

安全運転支援のための車車間通信中継方式の検討

関 馨¹ 浜口 雅春² 前田 忠彦²

1 財団法人 日本自動車研究所 ITS センター
〒105-0012 港区芝大門 1-1-30 日本自動車会館 12F (芝 NBF タワー)
TEL:03-5733-7925 FAX:03-5473-0655 E-mail: kseki@jari.or.jp

2 沖電気工業株式会社 システムソリューションカンパニー(SSC)無線技術研究開発部
〒239-0847 神奈川県横須賀市 光の丘 3-4
TEL: 0468-47-5141 FAX: 0468-47-5145
Email: hamaguchi790@oki.com, maeda097@oki.com

あらまし

日本自動車研究所 (JARI) はこれまで安全運転支援のための車車間通信プロトコルをフィールド実験やシミュレーションで検証してきた。2007 年度には 5.8GHz 帯を用いて Relay Control Protocol(RCP)中継方式の動作確認を行い、この方式が、車両の増加による通信の輻輳を抑えることを示した。さらに、アプリケーションの要求に沿って、車車間通信によって得られた位置情報を中継に利用することで、RCP 方式と同等のパケット輻輳抑止性能が得られることをシミュレーションで示した。これにより能動的に位置情報を利用した中継方式が安全運転支援にも適用可能であることが示された。

A Study on Relay Function of Inter-vehicle Communication for Safe Drive Support

Kaoru Seki¹, Masaharu Hamaguchi², Maeda Tadahiko²

1 Japan Automobile Research Institute (JARI)
1-1-30 Shibadaimon, Minato-ku, Tokyo 105-0012, Japan
TEL: +81-3-5733-7925 FAX: +81-3-5473-0655
Email: kseki@jari.or.jp

2 Wireless Technology Research and Development Division
SSC (System Solution Company), Oki Electric Industry Co., Ltd.
3-4 Hikari-no-oka, Yokosuka, Kanagawa, 239-0847, Japan
TEL: +81-468-47-5141 FAX: +81-468-47-5145
Email: hamaguchi790@oki.com

Outline

JARI has verified functions of Inter-vehicle communication (IVC) protocols for safe drive support through field experiments and simulations. In the FY 2007, we studied Relay Control Protocol method using 5.8GHz band, and found that the relay method would be effective for suppression of redundant packets caused by increasing vehicles. Moreover we indicated by the computer simulation that the same suppression effect might be expected in the relay using vehicle position information. as the Relay Control Protocol. As a conclusion, we could show the active relay method using vehicle position information might be applicable to safe drive support.

1 はじめに

安全運転のための車車間通信については日、欧、米の各地域で実現に向けた検討が進められている。日本においては、現在 IT 新改革戦略のもとで「世界一安全な道路交通社会」を目指すイニシアティブが政府の主導で進められ、車車間通信も含む路車協調システムの実用化に向けた動きが民間を含めて活発に

行われている。こうした中、07年5月にはITS情報通信システム推進会議の「車々間通信システム専門委員会」がASV推進検討委員会と連携しながら「5.8GHzを用いた車々間通信システムの実験用ガイドライン（1.0版）」（以下「実験用ガイドライン」）を策定し、今後の車々間通信実験システム構築のためのリファレンスとなるものができ上がっている。平成19年度にはこのガイドラインに則った通信評価実験が行われているが、その結果については別途報告されるものと期待するところである。

JARI/ITSセンターはこれまでも「車々間通信システム専門委員会」と協力しながら5.8GHz帯の車々間通信の電波伝搬実験や見通し不良域における中継実験などを実施してきた。こうした実験の成果は「実験用ガイドライン」策定に役立てられている。

車々間通信における中継機能は、情報提供範囲の拡大あるいは情報の信頼性向上のために有効な手段と考えられ、安全運転支援の分野においても利用が検討されている。ただし、ASVなどが対象としている緊急的な安全情報提供のための通信では、不特定者（車両）への緊急的な情報提供が必要であり、従来から検討されているアドホックネットワークにおけるマルチホップ通信とは異なる新たなアプローチが必要と考えられる。

