

車群ネットワークを利用した 高信頼性 MAC プロトコルについて

和田脩平 萬代雅希 渡辺尚

静岡大学情報学部

あらまし 近年 ITS (Intelligent Transport systems) が注目されており、様々な通信システムが提案されている。その通信方式の一つとして車車間通信が挙げられる。車車間通信によって事故防止の支援や自動運転の実現などが期待されている。そのため通信における高信頼性が求められる。しかし、データパケットの衝突が頻繁に発生し、車車間通信の信頼性は低い。本稿では車群ネットワーク通信プロトコル R-VGMP(Reliable MAC Protocol with Vehicle Grouping)を提案し、その有効性を論じる。本提案方式では TDMA を基本としており、まず各車両がマスター車両を選出して車群ネットワークを構成する。マスター車両を中心とした集中制御により高信頼性を実現する。また計算機シミュレーションにより車群ネットワーク構成における制御パケットの到達率を評価し、衝突を抑えたデータ通信が可能であることを示す。

A Reliable MAC Protocol with Vehicle Grouping for ITS

Shuhei Wada Masaki Bandai Takashi Watanabe

Faculty of Information, Shizuoka University

Abstract In recent years, various communication systems for ITS (Intelligent Transport Systems) have been proposed. The Inter-Vehicle Communication(IVC) is one of the ITS communication methods. IVC should be available to prevent accidents and to achieve automatic driving. Therefore, it requires high reliability. However, the frequent collision of data packets results in the low reliability. This paper proposes a vehicle grouping communication protocol called R-VGMP and evaluates it. R-VGMP is TDMA-based and achieves high reliability by building a vehicle group with the master car, which control the group network. Simulation study shows that reachability rate of the control packet in vehicle grouping phase is relatively higher than a simple protocol of IEEE802.11 due to suppression of data collision.

1. はじめに

近年、ITS(Intelligent Transport System)[1]における研究や開発がますます活発になってきている。道路交通情報システム VICS(Vehicle Information and Communication System)[3]や自動料金収受システム ETC(Electronic Toll Collection System)[2]はすでに実用化に至っているサービスである。その中でも ETC は DSRC(Dedicated Short Range Communication system)[4]と呼ばれる路側機と車載器の間での狭域無線通信を使用しており、その汎用性から今後、駐車料金の自動収受、渋滞情報の提供、インターネット接続など様々なサービスの展開が期待されている。

DSRC は通信システムの観点からは路側機と車載器との双方向通信による路車間通信に分類される。一方、車載器同士で通信を行う車車間通信が存在する。車車間通信方式は路車間通信方式に対して基地局などのインフラ設備を必要としない利点をもつ。すなわち他の車両との通信を行う

場合、基地局を経由する必要がないためその分遅延が低減され、事故防止や自動運転など即時性を要求するデータを扱う通信に適している。しかし、相互に位置関係が変化する車両間の通信では物理的な障害のために、データパケットの衝突が頻繁に発生し、車車間通信の信頼性は低い。ITS における通信エラーは人命に関わる重大な結果をもたらす。したがってエラーの少ない通信技術、すなわち高信頼性通信技術の開発が不可欠である。また路側機が普及してきたとはいえ、まだ設置数は十分とはいえ、路側機間の距離が長い区間も存在する。またコストの面からみても全ての道路に連続的に設置するのは困難であるといえる。そのため路側機が存在しない区間においても各車両が自律的にネットワークを構成して通信可能な車車間通信方式の開発が望まれる。

以上の背景から本研究では信頼性の高い車車間通信を開発することを目的とする。具体的には高信頼性 MAC プロ

トコル R-VGMP(Reliable MAC Protocol with Vehicle Grouping)を提案し、その有効性を論じる。

2. 関連研究

以下に通信の高信頼性を目的とした MAC プロトコルを示す。

DRVC(Direct and Relay protocol for Vehicle Communication) [7][8]は路車間通信プロトコル DSRC を基に改良した高信頼性車車間通信プロトコルであり、車車間通信の信頼性の低さを路車間通信で補う方式である。DRVC ではデータが発生するとまず車車間通信によって送信を開始する。このとき、基地局はデータを傍受しており、車車間通信が失敗した場合、基地局が傍受したデータの中継を行い、目的の車両に送信する。高信頼性のメリットの反面、通信可能なエリアが路側機が設置されているエリアに制限されるという問題点がある。

Reliable R-ALOHA[6]方式は既存の R-ALOHA[5]プロトコルを改良した分散制御型の高信頼性プロトコルである。各端末がタイムスロットにアクセスする際に FI (Frame Information) を付加して伝送することで基地局を必要としない通信プロトコルを実現している。FI に自身の保持するスロット予約情報をのせ、端末同士交換して 2hop 先までの端末の予約情報を把握する。これにより無駄な衝突を抑え、高信頼性の通信を可能にしている。分散制御のため衝突が多発し、予約を行うまでの遅延が増大する可能性がある。またパケットに必ず FI を付加しなければならないため、パケットヘッダが大きくなり、1 スロットに送信できるデータ量が少なくなる。

