

普通車と大型車の混在を考慮した車車間通信による 狭域道路・交通情報の効率的な中継配信方式の提案と評価

高草木政史¹ 森拓也¹ 湯素華¹ 大岸智彦² 小花貞夫¹

概要: 筆者らは、車車間通信により狭域の道路・交通情報を周辺の車両にマルチホップで効率的に配信するために、少ない中継回数でより多くの車両に情報を配信できるように、情報送信車両から最も遠い車両を中継車両として選択する方式をこれまでに提案している。しかしながらこの方式では、車両のアンテナ高が異なる普通車と大型車の混在は考慮していないため、現実的な環境では必ずしも有効な方式とはなっていない。

本稿では、普通車と大型車が混在する環境下で、大型車が普通車よりも車車間通信に使用するアンテナの装着位置が高く、電波をより遠くに飛ばせることを考慮して中継送信を行う方式を提案した。提案方式の有効性を検証するため、実環境の電波伝搬環境を模したシミュレーション評価を行い、従来方式と比較すると提案方式では中継回数を最大 46%、遅延時間を最大 48%減少させることを確認した。

Relay vehicle selection for efficient distribution of local road and traffic information considering co-existence environment of regular and large vehicles

MASASHI TAKAKUSAKI¹ TAKUYA MORI¹ SUHUA TANG¹
TOMOHIKO OGISHI² SADA O OBANA¹

1. はじめに

近年、我が国における ITS(高度道路交通システム)では、700MHz 帯の車車間通信により、お互いの位置・速度などを頻りに交換して衝突を防止する安全運転支援システム [1]が普及し始めているが、今後は安全運転支援だけでなく、運転の快適性や利便性の向上を図る 5.8GHz 帯の車車間通信への期待も大きい[2]。しかし、後者の場合、周辺の道路・交通情報をマルチホップで配信させることを想定する場合が多く、全ての車両が情報を発信、中継すると、膨大な通信トラフィックの輻輳が発生するため、少ない通信回数で周辺車両へ情報を配信できるように適切な中継車両を選択する中継車両選択制御が重要である[3][4]。

筆者らはこれまでに、情報送信車両から最も遠い車両を中継車両として選択する方式[5]を提案しているが、車両のアンテナ高が約 1.5m である普通車のみが対象となっていた。現実的な環境で方式の有効性を上げるためには、アンテナ高が約 3m の大型車両の存在を考慮する必要がある。

本稿では、普通車と大型車が混在する環境下で、大型車が普通車よりも車車間通信に使用するアンテナの装着位置

が高く、電波をより遠くに飛ばせることを考慮して中継送信を制御する方式を提案する。また、車種ごとに電波を飛ばす距離が異なることにより発生する重複配信の問題を解消し、提案方式の有効性をシミュレーション評価を通して検証する。

以降、第 2 章では本提案に関連する技術、第 3 章では本提案のベースとなる従来方式、第 4 章では大型車両混在環境を考慮した中継車両選択の提案方式、第 5 章でシミュレーション評価の結果、第 6 章、7 章でそれぞれ考察および結論を述べる。

2. 大型車両の混在環境を考慮した研究 [6][7][8]

筆者らは、大型車両は車体が大きいため、マルチホップの車車間通信や、路側機との通信を行う際に車両そのものがシャドウイングを引き起こすと考えた。そこで、ある一台の大型車両を代表車とし、路側機の制御の下で車群を形成する方式を提案した。大型車両が発する電波はシャドウイングの影響を受けづらく、大型車両の周辺に存在する普通車両を代表して通信を行うことで、効率の良い通信を行うことができる。しかし、ここでは大型車両が電波を遠くまで飛ばすことができることには注目していない。

¹ 電気通信大学 大学院情報理工学研究所
Graduate School of Informatics and Engineering,
The University of Electro-Communications

² KDDI 総合研究所
KDDI Research, Inc.

3. 本提案のベースとなる従来方式[5]

筆者らは、狭域の道路・交通情報を周辺車両に配信するために 5.8GHz 帯の車車間通信を使用して中継送信を行う車両を選択する際、情報送信車両から最も遠い車両を優先的に中継車両として選択する、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制御方式を提案した。また、提案方式では、進行方向とは異なる方向への配信も同時に行えるように、距離ベースの中継車両選択制御とは別の制御を交差点に位置する車両に施す。

3.1 車両相互の位置把握（従来方式の前提条件）

既に実用化され一部の車種では搭載が始まっている 700MHz 帯の周波数を利用した安全運転支援システム（ARIB 標準 STD-T109[1]）により、100ms 毎に周辺車両と車両の位置情報、速度、移動方向、車両種別および車両番号等の情報（表 1）を含むパケットを発信することを前提とする。これらの情報を基に、各車両は周辺車両の位置を把握しているものとする。

