

平成20年度 成果報告書

高レスポンスマルチホップ 自律無線通信システムの研究開発

委託先： (株)国際電気通信基礎技術研究所

平成21年4月

情報通信研究機構

平成20年度 成果報告書

「高レスポンスマルチホップ自律無線通信システムの研究開発」

目次

| | | |
|-------|----------------------|----|
| 1 | 研究開発課題の背景 | 2 |
| 2 | 研究開発の全体計画 | |
| 2-1 | 研究開発課題の概要 | 3 |
| 2-2 | 研究開発目標 | 5 |
| 2-2-1 | 最終目標 | 5 |
| 2-2-2 | 中間目標 | 5 |
| 2-3 | 研究開発の年度別計画 | 7 |
| 3 | 研究開発体制 | 8 |
| 3-1 | 研究開発実施体制 | 8 |
| 4 | 研究開発実施状況 | |
| 4-1 | チャネル構成技術の研究開発 | 9 |
| 4-1-1 | 研究開発内容 | 9 |
| 4-1-2 | 実施状況 | 9 |
| 4-1-3 | 実施計画に対する達成状況 | 18 |
| 4-2 | チャネル制御技術の研究開発 | 19 |
| 4-2-1 | 研究開発内容 | 19 |
| 4-2-2 | 実施状況 | 19 |
| 4-2-3 | 実施計画に対する達成状況 | 24 |
| 4-3 | 中継パケット高速転送技術の研究開発 | 26 |
| 4-3-1 | 研究開発内容 | 26 |
| 4-3-2 | 実施状況 | 26 |
| 4-3-3 | 実施計画に対する達成状況 | 32 |
| 4-4 | アーキテクチャとシステム化技術の研究開発 | 34 |
| 4-4-1 | 研究開発内容 | 34 |
| 4-4-2 | 実施状況 | 34 |
| 4-4-3 | 実施計画に対する達成状況 | 38 |
| 4-5 | 総括 | 39 |
| 5 | 参考資料・参考文献 | |
| 5-1 | 研究発表・講演等一覧 | 40 |

1 研究開発課題の背景

平成 18 年 1 月に政府 IT 戦略本部から出された IT 新改革戦略において、世界一安全な道路交通社会の実現が謳われている。その実現に向け、多様な情報通信技術の活用が検討されているが、中でも車両の位置情報の交換や急ブレーキなどの緊急情報を迅速かつ確実に伝達する車車間通信は重要な位置づけである。このような技術として、従来の無線通信手段よりもレスポンス性の高い技術が必須となる。本研究課題は、この要求に合致するものであり、以前にも増して実現の要求が高まってきている。

技術的前提としては、CPU のアーキテクチャにおいて、マルチコアなどの新しいアーキテクチャの CPU が開発され、従来の CPU に比べて格段に高いソフトウェア処理の高機能化、高速化が可能となってきた。また、試作に用いている FPGA デバイスのプログラマブルな回路規模の急速な増加と低消費電力化の進展により、部分試作においては、ハードウェア小型化・高機能化が容易になりつつある。これにより柔軟性の高い研究開発が可能となってきた。このように研究開発の手法については環境の変化により好影響を受けている。

提案時に、ゲームルータや無線ブロードバンドルータ、米国のユタ大学、アリゾナ大学における研究開発状況を示したが、これらにおいては、いずれも高レスポンス化を目指す開発はなされていない。すなわち、状況に大きな変化はなく、依然として高レスポンスなマルチホップ自律無線通信システムに関して本格的な技術開発は他にない。

ITS 関連の無線通信システムの標準化に関しては、ITS 情報通信システム推進会議（事務局：電波産業会）において審議が進められている。主要な自動車メーカー、通信機メーカー、ならびに日本自動車工業会などに加えて ATR もメンバーとなっている。5.8GHz 帯を使った車車間通信システムについては、同推進会議の下の運転支援通信システム専門委員会に設置された規格タスクグループで審議されており、これまで 5.8GHz 帯車車間通信のための実験用ガイドライン RC-005 を策定して公開している。そこでは通信方式として、CSMA/CA 方式、タイミング同期式 CSMA 及び TDMA 方式等の検討・評価がなされているが、実際の交通環境にあるような、多数の車両を対象とした場合に先進安全自動車（ASV）要求条件を満たす性能を持つ方式は示されておらず、本研究開発の中間成果が示している性能がもっとも優れている状況である。

一方、交差点付近の見通し外の通信の確保をねらって 700MHz 帯の一部が ITS 用周波数に割り当てられることとなった。700MHz 帯を用いる車車間通信の実験システム仕様として同専門委員会の中の無線方式タスクグループで審議されている。そこでは 700MHz 帯車車間通信のための実験用ガイドライン RC-006 の策定が進められており、IEEE802.11p で採用されている CSMA/CA 方式もしくはその改良方式の適用が検討されている。しかしながら、建物等の遮へい物が多い交差点周辺に高い密度で送信端末が分布した状況での隠れ端末問題を完全に解決し高い信頼性とレスポンス性を実現する手法はまだ確立しておらず、解決には多くの追加規格の開発が必要な状況にある。

さらに、安全運転支援システムの早期実用化を実現するための方策、課題等を検討する「ITS 無線システムの高度化に関する研究会」が平成 20 年 10 月に総務省において設置され、ATR も作業班メンバーとして審議に寄与している。平成 21 年 5 月までに報告書をまとめることとなっている。

このように、政府、業界ともに現在、安全運転支援のための ITS の標準化、実用化にむけた取り組みを加速している状況にある。本研究開発においては、方式設計とともに 5.8GHz 帯を用いて実証実験を行うべく通信機器の開発を進めているが、その成果をそうした標準化・実用化ならびに現状の技術に対する性能向上に生かしていくための活動も実施している。

2 研究開発の全体計画

2-1 研究開発課題の概要

従来の無線 LAN 技術で避けられない主な遅延要因として、(i) 帯域共有による遅延、(ii) キャリア検出時の遅延、(iii) 再送時の遅延、(iv) セル発見・参加時の遅延等が挙げられる。これらの要因を排除し、ア) 待ち時間無しでパケット送受信が可能で、イ) 1 ホップあたりの転送遅延 1 ミリ秒以下の極めて高レスポンスな自律無線通信システムを研究開発する。そのため、複数周波数・複数拡散符号を組合せたスプレッドアロハ方式によるチャネル構成技術とチャネル制御技術、および中継パケット高速転送技術を系統的に統合する新しい技術を研究開発する。本研究開発は以下のサブテーマに沿って進める。

- (1) チャネル構成技術
- (2) チャネル制御技術
- (3) 中継パケット高速転送技術
- (4) アーキテクチャとシステム化技術

ア) チャネル構成技術の研究開発【サブテーマ 1】

位置付け：

パケット送信時における遅延の低減化は高レスポンス化において必須であり、その実現を可能とするチャネル構成の研究開発を行う。自律無線通信システムにおける高レスポンス化を図るため、隠れ端末の影響を極力低減し、かつパケット衝突時もパケット再生が可能なアクセス方式を検討し、待ち時間の発生等による遅延の低減化が可能となるチャネル構成技術の研究開発を進める。

研究方針：

アプリケーションのモデルおよび要求条件を念頭におき、通信トラフィック密度の高い環境での高レスポンス化に有効なチャネル構成技術を研究開発する。

研究手法：

多数の端末による干渉を想定したシミュレーションによる特性評価、試作モデル開発による性能検証等により基本特性を評価する。

イ) チャネル制御技術の研究開発【サブテーマ 2】

位置付け：

チャネルの使用条件の設定と送信制御が適切に行われなければ、高レスポンスを実現した上で信頼性の高い通信を実現することはできない。これらの機能はチャネル制御技術として実現する必要がある。高レスポンス性を最優先としたチャネル制御技術は、前述のサブテーマの要素技術（チャネル構成技術）を適切に利用するための必須技術である。

研究方針：

高レスポンス性を要求する通信の利用シーンを明らかにした上で前提条件を明確化し、高レスポンス化を図りつつ信頼性が確保可能なチャネル制御技術を研究開発する。

研究手法：

端末の参入・退去や移動に対応可能な方式を検討し、解析やシミュレーションによる機能、性能の評価を行い、試作、評価、実装を行う。

ウ) 中継パケット高速転送技術の研究開発【サブテーマ3】

位置付け：

上記のチャンネル構成・制御技術で送受信における待ち時間が排除された場合でも、中継パケットの転送処理に時間を要すると、システムとしての低遅延化は実現できない。如何に中継パケット転送処理を高速化するかはチャンネル構成・制御技術と並んで高レスポンス化の重要な要素技術である。

研究方針：

パケット受信時に転送処理が必要であるか、当該端末で終端するかを短時間で判断する技術、及びその判断後に中継パケットを遅滞なく転送処理する技術を開発する。

研究手法：

中継パケットの識別を低レイヤで実現するためのフレーム構成と識別子の定義、これに関連するルーティング情報との連携手法、さらにハードウェア処理に向けた手法を開発する。方式検討、シミュレーションにより機能、性能評価を行い、試作、評価、実装を行う。

エ) アーキテクチャとシステム化技術の研究開発【サブテーマ4】

位置付け：

高レスポンス性要求に対して効果的な要素技術をシステムとして構成し、性能を十分引き出すためのアーキテクチャが必要である。本サブテーマは本研究開発の全体構成を定める基盤的な位置付けである。また本サブテーマにて統合的なシステム実証を行う。

研究方針：

チャンネル構成技術、チャンネル制御技術、中継パケット高速転送技術の各要素の機能配分を適切に設定し、また、各要素間の相互依存性に基づくクロスレイヤアーキテクチャを採用してシステムの最適化を図る。

研究手法：

ATR ではこれまでに電波の受信信号強度(RSSI)に基づいたルーティング方式や、低レイヤ回線状態に基づいたTCPにおけるQoS制御など、クロスレイヤ処理によるネットワーク制御技術を開発してきている。これらの実績をベースに、他のサブテーマの研究開発要素を有機的に結合し、高レスポンス性を最大限に引き出すためのアーキテクチャを確立する。その上で、製品化の実現性を踏まえ、各要素技術を統合的に実装しシステム化する技術を確立する。

2-2 研究開発目標

2-2-1 最終目標（平成 22 年 3 月末）

以下の各サブテーマの研究開発成果により、端末がネットワークを自律的に構成する無線ネットワークにおいて、ア) 待ち時間無しでパケットの送信と受信が可能で、イ) 1 ホップにおける転送遅延を 1 ミリ秒以下に抑える高レスポンス自律無線通信システムを実現する。

ア) チャネル構成技術の研究開発

複数周波数、複数拡散符号を組合せて用いる(MC)2-SA 送受信技術に関してハードウェア実装により実現する。

イ) チャネル制御技術の研究開発

- (1) 各周波数チャネルにおける干渉量(MAI) 監視技術を確立し、ハードウェア及びファームウェアとして実装する。
- (2) 受信信号品質を検出する技術を確立し、ハードウェア及びファームウェアとして実装する。
- (3) 上記(1)(2)を用いて最適なチャネル選択を実行する技術を確立し、ハードウェア及びファームウェアとして実装する。

ウ) 中継パケット高速転送技術の研究開発

- (1) 中継パケット識別処理方式を確立し、識別されたパケット種類に応じた転送制御を高速に実行する技術を確立し、ハードウェア及びファームウェアとして実装する。
- (2) 上記(1)の転送制御に応じてカットスルー転送を実行するハードウェア及びファームウェアを実装し実現する。

エ) アーキテクチャとシステム化技術の研究開発

- (1) チャネル構成技術、チャネル制御技術、中継パケット高速転送技術の各機能の動作において必要な制御情報、状態通知情報インタフェースを、レイヤにまたがって体系的に規定するアーキテクチャを確立する。
- (2) チャネル構成技術、チャネル制御技術、中継パケット高速転送技術として実現される機能をシステムとして統合、実装し、小型基盤モジュールとして実現する。
- (3) ITS 車車間通信や次世代ネットワークゲーム機への適用性を実証する。

2-2-2 中間目標（平成 20 年 1 月末）

端末がネットワークを自律的に構成する無線ネットワークにおいて、ア) 待ち時間無しでパケットの送信と受信が可能で、イ) 1 ホップにおける転送遅延を 1 ミリ秒以下に抑える高レスポンス自律無線通信システムを実現するための機能的、性能的な見通しを得る。

ア) チャネル構成技術の研究開発

トラフィックモデルを確立した上でそれに応じた周波数と拡散符号方式の数などのパラメータについて解析、シミュレーションにより決定し、ハードウェアの部分試作、評価により基本設計を終える。

イ) チャネル制御技術の研究開発

- (1) 広帯域干渉量(MAI) 監視の基本方式についてハードウェア及びファームウェアの部

分試作、評価により基本設計を終える。

- (2) 受信信号品質の検出とその評価に関する基本方式についてハードウェア及びファームウェアの部分試作、評価により基本設計を終える。

ウ) 中継パケット高速転送技術の研究開発

- (1) ラベルスイッチ機能の方式検討、評価を終える。
- (2) 処理遅延の低減について最適化を図った中継パケット識別アルゴリズムを開発する。
- (3) 中継パケット識別結果に応じた制御アルゴリズムを開発する。
- (4) カットスルー転送ハードウェアの試作、評価によって基本設計を終える。

エ) アーキテクチャとシステム化技術の研究開発

- (1) チャンネル構成技術、チャンネル制御技術、中継パケット高速転送技術の各機能の動作において必要な制御情報、状態通知情報を抽出し、レスポンスを低下させることなくレイヤ間でこれらの情報を授受するアーキテクチャについて、機能・性能を満足する見通しを得る。
- (2) チャンネル構成技術、チャンネル制御技術、中継パケット高速転送技術をシステムとして統合するための基本設計を終える。

2-3 研究開発の年度別計画

(金額は非公表)

| 研究開発項目 | 17年度 | 18年度 | 19年度 | 20年度 | 21年度 | 計 | 備考 |
|-------------------------------|------|------|------|------|------|---|----|
| 「高レスポンスマルチホップ自律無線通信システムの研究開発」 | | | 中間評価 | 中間評価 | | | |
| ア「チャンネル構成技術の研究開発」 | - | - | - | - | - | - | |
| イ「チャンネル制御技術の研究開発」 | - | - | - | - | - | - | |
| ウ「中継パケット高速転送技術の研究開発」 | - | - | - | - | - | - | |
| エ「アーキテクチャとシステム技術の研究開発」 | - | - | - | - | - | - | |
| 間接経費 | - | - | - | - | - | - | |
| 合計 | - | - | - | - | - | - | |

注) 1 経費は研究開発項目毎に消費税を含めた額で計上。また、間接経費は直接経費の30%を上限として計上(消費税を含む)。

2 備考欄に再委託先機関名を記載

3 年度の欄は研究開発期間の当初年度から記載。

3 研究開発体制

3-1 研究開発実施体制

| | |
|--------------------|----------------------|
| ATR 適応コミュニケーション研究所 | 1名 (所長) |
| スマートネットワーク研究室 | 13名 (2008.9.31まで12名) |
| 自律システム研究室 | 0名 (2008.9.31まで8名) |
| ATR 知識科学研究所 | 6名 |
| NEC 通信システム株式会社 | 4名 |

| | | | |
|--|-------------------------|-----------------------------|--|
| 研究代表者 小花真夫 研究副代表者 鈴木龍太郎 (2008.8.31まで) 三浦龍 (2008.9.1から) | スマートネットワーク研究室 | | |
| | 研究員(酒井敏宏) | 担当:サブテーマ1(リーダー) | |
| | 研究員(大山卓) | 担当:サブテーマ1 | |
| | 技術員(山口真司) | 担当:サブテーマ1 | |
| | 客員研究員(ヌリシラジ マハダド) | 担当:サブテーマ2(リーダー) | |
| | 研究員(OYUNCHIMEG Shagdar) | 担当:サブテーマ2 | |
| | 研究員(TANG Suhua) | 担当:サブテーマ2 | |
| | 研究員(長谷川淳) | 担当:サブテーマ3(リーダー) | |
| | 研究員(瀧本栄二) | 担当:サブテーマ3 | |
| | 研究員(宮本進生) | 担当:サブテーマ3 | |
| 主任研究員(西方博之) | 担当:サブテーマ4(リーダー) | | |
| 研究員(近藤良久) | 担当:サブテーマ4 | | |
| 担当は主たる担当サブテーマを記載。他のサブテーマの研究も一部実施する場合あり。 | | | |
| 自律システム研究室 | | | |
| 室長(植田哲郎) | 担当:サブテーマ1 | 2008.9.31まで | |
| 上級研究員(長谷川晃朗) | 担当:サブテーマ2 | 2008.9.31まで | |
| 研究員(金鐘玉) | 担当:サブテーマ2 | 2008.9.31まで | |
| 客員研究員(Peter DAVIS) | 担当:サブテーマ2 | 2008.10.1からスマートネットワーク研究室へ異動 | |
| 主任研究員(滝沢泰久) | 担当:サブテーマ3 | 2008.9.31まで | |
| 研究員(玉井森彦) | 担当:サブテーマ3 | 2008.8.1から9.31まで | |
| 研究員(山本俊明) | 担当:サブテーマ4 | 2008.9.31まで | |
| 研究員(谷口典之) | 担当:サブテーマ4 | 2008.9.31まで | |
| 担当は主たる担当サブテーマを記載。他のサブテーマの研究も一部実施する場合あり。 | | | |
| 知識科学研究所・知識処理研究室／知識入出力研究室 | | | |
| 所長(小暮潔) | 担当:サブテーマ1 | | |
| 主任研究員(野間春生) | 担当:サブテーマ2 | | |
| 主任研究員(納谷太) | 担当:サブテーマ2 | | |
| 主任研究員(阿部明典) | 担当:サブテーマ3 | | |
| 研究員(岡田昌也) | 担当:サブテーマ4 | | |
| 研究員(多田昌裕) | 担当:サブテーマ4 | | |
| 担当は主たる担当サブテーマを記載。他のサブテーマの研究も一部実施する場合あり。 | | | |
| 共同研究先:NEC通信システム株式会社 | | | |
| NCOSラボラトリ | | | |
| 主任(伊藤哲也) | 担当:サブテーマ4(リーダー) | | |
| 主任(松本晃) | 担当:サブテーマ3 | | |
| 担当(飯塚宏之) | 担当:サブテーマ3 | | |
| 担当(江連雄一郎) | 担当:サブテーマ4 | | |