JARI/ITSセンターは「ITSの規格化事業」を経済産業省から委託され、その中で車々間通信の規格化を支援する事業を進めてきた。H18年度に「実験用ガイドライン」に載せられている安全運転に適した中継方式と考えられるRCP方式について、その動作検証をフィールドで行った。ただし、その動作の詳細な検討については未実施であり、今年度の課題となっていた。一方、RCPは主として通信環境の変化が契機となって中継を開始する受動的な方式で、アプリケーションの必要性に応じて自車の判断で中継を行わせるものではない。自車の位置情報、及び情報交換の結果把握している他車の位置情報を利用することにより能動的な中継が実施できれば、自車の情報を見通し不良域等に展開するといったことが可能となる。こうした位置を利用した能動的な中継方式は、類似のものがISO/TC204/WG16でも検討が進められており、安全運転支援に適するかどうか見通しを立てておくことも必要と考えられる。

こうした背景から、H19年度の規格化事業としてJARI/ITSセンターとしては

- ①RCP中継方式のフィールドでの動作検証
- ②位置情報を利用した中継方式の有効性シミュレーション

の2テーマのもとで研究を実施した。本稿はこれらの結果を紹介するものである。

2 RCP中継方式の動作検証

2.1 RCP方式の概要

RCP(Relay Control Protocol)の詳細機能については参考文献1)、2)によるとして、ここではその機能を簡単にまとめておく。なお、通信に参加する車両は固有のIDを持ち、それらを送信、あるいは中継するパケットに付加できることとする。

- ①パケット中継を開始する、あるいは開始を要求できること
- ②重複したパケット中継を検出できること
- ③パケット中継の停止する、あるいは停止を要求できること

以上の機能により、新たに出会った車両のパケットは無条件に中継する、直接通信が可能となった時点で中継を中止する、直接通信が途切れた場合は周囲に当該車両からのパケット中継を要求する、周囲の車両が同じ送信元からのパケット中継を始めた場合は、それを検出し中継を停止する、などが可能となる。

2.2 実証実験における観測データ

H18年度の実験は、JARIつくば研究所構内にて車両を4台用意し、見通し内実験環境と見通し外環境で行った。この環境でRCP方式が不要なホッピング(中継)の抑止をどの程度行っているかを静止状態、及び移動状態で確認した。

H19年度はプロトコル解析用の情報を含めたログ取得可能な機器構成で実証実験を実施し、動作を評価することとした。主なログデータは、車速パルス、中継元ID1~3(自車両が中継している車両のIDを送信データの一部として送信し、受信ログに記録)、パケットホップ数、受信フローホップ数、受信率、中継要求者IDである。

2.3 実験条件

見通し外環境で4台の車両(A~D)を使用し、RCP方式の中継機能の評価を実施する。比較のため、単純中継方式(規定回数以内の条件で受信パケットを全て中継)のデータも取得する。

- ・車両A：非優先道路側の車両を想定。
- ・車両B：優先道路側の車両を想定。
- ・車両C、D：中継車両。単純中継の場合は、自車両のデータ送信の他に中継を実施。RCP方式中継の場合は、その機能に基づいた中継を実施。

車両Aと車両Cは実験中停止しており、見通し環境にある。

車両Bと車両Dは実験中車間を一定に保ちながら、見通し環境で走行する。

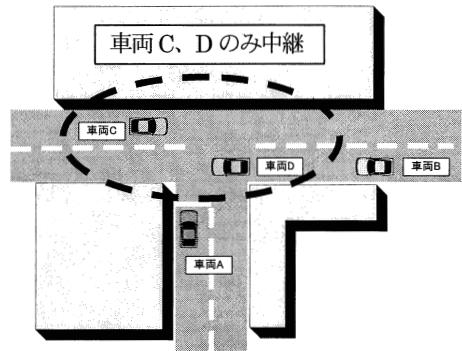


図1 車両配置イメージ

2.4 実験結果

(1) トラフィック量

単純中継方式、及び、RCP方式でのトラフィック量の代表例を図2、3に示す。両実験中の受信トラフィック量は下記のように、1車両辺りの送信パケット数で正規化したものである。

