

セルラ V2X と DSRC を併用した車車間通信による 狭域道路・交通情報の効率的な配信方式の提案と評価

高草木政史¹ 湯素華¹ 上野高明² 大岸智彦² 小花貞夫¹

概要: 700MHz 安全運転支援システムや 5.8GHz 専用狭域通信 (DSRC) は、従来から主たる車両ネットワークとして検討されているが、近年話題となっているセルラ V2X(LTE support for V2X services)による車車間通信では、車両同士が直接通信を行うサイドリンク方式と、基地局を経由して広範囲にブロードキャストする 2 方式が検討されている。本発表では、短い距離へ素早く情報を届ける DSRC(IEEE802.11p)と基地局を経由して広範囲に情報を届けるセルラ V2X におけるブロードキャストを併用して狭域道路・交通情報を低遅延・高信頼に配信する基本方式を提案する。さらにすべての情報をエリア全域へ配信する際の非効率問題と近隣車両間で同じイベントに対する重複配信問題をそれぞれ配布範囲制御と重複配信制御を用いて配信効率を向上させる拡張方式を提案する。評価の結果、基本提案方式のうち DSRC を用いた方式は基地局経由配信と比較して遅延時間を最大 75%削減し、拡張提案方式は基本提案方式と比較してイベント受信成功率を最大 11%向上させることがわかった。

Efficient distribution of local road and traffic information by combining Cellular V2X and DSRC and its performance evaluation

MASASHI TAKAKUSAKI¹ SUHUA TANG¹ TAKAAKI UENO²
TOMOHIKO OGISHI² SADA O OBANA¹

1. はじめに

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・速度などの情報を定期的に交換して衝突を防止する安全運転支援システム[1]や、事故、渋滞等の狭域道路・交通情報を交換して運転の快適性や利便性の向上を図る 5.8GHz 帯の車車間通信の利用が期待されている[2][3]。一方近年話題となっているセルラ V2X(LTE support for V2X services)による車車間通信では、車両同士が直接通信を行うサイドリンク方式と、基地局を経由して広範囲にブロードキャストする 2 方式が検討されている[4]。全ての情報を車両同士が直接通信を行う方式で配信する場合、見通し外の車両への配信を行うことが困難なため、見通し外の車両へ情報を送信可能な基地局経由のブロードキャストの重要性は高い。また全ての情報を基地局経由のブロードキャストで配信する場合、基地局を経由することで大きな遅延が発生することが考えられる。そこで、低遅延・高信頼の通信要求を満足するため、2 つの方式を組み合わせることが重要である。さらに、近くの車両が同じ情報を観測し送信することで無駄な通信が発生し、輻輳が起きてしまうため情報の重複率を抑える通信

方式の検討が必要である。

本稿では米国で狭域道路・交通情報配信として扱われる 5.9GHz 帯の DSRC (IEEE802.11p) と、セルラ V2X におけるブロードキャストを併用して、低遅延と高信頼を両立化する通信方式を提案する(基本提案方式)。また、配信エリア全域へ情報を拡散するセルラ V2X におけるブロードキャストが抱える帯域不足の問題を重複配信抑制と配布範囲制御の 2 点から解消する方式を提案する(拡張提案方式)。これらの提案方式の有効性をシミュレーション評価で検証する。以降、第 2 章では本提案に関連する技術、第 3 章では基本提案方式に関する説明、第 4 章ではブロードキャストを効率化する拡張提案方式、第 5 章で拡張提案方式のシミュレーション評価の結果・考察、第 6 章で結論を述べる。

2. 狭域道路・交通情報の配信方式

LTE によるデバイス間直接通信(Device to Device)は国際標準仕様策定団体である 3GPP の Release12 で初めて策定された。また近年車両や新幹線等の高速移動体乗車時の高品質通信への需要が高まっていることから、3GPP の Release14 で高速移動環境下の通信品質向上に向けた検討が行われた。本稿では 3GPP, Release14 の通信規格に準拠したセルラ V2X と、従来から検討が進められている DSRC (IEEE802.11p) の 2 つを利用するため、それぞれの説明を

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.

