

Cellular-V2X を用いたリアルタイム情報共有と配信のための 無線リソースの効率的なスケジューリング法の提案

瀬川洋介¹ 上野高明² 大岸智彦² 小花貞夫¹ 湯素華¹

概要： 5G 等の新たな技術によって、通信の高速・大容量化が達成されることにより車とあらゆるモノ（歩行者、インフラ、ネットワークなど）が繋がる V2X（Vehicle-to-Everything）通信が実現可能になる。そこで近年、既存の移動体通信システムとして利用されている LTE を V2X 通信に適用した Cellular-V2X（以下 C-V2X）が注目されている。C-V2X では隣接車両同士で直接通信を行うサイドリンクと基地局を経由した広域通信をサポートしている。本稿では、サイドリンクにおける遅延とパケット衝突の低減方式を提案する。遅延に対しては輻輳に応じた動的な許容遅延の変更を行い、パケット衝突に対してパケット衝突情報を隣接車両間で共有することで選択しているリソースの再選択を行う。また、交通イベント情報の種類に応じて効率的な配信をするため、サイドリンクと基地局経由通信との併用について検討する。その際に発生する重複情報の配信及び必要の無い基地局使用によるリソースの無駄遣いへの対策を提案し、基地局リソースの利用効率を向上させる。シミュレーション結果により、サイドリンク単体では既存方式と比較してパケット受信率が最大 6.4% 向上、遅延時間では最大 49.5% 削減可能であることを確認した。さらに基地局経由通信と併用した結果、受信率をほぼ維持しながら、重複イベントを 49.8%、基地局使用率を 31.8% 削減した。

Efficient Scheduling of Radio Resource for Real-time Information Sharing and Distribution by Cellular-V2X

YOSUKE SEGAWA¹ TAKA AKI UENO² TOMOHIKO OGISHI²
SADAO OBANA¹ SUHUA TANG¹

1. はじめに

近年、道路交通の安全性・利便性を向上させるため ITS（高度道路交通システム）のさらなる発展が期待されている[1][2][3]。ITS の代表的な取り組みとして、走行中のドライバーへの注意喚起や衝突事故防止のために運転アシストを行う安全運転支援システムがある[4]。しかし、車載センサーを用いた周辺情報の収集は近距離の見通しに限られており、より広域の情報収集には車両情報の共有が必要である。国内では既に 700MHz 帯や 5.8GHz 帯で車両情報を共有する車車間・路車間通信が実用化されている[5][6]。今後 5G などの新たな技術によって、通信の高速化や大容量化が達成されることにより、車同士だけでなく車が身の回りのあらゆるものと通信する V2X 通信が実現可能になる。これまでは無線 LAN などでも利用されている IEEE802.11p をベースとした DSRC が検討されていたが、隠れ端末や同一リソースを使用する車両による干渉が懸念事項となっている。そこで近年 V2X 通信のキー技術として Cellular-V2X（以下 C-V2X）が注目されている。C-V2X では既存の移動体通信システムである LTE を V2X 通信に用いており、無線基地局を経由せずに隣接車両同士で直接通信ができるサイド

リンクと基地局を経由した広域通信（V2N2V）をサポートしている。

本稿では、はじめにサイドリンク単体による自律分散制御で発生する遅延とパケット衝突の低減方式を提案する。そこで、パケット送信のための無線リソースの割り当てにおける、1) 隣接車両間による同一リソース選択と、2) リソース待機による遅延増大を解決するためのスケジューリング法について提案する。次いで、交通イベント情報を効率的に拡散するためにサイドリンクと基地局経由通信との併用を検討する。その際に発生する拡散イベント情報の重複と必要の無い基地局使用によるリソースの無駄遣いに対応するため、イベント情報の重複配信制御と使用する基地局を選択した基地局選択制御を提案する。以上、サイドリンク及び基地局経由通信との併用の 2 点で発生する問題の解決策を提案し、シミュレーションにより提案方式の有効性を評価する。

以降、第 2 章では通信方式の概要と課題、第 3 章では関連研究の概要と課題を述べる。第 4 章ではサイドリンクに対する提案手法を述べ、第 5 章では 4 章で述べた手法のシミュレーション評価と結果の考察を行う。第 6 章ではサイドリンクと基地局経由通信との併用に対する提案方式を述べ、第 7 章では 6 章で述べた方式のシミュレーション評価と考察を行う。最後に、第 8 章では結論と今後の課題を述べる。

¹ 電気通信大学
The University of Electro-Communications
² KDDI 総合研究所
KDDI Research, Inc.

2. 通信方式の概要と課題

2.1 車車間直接通信と基地局経由通信

移動体通信向けの標準化プロジェクトである 3GPP (Third Generation Partnership Project) において、さらなる高速通信に対応するため Release 14[7]において V2X 通信に LTE を利用した C-V2X の仕様が策定された。C-V2X では車車間直接通信と基地局経由通信をサポートしている。以下では、C-V2X 及び比較方式として利用する IEEE 802.11p をベースとした DSRC の概要と課題について説明する。

2.2 サイドリンク [8][9]

3GPP Release 14 では C-V2X で車車間直接通信を行う方式をサイドリンクと呼称しており、定期的なパケット配信に利用する無線リソース (Resource Block) 内において車両情報 (位置, 速度, ID など) をトランスポートブロック (Transport Block) へ、次回使用する RB の予約情報をサイドリンク制御情報 (Sidelink Control Information) に含め、パケットを送信する。また, RB の制御方式にはスケジューリングを基地局が行う Mode3 と隣接車両同士で自律的に行う Mode4 をサポートしている。

(1) Mode 3 (基地局制御)

