6V-02

# V2X-DSRCを用いた衝突警告アプリケーションにおける収容台数増加のための受信信号強化と干渉電力削減方法の提案と評価

平井　健士†　　村瀬　勉‡

名古屋大学†,‡

## 1. はじめに

近年、情報通信技術を取り入れた高度な交通システムであるITS(Intelligent Transport System)に関する研究が活発に進められている。その中でも、衝突警告アプリケーション(CWA: Crash Warning Application)[1]の実現が非常に期待されている。CWA は、車や歩行者などの通信機器(以下、ノード)が V2X(Vehicle-to-Everything)通信のブロードキャストモードを利用して、自身の状態情報(ID、位置、速度等)を共有することで、自律分散的に衝突の危険性を判断し、ユーザに警告する。V2X 技術の 1 つとして DSRC(Dedicated Short Range Communication)[2]が開発されている。DSRC は、MAC 層に IEEE802.11p[3]を利用した無線 LAN ベースのプロトコルであるため、通信事業者を介さず、低コストで運用できる点で非常に有利である。本稿では、この DSRC に焦点を当てた V2X を考える。

CWAには、V2X通信に関する品質要求条件がある。具体的には、衝突が予想されるノード(衝突ノード)の状態情報を、衝突の 2.5s 以前に秒間 10 フレーム以上の受信数を受け取る必要があるというものである[4][5]。システムに存在するノードすべてがこの要求条件を満たすことができるノード数の最大値を収容台数と呼ぶ。この収容台数を最大化することが望まれており、本研究も収容台数の最大化を目指す。

従来研究[6]では、収容台数が評価されており、信号対干渉ノイズ比(SINR : Signal to Interference Noise Ratio)が低い衝突ノードが存在すると、収容台数が低下してしまうという問題が明らかになっている。しかし、実用化を考えると、収容台数を大きくする必要がある。そこで、本稿では、すでに提案している 2 つの方式を組み合わせて総合的に SINR を改善することでこの問題を解決する。具体的には、受信信号強化手法として、衝突ノードのデータフレームを受信率に応じて適応的に中継するブロードキャストアシスト方式[7]を提案している。干渉低減手法として、複数ノードによりクラスタを構成し、それぞれのクラスタヘッドのみが自身のクラスタに所属しているノードのデータフレームを代理送信するクラスタ通信方式[6]を提案している。これらの手法により、SINR が低下している衝突ノードの受信率を改善できるため、収容台数が大幅に増加することが見込まれる。本稿では、SINR 改善手法を提案し、収容台数の評価を通して、この提案手法が収容台数向上に有効であることを示す。

## 2. 従来研究とその課題

伊藤[8]、筆者[6]らによって、自身で自身の状態情報を同報する通信方式(従来通信方式)を用いた CWA の収容台数が評価されている。文献[6][8]では、キャプチャエフェクトを考慮して、収容台数を評価している。キャプチャエフェクトとは、複数ノードによる同時送信(コリジョン)時においても、ある程度の SINR 値が確保できる場合には、フレームを受信できるという無線通信の性質である。この性質の下では、並列転送が成功することにより、見かけ上のチャネル容量が増加する。したがって、コリジョンにより全てのフレームがエラーになるとする従来のモデルに比べて、実際には、収容台数が向上することが明らかにされている。

SINR が低下するのは、受信信号強度が低下する場合(例えば、遠距離の通信など)と干渉電力が増加する場合(例えば、ノード数が多い場合など)である。文献[6]では、高速ノードが存在すると、受信数の低下により、アプリ要求が満たせず、収容台数を低下させざるをえないという問題が明らかにされている。

そこで、本稿では、この課題を解決するために、SINR を向上させ、キャプチャエフェクトによる受信率を高めるために、2 つのアイデア；受信信号強化手法と干渉信号低減手法、を総合的に利用する SINR 改善方式を提案する。それぞれの手法には、筆者によりすでに提案されている 2 つの手法を用いる。受信信号強化手法としては、ブロードキャストアシスト方式[7]を用いる。この方式は、衝突ノードが送信したフレームの内、対象となる衝突ノードがエラーしそうなフレームのみを補助的に中継する方式である。これにより、中継フレームによる追加の負荷を最低限に抑制して受信信号強度を強化することができる。また、干渉信号低減手法としてクラスタ通信方式[6]を用いる。クラスタ通信方式は、複数ノードによりクラスタを構成し、クラスタの代表者(クラスタヘッド)のみが自身のクラスタに所属しているノード(クラスタメンバ)の状態情報を送信する方式である。この方式は、同時送信ノード数を軽減できるため、干渉信号を低下させることができる。本稿では、この SINR 改善手法により、従来通信技術と比べて大幅に収容台数を向上させることができることを示す。

