

平成21年度 成果報告書 (一般型)

「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	4
2-2-1	最終目標	4
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	チャン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	20
4-2	チャンネル制御技術の研究開発	21
4-2-1	研究開発内容	21
4-2-2	実施状況	21
4-2-3	実施計画に対する達成状況	29
4-3	中継パケット高速転送技術の研究開発	30
4-3-1	研究開発内容	30
4-3-2	実施状況	30
4-3-3	実施計画に対する達成状況	42
4-4	アーキテクチャとシステム化技術の研究開発	43
4-4-1	研究開発内容	43
4-4-2	実施状況	43
4-4-3	実施計画に対する達成状況	59
4-5	総括	61
5	参考資料	
5-1	研究発表・講演等一覧	63
5-2	産業財産権	78
5-2-1	出願特許数	78
5-2-2	公開特許一覧	78
5-2-3	登録特許一覧	80
5-2-4	技術移転	80

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。

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、通信機メーカ、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方式検討タスクグループ（旧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。こ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標準検討タスクグループ（旧無線方式タスクグループ）で審議されている。ここでは 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、RC-005 と同様、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、電波が遠くによく飛ぶことによりさらに深刻化する、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、また隣接する他の無線サービス（地上デジタル放送、携帯電話）との間の干渉問題、路車間通信システムとの周波数共用による容量圧迫の問題など、解決すべき多くの課題がある。

また、欧米での車車間通信方式は CSMA/CA に基づく IEEE802.11p をベースに標準化が進められているが、安全運転支援に関わる明確な基準がなく、高レスポンス化を追求したものとはなっていない。実際、レスポンス性だけでなく信頼性を含めて、本研究開発の成果が欧米の方式を大きく上回る性能をもつことが判明している。

国内では実用化促進のため、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～平成 21 年 5 月に総務省において開催され、報告書がとりまとめられている。ATR も作業班メンバーとして審議に寄与した。報告書では、当面 700MHz を中心に実用化を進めるとともに、5.8GHz 帯については ITS による利用の在り方について再検討することが必要との提言がなされた。

このように、政府、業界ともに、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、方式設計とともに試作した 5.8GHz 帯プロトタイプによる実証実験評価を実施するとともに、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行い、5.8GHz 帯車車間通信の標準候補の 1 つとして、本研究開発の成果である MM-SA 方式が平成 21 年度運転支援通信システム専門委員会報告書に記載された。

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) 高速パケット中継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) チャン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、状態通知情報を抽出し、レスポンスを低下させることな

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	—	—	—	—	—	—	

3 研究開発体制

3-1 研究開発実施体制

(平成 21 年度当初の実施体制)

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
NEC 通信システム株式会社	4 名

研究代表者 小花貞夫 研究副代表者 三浦龍	スマートネットワーク研究室	
	研究員(大山卓)	担当:サブテーマ1(リーダー)
	客員研究員(Peter DAVIS)	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1
	研究員(OYUNCHIMEG Shagdar)	担当:サブテーマ2(リーダー)
	研究員(瀧本栄二)	担当:サブテーマ2
	研究員(TANG Suhua)	担当:サブテーマ2
	主任研究員(四方博之)	担当:サブテーマ3(リーダー)
	研究員(長谷川淳)	担当:サブテーマ3
	研究員(宮本進生)	担当:サブテーマ3
	研究員(酒井敏宏)	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
	技術員(山口真司)	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	

(平成 21 年度末の実施体制)

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	12 名 (平成 22 年 2 月より)
NEC 通信システム株式会社	4 名

研究代表者 小花貞夫 研究副代表者 三浦龍	スマートネットワーク研究室	
	研究員(大山卓)	担当:サブテーマ1(リーダー)
	客員研究員(Peter DAVIS)	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1
	研究員(OYUNCHIMEG Shagdar)	担当:サブテーマ2(リーダー)
	研究員(TANG Suhua)	担当:サブテーマ2
	主任研究員(四方博之)	担当:サブテーマ3(リーダー)
	研究員(長谷川淳)	担当:サブテーマ3
	研究員(宮本進生)	担当:サブテーマ3
	研究員(筒井英夫)	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
	技術員(山口真司)	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	

4 研究開発実施状況

4-1 チャンネル構成技術の研究開発【サブテーマ1】

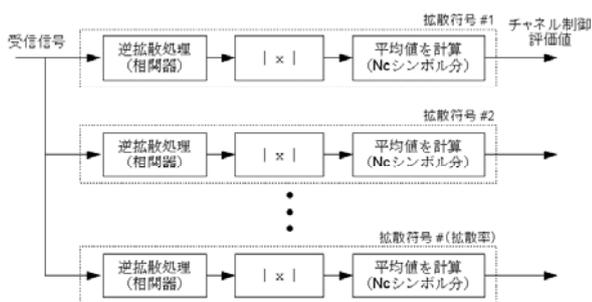
4-1-1 研究開発内容

パケット送信時における遅延の低減化・高レスポンス化は安全運転支援のための車車間通信への応用において必須であり、その実現を可能とするチャンネル構成技術を研究開発する。本研究開発では、複数の周波数と複数の拡散符号を組合せて用いるスプレッドアロハ（MM-SA：Multi-Carrier & Multi-Code Spread ALOHA）方式によるチャンネル構成技術を新規に開発し、その性能を評価するとともにハードウェアとして実装する。

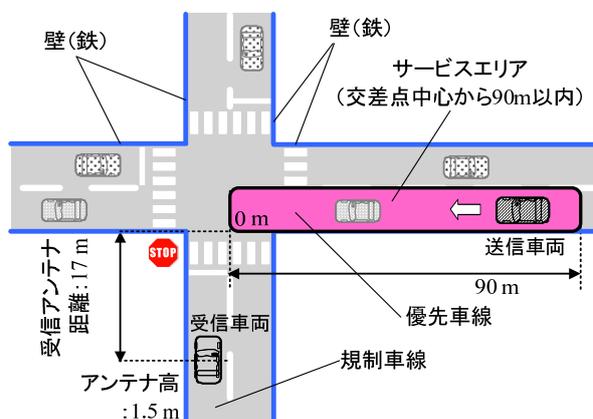
4-1-2 実施状況

(1) 干渉量にもとづくチャンネル構成方法の設計

車車間通信において周辺車両が送信するパケットによる干渉量に着目し、パケット到達率を最大にするための干渉回避方法とチャンネル構成方法の評価と設計を行った。図ア(1-1)は、各チャンネルにおける干渉量(MAI)を監視するブロック図であり、チャンネル監視シンボル数を5シンボルで評価している。シミュレーション評価では、ASV-4(Advanced Safety Vehicle)で定義されている車車間通信の事故防止シナリオの1つである出会い頭衝突防止アプリケーション（図ア(1-2)参照）で実施した。図ア(1-2)中のピンク色で囲まれている部分がサービスエリアである。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）が受信車両であり、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）はサービスエリア内を走行している送信車両（2当）からのパケットのパケット到達率を評価する。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 ITS FORUM RC-005 1.0版に従い、車両台数88台、ASV通信要件（パケット到達率80%以上）の条件で評価を行なった。また、表ア(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。



図ア(1-1) 逆拡散信号受信振幅監視方式の機能ブロック図



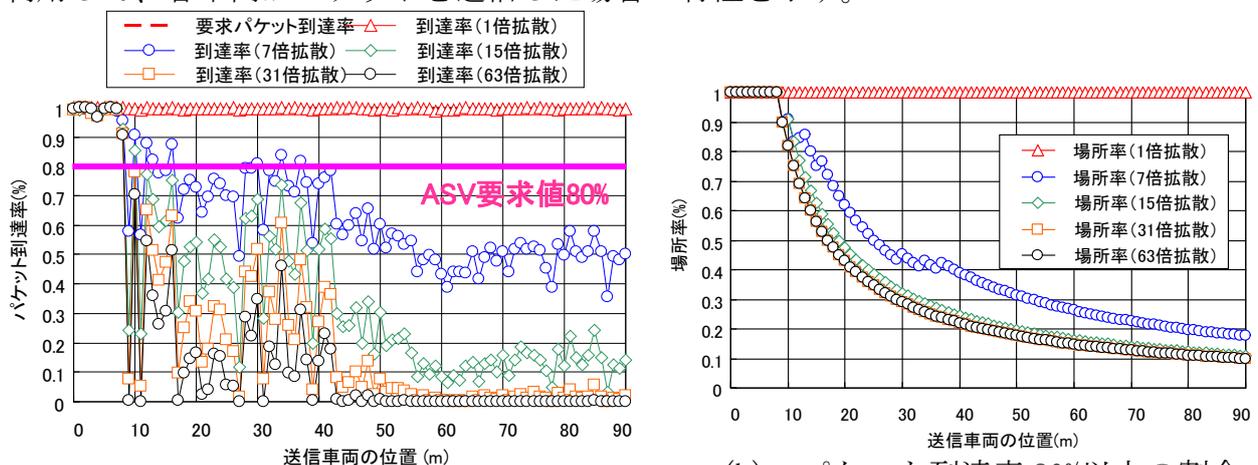
図ア(1-2) 車車間通信による安全運転支援の通信エリア（出会い頭衝突防止）

表ア(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
無線周波数	5.8GHz 帯	
送信電力	10dBm	
必要帯域幅	4.096MHz×4ch	4.096MHz/1ch
変復調方式	$\pi/4$ shift DQPSK	

拡散率	1, 7, 31, 63 倍	Gold 符号
チップレート	2048 kcps 固定	
シンボルレート	136 ksps	15 倍拡散時
情報伝送速度	273 kbps	15 倍拡散時
チャンネル監視シンボル数	5 シンボル	
メディアアクセス制御方式	Spread ALOHA 方式	
マルチホップ転送	なし	
送信周期	100msec	
ASV 通信要件	パケット到達率 80 %	ITS FORUM RC-005 1.0 版準拠
パケットサイズ	3056 ビット : (ターボ符号化有) 1112 ビット : (ターボ符号化無)	
誤り訂正	ターボ符号あり/なし	符号化率 : 1/3
電波伝搬	レイトレーシング手法 反射回数 : 5 回、回折回数 : 1 回	イメージング法
材質 (建物・地面)	鉄	
車両台数	88 台	1 当、2 当含む
走行時速	70 km/h	
アプリケーション	出会い頭衝突防止	

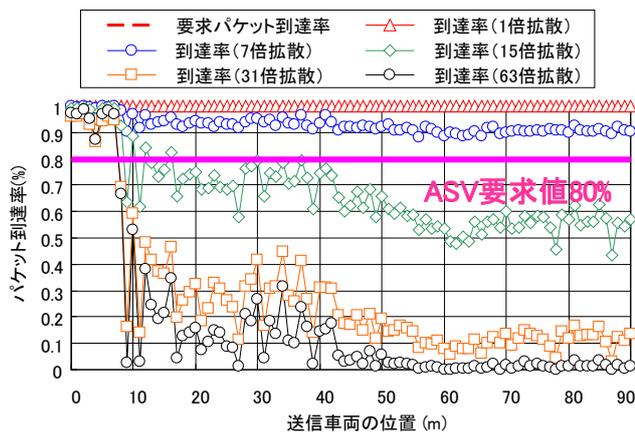
図ア(1-3)及び図ア(1-4)に、各チャンネルの干渉量を監視し、干渉量の小さいチャンネルを利用して、各車両がパケットを送信した場合の特性を示す。



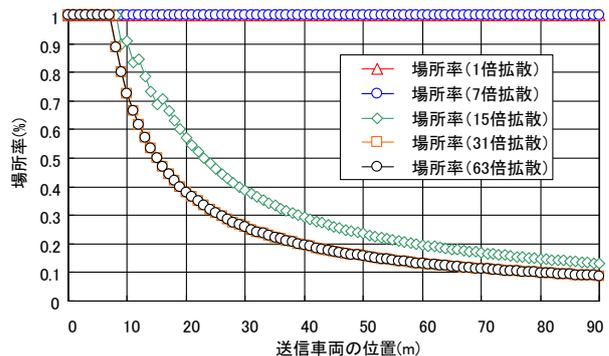
(a) パケット到達率特性

(b) パケット到達率 80%以上の割合

図ア(1-3)ターボ符号化 1/3 に対するシミュレーション評価



(a) パケット到達率特性



(b) パケット到達率 80%以上の割合

図A(1-4) ターボ符号化なしに対するシミュレーション評価

上記の評価より、以下のことが明確になった。

拡散率の影響

拡散率が小さい程、パケット到達率が高い。これは、無線周波数帯域 4 MHz、チップレート 2.048 Mbps が固定であり、拡散率が大きくなるにつれて、伝送速度が低下し、パケット長が長くなることで、パケット衝突の機会が増えてしまう。

ターボ符号化の影響

ターボ符号化の有無を比較から、ターボ符号化無の方がパケット到達率は高い。これも、ターボ符号の符号化率が 1/3 であるため、パケット長が約 3 倍に長くなり、パケット衝突の機会が増えるために、パケット到達率が劣化している。

総合的考察

MM-SA 方式は CSMA (Carrier Sense Multiple Access) 方式と異なり、パケットがパケット衝突を起こしても、パケットエラーにはならず信号分離が可能である。これは、スペクトラム拡散の効果により、パケット衝突が発生しても、異なる拡散符号を使用することで信号分離ができるからである。パケット衝突を許容する MM-SA 方式であっても、できる限り、パケット衝突を生じない様にすることが、出会い頭アプリケーションでは重要であることが分かった。これは、出会い頭衝突防止は見通し不良環境下であり、送信車両 (2 当) からの所望波は回折波しか届かないが、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、D/U (希望波/妨害波) 比が拡散符号の拡散利得以上になってしまうからである。

MM-SA 方式の特長

拡散率やターボ符号化有無のパラメータを変えても、送信車両までの距離 9m 以下のパケット到達率は常に 80% 以上であり、近距離の通信に強い、即ち、通信品質が高いと言える。

課題と対策

- 見通し不良環境下において、サービスエリア 0-90m の全ての範囲において、ASV 通信要件を満足するためには、何らかの干渉抑制対策が必要である。このため、次の (2) において、周波数チャネル制御と干渉キャンセラによる対策を検討している。
- パケット衝突の機会をできるだけ軽減するためには、パケット長のチューニング

が必要である。このため、次の(2)において、拡散符号および誤り訂正符号による通信特性の改善効果とパケット長が長くなることによるパケット衝突機会の増大のトレードオフに関して検討している。

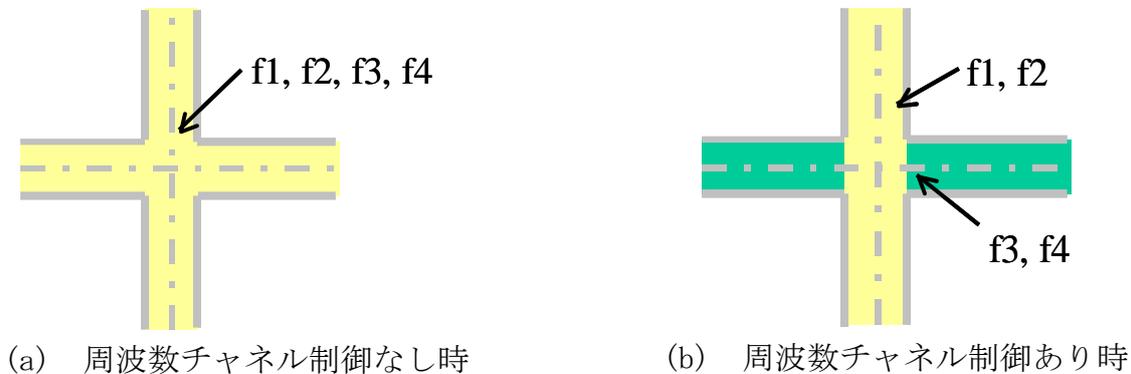
(2) 干渉抑制対策および誤り訂正符号に関する評価検討

先に述べた課題にある様に、所望波が回折波のみ、干渉波が直接波となる様な見通し不良環境下の干渉抑制対策として、

- ① 規制車線と優先車線で周波数チャンネルを分ける周波数チャンネル制御方式
- ② 干渉キャンセラ追加

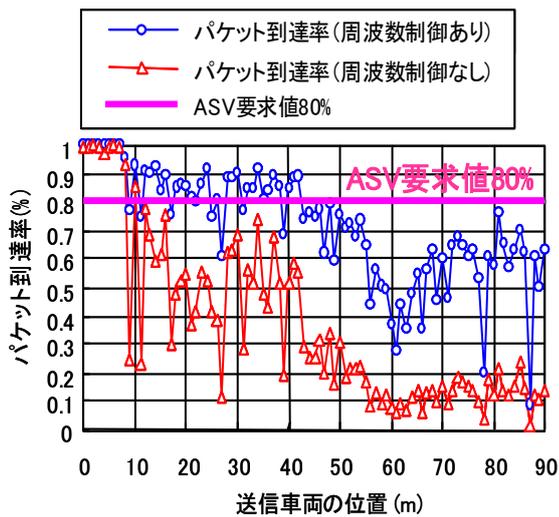
について、評価を実施した。周波数チャンネル制御方式と干渉キャンセラ追加の2つの設計について、方式検討・シミュレーション評価を行なった結果、MM-SA方式では、干渉キャンセラの効果は小さいが、周波数チャンネル制御が有効であることが分かった。下記では、周波数チャンネル制御について、述べる。

シミュレーション条件は表ア(1-1)と同じであり、異なる点は優先道路と規制道路で使用するチャンネルを分割している点である。優先道路内及び規制道路内でのチャンネル選択は先と同じく、チャンネル監視による干渉量の小さいチャンネルを使用する(図ア(2-1))。

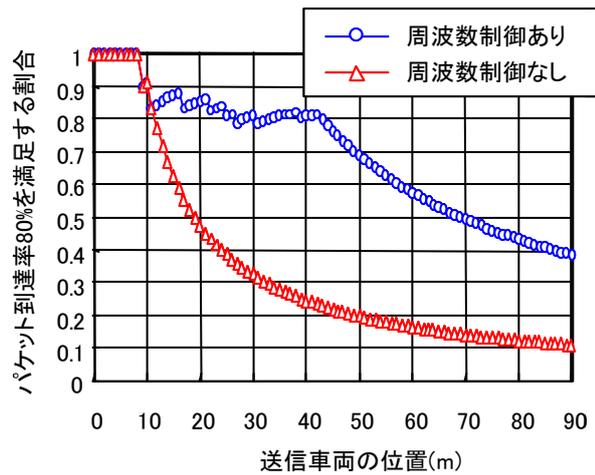


図ア(2-1) 周波数チャンネル制御

図ア(2-2)に優先道路と規制道路で、周波数チャンネルを分けた場合の packets 到達率特性を示す。同図(a)は packets 到達率特性、(b)は packets 到達率 80%以上を満足する割合を示した図である。図ア(2-3)に拡散率 7 倍及び 15 倍に対して、ターボ符号化あり、なしの場合の特性を示す。