Mode3 では基地局が RB の集中管理を行い、各車両は基地局に割り当てられた RB を基にパケット送信を行う。そのため輻輳に依らず他車両と同じ RB を選択する可能性が低くなるため、信頼性の高い通信が可能となる。しかし, RB 割り当てが可能なエリアは基地局通信範囲内に限られているため、基地局通信範囲外では Mode3 によるスケジューリングができない。また同じ通信事業者 (キャリア) の車両のみがスケジューリング対象であるため、異なるキャリアの車両同士では直接通信ができない問題がある。

(2) Mode 4 (自律分散制御)

Mode4 では車両が基地局通信範囲外でも隣接車両同士で自律分散的に RB のスケジューリングが可能であるため、山間部などの基地局設備がない環境でも直接通信による車両情報共有が可能となる。そのため、基地局が利用できない環境で利用することを想定し、利用する国や地域に合わせたパラメータ設定を行う必要がある [10]。ただし、複数キャリア混在環境の場合、基地局範囲内でも異なるキャリア間で同じ周波数を共用する場合がある。Mode4 で RB 選択を行う際は、隣接車両同士で同一の RB を選択することによるパケット衝突を防ぐために、次に説明する SPS 方式が利用されている。

(3) SPS 方式 (Semi Persistent Scheduling Algorithm)

SPS 方式は各車両が利用可能な RB を自律的に選択し、使用するためのスケジューリングアルゴリズムである。次に SPS 方式による RB 予約手順を示す (図 1)。

1. RB 使用状況のセンシング

RB の選択前に自身の通信範囲内での RB の使用状況を

確かめるために、センシングウィンドウ (現在までの過去 1,000ms) における RB 毎の平均受信電力を計測する。

2. 選択ウィンドウ内で送信候補を特定

選択ウィンドウ内の平均受信電力が受信電力閾値以下の RB は干渉が小さいと判定できるため送信候補とする。ただし、送信候補数がスケジューリング対象 RB の 20%未満であった場合は、受信電力閾値を 3dBm 増加させて再度送信候補の特定を行う。この操作を送信候補が全体の RB の 20% 以上になるまで繰り返し行う。

3. 送信候補内から送信用 RB を選択

送信候補の特定が完了すると、その中からランダムに送信用 RB をパケット送信に必要な分を予約し、定期的なパケット送信に使用する。ただし、現実では車両の移動によるトポロジの変化を考慮する必要があるため、同じ RB を長期間使用するのは危険である。そのためリソース選択時にランダムに設定された再選択カウンタ (5~15) を送信タイミング毎に 1 ずつ減らし、0 になった時に SPS 方式に従い使用する RB の再選択を行う。

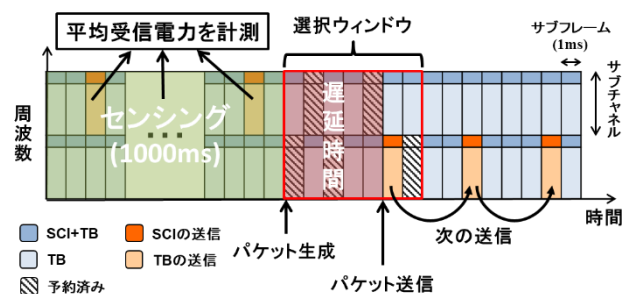


図 1 SPS 方式による RB 予約手順

2.3 基地局経由通信

基地局経由通信では車両から基地局への通信を上り回線 (Uplink)、逆方向の通信を下り回線 (Downlink) で行う。下り回線では基地局範囲内にいる車両全てに対してブロードキャストで配信が行われる。基地局経由通信の方式には、1)マルチキャストにより複数基地局間で同期して配信する eMBMS (evolved-Multimedia Broadcast Multicast Service) と、2)マルチキャストチャネルをユニキャストと同様の物理チャネルにマッピングすることで単独基地局でのマルチキャストをする SC-PTM (Single Cell Point to Multipoint) がある。eMBMS と比較して SC-PTM ではセル単位でのマルチキャストができるためリソース効率が向上されており、パラメータの変更間隔も短く設定できるようになっている。基地局経由通信ではコアネットワークを介した通信が行えるため、複数の基地局を介した広域通信が可能となるが、上りと下りでの 2 ホップ分の遅延増大や、拡散情報によっては性質上必要の無い範囲まで配信する問題がある。

2.4 DSRC (IEEE 802.11p) [6]

DSRC は車両に搭載された車載器同士又は路側機と双方

向通信することで、有料道路での自動料金収受システム (ETC) や交通安全に関わるユースケースに対応するための直接通信方式である。無線 LAN の規格でもある IEEE802.11a を移動体通信向けに拡張した IEEE 802.11p をベースとしており、通信プロトコルとして CSMA/CA 方式 (搬送波感知多重アクセス/衝突回避方式) が利用されるため衝突を抑えた通信ができるが、通信トラフィックが増加して輻輳すると衝突が頻繁に起きる可能性がある。

2.5 C-V2X における課題

(1) サイドリンクにおける課題

SPS 方式では図 1 のように、RB は選択ウィンドウ内の送信候補内からランダムに選択される。サイドリンクではパケット生成タイミングが同期された一定間隔の時間であるため、パケット生成と送信のタイミングが異なる場合、送信までの待機時間が遅延時間として加算されてしまう。

さらに隣接車両同士で同一のリソースを選択した場合、リソース選択時からパケット衝突が発生する。サイドリンクによる直接通信ではパケット送信中は他車両からのパケットを受信できないため、他車両の同一の RB の利用を検知できない。そのため、隣接車両間でパケット衝突が発生した場合は、再選択カウンタが 0 となるまで持続的にパケット衝突が発生する。