AFR-CS(Asynchronous Fixed Repetition with Carrier Sensing)[9]は重複送信による高信頼性通信プロトコルである。チャンネルの空きを確認すると、同データパケットをライフタイム内に複数回送信を行うことで、到達率を高めている。しかし全端末が重複送信を行うため、チャンネルの負荷が高くなるという問題がある。また衝突の有無にかかわらず固定回数分、必ず重複送信が行われるためオーバーヘッドも大きい。

表 1 各プロトコルの分類

	代表例	メリット	デメリット
集中制御	路車間通信 DRVC	高信頼性低遅延	エリアが制限される
	車車間通信 R-VGMP	高信頼性、エリアの制限なし	プロトコルが複雑
分散制御	シングルホップ AFR-CS	高信頼性、エリアの制限なし	チャンネルの負荷が高い
	マルチホップ RR-ALOHA 802.11DCF	高信頼性、エリアの制限なし	遅延が増大する可能性がある 信頼性が低い

表 1 に関連研究を分類する。ネットワークの制御方式には分散制御と集中制御がある。一般的に分散制御に比べ、集中制御の方が信頼性は高いが、集中制御には集中管理を行うための基地局の存在が必要である。上記のプロトコルのうち、DRVC は集中制御、RR-ALOHA 及び AFR-CS は分散制御をそれぞれ行っている。本提案方式である R-VGMP は分散制御によって車群ネットワークと呼ばれる集中制御のための環境を作り出し、車群ネットワーク構成後はマスター車両の集中制御のもと高信頼性の車車間通信を行うプロトコルである。

3. 高信頼性 MAC プロトコル R-VGMP (Reliable MAC Protocol with Vehicle Grouping)

R-VGMP では基地局は必要とせず、すべて車車間通信のみにおいて通信は行われる。そのため通信エリアを制限されることなく様々な場面で通信の環境を整えることができる。各車両同士、自身の通信範囲内にある車両台数を交換することでマスター車両を決定する。このとき通信可能台数の多い車両をマスター車両として選択することで、車群ネットワークに含まれない孤立する車両を減らし、多くの車両を通信に参加させることができる。マスター車両決定後、マスター車両を中心とした車群ネットワークを構成し、衝突を抑えたデータ通信を行う。車群ネットワーク内の通信だけでなく、重複車両を利用した車群ネットワーク外への通信も可能である。

3.1 システムモデル

R-VGMP では以下のシステムモデルを想定する。

1. GPS によって時刻同期は行われる。
2. 車群ネットワークはマスター車両を中心とした 1hop 内の通信範囲と定義する。
3. 無線アクセス方式は TDMA 方式を用いる。
4. フレーム構成は大きく車群ネットワーク構成フェーズ、データ送受信フェーズの二つに区分される。
5. 車群ネットワーク構成フェーズでは車群ネットワークを構成し、データ送受信フェーズでの集中制御の環境を整える。
6. データ送受信フェーズではマスター車両を中心とした集中制御によるデータ通信を行う。
7. 全車両が GPS によってフレーム同期をとっており、定期的に車群ネットワークを再構成する。

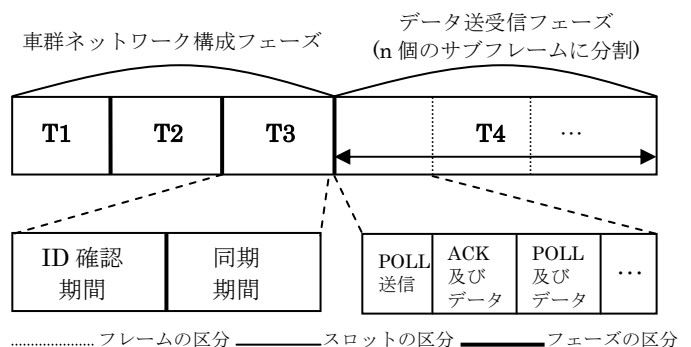


図 1 フレーム構成

3.2 フレーム構成

フレームは図 1 に示すように大きく車群ネットワーク構成フェーズとデータ送受信フェーズに区分される。さらに車群ネットワーク構成フェーズは T1、T2、T3 の三つの固定長のサブフレームから構成され、データ送受信フェーズは n 個の固定長のサブフレームから構成される。

以下に各フェーズの詳細について述べる。

3.2.1 車群ネットワーク構成フェーズ

このフェーズを通して車群ネットワークを構成し、続くデータ送受信フェーズにおける集中制御の環境を整えている。フェーズは以下の 3 つのサブフレームから構成される。

T1: 通信可能台数把握サブフレーム

本フレームでは各車両の通信範囲内の車両台数の把握を目的とする。フレーム全体はスロット化されており、ランダムに一つのスロットを選択し、そのスロット内で自身の車両情報 packets をブロードキャストする。車両情報 packets とは ID 及び位置情報 packets を示す。 packets を受信した車両は受信する度に packets 数をカウントし、T1 の終了時点で受信 packets 数を自身の通信可能台数として記録する。