(注)

再委託先：共同で研究を行い、且つ本制度による資金の流れを伴うもの。

共同研究先：共同で研究を行い、且つ本制度による資金の流れを伴わないもの。

4 研究開発実施状況

4-1 チャネル構成技術の研究開発【サブテーマ1】

4-1-1 研究開発内容

パケット送信時における遅延の低減化は高レスポンス化において必須であり、その実現を可能とするチャネル構成の研究開発を行う。高レスポンス化を図るため、端末においてパケット送受信が同時に行え、かつパケット衝突時もパケット再生が可能なアクセス方式（MM-SA 方式）を検討し、遅延の低減化が可能となるチャネル構成技術の研究開発を進める。

4-1-2 実施状況

(1) MM-SA 方式プロトタイプの実作

① MM-SA 方式無線仕様の検討

平成 18 年度では、検討した結果から各種パラメータを選定したところ、伝送速度 4 Mbps、拡散率 127 より、帯域幅は約 500 MHz となり周波数割当上問題となった。

そこで、平成 19 年度は、誤り訂正技術の適用およびパケット情報量の最適化を行い、所用帯域幅を抑える仕様を検討した。MM-SA 方式無線仕様を表ア(1-1-1)に示す。カットスルー転送が 1 msec 以下となるように情報伝送レートを選定し、周波数帯域幅を周波数割当上実現可能な範囲にするために、フレームフォーマットを見直し、拡散率を 15 とすることで、帯域幅を現実的な値とした。誤り訂正は、BCH (63, 51) を採用し、DATA_A および DATA_B に誤り訂正をかけた。

平成 20 年度は、ASV アプリケーションに即したシミュレーション評価を行ない、アプリケーション要求を満足する方式設計

- a) 位置情報に基づく送信タイミング制御方式 【サブテーマ 3】
- b) 位置情報に基づいた周波数チャネル制御方式 【サブテーマ 2】
- c) a)を考慮したエリアベース転送制御方式 【サブテーマ 3】
- d) a)、b)、c)を行なうために必要な車両方向位置特定技術 【サブテーマ 2】
- e) a)～d)に対する PHY 層、MAC 層に対するパラメータ抽出 【サブテーマ 1】

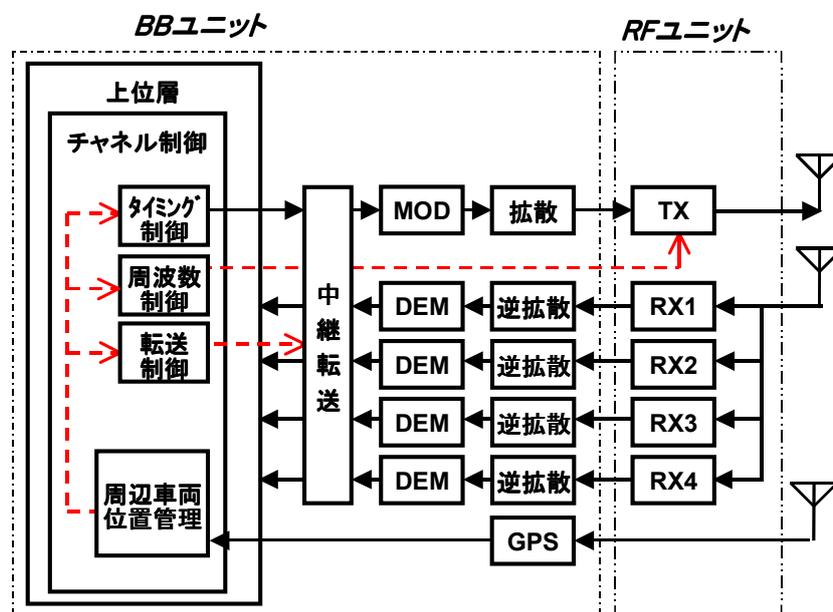
を行ない、無線仕様を表ア(1-1-1)に示す様に確定した。上記の方式設計に基づいて、プロトタイプハードウェア設計を行なった。

表ア(1-1-1) MM-SA 方式無線仕様

| 項目 | 平成 19 年度仕様 | 平成 20 年度仕様 |
|---------|---------------------------|---|
| 周波数 | 5780, 5790, 5820, 5830MHz | ← |
| チップレート | 2.048Mcps | ← |
| 拡散率 | 15 | 7(検証用として 1,15 設定可能) |
| シンボルレート | 137ksps | 293ksps (検証用として 137ksps、2048ksps 設定可能) |
| 情報転送レート | 273kbps | 586kbps (検証用として 273kbps、4096Mbps 設定可能) |
| 拡散符号 | Gold 符号 | ← |
| 変調方式 | $\pi/4$ シフト QPSK | ← |
| 復調方式 | 遅延検波 | ← |
| 誤り訂正 | BCH(63,51) | なし、ターボ符号あり |
| 誤り検出符号 | CRC 符号 | ← |
| パケット長 | 411bit | |

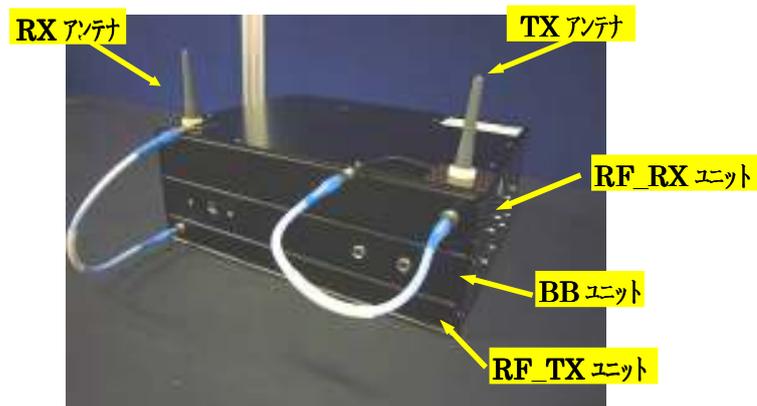
② MM-SA 方式無線機ハードウェアの検討

平成 20 年度に試作したプロトタイプの様系統図を図ア(1-2-1)に示す。プロトタイプは、上位層を含む BB ユニット、RF ユニット、送信/受信/GPS アンテナで構成した。RF ユニットは、受信系の RF_RX ユニットと送信系の RF_TX ユニットで構成した。各ユニットは、独立の筐体構造をとり、送受信信号分離を強化した。RF_TX ユニットは、直交変調機能、中間周波増幅機能、周波数変換機能、高周波増幅機能を有する。RF_RX ユニットは、高周波増幅、周波数分離機能、周波数変換機能、中間周波増幅機能、隣接チャンネル抑制機能、直交復調機能を有する。BB ユニットの上位層部は、GPS を用いた周辺車両位置管理により、タイミング制御、周波数制御、転送制御を行う。BB ユニットは、パケットの生成分解などパケット処理の機能を有し、中継転送部は、カットスルー方式の転送、パケットの廃棄/転送/上位層への処理判断、ラベルヘッダ操作の機能を有する。また、BB ユニットは、直交変調および復調機能、拡散/逆拡散機能を有する。また、アンテナは送受信用にそれぞれ設け、新たに GPS 用のアンテナを設けた。



図ア(1-2-1) 平成 20 年度プロトタイプの様系統図

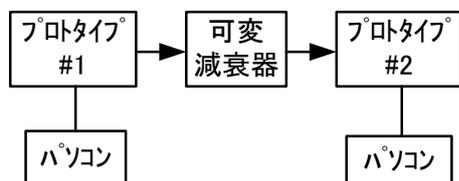
図ア(1-2-2)に平成 20 年度に試作したプロトタイプの外観図を示す。装置の大きさは、323(W)×260(D)×128(H)mm の B4 サイズ程度の大きさである。



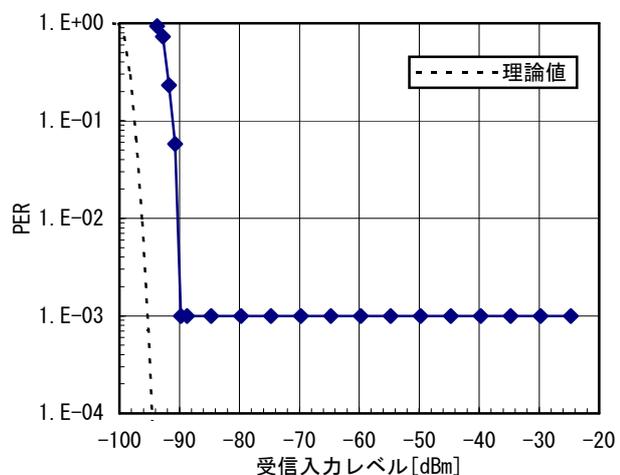
図ア(1-2-2) 平成 20 年度無線機の外観図

③ プロトタイプの実機評価

受信特性の基本特性である受信入力レベル対 PER(Packet Error Rate)特性を評価した。図ア(1-3-1)に受信入力レベル対 PER 特性を評価するための測定系統図を示す。パソコンはプロトタイプの周波数、拡散コード等の各種設定、送信、受信の.packet数をモニタ等の機能を有する。プロトタイプ#1 の送信端と可変減衰器を同軸ケーブルで接続し、可変減衰器と無線機 2 の受信端を同軸ケーブルで接続する。受信入力レベルの規定点をプロトタイプ#2 の受信端とし、可変減衰器にて減衰量を変えてプロトタイプ#2 の受信入力レベルを設定し、そのときの PER を測定する。PER の値は、プロトタイプ#1 の送信packet数とプロトタイプ#2 の受信packet数より算出した。



図ア(1-3-1) 測定系統図



図ア(1-3-2) 受信入力レベル対 PER 特性

図ア(1-3-2)に受信入力レベル対 PER 特性を示す。縦軸は PER、横軸は受信入力レベルである。図の点線は、理論値のグラフである。

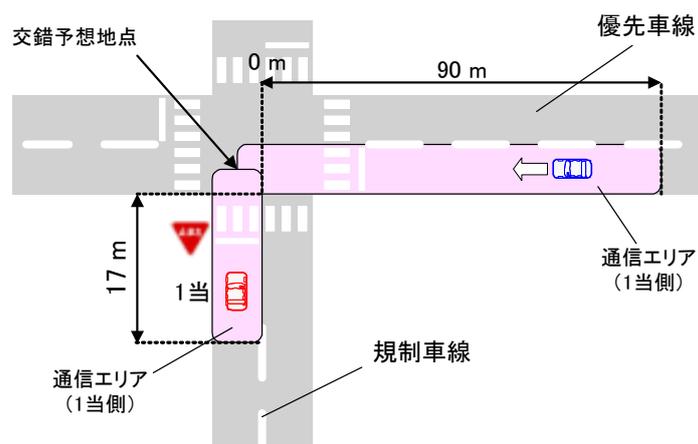
この図より、平成 20 年度試作したプロトタイプは、ハードに起因する固定劣化が約 5dB @ 1E-3 であり、プロトタイプとして十分な特性を得た。また、受信入力レベルのダイナミックレンジは、過入力レベル-25dBm まで 1E-3 以下を確保できた。

(2) シミュレーションによる ASV アプリケーション評価

① 交差点モデルにおけるシミュレーション条件

図ア(2-1-1)は、ASV-4(Advanced Safety Vehicle)で定義されている車車間通信による安全運転支援のための通信サービスエリアの内、出会い頭衝突防止システム(見通し外通信

環境) に対する条件である。今年度は、ASV アプリケーションのシステム要求達成に向けて、シミュレーション評価を行い、方式仕様を策定した。



図ア(2-1-1) 車車間通信による安全運転支援のための通信エリア(ASV-4)
(出会い頭衝突防止(一時規制あり))

図ア(2-1-1)中、ピンク色で囲まれている部分がアプリケーションのサービスエリアである。例えば、出会い頭衝突防止システムでは、規制車線の停止車線で停止している車両(1当:第1当事者)が受信車両に当たり、優先車線でサービスエリア内に入ってきた車両(2当:第2当事者)が送信車両である。受信車両(1当)で、サービスエリア内を走行している送信車両(2当)から送信されるパケットの到達率を評価する。

ASVアプリケーションのアプリケーション要求は、

1. 送信周期100msecで各車両が位置情報等を送信する。車両台数は88台と定義する。このトラフィック条件下で、100msec中のパケット到達率が80%を満たしていること。
2. 送信側サービスエリア内で2当が上記条件で送信し、全送信側サービスエリアに対するパケット到達率は80%を満たしていること。

と5.8GHzを用いた車車間通信システムの実験用ガイドラインITS FORUM RC-005 1.0版で定義されている。そのために、シミュレーション評価項目を

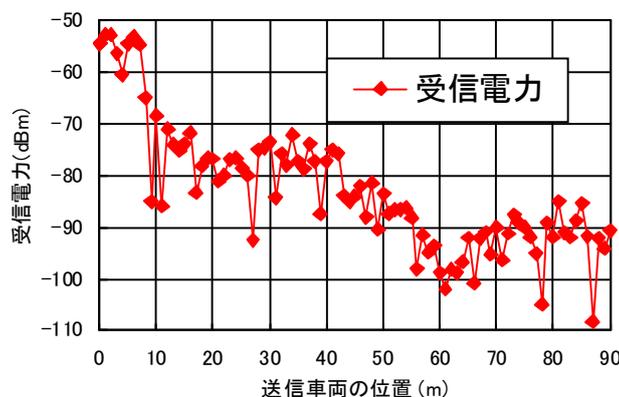
- a) 1当と2当の設定された配置関係におけるパケット到達率
- b) 交差点の中心を0点とし、交差点中心から送信車両の位置 x (m)までで、パケット到達率80%以上である測定ポイントの割合を評価項目とし、これを場所率と定義

とした。1当側で、また、周囲に合計88台の車両を配置し、各車両が100msecで自分の位置情報等を含むパケットを送信する。

表ア(2-1-1)にMM-SA方式の基本仕様及びシミュレーション条件を示す。

表ア(2-1-1) MM-SA方式の基本仕様及びシミュレーション条件

| | 項目 | 値 | 備考 |
|------|--------------|----------------------------------|---------------------------------|
| MAC部 | メディアアクセス制御方式 | Spread ALOHA方式 | |
| | パケット発生 | 送信要求 100msec 間隔 | |
| | パケットサイズ | 1112ビット:誤り訂正なし 3056ビット:ターボ符号 | |
| | 拡散率 | 7倍 | 拡散符号:Gold符号 |
| | 情報伝送速度 | 585 kbps | |
| | シンボルレート | 292 ksps | |
| | チップレート | 2048 kcps | 固定 |
| | 変復調方式 | $\pi/4$ shift DQPSK | |
| | 誤り訂正 | ターボ符号あり/なし | 符号化率:1/3 |
| | 周波数帯 | 5.8 GHz 帯 | |
| | 必要帯域幅 | 4.096MHz | 1チャンネル当たり |
| | 周波数チャンネル数 | 4チャンネル | |
| | アンテナ指向性 | 無指向性 | |
| | アンテナ利得 | 2.2 dBi | アンテナ利得:6.2 dBi ケーブルロス:4.0 dB |
| 伝搬路 | レイトレーシング | イメージング法 | |
| | 建物のモデル化 | 建物、路面:あり 車体:なし (交差点数:1交差点) | |
| 車両条件 | 台数 | 88台 | 1当、2当含む |
| | 走行時速 | 70 km/h | |



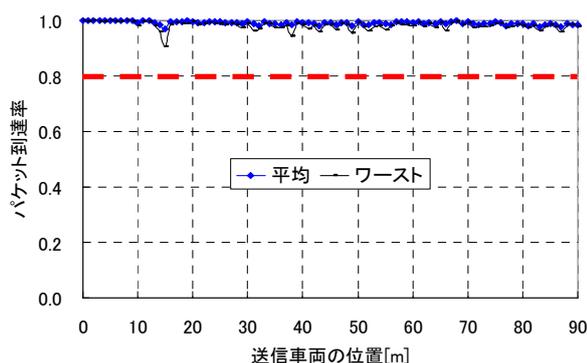
図ア(2-1-2) 受信電力特性

図ア(2-1-2)に、送信車両(図ア(2-1-1)中の2当)が交差点に向かって走行中に、規制車線で停止している受信車両(図ア(2-1-1)中の1当)での受信電力を示す。出会い頭アプリケーションでは、建物がある交差点を想定している。そのために、所望波(2当から送信され、1当で受信する電力)は直接波では届かずに、回折波が届く。これに対して、規制車線を走行している車両からの干渉波は直接波が届くために、所望波対非所望波の比が非常に悪い環境である。この条件下で、サービスエリア内で送信車両(2当)の位置を変え、受信車両(1当)でのパケット到達率及び場所率を評価した。

