

# V2X 通信を利用した衝突警告アプリケーションにおける インフラレス型セルラーV2X通信のMACレイヤプロトコルの 通信品質特性評価

平井 健士<sup>†</sup> 村瀬 勉<sup>‡</sup>

名古屋大学<sup>†‡</sup>

## 1. はじめに

高度交通システム (ITS: Intelligent Transport Systems) において、V2X (Vehicle-to-Everything) 通信を用いた衝突警告アプリケーション (CWA: Crash Warning Application) [1] の実現が期待されている。CWA では、車や歩行者などが通信ノード (以下、単にノード) となり、自身の状態情報 (ID、位置、速度等) を格納したデータフレームを同報する。また、各ノードは、得られた情報から、自律分散的に衝突の危険性を推察し、必要であればユーザに警告する。CWA では、正確な警告のための通信品質に関する要求が定められている。具体的には、予想される衝突事故の前に、高品質な通信を行うことができる必要がある。本研究は、インフラレスなセルラーV2X (PC5-based C-V2X mode4) 通信を利用した CWA を対象とする。この通信の MAC レイヤプロトコルには、Sensing-based Semi-Persistent Scheduling (SPS) [2] と呼ばれる方式が使われている。この方式では、基地局ベースの送信スロット割り当てではなく、各ノードが自律分散的に利用スロットを決定する。

本稿では、CWA において、特に通信品質を左右する 2 つのパラメータ (フレーム送信頻度と通信ノード間の相対速度) に対する、Sensing-based SPS の通信品質特性を明らかにする。

## 2. Sensing-based SPS

Sensing-based SPS は、送信スロットをある送信頻度周期ごとに連続で利用することで、スロットの利用状況を把握し、将来のスロットの干渉電力を推定できる仕組みを持っている。各ノードは、フレームが生成されてからある期間 (選択期間) までのスロット (候補スロット) の中から、1 つのスロットを選択し、一定回数連続で利用する。Sensing-based SPS の基本的な動作は以下の通りである。

**Step 1)** 各ノードは、過去 1 秒間のスロット利用状況を保存しておく。この期間をセンシング期間と定める。

**Step 2)** 各スロット選択ノードは、センシング期間内のスロット  $S$  が、ある候補スロットの利用を明示しておりかつ、そのスロット  $S$  の RSRP (Reference Signal Received Power) が閾値より高い場合、明示された候補スロットを利用候補から除外する。同一ノードから同一の候補スロットの利用を複数明示しているスロットが見られる場合、最新のものを利用する。

**Step 3)** 各スロット選択ノードは、候補スロットを始点として、センシング期間内を送信頻度単位で過去のスロットを遡っていき、それらの RSSI (Received Signal Strength Indicator) の平均値を計算する。そして、この平均値の低いスロットから順に一定数だけ、最終候補スロ

ットの集合とする。

**Step 4)** スロット選択ノードは、最終候補スロット集合の中から、実際の送信スロットを 1 つランダムに選択する。また、スロットを連続利用する回数 (同一スロット連続利用回数) を、ある範囲からランダムに選択する。

**Step 5)** 各ノードは、対応するスロットを定めた回数だけ利用した後、再び送信スロットを選択し直す (つまり、Step 2 に戻る)。

## 3. Sensing-based SPS の通信品質特性

Sensing-based SPS は、Step 2 と Step 3 にて干渉が低いスロットを探索する。フレーム送信頻度と通信ノード間相対速度に対して、この 2 つのステップの特性を述べる。

### 3.1. フレーム送信頻度に対する通信品質特性

送信頻度が高いほど、輻輳度合いが高くなる。輻輳に対して、各ステップは、以下の特性を示す。

**Step 2** は、干渉の高いスロットを確定的に排除できる。ただし、帯域が輻輳してくると、RSRP 値が得られないため、Step 2 による高干渉なスロットの排除が有効に働かなくなる。

**Step 3** では、過去のスロットの受信電力と候補スロットの受信電力の相関があると仮定して、候補スロットの干渉を推察している。正の相関がある場合、この推察は正しく機能するが、負の相関がある場合、かえって干渉電力が高い候補スロットを選択してしまう。加えて、相関がない場合、つまり、過去スロットの受信電力の平均値に対して様々な受信電力を取りうる場合、Step 3 を行う効果は全くない。