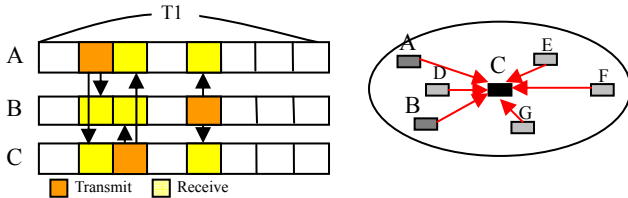


図2 T1 フレーム構造

図2にT1の動作例を示す。

1. 車両Cの通信範囲内にはA、B、D、E、F、Gの6台の車両が存在する。Cも含めた7台の車両はそれぞれランダムにT1のスロットの一つを選択し、そのスロット内でデータ送信を行う。
2. Cはそれぞれの車両から計6回 packets を受信する。
3. Cは自身の通信可能台数を6台と把握する。

T2：マスター車両決定サブフレーム

本フレームでは車群ネットワークの集中制御を行うマスター車両の決定を行うことを目的とする。各車両はCSMA/CA one way方式に従い、バックオフタイマが0になったとき自身の通信可能台数情報 packets をブロードキャストする。自身の通信可能台数が最も多いと判断した車両がマスター車両となるため、T2の終了時点までに自身の通信可能台数より多い数値、または同値を受信しないかぎり、その車両は自身をマスター車両と判断する。ただし、送信前に自身より多い、または同値の通信可能台数情報 packets を受信した車両はその時点でマスター車両になる権利を失うため、以降送信は行わない。

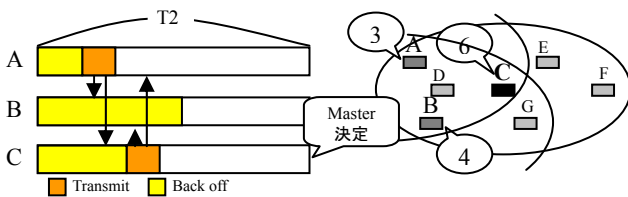


図3 T2 フレーム構造

図3にT2の動作例を示す。

1. A、B、Cの各車両はT1において通信可能台数をそれぞれ3台、4台、6台と把握している。
2. バックオフタイマをランダムに設定し、まずAが最初に送信を開始する。
3. Aからの通信可能台数情報 packets を受信したB、Cは自身の通信可能台数の方が多くと判断し、マスター車両になる権利をB、C共に失わないまま、続いてCが送信を開始する。
4. Cからの送信データを受信したA、Bは自身の通信可能台数の方が少ないと判断し、マスター車両になる

権利をA、B共に失う。また未送信状態であるBは以降送信は行わない。

5. T2が終了した時点でCは自身が保持する通信可能台数より多い値、または同値の情報を含む packets を受信しなかったためCは自身をマスター車両と判断する。

T3：車群ネットワーク構成サブフレーム

本フレームはフレーム内でさらにID確認期間と同期期間に区分される。フレーム全体はn個にスロット化されており、各期間は固定長である。

ID 確認期間

本期間ではマスター車両がT1で取得した車両情報 packets を通信範囲内の全ての車両に送信することを目的とする。各マスター車両はID確認期間のスロットをランダムに一つ選択し、そのスロット内で自身が保持する車両情報 packets をまとめてブロードキャストする。その際、複数のマスター車両から packets を受信した車両は自身がそれぞれのマスター車両の通信範囲に重複して存在する「重複車両」であると認識する。またあるマスター車両の送信 packets を別のマスター車両が直接受信する状況が発生した場合、受信マスター車両はスレーブ車両(車群ネットワーク内のマスター車両の従属車両)に変化する。この処理を行うことで同通信範囲内にマスター車両が複数台存在するのを回避する。ID確認期間が終了すると同期期間に移行する。

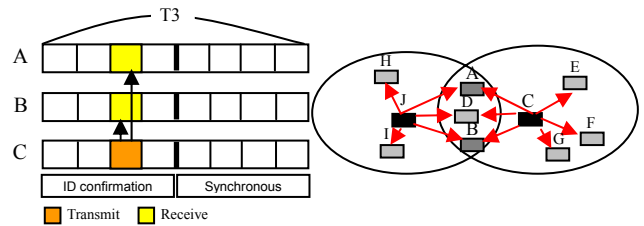


図4 T3ID 確認期間フレーム構造

図4にT3ID確認期間の動作例を示す。

1. マスター車両C及びJはID確認期間のスロットの一つを選択し、そのスロット内で自身の保持する車両情報をブロードキャストする。
2. 車両A、B、DはCとJからの packets をそれぞれ受信することで自身が重複車両であると判断する。

同期期間

本期間ではID確認期間で自身を重複車両と判断した車両がマスターにその旨を通知することを目的とする。各重複車両は同期期間のスロットをランダムに一つ選択し、そのスロット内で同期情報を含む packets をマスター車両に送信する。同期情報は車群ネットワーク同士同期をとるために必要な情報のことをいう。同期情報をもとに隣接した車群ネットワーク同士同期をとることで同時に通信を開始するのを回避する。重複車両が複数台存在する場合、先に送信を開始した車両の同期情報を優先する。またID確認期間でマスター車両から受信したID情報に自身が含まれていないと判断した車両は重複車両と同様に同期期間のスロットをランダムに一つ選択し、そのスロット内で自身のID情報を付加した参加要求 packets をマスター車両に送信する。

