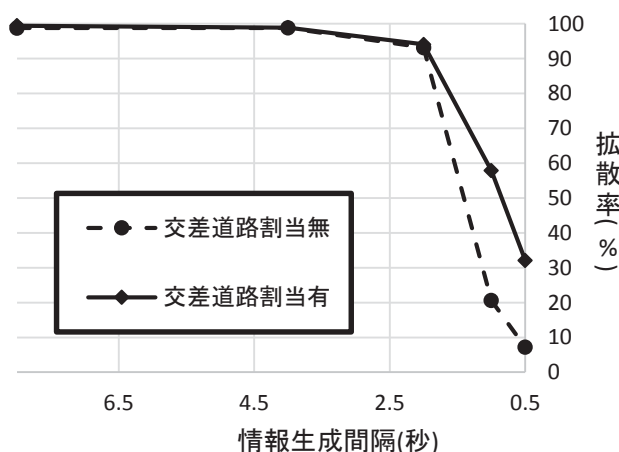


図 12 交差道路の車両への優先度割当の有無と拡散率

5.8 700MHz 帯を利用した位置情報交換の信頼性に関する評価

車両間で位置情報等と交換する 700MHz の電波伝搬では、5.8GHz と比較して広い範囲で通信可能であることがわかっている。そのため、シミュレーションでは、各車両が正確な位置情報を取得している前提で行った。しかし、実際に 700MHz 帯の位置情報の交換においてどの程度の正確性が保たれるかを確かめるために簡易なシミュレーションを行った。主なシミュレーションの設定値は表 4 の通りである。

表 4 700Mhz 帯シミュレーション設定値

項目	値
通信方式	IEEE802.11p
伝送速度	3Mbps
周波数帯	760MHz
パケットサイズ	128byte
最大ホップ数	1
シミュレーション時間	120s
試行回数	10 回

700MHz 帯を利用して 0.1s 間隔に位置情報を交換した場合のエラーレートを図 13 に示した。図 13 よりエラーレートは 2%-2.3%で安定して推移していることが読み取れる。この結果から累積値を考えると 0.2s 間隔で 99.94%-99.96% の車両が正確な位置を把握できていると推測できる、さらに提案方式で必要とされる位置情報の範囲は 5.8GHz の電波到達範囲でよいので更に高い信頼性で位置情報の交換が可能と思われるため、位置情報の齟齬が提案方式に与える影響は少ないと考えられる。

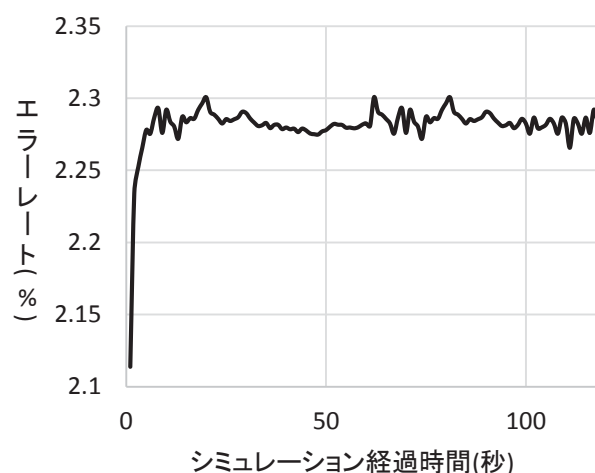


図 13 700Mhz 帯通信におけるエラーレート

6. まとめと今後の課題

本稿では、車車間通信により、狭域交通情報を効率的に周囲の車両で共有できるようにするため、安全運転支援システムで700MHz帯によって交換される周囲の車両の位置、速度、移動方向の情報に基づく順序付けにより中継転送方式を提案した。シミュレーションを通じて、提案方式を導入することで既存方式と比較して拡散率で最大35.0%向上、遅延時間で最大55.3%低減、通信回数を最大で20.5%削減できていることがわかった。

また、中継優先度の割当車両台数を動的に変更することにより、通信トラヒックの様々な混雑度の状態において高い拡散率を維持できることがわかった。さらに交差道路の車両に中継優先度の割当てることにより、通信トラヒックの混雑時に優先度割当台数が低下した際でも交差道路の車両が中継することで拡散率が向上することがわかった。

今後の課題として、緊急度を持った情報の優先送信制御の導入、交通情報の特徴に基づいた配布範囲制御や銀座モデル等を利用した実環境に近いシミュレーションによる検証が挙げられる。

参考文献

- [1] 宮本進生, 四方博之, ショウタロウ・ユンチン・メグ, スリ 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," in 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," in IEEE Vehicular Technology Conference, 2007.
- [4] Chakkaphong Suthaputthakun, Zhili Sun, "Priority based Routing Protocol with Reliability Enhancement in Vehicular Ad hoc Network," in The 2nd International Conference on Communications and Information Technology in 2012
- [5] 姜巍, 川瀬悠, 若山公威, 岩田彰, 白石善明, 車車間通信におけるコリジョン数を削減するフラッディング方式の提案と評価, 情報処理学会研究報告, 2008(25), 51-57, 2008-03-07
- [6] Brad Williams, Tracy Camp "Comparison of Broadcasting Techniques for Mobile Ad Hoc Networks", MobiHoc '02 Proceedings of the 3rd ACM international symposium on Mobile ad hoc networking & computing, Pages 194 - 205
- [7] Sze-Yao Ni, Yu-Chee Tseng, Yuh-Shyan Chen, and Jang-Ping Sheu, "The Broadcast Storm Problem in a Mobile Ad Hoc Network," in MobiCom '99 Proceedings of the 5th annual ACM/IEEE

international conference on Mobile computing and networking

- [8] Sang-woo Chang, Sang-sun Lee, "A Study on Distance-based Multi-hop Broadcast Scheme for Inter-Vehicle Communication", IT Convergence and Security (ICITCS), 2013 International Conference on
- [9] ARIB(電波産業界) STD-T109, http://www.arib.or.jp/english/html/overview/doc/1-STD-T109v1_0.pdf
- [10] Space-Time Engineering, Scenargie Simulator, <https://www.spacetime-eng.com/en/>