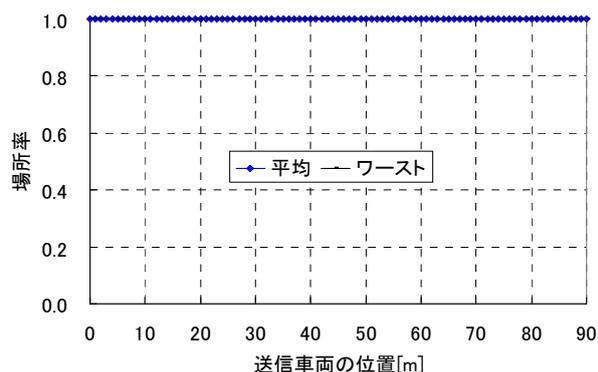
② パケット到達率及び場所率のシミュレーション結果

図ア(2-2-1)及び図ア(2-2-2)にMM-SA方式のパケット到達率と場所率の特性を示す。ここで、場所率とは、①のシミュレーション条件で述べた様に、交差点の中心から各車両の位置までにおけるパケット到達率80%を満たす評価ポイントの割合である。図ア(2-2-1)

は送信側サービスエリア 0~90 m におけるパケット到達率であり、アプリケーション要求である 80% を点線で示している。シミュレーション結果より、全サービスエリアにおいて、要求を満足している。図ア(2-2-2)の場所率の結果から、90 m における場所率は 100% であることから全サービスエリアでパケット到達率 80% を満足できることが分かる。「ワースト」の値は試行回数 5 回の中で、各送信車両の位置での最悪値を表したものである。場所率の「ワースト」の意味は、「ワースト」値のパケット到達率に対する場所率を示している。よって、MM-SA 方式は ASV アプリケーションを満足していると言える。



図ア(2-2-1) パケット到達率—
送信車両の位置特性



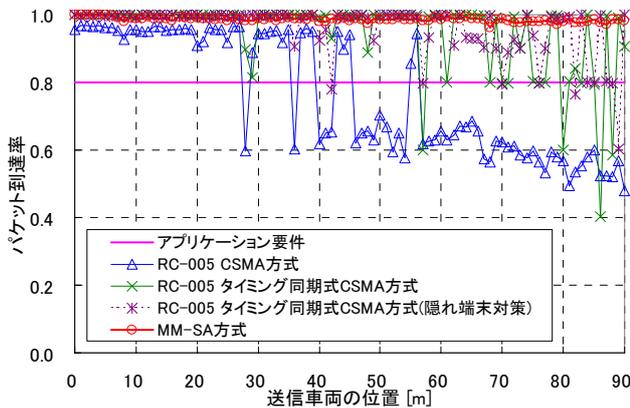
図ア(2-2-2) 場所率—送信車両の
位置特性

③ CSMA ベース方式とのシミュレーション評価比較

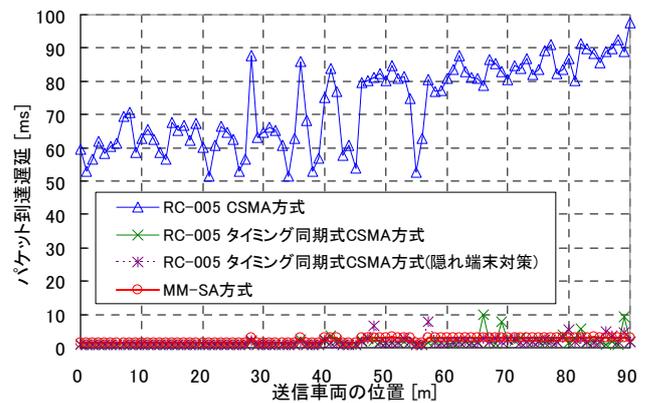
MM-SA 方式と、5.8GHz 帯車車間通信のための実験用ガイドライン RC-005 で規定されている 2 つの CSMA ベース通信方式、CSMA 方式及びタイミング同期式 CSMA 方式を、シミュレーション評価により比較をした。3 方式比較のためのシミュレーション条件を表ア(2-3-1)に示す。明記していない部分は表ア(2-1-1)と同様である。シミュレーションシナリオは「①交差点モデルにおけるシミュレーション条件」と同様の ASV-4 で定義されている出会い頭衝突防止システムのモデルであり、より厳しい条件で比較するため片側 2 車線・車両台数 176 台で評価した。また、3 方式を公平に比較するため、共通のパケットサイズを適用するとともに、MM-SA 方式のチャンネル制御技術である進行方向による周波数チャンネル選択及びエリアベース転送技術を他の 2 つの CSMA ベース方式にも適用した。

表ア(2-3-1) 3方式比較のためのシミュレーション条件

| 方式 | 項目 | 値 | 備考 |
|--------------------|-----------------|---|------------------------------|
| 共通 | 車両台数 | 176 台 | 1 当、2 当含む |
| | パケットサイズ | 824 ビット: 誤り訂正前 2176 ビット: 誤り訂正後 | |
| CSMA 方式 / タイミング同期式 | 受信感度 | -94.410 dBm | ターボ利得(11.3dB)込み 符号化率: 1/3 |
| | 誤り訂正 | ターボ符号 | |
| CSMA 方式 共通 | 情報伝送速度 | 4096 kbps | |
| CSMA 方式 | スロット時間 | 7.936 μ s | |
| | コンテンションウィンドウサイズ | 256 | |
| タイミング同期式 CSMA 方式 | フレーム長 | 100 ms | |
| | スロット数 / フレーム | 128 | タイムスロット長 781.25 μ s |
| | スロット同期ずれ | なし | 完全同期想定 |
| | パケットサイズ | 824~1080 ビット: 誤り訂正前 2176~2432 ビット: 誤り訂正後 | 生成するプリアンブル長により可変 |



図ア(2-3-1) パケット到達率—送信車両の位置特性(3方式比較)



図ア(2-3-2) パケット到達遅延—送信車両の位置特性(3方式比較)

図ア(2-3-1)に送信側サービスエリア 0~90m におけるパケット到達率、図ア(2-3-2)にパケット到達遅延の特性を示す。CSMA 方式では、送信車両の位置が交差点から離れると交差点付近で転送を行う車両に対する干渉と隠れ端末によりパケット到達率が著しく低下するとともに、キャリアセンスに伴う到達遅延が大きいことが分かる。タイミング同期式 CSMA 方式は予約されたスロットにアクセスすることによりパケット到達遅延は小さく抑えられているが、CSMA 方式と同様に送信車両が交差点から離れている場合には隠れ端末による衝突によるパケット到達率の低下が見られる。タイミング同期式 CSMA 方式に基本的な隠れ端末対策を施した場合でも、転送車両にトラヒックが集中することにより隠れ端末の通知が阻害されるため、パケット到達率のアプリケーション要求を満たせない箇所が複数発生する。これに対して MM-SA 方式はパケット到達遅延を低く抑えつつ、送信サービスエリア全体にわたり ASV アプリケーションで要求されるパケット到達率を満足しており、CSMA ベース方式よりも有効に動作するといえる。

④ MM-SA 方式に必要なコア技術

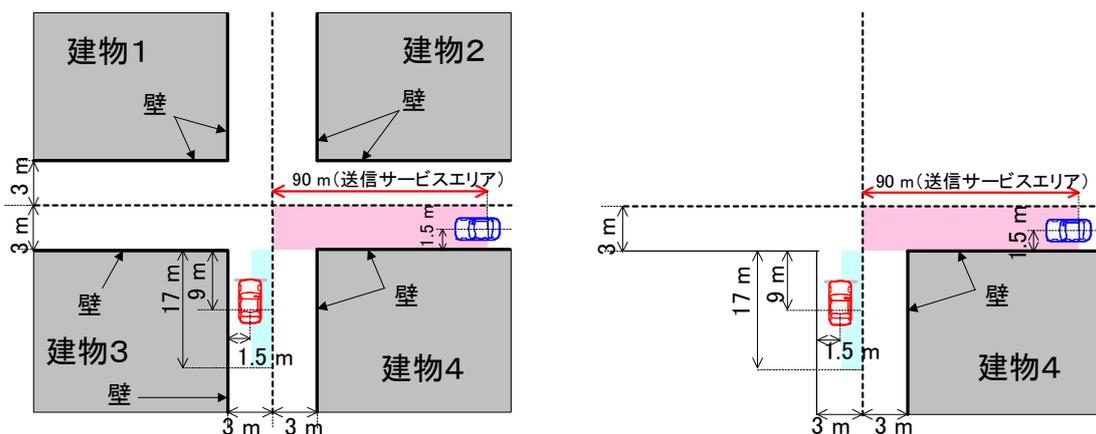
ここで、②のシミュレーションを行なった際の各コア技術についてまとめる。

1. 周波数チャネル制御による干渉抑制技術
 - ・ 出会い頭衝突防止システムを例にすると、優先車線／非優先車線、更に上り車線／下り車線で、周波数チャネルを分ける。
2. SS (Spread Spectrum)による信号分離
 - ・ パケット長の冗長度を抑えるために、SS で信号分離さえできれば良い。最低限の利得で良い。
3. 転送機能
 - ・ エリアベースを基本とした転送機能
4. MM-SA(Spread ALOHA 方式)に合った送信タイミング制御方式
 - ・ 一番直近の前方車両に合わせた送信タイミング制御方式を開発した。
 - ・ TDMA 方式の様な正確なタイミング制御は必要としない。
 - ・ 車両は通信エリアに存在する車両と同期と取る必要はなく、直近の前方車両とタイミング制御を行えば良い。
5. 車両位置特定技術
 - a) 進行方向及び周辺車両状況により、周波数チャネル制御を行なう。
 - b) 転送は一番直近の車両を特定して、送信タイミング制御を行なう。
 - c) 緊急情報の高速転送は、パケットヘッダ中の伝達方向をみて、転送するか否かを判断している。

a)～c)に示す様に、MM-SA 方式では、周辺車両情報管理及び車両位置特定がコアとなる技術にとって必要な機能である。

⑤レイトレース受信電力特性評価

RC-005(5.8GHz 帯)及びRC-006(700 MHz 帯)を用いた車車間通信システムの策定が行われている。これらは、交差点付近における見通し外での通信であり、700 MHz 帯は反射波による回り込み及び遠方まで電波が届くと考えられている。ここでは、どの程度受信電力が回り込むのかを調べるために、レイトレース手法で、5.8GHz 帯及び 700MHz 帯の電波伝搬特性を評価した。更に、建物による反射波の影響を調べるために、図ア(2-5-1)に示す道路モデルの様に交差点で、1 か所に遮蔽壁がある場合と 4 か所に遮蔽壁がある場合、及び受信車両のアンテナ位置を交差点の角から 17 m、9 m の場合に対して、受信電力特性を評価した。レイトレース受信電力評価に対するシミュレーション条件を表ア(2-5-1)に示す。



(a) 交差点の 4 か所に壁がある場合 (b) 交差点の 1 か所に壁がある場合
 図ア(2-5-1) シミュレーション評価の道路モデル

表ア(2-5-1) レイトレース評価のシミュレーション条件

| パラメータ | 5.8 GHz 帯 | 700 MHz 帯 |
|-----------|---|--|
| 中心周波数 | 5.82 GHz | 720 MHz |
| 送信電力 | 10 dBm | 19.2 dBm |
| 送受信アンテナ利得 | 各 6.2 dBi | 各 0 dBi |
| 送受信ケーブルロス | 各 4.0 dB | 各 2.0 dB |
| アンテナパターン | 無指向性 | |
| 複素誘電率 | 道路材質 (コンクリート) : 7.0-j0.0071 壁材質 (鉄) : 16.0-j3.0x10 ⁻⁷ | 道路材質 (コンクリート) : 7.0-j0.058 壁材質 (鉄) : 16.0-j3.0x10 ⁻⁷ |
| 反射回数 | 5 回 | |
| 回折回数 | 1 回 | |
| アンテナ高さ | 1.5 m | |
| 受信車両位置 | 17 m、9 m (交差点のコーナからアンテナまでの距離) | |

図ア(2-5-2)及び図ア(2-5-3)に 5.8GHz 帯及び 700MHz 帯のレイトレース受信電力結果を示す。5.8 GHz 帯のシミュレーション評価の結果から、

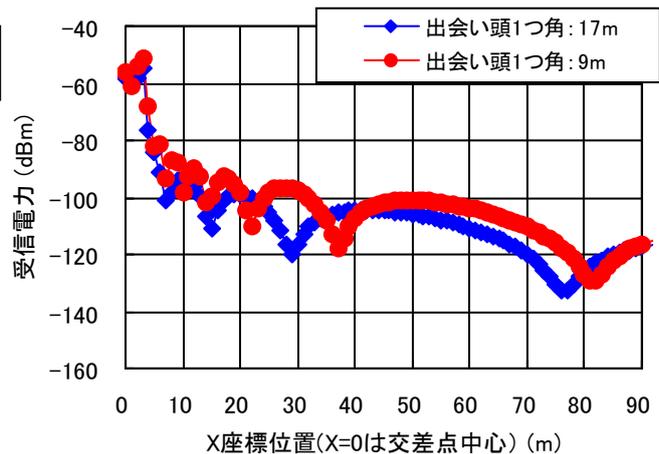
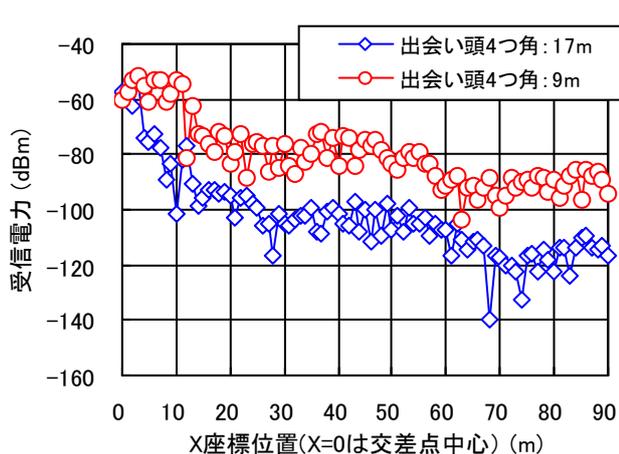
- 図ア(2-5-1)中の建物 1～3 からの反射波の影響により、受信電力が高くなり、1 つ角ケース (図ア(2-5-1) (b))が見通し不良で受信電力の届きにくい最悪ケースであると考えられる。
- 4 つ角ケース (図ア(2-5-1) (a))の場合には、受信車両の位置によって、受信電力が大きく変わる。これに対して、1 つ角ケースの場合には、受信車両のアンテナ位置に対する受信電力の影響が小さい。

ことが分かった。

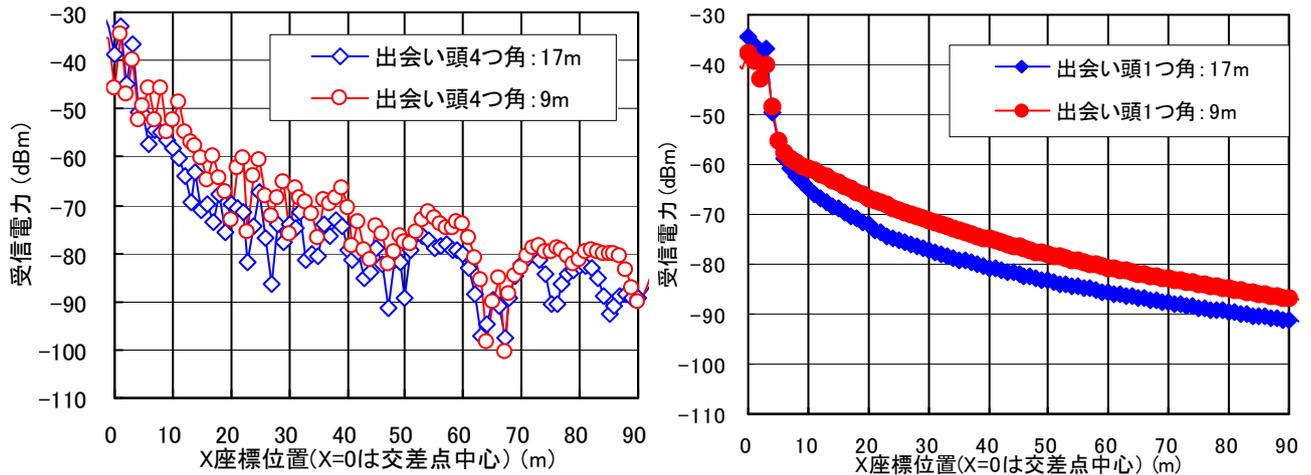
700 MHz 帯のシミュレーション評価の結果から、

- 5.8GHz 帯に比べて、4 つ角ケースでの、建物 1～3 の影響が少ない。また、受信車両のアンテナ位置の違いによる受信電力の差も小さい。
- 5.8 GHz 帯、1 つ角ケースで見られる電力の落ち込みが見られない。

ことが分かった。



- (a) 交差点の 4 か所に壁がある場合 (b) 交差点の 1 か所だけに壁がある場合
図ア(2-5-2) 5.8 GHz 帯レイトレース受信電力特性



(a) 交差点の4か所に壁がある場合 (b) 交差点の1か所のみ壁がある場合
 図ア(2-5-3) 700 MHz 帯レイトレース受信電力特性

4-1-3 実施計画に対する達成状況

ASV アプリケーションの道路モデル及び通信要求に基づき、方式設計及びシミュレーション評価を行った。その結果、出会い頭衝突防止（見通し不良環境下）、右折事故衝突防止（見通し環境下）に対して、ASV アプリケーション要求（パケット到達率 80%以上）をサービスエリア内の全域で満足する方式（MM-SA 方式）の見通しを得た。各種評価したシミュレーション結果に基づき、プロトタイプ機の方式設計、ハードウェア概略設計、動作確認を完了させ、また、本 MM-SA 方式が十分な性能をもつためのコア技術を整理した。シミュレーション評価では伝搬モデルの把握が重要であるため、レイトレース評価により周囲の構造物による反射の影響を解析し、MM-SA 方式の評価に反映した。レイトレース評価の一部は国内標準化会議に寄与文書として反映した。