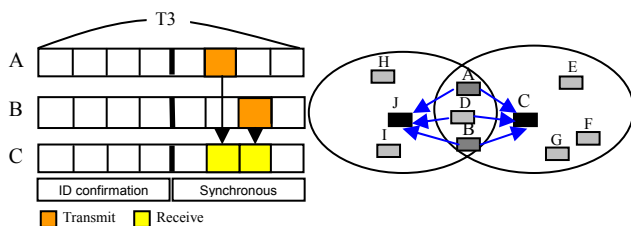


図5 T3同期期間フレーム構造

図5にT3同期期間の動作例を示す。

1. 重複車両 A、B、D は自身が重複車両であることを通知するため同期期間のスロットを一つ選択し、そのスロット内でマスター車両 C、J に同期情報を付加してデータを送信する。
2. C、Jは A、B、D の重複車両通知情報をそれぞれ受信し、自身の重複車両を把握する。
3. A、B、D の中で A が最も早く送信を開始しているため、C、J は A の同期情報をもとに隣接した車群ネットワークと同期をとる。

3.2.2 データ送受信フェーズ

データ送受信フェーズでデータ通信を行う。データ送受信フェーズは複数のサブフレームから構成され、サブフレーム内で各車群ネットワークではマスター車両がポーリングを行う。優先順位の高い車群ネットワークから順番にサブフレームにアクセスする。一度アクセスを行うとその後は周期的にアクセス可能となる。サブフレームのアクセス方法については次節で詳細に述べる。通信を行いたい目的の車両が車群ネットワーク内に存在しない場合、データを重複車両に送信し、隣接した車群ネットワークへの転送を依頼する。

3.3 車群ネットワーク

3.3.1 車群ネットワークの定義

本研究における車群ネットワークとは「マスター車両から1ホップで通信可能な車両で構成されるスター型ネットワーク」であると定義する。車群ネットワークを構成することで基地局の存在しない環境においてもマスター車両による集中制御を行い、信頼性の高い通信を提供することができる。車群ネットワークを構成する上での問題点として時間経過によるトポロジの変化や車群ネットワーク同士の重複が挙げられる。R-VGMP では定期的に車群ネットワークの再構成を行い、トポロジの変化の影響をできるだけ小さくする。車群ネットワーク同士の重複の問題解決法については以下で詳細に説明する。

3.3.2 車群ネットワークの優先順位

R-VGMP の車群ネットワーク構成法を用いる場合、密度の高い環境において構成時に車群ネットワーク同士の重複が発生する。重複したまま通信を開始すると重複領域に存在する車両へ送信するデータパケットが衝突を起こし、無事に受信できない可能性が高い。そのため隣接する車群ネットワーク同士同期をとる必要がある。このとき T3 の同期期間に重複車両が送信する同期情報を利用する。同期手順を以下に説明する。(付録参照)

1. 重複車両は同期情報として0または1をそれぞれのマスター車両に割り当てる。このときそれぞれのマ

スター車両を比較して通信可能台数が多い方のマスター車両に0、少ない方に1を割り当てる。

2. 重複した車群ネットワーク数が複数の場合、それぞれの重複車両からの同期情報の数値を加算し(ただし同車群ネットワーク内の車両からの数値の加算は一度のみ)、これを優先番号とし、重複した車群ネットワークが一つの場合、その重複車両からの同期情報の数値を優先番号とする。
3. 優先番号が0のマスター車両はデータ送受信フェーズの最初のサブフレームにアクセス可能であり、ポーリングを開始することができる。
4. 優先番号が0以外のマスター車両は通信は行わず、周りの通信を聞き、隣接した車群ネットワークからの通信を傍受する度、優先番号をデクリメントする。
5. 優先番号が0になったとき次サブフレームにアクセス可能である。
6. 一度サブフレームにアクセスしたマスター車両は $k+3n$ 番目のサブフレームが予約され、それぞれアクセス可能である。(k は最初にアクセスを行ったサブフレーム、n は0以上の整数を示す)

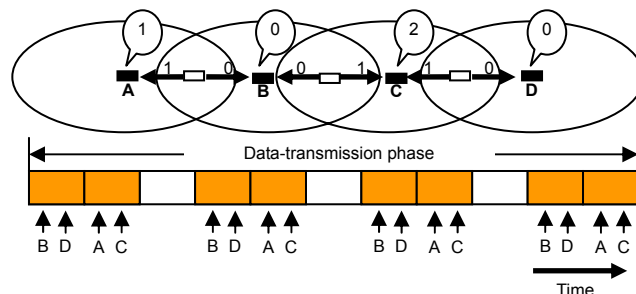


図6 車群ネットワークの同期方法

図6を例に同期方法を示す。

1. 各マスター車両の優先番号は A は 1、B は 0、C は 2、D は 0 である。
2. B 及び D が優先番号0のため最初のサブフレームにアクセスを行う。
3. A は B の車群ネットワークの重複車両の通信を傍受し、優先番号0に、C は B と D の重複車両の通信を傍受し、優先番号0になったため次サブフレームにアクセスを行っている。
4. A、B、C、D それぞれのマスター車両が $k+3n$ 番目のサブフレームの予約をとれている。