以下に記す。

2.1 サイドリンク [5]

3GPP では LTE をデバイス間直接通信へ適用する方式をサイドリンクと呼び、基地局が行ったスケジュール情報に基づいて車両の送信用 RB(Resource Block)を決定する Mode3 と、車両がチャンネルをセンシングすることにより自律分散的に送信用 RB を決定する Mode4 の 2 方式が存在し、送信自体はいずれも基地局を経由しない。

2.1.1 Mode3

Mode3 は送信タイミング毎に、送信すべきデータの有無を確認し、基地局に使用可能なスケジューリング情報を確認する。当該通信の送信スケジューリングが既に行われている場合はそのスケジューリング情報に基づいて RB を使用して送信を行う。スケジューリングが行われていない場合は基地局へスケジュール要求を行う。

2.1.2 Mode4

Mode4 によるスケジューラでは、Sensing-based Semi-Persistent Scheduling と呼ばれる方法で、各車両が自律分散的にチャンネルをモニタリングし使用する RB のスケジューリングを行う。送信タイミング毎に、送信すべき情報が存在する場合は送信可能なタイミングかを確認し、送信可能なタイミングの場合は、スケジューリング情報に基づいて送信を行う。この時スケジューリング情報が無い場合はセンシングによって他車両が使用している RB を特定し、それを避けて RB の割り当てを行う。情報を送信する際には制御情報として送信間隔と使用した RB の場所を通知する。また、通信遅延と車両移動への対応のトレードオフから、Mode4 には送信を行う度に 1 ずつ減る RB 再選択カウンタを設け、それが 0 になった場合 RB を再選択する。

2.2 ブロードキャスト [6]

無線リソース管理を通信事業者が行う携帯基地局からの同報配信である。基地局が行う下りのブロードキャストには、1)基地局間同期配信の eMBMS(evolved Multimedia Broadcast Multicast Service)と、2)基地局間非同期配信の SC-PTM(Single Cell Point to Multipoint)の方式が存在する。どちらの方式もネットワーク上に存在するサーバーを経由することで広い通信エリアをカバーすることができ、既存商用網を利用できるのが特徴である。

2.3 DSRC (IEEE802.11p)

IEEE802.11p は、IEEE802.11 規格に移動体通信環境向けの拡張を施したものである。この拡張には高速で移動する車両と路側インフラとの協調も含まれており 5.9GHz (5.85-5.925Ghz) の ITS バンドを用いるものである。IEEE802.11p は DSRC(Dedicated Short-Range Communications)と呼ばれる狭域通信から CALM(Communications Access for Land Mobiles)と呼ばれる広域通信システムを対象としており ETC 等の決済システムや交通安全サービス、広告などの商取引などの利用が想定される。また通信方式として

CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance)を用いており、周囲に通信している車両が確認されない場合に送信するという制御を行う。

2.4 先行研究

DSRC とセルラ V2X の性能比較検証は[7]に行われた。評価の結果セルラ V2X はその通信方法の信頼性の高さから DSRC と比較してパケット受信成功率が同等以上になることがわかったとされている。

また、車両混雑による遅延時間の増加やパケット受信成功率の低下に関する問題を、リソース割り当て方式の改良 [8]や、車両が路側機から情報を収集する方式[9]によって解決する取り組みが行われている。

2.5 先行技術や先行研究の問題点

ブロードキャストは高い位置にアンテナが装着してある基地局を経由するため広範囲へ向けての配信が可能であるが、ネットワーク上のサーバーを経由するため配信に大きな遅延がかかる通信である。また、セルラ V2X におけるサイドリンクや DSRC 等の基地局を介さない車車間直接通信は遅延が小さくなるが、配信可能距離が短いことはもちろん、ビル等で見通しが遮られてしまう場合には通信が困難になる方式である。これらの通信を組み合わせることでそれぞれの短所を補う方式が検討可能である。また今まで、狭域道路・交通情報配信のためにセルラ V2X や DSRC のそれぞれの性能検証や比較が行われていた[7]が、それらの方式を組み合わせることは行われていない。また端末数増加による輻輳制御や情報の種類増加による輻輳制御をそれぞれ個別に行う評価はされている[8][9]が、それらを同時に行う方式の提案と評価はされていない。