正規化受信量=(100msec毎に10回送信する間(1sec)に受信したパケット数)/10

上記数値は送信タイミング毎(100msec)の移動平均で求めた。

なお、横軸はパケットシーケンス番号であり、従って、車両毎に実際の時刻は厳密には同期していない。

単純中継方式では、パケットシーケンス番号400~1,000で大きなトラフィックが発生している。これは、車両B、Dが交差点にかかり、見通し環境になったときに、最大の中継発生したためと考えられる。

一方、RCP方式では、車両、時間帯に応じ、トラフィック量が、2、3、4、5といった値に抑えられていることが見て取れる。これは、それぞれの時間帯で、効果的に不要な中継が抑止されていることを意味すると考えられる。

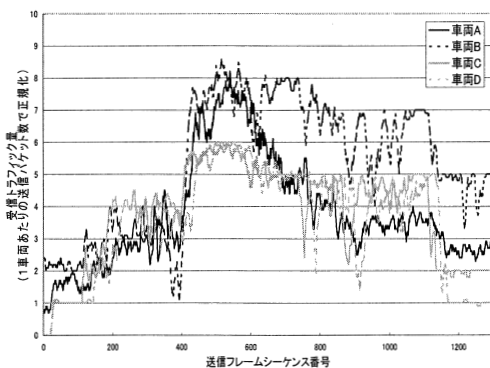


図2 単純中継方式におけるトラフィック実測値

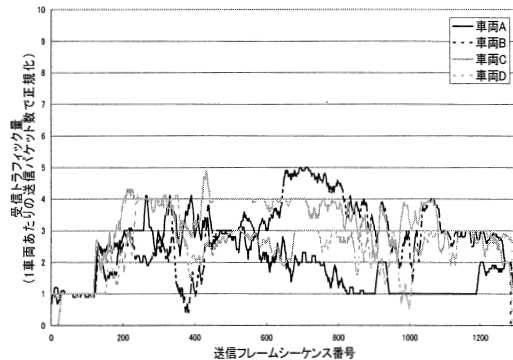


図3 RCP方式における通信トラフィック実測値

(2) 中継動作

更に、RCP方式においてどの程度の中継抑止が効いているか確認するため、RCP方式のデータで、中継したパケット数(RCP中継数)と受信したが中継しなかったパケット数(抑止中継数)を図4に示した(単純中継方式では受信した全てのパケットが中継される)。

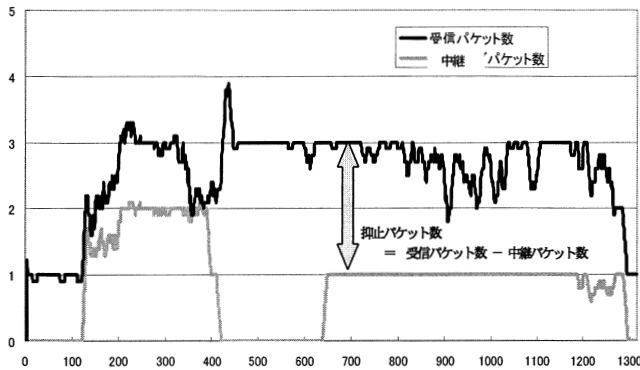


図4 RCP方式での車両Cの中継動作

本年度の実験では、RCP方式は単純中継方式に比べ、トラフィックが抑制されていることが再確認できた。更に、中継状態を示す情報を含むログを分析することにより、例外はあるものの、直接通信の成否が変わるタイミングで、適切に不要な中継が抑止されていることが確認できた。その一方で、必要な中継が止まらなかったり、中継が止まらなくなったりする事象も発見された。また、伝搬環境がプロトコル

動作に大きな影響を与えていることが観察された。

これらを踏まえ、更に詳細にRCP方式を検証するためには、コマンドの詳細なログ取得が必要であり、更にその分析を容易にする環境設定も重要である。更に、フェールセーフ動作を含め、実際に検証すべき動作を拡大しながら、アプリケーション実装時の実動環境に近い条件でのプロトコルの検証とプロトコルの改善を同時に進めてゆくことが重要と考えられる。

