

Cellular-V2Xにおけ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

瀬川 洋介 小花 貞夫 湯 素華
電気通信大学

1. はじめに

自動車の安全運転支援のため、国内では既に700MHz帯車車間通信が実用化されており[1]、さらなる発展のために車と全てのモノ（歩行者、路側機、ネットワークなど）が繋がるV2X通信の必要性が高まっている。近年、既存の携帯電話通信網であるLTE通信を用いたCellular-V2X（以下C-V2X）が注目されており、基地局を介さずに直接通信を行うサイドリンクをサポートしている[2]。サイドリンクでは隣接車両間で直接通信できるため、定期的な車両情報共有による衝突事故防止などに利用される見込みである。

本稿では、サイドリンクで発生する遅延とパケット衝突を低減するための無線リソース（以下リソース）のスケジューリング法を提案する。

2. サイドリンクの概要と課題

サイドリンクでは定期的なパケット配信を行うために、事前に選択した時間と周波数に対応したリソースブロック（以下RB）を予約する。パケット生成時にRB内において車両情報（速度や位置など）をTBに、また次回使用するRBの予約情報をSCIに含めて、他車両に通知する。

2.1. サイドリンクの概要

サイドリンクでは他車両とのリソースの干渉を防ぐため以下に示すSPS方式と呼ばれるスケジューリングアルゴリズムを使用する。（図1）

- 1) センシングウィンドウ内においてRB毎の平均受信電力を計測。
- 2) 選択ウィンドウ内において受信電力がある閾値以下のRBを送信候補とする。ただし候補数が選択ウィンドウ全体の20%未満の場合、20%以上になるまで閾値を大きくする。
- 3) 送信候補の中から使用RBをランダムに選択し、周期的にパケット送信を行う。ただし、車両の移動によりトポロジが変化するため、ランダムに設定された再選択カウンタを送

信タイミング毎に1ずつ減らし、0になった時にリソースを再選択する。

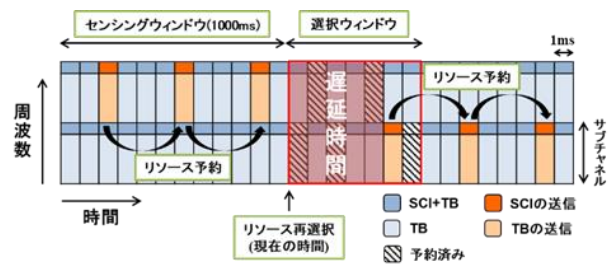


図1 SPS方式によるリソース予約

2.2. サイドリンクの課題

- (1) スケジューリングによる遅延の増大

図1のように、リソースは選択ウィンドウ内の送信候補からランダムに選択されるため、現在の時間（パケット生成）と実際の送信タイミングが異なる場合、この差分が遅延時間となる。

- (2) 持続的なパケット衝突

車両の半二重通信により送信中は他車両からのパケットを受信できないため、同一のRBを使用する車両を検知できない。そのため、衝突が発生した際、再選択カウンタが0となるまで続く。

3. 関連研究

3.1. 仮予約による衝突の低減[3]

SPS方式で発生する衝突を低減するため、リソース再選択をする前の最後の送信時に、RBの仮予約を行う。選択ウィンドウ内で仮予約RBが他車両に予約されていないならばRBの仮予約を確定し、仮予約が衝突した場合は仮予約を止め、SPS方式に従いRBを予約する。[3]では衝突率の削減とそれに伴うパケット受信率の向上に成功しているが、依然として2.2節で示した持続的な衝突に関する課題が残っている。

4. 提案方式

4.1. 選択ウィンドウの動的制御による遅延削減

既存方式（SPS方式）では干渉状況に依らず固定サイズを選択ウィンドウを用いている。しかし、図1のように選択ウィンドウサイズは許容遅延となるので、サイズが小さい程平均遅延時間も低くなるが、送信候補の減少により他車両と干渉する可能性も高まる。提案方式では干渉状

況に応じた選択ウィンドウの動的制御を行う。まず選択ウィンドウサイズの初期値を下限値に設定する。送信候補数が閾値以下の場合、選択ウィンドウを拡大し、再度送信候補を選択する。選択ウィンドウサイズが上限に達した場合、送信候補数が閾値以下であればSPS方式に従い、受信電力閾値を増やし、選択ウィンドウサイズを下限値にリセット後、再度送信候補を選択する。以上の動作により、干渉状況に応じた最小の選択ウィンドウサイズが割り当てられるため、従来よりも遅延時間を小さくできる。