表 1 700MHz 帯の安全運転支援システムで交換されるパケットの構造

| 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 |

3.2 中継車両選択方式

各車両は、3.1 で述べたパケットの情報を参照し、情報送信車両と自車両間の距離を算出する。その後、周辺車両と情報送信車両の距離を計算、比較し、中継優先度を決める。中継優先度は、情報送信車両から最も遠くに存在する車両が最も高く、同じ距離に存在する車両の場合には車両 ID を比較し、ID が小さい車両の中継優先度を高くする。情報送信車両からパケットを受信した全ての車両が共通の位置情報に基づいて自律的に処理を行うことで、周辺車両間で同一の中継優先度を共有する。算出された中継優先度に応じて送信待機時間(3.4)を設定することで、中継機会に差をつける。また、700MHz の電波は 5.8GHz と比較すると、より遠くへ飛ぶ性質を持っており、位置情報を共有したすべての車両が中継優先度を決定すると、無駄が生じる可能性がある。ゆえに後述(表 2)する 5.8GHz 帯の通信可能距離の範囲内で中継優先度を設定する。

3.3 交差点に存在する車両への中継優先度割り当て

見通しの良い交差点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の道路への情報拡散に有効である。そのため、交差点に存在する車両には、3.2 で述べた中継優先度とは別の交差点専用の中継優先度を設定する。専用の中継優先度を設定するため、通常の進行方向への中継を傍受しても中継送信を中止せずに行う。なお同一の交差点内に存在する他の車両の中継送信を傍受した場合には、予定していた中継送信を中止する。

3.4 送信待機時間

各車両が設定した中継優先度は、MAC(Media Access Control)層の送信待機時間により実現している。CSMA/CA における送信待機時間はバックオフ時間と呼ばれ、通常はランダムな値を設定されるが、従来方式では式(1)でバックオフ時間を決定し、図 1 のように情報送信車両から遠い車両ほど送信待ち時間を短くする。送信待機中に他の車両の中継送信を検知した場合、自車両の中継送信を中止することで、冗長なパケットの送信を抑制する。

Wait Time(送信待機時間)

$$= \text{DIFS} + \text{RelayPriority} * \text{SLOT_TIME} \quad (1)$$

DIFS(Distributed coordination function Interframe Space)…固定長の待機時間

RelayPriority…中継優先度、優先度が高いほどこの数値は小さい

SLOT_TIME…1 スロットあたりの送信待機時間(13 μs)

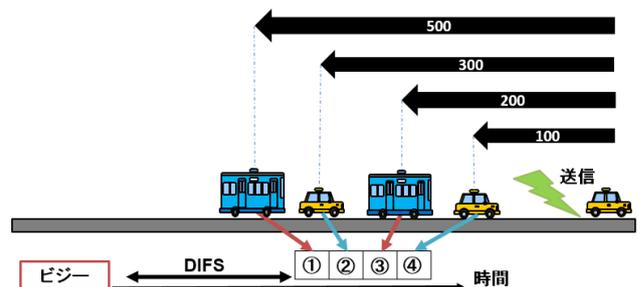


図 1 従来方式の中継車両選択

3.5 従来方式における課題

実環境には普通車と大型車が混在しているが、従来方式では、そのような環境での中継送信制御は考慮していない。大型車両は普通車よりもアンテナ装着位置が高いため、普通車が受信できない電波を受信できる場合や、情報送信車から最遠の車両が中継することが、必ずしも最も効率が良いとは限らないという場合もある。

4. 大型車両混在環境を考慮した提案方式

従来方式の課題に対し、普通車と大型車が混在する環境下で、パケット拡散率の向上、中継回数の低減（つまり遅延時間の低減）を可能とする方式を提案する。

4.1 車種毎に異なる通信可能距離

大型車両は普通車と比較して 2 倍近くの高さにアンテナ

を装着している。本稿では、普通車両は 1.5m、大型車両は 3m の高さにアンテナを装着しているとし、その車種ごとに異なる通信可能距離を実際の電波伝搬環境を模したシミュレーションを行うネットワークシミュレータ Scenargie[9]により求め、結果を表 2 にまとめた。

表 2 車種による通信可能距離

(周波数：5.8GHz，アンテナ高：大型車 3m／普通車 1.5m)

| 車種(送信車)-車種(中継車) | 通信可能距離(m) |
|-----------------|-----------|
| 普通車-普通車 | 357 |
| 普通車-大型車 | 505 |
| 大型車-普通車 | 505 |
| 大型車-大型車 | 714 |