(2) サイドリンクと基地局経由通信との併用における課題

サイドリンクと基地局経由通信との併用を考えると、いくつかの課題がある。特に更新頻度 (100ms) の高い情報を高度動的情報と呼称すると、この情報は遅延の大きい基地局経由通信での配信には向いていない。またサイドリンクは見通し内の車両に向けてのブロードキャストであるが、基地局経由通信では通信範囲内の全車両に向けての配信であるため、同一情報が重複して配信される可能性が高い。さらに基地局のリソース資源は有限であるため、効率的な使用が望ましい。

3. 関連研究

3.1 サイドリンクに関する研究

[11]ではリソース選択時におけるパケット衝突を回避するために、RB 選択前の最後のパケット送信時に RB の事前予約を行い、選択ウィンドウ開始時に事前予約した RB が他車両に利用されていないならばその RB をそのまま利用する、2 段階自律無線リソース選択法が提案されている。

また C-V2X の Mode4 における様々なユースケースに対応するための適切なパラメータ設定が[12][13][14]で検討されている。サイドリンクでは輻輳時にパケットエラー率 (PER) が増加することが知られており[15]、[16]では輻輳を抑える目的でチャネル状態の観測を行いチャネル使用率が一定値を超えた時に輻輳を抑えるために生成したパケットをドロップすることによって使用率を調整する分散輻輳

制御 (DCC) を検討している。

さらに、センシングによる輻輳状況を基に送信電力をトラフィックが少ない時はより遠くへ送信するため大きくし、トラフィックが多く輻輳している時には送信範囲を狭めるために小さくすることでパケット受信率 (PRR) の向上を目指す研究がある[17]。

3.2 DSRC との併用

車車間直接通信の手段としてサイドリンクや DSRC があるが、[18][19][20]では両者の比較・評価がなされており、どれもサイドリンクの方がパケット受信率において高いパフォーマンスを発揮している。また、DSRC とサイドリンク[21]又は基地局経由通信[22]と併用することで、それぞれの欠点を補完できることが示されている。

3.3 関連研究から見えた課題

[11]では RB 選択時の衝突解消を行っているが、トポロジの変化等により RB 選択後に衝突が発生した場合は RB 再選択まで衝突が持続的に発生する。[16]ではチャネル使用率を一定に保つことができるが、定期的な車両情報共有の観点から見てもパケットドロップによる PRR の低下は無視できない問題である。Mode4 におけるパラメータ設定は初期設定値であり、交通は流動的であるため、パラメータは環境に応じて動的に変更される必要がある。また DSRC では低遅延通信が可能となるが、通信距離がサイドリンクと比べると狭いため、見通し内においても受信率の低下が考えられる。

関連研究を通して、サイドリンクのみにおける RB のスケジューリングを工夫することで遅延又は PRR を個別に改善する研究はあったが、これらを同時に達成する研究は見られなかった。SPS 方式において遅延を低減するためには、パケット生成タイミングに近い RB を送信に使用することであるが、一律にこのポリシーに従うと車両は頻繁に同一の RB を選択してしまうため、パケット受信率の低下を招く。つまり遅延と受信率はトレードオフの関係にある。

4. 提案方式 (サイドリンク) [23]

複数キャリア混在環境を想定し、各車両はサイドリンクのスケジューリングとして Mode4 を利用する。2.5 節で述べた、SPS 方式のスケジューリングによる遅延増大と同一 RB 選択による持続的なパケット衝突の両方を改善する方式を提案する。遅延の問題に対して、スケジューリングの対象となる選択ウィンドウのサイズを干渉状況に応じて動的に変更することで平均許容遅延の削減を行う。持続的なパケット衝突の問題に対して、車両が検知したパケット衝突情報を定期的な送信パケットに付加して配信することで、間接的にパケット衝突を検知する。以下ではそれぞれの方式について説明する。

4.1 選択ウィンドウサイズの動的制御

選択ウィンドウサイズは RB 候補が選択される範囲であるため小さい程、平均許容遅延の削減が見込める。しかし、既存方式（SPS 方式）では選択ウィンドウサイズは固定値となっているため、サイズを下限値に設定しない場合、一定の遅延増加が考えられる。そこで、提案方式では RB の輻輳に応じた最適な選択ウィンドウサイズの動的制御を下記の手順に従って行う。

- (1) はじめに、選択ウィンドウサイズの初期値として下限値の 20ms に設定する。
- (2) 次に SPS 方式により特定した送信候補数が閾値以下（全体 RB の 20%以下）であった場合は選択ウィンドウサイズを次に大きいサイズに変更する。
- (3) 選択ウィンドウサイズが上限値に達した際に、送信候補数が閾値以下であった場合は SPS 方式に従い受信電力（RSRP）閾値を 3dBm 増加させる。同時に、選択ウィンドウサイズを下限値にリセットし、送信候補数が閾値以上となるまで (2) からの操作を繰り返す。

以上により輻輳に応じた最小サイズの選択ウィンドウサイズが設定可能となる。

4.2 隣接車両を利用したパケット衝突の検知

サイドリンクでは、送信車両は自身が利用している RB でパケット衝突が発生していることを検知できない。しかし、衝突したパケットを送信している車両（衝突車両）の周辺にいる隣接車両は衝突車両から送信されたパケットの受信電力が本来であれば復号できる程高いが、SINR の低下で正しく復号できないことにより、RB 上で衝突が発生したことを推測できる。そこで提案方式では、図 2 のように隣接車両が検知したパケット衝突情報（衝突情報）を配信することで、衝突車両に対して RB の再選択を促すことができる。パケット衝突の検知はパケット送信に必要な RB の集合毎に行い、自車両のパケット送信時以外では受信処理ができるため、パケット衝突の検知を行う。配信する衝突情報は送信に必要な RB の集合に対して衝突がある場合を 1、無い場合を 0 として 1 ビットで与えられる。スケジューリングされる RB は送信周期毎に同一のものが回ってくるため、配信する衝突情報のサイズは送信周期分となる。