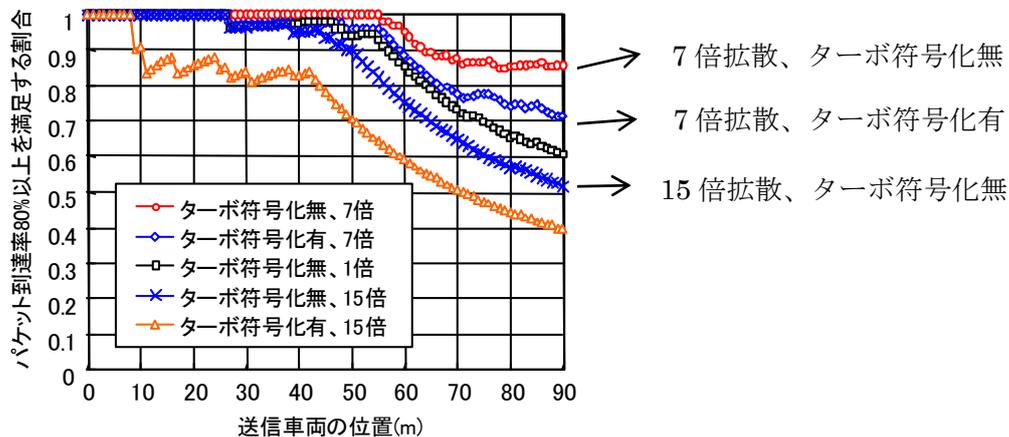


(a) パケット到達率特性



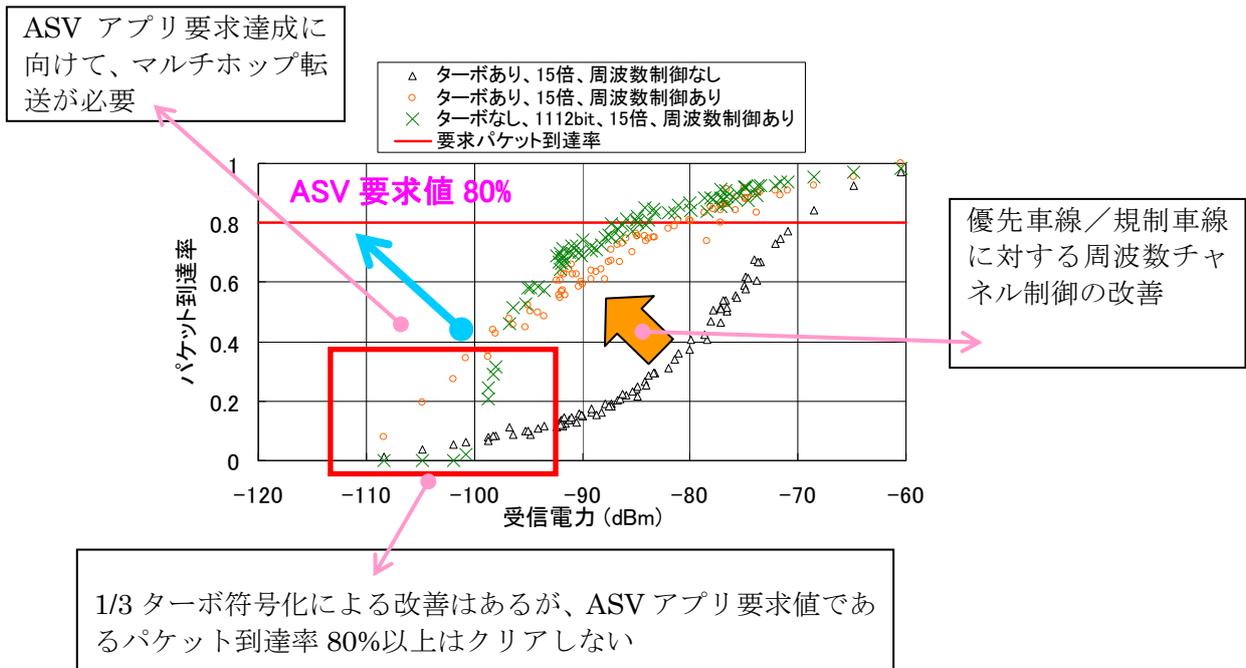
(b) パケット到達率 80%以上を満足する割合

図ア(2-2) パケット到達率特性及びパケット到達率 80%以上を満足する割合 (拡散率 15 倍、ターボ符号化 1/3)



図ア(2-3) ターボ符号化有無と拡散率に対するパケット到達率評価

図ア(2-2)に示す様に、規制車線と優先車線の2つに周波数チャンネルを分けるだけで、各車両位置でのパケット到達率はASV通信要件を満足しないまでも、大幅に改善できた。図ア(2-3)から、周波数チャンネル制御を行ない、かつ、7倍拡散あるいは15倍拡散のケースが、有望な候補になることが分かった。また、図ア(2-4)に示すパケット到達率-受信電力特性から、周波数チャンネル制御有無によって、パケット到達率80%を満足する受信電力の範囲が約-70dBm以上から約-80dBm以上に改善された。パケット到達率80%を達成していなくても、到達率は周波数チャンネル制御により、大幅な改善がみられた。ターボ符号化の効果がある範囲は、図ア(2-4)に示す様に、受信電力が低いところにおいて見られる。しかし、パケット到達率80%以上満足するまでには至っていない。出会い頭衝突防止は見通し不良環境下であり、受信感度を下回ってしまうサービスエリアの領域が存在する。



図ア(2-4) パケット到達率－受信電力特性

上記での評価の結果、以下の様にまとめられる。

周波数チャネル制御方式

規制車線と優先車線で、周波数チャネルを分けることで、パケット到達率 80%以上の範囲を 0-9m から、0-約 40m まで、改善することができた (図ア(2-2) 参照)。

ターボ符号化、拡散率及び周波数チャネル制御の関係

周波数チャネル制御は出会い頭衝突防止の様な見通し不良環境下で、通信品質を向上させるには、非常に有効であることが分かった。また、周波数チャネル制御を利用した上で、拡散率 7 倍あるいは 15 倍が、有効であると考えられる。この有効と考えられるパラメータが 7 倍拡散+ターボ化無、7 倍拡散+ターボ化 1/3、15 倍拡散+ターボ化無であることから、冗長度 = (拡散率) ÷ (ターボ符号化) とすると、冗長度 = 7, 15, 21 (=7x3) ~ α 辺りにチューニングすべき解があるのではないかと考えられる。15 倍拡散で、ターボ符号化 1/3 の特性は図ア(2-3) に示す様に、劣化しているために、 α は 45 より小さいと推測された。ただし、上記で記載している様に、マルチホップ転送が必要なため、周波数チャネル制御だけでなく、マルチホップ転送を追加した上でのパラメータ調整が必要である。

ターボ符号化率の調整

上記までの結果で、周波数チャネル 4 本、拡散符号 7 倍、15 倍にパラメータは絞り込んだ。そこで、拡散率は 7 倍と 15 倍拡散に限定し、ターボ符号化率を 1 から 1/3 まで変えて評価した。シミュレーション条件を表ア(2-1) に示す。

表ア(2-1) シミュレーション条件

パラメータ	値
無線周波数	5.8 GHz 帯
送信電力	10 dBm
アンテナ利得	送受信側、共に 6.2 dBi
ケーブルロス	送受信側、共に 4.0 dB

必要帯域幅	4.096MHz×4ch (4.096MHz/1ch)
電波伝搬モデル	レイトレース手法 (イメージング法) (反射回数: 5回、回折回数: 1回)
材質 (建物・地面)	コンクリート
道路モデル	片側1車線道路、片側2車線道路
ターボ符号化率	1 (符号化なし)、8/9、3/4、2/3、1/2、1/3
メディアアクセス制御方式	Spread ALOHA 方式
マルチホップ転送	あり (エリアベース転送)
送信タイミング制御	あり
車両台数	88台 (1当、2当含む)
アプリケーション	出会い頭衝突防止

干渉車両のない1対1通信でのシミュレーション結果、及び車両台数 88 台でのシミュレーション結果をそれぞれ、図ア(2-5)及び図ア(2-6)に示す。シミュレーション評価から、ターボ符号化に関して以下にまとめる。

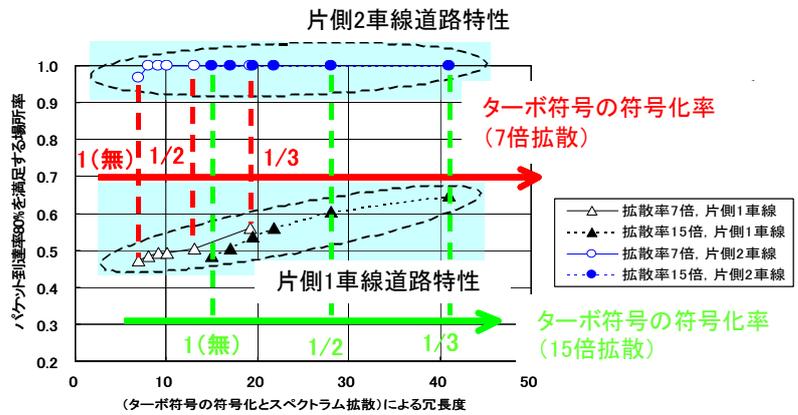
ターボ符号化の MM-SA への影響

干渉車両のない1対1通信では、パケット到達率はターボ符号の利得、即ち、符号化率が支配的である。符号化率が小さい程、利得が大きくなり、受信感度が良くなり、その結果、パケット到達率 80%以上の割合が高くなっている。また、片側2車線道路は交差点の見通しが良く、比較的受信電力が高くなり、符号化の効果が見られない。

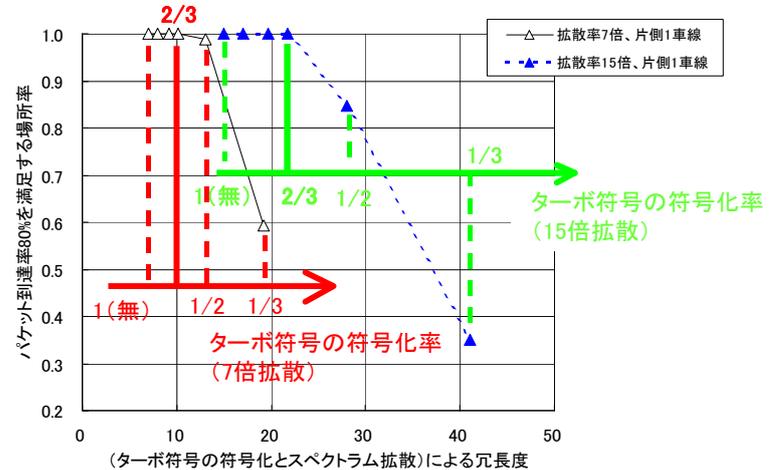
一方、ASV アプリケーションに即した車両台数 88 台の環境下では、干渉が多くなり、パケット長が支配的となることが分かった。符号化率 1~2/3 のケースで、7倍拡散及び 15倍拡散共に全てのサービスエリアで、パケット到達率 80%以上を満足している。

課題と対策 (マルチホップ転送方式の必要性)

ターボ符号化は、受信電力が受信感度近傍で効果があるものの、ASV 通信要件を満足するまでには至っていない。また、周波数チャネル制御とスペクトラム拡散では、サービスエリア(0-90m 範囲)全てにおいて、パケット到達率 80%を満足していないことから、マルチホップ転送方式が不可欠であると考えられる。マルチホップ転送方式については、サブテ



図ア(2-5) ターボ符号化特性 (干渉車両なし)



図ア(2-6) ターボ符号化特性 (車両台数 88 台)

ーマ2で記載する。

(3) ASV アプリケーションに即した方式設計・シミュレーション評価
MM-SA 方式の各要素技術と関連テーマとの関係

MM-SA 方式では、

- ① スペクトラム拡散技術 (サブテーマ 1)
- ② 周波数チャネル制御技術 (サブテーマ 1、2)
- ③ マルチホップ転送技術 (サブテーマ 2、3)
- ④ 送信タイミング制御技術 (サブテーマ 2)

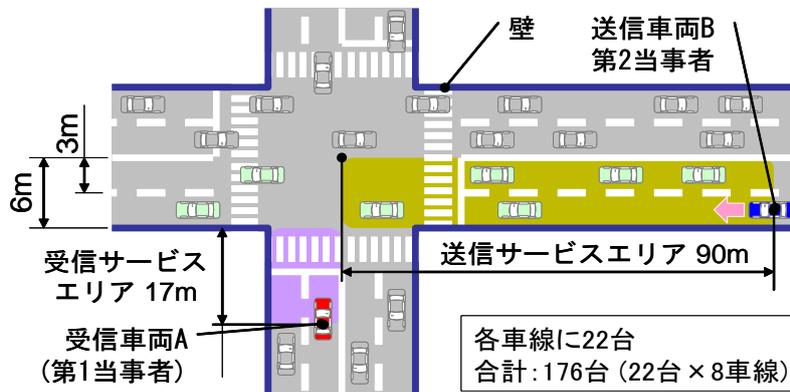
(サブテーマ 4)

⇒車両が高密度な都市環境等でも高いパケット到達率と低遅延 (高レスポンス性能) を実現

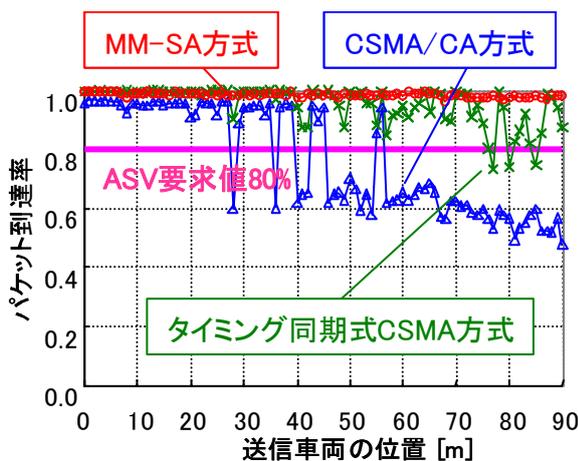
↓
プロトタイプ試作と実証実験

の4つの各技術が連携することでASV 通信要件を満足するまでに至った。

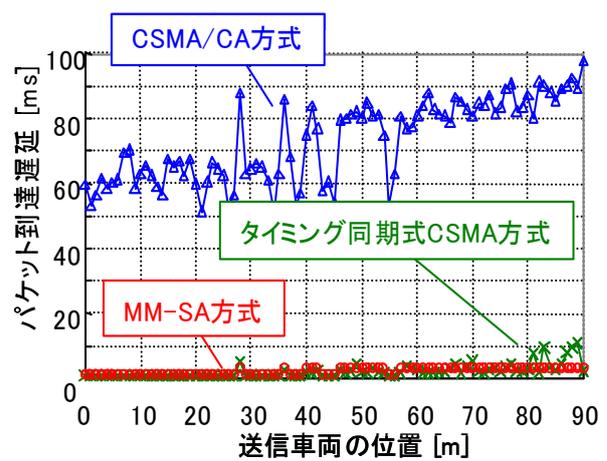
ASV 通信要件に即した条件で、MM-SA 方式、CSMA/CA 方式、タイミング同期 CSMA 方式の3つの方式で比較評価を行なった。シミュレーション道路モデルを図ア(3-1)(a)に示す。受信車両の位置及び車両台数は、17m、176台である。図ア(3-1)(b)、(c)にMM-SA 方式、CSMA/CA 方式及びタイミングCSMA 方式の3方式に対するパケット到達率及びパケット到達遅延を示す。



(a) 出会い頭衝突防止



(b) パケット到達率特性



(c) パケット到達遅延特性

図ア(3-1) 3方式 (MM-SA、CSMA/CA、タイミング同期 CSMA) の特性比較

上記までは、約 540m 四方の中に、交差点が 1 箇所存在するケースで、レイトレース手法を用いて評価を進めてきた。実環境に近付けるために、シミュレーションエリアを ASV に

準拠した片側 1 車線道路から 3 車線道路までが混在する 2km 四方の道路モデルに拡大し、車両台数も約 2 万台にまで拡大した環境下でシミュレーション評価を実施した。なお、このシミュレーションは、簡易伝搬モデル（市坪モデルをベースとした改良型星形モデル）とパケット誤りに関する統計モデルを用いてモンテカルロシミュレーションを行う方法を採用しており、ATR が独自に開発したものである。これを使用することで、レイトレース伝搬モデル・ネットワークシミュレータを用いて単一交差点で実施した前記のシミュレーションに比べて大幅に計算時間が短縮され、大規模な都市モデルでの評価が可能となる。

この方法では、パケット到達率（PDR）は、モンテカルロ手法を用いて次式により計算する。

$$PDR = \frac{1}{KM} \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M F \left[\frac{P_0}{\frac{1}{g} \sum_{i=1}^N A_{k,m,i} P_{k,i} + N_0} \right] \quad \text{式ア(3-1)}$$

ただし、

K：ランダム車両位置試行回数

M：時間試行回数

N：干渉信号数

F：パケット誤り率特性関数

P₀：所望信号受信電力

g：拡散利得（CSMA/CA の場合は g=1）

A_{k,m,i}：同時送信係数（1 or 0）（後述）

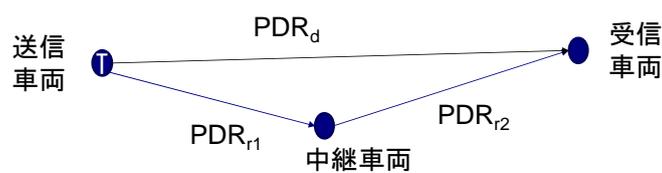
P_{k,i}：干渉信号電力

N₀：雑音電力

である。

中継転送がある場合の総合パケット到達率は、直接経路によるパケット到達率と中継転送経路によるパケット到達率から求めることができる。例えば、図ア(3-2)に示すような中継転送経路の場合は、次式で計算される。

$$PDR = PDR_d + (PDR_{r1} \times PDR_{r2}) - (PDR_d \times PDR_{r1} \times PDR_{r2}) \quad \text{式ア(3-2)}$$



図ア(3-2) 中継転送がある場合のパケット到達率の計算方法

次に、PDR 計算に用いる同時送信係数 A_{k,m,i} を定義する。A_{k,m,i} は、ブロードキャスト型通信において、ある 1 台の他車両が送信するパケットが自車両の送信するパケットと同じタイミングとなったかどうかを表し、1 か 0 のどちらかの値をとる。どちらの値をとるかは、通信制御プロトコルに依存する同時送信確率（パケット衝突確率）X によって、次式に従って統計的に決定する。

$$A_{k,m,i} = \begin{cases} 1 & (\text{random}(1) < X) \text{ の場合} \\ 0 & \text{その他の場合} \end{cases} \quad \text{式ア(3-3)}$$

ここで、random(1) は、0~1 の一様乱数である。また同時送信確率 X は、通信制御プロ

トコルに依存し、その特性が反映される。CSMA/CA と MM-SA の場合は表ア(3-1)に従って決定する。CSMA/CA では、バックオフスロットによる同時送信確率の低減効果が反映される。また MM-SA では周波数チャンネル制御と送信タイミング制御によるパケット衝突回避効果が反映される。

表ア(3-1) 同時送信確率

(a) CSMA/CA

条件	同時送信確率 X
キャリアセンス相手端末なし	L/T
キャリアセンス相手端末あり	(L/T)*(1/CW)

L : パケット長

T : パケット送信間隔

CW : 最大バックオフスロット数

(b) MM-SA

条件		同時送信確率 X
発信車両	周波数チャンネル AND 送信タイミングが一致	1
	周波数チャンネル OR 送信タイミングが不一致	0
中継車両	周波数チャンネル AND 送信タイミングが一致	V_r/Q
	周波数チャンネル OR 送信タイミングが不一致	0

Q : 1 送信周期中の中継用送信タイミングの数

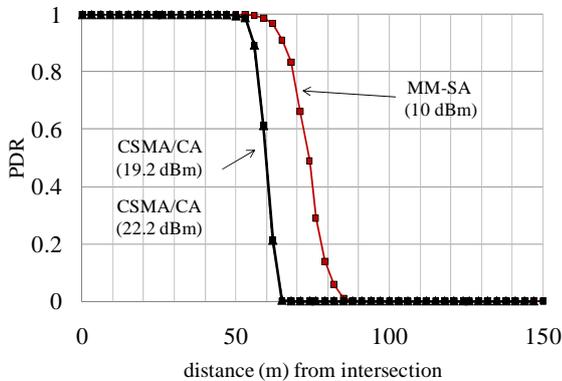
V_r : 転送エリア内に位置する車両の平均台数

この方法によるシミュレーション条件を表ア(3-2)に示す。図ア(3-4)はある瞬間での電波到来状況と評価した交差点の拡大図を示している。図ア(3-3)は MM-SA 方式と CSMA/CA 方式の出会い頭衝突防止シナリオでのパケット到達率であり、(a)は干渉車両のない 1 対 1 通信（転送機能なし）であり、(b)は車両台数：約 2 万台の環境下での結果である。