4.2 大型車両混在を考慮した中継車両選択

従来方式では、MAC 層における送信までの待ち時間であるバックオフ時間を情報送信車両からの各車両の距離に基づいて決めたが、提案方式では図 2 のように車両毎に算出した中継可能距離により中継優先度を決定する。中継可能距離は、4.1 で示した通信可能距離と、情報送信車両、中継候補車両間の距離の和で表す。中継可能距離が大きいほど中継優先度は高く、送信待機時間が短くなるように設定する。送信待機時間は 3.4 の式(1)で決定する。

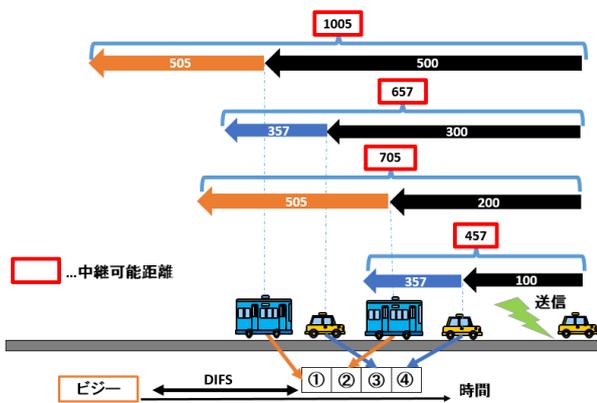


図 2 提案方式による中継車両選択

4.3 取り扱うパケットの構造

700MHz 帯車間通信では、お互いの位置・速度などを交換するが[1]、従来は車両の車種を考慮しなかった。提案方式ではアンテナ装着位置の高い車両を区別する必要があるため、700MHz の安全運転支援システムで交換されるパケットに含まれる車種の情報を活用する。また、提案方式では運転の快適性や利便性の向上を図るために使用される 5.8GHz 帯で表 3 の内容のパケットを取り扱い、そのパケットに含まれる情報を拡散することを目的とする[2]。

表 3 5.8GHz 帯で取り扱うパケットの構造

| 項目 | 説明 |
|---------------------|--------------|
| BroadcastTime | 情報を生成した時間 |
| SourceNodeId | 情報生成車両番号 |
| SourceNodePositionX | 情報生成車両の X 座標 |
| SourceNodePositionY | 情報生成車両の Y 座標 |
| RelayNodeId | 中継車両の車両番号 |
| RelayHopCount | 中継を行った回数 |
| RelayPriority | 中継優先度 |
| EventData | 拡散させる情報の内容 |

4.4 重複配信の抑制

提案方式では、各車両は、同じパケットに対して、別の車両の中継を検知した場合、予定していた中継を中止するが、図 3 に示すような場合に重複して中継する可能性がある。例えば図 3 において、①が発したパケットを④が中継する場合、③の車両はその中継送信を受信し、予定していた中継送信を中止するが、②の車両は④の中継送信を受信できず、予定していた中継送信を中止することができない。その場合、本来中止すべきはずの中継送信を行い、冗長なパケットを送信することとなる。

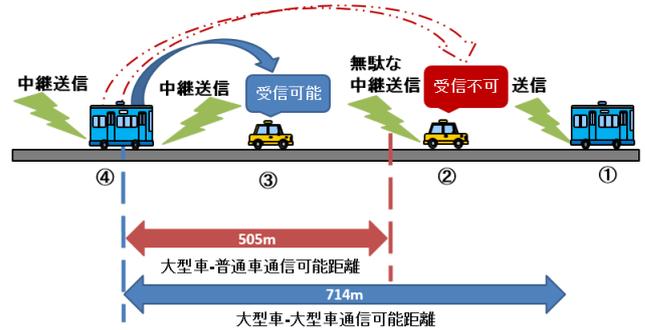


図 3 無駄な中継が発生する通信

この問題に対処するため、全ての普通車両に対し、以下の 3 つの条件をすべて満たすとき、中継送信を行わないこととする。

- ①情報送信車両が大型車かつ自車両が普通車である
- ②情報送信車両の近く(情報送信車両から 200m 程度の距離)に自車両が存在する
- ③周辺に十分な数の車両(中継中断車両数)が存在する

①と②の条件のみを満たした場合でも、冗長なパケットの送信を中止することができる。しかし、十分な車両数が周辺に無い状態で①②の条件を満たす全ての車両の中継送信を中止すると、本来行うべき中継送信も中止してしまう可能性がある。このため、③の条件である十分な数の車両が周辺に存在していることを確認できた場合にのみ、中継送