3. セルラ V2X と DSRC を組合せる基本方式 [10]

先に 2 章で述べた方式を組み合わせることで、低遅延・高信頼に狭域道路・交通情報を配信する基本方式を提案し、シミュレーションによりその性能を評価し、不足を明確にする。

3.1 各配信方式

本稿では車両が観測した歩行者位置情報や事故・渋滞情報を他車両に拡散することを目的とする。それは 2 章で述べたいずれかの配信方式により実現可能である。車両が生成した情報を基地局に送信し、基地局がその情報を同報配信することを基地局経由配信(B 方式)と定義する。基地局経由配信は 2.2 で述べた方式とは配信元が異なるだけであり、配信元が基地局へ情報を送信した後の処理は同様である。また DSRC の通信を D 方式、セルラ V2X におけるサイドリンクを S 方式と呼び、3.2 にそれらを組み合わせる方式を記載する。

3.2 組み合わせ基本方式

本稿では 2.5 で述べた課題を解決するために、2 章で述べた低遅延通信が可能と考えられるサイドリンクや従来か

ら検討されている DSRC と、広範囲への高信頼通信が可能な B 方式を組み合わせる以下の 2 つの方式を検討した。

- ① サイドリンク+基地局経由配信 (SB 方式)
- ② DSRC+基地局経由配信 (DB 方式)

この組み合わせ方式は、各車両に通信モジュールを 2 つずつ搭載することで実現する。各車両はパケットを生成し送信する際、搭載された 2 つの通信モジュールでパケットを送信し、見通し内に存在する車両にはサイドリンクや DSRC の低遅延通信が可能な車車間直接通信でパケットを受信することができ、遠方や見通し外に存在する車両に対しては基地局を経由した B 方式でパケットを送信することが可能である。

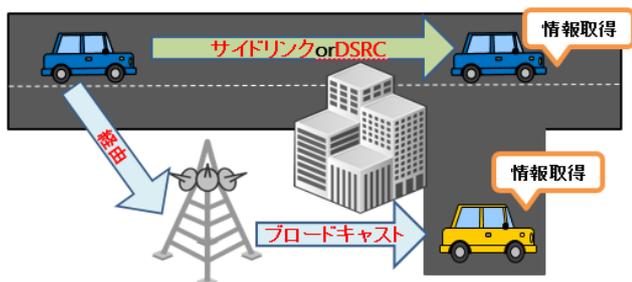


図 1 組み合わせによる基本方式

3.3 取り扱うパケットの構造

700MHz 帯車車間通信では、お互いの位置・速度などを交換するが[1]、狭域道路・交通情報の配信は行わない。提案方式では各通信アプリケーションで表 1 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とする。

表 1 送信パケットの構造

項目	説明
BroadcastTime	情報を生成した時間
SourceNodeID	情報生成車両番号
Applicationtype	送信アプリケーションの種類
SourceNodePositionX	情報生成車両の X 座標
SourceNodePositionY	情報生成車両の Y 座標

3.4 想定環境

表 2 は自動運転のために必要とされる地図情報であるダイナミックマップに用いられる情報として定められたものと、100ms 毎に更新される車両位置情報等の情報である。更新頻度が最も高い超高度動的データに関しては 700MHz 帯の安全運転支援システムで交換されると定められており、路面情報や地図情報等の更新頻度の低い準静的データと恒久静的データは基地局を介したネットワーク上のサーバーから配信される情報であるとする。本稿では高度動的データと準動的データを配信対象とする。またこれらの交通情報は近くに存在する異なる車両間で同じイベントとして観測し、重複した配信となる場合が考えられる。