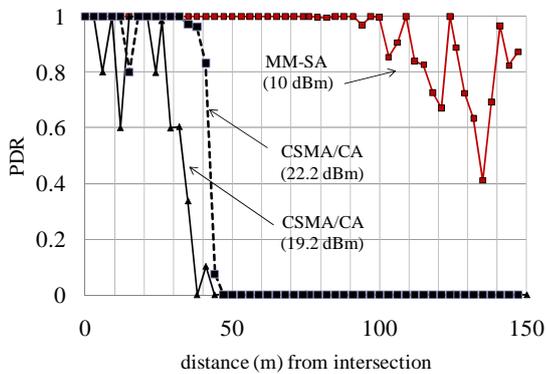
表ア(3-2) シミュレーション条件

項目	通信制御プロトコル		
	CSMA/CA (IEEE802.11p 参照)		MM-SA
周波数帯	5.8GHz 帯		
パケット長	139 バイト (1112 ビット)		
送信周期	100ms		
送信電力	83mW	166mW	10mW
伝送速度	12Mbps	24Mbps	4.1Mbps
周波数チャンネル数×帯域幅	1ch×10MHz	1ch×20MHz	4ch×5MHz
中継転送エリア	—	—	120m×10m
送信タイミング制御	—	—	直前の車両の 送信タイミングから 3 スロット後
キャリアセンスレベル	-85dBm	-82dBm	—
拡散利得	—	—	7dB
BER 特性	16QAM	16QAM	•/4-shift QPSK

	(畳込み符号 1/2)	(畳込み符号 1/2)	
パケット長	0.093ms	0.046ms	1.9ms

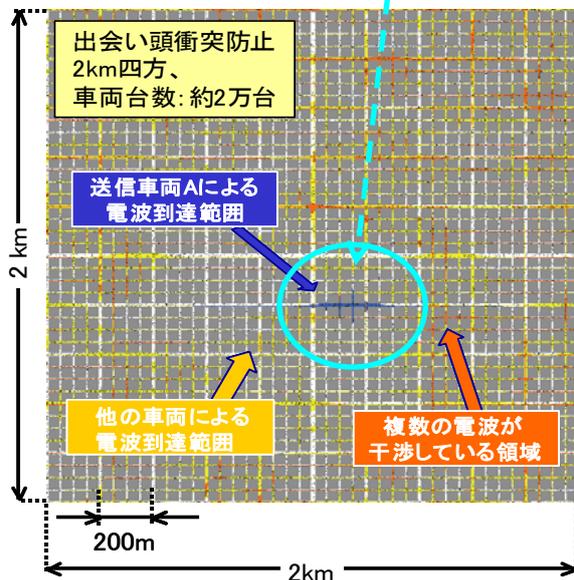
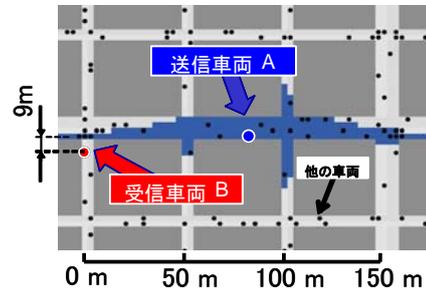


(a) 干渉車両なし及び転送機能なし



(b) 車両台数 2 万台
(車頭間距離:21m、MM-SA:転送有)

図ア(3-3) MM-SA 方式と
CSMA/CA 方式の比較



図ア(3-4) ある瞬間での電波到達状況
(周波数:5.8GHz 帯)

上記の評価から、以下の様にまとめられる。

3 方式の比較評価

MM-SA 方式は、遠近効果を利用して隠れ端末問題を抑制するため、サービスエリア内の全ての場所で 100%近いパケット到達率を実現できた。また、パケット到達遅延を数 msec 以内に抑えることができた。

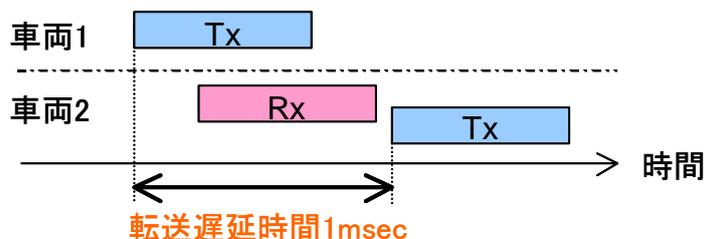
一方、タイミング同期 CSMA は、パケット到達率が大きく改善されるが、転送パケットを収容しきれない場合がある。CSMA/CA は周りの通信状況を見てから送信するため、パケット到達遅延時間が 50msec 以上発生してしまう。

2km 四方エリアでの比較評価

数万台規模の評価で、MM-SA 方式は全てのサービスエリア内で ASV 通信要件 (パケット到達率 80%以上) を満足できることを検証した。また、国際標準とされている IEEE 802.11p よりも優れた通信品質を確保できることが検証できた。

(4) 1 ホップ当りの遅延時間 1msec 達成

ハードウェア処理時間、伝送速度、拡散率を考慮し、図ア(4-1)に示す転送遅延時間を評価した。その結果、表ア(4-1)に示すように、拡散率7、伝送速度585kbps、パケット長475bitの条件下であれば、1ホップ当りの転送遅延時間1msec以内が達成できることを確認した。なお、上記(3)で述べたASVアプリケーションに即したパケット長(1112bit)に対するMM-SA方式のパケット到達遅延時間は、1ホップ当り約2msecであった。



図ア(4-1) 転送遅延時間

表ア(4-1) 転送遅延時間評価結果 (7倍拡散、585kbps時)

No.	項目	値
a)	PR、UW 受信時間(=160bit)	0.270 msec
b)	ヘッダの受信時間(=95bit)	0.160 msec
c)	データ部の受信時間(=220bit)	0.375 msec
d)	ハードウェア処理時間	0.180 msec
	計	0.985 msec

4-1-3 実施計画に対する達成状況

当初、計画した中間目標及び最終目標に対する達成状況は以下の通りである。

中間目標 (平成20年1月末) に対する達成状況

- ASVアプリケーションで想定されているトラフィックモデルである約530m四方で、周波数と拡散符号等のパラメータについてのシミュレーション評価・解析を実施し、ハードウェアの部分試作と評価を行って基本設計を完了した。
- 上記の設計において、1ホップにおける転送遅延を1msec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機能的・性能的な評価の検証を完了した。

最終目標 (平成22年3月末) に対する達成状況

- 複数周波数、複数拡散符号を組み合わせるMM-SA送受信技術に関して、スペクトラム拡散技術、周波数チャネル制御技術、マルチホップ転送技術及び送信タイミング制御技術を連携させる方式のハードウェア実装を完了した。
- 上記に加え、ASVアプリケーションで想定されているトラフィックモデルよりさらに条件の厳しいモデルである2km四方の大都市モデルを想定した評価を完了し、その他で検討されている方式に対する優位性を確認した。

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

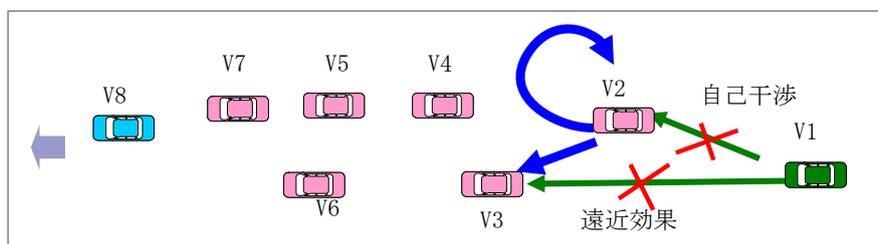
MM-SA 方式ではパケットを車車間でマルチホップ転送させ、スペクトル拡散信号の特徴である遠近効果を制御しながら見通し外や遠方への信号を確実に届かせるが、無制限に転送するとトラフィックが急増して互いに干渉し、通信不能になることがある。これを防ぐための技術として、直近の車両との間でパケットの干渉を回避する送信タイミング制御方式、転送車両の位置情報を活用したマルチホップ転送制御方式、ならびに自車と異なる車線等からの干渉を回避するための周波数チャネル制御方式を新規に開発し、その性能を評価するとともにハードウェア及びファームウェアとして実装する。

4-2-2 実施状況

(1) 送信タイミング制御方式

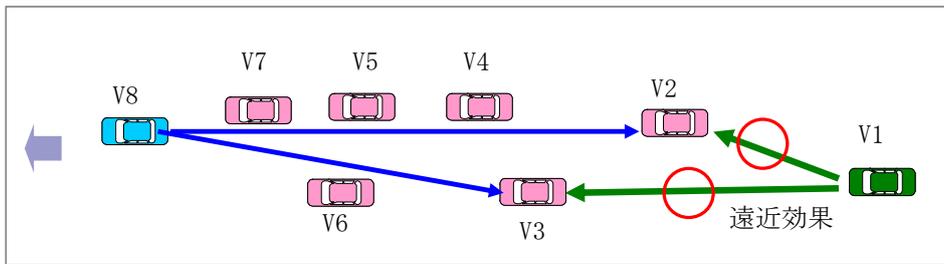
MM-SA 方式は CDMA をベースとしているため、CDMA の特徴である自己干渉と遠近効果の影響を受ける。自己干渉とは自車両がパケット送信時は同一周波数チャネル上で他車両からのパケットを受信できない現象あり、遠近効果は近くの車両からの高い干渉により遠くの車両からの情報を受信できない現象である。我々は、自己干渉と遠近効果の影響はパケットを同時に送信する車両の位置関係によって大きく異なることに着目し、各車両における送信タイミングを制御する方式を考案した。

図イ(1-1)に、近傍の車両同士がパケットを同時に送信する場合を表す。同図が示すように、近傍の車両である車両 V1 と車両 V2 がパケットを同時に送信した場合、V2 は自己干渉により V1 からのパケットを受信できない。また、V3~V8 は、遠近効果により (V2 からの干渉により) V1 からのパケットを受信できない可能性があり、V1 のパケットは配布されない恐れがある。以上から、近傍の車両同士がパケットを同時に送信する場合、自己干渉と遠近効果によりパケット配布が適切に行われぬ恐れがあることが分かる。



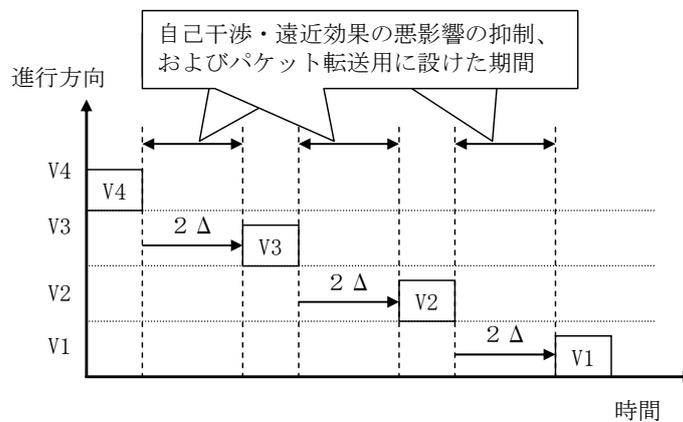
図イ(1-1) 近傍の車両同士がパケットを同時に送信する場合

図イ(1-2)は、互いから遠い車両同士がパケットを同時に送信する場合を表す。同図が示すように、V1 と V8 がパケットを同時に送信した場合、V2 と V3 は、比較的近い V1 からのパケットを受信できる可能性が高い。一方、V8 に近い V6 ~V7 は V8 のパケットを受信できるが、V1 のパケットを受信できない可能性がある。しかし、後述のマルチホップパケット転送により、V1 のパケットが V2~V3 によって転送されることで、V4~V7 は V1 のパケットを受信できる。以上から、互いから遠い車両同士がパケットを同時に送信する場合はパケットが近い車両に確実に届くことが分かった。また、後述のマルチホップパケット転送を用いることで、パケットを遠くの車両にも届けることが可能である。



図イ(1-2) 遠い車両がパケットを同時に送信する場合

安全運転支援のための車車間通信ネットワークにおいて、各車両はそれらの位置、移動方向、速度などの情報を含んだパケット（以降、定期パケット）を周期的にブロードキャストすることが想定されている。そこで我々は、近傍の車両同士が同時にそれらの定期パケットを送信しないように制御するパケット送信タイミング制御方式を考案した。具体的には、任意の車両はその前方の直近車両が定期パケットを送信が終了した時刻から約 $2 \times \Delta$ 時間後に自車両の定期パケットを生成し送信する。ここで Δ は単一定期パケットの送信に要する時間である。図イ(1-3)は、図イ(1-2)に示す車両配置モデルにおける、各車両の送信タイミングを示す。同図に示すように、各車両は前方の直近車両の定期パケットの送信終了後に 2Δ 後の自車両の定期パケットを送信する。ここで、 2Δ 時間間隔は前述の自己干渉と遠近効果の悪影響を抑制すると共に、後述のパケット転送処理のために活用される。ここで、パケット送信時間（ Δ ）を 2ms 、定期パケットの送信周期を 100ms とすると、同時にパケットを送信する車両の間で約 16 台（ $=100 / (3 \times 2)$ ）の車両が位置することになる。



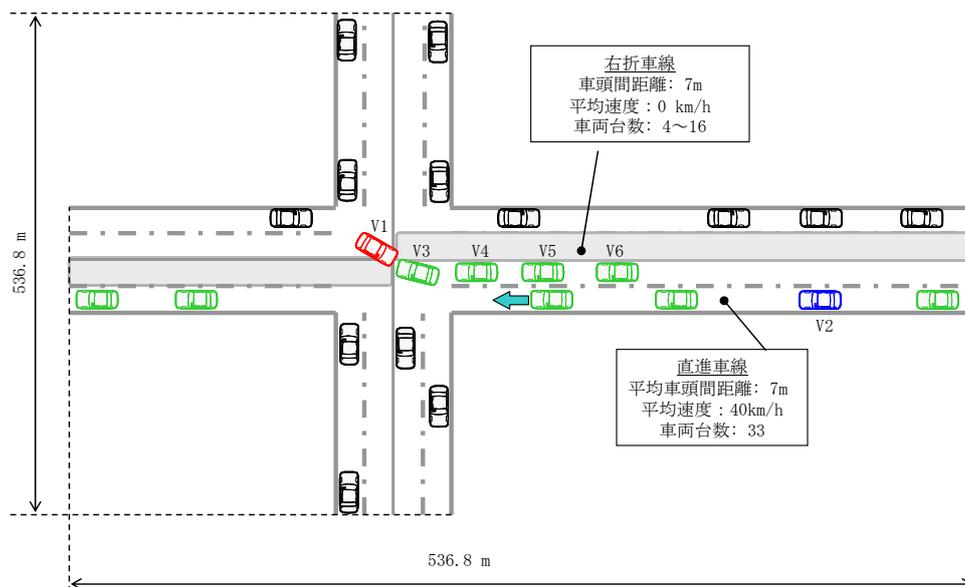
図イ(1-3) 送信タイミング制御

送信タイミング制御方式の問題と改良案

新規車両の参入などで、隣接する車両同士が同時にパケット送信を開始する場合、後方の車両が前方の車両のパケットを一切受信できず、両車両のタイミングが連続的に重なるデッドロック問題が発生する可能性がある。また、送信周期が異なる車両が混在する場合、タイミング制御が収束するまで長い時間がかかる問題がある。そこで、我々は転送ヘッダに送信タイミング記述用のフィールドを設けることにより、各車両は前方の直近車両が生成したパケットだけでなく、前方の直近車両が転送したパケットも活用し送信タイミングを制御するように送信タイミング制御方式を改良した。これにより、送信タイミングが重なるデッドロック問題が発生しにくい。また、送信周期の異なる場合でもタイミング制御が素早くに行えるようになった。

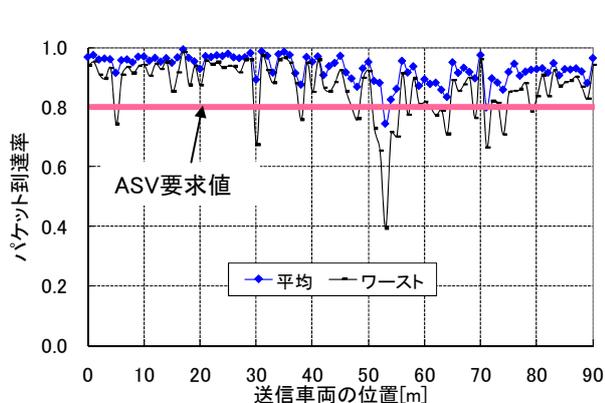
送信タイミング制御方式の性能評価

ネットワークシミュレータを用い、図イ(1-4)に示す右折時衝突防止シナリオを対象に送信タイミング制御方式の性能評価を行った。本シナリオにおいて、車両 V2 など交差点を直進する車両と、V1、V3~V6 のように右折待ち車両が混在する。従って、直進車両の速度を約 40km/h、右折待ちの車両の速度を 0km/h と想定し、直進車両の packet 送信周期を 200 ミリ秒、右折待ち車両の送信周期を 1.2 秒と設定した。シミュレーションでは、後述の周波数チャネル割り当て方式とマルチホップ転送方式により、進行方向に基づく周波数割り当てと車両の位置に基づくマルチホップ packet 転送が行われる。シミュレーションにおいて、右折待ち車両 V1 における直進車両 V2 からの定期 packet の到達特性を評価した。

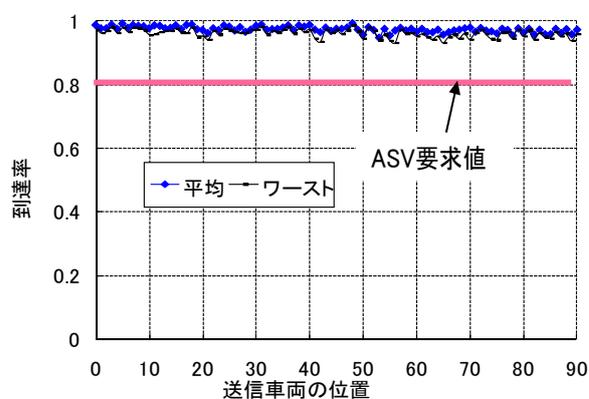


図イ(1-4) シミュレーションモデル：右折時衝突防止シナリオ

図イ(1-5)と図イ(1-6)は、それぞれ右折待ち車両 (V3~V6) が 4 台と 16 台の場合における評価結果である。両図において、a) は送信タイミング制御方式の改良前の結果であり、b) は改良型送信タイミング制御方式の結果である。両図が示すように、改良型送信タイミング制御により MM-SA 方式は異なる速度の車両が混在する環境でも ASV 通信要件を満足することを確認できた。

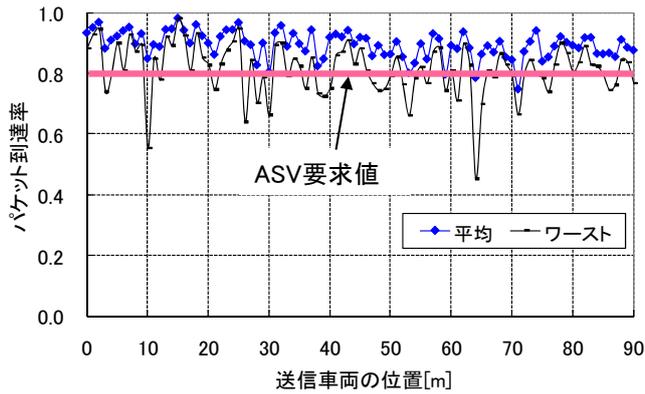


(a) 送信タイミング制御方式の改良前の特性

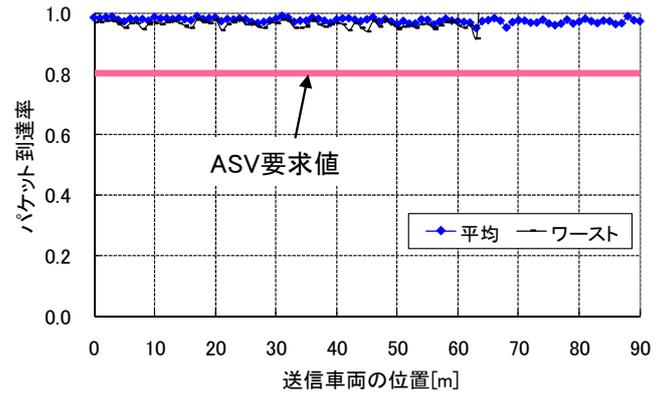


(b) 改良型送信タイミング制御方式の特性

図イ(1-5) パケット到達率特性 (右折待ち車両が 4 台の場合)