3.3.3 車群ネットワーク内データ通信

車群ネットワーク内における通信はマスター車両によるポーリングを行う。図7にその動作を示す。

また以下にその手順を示す。

1. マスター車両は保持している ID 情報をもとに poll を車群ネットワーク内の車両の一つに送信する。
2. poll を受信した車両に送信データが存在するならばマスター車両にデータを送信し、送信データが存在しない場合、ACK としてビーコンのみを返す。このとき送信データがユニキャストパケットの場合、目的の車両の ID 情報も付加して送信する。
3. マスター車両が受信したパケットがブロードキャストパケットの場合、車群ネットワーク内の車両にブ

ロードキャストする。ユニキャストパケットの場合、目的の車両の ID 情報がマスターの保持する ID 情報に存在するならばその車両に送信を行い、存在しないなら重複車両にデータを預け隣接する車群ネットワークに送る。このとき重複車両が存在しない場合、その旨を通知する ACK を送信車両に返す。データの有無にかかわらず、スロット内で同時に poll を次の車両に送信する。

4. 再び2の処理から繰り返す。

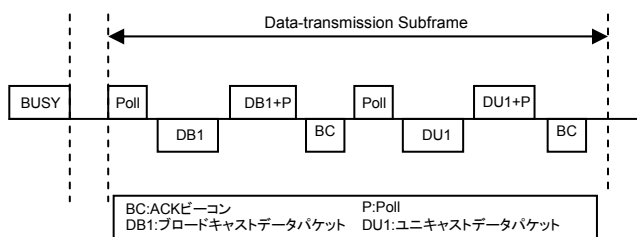


図7 車群ネットワーク内の動作

3.3.3 車群ネットワーク外データ通信

車群ネットワーク外における通信は重複車両を利用し、隣接した車群ネットワークへとデータを送信する。

以下にその手順を示す。

- (1) 送信データがブロードキャストパケットの場合
 1. マスター車両はブロードキャストパケットを受信すると車群ネットワーク内の全ての車両にデータを送信する。
 2. 隣接した車群ネットワークの通信が開始し、重複車両が poll を受信すると前サブフレームで受信したデータをブロードキャストパケットとしてマスター車両に送信する。
 3. 1、2を繰り返す。
- (2) 送信データがユニキャストパケットの場合
 1. マスター車両は自身の保持する ID 情報にユニキャストパケットの宛先 ID が存在しない場合、重複車両にデータを送信する。
 2. 隣接した車群ネットワークの通信が開始し、重複車両が poll を受信すると前サブフレームで受信したデータをユニキャストパケットとしてマスター車両に送信する。
 3. 目的の車両 ID がマスター車両の ID 情報に存在すれば送信する。存在しなければ1、2を繰り返す。

3.4 R-VGMP の定性的評価

各高信頼性 MAC プロトコル、本提案方式 R-VGMP、IEEE802.11DCF を加え、定性的評価を行う。結果を表2に示す。

R-VGMP はすべての通信を車車間通信によって行っているため通信可能エリアを制限されることはない。また車群ネットワーク構成フェーズにおける制御パケットはオーバーヘッドに含まれるが、データ送受信フェーズを十分に長くすることで1回の送信あたりのオーバーヘッドを低減することが可能である。通信遅延においても大きな遅延は生じないが、車群ネットワーク構成フェーズの間は送信が開始できないため低い車両密度でもある程度の遅延が生じる可能性

がある。車群ネットワーク構成後のデータ送受信フェーズではデータ衝突を抑えた通信が可能であり、高い信頼性を確保できる。R-VGMP の欠点はそのプロトコルの複雑性にある。全体を通して slotted-ALOHA、CSMA/CA、ポーリング方式など様々な方式を1フレーム間で使用するためプロトコルが複雑になり、実用化を想定した場合、高コストが懸念される。

表2 各方式の定性的評価

	DRVC	RR-ALOHA	AFR-CS	802.11 DCF	R-VGMP
通信方式	RV&VV	VV	VV	VV	VV
制御方式	CC	DC	DC	DC	DC&CC
通信可能エリア	×	○	○	○	○
オーバーヘッド	○	△	×	○	○
通信遅延	○	×	△	△	△
信頼性	○	○	○	×	○
複雑性	○	○	○	○	×

RV:Road-to-Vehicle VV:Vehicle-to-Vehicle
CC:Centralized-Control DC:Distributed-Control

4. 性能評価

表3の条件をもとに計算機シミュレーションにより、性能評価を行う。車群ネットワークを無事構成することができれば、データ送受信フェーズにおいて衝突を抑えた通信が可能なることから車群ネットワーク構成フェーズの各フレーム T1、T2、T3 について評価を行う。通信車両の制御パケットの到達率が高くて通信に参加していない車両が多く存在していたり、送信を開始するまでの遅延が大きいと信頼性に影響を与える可能性がある。そのため通信可能台数率及び通信遅延についてもならびに評価を行う。なお、シミュレーションにおける各車両は移動は考慮せず、通信は全て固定の状態で行われるものとする。