## 3. SINR 改善手法(クラスタ通信方式+ブロードキャストアシスト方式)

提案する SINR 改善手法、すなわち、ブロードキャストアシスト方式[7]とクラスタ通信方式[6]の組み合わせ方式は、以下の 2 つの種類の送信を行う。1 つ目は、通常フレーム送信である。クラスタヘッドによって、定期的にクラスタメンバの状態情報を周囲のノードに同報する。クラスタ通信方式では、クラスタヘッド自身の実測した状態情報とクラスタメンバの推測した状態情報(過去の状態情報と物理法則から推測可能)を送信する。2 つ目は、条件付きフレーム送信である。この送信は、2 種類の条件のどちらかが満たされるときに発生する。1 つ目は、クラスタヘッドが送信した推測情報の誤差が許容範囲を超えた場合である。この場合には、クラスタヘッドの情報を訂正するために、本人による推測誤差修正フレーム(実測した状態情報)を送信する。2 つ目は、クラスタヘッドが送信したフレームがエラーしたと推測される場合である。ブロードキャストアシスト方式では、このフレームを推

Power Enhancement and Interference Reduction Methods for Broadcast MAC Frames in Crash Warning Application in V2X-DSRC
† Takeshi Hirai, Nagoya University
‡ Tutomu Murase, Nagoya University



Copyright ©2018 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.

測し、過剰にならないように中継を行う。CWA は、各ノードが自律分散的に通信するため、このような中継を実現するには、各ノードが確率的に中継するべきである。この確率をブロードキャストアシスト確率(BAP：Broadcast Assist Probability)とし、キャプチャエフェクトに基づいた確率値によって定義している。そして、そのための確率決定関数を BAP 決定関数と定義している。

提案する SINR 改善手法の収容台数と収容台数増加率(提案方式の収容台数/従来通信方式の収容台数)は、衝突ノード数とクラスタメンバ数に依存する。衝突ノード数が増加すると、中継フレームが増加するため、輻輳を助長し、これによる干渉信号の増加で収容台数が低下する。また、クラスタメンバ数の増加によって、同時送信ノード数を制御できるが、これにより、収容台数の増加と減少の 2 つの影響が発生する。収容台数が増加する要因は、同時送信ノード数の制限によって、干渉信号が削減されるからである。また、減少する要因は、同時送信ノード数が過剰に制限されると、並列転送が行われづらくなり、見かけ上のチャネル容量が低下することと、推測フレームが増加してしまい、それに伴い誤差修正フレームも増加するため、これに起因する輻輳が増加することの 2 つが考えられる。従来通信方式は、上記のパラメータによる収容台数の増減はないため、収容台数増加率は、衝突ノードに対して単調減少、クラスタメンバ数に対して上に凸に変化する。

## 4. 評価モデル

本稿では、従来通信方式との比較を通して、提案方式における収容台数を評価する。その際、衝突ノード数とクラスタメンバ数を変動させて収容台数を評価する。本評価は、文献[6]で行なった評価と同様に、一様分布に配置したノードのうち、何台かの衝突ノード数が正面衝突するモデルで行う。また、本稿では、理想的な状態の提案方式を評価するため、いくつかの仮定を置く。まず、ブロードキャストアシスト方式において、中継ノードは、中点に置かれ、中継のみに徹するとする。また、BAP 決定関数は、理想的な関数を用いる。この関数は、フレームの受信に失敗したかどうかが既知であると仮定し、中継ノードの BAP を 1 に設定することで実現する。続いて、クラスタ通信方式においては、3 つのことを仮定する。1 つ目は、新たなクラスタへの参加・離脱は発生しない定常的な状態を評価する。2 つ目は、クラスタメンバ数はすべてのクラスタで均質であるとする。3 つ目は、推測精度が十分高いとする。すなわち、予測誤差修正フレームによる追加の輻輳は発生しない。つまり、クラスタメンバ数の増加に伴う収容台数減少の効果は、並列転送性の低下のみにとどまる。