(a) 送信タイミング制御方式の改良前の特性

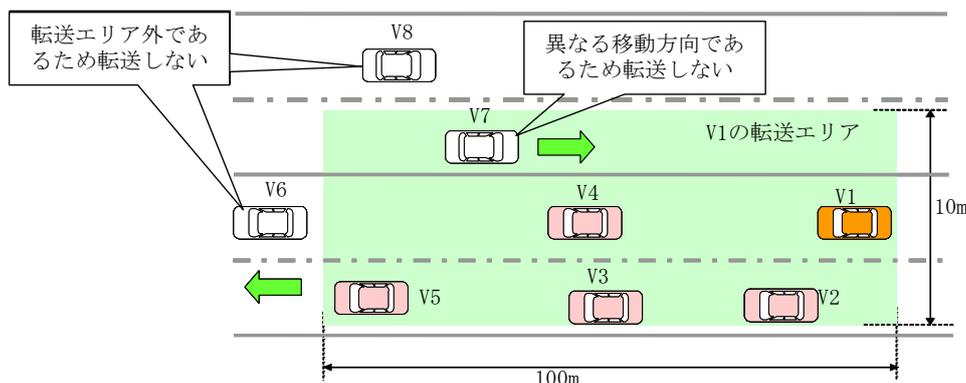


(b) 改良型送信タイミング制御方式の特性

図イ(1-6) パケット到達率特性 (右折待ち車両が 16 台の場合)

(2) マルチホップ転送制御方式

安全運転支援アプリケーションにおいて定期パケットは送信車両の前方の車両に特に重要となる。そこで、我々は、車両の位置に基づいてパケット転送を行うエリアベースパケット転送方式を考案した。本方式において、各車両の定期パケットは、送信車両の前方の特定エリア (以降、転送エリア) に位置する車両によってのみ転送される。また、転送によるオーバーヘッドをさらに削減するために、送信車両と同一の移動方向の車両のみがパケットを転送する条件を加えた。これにより、転送エリアを前方 100 メートル横 10 メートルとすると、図イ(2-1)に示す車両配置において V1 の転送エリアは緑で示すエリアとなる。従って、V6、V8 は V1 の転送エリア外に位置するため、V1 のパケットを転送しない。また、V7 は転送エリア内に位置するが、移動方向が V1 の移動方向と異なるため V1 のパケットを転送しない。従って、V1 のパケットは転送条件を満足する V2~V5 によって転送されることとなる。

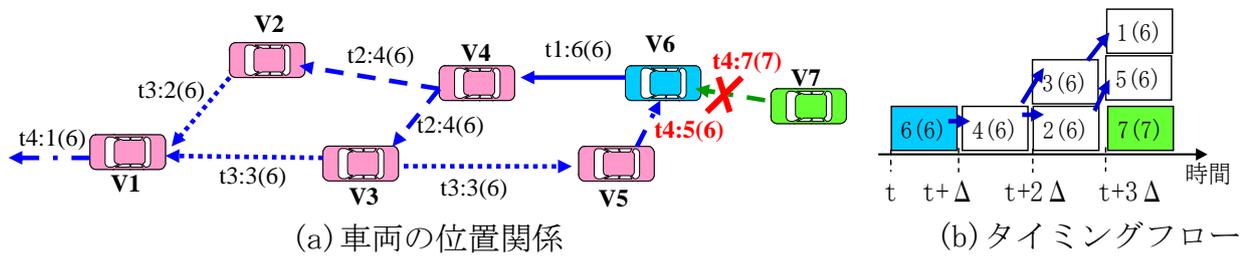


図イ(2-1) 定期パケットの転送

エリアベースパケット転送の問題と改良案

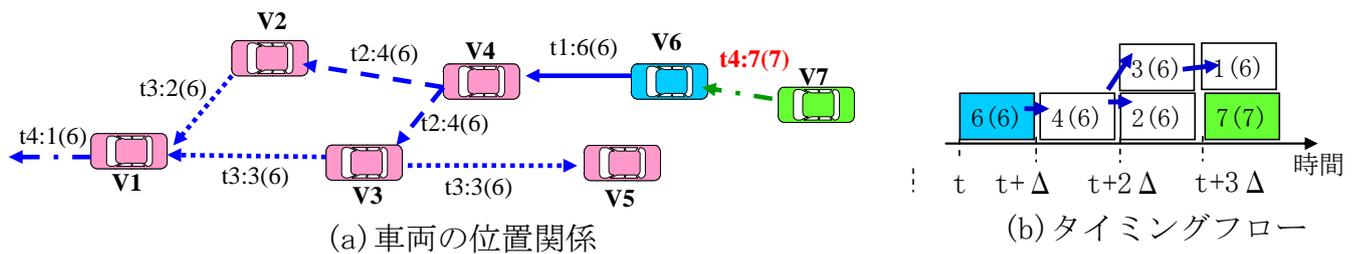
エリアベースパケット転送において、電波環境によって、前方の車両が転送したパケットを後方の車両がさらに転送する問題があった。この問題が与える影響を図イ(2-2)に表す。同図の a) に車両の配置状況を示しており、b) にパケットの送信タイミングを示している。図において、V6 が定期パケットを時刻 t に送信すると、V5 は電波環境により受信できなかったが、V4 は受信し、転送したとする。そして、V2 と V3 は V4 が転送したパケットを受信し、転送すると、V5 は V3 から V6 のパケットを初めて受信した。V5 は転送条件が満たされたため、 $t+3\Delta$ で該当パケットを転送し始める。一方、送信タイミング制御により、V7

も $t+3\Delta$ からその定期パケットを送信する。従って、V7 がパケット送信時にその近傍の車両 V5 が異なるパケットを同時に送信する結果となる。これにより、V6 と V1~V4 は V5 からの干渉により（遠近効果により）V7 のパケットを受信できないことが想定され、V7 の定期パケットが配布されない恐れがある。



図イ(2-2) 転送により不要な干渉が発生する例

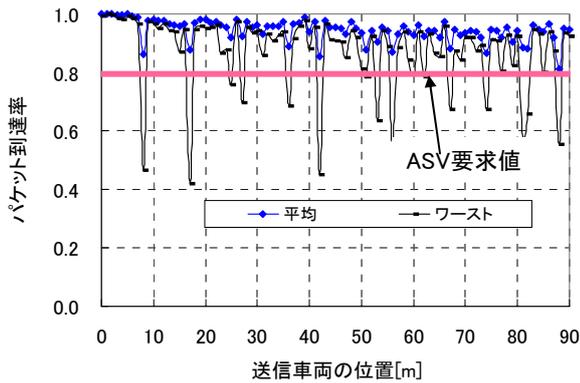
上記の問題を解消するために、我々はエリアベースパケット転送方式に「前方の車両が同一パケットを転送していない」転送条件を追加した。図イ(2-3)は、改良型方式により図イ(2-2)の問題が解消される様子を示す。同図が示すように、V5 は V3 が転送した V6 のパケットを受信するが、V3 が前方に位置するため該当パケットを転送しない。従って、V7 がその定期パケットを送信するとき ($t+3\Delta$)、V5 が不必要な干渉を発生させない。なお、V1 が V7 のパケット送信と同時に V6 のパケットを転送しているが V1 と V7 が互いから遠いため、V6 と V5 は近傍の車両 V7 のパケットを正しく受信できる可能性が高い。



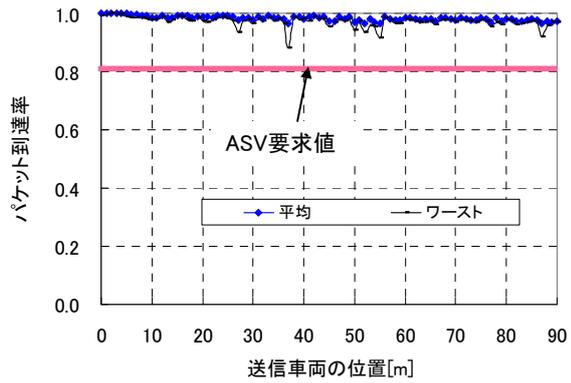
図イ(2-3) 改良型転送方式の効果

マルチホップパケット転送方式の性能評価

出会い頭衝突防止、右折時衝突防止シナリオを対象にマルチホップパケット転送方式の性能評価を行った。シミュレーションパラメータ、道路幅等の設定、車両配置は図ア(3-1) (a) の場合と同様である。なお、右折時衝突防止における受信車両（右折待ち車両）は交差点中心に位置する。シミュレーションでは、後述の周波数チャネル割り当て方式と前述の送信タイミング制御方式が導入された。図イ(2-4)と図イ(2-5)は、それぞれ、出会い頭衝突防止シナリオと右折時衝突防止シナリオにおけるパケット到達率を示す。両図において a) はエリアベース転送方式の改良前の結果であり、b) は改良型転送方式の結果である。両図が示すように、改良型パケット転送制御により、MM-SA 方式は、右折時衝突防止シナリオ、出会い頭衝突防止シナリオ、両方において ASV 通信要件を満足することを確認できた。

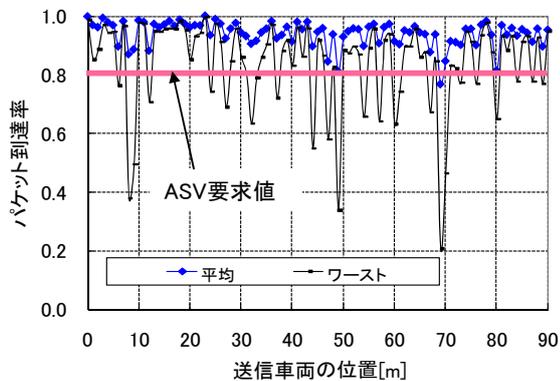


(a) 転送制御方式の改良前の特性

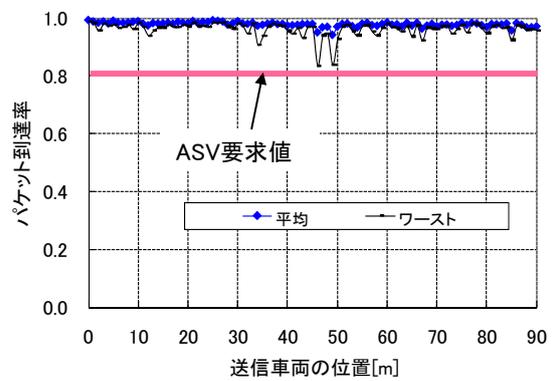


(b) 改良型転送方式の特性

図イ(2-4) 出会い頭衝突防止シナリオにおけるパケット到達率特性 (片側 2 車線、車両台数 176 台、送信周期 100ms)



(a) 転送制御方式の改良前の特性



(b) 改良型転送方式の特性

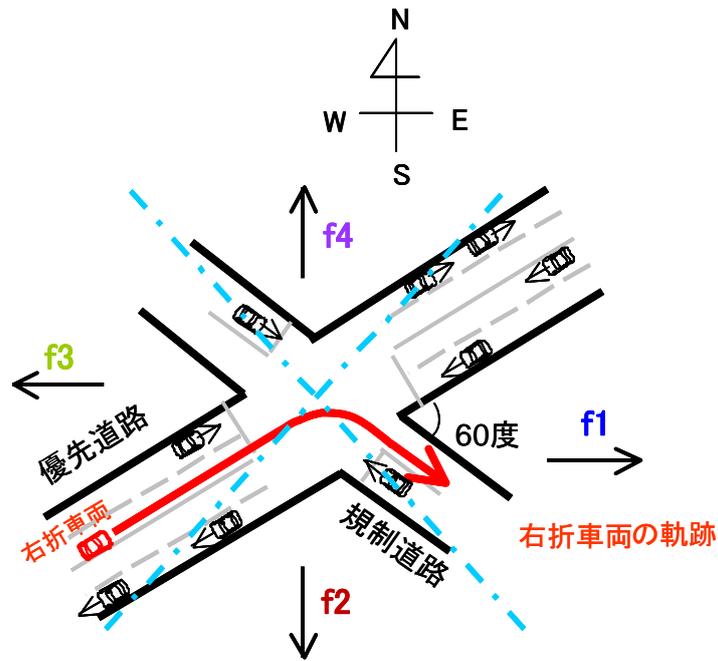
図イ(2-5) 右折時衝突防止シナリオにおけるパケット到達率特性 (片側 2 車線、車両台数 176 台、送信周期 100ms)

(3) 車両方向特定による周波数チャンネル制御方式

① 車両方向特定による周波数チャンネル制御方式評価

MM-SA 方式では、対向車線・交差道路からの干渉を抑制するために、4つの周波数チャンネルを各車両が自律的に割り当てる。図イ(3-1)に示す様に、東西南北に f1 から f4 の各チャンネルを規定しておく。また、道路は必ずしも、90度で交差するとは限らないために、場合によっては、2チャンネル使用に偏ってしまう場合が生じる。

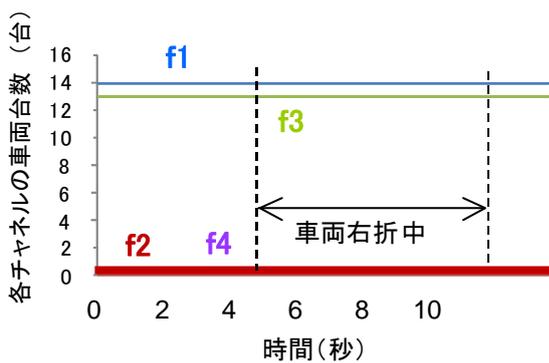
そのために、できる限り、チャンネル選択の偏りを軽減し、かつ、自律的に各車両が割り当てる方式について、方式設計・評価・実装を実施した。



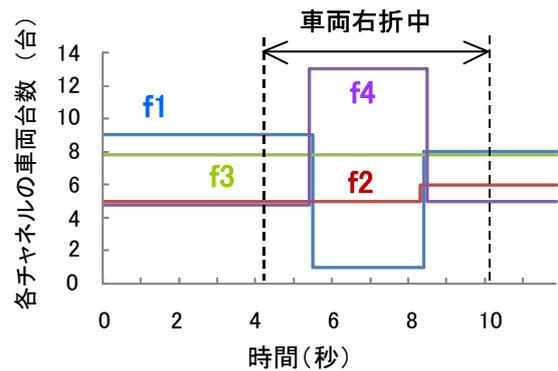
図イ(3-1) 周波数チャンネル制御

特徴となる制御方式ルール

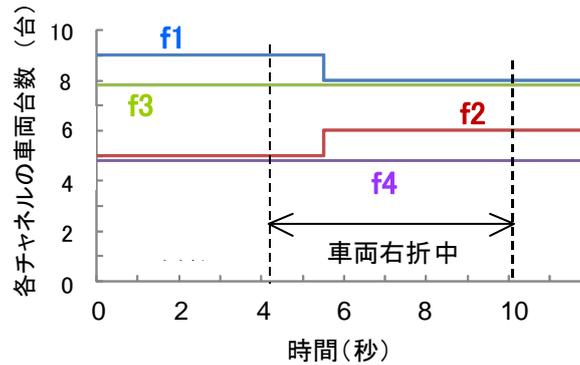
1. 進行方向に応じて、送信周波数チャンネルを各車両が選択する。
(進行方向ベース制御)
2. 進行方向に基づく優先度によって送信周波数チャンネルを選択する。
(優先度制御)
3. 右左折する車両のみが送信周波数チャンネルを変更することにより、進行方向ベース制御と優先度制御によるチャンネル制御結果を維持する。
(右左折時制御)



(a) 進行方向ベース制御のみ
(チャンネル選択に偏りが発生)



(b) (進行方向ベース制御+優先度制御) 時
(チャンネル選択に偏りが発生)



(c) (進行方向ベース制御+優先度制御+右左折時制御)
(チャンネル選択の偏りを解消)

図イ(3-2) 各制御機能組合せによるチャンネル割当の様子

進行方向ベース制御、優先度制御及び右左折時制御を用いた方式設計を行ない、シミュレーション評価により、チャンネル選択の偏りを軽減できることを検証した(図イ(3-2))。この方式のハードウェア設計を行ない、ハードウェアに実装した。

②車両間の相対位置精度評価

MM-SA 方式は、直近の前方車両を検知して、送信タイミング制御及びマルチホップ転送制御を行なっている。現状の GPS 精度はオープンスカイの環境では誤差±3m と言われている。よって、MM-SA 方式に対して、GPS 誤差がない場合とある場合の比較評価を行なった。その結果を、図イ(3-3)に示す。同図より、現状の GPS 誤差精度であっても、ASV 通信要件を満足していることを確認できた。

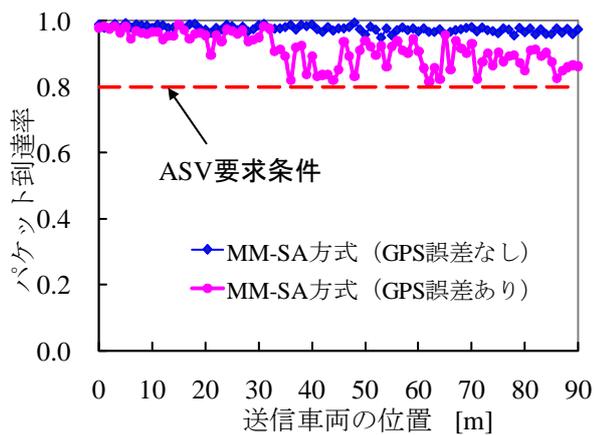
しかしながら、GPS 誤差の影響は受けているため、車車間通信では、絶対位置よりも、相対位置関係が重要で、お互いの位置情報交換により、相対測位による精度向上を評価した。

相対測位の特徴は以下の様にまとめられる。

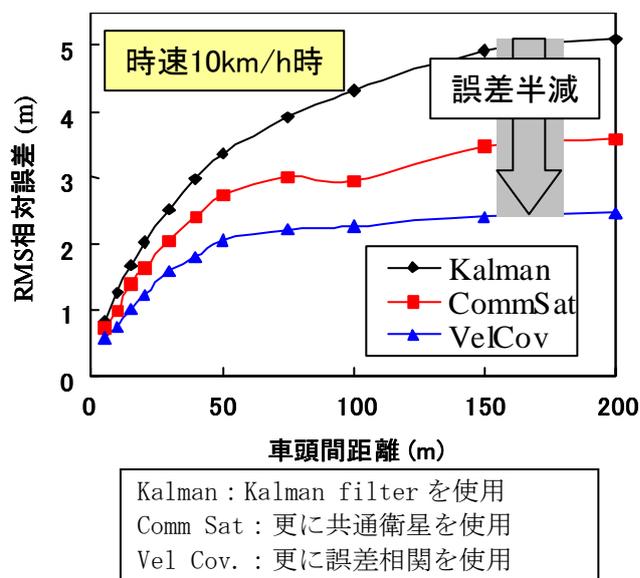
1. 測位誤差の相関性の利用：電離層による誤差、対流圏遅延の誤差、マルチパスによる誤差は空間相関性があり、お互いの車両で共通に見える衛星を選択することで、この空間相関性を利用し、誤差を軽減する。
2. 車両の移動特徴の利用：車両は道路上を直進し、1次元軌跡になる。これに対して、測位は3次元座標系で測定されることから、速度の誤差に相関性があり、これを利用すれば位置精度が向上する。

シミュレーション評価結果を図イ(3-4)に示す。評価結果から、以下のことが分かった。

- ・ 共通衛星と誤差相関を用いることで、誤差が半減できるだけでなく、車間距離が長くなっても誤差は線形に増加しない。
- ・ 速度が速くなると、マルチパスが相対測位に与える影響は小さくなる傾向がある。
- ・ 車間距離が非常に短いと、ほぼ全ての衛星が共通に見える。