また、MM-SA 方式の有効性を検証するため、CSMA ベースの3つの通信方式とシミュレーションによる比較評価を行い、MM-SA 方式はパケット到達遅延とパケット到達率に関し、CSMA ベース方式よりも有効に動作することを確認した。特に、パケット到達遅延に関しては、CSMA ベース方式が 50 ミリ秒以上であるのに対し、MM-SA 方式では 2~4 ミリ秒程度と極めて高レスポンスな特性が達成できることを確認した。

今後の予定として、シミュレーション評価については、今年度、ITS 情報通信システム推進会議で、見直しされている ASV アプリ要求条件下でのシミュレーション評価を実施し、また、700MHz 帯で実験ガイドラインの策定が進められているので、700MHz 帯についても念頭に入れておく必要がある。また、プロトタイプ試作評価については、出会い頭衝突防止時（見通し外環境）及び右折事故衝突防止時（見通し内環境）におけるフィールド評価、また、MM-SA デモンストレーションの実施を行なっていく予定である。

4-2 チャネル制御技術の研究開発【サブテーマ2】

4-2-1 研究開発内容

高レスポンスを実現した上で信頼性の高い通信を実現するためにはチャネルの使用条件の設定と送信制御が適切に行われる必要がある。このため、他の複数の端末から受ける干渉量(MAI)を考慮し、位置情報を用いて動的かつ自律的にチャネルの設定と送信制御を行うためのチャネル制御技術の研究開発をおこなう。またチャネル制御や中継転送等で不可欠となる、位置情報に基づく車両間の相対位置特定技術に関する研究開発を行う。さらに、安全にかかわるシステムに不可欠な要素である MM-SA 通信方式の信頼性を向上させるための制御方法についても検討・評価を加える。

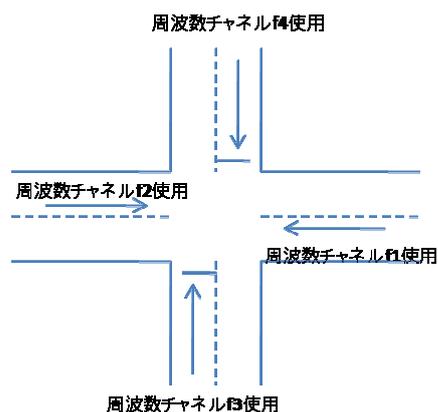
4-2-2 実施状況

(1) MM-SA チャネルアクセス技術

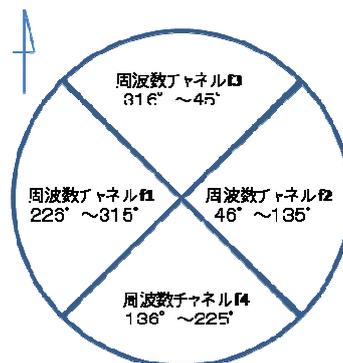
出会い頭衝突防止システムのシミュレーション結果で、優先車線、規制車線、上り車線、及び下り車線に対して、周波数チャネル制御を行うことの有効性について、既に述べた通りである(図イ(1-1)参照)。

車車間通信は、周辺車両とのブロードキャスト通信であり、周辺車両は時々刻々と変化していく。このような環境下で、各車両が自律的に、周波数チャネル制御を行い、また、時々刻々と変化する状況に対応するためには、ハードウェア実装を考慮すると、簡便なアルゴリズムであることが望ましい。そこで、本研究では、自車両の GPS 情報と周辺車両の GPS 情報によって、自律的に、かつ、簡便にチャネル制御が可能であるアルゴリズムの方式設計を行い、ハードウェア実装に向けて、ハードウェア概略仕様をまとめた。

本方式は、各車両が GPS 装置から得られる真北を基準(0度)とした進行方向情報を用い、図イ(1-2)に示す様に、車両の進行方向に合わせて周波数チャネルを割当てる。各車両は、自身の進行方向に応じて周波数チャネルを選択することで、進行方向が異なる対向車等の車両が使用する周波数チャネルと被ることなく選択することが可能となる。



図イ(1-1) 4周波数チャネル割当
ネル割当



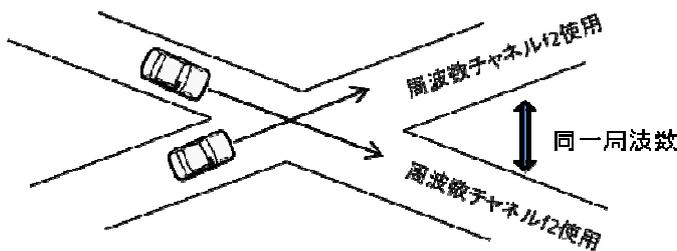
図イ(1-2) 基本状態での周波数チャ
ネル割当

しかし、図イ(1-3)に示す様な交差角度が鋭角の交差点があった場合、異なる車線を走行しているにも関わらず、同一周波数チャネルを選択する状況が考えられる。この時、互いに干渉し合うため、通信性能が劣化する可能性がある。このような状況に対しても、周波数チャネル制御を行うために、図イ(1-4)に示す様に、1周波数チャネル割当に相当するエ

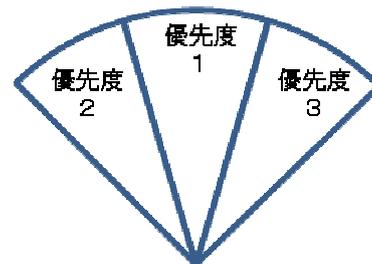
リア(90度)を更に3等分し、その3等分されたエリアに対して、優先度を設けている。このエリア分割には、後述の車両方向検知技術が用いられている。また、優先度1は優先度が一番高いエリアであり、優先度2は2番目に優先度の高いエリアである。異車線を走行状態でかつ同一周波数チャンネルを使用している状態は、相手車両の進行方向および受信パケットを受信した周波数チャンネルから、判別することが可能である。この状態を認識した車両は、自車両と相手車両の進行方向が図イ(1-4)のどのエリアに含まれているかを調べる。自車両の進行方向が相手車両の進行方向よりも優先度の高いエリアに含まれている場合は、周波数チャンネルの変更を行わない。逆に、相手車両よりも低い優先度エリアに含まれていた場合は、現在使用している周波数チャンネルを隣接エリアの周波数チャンネルへと変更する。例えば、図イ(1-2)中のf3を利用時で、自車両が優先度3エリアを向いていた場合は、隣接の周波数チャンネル(f2)へと変更を行う。

ASVアプリケーションに対するチャンネルアクセス制御方式は以下の様にまとめられる。

- ① 各車両が自車両のGPS情報に基づいて、自律的に周波数チャンネル制御を行う。
- ② 鋭角交差の交差点で、同一周波数チャンネルの使用を避けるために、進行方向角度に優先順位を設けることで、複数の車両が存在時には、どちらかの車両が周波数チャンネルを変更する。
- ③ 周辺車両情報テーブルを保持し、随時、更新を行なうことで、時々刻々と変化する状況を管理しておく。異車線かつ同一周波数チャンネルの状態か否かはこの周辺車両情報テーブルを用いて、判別を行う。



図イ(1-3) 交差角度が鋭角の交差点



図イ(1-4) チャンネル使用優先度を設けた周波数チャンネルエリア

(2) 車両方向位置特定技術とその応用

MM-SA方式のコア技術は

- ① 周波数チャンネル制御技術 (車両の進行方向情報により制御)
- ② 遠近問題を利用したSS通信技術
- ③ エリアベース転送技術
- ④ 送信タイミング制御技術 (直近の車両を特定して制御)
- ⑤ 伝達方向を考慮したカットスルー転送技術 (受信パケットの車両位置情報により制御)
- ⑥ 車両方向位置特定技術
- ⑦ ASVアプリケーションによる第1当事者車両の特定

が挙げられる。この様に、車両方向位置特定技術は、周波数チャンネル制御技術のほか、後述する送信タイミング制御技術及びカットスルー転送技術に応用されている。その利用範囲は広く、PHY層、MAC層及び⑦のようなアプリケーション層での利用が可能である。そのために、周辺車両情報管理を上位層で行い、各コア技術が必要とされる情報を各部へ取り出して、利用している。そのために要求されることは

- ・ 周辺車両情報管理として、各コア技術部が利用できる様に汎用性を持たせておくこと、

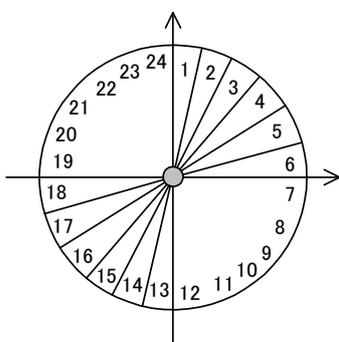
・ 各コア技術部が任意に必要な情報を取り込める様に、時々刻々と変化する周辺車両の情報に基づいて、更新されていること
 である。上記の要求を元に、方式設計を行い、ハードウェア概略仕様をまとめた。

ASV アプリケーションでは、絶対緯度・経度、真北方向を基準（0度）とした絶対進行方向の情報が ARIB RC-005（5.8GHz 帯車車間通信実験システム規格）では位置情報として LSDU（Link Service Data Unit）内に割当てられている。ASV アプリケーションでの要求車両台数は 88 台とされている。これだけの車両に対して、各制御を簡単な制御方式及び任意の時間に行うためには、他車両が自車両に対して前方、後方、または横方向のどちらに存在するのかという相対方向情報の方が重要であることが分かった。そこで、本方式では、度数単位ではなく、図イ(2-1)に示す様に自車両を中心としてエリア分割し、相手車両の存在エリアを特定することにした。

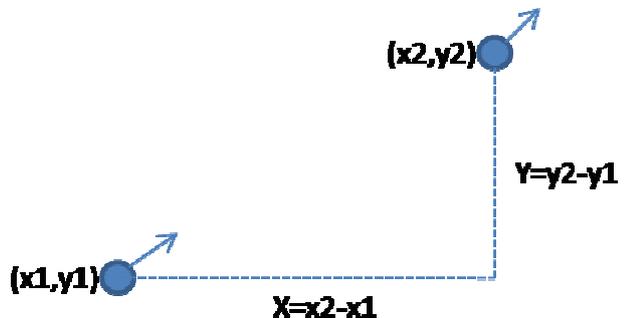
車両方向位置特定は、以下に示す 3つのステップで行われる。

- ・ ステップ 1：自車両および相手車両の緯度・経度情報を 10 進変換し、車両間の位置関係を算出する（図イ(2-2)参照）。図イ(2-2)中の矢印は、車両の進行方向を表している。
- ・ ステップ 2では、ステップ 1で求めた(x, y)の大小関係を比較して、自車両を中心とした 2次元座標系のどの象限に相手車両がいるかを求める（図イ(2-3)参照）。
- ・ ステップ 3では、ステップ 2で得られた 90 度単位での方向エリアをさらに細分化する。ここでは、図イ(2-3)に示した 90 度の分割エリアを 6つの詳細エリア（15 度単位）に分割する。詳細エリアの確定は、 y/x を計算することで求められる。最後に、ステップ 2とステップ 3の結果を組み合わせることで、相手車両の存在エリアを特定することができる。（図イ(2-4)）

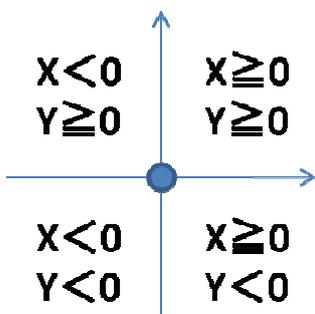
以上の通り、本方式は、四則演算と大小関係の比較演算のみで方向位置を特定することが可能である。



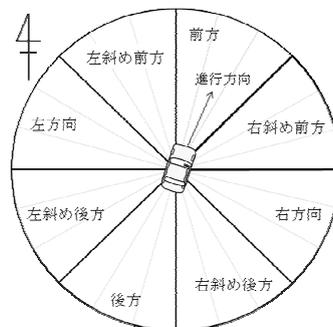
図イ(2-1) 方向エリア番号



図イ(2-2) 車両方向位置特定 ステップ 2



図イ(2-3) 各象限における X、Y の大小関係



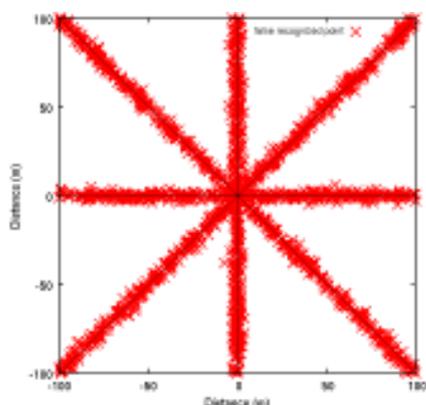
図イ(2-4) 進行方向に基づく相対エリア

上述の通り、本方式は GPS 装置により取得した位置情報を利用するが、その位置情報に

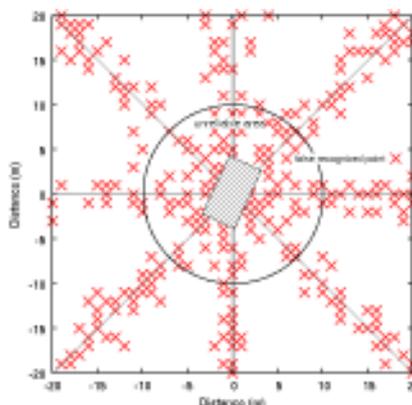
は誤差が含まれる。そこで、誤差を含んだ位置情報が本方式に対して与える影響についてシミュレーション評価を行った。シミュレーションでは、GPS の誤差モデルとして 2 次元正規分布を用い、表イ(1-1)に示すシミュレーション条件を用いた。2DRMS (Distance Root Mean Square) は、GPS の精度に関する基準であり、正確な位置から 2DRMS を半径とする円内に誤差を含む位置情報の 95%が含まれる。すなわち、2DRMS が 5m の場合、誤差を含む位置情報の 95%が半径 5m の円内に収まることになる。今回、2DRMS を 5m としたのは、MM-SA 方式の試作機において使用を予定している GPS 装置の精度が 5m 程度となっているためである。

表イ(1-1) シミュレーション条件

| パラメータ | 値 |
|--------------|------------|
| シミュレーションエリア | 200m 四方 |
| サンプリング間隔 | 1m |
| 自車両位置 | 原点 (誤差含まず) |
| 相手車両誤差 | 2 次元正規分布 |
| 2DRMS (誤差基準) | 5m |

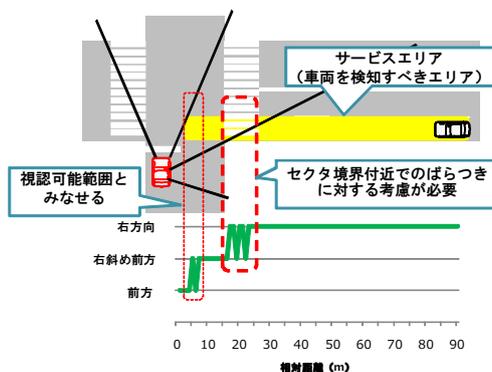


図イ(2-5) 評価結果 (200m 四方)



図イ(2-6) 評価結果 (20m 四方)

シミュレーション結果を図イ(2-5)および図イ(2-6)に示す。図中の赤くプロットされている点は、本来存在するエリアと本方式で算出エリアが異なる結果となった位置を表している。これらの結果から、誤差の影響はエリアの境界付近に集中し、それ以外の部分への影響がないことが確認された。ただし、自車両の近辺では、エリア間の距離が短くなるため誤差の影響が大きくなる。特に、自車両から誤差基準の 2 倍の距離内では、周辺車両が存在するエリアを正しく認識することが困難になると考えられる。また、この特性が表れる自車両からの距離は、2DRMS の 2 倍になることが確認できた。



図イ(2-7) 本方式による出会い頭時の車両検知結果

図イ(2-7)は、ASV アプリケーションの1つである出会い頭時衝突防止アプリケーションを想定し、本方式でサービスエリア上に存在する車両の位置がどのように認識されるかを表したものである。ASV アプリケーションでは、図中右側の車両(第2当事者車両)の存在を図中左側の赤い車両(第1当事者車両)が認識する必要がある。このアプリケーションでは、サービスエリアは交差点中央から右方向へ90mまでの範囲であり、第1当事者車両は交差点手前9mの位置に停止しているものとする。右方向から第2当事者車両が接近してくると、その移動に応じて図イ(2-7)下部のグラフの通り当該車両の相対エリアが遷移する。図中の赤い点線で囲まれた部分では、GPS 誤差の影響により、相対エリアの誤認が発生している。例えば、相対距離20m付近では、右方向エリアと右斜め前方エリア間で誤認が発生している。同様の現象は上述した誤差の影響が大きい5~10m付近でも見られるが、道路幅を考慮すると視認可能な範囲であることからASV アプリケーション実現の上では特に問題ないと考えられる。

誤差の影響による誤認は、セクタの境界とサービスエリアとの交点付近で発生する。また、隣接エリア以外のエリアと誤認することはない。来年度は、このような特性に着目し、誤差の影響を考慮して本方式を拡張していく予定である。

(3) MM-SA 通信の信頼性向上の検討

MM-SA の信頼性を向上するための手法として、平成20年度では、車両の位置移動予測による配信オーバーヘッド低減技術と複数の経路による転送を活用したパケットロス率の低減技術について提案・検討を行った。