信を中止することとする。中継中断車両数に関しては5章のシミュレーション評価で詳細を述べる。

4.5 同一パケットに対する中継車両選択制御

従来方式では、情報送信車両から最遠の車両が中継送信を行うため、「情報送信車両-中継候補車両-中継車両」という順番で車両が並ぶことが多いが、大型車両混在環境において、提案方式は必ずしも最遠の車両が中継送信を行うのではなく、図4のように「情報送信車両-中継車両-中継候補車両」という順番で並ぶ場合が多く存在する。従来方式のままでは、通信が混雑してきた場合、直前の中継車両に近い車両が中継送信を行う可能性があるが、従来方式では、同一パケットに対しては1度中継送信を受け取った場合、そのパケットに対して次の中継候補車両から外れるため、中継車両を選択できる車両数が不足し、中継が途中で中断されてしまう問題がある。そのような問題を回避するために、「情報送信車両-中継車両-中継候補車両」という並びになったとき、2度目の受信車両を次の中継の候補車両に含めるようにする。そうすることで、ある車両が情報生成車両側から何度同じパケットを受信しても、自車両の後方に存在する車両へパケットを中継送信するまでは中継候補車両に含めることができる。

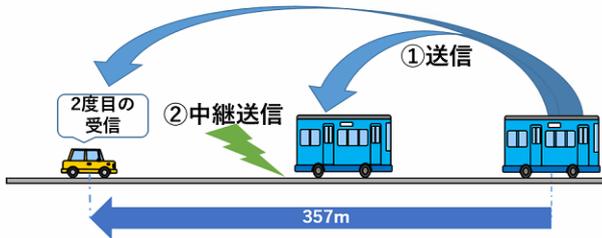


図4 同一パケットを再度受信したケース

5. シミュレーション評価

提案方式の有効性を検証するために、実際の電波伝搬環境を模したシミュレーションを行うことができるネットワークシミュレータ Scenargic に、提案方式を実装し、評価を行った。

5.1 大型車両台数

普通車と大型車が混在する環境を考慮するために、大型車両の交通量を調査し、表4にまとめた[10][11]。

表4 大型車両通行割合

| 道路の種類 | 大型車両割合(%) |
|---------|-----------|
| 高速自動車国道 | 35.8 |
| 都市高速道路 | 22.4 |
| 一般国道 | 17.2 |
| 都道府県道 | 12.5 |
| 平均 | 18.3 |

5.2 シミュレーション条件

シミュレーションは、長さ16km、片側一車線の直線道路で行う。これは、大型車両が多く通行する高速道路で提案方式の効果を確認するためである。各車両はランダムに決定された初期位置で静止し、一定間隔で情報を生成する。その他の主なシミュレーション条件は表5に示す。

表5 シミュレーション条件

| 項目 | 内容 |
|----------------|---|
| 通信方式 | IEEE802.11p |
| 周波数 | 5.9GHz |
| パケットサイズ | 256byte |
| 電波伝搬モデル | ITU-RP.1411 |
| 最大ホップ数 | 100 |
| 車両1台当たりの情報生成間隔 | 1秒/2秒/4秒/8秒 |
| 全車両数 | 500台 |
| 大型車両台数 | 0%(0台)/10%(50台)/ 20%(100台)/30%(150台)/ 40%(200台) |
| 中継中断車両数 | 20台(固定) |
| シミュレーション時間 | 45秒 |
| 車両位置 | ランダム(固定) |
| 試行回数 | 5回 |

5.3 評価

評価項目は以下である。

- 1) 全車両の中継回数の合計
- 2) パケットの送信完了に要する遅延時間の平均
- 3) パケット拡散率

$$\text{パケット拡散率} = \frac{\text{あるパケットを受信した車両数}}{\text{全車両数}} \quad (3)$$
- 4) チャンネル使用率

また、比較方式は3章で述べた従来方式[5]、4章で述べた方式で4.4と4.5の処理を行わない基本方式として評価を行う。

5.4 シミュレーション結果

(1) 提案方式の中継回数

図5は提案方式において、車両1台当たりの情報生成間隔と大型車両台数を変化させたときの中継回数の合計と、大型車両割合40%と0%を比較したときの中継回数の削減率を表したグラフである。普通車両のみのときと比較すると、大型車両がいくついても存在しているときは中継回数が少なく、大型車両割合40%、情報生成間隔8秒のときに最大43%削減できていることがわかる。また、情報生