輻輳度合いに応じて、上記の 3 つの相関を持つ候補スロットの数は変化するため、Step 3 の効果も変化する。輻輳度合いが低いほど、Sensing-based SPS のスロットの周期的利用の特性が優位に働き、正の相関のある候補スロットが多くなる。よって、Step 3 により、高品質な通信が得られる。一方、輻輳度合いが高くなるにつれて、負の相関・相関がない候補スロットが増加することが予想される。なぜならば、輻輳が厳しくなるにつれて、スロットを共有するノードが増加し、各スロットの RSSI の変動が頻繁に起こるためである。ただし、Step 2 が輻輳時にも有効に働けば、受信電力が高い場合が排除される可能性があるため、負の相関を持つまたは相関のないスロットの数が結果的に削減される可能性がある。高輻輳時の Step 3 の効果は、この 2 つの効果の大小により決定する。

これに加えて、CWA における V2X 通信に共通する特性も見られる。送信頻度が低すぎると、コリジョンエラーによる受信フレーム数低下を補う効果が低下する。一方、送信頻度が高すぎると、輻輳によるコリジョンエラーが増加するため、受信フレーム数が低下する。

Performance Evaluation on MAC protocol of Infrastructure-less Cellular V2X Communication in Crash Warning Application

<sup>†</sup> Takeshi Hirai, Nagoya University

<sup>‡</sup> Tutomu Murase, Nagoya University

### 3.2. ノードの相対速度に対する通信品質特性

まず、ノードの移動速度に対する受信電力の時間的な変動について述べる。ノードの移動を考慮すると、同一のノードから受ける電波であっても、その受信電力が変化する。その変動は、各ノードの位置や移動方向などによって、増加と減少のいずれも考えられる。例えば、スロット選択者が、あるスロットを利用しているノードに近づく場合は、そのスロットに対する候補スロットの受信電力は強くなる。つまり、現在の受信電力は、過去のスロットにおける受信電力と相関が小さくなる。また、受信電力の変動量は、ノードが高速に移動するほど大きくなるため、スロット間の受信電力の相関が減少する。

上記の電力変化のため、Sensing-based SPS は、以下の特性を持つ。Step 2 においては、上記の電力変動が、RSRP の変動につながる。ただし、Step 2 では、得られる RSRP の中で最新の RSRP を参照するため、つまり、移動後の RSRP を利用するため、その悪影響は軽減されている。一方、Step 3 において、高速に移動するほど、過去のスロットと相関のない RSSI を持つ候補スロットが多くなる。その結果、Step 3 の効果は低下していく。ただし、輻輳時と同様に、Step 2 によって、相関のないスロットが結果的に排除される可能性もある。

また、CWA にて Sensing-based SPS を利用する際に、通信ノード間相対速度の増加により、Step 2 と Step 3 のいずれも効果が小さくなるという面もある。相対速度が高速になるほど、より遠距離にいるノードとの衝突の可能性が高まる。すなわち、遠距離ノードとの通信が高品質である必要がある。その結果、送信ノードにとっては干渉が低いスロットであっても、受信ノードにとっては干渉が高いスロットが平均的に増えてくる。そのため、干渉の低いスロットを選択することで回避できるコリジョンエラーが減少する。すなわち、干渉の低いスロットを選択することで品質が高まる効果が低下する。

加えて、CWA における V2X 通信に共通する特性も見られる。上記でも述べた通り、通信ノード間の相対速度が高速であるほど、遠距離なノード同士の通信が必要となり、受信信号が弱くなるため、通信品質も低くなる。

### 4. 評価モデル

基本的なパラメータと評価する手法について説明する。まず、帯域幅とデータサイズは、3GPP の標準である 10 MHz と 300 Bytes をそれぞれ仮定した[2]。ノード数は、輻輳状態を生じる 250 台とした。比較する手法は、現状の Sensing-based SPS、Step 3 または Step 2 が実装されていない Sensing-based SPS、Step 2・Step 3 がともに実装されていない Sensing-based SPS (random scheduling) である。