表 2 ダイナミックマップと安全運転支援システムで用いられる情報

情報の分類 (更新頻度)	扱う情報
超高度動的データ (0.1 秒以内)	周辺車両位置情報 ブレーキ状態, ウィンカー情報
高度動的データ (1 秒以内)	歩行者情報, 信号情報
準動的データ (1 分以内)	事故情報, 渋滞情報, 狭域天気情報
準静的データ (1 時間以内)	路面情報, 交通規制情報, 道路工事情報, 広域天気情報
恒久静的データ (1 日～)	地図, 道, 標識, 建物

3.5 基本方式のシミュレーション評価

3.5.1 シミュレーションの条件と概要

シミュレーションはネットワークシミュレータ (Scenargie) をベースに作成した V2X シミュレータ (3GPP リリース 14 準拠) で評価を行った。B 方式におけるブロードキャストには既に普及が進んでいる eMBMS を、サイドリンクには要件詳細が通信事業者の実装に任されていない Mode4 を用いる。帯域幅は組み合わせの有無にかかわらず全てのシナリオで公平な評価を行うため、合計 30MHz を使用するように設定する。その他のシミュレーション条件を表 3 に示す。

表 3 ベース方式のシミュレーション条件

項目	値
シミュレータ	Scenargie 機能拡充 (3GPP Release14)
通信方式	D 方式, S 方式 (Mode4), B 方式 (eMBMS)
比較方式	B 方式, SB 方式, DB 方式
周波数	5.9GHz
帯域幅	B 上 10MHz 下 20MHz DB D:10MHz B:上 10MHz 下 10MHz SB S:10MHz B:上 10MHz 下 10MHz
パケットサイズ	256byte
伝搬モデル	直接通信: ITU-RP.1411 Uplink, Downlink: LTE_Pico
車両数	100~500 台
基地局数	12 台
車両位置	ランダム (固定)
情報生成頻度	1 秒/台
観測範囲	100~400m (100m 刻み)
実行時間	30 秒
試行回数	10 回または 100 回

3.5.2 評価項目

各車両を中心とした一定半径までの距離(観測範囲)をパラメータとし、次の2点を評価項目とした。

- 1) パケット拡散率:情報を受信した車両数/観測範囲内の全車両数
- 2) 遅延時間:車両がパケットを生成してからその観測範囲における各車両が受信するまでの時間の平均

3.5.3 シミュレーション結果と課題

図2は各方式において観測範囲を変化させたときの遅延時間である。観測範囲100mにおいてDB方式はSB方式と比較して約66%, B方式と比較して約75%遅延時間を削減するとわかった。これはDB方式においてCSMA/CAによる遅延時間の短い通信を行うDSRCが大きな効果を発揮するためだと考えられる。観測範囲が大きくなるとDB方式とSB方式はB方式の遅延時間の値へ収束するが、これは観測範囲を広げるほど組み合わせ方式内で通信範囲の広いB方式の割合が増加しているためだと考えられる。図3は各方式において観測範囲を変化させたときの拡散率である。どの位置でもSB方式が最も拡散率の高い方式であることがわかるが、これはスケジューリングを行う安定した通信であるサイドリンクが大きな効果を発揮しているためだと考えられる。

図4は各方式において車両台数を変化させたときの拡散率である。車両台数を変化させたときも同じようにSB方式は高い拡散率を維持しているが、車両台数500台の時にB方式の拡散率が大きく低下していることがわかる。これはエリア全域へ全ての情報を配信する基地局からの下りブロードキャストのRB不足が原因だと考えられる。また図5から車両台数が300台を超えると、SB方式やDB方式において、受信したパケットのうち、先にB方式によって受信したパケットの割合が低下することがわかり、図4の拡散率低下の影響がB方式のRB不足によるものだと考えられる。