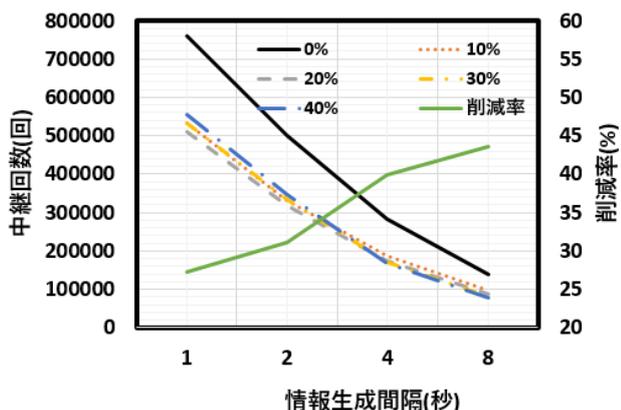


図 5 提案方式の中継回数

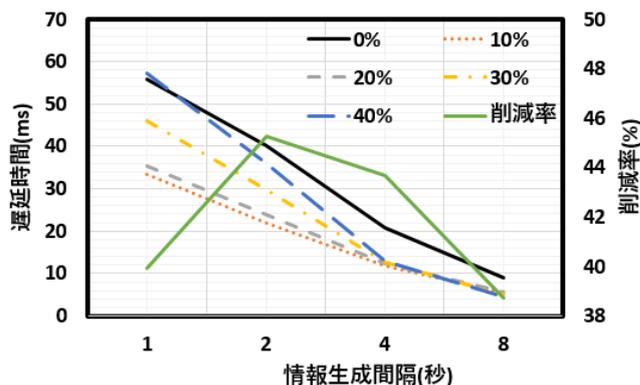


図 7 提案方式の遅延時間

成間隔が短く、大型車両割合が多くなると、中継回数は増加し、削減率は低減する傾向にあるとわかる。

(2) 中継回数の比較

図 6 は、大型車両割合 40%のときの各方式の中継回数の比較、従来方式と比較したときの提案方式の中継回数削減率を表したものである。従来方式と比較すると、提案方式は情報生成間隔 8 秒のときに最大 41%削減できているとわかる。基本方式は提案方式に対して削減率が低いことがわかる。また、情報生成間隔が短くなると削減率は低減する傾向が見られる。

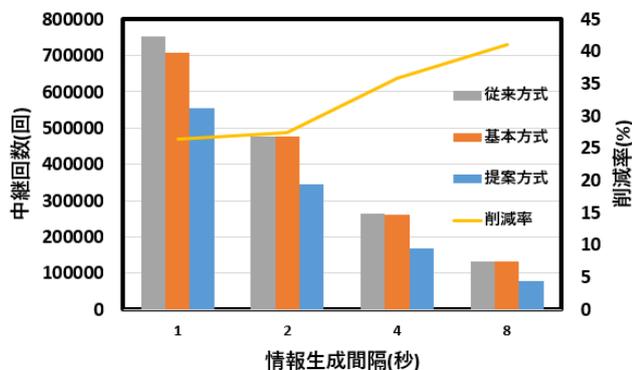


図 6 中継回数の比較

(3) 提案方式の遅延時間

図 7 は提案方式において、車両 1 台当たりの情報生成間隔と大型車両台数を変化させたときの遅延時間と、大型車両割合 10%と 0%を比較したときの遅延時間の削減率を表したグラフである。情報生成間隔 2 秒において、大型車両割合 10%のときに最大約 45%削減できたことがわかる。大型車両台数、情報生成間隔が増加するほど、遅延時間は増加する傾向が見られた。また、情報生成間隔 1 秒のとき、大型車両割合 0%と 40%を比較するとほぼ同じ程度の遅延が発生しているとわかる。

(4) 遅延時間の比較

図 8 は、大型車両割合 40%のときの各方式の遅延時間の比較、従来方式と比較したときの提案方式の遅延時間削減率を表したものである。情報生成間隔 8 秒のときに従来方式と比較すると、提案方式は遅延時間を最大約 56%削減できているとわかる。また、基本方式は情報生成間隔が増加すると遅延時間が増大する傾向が見られる。

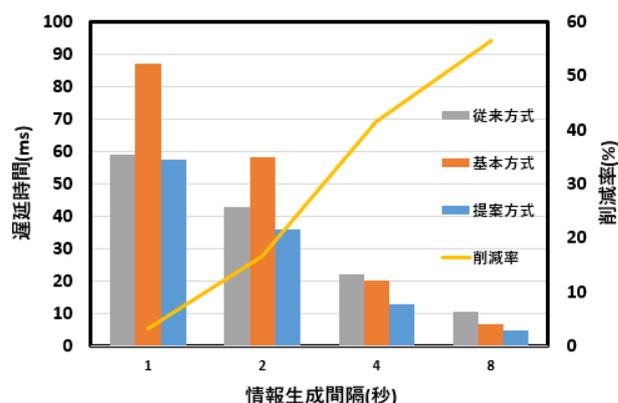


図 8 遅延時間の比較

(5) 提案方式のパケット拡散率

図 9 は提案方式において、車両 1 台当たりの情報生成間隔と大型車両台数を変化させたときのパケット拡散率と、大型車両割合 40%と 0%を比較したときのパケット拡散率の増加率を表したグラフである。情報生成間隔 2 秒のとき、大型車両割合 0%と 40%を比較すると、40%のときにパケット拡散率が最大約 7.4%増加することがわかった。また、大型車両が増加するほどパケット拡散率は増加するが、大型車両割合 0%と 10%を比較すると、0%のときの方が高い値を示す傾向が見られる。