図イ(3-3) MM-SA方式の packet 到達率に対する GPS 誤差の影響



図イ(3-4) 相対測位評価

4-2-3 実施計画に対する達成状況

当初、計画した中間目標及び最終目標に対する達成状況は以下の通りである。

中間目標 (平成 20 年 1 月末) に対する達成状況

- 広帯域干渉量(MAI)監視に着目した基本方式検討を行なった結果、逐次、干渉量の小さいチャンネルを選択するよりも、優先車線・規制車線に周波数チャンネルを割当て、車線毎に周波数チャンネルを固定した方が、高い通信品質を確保できる方式を確立し、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た。
- 受信信号品質の高い通信を確保するには、周波数チャンネル制御、マルチホップ転送制御及び送信タイミング制御を組み合わせることが重要であることをシミュレーションによって検証し、ASV 通信要件を満足する方式としての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た。

最終目標 (平成 22 年 3 月末) に対する達成状況

- 車両進行方向によって周波数チャンネルを固定に割り当てることで、自車両が走行している道路の周波数チャンネルを監視するのみの手法を確立し、拡散符号に対しては遠近効果を利用した手法を取り入れ、かつ、直近の車両の送信タイミングを監視することにより、送信・転送する方式のハードウェア及びファームウェア設計を行ない、実装した。
- 上記、中間目標達成に記載している 4 つの各技術を組合せ、更に、packet 到達率が向上する様にパラメータを調整し、ハードウェア及びファームウェアとして実装した。

4-3 高速パケット中継転送技術【サブテーマ3】

4-3-1 研究開発内容

前方の車両が急ブレーキを踏んだ場合などにおける追突防止に対応するには、定期パケットとは別に、即座に緊急パケットを後方の車両に向けて送信し、それを受信した車両はさらに後方の車両に高速転送する必要がある。このため、受信したパケットが緊急パケットの場合は上位層に上げず、物理層のみを介して転送して高速化を図るカットスルー転送方式を開発し、ハードウェア及びファームウェアとして実装する。また、高レスポンスな自律無線通信方式を多数の端末が互いに無線で結ばれるメッシュネットワークで実現するための効率的な転送方式を開発する。

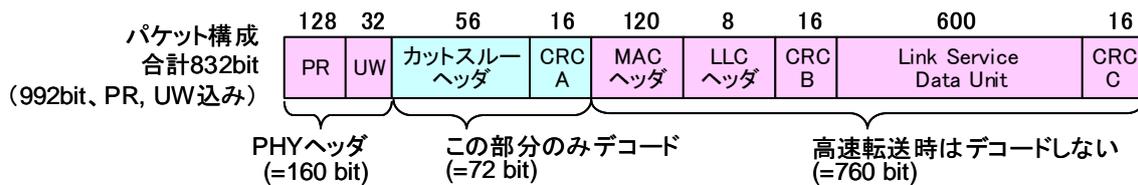
4-3-2 実施状況

(1) カットスルー転送制御方式

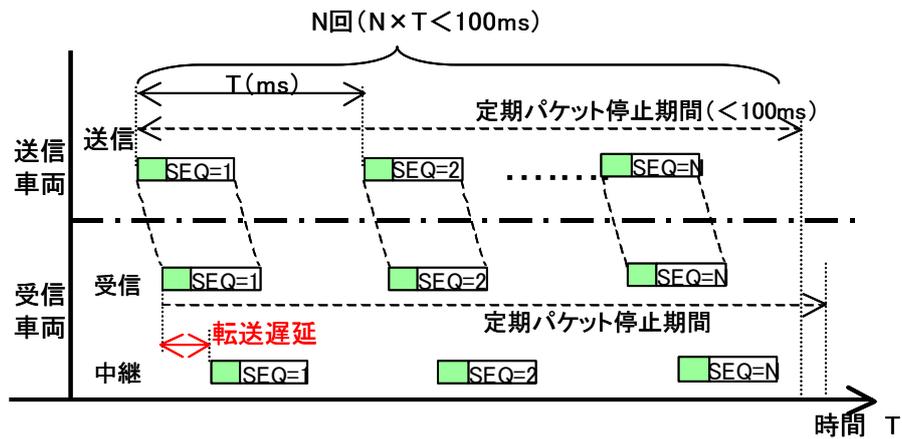
衝突事故防止のためには、突発的に発生する危険な状況、例えば急ブレーキが踏まれたことを即座に後続車両に通知することが重要である。そこで、位置情報を交換する定期パケットに加え、突発的な緊急情報を伝達するための緊急パケットを設けて、物理層で優先的に伝達する方式を確立した。その特徴を以下に示す。

特徴

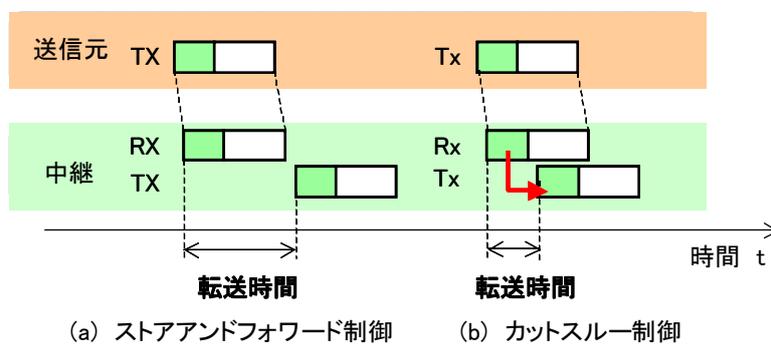
- 各端末が位置情報を定期的に送信する定期パケットの他に、突発的な緊急情報を伝達するための緊急パケットを設けた。
- 緊急パケットか否かは、高速転送を制御する専用パケットヘッダ（カットスルーヘッダ）で識別する。（図ウ(1-1)に緊急パケットフォーマットを示す）
- カットスルーヘッダのみデコードし、瞬時に転送する方式（カットスルー転送）を採用した（緊急パケットのみに適用）。
- 緊急情報のパケット到達率を向上させるため、かつ、緊急情報の伝達エリアを拡大するために、2つの機能を組み込み、実装に反映した（図ウ(1-2)に示す）。
 - － 緊急情報を送信・受信した車両は、一定時間、定期パケット送信を停止する。
 - － 緊急情報を数回繰り返し送信する。



図ウ(1-1) 緊急パケットフォーマット



図ウ(1-2) 緊急パケット送信の様子

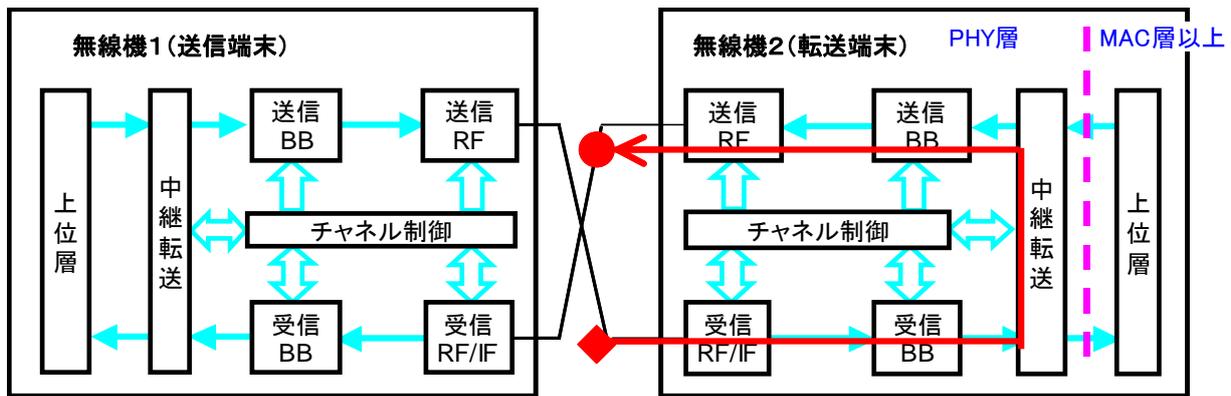


図ウ(1-3) ストアアンドフォワード転送方式とカットスルー転送方式

図ウ(1-3)は2つの転送方式、即ち、ストアアンドフォワード転送方式及びカットスルー転送方式の転送時間の定義を示す。図ウ(1-1)のフォーマットで、かつ、装置で測定した各パラメータの転送時間及び測定系を表ウ(1-1)及び図ウ(1-4)に示す。これにより、転送時間は、ストアアンドフォワード転送方式に比べて、カットスルー転送方式が、約1桁近く、短くできる。これはペイロード時間に依存している。しかし、カットスルー転送時には、耐干渉能力が問題となる。この評価については次に示す。

表ウ(1-1) プロトタイプによる転送遅延時間検証

拡散率	7倍	15倍	7倍	15倍	7倍	15倍	7倍	15倍
ターボ符号化(1/3)	なし		あり		なし		あり	
転送方式	カットスルー転送				ストアアンドフォワード転送			
転送時間(msec)	0.140	0.292	0.478	0.942	1.466	3.138	4.506	9.578



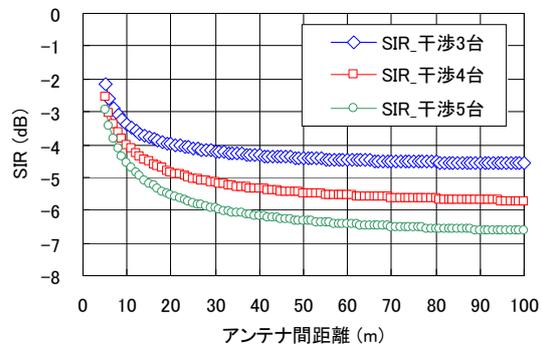
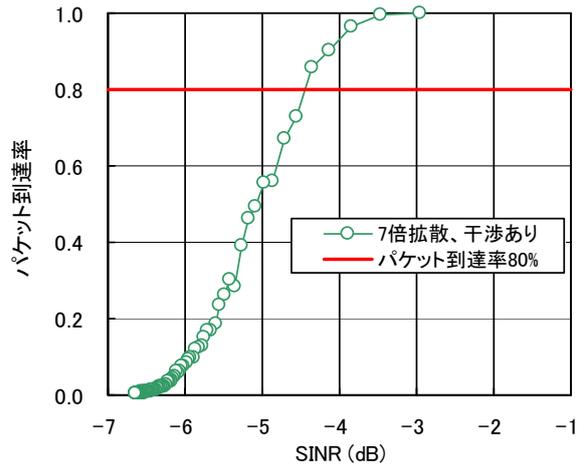
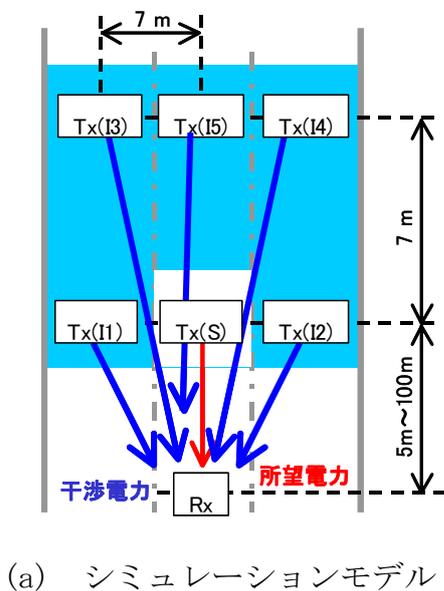
図ウ(1-4) 転送時間測定系

カットスルー転送方式での転送時間について、シミュレーション評価及びプロトタイプ装置での評価はサブテーマ1及び上記に記載した通りである。ここでは、カットスルーした packets を受信した際の耐干渉能力について評価した。カットスルーシミュレーション評価のシミュレーション条件を表ウ(1-2)示す。

図ウ(1-5) (a)のシミュレーションモデルで、前方から緊急信号が伝達されている場合を想定する。図中に示す所望波車両 (Tx(S)) と干渉車両 (Tx(I1)) から Tx(I5)) が緊急信号を受信して、カットスルー転送制御を行なった場合に、Tx(S)の信号を復調できるか否かを評価した。この時、所望信号車両の周辺に複数の干渉車両を配置し、(所望信号+干渉信号)と受信信号との距離を変化させ、SINR (Signal-to-Interference plus Noise Ratio) と BER (Bit Error Rate) を調べた。図ウ(1-5) (b)にパケット到達率-SINR 特性を示す。同図から、パケット到達率80%以上を満足するSINRは約-4.5dBであることがわかる。図ウ(1-5) (c)にSINR-アンテナ間距離特性を示す。干渉台数3台、4台及び5台に対し、SINR=-4.5dB以上となるアンテナ間距離は、それぞれ、60m、15m及び10mであり、それよりも短い距離であれば、カットスルー転送が可能であることが示されている。

表ウ(1-2) カットスルー転送方式シミュレーション条件

項目	値
無線周波数	5.8GHz 帯
送信電力	10 dBm
アンテナ利得	送信及び受信側に対して、各 6.2 dBi
ケーブルロス	送信及び受信側に対して、各 4.0 dB
拡散率	1倍 (拡散なし)、7倍
誤り訂正	なし
電波伝搬モデル	自由空間ロスモデル



図ウ(1-5) カットスルー転送方式シミュレーション評価

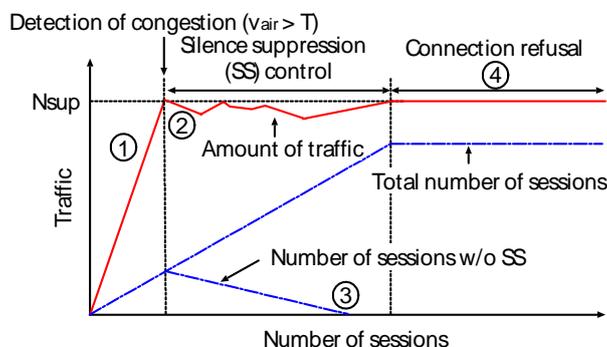
(2) メッシュネットワーク用転送方式

メッシュネットワークでは、音声やゲームといったリアルタイム性が要求されるトラフィックを收容することが求められる。また、メッシュネットワークの応用例として、産業用無線ネットワークを想定した場合にも、高速かつ高信頼なパケット転送を行う必要がある。そこで、メッシュネットワークにおいて、高レスポンス性が要求されるパケットを効率的に識別・転送するための方式を開発した。

① 無音圧縮制御方式

無線メッシュネットワークにおいて、VoIPのような音声トラフィックを扱う場合、3ホップのネットワークでは、5セッション程度で輻輳が発生しパケット中継の遅延が増大する。この問題を軽減するため、VoIPの無音圧縮機能を利用した無音圧縮制御方式を考案した。VoIPの無音圧縮は、子機端末で無音と検出したパケットを送信元で廃棄する機能である。したがって、無音圧縮により送信トラフィック量を軽減できる。しかしながら、無音圧縮機能を用いることにより、話頭欠けや背景音の欠落が発生するため、音声品質が劣化する。考案方式では、中継端末における輻輳検出後、無音圧縮を使用するVoIPセッションを適応的に選択することにより、可能な限り音声品質を維持するとともに、收容可能なVoIPセッション数を増加させる。また、輻輳検出時のトラフィック量を基に、新規VoIPセッションの確立を許容するかを判断する。考案方式では、中継端末がパケットの送信処理に要した時間(Airtime)を監視し、一定量のAirtimeの分散値を用いて輻輳の検出を行う。

図ウ(2-1)に考案方式の動作概要を示す。図ウ(2-1)では、VoIPセッションの増加に伴うトラフィック量とセッション数の変動を表している。セッション数が少ないところでは、考案方式が動作しないため、無音圧縮非適用セッションのみが存在し、転送トラフィック量もセッション数に比例し増加する(図ウ(2-1)①)。そして、ある程度セッション数が増加すると中継端末において輻輳状態が検出される。このときのトラフィック量が中継端末における収容可能な最大トラフィック量 N_{sup} に設定され、無音圧縮制御モードに移行する(図ウ(2-1)②)。無音圧縮制御モードでは新規 VoIP セッションの確立時、転送トラフィック量が N_{sup} を超えないように、当該中継端末が無音圧縮を適用するセッションをホップ数および転送している無音パケット量を基に選択する。したがって、無音圧縮制御モードでは、セッション数の増加に伴い、無音圧縮非適用セッションが減少し、最終的には無音圧縮非適用セッションが 0 となる(図ウ(2-1)③)。さらに、輻輳を検出した中継端末において、無音圧縮機能を用いても転送トラフィック量を輻輳検出時の送信トラフィック量 N_{sup} 以下にできないと判断した場合は、セッションの確立を拒否する(図ウ(2-1)④)。このように、提案方式では、中継端末における転送トラフィック量が N_{sup} を超えることがないように制御が行われる。したがって、提案方式は常に帯域を有効に活用できると考えられる。



図ウ(2-1) 無音圧縮制御方式の動作概要

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 20 ミリ秒)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。また、VoIP のトラフィックとして、ITU-T 勧告 P. 59 において定義されている擬似会話モデルを適用する。この擬似会話モデルは、A と B が会話しているものとし、一方(A または B)のみが発声する状態、双方が同時に発声する状態、および双方が同時に沈黙する状態から構成される。各状態の平均状態継続時間は、1.004、0.508、0.228 秒で与えられる。シミュレーション諸元を表ウ(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、チャンネルを 2 つ利用し、一番左側に位置する中継端末から 3 台毎に送信チャンネルを切り替えた。評価指標には IP 電話の最低品質を保証する遅延時間 400 ミリ秒・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。

評価では、考案方式の比較方式として、中継端末の送信バッファから確率的にパケットを廃棄する RED (Random Early Detection) と、VoIP の無音圧縮が常に無効(CBR)/有効(SS)とした方式、輻輳検出後無音圧縮制御のみを行いセッションの確立拒否を実施しない方式(SSC only)、輻輳検出後アドミッション制御のみを行い無音圧縮を適用しない方式(ADC only)と比較した。60 秒間隔で VoIP セッションを 20 本となるまで 1 本ずつ追加する。このときの各方式の許容 VoIP セッション数と最大遅延時間を表ウ(2-2)に示す。考案方式は、CBR、RED、ADC only に比べ 3 倍の許容セッション数を達成できている。この考案方式の許容セッション数は、SS、SSC only と一致している。しかしながら、考案方式のみアドミッション制御を実施しているため、最大遅延時間は許容値内に収まっており、常に VoIP セッ

セッションの品質を維持できていることがわかる。

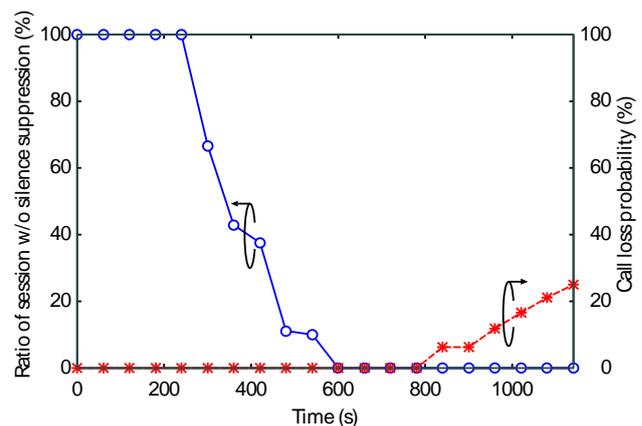
次に考案方式のセッション数が増加する際の全セッション数に対する無音圧縮非適用セッションの割合と呼損率の時間変動を図ウ(2-2)に示す。同図より、300秒より前、すなわち、セッション数5までは、全てのセッションが無音圧縮非適用となっていることがわかる。300秒以降は無音圧縮制御方式によるトラフィック量調整により、次第に無音圧縮非適用セッション数が減少し、600秒（セッション数11）のときに全てのセッションに無音圧縮が適用される。したがって、セッション数10までは無音圧縮非適用セッションが混在していることになる。つまり、この部分において、常に無音圧縮を適用した方式に比べ、音声品質の維持と帯域の有効活用が達成できている。また、全てのVoIPセッションに無音圧縮が適用されて以降もVoIPセッションは追加され、840秒（セッション数14）のときに、初めてVoIPセッションの確立拒否が発生している。ただし、直後の新規セッションは確立できており、最大収容セッション数が15となっている。このとき、5セッションは確立拒否が行われているため、呼損率は25%となる。しかしながら、アドミッション制御を施すことにより、既存の全てのVoIPセッションは品質を維持することができる。また、セッション確立を拒否することにより効率的に帯域を使用することで、表ウ(2-2)で示したように他の方式よりも多くのセッション数を収容することができている。