送信頻度を変化させたときの通信品質特性評価時のパラメータを説明する。フレームの送信頻度は、10 フレーム/s から 1 フレーム/s ずつ増加させ、30 フレーム/s まで評価する。3GPP の標準では、送信頻度が変わると、同一スロット連続利用回数の最大値と最小値も変わる[2]。標準では、特定の送信頻度のみが規定されているので、本評価では、同一スロット連続利用回数が送信頻度に対して線形に変動すると仮定して評価した。この時の相対速度は、市街地を走る車を仮定し、60 km/h のノード 2 台が正面衝突する際の相対速度である 120 km/h にて評価した。次に、通信ノード間の相対速度に対する評価を行った。相対速度は、30 km/h から 30 km/h 間隔で 240 km/h まで評価した。また、この時の送信頻度は、標準で規定されて

いる 20 フレーム/s とした。

### 5. Sensing-based SPS の通信品質特性評価

Fig. 1 は、フレーム送信頻度と受信フレーム数の関係を示している。横軸が送信頻度、縦軸が受信フレーム数である。また、Fig. 2 は、通信ノード間の相対速度に対する受信フレーム数を示している。横軸が相対速度、縦軸が受信フレーム数を示している。

Fig. 1 から、送信頻度が高いほど、Sensing-based SPS の Step 3 の悪影響が生じ、この悪影響が Step 2 の効果よりも大きくなっていくことが分かった。Step 2 を持たない Sensing-based SPS と random scheduling を比較すると、16 フレーム/s で受信フレーム数の高低が入れ替わっており、20 フレーム/s で、random scheduling の方が、約 6% 受信フレーム数が高くなった。一方、Step 2 の導入により、この現象の発生が緩和されているが、やはり 28 フレーム/s 付近で発生し、30 フレーム/s で約 6% の低下が見られた。

また、Fig. 2 から、通信ノード間の相対速度が高いほど、Step 2 と Step 3 の効果の低下が確認できた。Step 3 の効果は、60 km/h では約 8% あったのに対し、120 km/h 以降では全くないことが分かった。また、Step 2 の導入によって、この効果低減が抑えられているが、150 km/h 以降では、Step 3 の効果は皆無となった。また、Step 2 と Step 3 のいずれの方式も 240 km/h 付近で、random scheduling と同等の通信品質となることも確認できた。

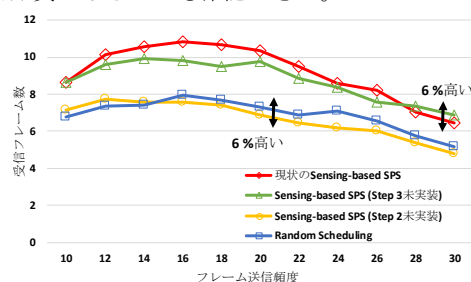


Fig. 1 フレーム送信頻度に対する受信フレーム数

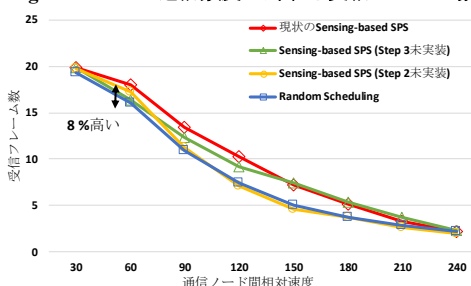


Fig. 2 通信ノード間相対速度に対する受信フレーム数

### 6. 結論

本稿では、CWA に利用されるインフラレス C-V2X 通信の Sensing-based SPS プロトコルにおいて、輻輳や移動による通信品質の影響を調査し、特に Step 3 の平均操作が輻輳時の性能低下に寄与していることを明らかにした。

#### 謝 辞

本研究の一部は、科研費 (15H02688) (15H01684) (16H02817) の助成を受けて実施した。

#### 文 献

- [1] T. ElBatt, et al., "Cooperative collision warning using dedicated short range wireless communications," ACM VANET 2006, 2006.
- [2] R. Molina-Masegosa and J. Gozalvez, "LTE-V for Sidelink 5G V2X Vehicular Communications: A New 5G Technology for Short-Range Vehicle-to-Everything Communications," IEEE Vehicular Technology, Magazine, vol. 12, no. 4, pp. 30 - 39, 2017.