① 位置移動予測による効率的情報配布方式

車車間通信ネットワークでは、安全を確保するため、各車両は周期的に(100ミリ程度)自車の位置情報をブロードキャスト方式で周囲車両に知らせる。この場合、位置情報は車両の動きに応じてリアルタイムに更新されることとなる反面、オーバーヘッドも多く通信量を増大させる。このため、端末数が増大してくると、干渉や衝突によってパケット到達率が低下させる要因にもなる。しかし、位置情報配信の頻度を低下させれば、車両の移動にともなって位置精度に誤差を生ずる。したがって、位置情報精度を確保しながら、配信する情報量を減らし、オーバーヘッドを低減する必要がある。このため、位置移動予測の手法を導入する。

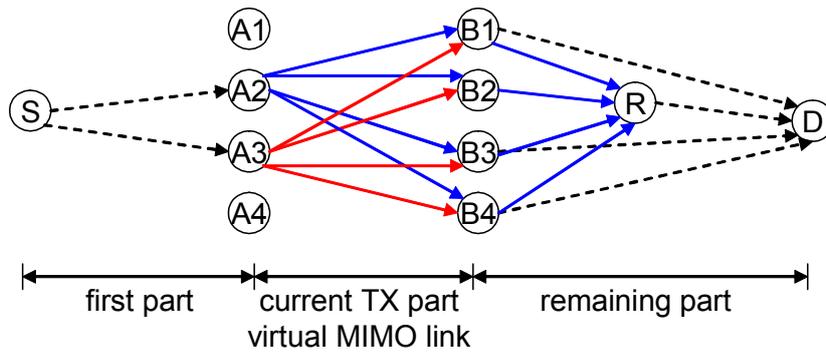
各車両はT時間ごとにGPS装置から自車の位置を取得し、ジャイロと車速パルスによって自車の移動方向と速度の情報を得ることができる。この位置情報を送信するか否かを、各車両は、下記の手順に従って決定する。

- (i) 前回自車の位置情報を送信してからすでに $N \times T$ 時間(Nはある整数)が経過した場合、現在の位置情報を送り、同時に保存する。
- (ii) 前回送った位置情報を用いて予測した自車の位置と現在における実際の自車の位置の誤差が一定の閾値を上回る場合、現在の位置情報を送り、同時に保存する。
- (iii) 以上のいずれにも該当しない場合、自車の位置情報を送信しない。

各車は、同じ予測手法を用いて、自車の位置と周辺車両の位置を予測する。ある車両が、自車の位置を予測して位置情報メッセージの配信を止めた場合、他車はその車の位置情報の履歴により予測した位置を使用する。この方法により、位置情報精度を維持したまま、配信パケットのオーバーヘッドの低減が可能になる。

② 複数の経路による転送を活用したパケット誤り率の低減技術

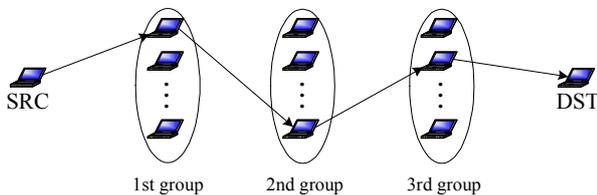
マルチホップ通信におけるパケット誤り率(PER)を減らすための方法として、パスダイバーシチを利用する適応協調型選択転送(Opportunistic Cooperation and Selective Forwarding : OCSF)という手法を検討した。



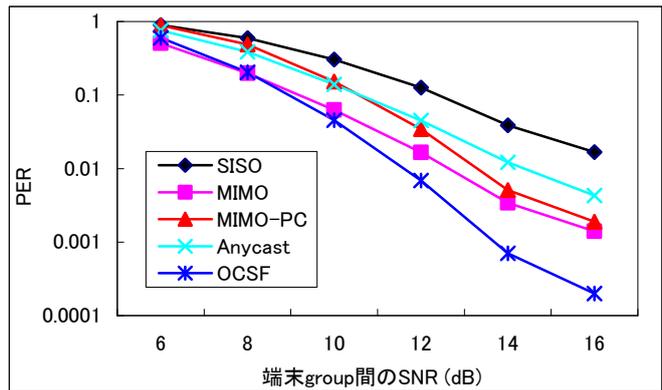
図イ (3-2-1) Multi-hop 送信モデル

図イ (3-2-1)は提案手法におけるマルチホップ送信モデルを示している。ここでパケットが S から D へ送信され、すでに A2 に届いたとする。A2 から D への中継端末として、B2 のほかに、B1、B3、B4 も選択することが可能である。また、無線チャネルのブロードキャスト特性によって、経路上での転送候補端末は A2 のみではなく、A2 の近傍で転送パケットを受信した端末（たとえば A3）も転送端末候補として考えられる。そして、A2-B2 リンク上でパケットを送信する代わりに、他の経路を使えば、フェージング（または干渉）による品質劣化を回避できる可能性がある。端末 A2、A3 を送信グループ (A)、端末 B1、B2、B3、B4 を転送グループ (B) とし、パケットは、送信グループ (A) から転送グループ (B) を経由して、送信先 (D) へ送信されるものとする。具体的には、A2 がマルチキャスト送信要求 (RTS) を送信し、転送グループにおける端末群はそれを受信すると、自端末と A2 との間の受信 SNR と D への経路のコストを考慮しながら、競争的に一つの端末が post-selected forwarder として選択される。post-selected forwarder はマルチキャスト受信準備完了 (CTS) を送信し、送信グループに属する端末群は、CTS の受信 SNR に従って競争的に DATA を転送する。

図イ (3-2-2)に示すトポロジーを用いてシミュレーションによる比較評価を行った。SISO（一入力一出力）、MIMO（仮想多入力他出力）、MIMO-PC（電力拘束付き MIMO）、Anycast（複数の転送先を用意してリンク品質に応じて一つの転送端末を選ぶ手法）を比較対象とした。図イ (3-2-3)に示すように、提案手法 (OCSF) は優れた PER 性能を示すことが確認できた。



図イ (3-2-2) Multi-hop 送信モデル



図イ (3-2-3) パケット誤り率

4-2-3 実施計画に対する達成状況

MM-SA 方式において他の複数の端末により受ける干渉量 (MAI) を解析することにより、車車間通信への適用を想定した場合にもっとも干渉が少なくパケット衝突確率を低減できる周波数チャネル制御アルゴリズムの研究を進めるとともに、ほぼすべてのコア技術の実

現に必須となる車両方向位置特定アルゴリズムについての基礎検討を完了させた。また、MM-SA 通信の信頼性を向上するための手法として、車両の位置移動予測に基づく効率的情報配布方式、および複数の端末の中から競争的に中継端末を選択して無線回線の信頼性を向上するパケット誤り率低減技術について提案し、その有効性を検証した。その結果、従来方式と比較して10分の1以上のパケット誤り率改善が可能であることを確認した。

今後は、現実の道路環境等を想定した様々な状況まで条件を拡張し、

- ・周波数切り替えを行う境界部分における周波数制御方法
 - －境界部分を走行することでチャンネル切り替えが頻繁に発生する状況への対応
- ・位置情報に誤差がある場合の車両方向位置特定方法
 - －サービスエリアとエリア境界に対する対応

について検討を行い、特性評価を実施する予定である。

4-3 中継パケット高速転送技術の研究開発【サブテーマ3】

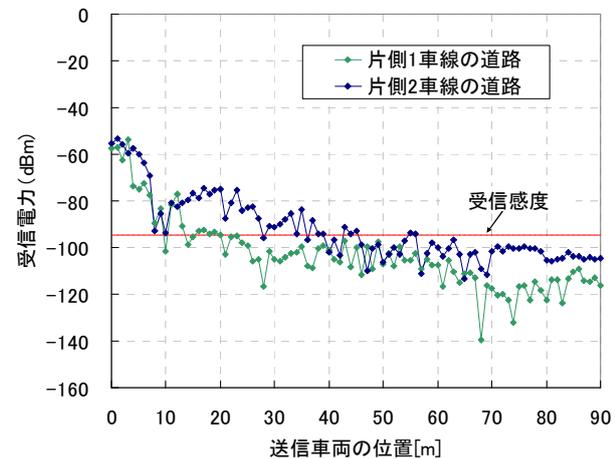
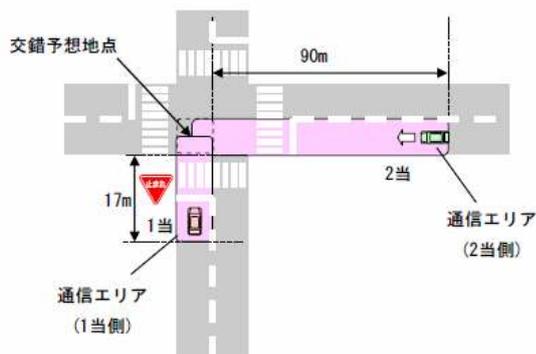
4-3-1 研究開発内容

チャンネル構成・制御技術で送受信における待ち時間が排除された場合でも、中継パケットの転送自体によって通信トラフィックが急増してパケット衝突が増大すると、システムとしての低遅延化は実現できない。このため、冗長な転送を排除し通信トラフィックの急増を避けるとともに、転送パケット同志の衝突を避ける高速な転送方法、および急ブレーキ情報等の極めて緊急性の高いパケットを通常のパケットに優先して高速で転送処理するカットスルー転送技術について研究開発を行う。

4-3-2 実施状況

(1) MM-SA パケット転送技術

安全運転支援を目的とする車車間通信技術において、交通事故件数の高い出会い頭衝突防止、右折時衝突防止が重要なターゲットアプリケーションである(図ウ(1-1))。出会い頭衝突防止のためには、優先車線を走行している車両(2当)の位置情報を規制車線で停止している車両(1当)に正しく伝える必要がある。この際、1当のドライバーが2当の存在を把握してから適切な対応ができるまでの時間制約により、送信車両(2当)および受信車両(1当)に関して通信エリアが規定され、該当通信エリアのどの位置においてもパケット到達率が80%以上の高信頼を有する位置情報の提供が要求される。しかし、車線幅3メートルの道路が交差する交差点において、送信車両からの信号が受信車両で受信される電力は建物等による反射を考慮すると図ウ(1-2)に示すようになる。ここで、横軸は送信車両の位置(交差点中心からの距離)である。尚、赤線はMM-SAシステムの受信感度(拡散率7の場合)である。同図が示すように、片側1車線道路の場合、送信車両の位置が20メートルの地点以降に、片側2車線道路の場合送信車両の位置が40メートルの地点以降において受信電力が受信感度を下回っており、明らかに送受信車両間で直接通信が不可能である。そこで、このような状況においても位置情報の配布が正しく行われるように、MM-SA パケット転送技術を検討した。



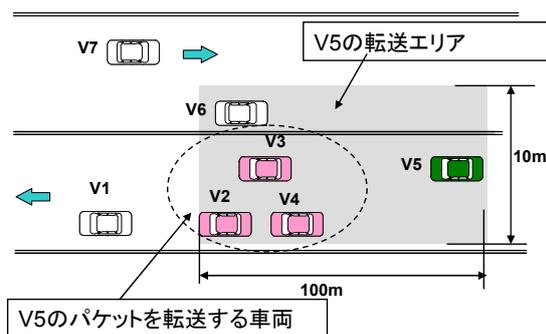
図ウ(1-1) 出会い頭衝突防止シナリオ

図ウ(1-2) 1当車における受信電力

① エリアベース転送機能

位置情報パケットはブロードキャストパケットであるため、そのマルチホップ転送は複数の車両によって転送されることとなる。一般的にこのようなパケット転送はネットワークに大量の干渉を与え、通信の信頼性を悪化させる恐れがある。そこで、必要とされるエリアでのみ位置情報の配布が行われるエリアベース転送機能を検討した。エリアベース転送方式において、任意の車両の位置情報パケットは、その車両の位置に基づいて設定され

た転送エリア（例えば前方 100 メートル、横 10 メートル）に位置する車両によってのみ転送される。さらに、転送条件として、車両の移動方向を考慮する条件も加えられた。図ウ(1-1-1)に転送エリアと車両の移動方向に基づいた転送車両の特定様子を表す。同図におけるパケット転送条件は、転送エリアが送信車両の前方 100 メートル、横 10 メートルとし、さらに転送車両は送信車両と同一進行方向であるという条件が加えられた場合である。同図が示すように、車両 V1、V7 は転送エリア外に位置するため、車両 V5 のパケットを転送しない。また、車両 V6 は転送エリア内に位置するが、移動方向が車両 V5 の移動方向と異なるため車両 V5 のパケットを転送しない。従って、転送条件を全て満足する車両 V2～V4 が送信車両 V5 のパケットを転送することになる。



図ウ(1-1-1) エリアベース転送方式

② 重複パケットおよび古いパケットの廃棄機能

位置情報パケットの転送において、任意の車両は同一の情報を複数回受信する可能性がある。例えば、図ウ(1-1-1)において、車両 V2 は車両 V3 と車両 V4 から車両 V5 の位置情報を受信する。この場合、車両 V2 はこれらのパケットを全て転送するとネットワークに不必要な干渉を与えることとなる。そこで、本転送方式において、パケットを重複して転送しないように、重複パケットの破棄機能を導入する。

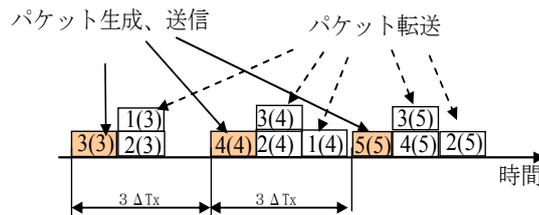
さらに、位置情報の信頼性の確保のため、位置情報の配布における遅延は 100 ミリ秒以下であることが要求されている。そこで、本転送方式において、生成されてから一定時間以上（たとえば 100 ミリ秒以上）経過した位置情報は転送しないよう、古いパケットの廃棄機能を導入する。

③ 送信タイミング制御機能

MM-SA システムは複数の車両が同時にパケットを送信することを許すため、自己干渉および遠近問題にその性能が大きく左右される。例えば、図ウ(1-1-1)において、車両 V5 がパケットを送信する同時間帯で車両 V3 もパケットを送信する場合、車両 V3 は自己干渉により車両①のパケットを正しく受信できない。更に、車両 V2 と V4 は車両 V5 に比べてより近い車両 V3 からの干渉により車両 V5 のパケットを正しく受信できない可能性がある。この場合、車両 V2～V4 のいずれも車両 V5 の位置情報を受信できないため、車両 V5 のパケットが配布されない。上記から分かるように、MM-SA 通信において自己干渉、遠近問題により、近い車両によるパケット転送が成功しなければ、遠い車両によるパケット転送は成功しない。そこで、近隣車両同士間でのパケットの送受信が正しく行われるように、タイミング制御機能を導入する。具体的には、任意の車両は、その直前の車両における位置情報の生成、送信タイミングより $C \times \Delta T_x$ 時間後に自身の位置情報を生成、送信する。ここで、 C は 2 以上の定数であり、 ΔT_x はシステム内の処理時間を含んだパケットの送信時間

である。例えば、 C を 3、 ΔT_x を 2 ミリ秒とすると、各車両が 100 ミリ秒周期で位置情報を生成、送信する車車間ネットワークにおいて、約 16 台 (=100/(3×2)) おきに同時に位置情報パケットを生成、送信する車両が位置することになり、近い車両同士が同時にパケットを生成、送信する問題が解決される。

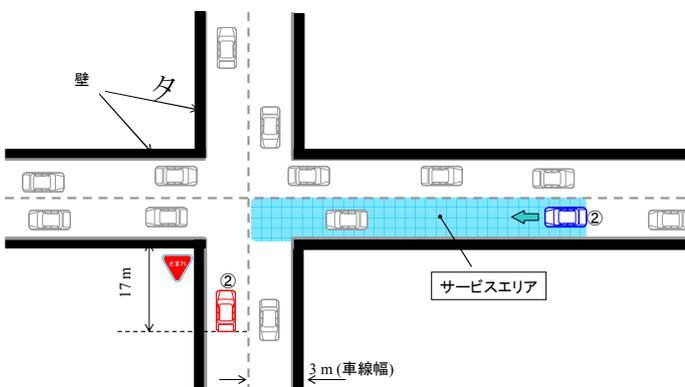
以上が位置情報の送信タイミングの制御機能である。図ウ(1-3-1)は、図ウ(1-1-1)シナリオにおける係数 C を 3 とした場合の送信タイミング制御の様子を示す。ここで、括弧内の番号はパケットを生成した車両の番号、括弧外の番号はパケットを送信した車両の番号を示す。同図が示すように、車両 V3 がパケット生成した時刻から $3 \times \Delta T_x$ 後にその直後の車両 V4 がパケットを生成、送信する。一方、パケットの転送はパケットを受信したら直ちに行われる。