隣接車両が衝突情報を配信することで、衝突車両は自身が利用している RB に対応する衝突情報を確認し、衝突の有無を判断できる。受信した衝突情報から自身の RB での衝突検知ができた場合は次のパケット生成タイミングで RB の再選択を行う。生成タイミングで RB 再選択を行う理由は、選択ウィンドウの開始タイミングは常にパケット生成タイミングに同期されているため、もし生成タイミングとずれた場合、送信タイミングと大きなずれが発生し、遅延時間が増大するためである。以上、隣接車両が検知したパケット衝突情報を配信することにより、衝突したパケットを送信する車両での RB 再選択が可能となる。

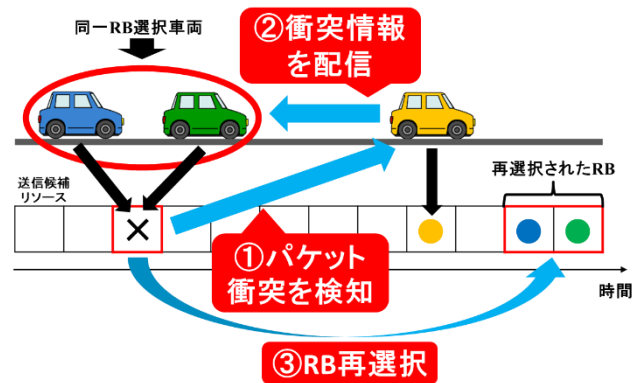


図 2 衝突検知と RB 再選択の模式図

5. シミュレーション評価と考察

5.1 概要

ここでは 4 章で説明したサイドリンク（Mode4）に対する提案方式の有効性を評価するため、ネットワークシミュレータ Scenargie[24]を C-V2X（3GPP Release 14 に準拠[7]）向けに拡張したものを用いて、実環境を考慮した交通流におけるシミュレーション評価を行う。

5.2 比較方式

既存方式である SPS 方式と提案方式である拡張 SPS 方式（E-SPS 方式）、IEEE 802.11p をベースとした DSRC による 3 方式で比較・評価する。

5.3 評価項目

本研究の目的はリソースのスケジューリングによってパケット生成からどれだけ早く配信できたか、パケット衝突を低減し信頼性の高い通信を可能にしたかを示すことである。そのため、パケット受信率とパケット衝突率、遅延時間の 3 つの評価項目によって提案方式の有効性を評価する。サイドリンクでは車両台数が多い程パケット衝突が発生しやすいので、輻輳環境でも提案方式が有効であることを確認するため変化させるパラメータを車両台数（100~400 台）とする。以下では評価項目の計算方法を示す。

- (1) パケット受信率：パケット受信成功車両数/パケット送信範囲内の車両数
- (2) パケット衝突率：衝突により受信不可能なパケット数/受信処理が行われたパケット数
- (3) 遅延時間：パケット受信時刻－パケット生成時刻

5.4 シミュレーション環境・条件

シミュレーション環境は 500m×500m のグリッドモデルを使用し、道路上に車両をランダムに設置した。道路以外の部分には建物が設置してあり、電波伝搬には建物の影響も考慮されている。以下では図 3 にシミュレーション環境を、その他の主要なシミュレーション条件を表 1 に示す。

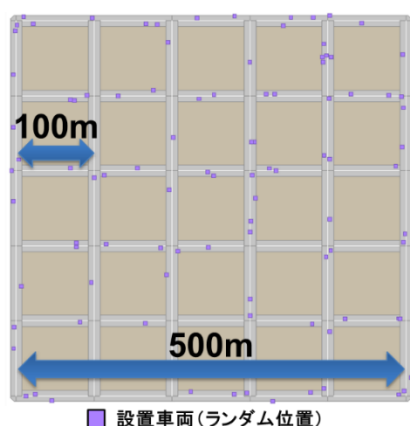


図 3 シミュレーション環境 (5 章)

表 1 シミュレーション条件値

項目	条件値
シミュレータ	Scenargie (機能拡張[7])
通信方式	サイドリンク : Mode4 DSRC : IEEE 802.11p
周波数	5.9GHz
帯域幅	10MHz
パケットサイズ	128byte
電波伝搬モデル	ITU-RP.1411
フェージングモデル	Nakagami
送信電力	23dBm
送信周期	100ms
送信範囲	200m
車両台数	100, 200, 300, 400 台
初期受信電力閾値	-80dBm
選択ウィンドウサイズ	SPS 方式 : 50ms E-SPS 方式 : 20, 25, 40, 50ms
シミュレーション時間	30 秒 (10-20 秒に送受信)