3 位置情報を利用した中継方式

3.1 位置利用方式について

自車が保有している位置情報を使った中継方式を想定して、そのトラフィック抑制効果をコンピュータシミュレーションにより検証する。中継方式の具体的なプロトコルは構築していないが、何らかのアプリケーションからの指示によって中継地域または中継車両を指定したパケットを発信する。こうした中継方式により、情報を展開したい地域を当該車両が能動的に指定することができると考えられ、中継の利用範囲が拡大することが期待される。

位置情報を利用した中継動作については以下のシミュレーション条件の項で述べる。

3.2 シミュレーションの条件

本稿では交差点での見通し不良の領域での情報交換シミュレーションについて述べる。まず、位置情報を利用した中継機能は以下のようにまとめられる。

① 全ての車両が自車両及び情報を交換した他車両の位置情報を把握

シミュレーションにおいて他車両からのパケット受信した後、その受信パケットに含まれる位置情報は、次の送信タイミングに利用できるものとする。

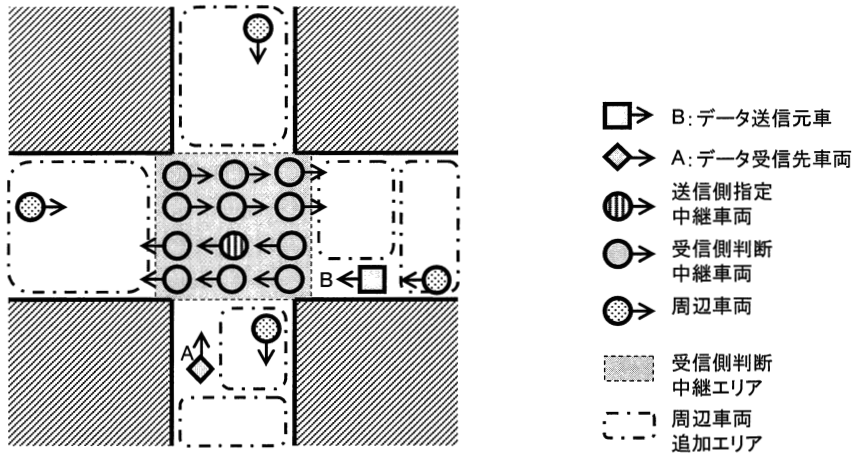
② アプリケーション指示により、情報配信範囲の指定が可能

情報配信範囲は、送信車両からみて情報を展開させたいエリアである。本検証では、交差点のアプリケーションを想定し、交差点周囲の見通し不良域を考えている。

③ 中継車両または地域の指定が可能

情報配信範囲に情報を届けさせる場合、必要であれば中継車両、または中継地域を指定することが可能（地域を指定した場合は地域内の車両がみずから地域内にいることを判断し中継を行う。）

シミュレーション実施時の車両配置モデルを図5に示す。データ送信元車両、データ受信先車両、中継車両の合計14台を基本車両として配置し、中継を実施しない周辺車両を追加する。



- ・データ受信先車両は、1回の中継で届く距離に配置
- ・送信側指定中継の場合、交差点内の1台を中継車両として指定
- ・受信側判断中継の場合、交差点内に位置する車両が中継を実施
但し、1台ではなく、その付近に存在する車両(1車線あたり3台)が全て中継するものと想定

図5 交差点における中継シミュレーション車両配置基本モデル

3.3 車両台数と中継実施条件

システム収容台数はRC-005にて目標としている80~90台程度を想定して、最大台数を150台まで実施する。

送信元からの指定範囲に存在する車両が中継を実施する。複数車両が存在する場合は、その範囲の全員が中継する場合(受信側判断)と1台のみ中継する場合(送信側指定)を実施する。

システム収容台数性能を、コンピュータシミュレーションにより評価する。表1のシミュレーション条件により、通信台数に対する送信元車両(以下、車両B)から受信先車両(以下、車両A)への通信品質(パケット到達率)のシミュレーション評価を行い、通信トラフィックの増加が通信品質に与える影響を検証する。

表1 シミュレーション条件

項目	条件
伝送速度	4.096 Mbps
パケットサイズ	100byte
データ更新周期	100 msec
基本車両台数	通常車両: 2台 中継車両: 12台(送信側指定の場合1台、11台は通常車両)
周辺車両台数 (全て通常車両)	0, 5, 10, 30, 50, 100, 150台
通信品質測定対象	車両B(送信元車両)から車両A(受信先車両)へ送信されるパケットのエラーレート
各車両の送信パケット数	1e+4パケット送信を10回実施