表3 シミュレーション条件

車両配置	格子配置	車線数	3
データ発生	平均λ(packet/台*sec)のポアソン分布	通信半径	100(m)
データパケットサイズ	64(byte)	道路長	2(km)
通信速度	2(Mbps)	道路幅	5(m)
スロット長	0.4(ms)	フレーム長	200(ms)

4.1 T1 評価

図8は車両密度及び slot 数を変化させたときの T1 における制御パケットの到達率を示したものである。車両密度の増加と共に衝突も増加するため、到達率は下がっていることがわかる。またスロット数の増加と共に到達率も高くなり、スロット数の影響も大きいことを示している。そのため高い到達率を保つためには十分なスロット数を用意する必要があるといえる。なお T1 で送信失敗した車両は T3 において再送信可能であるため T1 の制御パケットの到達率は T3 の到達率にも関係する。

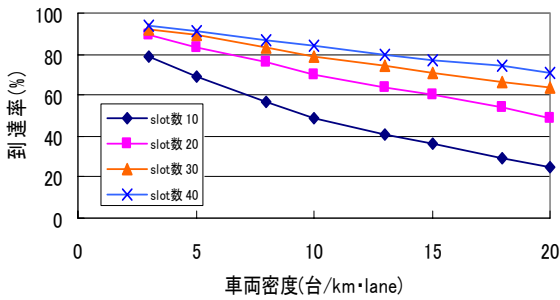


図8 T1における制御パケットの到達率

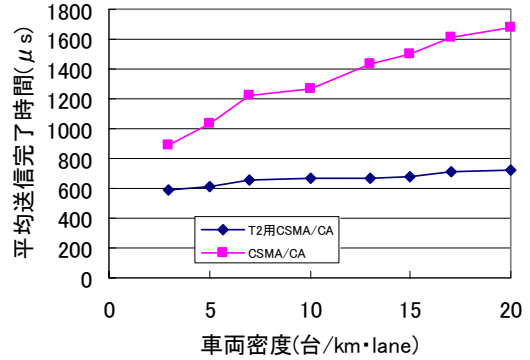


図10 T2フレーム長

4.2 T2 評価

図9、図10は既存のプロトコルCSMA/CA oneway方式とT2用に改良を加えたCSMA/CA方式の比較を行った結果を示している。T2用CSMA/CAとはR-VGMPの仕様に合わせ、条件を加えたプロトコルのことを示す。

図9はT2における制御パケットの到達率を示している。T2用CSMA/CAの方が優れた結果を示しており、車両密度の増加に伴う到達率の減少も少なく全体的に高い到達率を示している。この原因は無駄な送信を控えることで衝突が減少したためである。

図10は全車両が送信完了したときにかかる平均時間についてT2用CSMA/CAとCSMA/CAとの比較を行っている。データ送受信フェーズに移行するまでデータ通信を行えないためT1、T2、T3のフレーム長を可能な限り短くする必要がある。そこでT2の最適なフレーム長を求めるため平均送信完了時間の評価を行った。T2用CSMA/CAのフレーム長の方が優れた結果を示していることがわかる。特に通信半径100mのフレーム長は既存のCSMA/CA oneway方式に比べ、半分程度の長さには抑えることに成功している。またT2用CSMA/CAのフレーム長は車両密度や通信半径にかかわらずほぼ一定の数値を保っている。これは本提案方式において無駄な送信を抑えることでCSMA/CAの特徴である周りの通信をキャリアセンスすることによる通信延期機能の影響をほとんど受けないためである。T2フレーム長を短くすることでより早くデータ通信を開始することができる。

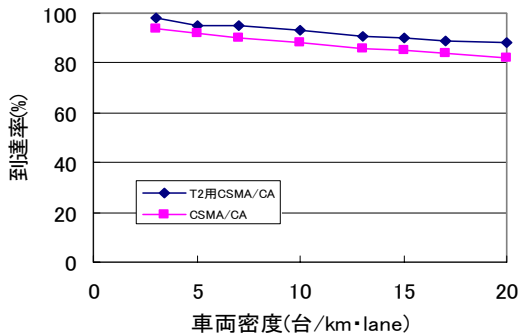


図9 T2制御パケット到達率

4.3 T3 評価

図11はID確認期間における制御パケットの到達率を示す。車両密度やスロット数にかかわらず通信半径50m、100m共にほぼ一定の高い到達率を保っている。この理由はマスター車両は同通信範囲内に複数台存在することがないことから衝突がほとんど発生しないためである。またT2における衝突発生などの理由により誤って同通信範囲内に複数台マスター車両が存在していたとしてもマスター車両からのデータを直接受信したマスター車両は自動的にスレーブ車両と変化する。この機能もID確認期間の到達率を高める重要な要素となっている。