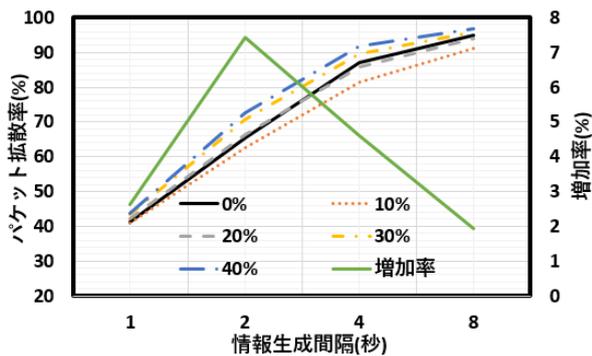


図 9 提案方式の packets 拡散率

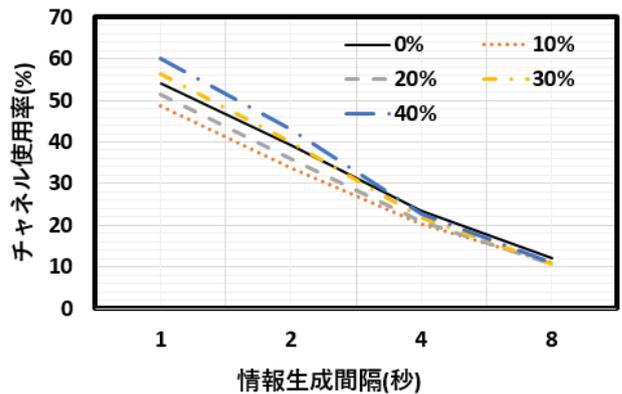


図 11 提案方式のチャンネル使用率

(6) packets 拡散率の比較

図 10 は、大型車両割合 40%のときの各方式の packets 拡散率の比較、従来方式と比較したときの提案方式の packets 拡散率の増加率を表したものである。従来方式と比較すると、提案方式は情報生成間隔 2 秒のとき、最大 15% packets 拡散率を増加させることができているとわかる。また、基本方式の packets 拡散率はいかなる場合でも高く、情報生成間隔 8 秒のときに最大 98%を示す。

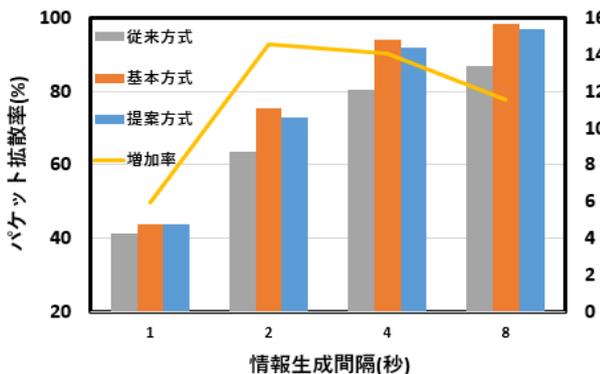


図 10 拡散率の比較

(7) チャンネル使用率

図 11 は提案方式において、車両 1 台当たりの情報生成間隔と大型車両台数を変化させたときのチャンネル使用率を表したグラフである。ここでは大型車両が混在することでの中継回数減少と、大型車両が電波を飛ばす距離が大きい点に着目する。

図 11 より大型車両が増加するほどチャンネル使用率は増加する傾向が見られる。情報生成間隔、大型車両台数とともに増加すると、普通車両のみのときと比較して大型車両が存在する場合にチャンネル使用率が高くなる場合があるとわかる。また、図 12 は大型車両割合 40%のときの各方式のチャンネル使用率を比較したものである。従来方式と比較すると、提案方式は情報生成間隔が 4 秒のとき最大 15%チャンネル使用率を削減できているとわかる。情報生成間隔が