4.2. 周辺車両を利用した衝突検知

[4]では定期的な車車間通信のために、パケットにリソースの使用状況を付加して共有することで、パケット衝突などのエラーを低減し、効率的なリソース選択をする方式を提案している。サイドリンクでは自車両が使用しているRB以外では受信処理が可能のため、RB毎に衝突が発生したか検知する。定期的な車両情報の共有の際、RB毎の衝突情報も含める。同一RBの周期は送信周期となるので、現在までの過去送信周期分の衝突情報をパケットに付加して送信する。付加する情報は0または1の1bitで表し、0はRBで衝突無し、1は衝突有りとする。パケットを受信した車両は自身が現在利用しているRBに対応する衝突情報を確認し、0であれば次の送信においても利用し、1であれば衝突が発生したとし、次のパケット生成時にリソースを再選択する。



図2 提案方式による衝突検知の概要

5. シミュレーション評価

提案方式の有効性を確認するため、シミュレーションにより、SPS方式（既存方式）とE-SPS方式（提案方式）のパケット受信率（受信成功パケット数/送信範囲内へのパケット送信数）と遅延時間を比較・評価した。

5.1. シミュレーション条件

シミュレーションはネットワークシミュレータ Scenargie を C-V2X (3GPP Release 14 に準拠[5]) 向けに拡張したものを使用する。表1にその他のシミュレーション条件を示す。

表1 シミュレーション条件

項目	条件値
車両台数	100, 150, 200, 250, 300台
周波数	5.9GHz
帯域幅	10MHz
送信周期	100ms
送信範囲	200m
サブチャネル数	1
選択ウィンドウサイズ	既存方式 50ms 提案方式 20, 25, 40, 50ms
初期受信電力閾値	-80dBm

5.2. シミュレーション結果と考察

各方式における評価結果を以下に示す。

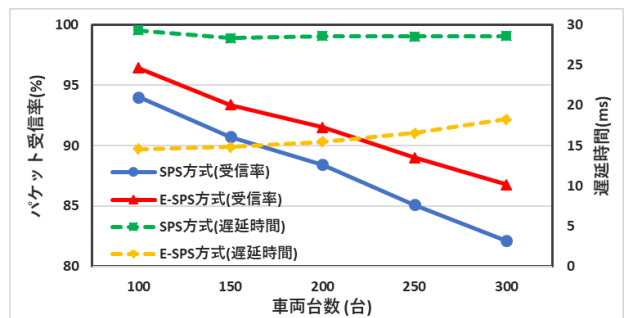


図3 パケット受信率と遅延時間の評価結果

車両台数が少ないときはパケット衝突が少ないため提案方式と既存方式での受信率の差は小さい。しかし車両台数が増えた場合は、提案方式の衝突検知により、既存方式よりも衝突を抑制できるのでパケット受信率を向上できる。また遅延時間は既存方式よりも低く抑えられるが、車両台数の増加に伴い少しずつ増加する。これは車両台数の増加に伴い選択ウィンドウサイズが大きくなるためと考えられる。

6. おわりに

従来のSPS方式と比較し、提案方式では低遅延かつ高信頼なスケジューリングができることを示した。今後は方式の拡張や多様なシナリオを用いて、提案方式の有効性を評価する。

参考文献

- [1] 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," 2017 IEEE VNC'17, November 2017.
- [2] H. Seo, K.-D. Lee, S. Yasukawa, Y. Peng, and P. Sartori, "LTE evolution for vehicle-to-everything services," IEEE Communications Magazine, Vol. 54, No. 6, pp. 22-28, June 2016.
- [3] T. Maruko, S. Yasukawa, R. Kudo, S. Nagata, and M. Iwamura, "Packet Collision Reduction Scheme for LTE V2X Sidelink Communications," 2018 IEEE VTC-Fall, 2018.
- [4] 牧戸知史, 鈴木徳祥, 原田知育, 村松潤哉, "リアルタイム車車間通信のための自律分散型TDMAプロトコル," 情報処理学会論文誌, Vol. 48, No. 7, pp. 2257-2266, July 2007.
- [5] 3GPP, Release 14, <https://www.3gpp.org/release-14>