これらの分析をイベントの種別を行う環境下(詳細は4章に記載)で行い、表4に配信された各車両が受信したイベントの重複回数を全パケットの受信回数で割った数値を重複率として記載した。表4より車両台数100台のときのイベント重複率は全体の24.6%であり、車両台数500台のときのイベント重複率は83.2%であることがわかった。これらの結果から、イベントの重複を削減することでB方式のRB使用率を削減し、B方式の拡散率を向上することができれば、組み合わせを行っている他の方式の拡散率も向上するということが推察できる。また、それぞれの情報が必要とされる配信範囲に注目することで、本来必要とされない場所への配信を抑制でき、通信量を削減することが可能である。4章ではこれら2点からB方式の通信効率化を行う。

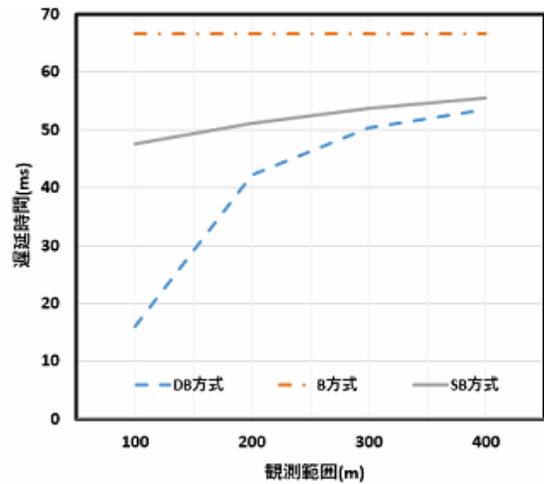


図2 観測範囲を変化させたときの遅延時間(車両:100台)

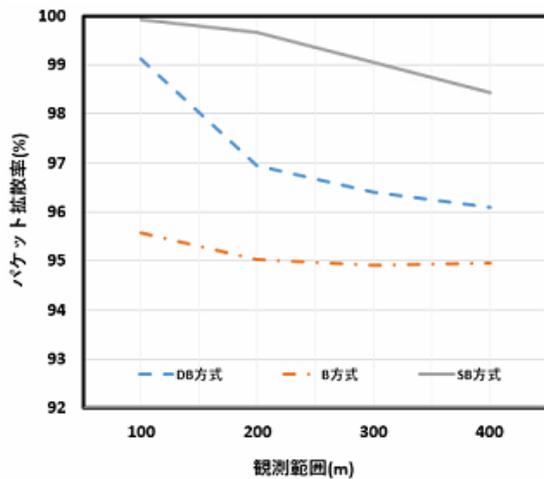


図3 観測範囲を変化させたときの拡散率(車両:100台)

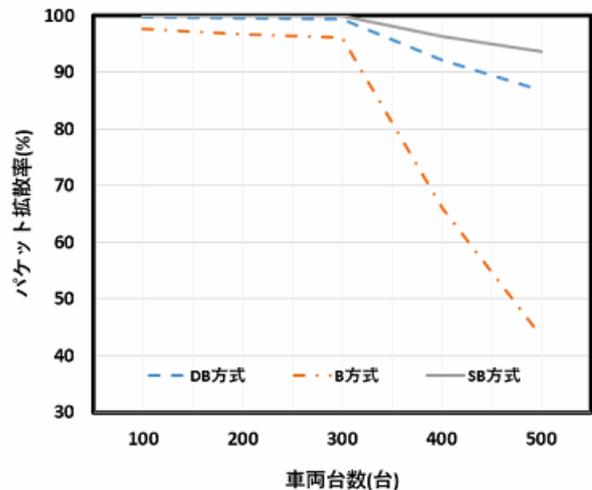


図4 車両台数を変化させたときの拡散率(観測範囲:100m)