表ウ(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	4
端末間距離	100 m
使用インタフェース	2（中継端末3台ごとに送信チャンネル切替）
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
シャドウィング	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 ミリ秒
子機接続方法	有線 (100 Mbps)

表ウ(2-2) 許容セッション数と最大遅延

方式	許容セッション数	最大遅延時間(ms)
CBR	5	1920.9
RED	5	1267.6
SS	15	1572.8
ADC only	5	43.7
SSC only	15	1550.5
考案方式	15	376.4

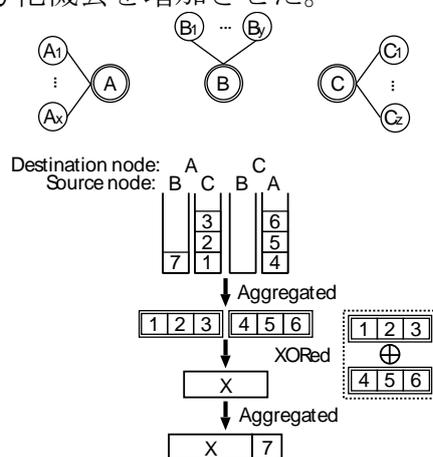


図ウ(2-2) 無音圧縮非適用セッション数の割合と呼損率（4ホップ）

② 双方向パケット連結・符号化方式 (BiPAC)

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ウ(2-3)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。

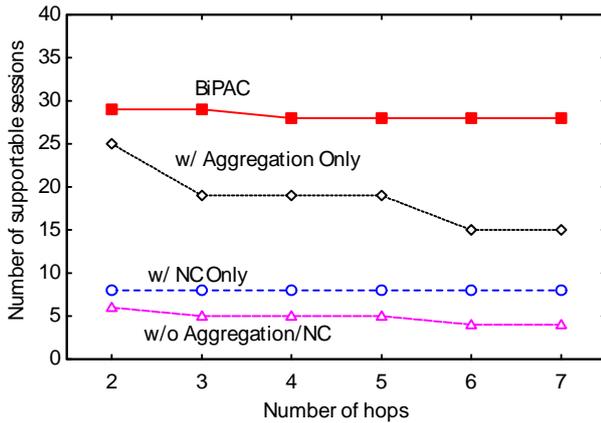


図ウ(2-3) BiPAC の連結・符号化処理の例

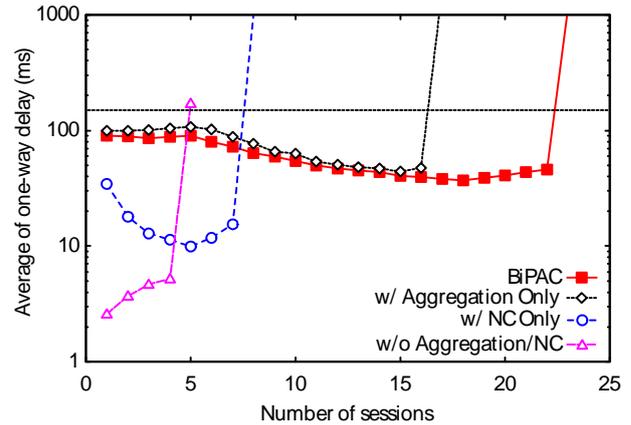
考案方式の計算機シミュレーション評価を無音圧縮制御方式の評価と同様の直線状のマルチホップネットワークを用いて行った。シミュレーション諸元は表ウ(2-1)に従い、ホップ数のみ 2~7 に変動させた。評価指標には携帯電話並みの品質を保証する遅延時間 150 ミリ秒・パケット損失率 5%以下を満たす VoIP セッション数を用いる。図ウ(2-4)にホップ数に対する許容セッション数を示す。評価では、考案方式の比較方式として、パケット連結・NC を行わない方式(従来方式)、NC のみ行う方式、パケット連結のみ行う方式と比較した。考案方式は、許容 VoIP セッション数をパケット連結のみ行う方式に比べ約 87%、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。図ウ(2-5)に結果を示す。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。



図ウ(2-4) 許容セッション数



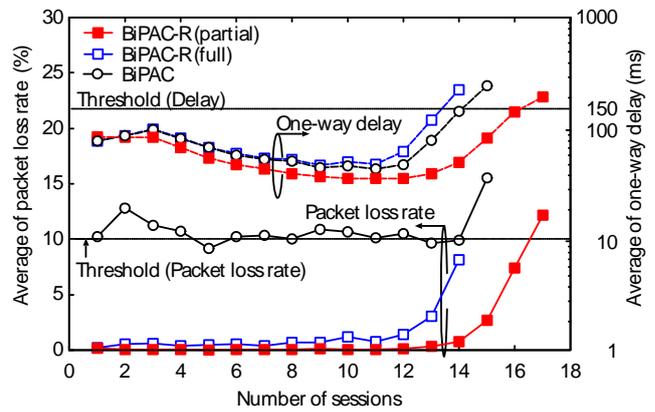
図ウ(2-5) 実機実験結果 (遅延時間)

次に、ホップ数3の直線状のネットワークを用いて、背景トラフィックとしてTCP(FTP)が混在する環境において、BiPACの評価を実施する。本評価ではIEEE 802.11eを用いてVoIPパケットを優先的に扱うものとし、BiPACの処理もVoIPパケットに限定する。表ウ(2-3)に10本のFTPセッションとVoIPセッションが混在する環境における計算機シミュレーション結果を示す。この結果は、図ウ(2-4)の背景トラフィックが存在しない場合の結果と一致している。これは、IEEE 802.11eによりVoIPパケットが優先的に送信されるためであり、優先度の低いTCPに影響されないことがわかった。また、VoIPセッション数5に固定とした場合のFTPの総スループットは、BiPACを用いた場合の総スループットが最も高くなっている。これは、BiPACがパケット連結およびネットワークコーディングにより、VoIPパケットの送信回数を大幅に削減し、余った帯域をFTPに割り当てることができているためである。以上の結果より、無線メッシュネットワークのバックボーンにおいて、VoIPとTCPトラフィックが混在する場合であっても、BiPACは非常に有効であることがわかった。

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ウ(2-6)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。

表ウ(2-3) FTPセッション数10とVoIP混在環境における評価結果

方式	許容セッション数	FTP スループット [Kbps] (VoIP セッション数:5)
従来方式	5	139.5
NC	8	506.8
HHA	17	460.4
パケット連結	18	781.8
BiPAC	29	868.3



図ウ(2-6) BiPAC-R (partial)の評価結果

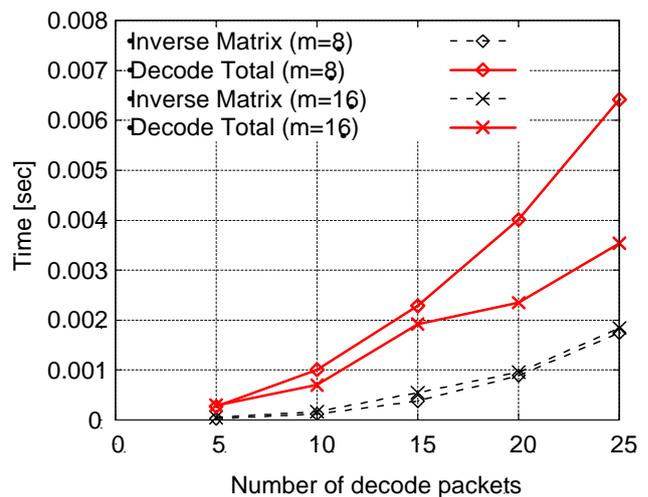
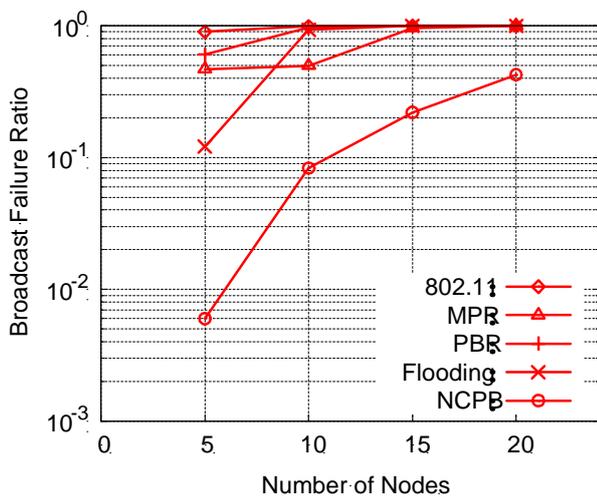
③ ネットワークコーディングを用いたリアルタイムブロードキャスト方式

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。そこで、リアルタイム通信のトラフィック特性を考慮したネットワークコーディングによる、高信頼ブロードキャスト方式を考案した。

携帯ゲーム機相当の組み込み無線ルータ端末 (VRBlade) に対して、考案した高信頼ブロードキャスト方式の実装を行ない、ATR オフィス内に端末 20 台からなるテストベッドを構成した。ブロードキャストの失敗率を測定した実験結果を図ウ(2-7)に示す。考案方式は唯一、端末数 10 の場合で 0.1 以下、端末数 20 の場合で 0.5 以下の失敗率を達成しており、中継・再送を行わない方式、ソース端末による再送方式、他の中継方式と比較し、非常に高い信頼性を達成可能であることが明らかとなった。

また、実際の組み込み端末の環境においては、ネットワークコーディングの復号処理時間によりリアルタイム性が損なわれる可能性がある。そこで、組み込み端末における考案方式の符号化パケット復号にかかる端末内部での処理時間を測定した。端末数を 20 とすると、考案方式における復号パケット数は 10 以下であることがほとんどであるが、この場合、復号時間は 1 ミリ秒以下である。このことから、考案方式の復号処理時間が、携帯ゲームで要求されるリアルタイム性に大きく影響しないことが明らかとなった。

考案方式が実際の組み込み端末の環境においても、リアルタイム性を損なうことなく高信頼なブロードキャスト通信を実現できることを実証した。



802.11：中継・再送なし

MPR：トポロジ情報による中継端末指定方式

PBR：ソース端末による再送方式

Flooding：全端末中継方式

NCPB：考案方式

Invers Matrix：逆行列算出時間

Decode Total：全復号処理時間

m=8：ガロア体フィールドサイズ $GF(2^8)$

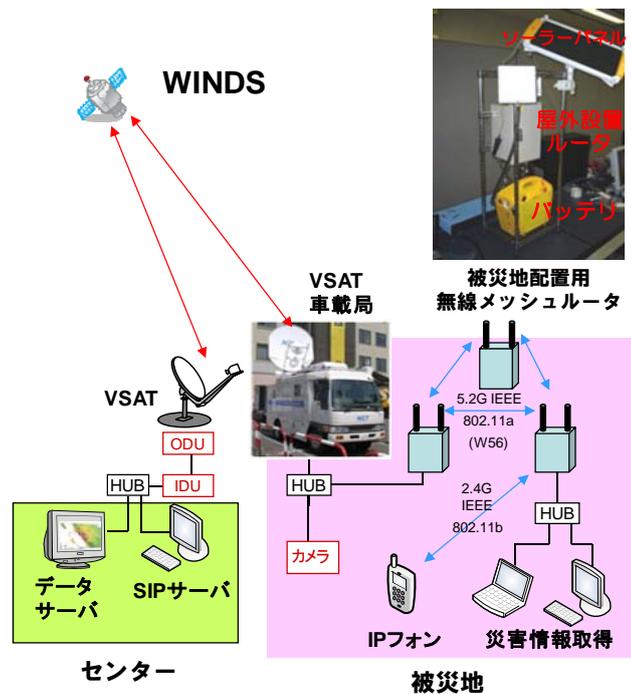
m=16：ガロア体フィールドサイズ $GF(2^{16})$

図ウ(2-7) 左：ブロードキャスト不成功率 右：復号処理時間

④ 情報通信衛星-無線メッシュネットワーク接続の災害時利用に関する実証実験

地震等の大規模災害発生時、情報通信衛星 WINDS の小型地球局 (VSAT) を被災地域に設置し、無線メッシュネットワークによって地上に面的な通信エリアを確保することで、迅速に仮設のネットワークを展開することができる。情報通信研究機構の協力の下、WINDS、VSAT および ATR 開発技術を搭載した無線メッシュルーターにより構成される無線メッシュネットワークを接続し、災害時に想定されるアプリケーションの接続性を評価する実証実験を行なった。実証実験では、VSAT に無線メッシュネットワークを接続し、無線メッシュネットワークに IP 電話端末およびネットワークカメラを収容した。WINDS を経由した遠隔地に、対向となる IP 電話端末および映像サーバを配置し、通信試験を行なった。実証実験における機器構成を図ウ(2-8)に示す。

実験結果の一部を表ウ(2-4)に示す。衛星通信区間において 400 ミリ秒程度の通信遅延が発生するため、全体として 420 ミリ秒を超える比較的大きな通信遅延時間が発生している。一方、パケットロスについては、WINDS と無線メッシュネットワークを接続した通信環境であっても、最大で 0.7% と非常に少ない結果となった。実際に通話した音声にも途切れや乱れは発生せず、クリアな音質が確認された。動画伝送も同様に、高画質の映像伝送が確認された。衛星通信に起因する通信遅延の影響はあるものの、汎用的なアプリケーションが十分に使用可能な通信品質の提供が可能であり、WINDS と無線メッシュネットワークによる災害時仮設ネットワークの有用性が実証された。



図ウ(2-8) 実証実験構成図

表ウ(2-4) 測定結果

	無線メッシュ区間		
	なし	1 ホップ	2 ホップ
平均遅延時間 [ミリ秒]	426	434	440
平均ジッタ [ミリ秒]	27.4	26.4	28.6
平均パケットロス [%]	0.0	0.3	0.7

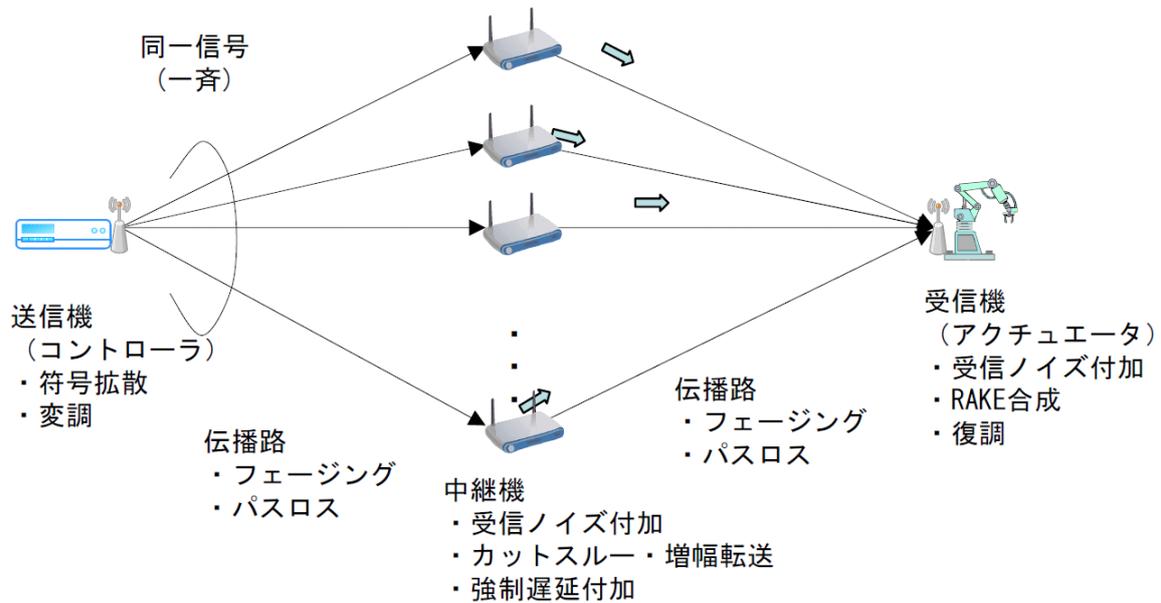
⑤ 産業用無線応用技術

MM-SA 方式の高レスポンス性能と、マルチホップ転送におけるエンド端末間のパス冗長性による高信頼化を組み合わせ、ファクトリーオートメーションやプロセスオートメーションといった産業用機器の制御通信の無線化への応用について検討した。

産業用機器の制御ネットワークは、一般的に機器を制御するコントローラと、センサおよびアクチュエータを備えた制御対象機器を接続し、その間でフィードバックループを行うための制御情報を交換する。近年、産業用機器の制御ネットワークは、制御対象機器の設置自由度の確保や、配線破損の回避、保守/設置コストの低減の観点から、システムの無線化の要求が高い。しかしこれらの動作環境は、機器自体から発生するノイズ(EMI: electromagnetic interference)や、工場内のシャドウイング・マルチパスフェージングの発生等、無線品質を低下させる要因が大きく、産業機器制御に要求される低遅延や誤り率を保証することが困難であった。

そこで、MM-SA 方式が備える Spread ALOHA アクセスとカットスルー転送技術により低遅延性を確保しつつ、ノイズに強い符号拡散通信を適用し、複数の中継機と RAKE 受信機による協調ダイバーシティを組合せ、産業機器制御に要求される信頼性を確保するための応用を検討した。

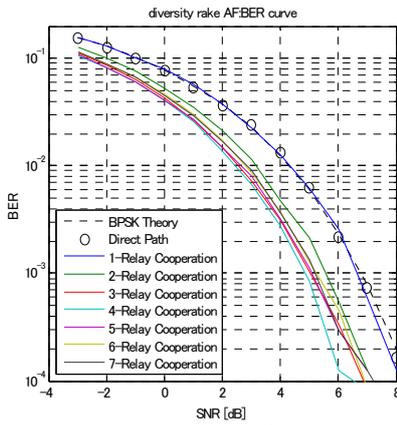
RAKE 受信による協調ダイバーシティの品質向上効果を見るため、MATLAB によるリンクレベルシミュレーションのモデルを構築し、ビット誤り率の特性を評価した。図ウ(2-9) に示すような1台の送信機(コントローラ)から複数の中継機を介して1台の受信機(アクチュエータ)に2ホップで情報を伝達するモデルを設定した。



図ウ(2-9) RAKEによる協調ダイバーシティ評価モデル

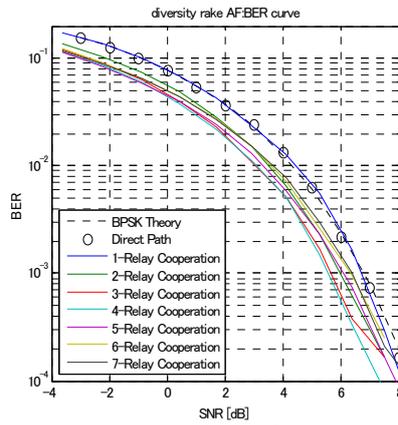
送信機は送信パケットを符号拡散した信号を送信する。送信機から送信された信号は、複数の中継機によりほぼ同時に受信される。各中継機はカットスルー転送技術によりヘッダの復調を行い転送判断した後、再度ヘッダを変調・拡散した後に残りのペイロード部分を増幅転送する。この際に中継機は、受信機で行われる RAKE でのパス分離を可能にするため、送信機からの信号受信タイミングに同期して、符号拡散のチップ時間を超えてかつシンボル時間以内の遅延時間を強制的に付加して転送する。中継機で付加する転送遅延時間は、あらかじめ各中継機で異なる時間を与えられるよう決定されているものとする。受信機は複数の相関器(フィンガー)を備え、複数の中継機から転送され重複受信した信号から、それぞれ異なるタイミングの相関ピークを検出し、逆拡散により分離した信号を最大比合成して復調する。