シミュレーションは、自車両データに関するパケットのみを送信する「通常車両」と、自車両データに関するパケット送信に加え、他車両から受信したパケットを中継する「中継車両」で構成されるものとし、上に示した車両配置条件にて実施する。

3.4 評価パラメータ

(1) パケットエラー率 (PER)

本シミュレーションでは、PERに関して評価を行う。PERの定義を以下に示す。

$$[\text{パケットエラー率 (PER)}] = 1 - [\text{受信車両のパケット受信成功回数}] / [\text{送信車両のパケット生成回数}]$$

(2) 中継機能

本シミュレーションにおける中継の機能を以下に説明する。中継実施の判断は以下の3パターンとする。

①送信側指定による中継

データ送信元が自分の位置と周辺車両の位置に基づいて特定の車両に中継動作を指示する方式。定期的な送信されてくる周辺車両の位置を把握し、自車の最遠端の車両に中継を実施させることがエリア拡大の観点からは理想的となる。車両同士の位置関係がある程度継続する単路等の環境での適用が容易と考えられる。RCP方式に近い結果が得られると予想される。

②受信側判断による中継

データ受信車両が、そのデータの送信元の指示と自車の位置から判断して中継を実施する方式。受信側判断の場合は、中継する車両が1台とは限らないものとする。交差点等、中継車両の位置が重要となる環境での適用が効果的と考えられる。

③全車両が中継を実施

データ受信車両全てが中継する方式。実用的ではないが、比較対象として最大のトラフィックが発生する方式として検証する。昨年度実施した単純中継方式に該当する。

本シミュレーションでは通信エリアの想定を含め、中継回数は1回とした。位置情報を利用する中継の場合、レイヤ3以上にて位置情報管理を実施し、判定結果を下位レイヤ(例えばレイヤ2)に伝える仕組みが考えられる。周囲車両との位置関係を使用する場合は、受信データによる周辺車両のテーブルを作成し管理する必要があるが、これら位置情報を利用する際に発生する遅延時間は今回のシミュレーションには加えないものとした。

3.5 シミュレーション結果

(1) パケット発生、PER 特性

図6に、車両台数-発生パケット数特性、図7に交差点モデルにおける車両台数-PER(車両B→車両A間)特性を示す。但し、PERのシミュレーション結果が $PER \leq 1E-4$ のときは $PER=1E-4$ としてプロットしている。

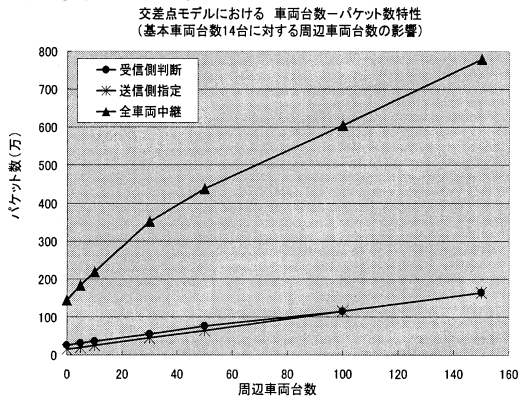


図6 周辺車両台数-発生パケット数特性

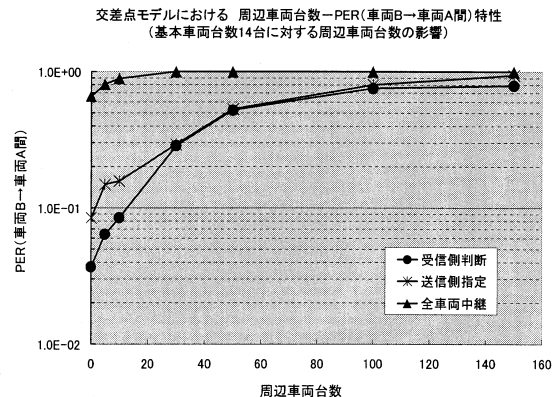


図7 周辺車両台数-車両B→車両A間 PER 特性

(2) シミュレーション結果の解析

① トラフィック量

当然予想されることであるが、図6の車両台数-パケット数特性より、位置情報を利用した中継(受信側判断、送信側指定)は、全車両中継と比較してトラフィック量削減に大きな効果があることがわかる。