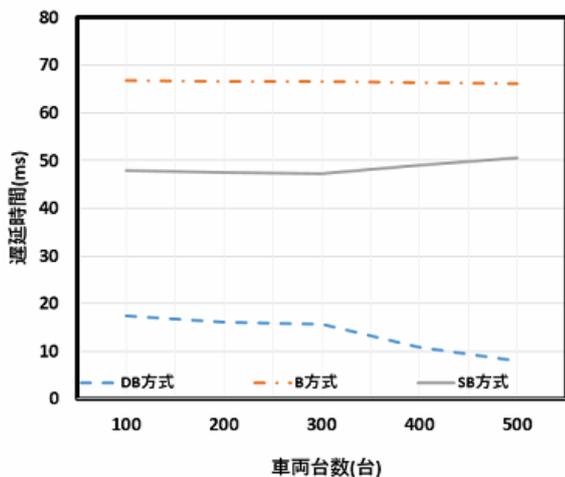


図 5 車両台数を変化させたときの組み合わせ方式におけるブロードキャストの割合(観測範囲:100m)

表 4 配信されたイベントの重複率

車両台数(台)	重複率(%)
100	24.6
500	83.2

4. DB方式に対する拡張方式

DB方式で想定した環境は情報に区別を付けず、生成された全ての情報を全域へ配信していた。しかし表4より実環境で生成された狭域道路・交通情報は全ての車両が別のイベントを観測し配信するようなものではなく、異なる車両が同じイベントをセンシングすることがあるため重複した情報が生成されるとわかった。そこで従来方式の課題に対し、情報の種別を行う環境下で、重複した情報のブロードキャスト配信回数削減や、イベントによってその有効範囲が異なることに注目し配布範囲の制御を行うことで配信効率の向上を目指す方式を提案する。

4.1 重複情報の配信制御

DB方式では、情報が種別されている環境下で重複した情報を送信してしまう問題が存在した。そこで情報が種別された環境を考慮する拡張方式では、DSRCによる受信状況を元に重複情報の配信制御を行う。あるイベントを観測し生成したパケットの内容が既に他の車両からDSRCで受信したものであった場合、その後予定したそのイベントに関する情報の送信はD方式とB方式両方において行わない。イベントの区別はそのイベントが観測された位置とイベントの種類によって行う。

DSRCで受信したパケットのみ予定していた送信をキャンセルする理由は3つある。1つ目の理由はDSRCが通信不可能な遠方に存在する車両からのイベント情報は同じイベントでも別の視点から見たものである可能性があり、そこから新たな情報が得られることがあるというセンシング

モデルに基づいた検討をしたことが挙げられる。もう1つはB方式の遅延時間が大きいことから同じイベントの内容を含むパケットを2台以上の車両がほぼ同時に生成した際に、遅延の影響で送信を行う場合とそうでない場合が発生する可能性があるためである。最後にB方式が車両増加による輻輳の影響を受けやすく、正しくパケットを送信できる可能性が低いことが挙げられる。

4.2 情報の種類による配布範囲制御

DB方式では、情報の種類によって配布すべき範囲が異なることを考慮せず、全ての情報を全ての基地局からブロードキャストしていた。拡張方式では基地局でパケットに含まれるイベント情報を参照し、そのイベントの内容に応じて配信する基地局を選択し、ブロードキャストする範囲を定める。例えば歩行者情報等の高度動的データは数百メートル先の交差点に存在する車両へ届ける必要性は無いため、削減の余地がある。表5に今回対象とする情報と、その配布範囲についてまとめる。

表 5 配布範囲の設定

情報の分類	配布範囲
高度動的データ	イベントを中心とした一定範囲に存在する基地局
準動的データ	全基地局

4.3 拡張方式で取り扱うパケットの構造

表1に記載した情報に加え、発生したイベントの位置とその種類を配信する。またその情報を基に配布範囲制御や重複情報の配信制御を行うことを目的とする。

表 6 送信パケットの構造

項目	説明
EventPositionX	イベント発生地点の X 座標
EventPositionY	イベント発生地点の Y 座標
EventData	観測したイベントの内容

5. シミュレーション評価と考察

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 Scenargie に、拡張提案方式を実装し、評価を行った。