図ウ(1-3-1) タイミング制御

④ MM-SA 転送方式の性能評価

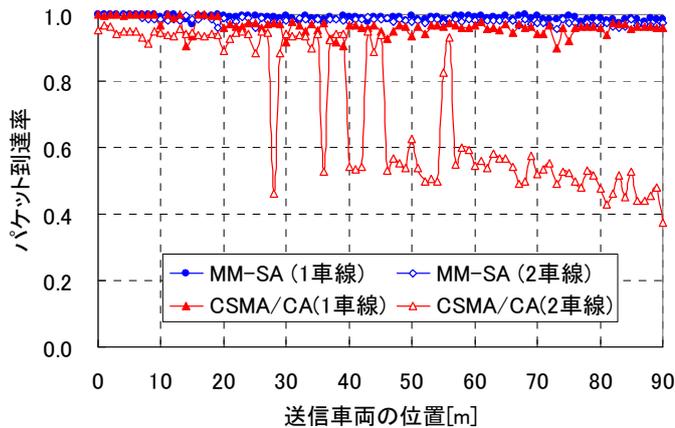
道路が片側 1 車線か 2 車線かによって道路上の車両台数に差が出る。ここでは、片側 1 車線か 2 車線かによって、転送方式の性能にどのような影響があるかを評価した。図ウ(1-4-1)に示すネットワークトポロジーを対象に、MM-SA 転送方式と CSMA/CA 転送方式の性能を比較した。CSMA/CA 転送方式は、チャンネルアクセスが CSMA/CA 方式で行われ、パケット転送は①のエリアベース転送機能と②の重複パケットおよび古いパケットの廃棄機能に基づいて行われるものである。転送条件は図ウ(1-3-1)で示す場合と同様であり、送信タイミング制御における係数 C は 3 である。その他のシミュレーションパラメータを表ウ(1-4-1)に示す。また、本シミュレーションにおいて、車両の移動方向に基づく周波数チャンネル割当手法を採用している。図ウ(1-4-2)と図ウ(1-4-3)は、片側 1 車線および片側 2 車線の道路において、車両②のパケットが車両①で到達するパケット到達率と到達遅延時間の結果を示す。



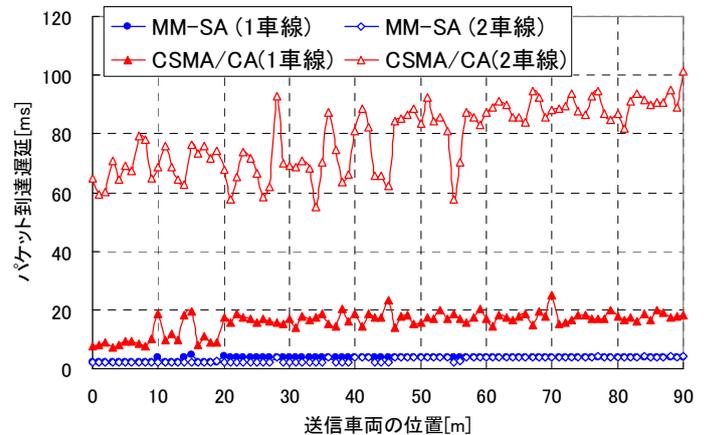
表ウ(1-4-1) シミュレーションパラメータ

| | |
|-----------|-----------|
| 道路長 | 540m |
| 車線数 | 片側 1、2 車線 |
| 車両台数 | 88、176 |
| 車両速度 | 70km/h |
| 拡散率 | 7 |
| 周波数チャンネル数 | 4 |
| パケットサイズ | 1112 bit |
| 送信間隔 | 100 ms |

図ウ(1-4-1) シミュレーショントポロジー



図ウ(1-4-2) パケット到達率



図ウ(1-4-3) パケット到達遅延

シミュレーション結果から、CSMA/CA 方式は車両台数の増加に伴いパケット到達率および遅延特性が悪化する。いっぽう、MM-SA パケット転送方式は車両台数の増加に関わらず、優れたパケット到達率および遅延特性を示し、ASV アプリケーション要求を十分に満足することが分かった。

(2) カットスルー転送技術

カットスルー転送技術は、急ブレーキ情報等の高速転送を必要とする緊急パケットの転送処理を MAC 層に上げることなく物理層で閉じて行うことで、転送遅延を削減することを目的としている。今年度は、カットスルー転送機能を試作機で実現するために、以下に挙げる方式の策定とハードウェア概略仕様書への盛り込みを行った。

1. カットスルー転送制御方式
2. 連続送信および定期パケット抑制方式

① カットスルー転送制御方式

カットスルー転送処理は、物理層で閉じた処理を行い、かつ転送制御に必要な部分のみをデコードするため、カットスルー転送制御専用のヘッダが必要である。そこで、MM-SA 方式で使用するパケットフォーマットを図ウ(2-1-1)のように定義し、カットスルー転送制御情報を持つカットスルーヘッダを表ウ(2-1-1)に示す様に設計した。CRC_A、CRC_B、CRC_C は、それぞれ同じ色をしたブロックの誤り検出符号である。なお、カットスルーヘッダの伝達方向は、緊急パケットを伝達すべき方向を指定するための要素であり、方向を指定することでトラフィックを抑制する効果がある。



図ウ(2-1-1) パケットフォーマット

表ウ(2-1-1) カットスルーヘッダの構成

| ヘッダ要素 | 意味 |
|------------|--------------------------|
| 緊急パケットフラグ | “ON”：緊急パケット “OFF”：定期パケット |
| 送信元車両識別 ID | 送信元車両の車両 ID |
| 中継車両識別 ID | 中継を行った車両の識別 ID |
| 伝達方向 | 緊急パケットを伝達する方向 |
| 生存期間 | ホップ数の最大値 |
| シーケンス番号 | 緊急パケットに新規に割り当てられる番号 |

パケットを受信すると、初めにカットスルーヘッダをデコード処理し、CRC チェックを行う。ヘッダ以降の部分は、一時記憶用バッファに保存される。ヘッダに誤りが検出されなければ、緊急パケットフラグでパケットの種別を確認する。受信パケットが緊急パケットであった場合、ヘッダの残り要素と表ウ(2-1-2)に示すカットスルーテーブルを用いて転送の要否を確認する。カットスルーテーブルは、車両識別 ID、シーケンス番号および相対方向で構成されている。車両識別 ID とその相対方向(自車両から見た相手車両の相対位置方向)は、上述の定期パケット処理部において作成・管理される周辺車両情報テーブルを基に作成している。ここでのシーケンス番号は、カットスルーヘッダ内のシーケンス番号である。シーケンス番号には、最後に受信した緊急パケットのシーケンス番号あるいは’ 0 ’ が入る。’ 0 ’ は、周辺車両情報テーブルに記載された車両であるが、緊急パケットを受信した実績がないことを意味している。カットスルーテーブル内で、1 車両分の情報をエントリと呼ぶ。

表ウ(2-1-2) カットスルーテーブルの構成とその例

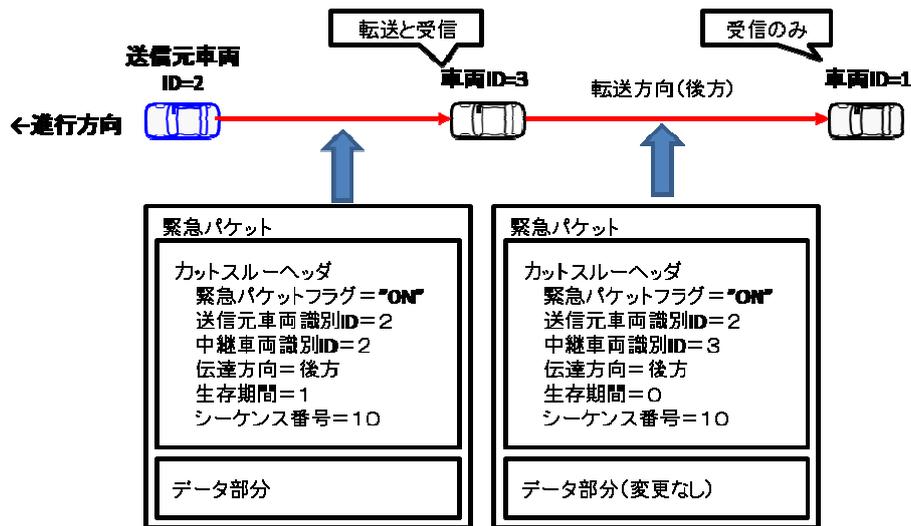
| 車両識別 ID | シーケンス番号 | 相対方向 |
|---------|---------|------|
| 2 | 9 | 前方 |
| 1 | 0 | 後方 |

転送要否の判断は、次の 3 つの条件で行う。

1. 送信元車両識別 ID と一致するエントリの相対方向とカットスルーヘッダの伝達方向が合致する。
2. エントリのシーケンス番号が 0 もしくはカットスルーヘッダのシーケンス番号よりも小さい。
3. カットスルーヘッダの生存期間が 1 以上である。

3 つの条件を全て満たしていた場合、該当緊急パケットは転送の対象となり、それ以外は破棄が行われる。ただし、3. の生存期間に関しては、値が’ 0 ’ の時に限り、破棄をせずに受信処理のみが行われる。

該当パケットの転送を行う際は、中継車両識別 ID を自車両の車両識別 ID に変更し、生存期間を 1 減算してカットスルーヘッダを更新する。その後、変更したカットスルーヘッダをエンコードして新たな CRC_A を付加し、一時記憶バッファに保存していた後続部分と結合し、送信する。



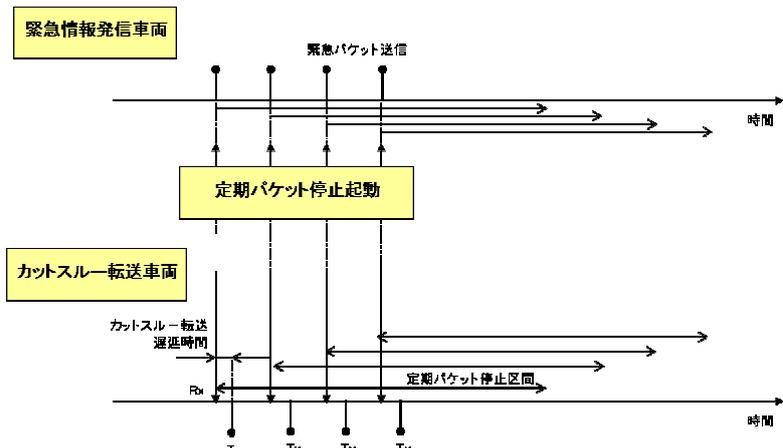
図ウ(2-1-2) カットスルー転送の動作例

図ウ(2-1-2)は、カットスルー転送の動作例である。中央に位置する車両3は、表ウ(2-1-2)のカットスルーテーブルを持つものとする。送信元車両は、緊急状態を検知すると、緊急パケットを作成し送信する。図ウ(2-1-2)の例では、後方に位置する車両へ送信するため、カットスルーヘッダの内容は、＜緊急パケットフラグ=ON、送信元車両識別 ID=2、中継車両識別 ID=2、伝達方向=後方、生存期間=2、シーケンス番号=9＞となっている。図ウ(2-1-2)中央の車両(車両 ID=3)は、受信パケットの緊急パケットフラグが ON であるため、カットスルー転送処理を開始する。送信元車両識別 ID=2 に相当するカットスルーテーブルのエントリでは、シーケンス番号=10、相対方向=前方となっている。相対方向=前方とは、送信元車両よりも当該車両が後方に位置することになるため、伝達方向と一致する。また、カットスルーテーブルのシーケンス番号よりも大きなシーケンス番号を持つパケットであり、生存期間も1であることから、転送すべきであると判断する。そこで、当該車両は、中継車両識別 ID を自車両 ID に変更し、生存期間を1減算した0に変更し、緊急パケットの再構築を行ったのち転送を行う。転送されたパケットを受信した車両(車両 ID=1)は、同様の判断を行う。このとき、生存期間が0であることから、転送処理を行わず、受信処理のみを行う。

② 連続送信および定期パケット抑制方式

ASV アプリケーションでアプリ要求を満たすための車両台数は88台、定期パケットの送信間隔は走行速度によっても異なるが、最短で100msと規定されている。また、MM-SA方式では、上り車線・下り車線毎に周波数チャンネルを割り当てているため、同一車線上を走行する周辺車両間では定期パケットと緊急パケットの両方で同じ周波数チャンネルを使用することになり、定期パケットと転送パケットの混在が予想される。そこで、定期パケットが干渉源となることを抑制するために、緊急パケットの連続送信と、緊急パケット送受信時に定期パケットの一時停止を行うことで、緊急パケットのパケット到着率を改善する方式を検討した。

連続送信は、同一パケットを一定時間間隔で複数回送信することで、パケットの到着率を改善する。送信回数が多いほどその効果は大きい。定期パケット抑制方式は、緊急パケットの送信するときと受信したときにおいて、一定期間定期パケットの送信および転送を停止することで定期パケットによる干渉を抑制する。図ウ(2-2-1)にその概念図を示す。

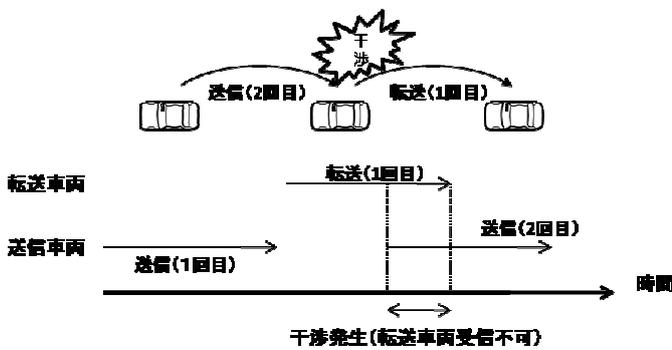


図ウ(2-2-1) 緊急情報の連続送信

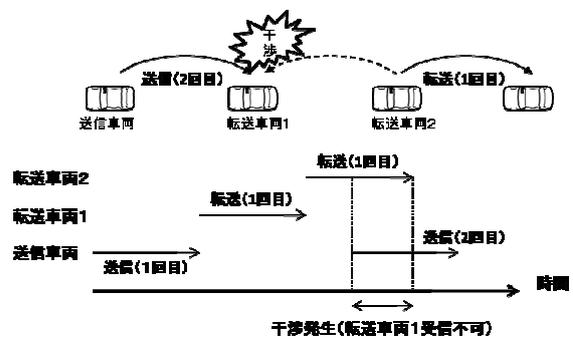
ここで、パケット到着率を向上させるために連続送信回数を増やすことが望ましいが、それによって定期パケットの停止時間が増加するという問題がある。また、連続送信の時間間隔を短くした場合、隣接車両による転送と干渉を起こし、2回目以降に送信した緊急パケットがエラーになる可能性が高い(図ウ(2-2-2)、図ウ(2-2-3)参照)。

MM-SA方式では、パケット衝突が発生しても、遠近問題をうまく利用しているため、受信電力の高い方のパケット受信が可能である。したがって、図ウ(2-2-3)の転送車両2が転送を終えた後であれば、連続送信が可能である。このことを考慮すると、エアタイム X ms、転送遅延 Y msとした場合、最短で連続送信間隔は $Z (\geq 3X+2Y)$ ms となり、非常に短い間隔での連続送信が可能である。

今後、シミュレーション評価および試作機を用いた実験を行い、適切な値について検証する予定である。



図ウ(2-2-2) 転送と再送信が被ることによる干渉例



図ウ(2-2-3) 転送が干渉波として影響する例

4-3-3 実施計画に対する達成状況

定期パケットの転送を目的とするエリアベース転送方式と送信タイミング制御方式を検討し、基本アルゴリズムを確定した。さらに、片側1車線と片側2車線の交差点モデルを想定したシミュレーションを行い、MM-SA方式におけるエリアベース転送方式および送信タイミング制御方式の動作を評価した結果、車線数すなわち車両台数が88台から176台に増えた場合の packets 到達率と到達遅延の劣化は、ほとんどないことを確認した。転送方式についての検討結果の一部は国内標準化会議の寄与文書として反映した。今後、より厳

しい条件を与えた場合でも ASV アプリケーション要求を満足できるかについて評価する予定である。

カットスルー転送技術では、高速転送に必要となるカットスルーヘッダの設計を行った。また、転送時に想定される定期パケットとの衝突を回避しパケット到達率を向上させる手段として、緊急パケットの連続送信技術と定期パケット抑制方式を考案した。現在、シミュレーションにより 3 台までの干渉に耐えうることを確認しており、今後は緊急パケット連続送信技術及び定期パケット抑制方式による効果について、シミュレーション評価を行う予定である。

4-4 アーキテクチャとシステム化技術の研究開発【サブテーマ4】

4-4-1 研究開発内容

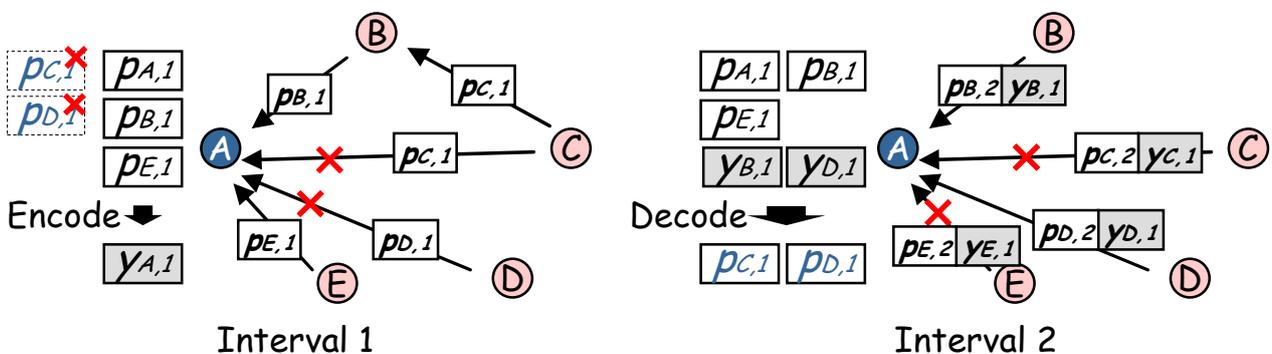
MM-SA システムを、高レスポンス性を達成する統合無線通信システムとして実現するためには、車車間通信アプリケーションのみではなく、次世代ゲーム機やVoIP通信など、他のリアルタイムアプリケーションも提供する必要がある。本サブテーマは様々なリアルタイムアプリケーションを提供するための基本アーキテクチャであるメッシュネットワークアーキテクチャを想定し、システム化に向けて必要となる技術の研究開発を行う。