受信側判断と送信側指定を比較すると、中継車両数は12:1であるため、中継により発生するパケット数は、受信側判断が12倍となるが、図6より周辺車両が増加して全体のパケット数が中継パケット数

に比べて極めて大きくなっていくと、その差が減少する。

② パケットエラーレート

図7における周辺車両台数一車両 B→車両 A 間 PER 特性より、位置情報を利用した中継（受信側判断、送信側指定）は、全車両中継と比較して PER においても改善効果があることがわかる。周辺車両 10 台（総車両数 24 台）の時に比較すると、位置情報を利用した中継（受信側判断、送信側指定）は共に PER=1.0E-1 程度であるが、全車両中継は PER=8.0E-1 程度となっている。これは発生パケット数削減の効果が大きく影響している。

また中継方式で比較すると、PER が 2.0E-1（パケット到達率 80%）より劣化する周辺車両台数を見ると、送信側指定中継の場合、周辺車両が 5~10 台の間となるが、受信側判断は 10~20 台となった。本来なら中継パケットの発生が少ない送信側指定が通信品質面ではより良い結果となることが想定されるが、隠れ端末によるパケット衝突が発生する状況下では、帯域に十分余裕がある周辺車両台数 30 台以下の場合、受信側判断は中継する車両数が多い事が結果にあらわれたと考えられる。

(3) H18 年度 RCP シミュレーションとの比較分析

H18 年度に実施した RCP 方式と送信側指定中継のシミュレーション結果の比較を図8に示す。このグラフの周辺車両台数は、車両 A、車両 B、中継車両を含めたシミュレーションに係わる全ての車両の台数であり、昨年度と今年度のシミュレーションの横軸の定義を合わせたものである。結果を見ると、車両 60 台以下の場合、送信側指定中継の方が通信品質は若干良い傾向にあるが、全体的に非常に近い傾向を示している。これは、RCP 方式は安定状態になると、中継車両が 1 台に収束するためと考えられる。

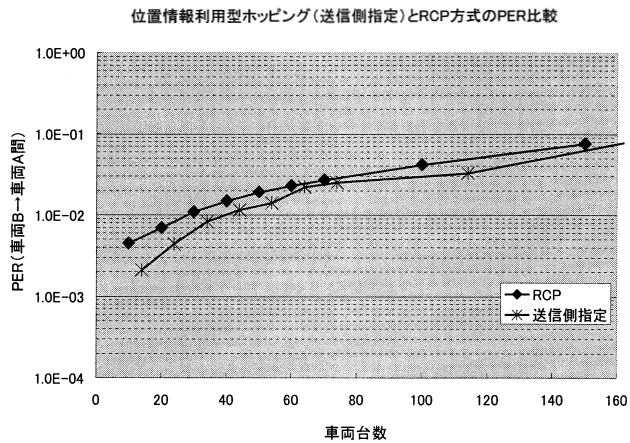


図8 位置情報利用型中継（送信側指定）と RCP 方式の PER 比較

また、昨年度は車両 A、B 以外全て見通し内環境に配置したが、今年度は見通し外環境にも周辺車両を配置したため、隠れ端末の発生状況含め、シミュレーション条件に差が発生しているものと想定される。

3.6 シミュレーション評価まとめ

今年度は、H18 年度に実施したシミュレーションを拡張して、位置情報を用いた中継の検証を実施した。以下に結果をまとめる。

(1) 通信トラフィック量の検証（図6参照）

- ・全車両中継と比較し、位置情報を利用した中継を適用した場合、通信トラフィックは大きく削減できる可能性がある。送信側指定中継でみると、周辺車両台数が 50 台（総車両台数 64 台）の場合、通信トラフィック量は全車両中継に比べて約 1/7 に削減できる結果となった。
- ・受信側判断中継に比べて送信側指定中継は通信トラフィック量をより削減できている。これは送信側指定により中継車両を 1 台に限定できると想定したためである。