図12は同期期間における制御パケットの到達率を示す。基本的な動作はT1と同様なのでT1と似た結果を示していることがわかる。T1より全体的に優れた結果を示しているのは、T3では重複車両及びT1で送信が失敗した車両のみ通信を行うため同スロットを各車両が偶発的に選択する可能性が減少し、衝突が減少するためである。T1と同様にスロット数の減少に比例して到達率も減少している。そのためT3においても十分なスロット数を用意する必要があるといえる。しかしスロット数を多く用意することで全体的に高い到達率を保つことができる。ただし、その場合、遅延が増加してしまう。

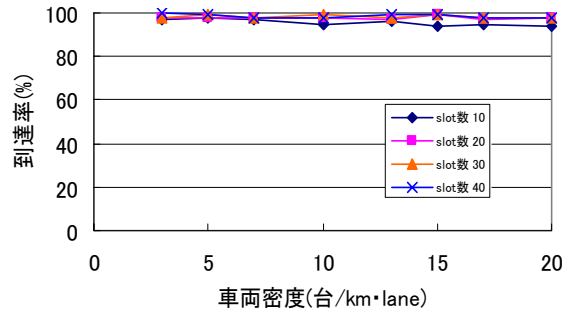


図11 T3ID確認期間制御パケット到達率

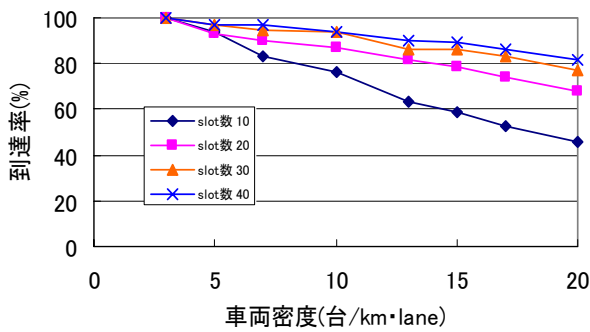


図 12 T3 同期期間制御パケット到達率

4.4 通信可能台数率

通信可能台数率とはマスター車両を中心とする車群ネットワーク内に含まれる車両の割合である。R-VGMP では高信頼性を実現する他に、できるだけ多くの車両を車群ネットワーク内に含み、孤立する車両を減らすのを目的としている。T1、T2 において通信可能台数の多い車両をマスター車両に決定することで上記の目的の達成を考慮しているが、T1 での衝突発生、また T3 におけるマスター車両のスレーブ車両への変換といった悪状況によって孤立する車両の増加も考えられる。そこで通信に参加している車両の割合を評価した。その結果を図 13 に示す。

車両密度の高さにかかわらずほぼ一定に高い通信可能台数率を示し、ほとんどの車両が車群ネットワークに含まれ、通信に参加していることがわかる。

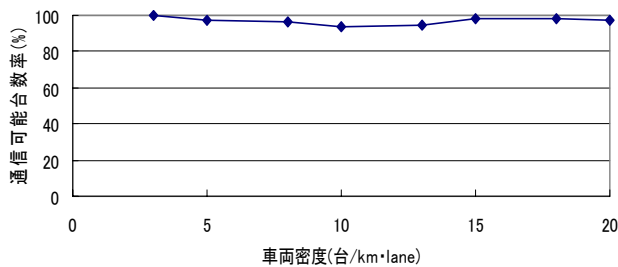


図 13 通信可能台数率

4.5 通信遅延

λ の値を固定にし、平均 100ms に一回の割合でデータを発生させ、発生してからデータを送信完了するまでの時間を通信遅延として図 14 に結果を示す。送信を完了すると目的の車両にデータが到達するものと仮定する。フレーム長は 200ms とし、フレームは 100 回繰り返され計 20s における通信遅延の平均を求める。

車両密度の増加にしたがって通信遅延も増加傾向にある。この理由は車両密度が増加するにつれ、車群ネットワークの数も増え、重複した車群ネットワークは同期をとるためすべてのフレームに常にアクセスできないためである。また車群ネットワーク内においても車両密度が増加するとポーリングを行う車両数も増え、送信権がまわってくるまでの遅延が増加するのも理由になっている。また通信遅延は

車両密度の増加と共に 100ms から 120ms の間に収束している。これは車群ネットワーク同士の同期による遅延の増加がポーリングによる遅延の増加に比べて車両密度が高くなるほど影響が強くなることを示している。通信遅延を全体的に 100ms 前後に抑えることができたため車車間通信に適した値であるといえる。しかし車群ネットワーク構成フェーズの間に発生したデータはデータ送受信フェーズに移行するまで送信を開始できないため、低い車両密度にもかかわらずある程度の通信遅延は発生してしまう。パケットサイズが大きくなると 1 スロット長を長くとる必要があるため、さらに遅延が増加する可能性がある。