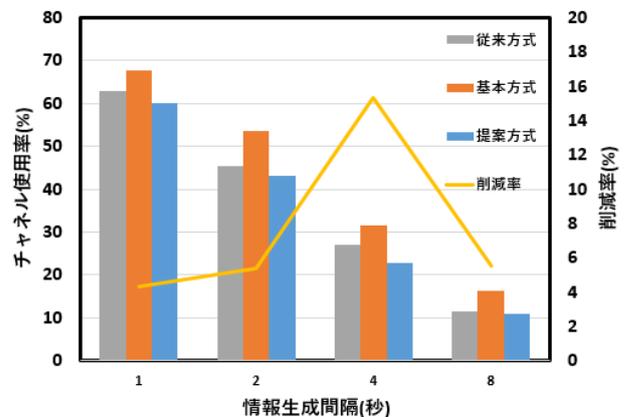


図 12 チャンネル使用率の比較

長いときは各方式のチャンネル使用率にあまり変化は無く、情報生成間隔 4 秒をピークに削減率が低下していることがわかる。

6. 考察

6.1 提案方式の有効性に関する考察

大型車両混在環境の中継回数(図 5)は、普通車両のみの環境のときと比較すると、高い削減率を見せているため、中継送信に大型車両をうまく活用できていると言える。

また、遅延時間(図 7)に関しては大型車両が多すぎない環境で高い効果を発揮できていると言える。詳細は 6.2 で述べるが、表 2 より大型車両は電波を飛ばすことができる距離が大きく、その影響である 1 台の車両が受信できる packets が増え、送信待機時間が長くなるためであると考えられる。

packets 拡散率(図 9)に関しては、情報生成間隔 2 秒の時をピークに従来方式と比較したときの増加率が最も高い。情報生成間隔が長い場合は通信の混雑がそもそも少なく、大型車両が中継することで得られる中継回数削減効果が少ない。また、情報生成間隔が短いときは後述(6.2)する理由より、大型車両が中継を行う機会が減少し、効果が低減していると考えられる。

6.2 通信が混雑したときの考察

提案方式においても従来方式と同様に、通信が混雑するとデータの数値が悪化する傾向が見られる。これはパケットの衝突等の現象が多発しやすくなるためだと考えられるが、大型車両混在環境での通信混雑理由は、情報生成間隔の短さに加え、大型車両が電波を飛ばすことができる距離が大きいことが挙げられる。図 5 より、提案方式では大型車両混在環境で中継回数を減らすことに成功しているが、チャンネル使用率(図 11)ではあまり大きな変化は無く大型車両 200 台においては普通車両のみのときよりも高くなっている。普通車両同士の通信では 357m、大型車両どうしの通信では 714m の通信が可能であり、これらの間には 2 倍の差がある。電波を 2 倍飛ばすことができる環境があるにもかかわらず、情報生成間隔 1 秒のときは中継回数を 27% 程度しか削減できておらず、大型車両混在による電波の輻射を緩和しきれていないものと考えられる。また、提案方式では中継優先度を、通信可能距離と車両間の距離の合計である中継可能距離に応じて決めているため、通信可能距離の長い大型車両の中継優先度は高くなる傾向がある。しかし、図 13 より通信が混雑してくると、高い中継優先度の車両、すなわち大型車両の中継車両として使用する頻度が下がり、普通車が中継送信を行う回数が増加している。

以上から、提案方式では大型車両混在環境で大型車両の台数、情報生成間隔通信が過度に増加し、通信が混雑すると普通車両のみで中継送信制御を行う環境に値が近づく傾向にあると言える。

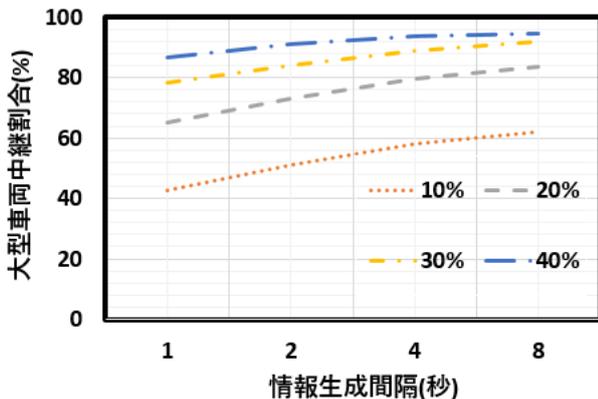


図 13 大型車両中継割合

6.3 各方式との比較の考察

全体を通して、提案方式における大方車両割合 0%と 40% を比較したときの改善率と、提案方式と従来方式を比較したときの改善率が似た傾向にあるとわかる。これについては、従来方式において大型車両割合を変化させたときのパケット拡散率を表した図 14 を用いて説明を行う。図 14 より従来方式では大型車両が増加するほどパケット拡散率が低下する傾向が見られる。大型車両混在環境において、大

型車両を普通車と同じように扱って中継送信を行った場合、大型車両が電波を飛ばす距離が大きいことから、電波干渉の影響をより大きく受けると考えられ、大型車両混在環境の考慮の必要性を裏付けることができる。