5.5 シミュレーション結果・考察

以下ではパケット受信率とパケット衝突率、遅延時間のシミュレーション結果と考察を示す

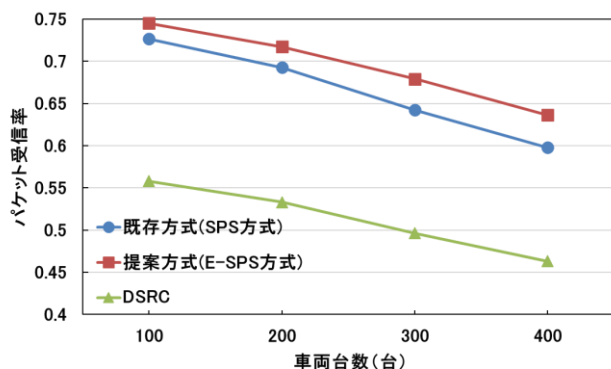


図 4 車両台数毎のパケット受信率の変化

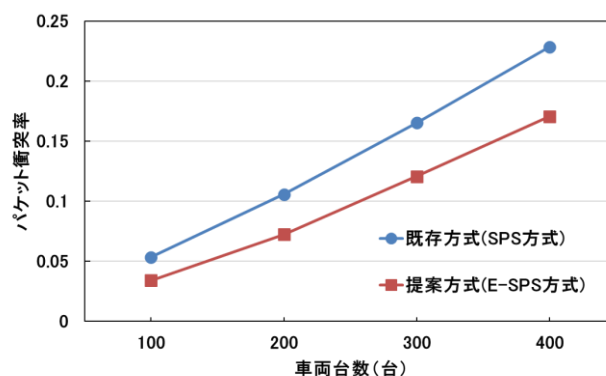


図 5 車両台数毎のパケット衝突率の変化

図 4 より、どの車両台数に対しても提案方式でパケット受信率を向上できることを確認した。受信率向上の要因として、周辺車両が検知した衝突情報を配信することにより、持続的なパケット衝突の問題が低減されたためだと考えられる。車両台数が少ない 100 台の時には輻輳が小さいため、パケット衝突も頻繁には発生しないので提案方式による受信率の上昇量は少ない。しかし、輻輳が大きい 400 台の時には衝突が頻繁に発生することで提案方式による効果が最大大きく表れており、既存方式と比較して受信率が最大 6.4% 向上した。今回の結果が衝突の削減によるものだと確認するために、図 5 では車両台数毎のパケット衝突率を比較した。結果から車両台数に依らず衝突率を削減できていることが確認できる。特にパケット受信率 (図 4) では車両台数が 400 台のときに最も大きな効果が出ていたが、衝突率も同様に車両台数が 400 台の時に最も衝突の削減ができていた。この結果から、パケット衝突の削減を行うことが信頼性確保のために重要であることが分かった。しかし、リソース選択時の衝突を防ぐことができないため、衝突自体を回避するための方式検討が必要である。

さらに比較として DSRC (IEEE802.11p) のパケット受信率のシミュレーション結果も確認すると、既存方式である SPS 方式と比較しても車両台数に依らずサイドリンクの方が高い受信率となっている。DSRC は CSMA/CA 方式により衝突を低減できるが、輻輳の増加に伴い隠れ端末数の増加や同一リソースを選択する車両が増えることで干渉を無視できなくなる。そのため、サイドリンクと比較しても大きく受信率が低下する結果につながったと考えられる。

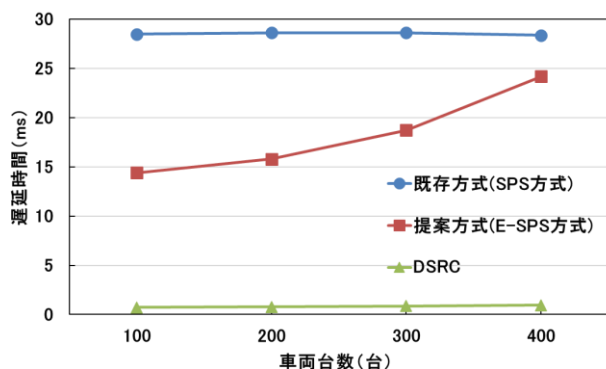


図 6 車両台数毎の遅延時間の変化

表 2 提案方式による選択ウィンドウサイズの推移

	20ms	25ms	40ms	50ms
100 台	1175	0	0	0
400 台	9139	983	407	350

次に図 6 では遅延時間の比較結果を示している。シミュレーション結果より既存方式と比較して提案方式では車両台数に依らず遅延を大きく解消できていることが分かる。特に輻輳が小さい車両台数 100 台のときに遅延を最大 49.5%削減できている。この理由は表 2 の結果より、輻輳が小さい車両台数 100 台の時には一番小さいサイズの選択ウィンドウのみが選択されているため、パケット送信までの待機時間が固定サイズの 50ms と比較して大きく削減できているからである。車両台数が増加すると既存方式では遅延時間はほぼ一定の値となっているが、提案方式では徐々に増加しているのが分かる。これは既存方式では選択ウィンドウサイズは固定であるため、車両台数に依らず許容遅延は一定値となるが、提案方式では表 2 のように輻輳時にはその時の干渉状況に応じた最適なサイズが選択されるため、20ms 以上のより大きな選択ウィンドウサイズが選択されるようになるためである。

図 6 の結果よりサイドリンクと比較すると DSRC は非常に小さい遅延となっていることが分かる。この理由はサイドリンクでは送受信が割り当てられた RB のみで行っていることに対し、DSRC ではチャンネルが空いていれば送受信できるため、輻輳により多少リソースの待機が発生したとしてもサイドリンクと比べて非常に小さくなる。

5.6 サイドリンクのみによる課題

急ブレーキや緊急車両の接近のように緊急性の高い情報や、交差点の信号情報、道路上で起きた事故など、実際の道路上では様々な種類のイベントが発生している。しかしサイドリンクのみを用いる場合、見通し外や広範囲への送信におけるパケットロスが問題となる。そこで、サイドリンクでは対応できないエリアへ効率的に情報拡散をするために、基地局経由通信を併用することにより、サイドリンクの欠点を補完できる。

6. 提案方式（基地局経由通信との併用）

サイドリンクでは対応できないエリアへの効率的な配信を行うためにサイドリンクと基地局経由通信を組み合わせた方式を検討する。基地局経由通信によりサイドリンクでは届けられない広域のエリアや障害物による死角などへも情報を届けることができるため、パケット受信率の向上が考えられる。そこで、車車間通信の目的として安全運転支援のための車両情報共有に加えて、道路上で発生するイベント情報の拡散を行う。しかし、基地局経由通信では基地局設備で利用できるリソース資源に限りがあるため、全ての情報に対して eMBMS により全域で配信することはできない。また、基地局経由通信では基地局通信範囲内の全車両に向けて配信できるため、別の車両同士によって検知された同じイベントが重複して配信される可能性がある。そこで、リソース使用量削減のための基地局選択制御と重複配信を防ぐための重複配信制御を提案する。