複数の中継機ではパケットの再生を行わず増幅転送するため、送信機の拡散に用いる符号と、受信機の RAKE に用いる符号は同一であることを想定した。中継機のカットする一転送に伴う自己干渉を避けるため、送信機→中継機 と 中継機→受信機 で使用する周波数チャンネルを分割することを想定した。拡散符号は M 系列で拡散率を 63 倍とした。変調方式は BPSK とした。中継機および受信機の信号受信時に与える雑音量を変化させた。複数の中継機は送信機からほぼ等距離にあると仮定し、送信機→中継機の距離(伝播減衰量)を変化させることにより、中継機での増幅の影響を評価した。



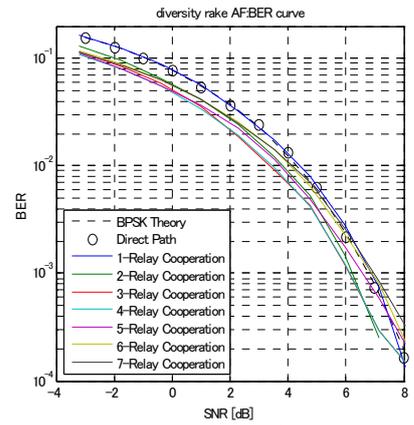
図ウ(2-10)

ビット誤り率特性—伝播減衰と中継時増幅なし



図ウ(2-11)

ビット誤り率特性—中継時増幅あり—送信機→中継機
伝播減衰：5dB



図ウ(2-12)

ビット誤り率特性—中継時増幅あり—送信機→中継機
伝播減衰：10dB

図ウ(2-10)に、伝播減衰なしで中継時に増幅を行わない場合のビット誤り率の特性を示す。並列中継数が4つまではパス合成により品質が改善できているが、中継数が4を超えると品質が改善しない。増幅転送モデルでは、中継時に付加される雑音の影響で、合成する中継パス数が増えると RAKE 合成による SN 比の改善量を、相互相関雑音の合成に伴う品質劣化分が上回ると考えられる。

図ウ(2-11)および図ウ(2-12)に中継時の増幅を行った場合のビット誤り率の特性を示す。増幅転送では中継機の受信ノイズも増幅するため、送信機→中継機間の距離が遠いほど(伝播減衰が大きいほど)、RAKE 合成時の品質が劣化することが分かる。シャドウイングを考慮せず、複数の経路間でチャンネル品質に差が少ない場合、複数の中継機は送信機に近接して配置する(あるいは送信機で送信時刻をずらした複数信号を送信する)のが理想的であることが分かる。

増幅転送による RAKE を用いた協調ダイバーシティでは、中継機の位置と中継数の制限による中継の選択を適切に制御すれば、大幅な品質の改善が可能であることが分かる。これにより、MM-SA 方式の備える高レスポンス性を適用しつつ、産業機器制御に要求される信頼性を確保する可能性を確認できた。

4-3-3 実施計画に対する達成状況

当初、計画した中間目標及び最終目標に対する達成状況は以下の通りである。

中間目標 (平成 20 年 1 月末) に対する達成状況

- カットスルー転送による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及び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した。
- 1 ホップ当りの遅延時間 1msec を達成するため、ASV 通信要件に準拠したパケットフォーマットに対してカットスルー転送を実現するラベルヘッダ機能設計及び検証評価を完了するとともに、サブテーマ 1 で得た拡散率のパラメータ条件下において、同時に複数の車両端末から干渉を受けた場合の耐干渉能力の評価を完了した。
- 上記の中継パケット高速転送技術を組み込んだハードウェア試作と評価を行い、基本設計を完了した。

最終目標 (平成 22 年 3 月末) に対する達成状況

- カットスルー転送による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現する技術を確立し、ハードウェア及びファームウェアに実装した。

- ー 上記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した。
- ー また、上記課題に加えて、双方向およびブロードキャスト型メッシュネットワークへの高速中継転送方式の応用を想定した高信頼中継転送制御方式を考案し、シミュレーションと実験による評価を完了した。

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

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とともにシステムとして構成、実装し、プロトタイプとして実現する。またプロトタイプを用いたフィールドでの実証実験を行い、実環境での通信性能を評価する。

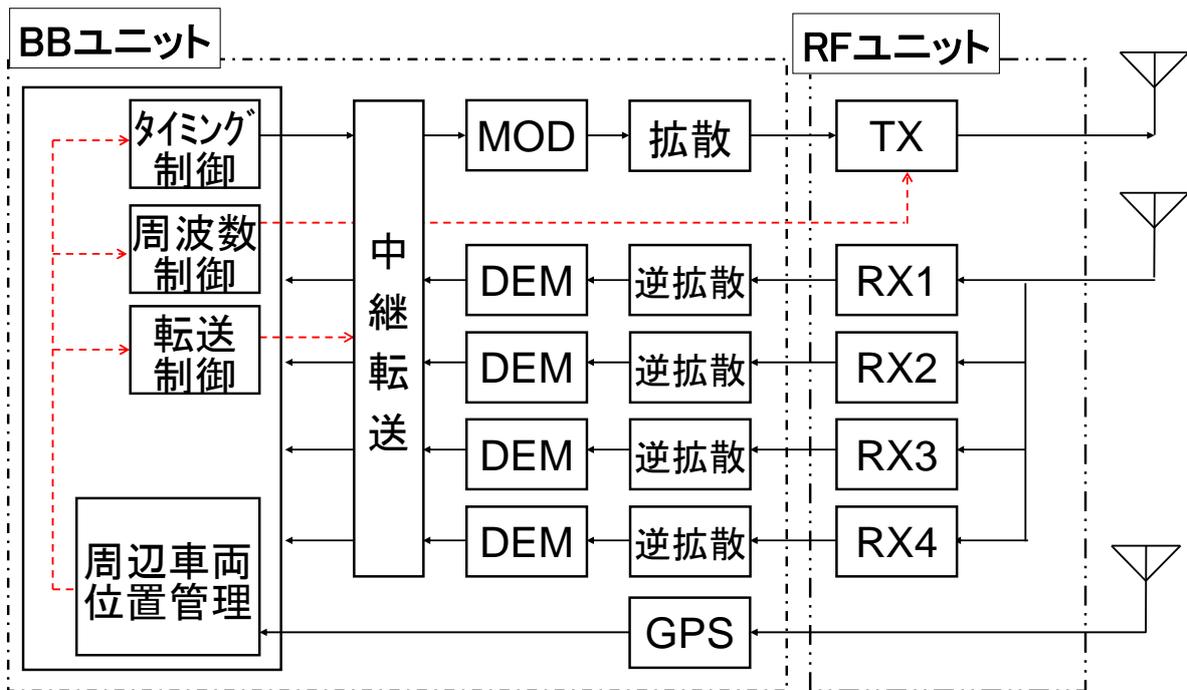
4-4-2 実施状況

(1) アーキテクチャの確立とプロトタイプ試作

表エ(1-1)にMM-SAプロトタイプ装置の仕様を、図エ(1-1)に装置構成を、図エ(1-2)に外觀を示す。装置は高周波(RF)ユニットとベースバンド(BB)ユニットからなる。RFユニットは4つの周波数チャンネルのデータを受信する複数の受信回路で構成している。BBユニットでは、複数の拡散符号チャンネルのデータを受信するために、複数の逆拡散回路を実装している。また、逆拡散後のデータとGPSからの位置情報を用いてアプリケーションレイヤにおいて周辺車両位置管理テーブルを構築し、この情報を元にMACレイヤにおいて転送制御およびタイミング制御、PHYレイヤにおいて周波数制御を行う構成となっている。

表エ(1-1) 装置仕様

項目	性能	備考
送信周波数	5.780GHz、5.790GHz、5.820GHz、 5.830GHzのうち1波	選択可能
受信周波数	5.780GHz、5.790GHz、5.820GHz、 5.830GHzの4波同時受信	
送信電力	+10dBm±50%	
占有帯域幅	4.4MHz以内	
変調方式	$\pi/4$ シフトQPSK	
チップレート	4.096Mbps	
データサイズ	100byte	
拡散率	7倍/15倍	
受信ダイバーシチ	なし	無線機2台にて擬似的に 評価
空中線利得	4.0dBi(水平面無指向性)	コリニア、直線偏波
送受信ケーブル損	0.8dB	
受信感度	-92dBm(拡散率7倍) -96dBm(拡散率15倍)	PER<8e-3 測定条件:AWGN環境



図エ(1-1) MM-SA プロトタイプ装置の構成ブロック図



図エ(1-2) MM-SA プロトタイプ装置外観図

(2) 屋外実証実験

① 実験概要

大都市モデルとして位置づけられている東京都中央区の公道において、送信用、受信用にそれぞれ 1 台、転送用に 2 台の車両を用いた通信実験を行い、ASV (Advanced Safety Vehicle) で検討されている車車間通信による事故防止支援シーンを想定した走行環境における電波伝搬特性を明らかにした。さらに、渋滞などの混雑環境を模擬した通信実験を行い、同走行環境における通信制御特性を明らかにした。

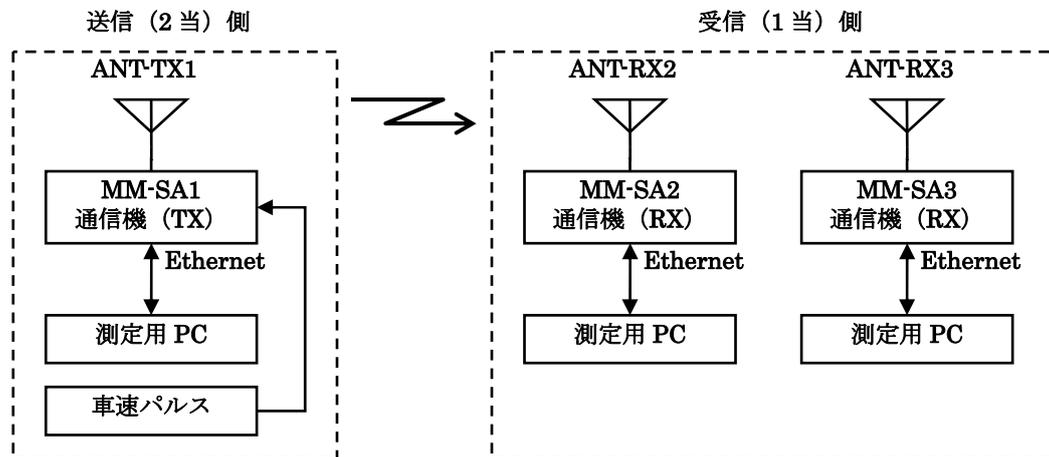
なお、今回の実験では、出会い頭衝突防止支援など交差点周辺での（交差点系）で見通し不良に対する事故防止支援シーンとなる NLOS 環境、右折時衝突防止支援や左折時巻き込み防止支援などの、見通し内単路における（単路系）事故防止支援シーンに相当する LOS 環

境について、測定を行った。

② 測定条件

本実験の1対1通信の測定系を図エ(2-1)に示す。送信(2当)側は、車速パルス、装置を識別するID、送信パケットの通し番号をデータに埋め込み、走行しながら周期的に送信する。

受信(1当)側は、所定の位置に停車し、ダイバーシティ効果を評価するために、2台の無線機を用い車両の異なる位置に設置したそれぞれのアンテナで受信する。

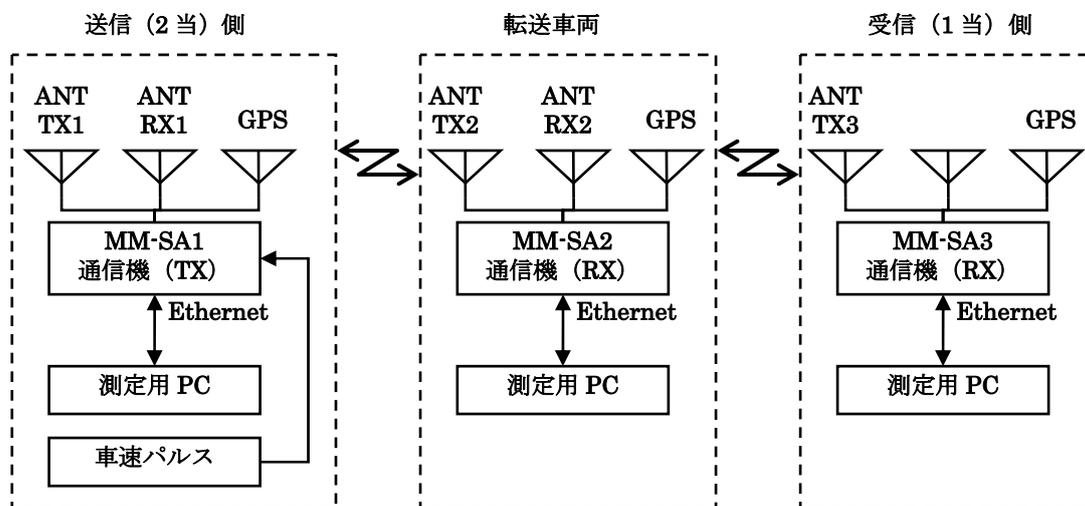


図エ(2-1) 1対1通信実験の測定系

本実験の転送通信および高負荷(模擬)通信の測定系を図エ(2-2)に示す。送信(2当)側は、車速パルス、装置を識別するID、送信パケットの通し番号をデータに埋め込み、走行しながら自車情報を送信する。このとき、受信は連続的に動作し、自車位置と受信車両および転送車両からの受信データより構成する周辺車両位置管理テーブルを元に、自車の送信タイミングを制御し周期的に送信する。

転送車両は、所定の位置に停車し、送信車両からのデータ、受信車両からのデータおよび転送車両間のデータを連続的に受信する。また、自車位置および受信データより構成する周辺車両位置管理テーブルを元に、自車の送信タイミングを制御し周期的に送信するとともに、他車両データの転送を行う。

受信(1当)側は、所定の位置に停車し、1台の無線機を用い連続的に受信動作する。



図エ(2-2) 転送実験および高負荷環境実験の測定系

実験に使用した車両を表エ(2-1)および図エ(2-3)に示す。ダイバーシティの効果評価を行う際は、2台の受信用アンテナを半波長程度(2.5cm程度)離して設置している。

表エ(2-1) 実験に使用した車両

番号	車名(メーカー)	寸法[m](全長、幅、高)	車種	車両区分
1号車	アルファード(トヨタ)	4.85×1.83×1.91	乗用車	受信車両、停車
2号車	エルフ(いすゞ)	5.985×1.89×2.85	トラック	転送車両1、停車
3号車	アコード(ホンダ)	4.74×1.73×1.44	乗用車	転送車両2、停車
4号車	アルファード(トヨタ)	(1号車に同じ)	乗用車	送信車両、走行

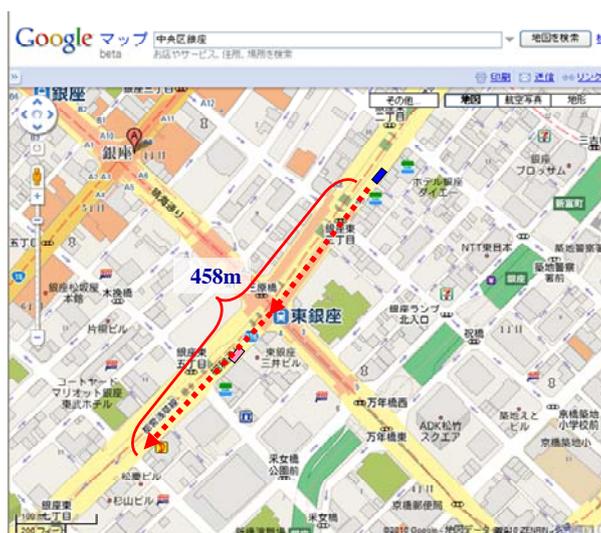


図エ(2-3) 通信実験における実験車両寸法とアンテナ設置位置

③ 実験環境

NLOS環境(交差点系事故防止支援シーン相当)における実験とLOS環境(単路系事故防止支援シーン相当)における実験を、図エ(2-4)~図エ(2-7)に示す大都市モデルとなる東京都中央区銀座地区および月島地区で実施した。

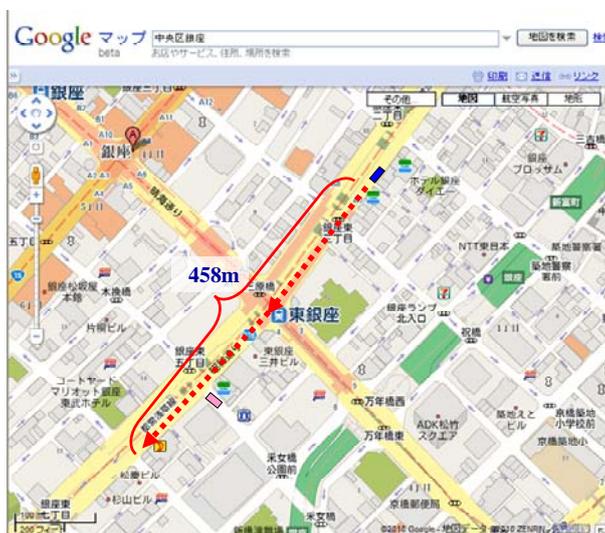
LOS環境における実験は、図エ(2-4)および図エ(2-5)に示した2ヶ所のエリアで実施した。また、NLOS環境における実験は、図エ(2-6)および図エ(2-7)に示した2ヶ所のエリアで実施した。



図エ(2-4) LOS環境(東京都中央区銀座東五丁目周辺)



図エ(2-5) LOS 環境 (東京都中央区月島3丁目周辺)



図エ(2-6) NLOS 環境 (東京都中央区銀座東五丁目周辺)



図エ(2-7) NLOS 環境 (東京都中央区月島3丁目周辺)

④ 測定内容

(i) 電波伝搬特性 (1対1通信)

1対1通信実験では受信電力とパケット到達率による評価を行っている。実験は事故防止シーンを想定した車両配置や走行方法で行った。測定パラメータを表エ(2-2)に示す。

表エ(2-2) 1対1通信実験の測定パラメータ

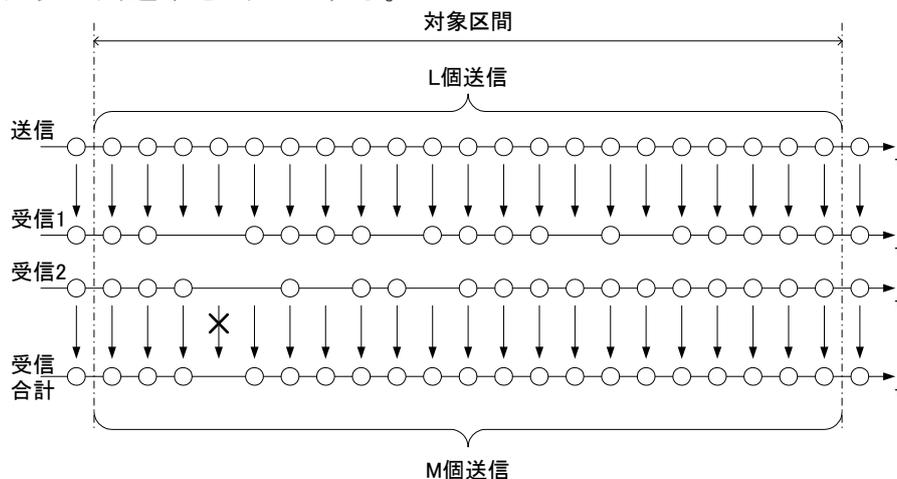
測定場所	実験環境	実験車両	
		走行車両	受信車両
月島地区 (一般道)	LOS 環境/NLOS 環境	乗用車	乗用車
銀座地区 (一般道)	LOS 環境/NLOS 環境	乗用車	乗用車

(ii) パケット到達率の測定方法

パケットを送信する車両は、送信装置を識別する ID、送信パケットの通し番号、車速パルス数を埋め込んだパケットを1台のアンテナから50ms毎に送信しながら30~60km/h程度の速度で走行する。送信側装置では、送信データを送信するとともに、送信装置を識別する ID、送信パケットの通し番号、車速パルス数を送信ログに記録する。ここで、車速パルスは40cm程度の間隔で発生する。

