

車車間通信システムにおける隠れ端末問題に対するアクセス制御方式に関する一検討

村田駿斗[†]藤井雅弘[†]宇都宮大学大学院 地域創成科学研究科 博士前期課程 工農総合科学専攻[†]

1 はじめに

近年、ITS (Intelligent Transport System: 高度道路交通システム) に関する研究が盛んに行われている。ITS 無線通信システムでは、アクセス制御方式として CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) が広く検討されている。日本国内では標準規格 ARIB STD-T109[1] が策定されており、700MHz の単一チャネルを利用した路車間・車車間通信のアクセス制御が規定されている。路上に設置された基地局、道路上を走行する車両 (移動局) が互いにデータの送受信を行うことで、周辺情報を運転者に知らせ、安全運転支援や渋滞低減に役立てられる。本研究では、移動局同士の通信である車車間通信のアクセス制御に着目する。

ARIB STD-T109 における CSMA/CA では、0 から乱数発生範囲 (Contention Window Size: CWS) の範囲の整数一様乱数によって、送信開始前にとるバックオフ時間を決定し、固定長である DIFS (Distributed Coordination Function Inter Frame Space) とバックオフ時間の間、周辺の移動局が送信中であるかを確認するキャリアセンス (Carrier Sense: CS) を行うことで、同時送信によるフレーム衝突を回避する。しかし乱数によって決定されるバックオフ時間が一致すると同時送信によるフレーム衝突が発生し、通信性能の低下が懸念される。なお CWS は固定値 63 と規定されている。また移動局間の位置関係や障害物等により直接通信不可能な移動局が存在するとき、CS 不可能となり、CSMA/CA による衝突回避が機能しないことがある。このような問題を隠れ端末問題と呼び、これもフレーム衝突の原因となり、通信性能の低下が懸念される。

本稿では、道路状況に対して CWS が通信に与える影響の調査及び、従来の CSMA/CA で回避のための機能が規定されていない、隠れ端末問題によるフレーム衝突を回避する手法を提案し、通信性能を向上させることを目的とする。

2 CSMA/CA の計算機実験

本研究では交通流シミュレーションと無線通信シミュレーションにより通信性能の評価を行う。

2.1 交通流シミュレーション

交通流シミュレーションにはマイクロ交通流シミュレータ SUMO (Simulation Urban MObility) を使用する。本実験で用いる道路モデルを図 1 に示す。道路モデルには 4.8 km 四方の基盤の目状の道路モデルを用い、4 車線対面通行、道路幅 3.5 m、制限速度 60 km/h、1 ブロックの直線の長さ 300 m と設定し、道路でない箇所は電波が遮蔽され、反射・回折は発生しないものとする。また道路モデルの中心から半径 1.22 km の円内を評価範囲として設定し、範囲内の移動局の送信フレームを計測する。

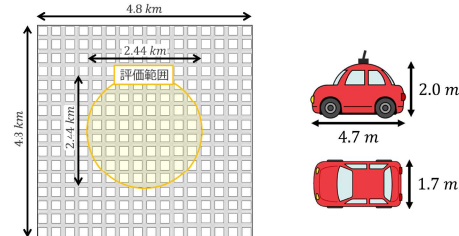


図 1: 基盤の目状の道路モデル

図 2: 車両モデル

走行する車両を図 2 に示す。車両サイズは普通自動車を想定し、屋根の上にアンテナが搭載されるものとする。

車両密度は 4 台/km, 平常時の車両密度を想定した 24 台/km, 混雑時の車両密度を想定した 43 台/km とした。

2.2 無線通信シミュレーション

シミュレーションに用いる各パラメータについて、フレーム送信時間は車車間通信実験用メッセージガイドライン ITS FORUM RC-013 で規定される最大データ長 100 byte のデータを ARIB STD-T109 のデータ送信における標準値である 6 Mbps, 符号化率 1/2 で送信したと仮定し算出した 264 μ s とする。その他パラメータは道路モデル, 車両モデル, ARIB STD-T109 に基づいて決定した。また各移動局は 100 ms 毎に必ず一度、一様なタイミングで生起し、フレーム送信を行う際には、伝搬距離に依存し、電波減衰が起こるとする。