6.1 配信するイベント情報

安全運転支援のための車両情報とは別に各車両が道路上で検知したイベント情報を扱う。また、緊急度の高い情報は検知ではなく自車両が生成したイベント情報として扱い、サイドリンクのみで送信する。そこで、イベントに区別を付けることによって、情報により以下で説明する制御手法を適用する。以下には今回の提案方式で対象とするイベント情報を示す。

表 3 配信対象となるイベント情報

情報種別	扱う情報	更新頻度	緊急度
高度動的情報	ブレーキ情報 緊急情報	0.1 秒以内	1
動的情報	歩行者情報 信号情報	1 秒以内	2
準動的情報	事故情報 渋滞情報	1 分以内	3

表 3 より配信対象となるのは安全運転支援システムで利用される更新頻度が比較的高い高度動的情報と 3 次元地図データであるダイナミックマップで利用される動的情報及び準動的情報である。今回はこれらのイベントの内更新頻度の高いものから順に緊急度を付与する。

6.2 優先配信制御

道路上で発生するイベントは 6.1 節で説明したように多種多様なイベントが混在している。そのため、イベント情報は等しく扱うべきではなく、情報によっては優先的に配信すべきである。そこで表 3 では 3 種類のイベントに緊急度を付与した。本方式では、複数のイベントを検知したとしても緊急度が高い情報を優先的に配信する。緊急度が同じである場合は、検知した距離が一番短いものを選択する。

6.3 基地局選択制御 (Base Station Select Control)

表 3 より今回配信対象となるイベントは 3 種類あるが、緊急度 1 のイベントに関しては更新頻度が高いため近距離に位置する車両に届けばよい。そのため、遅延が大きい基地局経由通信を利用して広範囲に届ける必要はないため、サイドリンクのみを使用して配信する。次に緊急度 2 の動的情報はエリア全域に配信する必要はないが、近距離へ確実に配信する必要がある。そこで、基地局経由通信でエリア内の全基地局から一斉同報配信をする eMBMS を利用せずに、基地局が受信したパケットの車両位置から使用する基地局を選択することで、基地局リソース使用量とイベント重複を削減する。基地局はイベントを検知した車両から見て 150m 以内に存在する基地局のみを選択し、選択基地局から V2N2V でイベントを格納したパケットの拡散を行う。最後に緊急度 3 のイベントは更新頻度が低いため、優先的に配信されない分、緊急度 1 や 2 と比べてより広域にイベントを配信するために eMBMS を用いる。

6.4 重複配信制御 (Redundancy Delivery Control)

隣接車両間で同じイベントを検知した場合、情報が重複して送信される場合がある。特に基地局経由通信では通信範囲内の全車両に向けて配信するため、イベント重複率が急増する。またパケット送信機会毎に同一イベントを検知した場合、同じイベントのみが配信され付近に存在する異なるイベントの配信ができない。そのため、重複したイベントの配信を削減し、異なるイベントを効率的に配信できる仕組みが必要である。そこで、再度検知したあるいは基地局経由で受信したイベント情報は基地局経由では送信しないこととする。ただし、サイドリンクでは重複したイベントであっても見通し内でしか受信されないため重複率への影響は小さいので、車両情報共有と合わせて定期的にイベントの配信を行う。以上の重複配信制御によりイベント重複率削減とイベント拡散率の向上を行う。図 7 に基地局選択制御と重複配信制御によるイベント拡散方式を示す。

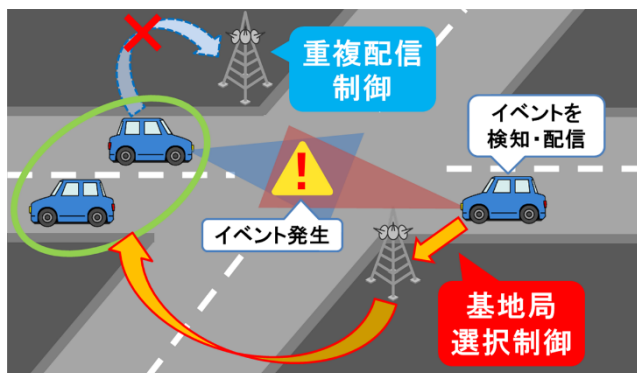


図 7 基地局選択制御と重複配信制御

7. シミュレーション評価と考察

6 章での基地局経由通信との併用に対する提案方式の有効性を評価する。ただし、サイドリンクは 4 章で提案した E-SPS 方式を適用する。比較方式として 6 章で提案した基地局選択制御と重複配信制御を利用せずに、緊急度 2 と 3 のみ eMBMS を用いた既存方式と比較を行う。

7.1 評価項目

基地局経由通信と併用することによりパケット受信率が向上するのは明白であり、今回は生成されたイベントの種類によってどれだけ効率的に拡散できたかを確かめるために、観測範囲をパラメータとしたイベント拡散率を評価する。観測範囲とはパケットを受信した車両から見た送信車両との距離である。また、基地局選択制御と重複配信制御による効果を見るため、基地局使用率とイベント重複率を計算し、それぞれの削減率を確かめる。

- (1) イベント拡散率: 各観測範囲内における車両が受信したイベント数/イベント生成数
- (2) 基地局使用率: 送信に使用した基地局数/送信に利用できる全基地局数
- (3) イベント重複率: 受信時に重複したイベント数/受信イベント数 (基地局経由通信のみ)