4-4-2 実施状況

(1) ネットワークコーディングを用いたリアルタイムブロードキャスト方式

携帯型ゲーム機のアドホック通信機能を用いて、複数人で同時に対戦ゲームを行う場合、一度のフレーム伝送で複数端末に同時にデータを配信することが可能な、無線ブロードキャスト通信を適用することが効率的である。しかし、802.11に代表されるMACプロトコルの多くはブロードキャストに対する再送のメカニズムがないため、信頼性の高いブロードキャスト通信が困難である。また、対戦ゲームのようなリアルタイム通信ではパケット到達の遅延時間に大きな制限があり、この制限の中で信頼性の高い通信を実現する必要がある。

考案方式は、リアルタイム通信が定期的にパケットを送信するという特徴を利用し、ネットワークコーディングを行なう。各端末では、他の端末から送信され、シーケンス番号を同じくするゲームのパケットの中から、受信が成功したものに対して、符号化処理を行いひとつの符号化パケットを生成する。生成された符号化パケットは、次のシーケンスのゲームパケットを送信する際に、ゲームパケットの後方に結合し、共に送信する。各端末は、受信した複数の符号化パケットを復号することで、前のシーケンスで受信に失敗したパケットを取得することができる。図エ(1-1)に考案方式の概容を示す。この場合、端末Aではシーケンス番号1の送信パケットおよび受信に成功したパケット ($p_{A,1}$, $p_{B,1}$, $p_{E,1}$) からガロア体上の線形演算により、ひとつの符号化パケット $y_{A,1}$ を生成する。同様の処理を他の端末でも行う。この生成した符号化パケットを次のシーケンス番号を持つゲームパケットの後方に結合し、送信する。この時、端末Aは $y_{B,1}$ および $y_{D,1}$ を受信成功したとする。この $y_{B,1}$ には端末Aには未到達の $p_{C,1}$ の情報が、 $y_{D,1}$ には $p_{D,1}$ の情報がそれぞれ含まれており、端末Aはこの符号化パケットを復号することで、未到達パケット $p_{C,1}$, $p_{D,1}$ を取得することができる。考案方式では、各端末がパケット中継を行う役割を担うことで、複数の中継経路から冗長にパケットを受信することができるルートダイバシチ効果を得られつつも、符号化を行わない中継方式と比較し、無駄な中継パケットは発生しない。



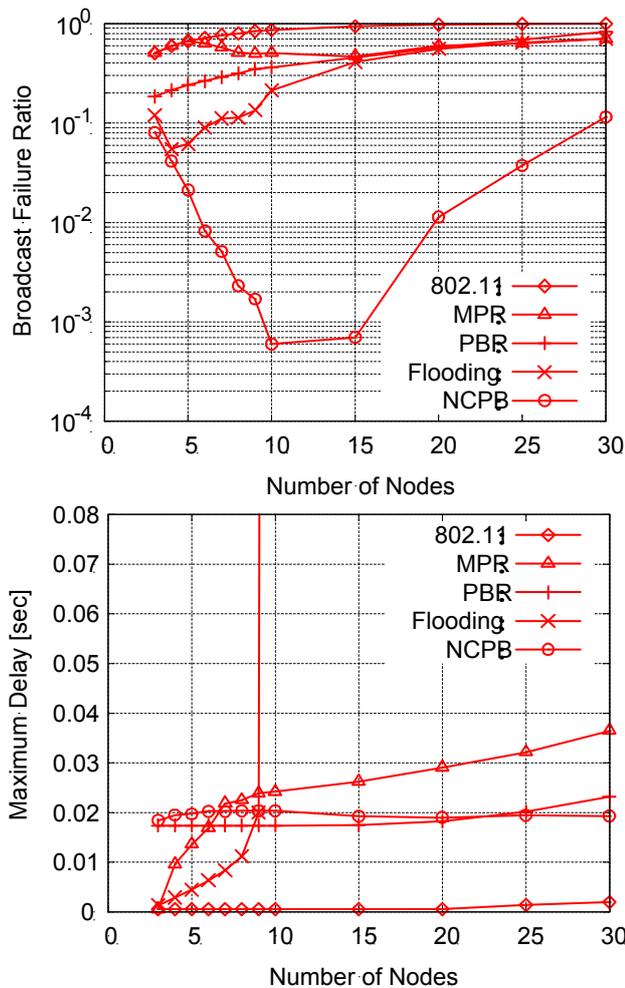
図エ(1-1). 考案方式における符号化・復号処理の概要

シミュレーション評価に用いたパラメータを表エ(1-1)、シミュレーション評価の結果

(ブロードキャスト不成功率およびパケット遅延)を図エ(1-2)に示す。ひとつひとつのゲームパケットに対し、全ての端末に対して配信された場合のみを成功、ひとつの端末に対してでも配信されなかった場合を不成功とし、端末ごとのブロードキャスト不正効率を測定した。提案方式の比較対象として、中継・再送を行わない方式(802.11)、ソース端末による再送方式(PBR)、すべての端末が中継を行う方式(Flooding)、および、トポロジ情報から最小限となる中継端末を指定する方式(MPR)についても評価を行なった。ソース端末による再送(PBR)では、状態の悪いリンクを補うことができないため、低い不成功率を達成できない結果となった。一方、Floodingでは中継が行われることで悪リンクが補われ、また複数の端末が中継を行うことで、冗長にパケットが配信されるため、考案方式に次ぐ、低いブロードキャスト不成功率を達成する結果となった。しかし、Floodingでは端末数が増加するに従い、中継パケット数が爆発的に増加し輻輳が発生するため、低いブロードキャスト不成功率を維持できない。一方、考案方式では、冗長性を維持しながらも中継パケットの爆発的な増加が起こらないため、端末数の増加に対しても低いブロードキャスト不成功率を維持し、端末数が25以下である全ての場合において 10^{-1} 以下のブロードキャスト不成功率を達成する結果となった。アプリケーションレイヤにおける遅延時間に関しては、802.11が最も低い到達遅延を達成しているが、この方式では高いパケット到達率は達成できない。一方、Floodingは先述の輻輳により、10端末付近から急激に遅延時間が大きく増加する。考案方式はMPRより低く、PBRと同等の遅延時間を達成しており、かつそれらの方式よりも低いブロードキャスト不成功率を達成する結果となった。

表エ(1-1) シミュレーションパラメータ

| Simulator | QualNet 4.0 |
|------------------------------|------------------------------|
| Protocol | IEEE802.11a (5.0GHz) |
| Number of nodes | 3,4,5,6,7,8,9,10,15,20,25,30 |
| Native packet size | 100 bytes |
| Packet generation interval | 16.7 ms |
| Number of tx packets | 5000 |
| Number of trials | 5 |
| Path loss model | Free space |
| Fading model | Rayleigh ($D_f = 100$ Hz) |
| Tx power | 17 dBm |
| Tx rate | 6 Mbps |
| Finite field for coding | GF(2^8) |
| Diameters of simulation area | 500m, |



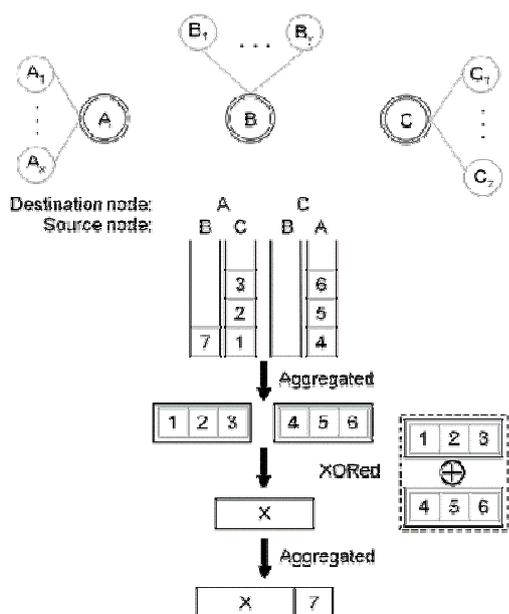
図エ(1-2) 上：ブロードキャスト不成功率 下：パケット到達遅延時間

(2) 双方向パケット連結・符号化方式 (BiPAC)

H19 年度に開発を行ったパケット連結方式にネットワークコーディング (NC) を適用した方式 (BiPAC: Bidirectional Packet Aggregation and Coding) を考案した。考案方式における連結・符号化処理の流れを図エ(2-1)に示す。中継端末では、宛先および送信元となる隣接端末毎にバッファを保持するものとする。まず、同じバッファ内のパケットを連結する。次に、符号化の対象となるバッファにパケットが存在する場合、それらのパケットを連結する。それらの連結パケットに対して、符号化 (XOR 演算) を施す。最後に、中継端末または中継端末配下に所属する端末から送信されるパケットが連結可能であれば、連結・符号化パケットの後ろに連結する。これらの連結・符号化処理は、転送を行っているアプリケーションデータのホップ数を考慮した待ち時間を設定し、パケットサイズ閾値と連動した待ち時間制御を導入することにより、符号化機会を増加させた。

表エ(2-1) シミュレーション諸元

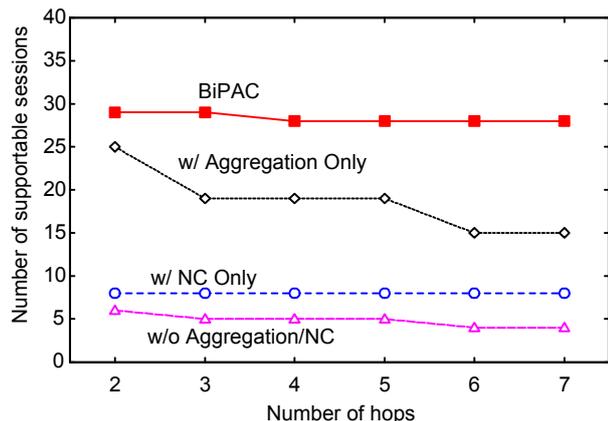
| | |
|-----------|-----------------------------------|
| シミュレータ | QualNet 4.0 |
| ホップ数 | 2~7 |
| 端末間距離 | 100 m |
| 使用インタフェース | 2 (中継端末 3 台ごと に送信チャネル切替) |
| MAC プロトコル | IEEE 802.11b |
| 伝送レート | 11 Mbps |
| フェージングモデル | ライス (K=4.84) |
| 伝播モデル | 2 波モデル |
| シャドウイング | 対数正規分布 ($\sigma=4\text{dB}$) |
| パケットサイズ | 200 byte |
| パケット生成間隔 | 20 msec |
| 子機接続方法 | 有線 (100 Mbps) |



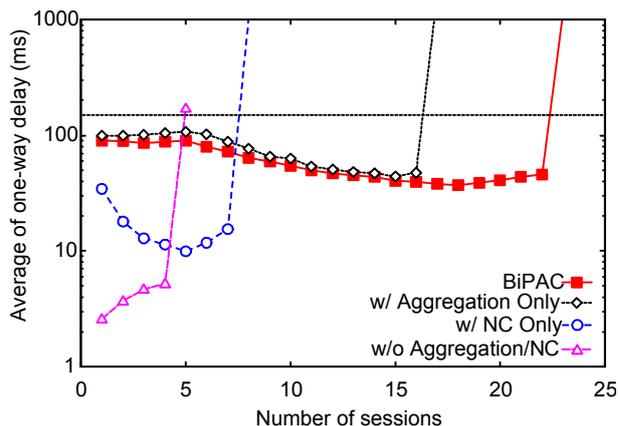
図エ(2-1) BiPAC の連結・符号化処理の例

考案方式の計算機シミュレーション評価を直線状のマルチホップネットワークを用いて行った。トラフィックには、G. 711 コーデックの VoIP (パケットサイズ 200byte、パケット生成間隔 20msec) を用い、VoIP 端末はネットワークの両端の端末に有線 LAN で接続させた。シミュレーション諸元を表エ(2-1)に示す。なお、計算機シミュレーションでは、隠れ端末の影響を排除し、考案方式の評価を行うため、チャネルを 2 つ利用し、一番左側に位置する中継端末から 3 台毎に送信チャネルを切り替えた。評価指標には携帯電話並みの品質を保証する遅延時間 150ms・パケット損失率 10%以下を満たす VoIP セッション数を用いる。図エ(2-2)に対する許容セッション数を示す。評価では、考案方式の比較方式として、パケット連結・NC を行わない方式(従来方式)、NC のみ行う方式、パケット連結のみ行う方式と比較した。考案方式は、許容 VoIP セッション数をパケット連結のみ行う方式に比べ約 87%、パケット連結・NC を行わない方式に比べ 600%増加できている。また、考案方式を実機にも実装し、検証を行った。実機はすべてノート PC を用い、Cent OS 4.4 (kernel 2.6.9.24) で動作させた。また、無線デバイスには、NEC 製 PA-WL/54AG を MADWiFi ドライバ (madeifi-0.9.4) により動作させた。実機においては、使用チャネルを 1 つとし、3 ホップの直線状のネットワークで実験を行った。図エ(2-3)を示す。従来方式の遅延時間は小さくなっているが、セッション数が 5 で急増している。考案方式とパケット連結のみ用いる方法では、各中継端末で待ち時間が設定されているため、セッション数が少ないときにはやや大きくなっている。しかしながら、セッション数の増加に伴い、パケットサイズ閾値の動作により送信が行われるため、遅延時間が小さくなっている。パケット連結の効果は非常に大きく、許容遅延内にあるセッション数を 16 まで増加している。考案方式はネットワークコーディングの効果により、許容遅延内にあるセッション数を 22 まで増加している。なお、この環境におけるパケット損失率は、遅延時間が許容遅延内にあるセッション数では非常に小さくなっていた。実機では使用チャネルが 1 つであるため、計算機シミュレーションの結果比べ、効果はやや小さくなっている。しかしながら、遅延時間やパケット損失のセッション数に対する傾向は一致している。さらに、使用チャネルを 1 つした計算機シミュレーション結果は、実機実験結果と一致し、同等の性能を示すことを確認した。ネットワークコーディングを効率的に行うためには、待ち時間が必要とされ、遅延要求の厳しいアプリケーションには適用が困難とされてきた。しかしながら、考案方式では、アプリケーションの要求条件を考慮した制御を行うことにより、ネットワークコーディングの

VoIP への適用を可能にした。

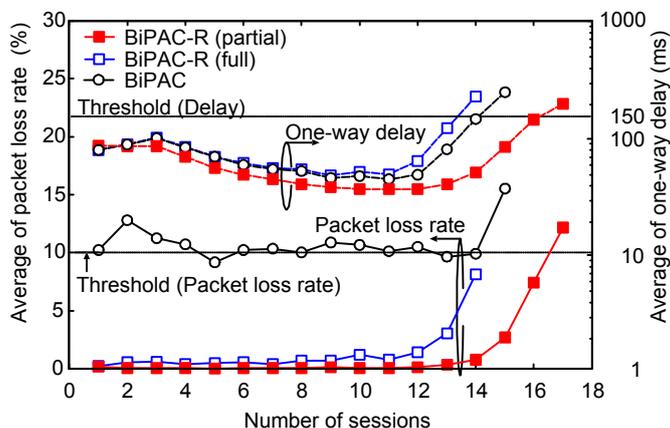


図エ(2-2) 許容セッション数



図エ(2-3) BiPAC-R (partial)の評価結果

BiPAC では複数のパケットを連結して送信している。よって、フレームの一部に損失が発生しても、BiPAC のヘッダが正しく解析できれば、フレーム内に含まれる全てのパケットが復号不可能になるとは限らない。そこで、BiPAC を拡張し、受信に失敗したパケットのみ再送要求を行い、再送パケットを新規送信パケットとともに連結・符号化し送信する方式を考案した(BiPAC-R (partial))。BiPAC-R (partial)の評価を2ホップのマルチネットワーク上で行った。端末間の距離を広くすることにより、劣悪な通信環境を想定した。シミュレーション結果を図エ(2-4)に示す。BiPACでは、遅延を考慮し受信確認を1台のみとしているため、劣悪な通信環境では、パケット損失が多く、VoIPの許容が困難である。それに対し、再送時にも受信に失敗したパケットを送信するBiPAC-R (full)では、パケット損失率が大幅に改善されている。さらにBiPAC-R (partial)では、パケット損失率とともに、遅延時間についても改善が見られる。冗長なパケット再送を削減することで、許容可能なVoIPセッションをBiPAC-R (full)に対し、20%(13→16)増加することができた。



図エ(2-4) BiPAC-R (partial)の評価結果

4-4-3 実施計画に対する達成状況

本サブテーマでは、高レスポンス性を達成する統合無線通信システムを実現するため、次世代ゲーム機やVoIP通信などのリアルタイムアプリケーションを効率的に提供するための技術について研究開発を行った。特にネットワークコーディング技術に着目し、ゲーム機のような多対多のブロードキャスト通信の信頼性向上及びVoIPのような双方向通信のセッション容量改善を達成する方式を提案し、従来方式に比較して許容セッション容量を最大で6倍程度改善することを確認してその有効性を示すことができた。今後は、提案方式の改良、また、動画通信など他のリアルタイムアプリケーションを効率的にサポートするための方式提案などを行っていく予定である。

4-5 総括

平成 20 年度は、実施計画書の内容に対し、ほぼ 100%の進捗で、基本設計、試作・特性評価、シミュレーション評価等を実施することができた。

具体的には、チャンネル構成技術の研究開発では、出会い頭衝突防止、右折事故衝突防止に対して、ASV アプリケーション要求（パケット到達率 80%以上）をサービスエリア内の全域で満足する方式（MM-SA 方式）の見通しを得た。各種評価したシミュレーション結果に基づき、プロトタイプ機の方式設計、ハードウェア概略設計を完了した。また他の通信方式（CSMA ベース）との比較評価を行い、MM-SA 方式が大幅にパケット到達率を改善し 100% 近くを達成するとともにパケット到達遅延特性は 2~4 ミリ秒程度と極めて高レスポンスな特性が達成できることを確認した。