2.3 評価指標

本実験では評価範囲内の全移動局が保持したフレームの受信成功数, 受信失敗数, 破棄フレーム数を計測するが, 受信失敗パターンをバックオフ時間の一致による衝突 (以下, 「見通し内衝突」と呼ぶ) と隠れ端末問題による衝突の 2 つに分類する。フレーム破棄数は移動局がフレームを生起したのち, 100 ms の間にフレームを送信完了できなかったとき, そのフレームは破棄され, 送信の機会を失ったとし, その数を計測する。計測した各値から受信成功率 P_s , 見通し内衝突による受信失敗率 P_{f1} , 隠れ端末問題による受信失敗率 P_{f2} , フレーム破棄率 P_d を計測し, 評価指標とする。

2.4 シミュレーション結果

車両密度と CWS を「1~10,000」の範囲で変更した際の各受信失敗率の結果を図 3 に, 受信成功率とフレーム破棄率を図 4 に示す。車両密度によらず結果の傾向は似ており, 受信失敗率に注目すると, 隠れ端末問題による受信失敗が多いことが確認できる。これは見通し内同士の移動局は互いに CS 可能なため, 送信開始タイミングが少しでも異なると, 周辺移動局の CS が Busy となり, 同時送信の回避が可能となるが, 隠れ端末同士では CS が機能せず, バックオフ制御によって送信タイミングを遅らせることが不可能なため, 送信タイミングが少し重なるだけで衝突が発生する。よってフレームの衝突のしやすさ, 相手移動局の数において隠れ端末問題による衝突は支配的であると考えられる。

またフレームの破棄が発生しない CWS のとき, 成功率は同程度となるが, フレームの破棄が発生すると CWS が

A study of access control method for hidden terminal problem in Vehicle-to-Vehicle communication systems

[†] Hayato Murata, Masahiro Fujii

[†] Division of Engineering and Agriculture, Graduate School of Regional Development and Creativity, Utsunomiya University

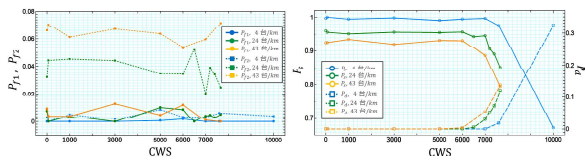


図3: 各送信失敗率 P_{f1} , P_{f2} 図4: 成功率 P_s , 破棄率 P_d

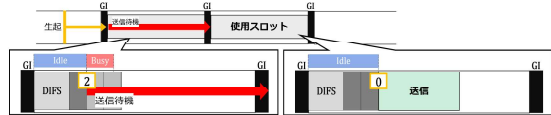


図5: 提案手法のアクセス制御手順

大きいほど破棄率が増加し、成功率が下がる。これは同時にフレームを保持する移動局数が少なく、DIFS中のCSのみで他移動局のフレーム送信の検知が十分可能であり、バックオフ時間は無駄な待機時間となっていると考えられる。またCWSを必要以上に大きくすると、バックオフ時間が長く決定され、100ms間でバックオフ時間の待機が完了できず、破棄が発生しやすくなると考えられる。

以上より、本シミュレーションの条件下では車両密度によらずフレーム破棄が発生しないCWSが最も高い送信成功率となっている。また車両密度ごとの結果の傾向が似ていることより、さらに車両密度を大きくしても、送信成功率は低下するが、結果の傾向は同様になるのではないかと予想し、車両密度によらずフレーム破棄が発生しない小さいCWSが適切な値と考える。

3 提案手法

本章では提案手法について述べ、2章の実験と同条件で、アクセス制御のみを提案手法とした計算機実験を行う。

3.1 提案手法のアクセス制御

隠れ端末問題による衝突は送信タイミングが少しでも異なると発生することとCWSは小さな値が適切であることから、スロット化を用いたアクセス制御に注目した。

アクセス制御の例を図5に示す。移動局は任意のタイミングでフレームを生起すると、次のスロット開始時刻まで送信を待機する。スロット開始時刻となると、ARIB STD-T109のCSMA/CAと同様に、CSがIdleの間、DIFSの待機と[0, CWS]から生成されるバックオフ時間を待機し、常にIdleであれば、そのスロット内で送信を行う。CS期間中一度でもBusyとなれば、バックオフ時間を持ち越し、次のスロットまで送信を待機する。ただしスロットの同期について、各移動局はカーナビゲーションシステムに搭載されたGPS時計を用いるとし、スロットの前後に1μsのガードインターバル(GI: Guard Interval)を取ることで同期は完全に取ることができると仮定する。ここで提案手法において注目すべきパラメータとしてCWSとスロット分割数Nがある。Nは1制御周期内のスロット数であり、Nが大きいほど、1つのスロット幅は小さくなる。またスロット幅に対して、設定可能なCWSの最大値は1つに決まるため、Nに対してCWSは1つに決まり、それは反比例の関係となる。