7.2 シミュレーション環境・条件

エリア全域を基地局がカバーできるようにするため、400m×400m のエリアの交差点に基地局を互い違いに配置する。イベント数は緊急度が高い程発生数を少なくするため動的情報を 25 個、準動的情報を 40 個配置する。これらのイベントは 1 秒毎に新しいイベントに更新される。また高度動的情報は更新頻度が高い分発生割合が少ないため、送信機会毎に 1% の確率で生成される。イベントはシナリオ内にランダムに配置し、車両と同様に移動する。また、一度に送信できるイベントは検知した数に依らず一つとする。図 8 にシミュレーション環境を示し、表 1 とは異なる部分のシミュレーション条件を表 4 に記す。

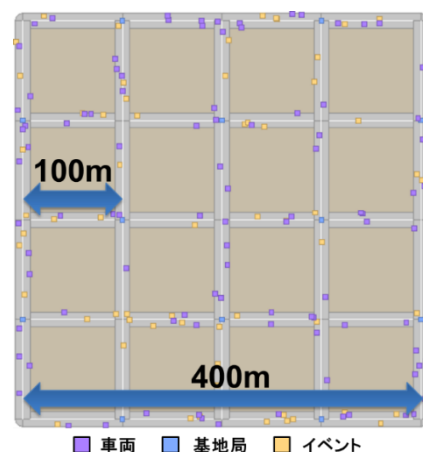


図 8 シミュレーション環境 (7 章)

表 4 拡張シミュレーション条件値

項目	条件値
観測範囲	100~400m (50m 刻み)
車両台数	100 台
基地局数	12 台
イベント数	高度動的情報：1%で生成 動的情報：25 個 準動的情報：40 個
イベント生成間隔	1 秒
送信周期	サイドリンク：0.1 秒 基地局経由通信：1 秒
送信範囲	サイドリンク：200m 基地局：150m
電波伝搬モデル	サイドリンク：ITU-RP.1411 基地局：LTE_Pico
シミュレーション時間	60 秒 (10-50 秒に送受信)

7.3 シミュレーション結果・考察

以下では緊急度別のイベント拡散率とイベント重複率及び基地局使用率の削減率を示し、その考察を行う。ただし、高度動的情報（緊急度 1）は基地局を使用せずに配信するため、今回の考察対象とはしないこととする。

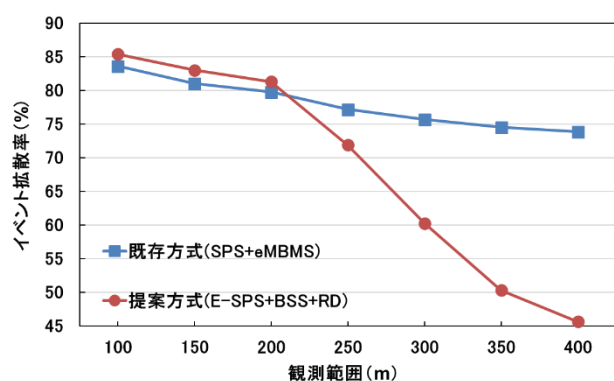


図 9 動的情報（緊急度 2）のイベント拡散率

図 9 の動的情報では観測範囲 200m までは提案方式の方が高い拡散率である。これは重複配信制御により重複イベントの配信を抑制することで、検知したが配信できなかったイベントの配信が可能となったためである。しかし、200m 以降では既存方式の方が高い拡散率となっているが、これは基地局選択制御により eMBMS ではなく近距離にある基地局のみから配信されるため、より広域への配信が抑制されたためだと考えられる。一見すると性能が低下したように見えるが、動的情報はその性質上 200m 程度の近距離に配信できれば良い情報であるため、基地局経由通信との併用目的でもある情報種別に応じた効率的な配信が達成されている。

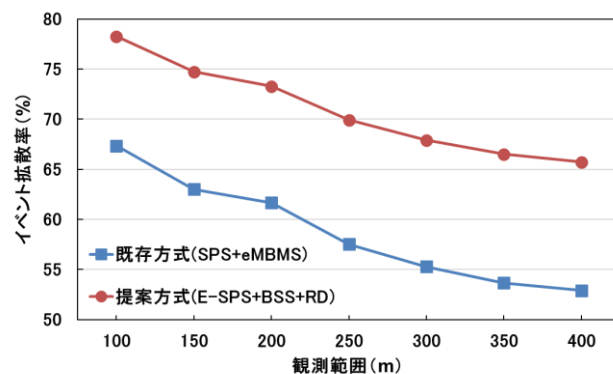


図 10 準動的情報（緊急度 3）のイベント拡散率

図 10 の準動的情報では拡散率が大きく向上している。優先配信制御により緊急度 3 のイベントは他の緊急度が高いイベントがある場合は配信できないため、既存方式では配信機会が少ない。しかし、重複配信制御により緊急度の高い情報がある場合でも、そのイベントを既に受信していた場合は他のイベントに配信権が移るため、緊急度 3 のイベントの配信機会が増加したことにより、拡散率の大幅な向上につながったと考えられる。

表 5 イベント及びリソースの削減率

評価項目		値
イベント重複率 (基地局のみ)	既存方式	15.3%
	提案方式	10.8%
重複イベント削減率		49.8%
基地局使用削減率		31.8%

表 5 より提案方式により重複イベントを 49.8%削減、基地局使用率を 31.8%削減した。これは重複配信制御と基地局選択制御による効果だと考えられる。しかし、提案方式でも未だにイベント重複が約 10.8%存在している。これは車両が移動したことにより、はじめは受信できなかったイベントを自身が検知した場合は重複が発生したことを確認できないため、重複して配信を行ってしまう。そのため重複配信制御を車両ではなく基地局側が行うことにより重複率をさらに削減できると考えられる。