チャンネル制御技術の研究開発では、MM-SA 方式において他の複数の端末から受ける干渉量（MAI）を考慮し、車車間通信への適用を想定した場合にもっとも干渉が少なくパケット衝突確率を低減できる周波数チャンネル制御アルゴリズムの研究を進めるとともに、ほぼすべてのコア技術の実現に必須となる車両方向位置特定アルゴリズムについての基礎検討を完了した。また、MM-SA 通信の信頼性を向上するための手法として、車両の位置移動予測に基づく効率的情報配布方式、および複数の端末の中から競争的に中継端末を選択して無線回線の信頼性を向上するパケット誤り率低減技術について提案し、その有効性を検証した。その結果、従来方式と比較して 10 分の 1 以上のパケット誤り率改善が可能であることを確認した。

中継パケット高速転送技術の研究開発では、定期パケットの転送を目的とするエリアベース転送方式と送信タイミング制御方式を検討し、基本アルゴリズムを確定した。さらに、片側 1 車線と片側 2 車線の交差点モデルを想定したシミュレーションを行い、MM-SA 方式におけるエリアベース転送方式および送信タイミング制御方式の動作を評価した結果、車線数すなわち車両台数が 88 台から 176 台に増えた場合のパケット到達率と到達遅延の劣化は、ほとんどないことを確認した。カットスルー転送技術では、高速転送に必要となるカットスルーヘッダの設計を行った。また、転送時に想定される定期パケットとの衝突を回避しパケット到達率を向上させる手段として、緊急パケットの連続送信技術と定期パケット抑制方式を考案し、耐干渉特性の向上に対する有効性を検証した。

アーキテクチャとシステム化技術の研究開発では、高レスポンス性を達成する統合無線通信システムを実現するため、次世代ゲーム機や VoIP 通信なども含むリアルタイムアプリケーションを効率的に提供するための技術について基本設計と評価を完了した。特にネットワークコーディング技術に着目し、ゲーム機のような多対多のブロードキャスト通信の信頼性向上及び VoIP のような双方向通信のセッション容量改善を達成する方式を提案し、従来方式と比較して許容セッション容量を最大で 6 倍程度改善することを確認してその有効性を示した。

以上の成果の中で、シミュレーション評価に必要となる伝搬モデル、および高速転送方式については成果の一部を国内標準化会議の寄与文書として反映した。

最終年度となる平成 21 年度においては、各技術の現実に想定される交通環境での特性評価をさらに進め、方式改善を行う。さらに開発したプロトタイプを試験車両に搭載して屋外の道路環境において実証実験・評価を実施し、本受託研究の総括を行う予定である。

5 参考資料・参考文献

5-1 研究発表・講演等一覧

【平成20年度】

| | |
|----------------|-----|
| 研究論文（査読あり） | 3件 |
| 外国発表予稿等（査読有） | 5件 |
| 研究会・シンポジウム・大会等 | 30件 |
| 標準化提案 | 12件 |

研究論文（査読有）

- [1] Oyunchimeg Shagdar, Mehdad. N. Shirazi, Suhua Tang, Ryutaro Suzuki, Sadao Obana, “Reliable Cut-Through Forwarding for Inter-Vehicle Networks”、IEICE Transactions on Communications, IEEE/IEICE Joint Special Section on Autonomous Decentralized Systems and Application Deployments、Vol. E91-B, No. 9, pp. 2864-2872、2008. 9. 1
- [2] 湯 素華, ヌリシラジ マハダド, Oyunchimeg Shagdar, 鈴木 龍太郎, 小花 貞夫, “An Opportunistic Forwarding Scheme Exploiting both Long Progress and Adaptive Rate in Wireless Networks”、IEICE Transactions on Communications、Vol. E91-B, No. 10, pp. 3241-3250、2008. 10. 1
- [3] Oyunchimeg Shagdar, ヌリシラジ マハダド, 湯 素華, 鈴木 龍太郎, 小花 貞夫, 「無線マルチホップネットワークにおける分散型クロスレイヤ負荷制御」、情報処理学会論文誌「サービス融合を支えるネットワークアーキテクチャの新展開」特集号、Vol. 150, No. 2, pp. 814-828、2009. 2. 16

外国発表予稿等（査読有）

- [4] 四方 博之, エリザベート ディ カルバルホ（オールボー大学）、“Spectral Efficiency Enhancement with Interference Cancellation for Wireless Relay Network”、IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC 2008) (IEEE International Workshop on Wireless Distributed Network (WDN2008))、2008. 9. 15-2008. 9. 18
- [5] Tang Suhua, Oyunchimeg Shagdar, Mehdad N. Shirazi, Ryutaro Suzuki, Sadao Obana, “Opportunistic Cooperation and Selective Forwarding, a Virtual MIMO Scheme for Wireless Networks”、IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC 2008) (IEEE International Workshop on Wireless Distributed Network (WDN2008))、2008. 9. 15-2008. 9. 18
- [6] ヌリシラジ マハダド, 湯 素華, オユーンチメグ シャグダル, 鈴木 龍太郎, 小花 貞夫, “Performance Evaluation of Safety Applications over CDMA Vehicular Ad Hoc Networks”、15th World Congress on Intelligent Transport Systems、2008. 11. 16-2008. 11. 20
- [7] Suhua Tang, Jun Cheng, Chen Sun, Ryutaro Suzuki, Sadao Obana, “Turbo Network Coding for Efficient and Reliable Relay”、IEEE ICCS 2008、pp. 1603-1608、2008. 11. 19 ~2008. 11. 21
- [8] Suhua Tang, Oyunchimeg Shagdar, Hiroyuki Yomo, Mehdad N. Shirazi, Ryutaro Suzuki, Sadao Obana, “Layer-2 Retransmission and Combining for Network Coding-Based

Forwarding in Wireless Networks”、IEEE ICCS 2008、pp.1603-1608、2008.11.19～2008.11.21

一般口頭発表

- [9] Suhua Tang, Oyunchimeg Shagdar, Mehdad N. Shirazi, Ryutaro Suzuki, Sadao Obana, “Experiment Evaluation of Mobility Prediction Progressive Routing (MP2R) in Inter-Vehicle Communications ”、高度交通システム研究会 (ITS)、2008-ITS-33, pp. 39-45、2008. 6. 20
- [10] Oyunchimeg Shagdar, Mehdad N. Shirazi, Suhua Tang, Ryutaro Suzuki, Sadao Obana, 「無線アドホックネットワークにおける分散型輻輳制御」、電子情報通信学会、無線通信システム研究会、RCS2008-16(2008-05), pp. 1-6、2008. 6. 27
- [11] 長谷川 淳, 板谷 聡子, 近藤 良久, デイビス ピーター, 榊原 勝己 (岡山県立大学), 鈴木 龍太郎, 小花 貞夫, 「転送リストを用いた高効率・低負荷フラッディング方式の提案」、マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOM02008) シンポジウム、pp. 1105-1112、2008. 7. 9～2008. 7. 11
- [12] ヌリシラジ マハダド, シャグダル オユーンチメグ, 大山 卓, 湯 素華, 鈴木 龍太郎, 小花 貞夫, “Transmission Scheduling in CDMA-based Inter-vehicle Communication”、電子情報通信学会、ITS 研究会、RCS2008-16(2008-05), pp. 1-6、2008. 7. 28
- [13] シャグダル オユーンチメグ, 大山 卓, マハダッド ヌリシラジ, 湯 素華, 鈴木 龍太郎, 小花 貞夫, 「車車間通信における MM-SA パケット転送手法」、電子情報通信学会、ITS 研究会、2008. 9. 10
- [14] 近藤 良久, デイビス ピーター, 伊藤 哲也 (NEC システム), 松本 晃 (NEC システム), 吉村 紘一 (NEC システム), 「Hop-by-Hop 型マルチチャネルルーティングにおけるフロー内干渉を考慮したルーティングメトリックの提案」、電子情報通信学会、2008 年ソサイエティ大会、2008. 9. 16～2008. 9. 19
- [15] 長谷川 淳、四方 博之、近藤 良久、宮本 進生、デイビス ピーター、榊原 勝己、鈴木 龍太郎, 「マルチホップ VoIP 転送のための双方向パケット連結・符号化方式」、SITA2008 (情報理論とその応用学会シンポジウム)、2008. 10. 7～2008. 10. 10
- [16] 近藤 良久, 四方 博之, デイビス ピーター, 三浦 龍, 小花 貞夫, 「ランダムネットワークコーディングを用いたリアルタイムブロードキャスト通信方式の提案」、電子情報通信学会、アドホックネットワーク研究会 (AN)、AN2008-4, pp. 65-70、2008. 10. 22～2008. 10. 24
- [17] 長谷川 淳, 四方 博之, 近藤 良久, 宮本 道生, デイビス ピーター, 榊原 勝己 (岡山県立大学), 鈴木 龍太郎, 小花 貞夫, 「マルチホップネットワークにおける VoIP 転送へのネットワークコーディングの適用」、情報処理学会関西支部 関西支部大会、pp. 329-330、2008. 10. 24
- [18] 三浦 龍, 小花 貞夫, 「交通事故削減にむけて-ITS 車車間通信システムの研究開発-」、ATR オープンハウス 2008、2008. 11. 6～2008. 11. 8
- [19] シャグダル オユーンチメグ, 大山 卓, 「MM-SA チャネルアクセス技術 ～近くの車両からの情報は瞬時に、確実に受信できます～」、ATR オープンハウス 2008、2008. 11. 6～2008. 11. 8
- [20] シャグダル オユーンチメグ, 大山 卓, 「MM-SA パケット転送技術 ～遠くの車両の存在も把握できます～」、ATR オープンハウス 2008、2008. 11. 6～2008. 11. 8
- [21] 大山 卓, シャグダル オユーンチメグ, 「出会い頭衝突事故防止への適応性 (シミュレーション評価) ～ビル影から出てくる車の存在を知らせます～」、ATR オープンハウス 2008、

2008. 11. 6～2008. 11. 8

- [22] 大山 卓, シャグダル オユーンチメグ、「右折時衝突事故防止への適応性 (シミュレーション評価) ～交差点でクルマの影にいる対向車の存在を知らせます～」、ATR オフハウス 2008、2008. 11. 6～2008. 11. 8
- [23] 瀧本 栄二, 大山 卓、「危険情報の高速伝達技術」、ATR オフハウス 2008、2008. 11. 6～2008. 11. 8
- [24] 瀧本 栄二, 大山 卓、「車両方向検知技術とその応用」、ATR オフハウス 2008、2008. 11. 6～2008. 11. 8
- [25] 近藤 良久, 四方 博之、「低遅延ブロードキャスト無線通信技術」、ATR オフハウス 2008、2008. 11. 6～2008. 11. 8
- [26] 近藤 良久, 山口 真司, 四方 博之、「マルチチャネル無線メッシュネットワーク」、ATR オフハウス 2008、2008. 11. 6～2008. 11. 8
- [27] 酒井 敏宏、「MM-SA プロトタイプ装置の試作」、ATR オフハウス 2008、2008. 11. 6～2008. 11. 8
- [28] 酒井 敏宏、「屋外実験による技術実証」、ATR オフハウス 2008、2008. 11. 6～2008. 11. 8
- [29] 長谷川 淳, 四方 博之, 近藤 良久, 宮本 通生, デイビス ピーター, 三浦 龍, 小花 貞夫、「パケット連結・ネットワークコーディング技術～たくさんのパケットを混ぜ合せて転送パケット数を削減し効率的な通信を実現します～」、ATR オフハウス 2008、2008. 11. 6～2008. 11. 8
- [30] 三浦 龍, 小花 貞夫、「高レスポンス車車間通信技術」、ATR オフハウス 2008、2008. 11. 6～2008. 11. 8
- [31] 三浦 龍, 小花 貞夫、「高レスポンス車車間通信のためのチャネル構成・制御技術」、ATR オフハウス 2008、2008. 11. 6～2008. 11. 8
- [32] 小花 貞夫、「自律分散型無線ネットワーク」、IT 連携フォーラム OACIS 第 15 回シンポジウム、2008. 12. 15
- [33] 三浦 龍, 大山 卓, シャグダル オユーンチメグ, 四方 博之, 酒井 敏宏, 小花 貞夫、「安全運転支援のための ITS 車車間通信システムの研究開発」、電子情報通信学会、ソフトウェア無線研究会 (SR)、SR2008-83, pp. 91-96、2009. 1. 22～2009. 1. 23
- [34] 宮本 進生, 四方 博之, シャグダル オユーンチメグ, 大山 卓, マハダド ヌリシラジ (ATR/NICT), 三浦 龍, 小花 貞夫、「安全運転支援のための車々間通信における MM-SA 方式と CSMA ベース方式の性能比較」、電子情報通信学会、ITS 研究会、Vol. 108, No. 424, pp. 121-126、2009. 2. 4～2009. 2. 5
- [35] 瀧本 栄二, 大山 卓, 三浦 龍, 小花 貞夫、「安全運転支援車車間通信システムのための周辺車両位置管理方式の提案と一考察」、情報処理学会、ITS 研究会、Vol. 2009, No. 2, pp. 47-53、2009. 3. 5～2009. 3. 6
- [36] 長谷川 淳, 四方 博之, デイビス ピーター, 榊原 勝己 (岡山県立大学), 鈴木 龍太郎 (ATR/NICT), 小花 貞夫、「パケット連結・ネットワークコーディングを用いた VoIP 転送における効率的な再送方式」、電子情報通信学会 2009 年総合大会、p. 675、2009. 3. 17～2009. 3. 20
- [37] 山口 真司, 近藤 良久, 四方 博之, 三浦 龍, 小花 貞夫、「ネットワークコーディングを用いた高信頼リアルタイムブロードキャスト方式の実装と特性評価」、電子情報通信学会 2009 年総合大会、p. 674、2009. 3. 17～2009. 3. 20
- [38] 四方 博之, 長谷川 淳, 近藤 良久, 三浦 龍, 小花 貞夫、「トラフィックのリアルタイム性を考慮した無線ネットワークコーディング」、第 6 回無線分散ネットワークに関するワークショップ (招待講演)、2009. 3. 26～2009. 3. 27

標準化提案

- [39] 鈴木 龍太郎、小花 貞夫、「出会い頭衝突防止アプリケーションに対するシミュレーション比較評価-RC-005 と MM-SA (Multi-code multi-carrier spread ALOHA)」、ITS 情報通信システム推進会議 運転支援通信システム専門委員会 規格 TG、2008. 7. 17
- [40] 鈴木 龍太郎、小花 貞夫、「出会い頭交差点における受信電力特性」、ITS 情報通信システム推進会議 運転支援通信システム専門委員会 規格 TG、2008. 8. 21
- [41] 鈴木 龍太郎、小花 貞夫、「出会い頭衝突防止アプリケーションに対するシミュレーション比較評価 -RC-005 と MM-SA (Multi-code multi-carrier spread ALOHA)」、ITS 情報通信システム推進会議 運転支援通信システム専門委員会 規格 TG・無線方式 TG 合同アドホック会議、2008. 9. 5
- [42] Oyunchimeg Shagdar、三浦 龍、小花 貞夫、「車車間通信における転送方式の検討」、ITS 情報通信システム推進会議 運転支援通信システム専門委員会 規格 TG、2008. 10. 16
- [43] 大山卓、三浦 龍、小花 貞夫、「720MHz 帯、5.82GHz 帯 1 つ角における受信電力特性 レイトレース評価」、ITS 情報通信システム推進会議 運転支援通信システム専門委員会 規格 TG、2009. 1. 15
- [44] Oyunchimeg Shagdar、三浦 龍、小花 貞夫、「5.8GHz 車車間通信における転送方式の検討」、ITS 情報通信システム推進会議 運転支援通信システム専門委員会 規格 TG、2009. 1. 15
- [45] 大山卓、三浦 龍、小花 貞夫、「720MHz 帯、5.82GHz 帯 1 つ角における受信電力特性 レイトレース評価」、ITS 情報通信システム推進会議 運転支援通信システム専門委員会 無線方式 TG、2009. 1. 16
- [46] 三浦 龍、小花 貞夫、「安全運転支援通信システムの研究開発課題」、ITS 無線システムの高度化に関する研究会 作業班、2009. 1. 21
- [47] Oyunchimeg Shagdar、三浦 龍、小花 貞夫、「RC005 転送方式の検討」、ITS 情報通信システム推進会議 運転支援通信システム専門委員会 規格 TG、2009. 2. 12
- [48] 大山卓、三浦 龍、小花 貞夫、「720MHz 帯、5.82GHz 帯 レイトレース評価と受信電力測定値の比較 -JARI 1 つ角交差点-東銀座交差点」、ITS 情報通信システム推進会議 運転支援通信システム専門委員会 規格 TG、2009. 2. 12
- [49] 大山卓、三浦 龍、小花 貞夫、「720MHz 帯、5.82GHz 帯 レイトレース評価と受信電力測定値の比較 -JARI 1 つ角交差点-東銀座交差点」、ITS 情報通信システム推進会議 運転支援通信システム専門委員会 無線方式 TG、2009. 2. 13
- [50] Oyunchimeg Shagdar、三浦 龍、小花 貞夫、「安全運転支援アプリケーションに適用可能な転送方式検討」、ITS 情報通信システム推進会議 運転支援通信システム専門委員会 規格 TG、2009. 3. 12