

車両相対位置に基づく Collective Perception の メッセージ送信頻度制御手法の Cellular V2X での性能評価

夏目楓[†] 浅野心夏[†] 石原進[†]

[†] 静岡大学

1 はじめに

車車間通信を介してセンサ情報を他車両と共有する Collective Perception により、自車両の車載センサのみでは直接検知できない周辺車両が検知可能となる。しかし通信可能な車両密度が高い場合、センサ情報を含めたメッセージの衝突や伝送路の混雑によりメッセージの受信率が低下するため、重要な情報の配信が妨げられる恐れがある。そのため、近年チャンネル負荷軽減のための研究が盛んに行われている [1][2]。ETSI は、メッセージ送信の冗長性緩和のため検知情報の新規性に応じたメッセージ送信頻度制御手法を提案している [1]。この手法は、定期的なメッセージ送信に加え、既に検知された物体の速度や方向が一定値以上変化した場合またはセンサで新たな物体を検知した場合にメッセージを送信することで、チャンネル負荷を軽減する。一方、古川らは、車群中の各車両が分散的に把握した自身の相対位置に基づきメッセージの送信頻度を制御する手法を提案している [2][3]。

安全運転支援を目的とした車車間通信方式には IEEE 802.11p が利用されており、古川らは、IEEE 802.11p 利用時における提案手法の性能評価を行っている。一方で、自動運転支援などへの用途拡大のため 3GPP Release 16 に準拠した 5G NR-V2X の利用が新たに検討されている。本稿では、5G NR-V2X を用いた場合の同手法の有用性について考察するため、シミュレーションの評価方法について検討した。

2 5G NR-V2X

2.1 5G NR-V2X 概要

NR-V2X では、パケット送信に利用する RB (Resource Block) 内において、車両情報 (位置、速度など) だけでなく RB の予約情報等も含めて定期的にパケットを送信することで、効率的なリソース予約を可能としている。本稿では、NR-V2X の車車間直接通信方式である SL (Sidelink) における周辺車両間での自律分散

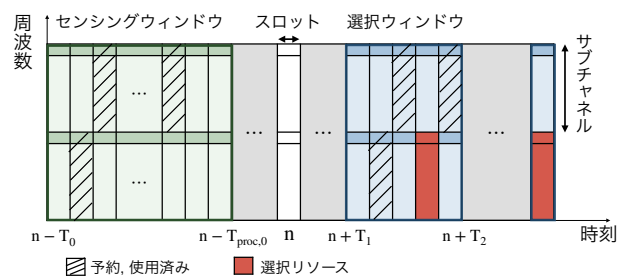


図 1: NR-V2X Mode 2 の SPS の概要

制御で管理する Mode 2 を対象に評価する。Mode 2 では、各車両がチャンネルセンシング及び自律的に RB のスケジューリングを行う SPS (Semi Persistent Scheduling) 方式を利用し、パケット衝突の可能性が低い RB を一定期間利用してパケットを送信する。SPS の概要を図 1 に示す。

SPS 方式では、チャンネルの RB 使用状況を監視するために、各車両は定められた範囲のセンシングウィンドウ内の全 RB の RSRP (Reference Signal Received Power) を計測し、SW (Selection Window) 内から利用不可能な RB を識別する。全ての RB の中からセンシングによって測定した各 RB の RSRP が閾値以上ならば干渉が大きいと判断し選択候補から除外する。以上の操作を SW 内の RB の 20% 以上になるまで、閾値を 3dB ずつ繰り返し増加させる。これにより特定した RB 候補において、RSRP が小さい順に SW 内の先頭から 20% となる RB 候補を再選択候補とする。送信時に 1 ずつ減算する再選択カウンタが 0 になった時、この RB 候補の中から確率 P で RB の再選択が行われる。

2.2 5G NR-V2X Mode 2 の輻輳制御

Release 16 における NR-V2X Mode 2 では、各車両が計測する CBR (Channel Busy Ratio) と自車両の使用率である CR (Channel occupancy Ratio) に基づいて、送信時の設定を動的に変更することで分散的に輻輳を制御する。これは、CBR が規定値を超えた場合、許容されたシステム全体でのリソースの使用率を周辺車両数で等分配し、CR を調整することで輻輳を抑える。

Performance Evaluation of a Traffic Control Method for Collective Perception based on Vehicle Relative Position in Cellular V2X

Kaede NATSUME[†], Shinka ASANO[†] and Susumu ISHIHARA[†]
[†]Shizuoka University

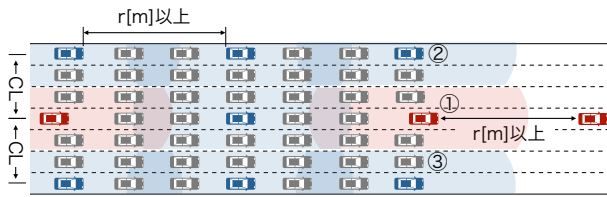


図 2: 相対位置に基づくメッセージ送信の優先度の決定

表 1: 古川らの提案手法の設定値

CL	R_{max}	R_{mid}	R_{min}	I_{min}	I_{max}
3	1.00	0.75	0.50	0.10 sec	1 sec

3 車両の相対位置に基づくメッセージの送信頻度制御手法

古川らが提案するメッセージ送信頻度制御手法では、各車両が車群中の自身の相対的な位置関係に基づいて優先度を算出し、優先度に応じてメッセージの送信頻度を増減させることで、無線通信路の混雑を抑制する。