8. おわりに

本稿では、安全運転支援のためにサイドリンクを用いた無線リソースの割り当てにおいて発生する、同一リソース選択によるパケット衝突の問題とパケット送信までのリソース待機時間による遅延増大を解決するための効率的なスケジューリング法について提案した。提案方式ではパケット受信率において車両台数 400 台の時に最大 6.4%向上、遅延時間では車両台数 100 台の時に最大 49.5%削減した。加えて、交通イベントの種類に応じた効率的な拡散を目的と

してサイドリンクと基地局経由通信の併用を考える。基地局経由通信を利用する場合、重複イベントの拡散や必要の無いエリアへの基地局経由通信によるリソースの無駄遣いを考慮しなければならない。そこで、イベントを重複して配信しないようにする重複配信制御と使用する基地局を選択して基地局使用率を削減する基地局選択制御を提案した。シミュレーション結果により、どの緊急度でも近距離においてイベント拡散率の向上を確認し、重複イベントでは49.8%、基地局リソース使用率では31.8%削減した。

今後は複数キャリア混在環境を想定した方式やグリッドモデルだけでなく実環境に即したモデルでのシミュレーション評価について検討する。

参考文献

- [1] United States Department of Transportation, “Connected Vehicle Pilot Deployment Program,”
https://www.its.dot.gov/its_deployments.htm
- [2] Cooperative ITS Corridor, “Cooperative Traffic System-safe and intelligent,” <http://c-its-korridor.de/>
- [3] 国土交通省, “ITS 全体構想,” 2020.05
- [4] 一般社団法人 UTMS 協会, “安全運転支援システム(DSSS),”
<http://www.utms.or.jp/japanese/system/dsss.html>, 2020.05
- [5] 一般社団法人 電波産業会 (ARIB), “ARIB STD-T109,” 2020.05
- [6] 一般社団法人 電波産業会 (ARIB), “ARIB STD-T75,” 2020.05
- [7] 3GPP, “Release 14,” <https://www.3gpp.org/release-14>
- [8] 3GPP TS 36.213 V14.4.0, “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures,” 2017.
- [9] 3GPP TS 36.321 V14.4.0 “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Medium Access Control (MAC) protocol specification,” Sept. 2017.
- [10] 3GPP, “TS 31.102 Characteristics of the Universal Subscriber Identity Module (USIM) application,” 2018.
- [11] T. Maruko, S. Yasukawa, R. Kudo, S. Nagata, and M. Iwamura, “Packet Collision Reduction Scheme for LTE V2X Sidelink Communications,” IEEE VTC-Fall, August 2018.
- [12] R. Molina-Masegosa and J. Gozalvez, “System Level Evaluation of LTE-V2X Mode 4 Communications and Its Distributed Scheduling,” IEEE 85th Vehicular Technology Conference (VTC Spring), June 2017.
- [13] M. Gonzalez-Martin, M. Sepulcre, R. Molina-Masegosa and J. Gozalvez, “Analytical Models of the Performance of C-V2X Mode 4 Vehicular Communications,” IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 68, No. 2, pp. 1155-1166, December 2018.
- [14] R. Molina-Masegosa, J. Gozalvez and M. Sepulcre, “Configuration of the C-V2X Mode 4 Sidelink PC5 Interface for Vehicular Communication,” 14th International Conference on Mobile Ad-Hoc and Sensor Networks (MSN), December 2018.
- [15] B. Toghi, M. Saifuddin, H. N. Mahjoub, M. O. Mughal, Y. P. Fallah, J. Rao and S. Das, “Multiple Access in Cellular V2X: Performance Analysis in Highly Congested Vehicular Networks,” IEEE Vehicular Networking Conference (VNC), December 2018.
- [16] A. Mansouri, V. Martinez and J. Harri, “A First Investigation of Congestion Control for LTE-V2X Mode 4,” 15th Annual Conference Wireless On-demand Network Systems and Services (WONS), January 2019.
- [17] B. Kang, S. Jung and S. Bahk, “Sensing-Based Power Adaptation for Cellular V2X Mode 4,” IEEE International Symposium on Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN), October 2018.
- [18] T. V. Nguyen, P. Shailesh, B. Sudhir, G. Kapil, L. Jiang, Z. Wu, D. Malladi, and J. Li, “A comparison of cellular vehicle-to-everything and dedicated short range communication,” IEEE VNC’17, November 2017.
- [19] M. Wang, M. Winbork, Z. Zhang, R. Blasco, H. Do, S. Sorrentino, M. Belleschi and Y. Zang, “Comparison of LTE and DSRC-Based Connectivity for Intelligent Transportation Systems,” IEEE 85th Vehicular Technology Conference (VTC Spring), June 2017.
- [20] F. Abbas, P. Fan and Z. Khan, “A Novel Low-Latency V2V Resource Allocation Scheme Based on Cellular V2X Communications,” IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol. 20, No. 6, pp. 2185 – 2197, October 2018.
- [21] R. Molina-Masegosa, J. Gozalvez and M. Sepulcre, “An IEEE 802.11p-Assisted LTE-V Scheduling for Reliable Multi-Link V2X Communications,” IEEE 88th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall), August 2018.
- [22] M. Takakusaki, S. Tang, T. Ueno, T. Ogishi and S. Obana, “Fast and Reliable Dissemination of Road and Traffic Information by Combining Cellular V2X and DSRC,” IEEE Globecom Workshop on V2X, December 2019.
- [23] 瀬川洋介, 小花貞夫, 湯素華, “Cellular-V2X による自律分散制御を用いた無線リソースの低遅延・高信頼なスケジューリング法の提案,” 情報処理学会第 82 回全国大会 (2020-03)
- [24] Scenargie, Space-Time Engineering,
<https://www.spacetime-eng.com/en/>