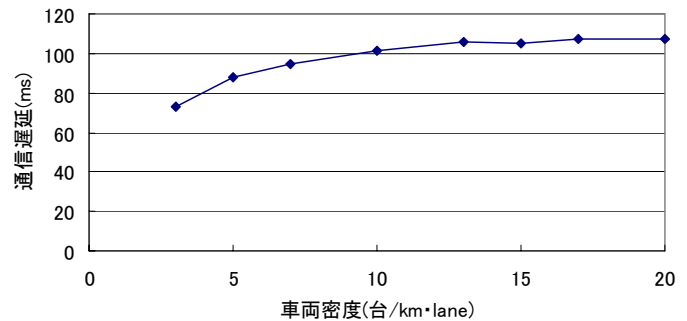


図 14 通信遅延

5. おわりに

本研究では各車両が自律的に車群ネットワークを構成し、集中制御を行う高信頼性 MAC プロトコルである R-VGMP を提案し、性能評価を行った。高信頼性の獲得を目的とした他の研究とは異なり、本研究では特に路側機に依存することなく、車車間通信のみで高信頼性の獲得を行うことを目的とする。R-VGMP では車群ネットワークと呼ばれる車両グループを構成し、マスター車両を中心にした TDMA 集中制御を行う。そして車両間の通信の秩序を保ち、通信の衝突を避けて高信頼性を実現する。

性能評価によって T2、T3 はそれぞれ高い到達率で通信が可能であり、T1 の到達率の低い状況においては T3 で補えることが示された。またほとんどの車両が通信に参加しており、車群ネットワークに含まれない孤立する車両はほとんど存在しないことを明らかにした。通信遅延については高い車両密度においても車車間通信に十分適している通信遅延に抑えられることを示した。しかしデータ送受信フェーズに移行するまで送信できないため、低い密度でもある程度の遅延が生じる問題がある。全体的にスロット数を多く用意することで車両密度や通信半径にかかわらず高い到達率で車群ネットワークを構成できることが示され、データ送受信フェーズでの通信の高信頼性を約束することができた。

今後の課題としては通信遅延の低減化及びさらに細かい状況を想定した上での車群ネットワーク同士の同期方法の改善について検討する必要がある。またデータ送受信フェーズにおけるデータ発生率の変化による到達率についても性能評価を行う必要がある。

参考文献

- [1] 警察庁, 通商産業省, 運輸省, 郵政省, 建設省: 高度道路交通システム (ITS) に係るシステムアーキテクチャ, VERTIS (1999).
- [2] JH 日本道路公団: <http://www.jhnet.go.jp/>

- [3] 財団法人道路交通情報通信システムセンターVICS ホームページ : <http://www.vics.or.jp>
- [4] 電波産業会 (ARIB), "狭域通信 (DSRC) システム, " ARIB STD-T75 1.0 版 (2001).
- [5] S.S. Lam, "Packet broadcast networks - a performance analysis of the R-ALOHA protocol," IEEE Trans. Comput., vol. C-29, no. 7, pp. 596-603, 1980
- [6] F.Borgonovo, A.Capone, M.Cesana, and L.Fratta. "ADHOC MAC: A new, flexible and reliable MAC architecture for ad-hoc networks." Proc. of IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 03), 2003.
- [7] 台蔵浩之, 岩橋努, 渡辺尚, "車車間通信と路車間通信を統合する MAC プロトコルの評価について", 電子情報通信学会研究会報告, 高度道路交通システム(ITS)研究会, 信学技報, Vol.103, ITS2003-113, pp.27--33
- [8] Hioryuki Daizo, Tsutomu Iwahashi, Masaki Bandai, Takashi Watanabe "Media Access Protocol for Integrated Inter-Vehicle and Roadside Communications", 11th World Congress on ITS, Nagoya, Aichi2004, Japan, CD-ROM October 2004.
- [9] Qing Xu, Tony Mak, Jeff Ko, and Raja Sengupta, "MAC Protocol Design for Vehicle Safety Communications in Dedicated Short Range Communications Spectrum", Proc. of IEEE Intelligent Transportation Systems Society(ITSC04), 2004.

付録

隣接する車群ネットワークの同期アルゴリズム

Definition :

V : A set of all vehicles

G_i : Vehicle group i

M_i : The master vehicle of G_i

Algorithm

Step 1

$D_{ij} = \{v \mid v \in G_i \wedge v \in G_j \wedge i \neq j\}$

$sync(M_i, v_k) \leftarrow 0$ if $v_k \in D_{ij} \wedge |G_i| \geq |G_j|$

$sync(M_j, v_k) \leftarrow 1$ if $v_k \in D_{ij} \wedge |G_i| < |G_j|$

Step 2

$priority(M_i) \leftarrow sync(M_i, v_m) + sync(M_i, v_n)$

where $\exists v_m \in D_{ij} \wedge \exists v_n \in D_{ik} \wedge j \neq k$

Step 3

M_i such that $priority(M_i) = 0$ accesses the current subframe

and reserves all consecutive subframes

which are with 3 subframes interval in the data transmission phase.

M_i breaks the algorithm.

Step 4

M_i such that $priority(M_i) \neq 0$ listens to the current subframe.

When listening to the subframe from $\exists v \in D_{ij}$,

$priority(M_i) \leftarrow priority(M_i) - 1$.

Step 5

Go to the next subframe and iterate step 3 and step 4.