提案手法はCSMA/CAにより見通し内衝突を回避しながら、スロット化により隠れ端末問題による衝突を同スロットを選択したときのみに制限することが可能となる。またこの手法はCSMA/CAをスロット化したものであるため、従来手法との互換性も保たれている。

3.2 提案手法の計算機実験

車両密度24, 43台/kmにおけるCWS及びNを変更した際の P_s , P_{f1} , P_{f2} と従来手法の比較結果を図6, 7, 8に示す。ただし本実験ではいずれの車両密度においても、各移動局はフレーム生起から数スロット以内に送信を完了させ

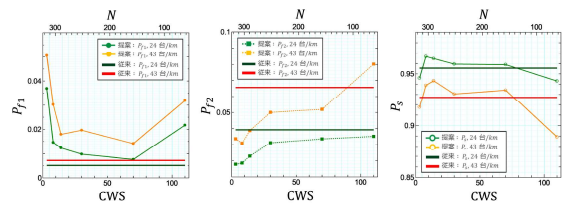


図6: 失敗率 P_{f1} 図7: 失敗率 P_{f2} 図8: 成功率 P_s

ることができ、フレーム破棄は発生しなかったため P_d の結果は省略する。提案手法では、いずれの車両密度においてもCWSの増加(Nの減少)に対して P_{f2} は単調増加となっている。これはNが減ることで同スロットを選択する確率が増加したためと考えられる。 P_{f1} は、あるCWSまでは単調減少、あるCWSを超えると単調増加となっている。これはCWSが増加すると決定される乱数値が一致しにくくなり、同時送信の可能性が減少するが、CWSが増加しすぎるとNが減少し、同スロットを選択する競合移動局数が増加するためと考えられる。また従来手法と比較すると、 P_{f2} は減少するパラメータが見られるが、 P_{f1} は増加している。車両密度ごとの結果を比較すると、車両密度が大きいほど P_s は向上している。これは車両密度が大きいほど隠れ端末数が多いため、 P_{f2} が大きく減少し、 P_s が向上したと考えられる。

提案手法において P_{f2} が減少したの一番の要因として、衝突発生時に衝突したフレームが1つのスロット内に集中し、衝突発生回数の減少と衝突によるチャネル使用不可時間の減少が起るためと考えられる。また P_{f1} の増加については、従来手法では一様なフレーム生起タイミングによりアクセス制御開始時刻が異なるため、競合移動局数が少なかったが、提案手法ではアクセス制御開始時刻がスロット開始時刻に強制的に合わせられ、競合移動局数が増えたため、CSMA/CAによる見通し内衝突回避が難しくなったと考えられる。しかし提案手法は P_{f1} の増加に対して、 P_{f2} の減少に与える影響が大きく、 P_s を増加させることが可能となり、これは車両密度が大きいほど効果的であった。

4 まとめと今後の展望

本稿ではARIB STD-T109に従うアクセス制御の懸念点について述べ、道路状況に対してCWSが通信に与える影響の調査及び隠れ端末問題による衝突を回避する手法の提案を行った。計算機実験では、基盤の目状の道路モデルにおける交通流シミュレーション及び無線通信シミュレーションを行い、車両密度とCWSを変更し、通信性能の評価を行った。車両密度によらず隠れ端末問題は支配的であり、またフレーム破棄が発生しない小さなCWSが適切な値であると考えた。そこで時間軸をスロットに分割し、スロット内でCSMA/CAを行う手法を提案し、計算機実験を行った。スロット化により隠れ端末問題による衝突回避が可能となったが、見通し内衝突は増加する結果となった。しかし隠れ端末問題軽減効果が大きく、受信成功率を向上させるパラメータが存在することを確認した。また提案手法は車両密度が大きいとき、より効果を発揮したため、本手法は様々な道路状況に対応可能であり、車間通信においてスロット化は有効な手法であると考えられる。

今後の展望は、車両密度及び見通し内端末と隠れ端末の割合と各パラメータの関係について調査し、適切なパラメータ設定について検討することである。

参考文献

- [1] 一般社団法人 電波産業会, "700MHz帯高度道路交通システム 標準規格 ARIB STD-T109 1.2版," 2013.