5.1 シミュレーション条件

シミュレーションは、表3に述べた条件に表7の条件を加えて行った。イベントは毎秒ランダムな位置で発生し、それぞれ異なるイベントとして扱うこととした。またそれらのイベントは見通し内車両がランダムな順番に送信を行う。記載していないシミュレーション条件は全て表3と同じである。

表 7 拡張方式のシミュレーション条件

項目	値
情報の種類	40 種類
配布範囲	グリッド 1.5 個に届く範囲の基地局
比較方式	拡張 DB 方式, DB 方式

5.2 評価

評価は情報の種別を行うことを前提とし、以下の項目で行う。

- 1) イベント受信率：観測範囲において、イベントを受信した車両数/全車両数
- 2) 通信の削減率

5.3 シミュレーション結果と考察

図 6 は観測範囲を変化させたときの高度動的データイベントの受信率である。図からどの車両台数においても拡張方式のイベント受信率が基本方式と比較して高いことがわかり、車両台数 500 台の時に拡張方式は基本方式と比較してイベント受信率が最大 9.3%向上することがわかった。これは、拡張方式の通信の削減により輻輳制御が働き、受信率が向上していることが確認できる。また、本シミュレーションでは高度動的データは配信車両から半径 150m 以内に存在する車両へ送信を行うこととしたため、観測範囲 200m 以降にイベント受信率の変化が無いのは配信を行わないことから明らかである。

図 7 は観測範囲を変化させたときの準動的データイベント受信率である。高度動的データイベント受信率と同じように、どの車両台数においても拡張方式のイベント受信率が基本方式と比較して高いことがわかり、車両台数 500 台の時に拡張方式は基本方式と比較してイベント受信率が最大 11.4%向上することがわかった。これも、拡張方式の通信の削減により輻輳制御が働き受信率が向上していることが確認できる。車両台数が 500 台の基本方式はイベント受信率が下がり続けているが、これは高度動的データとは異なり準動的データはシミュレーションエリア全体にイベント情報を拡散するため、重複したイベントの配信がより多く発生することから輻輳によりイベント受信率が低下することが原因だと考えられる。それと比較して拡張方式は通信削減により送信パケット総数が少ないことから観測範囲 200m 以降のイベント受信率の大きな変化が無いと考えられる。

表 8 は車両台数毎の拡張方式における重複イベントの削減率であり、車両台数が増加するほど削減率が向上することがわかった。車両台数が 100 台のときは重複率 24.6%に対して削減率が 16.1%となり、重複情報の約 65%を削減できていることがわかる。しかし車両台数 500 台のときは重複率 83.2%に対し削減率 41.3%となり、重複情報の約 49%を削減する結果となり、削減率が低下していることが

わかる。これは見通し外の車両間で DSRC の通信を行うことが困難な状況が発生する頻度が高くなることが原因だと考えられる。今回の重複情報の配信制御は DSRC で重複情報を受け取った場合のみ行うこととしたが、今後基地局経由のブロードキャストの遅延時間が大きい問題が解消されれば 2 つの通信方式から配信制御のアプローチが可能となり、削減率をさらに向上させることが期待できると考えられる。