## 5. 評価結果

図 1 は、衝突ノードが 2 台存在する場合のおけるクラスタメンバ数に対する収容台数増加率の評価結果である。横軸は、クラスタメンバ数、縦軸は収容台数増加率を示している。5 台でクラスタを構成するとき、提案方式の収容台数は、従来通信方式と比較して 152%も向上できる。また、図 2 は、図 1 の結果から収容台数が最大であったクラスタメンバ数が 5 の提案方式における衝突ノード数に対する収容台数増加率の評価結果である。横軸は、衝突ノード数を示し、縦軸は収容台数増加率を示している。衝突ノード数が 20 台存在している場合でも、従来通信方式と比較して、提案方式の収容台数は 81%も向上できることが分かる。

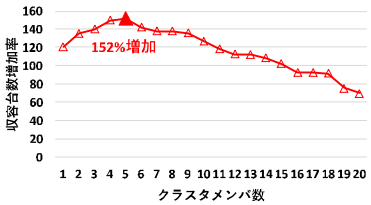


図 1 クラスタメンバ数に対する収容台数増加率の推移

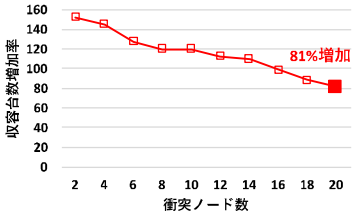


図 2 衝突ノード数に対する収容台数増加率の推移

## 6. 結論

V2X を利用した CWA において、低受信率なノードの受信できるフレーム数不足による収容台数低下問題に対して、キャプチャエフェクトによる受信率を向上させるため、SINR を改善するというアイデアのもと、受信信号強度の向上を目指すブロードキャストアシストと干渉信号低減を目指すクラスタ通信方式を提案し、これらを組み合わせて、収容台数が向上したことを示した。ブロードキャストアシスト方式の主なアイデアは、受信頻度の不足分を推測し、その不足分のみを過不足なく補助するように中継することである。また、クラスタ通信方式の主なアイデアは、複数ノードでクラスタを構成し、クラスタヘッドのみが状態情報を送信することで、並列送信の度合いを制限することである。これらの方式の収容台数を調査したところ、従来通信方式と比較して、最大で 152%も向上できることが分かった。すなわち、収容台数が飛躍的に向上することを明らかにした。

**謝　辞**

本研究は、Alpine Electronics Research of America, Inc. の大西洋文氏の助言をいただいた。また、本研究の一部は、科研費(15H02688)(15H01684)(16H02817)の助成および競輪の補助(27-117)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] J. B. Kenney, “Dedicated short-range communications (DSRC) standards in the United States,” IEEE, vol. 99, no. 7, 2011.
[3] D. Jiang and L. Delgrossi, “IEEE 802.11p: Towards an international standard for wireless access in vehicular environments,” IEEE VTC 2008, 2008.
[4] D. Bezzina, “Light Vehicle Platform Update,” IVBSS 2008, 2008.
[5] “U.S.Department of Transportation Decision to Move Forward with Vehicle-to-Vehicle Communication Technology for Light Vehicle,” http://www.nhtsa.gov/About+NHTSA/Press+Releases/2014/USDOT+to+Move+Forward+with+Vehicle-to-Vehicle+Communication+Technology+for+Light+Vehicles.
[6] T. Hirai, et al., “Node-Clustering in Vehicle-to-Pedestrian Communications for Crash Warning Applications,” ITS World Congress 2016, 2016.
[7] T. HIRAI, et al., “Broadcast Assist for Improvement on the Number of the Accommodated Nodes in V2X-based Crash Warning Application,” IEICE-ITS2017-45, 2017.
[8] H. Ito, et al., “Crash Warning for Intersection and Head-on Car Collision in Vehicle-to-Vehicle Communication”, IEEE ICCVE 2015, 2015.



Copyright ©2018 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.