各車両の優先度 $R \in (0, 1]$ は、図 2 に示すような車群中の相対位置に基づいて決定する。以下にその定義を示す。但し、 CL は車両がセンサで検知可能と見込まれる自車走行車線も含めた車線数とする。

- ① **車群先頭車両** 前方/後方 r [m] 以内に同進行方向の車両が存在しない車両 $R = R_{max}$
- ② **車群先頭/末尾補助車両, 中間車両** 車両①がいる車線から CL 間隔にある車線にいる車列の先頭/末尾車両, 同一車線前方における車両①②の中で最も近くにいる車両から r [m] 以上後方に離れた場所にいる車両 $R = R_{mid}$
- ③ **一般車両** 車両①②に該当しない車両 $R = R_{min}$

各車両の送信間隔 I [s] は以下の式で決定する。

$$I = \min\left(\frac{I_{min}}{R}, I_{max}\right) \quad (1)$$

ここで、 I_{min}, I_{max} は最低送信間隔と最高送信間隔である。式 (1) より、優先度が高い車両ほどメッセージ送信頻度が高くなる。

4 シミュレーションモデル

文献 [4] で ns-3 用の 5G NR-V2X Mode 2 用の拡張モジュールが発表されている。このモジュールと交通流シミュレータ SUMO で生成した車両の位置トレースを用いてシミュレーションを行うこととする。シミュレーションシナリオは以下のようにする。高速道路を模した車線数 5、直線 2000m の道路環境に車両をランダムに流入させ、低密度で 4500 台/h、高密度で 9000 台/h とする。車両は最大速度 100 km/h、最大加速度 2.9 m/s^2 、最大減速度 7.5 m/s^2 で走行し、車線変更モデルは SUMO の LC2013 を使用する。車両のサイズ

表 2: NR-V2X Mode 2 パラメータ

Numerology (μ)	0, 1, 2
SCS	15kHz ($\mu = 0$), 30kHz ($\mu = 1$), 60kHz ($\mu = 2$)
Slot duration	1 ms ($\mu = 0$), 0.5 ms ($\mu = 1$), 0.25 ms ($\mu = 2$)
Subchannel size	200 RBs ($\mu = 0$), 100 RBs ($\mu = 1$), 50 RBs ($\mu = 2$)
Sensing Window (T_0)	100 ms
Sensing Window ($T_{proc,0}$)	1 slot ($\mu = 0, 1$) 2 slots ($\mu = 2$), 4 slots ($\mu = 3$)
Selection Window (T_1)	2 slots
Selection Window (T_2)	Fixed selection window in slots: 33 slots Fixed selection window in time: 17 slots (for $\mu = 0$), 33 slots (for $\mu = 1$) 65 slots (for $\mu = 2$)
Transmission power	23dBm
RSRP threshold	-128dBm
Packet size	1500, 300 Bytes

は $4.7\text{m} \times 1.7\text{m}$ 、アンテナ高 1.5m、通信車両と非通信車両の割合はそれぞれ 50% とする。パケットの生成トラフィックは、古川らの提案手法によって制御される。

MoReV2X では、5G NR-V2X の Mode 2 の SPS による資源割り当てを主な評価対象としているが、動的な資源割り当て Dynamic も使用可能である。5G NR-V2X では、LTE-V2X でサポートされていたブロードキャストの他、ユニキャスト、グループキャストをサポートしているが、MoReV2X ではブロードキャストのみをサポートしている。SL チャネルの電波伝播モデルでは、車体によるシャドウイングの影響を考慮したものになっており、ペイロードを含む TB (Transport Block) の平均 SINR (Signal to Interference Noise Ratio) に基づいて、LUT (Lookup Table) を参照してパケットエラー率が計算されるようになっている。MoReV2X を利用するにあたり、考慮すべきパラメータを表 2 に示す。Numerology μ は、送信時に使用する RB の大きさを左右する SCS (Subcarrier Spacing) やスロット長などを決定するための値であるため、NR-V2X における重要なパラメータである。

5 まとめ

5G NR-V2X を用いた場合の車両の相対位置に基づく周辺車両情報の送信頻度制御手法の有用性検証のため、そのシミュレーション評価方法について検討した。今後はシミュレーションを実施し、有用性を検証する予定である。

参考文献

[1] ETSI TR 103 562 (V2.1.1), Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Analysis of the Collective Perception Service (CPS); Rel.2, 2019.

[2] Furukawa, et al.: "Sensing Information Dissemination Strategy for Collective Perception in VANET Based on the Relative Position of Vehicles and the Road Structure," Intelligent Transport Systems for Everyone's Mobility. Springer, Singapore, pp.337-355 (2019).

[3] 菊池, 他: Collective Perception における車両の相対位置に基づくビーコンの送信頻度制御手法の評価, 83 回情処全大, 6T-01 (2021).

[4] Lusvarghi and Merani: "MoReV2X — A New Radio Vehicular Communication Module for ns-3," IEEE VTC2021-Fall (2021).