図 6 の中継回数において、基本方式と従来方式を比較すると、あまり変化がないことがわかるが、これは重複配信が発生しているからだと考えられる。図 12 より、重複配信の影響で基本方式のチャンネル使用率が大きくなり、それに伴い遅延時間(図 8)が非常に大きくなっていると考えられる。しかし、提案方式と基本方式のパケット拡散率を比較すると(図 10)、基本方式の方が最大約 3%高い値を示している。これは 4.4 の重複配信抑制制御で、本来止めるべきではない中継送信を止めてしまっている可能性が考えられる。今後は、パケット拡散率を維持しながら重複配信を中断することを目標とする。

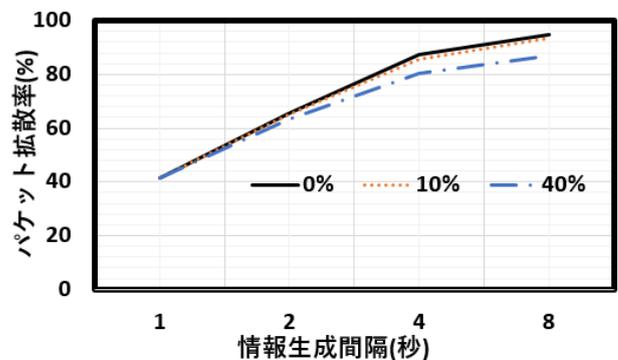


図 14 従来方式のパケット拡散率

7. おわりに

本稿では車車間通信により狭域の道路・交通情報を効率的に配信するための中継車両選択制御において、普通車と大型車が混在する環境下で高い性能を発揮する方式を提案した。提案方式では、大型車は普通車よりも電波を遠くに飛ばすことができることに着目し、送信車から最遠の車両を選択する既存方式をベースに、中継可能距離が大きい順に中継車両を選択するように拡張した。シミュレーション評価の結果、普通車両のみが存在する場合と比較して、中継回数を最大 43%、遅延時間は最大 45%減少させ、またパケット拡散率を最大 7.4%改善できることがわかった。また、重複配信を中断する処理を行わない基本方式と比較しても、中継回数を最大 40%、遅延時間を最大 38%削減できたことがわかった。

今後は、今回実施した高速道路以外の市街地等の環境を対象とした評価を行うとともに、車両を移動させるなどの実環境に則したシミュレーション評価を行う。また、今回考慮した建物による電波の遮蔽や反射等に加えて、車両自身による電波の遮蔽についての考慮も検討する。

参考文献

- [1] 700MHz 帯高度道路交通システム, ARIB 標準, STD-T109 1.0 版, 2012.
- [2] 総務省, ITS 無線システムの高度化に関する研究会報告
http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/12211.html
- [3] Ni,s.-Y.,Tseng, Y ,-C., Chen,Y.S. and Sheu, J.-P.:The Broadcast Storm Problem in a Mobile Ad Hoc Network, Proc. MobiCom'99, pp.151-162(1999).
- [4] M. Torrent-Moreno.D. Jiang and H.Hartenstein, "Broadcast Reception Rates and Effects of Priority Access in 802.11-Based Vehicular Ad-Hoc Networks," *Proc. Of the 1st ACM International Workshop on Vehicular Ad hoc Networks*, pp.10-18, Oct. 2004.
- [5] 吉川 潤, 湯 素華, 小花貞夫, 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, 情報処理学会論文誌, Vol.57, No.1, PP.43-53, January 2016.
- [6] 藤村 嘉一, 長谷川 孝明, 大型車両を用いたマルチホップ VIS に関する一検討, 電子情報通信学会技術研究報告, ITS 106(265), pp. 25-30, 2006.
- [7] 牛谷 善哉, 今尾 勝崇, 東野 武史, 塚本 勝俊, 小牧 省三, 大型車両を基点とした車車間・路車間融合通信システムにおけるリンクブロッキング率の改善効果に関する検討, 電子情報通信学会論文誌 B, 通信, J89-B(6) PP.909-919, July 2006.
- [8] Ruisi He, Andreas F. Molisch, Fredrik Tufvesson, Zhangdui Zhong, Bo Ai, and Tingting Zhang, "Vehicle-to-Vehicle Propagation Models with Large Vehicle Obstructions," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 15, No. 5, PP. 2237-2248, October 2014.
- [9] Space Time Engineering "Scenargie Simulator 2.0",
<https://www.spacetime-eng.com/en/company>
- [10] 国土交通省, 平成 27 年度 全国道路・街路交通情勢調査 一般交通量調査結果の概要について
- [11] 警視庁交通部, 交通量統計表, 平成 28 年 10 月
http://www.keishicho.metro.tokyo.jp/about_mpd/jokyo_tokei/tokei_jokyo/ryo.html