(2) PER の検証（図7参照）

- ・全車両中継と比較し、位置情報を利用した中継を適用した場合、通信品質は改善できる可能性がある。
- ・周辺車両台数が 5~20 台と少ない場合、受信側判断中継の方が送信側指定中継より通信品質は良い傾向が見られる。本来なら中継パケットの発生が少ない送信側指定がより良い結果となることが想定されるが、隠れ端末によるパケット衝突が発生する状況下では、帯域に十分余裕がある周辺車両台数 30 台以下の場合、受信側判断は中継する車両数が多い事が良い結果にあらわれたと考えられ

る。

- ・RCP 方式が理想的に動作する場合、送信側指定と性能的に極めて近い結果となっている。車両 60 台以下の場合、送信側指定中継の方が通信品質は若干良い傾向にあるが、全体的に非常に近い傾向を示している。これは、RCP 方式は安定状態になると、中継車両が 1 台に収束するためと考えられる。

H18 年度から引き続き、中継に関する各種検証を実施し、中継が及ぼす通信トラフィック量、通信品質への影響の解析を進めることができた。今年度は位置情報を利用した中継の可能性を検証したが、その有効性を定量的に把握できた。

4 まとめ

緊急的な安全運転支援のための車車間通信の特徴としては、1)通信における遅れが小さい、2)通信相手が特定できない 3)通信範囲が狭い (300m 程度) などが挙げられる。このことから、なるべく中継などは行わず車同士の直接通信で互いの存在や運転意思の交換を行うのが望ましい。しかし、道路交通の環境によっては中継を行って確実に情報交換を行わなければならない場面も想定されることから最大 1 回の中継動作を含む通信方式の可能性を検討してきた。中継を行うデメリットは通信パケットの輻輳である。H19 年に策定された「実験用ガイドライン」のレイヤー3 の機能として中継制御方式が掲載されているが、その主たる機能は外部の通信環境の変化を契機とした受動的なパケット中継抑制方式であった。本年度の検証実験からこの方式により不要な中継が抑制されることが確認された。

緊急的な安全運転支援においては情報交換を開始した時点で互いの位置情報や ID 情報などを知ることが可能である。このことから自車位置及び周囲車両の位置を中継指示に利用する能動的な中継方式も考えられる。指示の仕方は、地域を指定してその中に存在する単数または複数の車に中継を判断させる方法と、最初から特定の車を指定する方法が考えられる。本研究においては中継におけるパケット輻輳を軽減する観点からこの 2 つの方式に関して車両増加との関係をシミュレーションで確認した。両者はほぼ車両増加に対し同じ程度のパケット抑制効果を持つことが示され、さらに RCP 方式との比較に関しても同程度の効果を持つことが示された。特に、最初から特定の車を指定する中継方式に比べ、地域を指定して、その地域内に存在する車両に中継を判断させる方式が通信品質 (PER) の面で有利であることが示された。本研究では、位置情報を利用した通信プロトコルの構築には踏み込んでおらず、こうした方法の有効性をシミュレーションで確認した段階であるが、ISO/TC204/WG16 の標準化の動きも視野に入れつつ、緊急的な安全運転支援に対しても位置情報の利用の検討を進めたいと考えている。

参考文献

- 1 ITS 情報通信システム推進会議 車々間通信システム専門委員会「5.8GHz を用いた車々間通信システムの実験用ガイドライン (1.0 版) RC-005」(2007.5)
- 2 関 馨他 「車車間通信におけるパケット中継制御方式の検証実験」情報処理学会 29 回 ITS 研究会 (2007.6) (2007-ITS-29(4))
- 3 経済産業省委託 ITS の規格化事業 車車間通信システムの標準化に関する研究 (平成 17 年度) 報告書 日本自動車研究所(2006.3)
- 4 経済産業省委託 ITS の規格化事業 (第 2 フェーズ) 安全運転支援車車間通信共通基盤機能の標準化に関する調査研究報告書 (平成 18 年度) 日本自動車研究所(2007.3)
- 5 経済産業省委託 ITS の規格化事業 (第 2 フェーズ) 安全運転支援車車間通信共通基盤機能の標準化に関する調査研究報告書 (平成 19 年度) 日本自動車研究所 (2008.3)