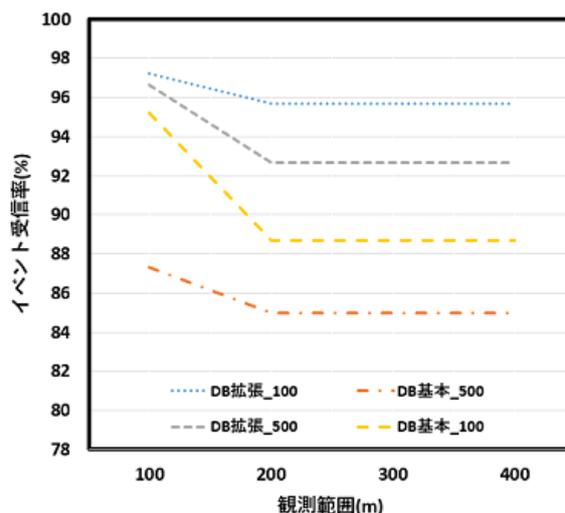


図 6 観測範囲を変化させたときの高度動的データイベント受信率

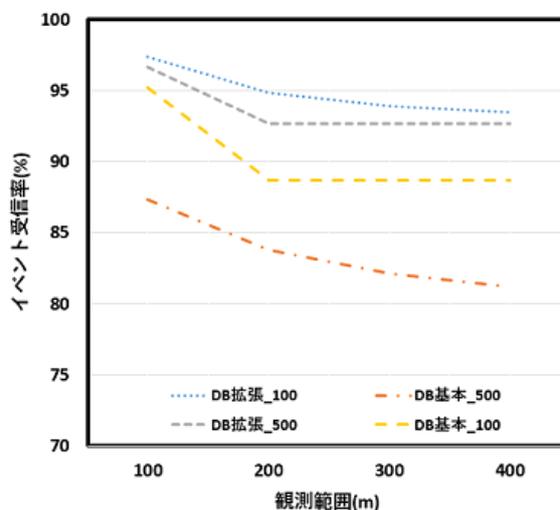


図 7 観測範囲を変化させたときの準動的データイベント受信率

表 8 拡張提案方式における重複イベントの削減率

車両台数(台)	重複率(%)	削減率(%)
100	24.6	16.1
500	83.2	41.3

6. おわりに

本稿では 5.9GHz 帯の狭域道路・交通情報配信に扱われる DSRC とセルラ V2X を併用する通信方式を基本方式とし、配信エリア全域へ情報を拡散するセルラ V2X におけるブロードキャストが抱える帯域不足の問題を解消する拡張方式を提案した。拡張提案方式ではイベントの種別を行う環境下で重複するイベント情報を削減するような拡張を行った。シミュレーション評価の結果、拡張方式はイベント情報の重複を加味しない基本方式と比較して、イベント受信率を最大 11%改善できることがわかった。今後は今回実施したグリッドエリア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、車両を移動させる等の実環境に則したシミュレーション評価や、イベント情報のセンシングモデルの検討を行う。

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] 戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 自動走行システム研究開発の取組状況 https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/miraitoshikaigi/4th_sangyokakumei_dai3/siryou9.pdf
- [4] “Release 14,” 3GPP, <http://www.3gpp.org/release-14>
- [5] Seo, Hanbyul, Ki-Dong Lee, Shinpei Yasukawa, Ying Peng, and Philippe Sartori, “LTE evolution for vehicle-to-everything services,” IEEE Communications Magazine, vol.54, no.6, pp. 22-28, 2016.
- [6] 3GPP TS 25.346 V15.0.0 (2018-06)
- [7] T. V. Nguyen, Patil Shailesh, Baghel Sudhir, Gulati Kapil, Libin Jiang, Zhibin Wu, Durga Malladi, and Junyi Li, “A comparison of cellular vehicle-to-everything and dedicated short range communication,” IEEE Vehicular Networking Conference (VNC), Torino, 2017, pp. 101-108.
- [8] B. Toghi, Md Saifuddin, Hossein Nourkhiz Mahjoub, M.O.Mughal, Yaser P.Fallah, Jayanthi Rao, and Sushanta Das “Multiple Access in Cellular V2X: Performance Analysis in Highly Congested Vehicular Networks,” IEEE Vehicular Networking Conference (VNC), Taipei, Taiwan, 2018, pp. 1-8.
- [9] Yang Yang, Ping Wang, Chao Wang, and Fuqiang Liu, “An eMBMS based congestion control scheme in cellular-VANET heterogeneous networks,” 17th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Qingdao, 2014, pp. 1-5.
- [10] 高草木政史, 湯素華, 上野高明, 大岸智彦, 小花貞夫 “車両ネットワークにおけるセルラ V2X と DSRC の性能比較検証” 情報処理学会第 81 回全国大会(2019-03)