受信車両では、受信アンテナを異なる位置に設置した2台の装置を使用し、それぞれの受信データをそれぞれおの受信ログに記録する。ログの内容は、受信したデータから取得した送信装置を識別する ID、送信パケットの通し番号、送信車両の車速パルス、ユニークワード受信時のRSSI値、パケット受信可否である。

パケット到達率は、図エ(2-8)のように算出する。送信の時間軸に一定間隔で記載された○がパケット送信を示している。また、受信1および受信2のどちらかの時間軸に○が記載されている場合は正常受信、どちらも○が記載されていない場合は、受信エラーを示している。送信ログから、到達率算出の対象区間に相当する走行開始地点からの距離(車速パルス数)に対応する送信パケットの通し番号を確定し、パケット到達率算出の母数Lを求める。受信ログから対応する車速パルス数が埋め込まれているパケットを受信した数Mを求め、パケット到達率をM/Lとする。



図エ(2-8) パケット到達率算出方法

(iii) 受信電力の測定方法

前項に示すパケット到達率を測定する際、受信ログに記録したユニークワード受信時の

RSSI 値から、変換テーブルを用いて受信電力を求める。

(iv) 転送実験および高負荷（模擬）実験時の通信特性

転送実験および高負荷（模擬）実験では、各通信装置が MM-SA 通信方式に則って車両固有の ID などの情報を付加したパケットを送信し、各車両の送信ログ、受信ログからパケット到達率の評価を行う。

転送実験および高負荷（模擬）実験においては、NLOS 環境を想定した車両配置や走行方法で測定を行った。測定パラメータを表エ(2-3)に示す。

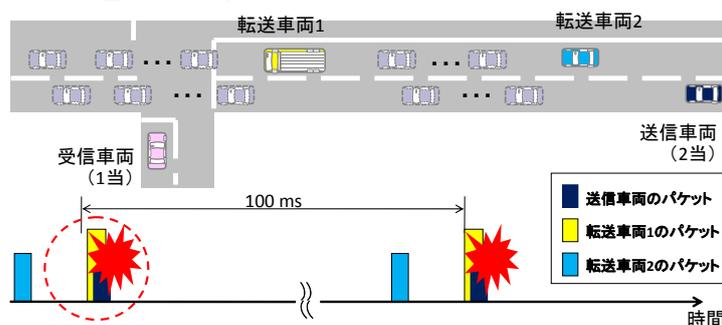
表エ(2-3) 転送実験および高負荷（模擬）実験における測定パラメータ

測定場所	実験環境	実験車両		
		走行車両	受信車両	転送車両
月島地区 (一般道)	NLOS 環境	乗用車	乗用車	転送 1：大型車
	NLOS 高負荷（模擬）環境			転送 2：乗用車
銀座地区 (一般道)	NLOS 環境	乗用車	乗用車	転送 1：大型車
	NLOS 高負荷（模擬）環境			転送 2：乗用車

本実験では、パケットの送信間隔は ASV の通信要件で検討されている 100ms を基本としている。さらに、今回パラメータの 1 つである高負荷（模擬）環境を少ない実験用通信機で実現する方法として、転送車両の送信タイミングを調整することにより行った。設定方法を図エ(2-9)～図エ(2-12)に示す。

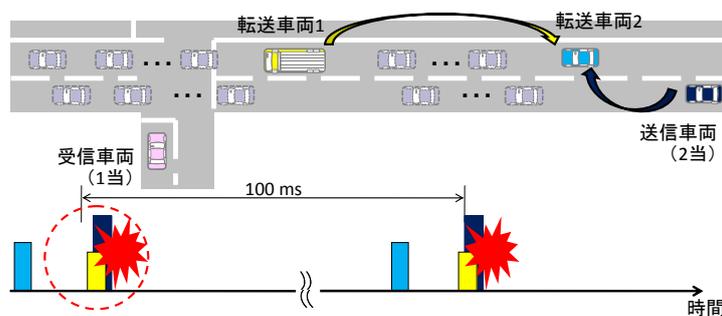
図エ(2-9)に、本実験で模擬する、車両が混雑し干渉が発生している状況を示す。ここでは、転送車両 1 の前後に合計 26 台の同一方向に進行する車両が存在していることになっている。この台数は、パケット長、パケット間隔より算出した、100msec 周期内に存在する車両台数である。

このような状況のとき、送信車両と転送車両 1 の定期パケット送信が衝突し、高負荷環境の干渉が発生している状態になる。



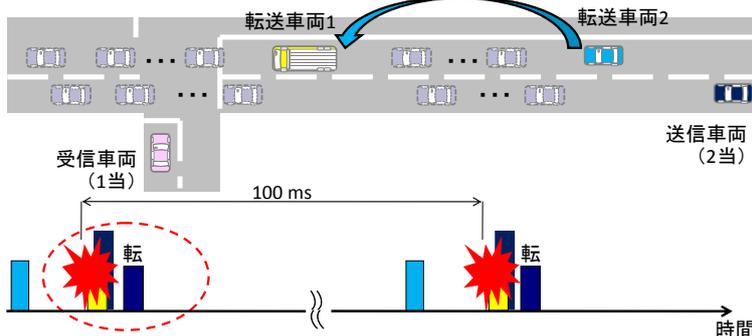
図エ(2-9) 車両が混雑し干渉が発生している状況（高負荷環境）

この干渉が発生している状態においても、図エ(2-10)に示すように、転送車両 2 では遠近効果により送信車両からのデータを受信することができる。



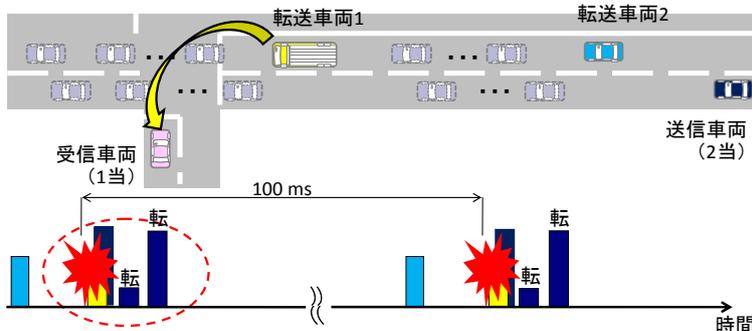
図エ(2-10) 干渉環境下における転送車両2の受信状況(遠近効果で受信可能)

転送車両2では、この受信した送信車両からのデータを、周辺車両位置管理テーブルに照し合せ、転送の必要がある場合は、図エ(2-11)のように転送する。



図エ(2-11) 遠近効果で受信できた情報を転送している様子(転送車両間)

次に転送車両1では、直接受信できなかった送信車両からのデータを、転送車両2から受信し、転送の必要がある場合に、図エ(2-12)のように転送する。これらの一連の制御により、高負荷環境においても、正常にタイミング制御および転送制御が働き、送信車両からのデータが受信車両へ伝達される。



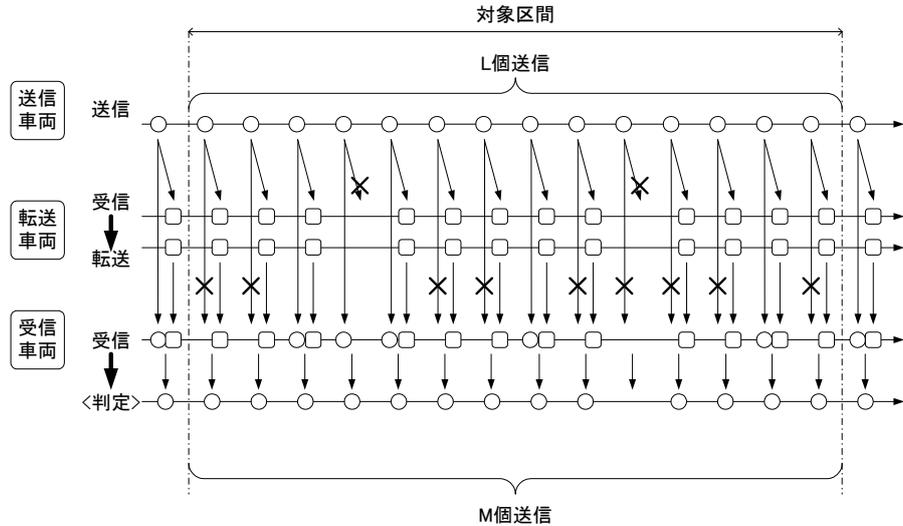
図エ(2-12) 遠近効果で受信できた情報を転送している様子(受信車両-転送車両間)

本実験においては、転送車両1および転送車両2のタイミングを位置情報によらず強制的に決めることにより、高負荷環境を模擬している。

(v) パケット到達率の測定方法

転送実験および高負荷(模擬)環境実験では、各車両は100ms毎にMM-SA通信方式に則りパケット送信を行う。パケット到達率は、図エ(2-13)のように算出する。送信の時間軸に一定間隔で記載された○がパケット送信を示している。また、転送車両での受信および転送送信を□、受信車両での直接受信を○、転送車両からの受信を□とする。受信車両で時間軸に○または□のどちらかが記載されている場合は正常受信、どちらとも記載されていない場合は、受信エラーを示している。送信ログから、到達率算出の対象区間に相当す

る走行開始地点からの距離(車速パルス数)に対応する送信パケットの通し番号を確定し、パケット到達率算出の母数 L を求める。受信ログから対応する車速パルス数が埋め込まれているパケットを受信した数 M を求め、パケット到達率を M/L とする。



図エ(2-13) 転送実験および高負荷(模擬)環境実験でのパケット到達率算出方法

(vi) 受信電力の測定方法

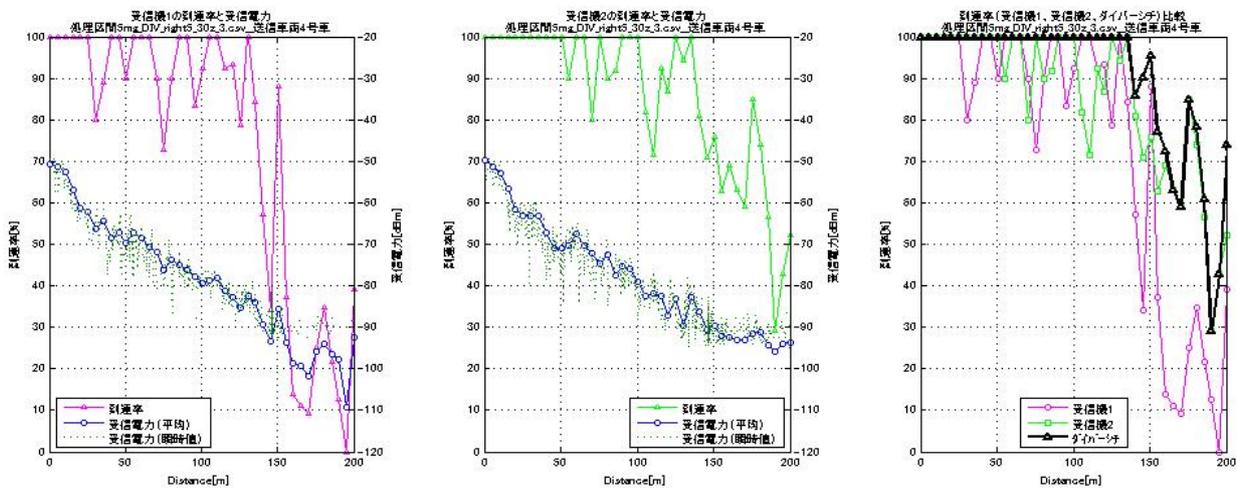
伝搬実験(1対1通信)の場合と同様に、前項に示すパケット到達率を測定する際、受信ログに記録したユニークワード受信時のRSSI値から、変換テーブルを用いて受信電力を求める。

⑤ 実験結果

(i) 伝搬実験の通信特性

図エ(2-14)～図エ(2-21)に、伝搬実験の通信特性結果と道路条件を示す。

LOS環境の結果の図エ(2-14)および図エ(2-16)において、a) および b) の受信機単体での通信特性では、目標の120mに対し局所的に到達率80%を下回る箇所が存在する。これは、公道における実験において、受信車両後方に停車している大型車両や、送信車両の前方を走行する大型車両などの影響によるものと考えられる。このような場合においても、c) の結果のようにダイバーシティ受信を行うことにより80%以上の通信品質を確保できることが実験より確認できた。

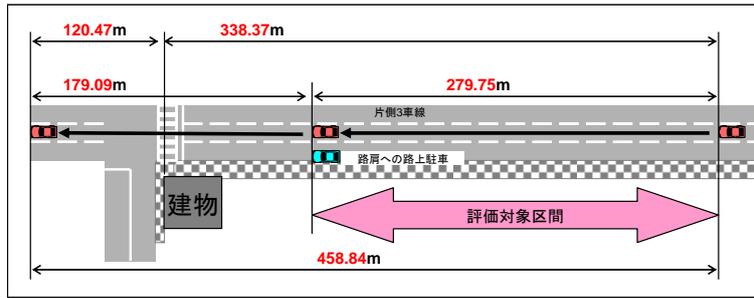


a) 受信機1での受信

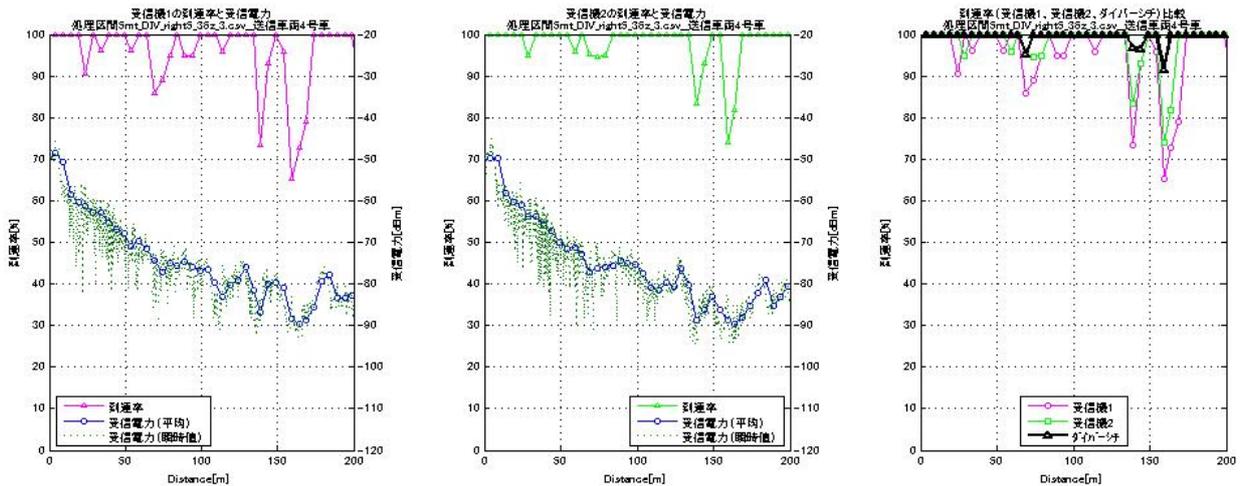
b) 受信機2での受信

c) ダイバーシティ効果

図エ(2-14) 銀座地区LOS環境における通信特性結果

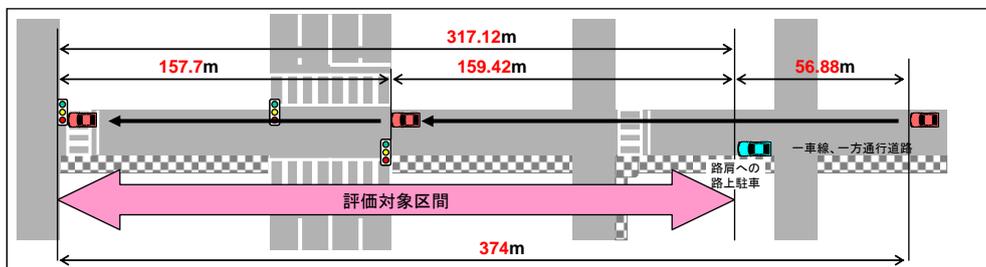


図エ(2-15) 銀座地区 LOS 環境の道路条件



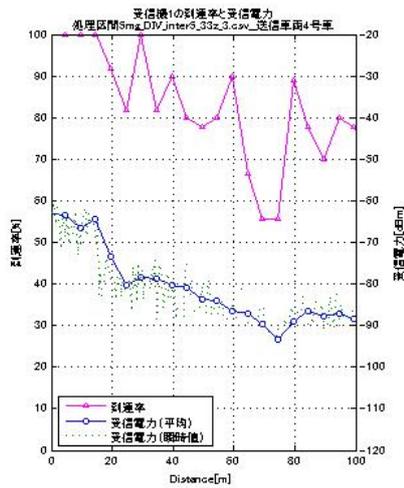
a) 受信機 1 での受信 b) 受信機 2 での受信 c) ダイバーシティ効果

図エ(2-16) 月島地区 LOS 環境における通信特性結果

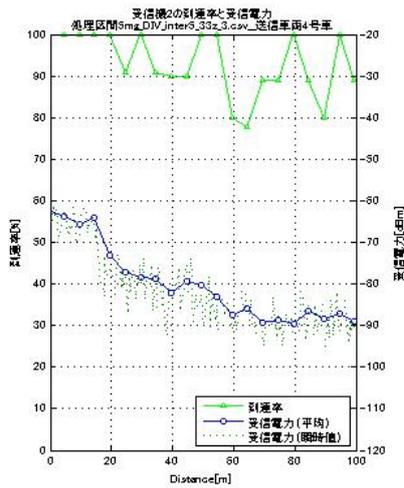


図エ(2-17) 月島地区 LOS 環境の道路条件

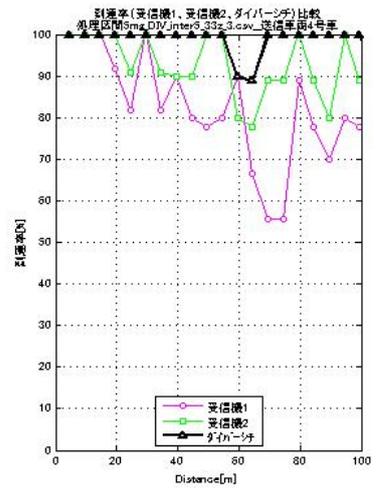
次に、NLOS 環境の結果の図エ(2-18)および図エ(2-20)において、a) および b) の受信機単体での通信特性では、目標の 90m に対し 50m 程度の通信エリアしか満足できていない。これは、建物などの遮蔽による伝搬損のためであると考えられる。このような場合においても、c) の結果のようにダイバーシティ受信を行うことにより 80%以上の通信品質を確保できることが実験より確認できた。



a) 受信機 1 での受信

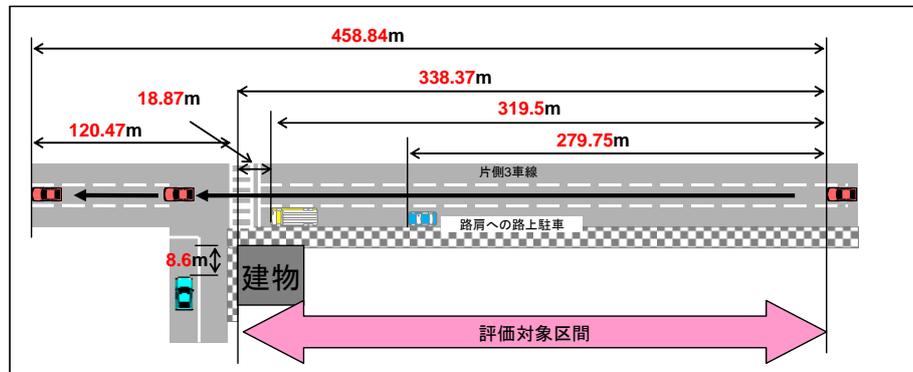


b) 受信機 2 での受信

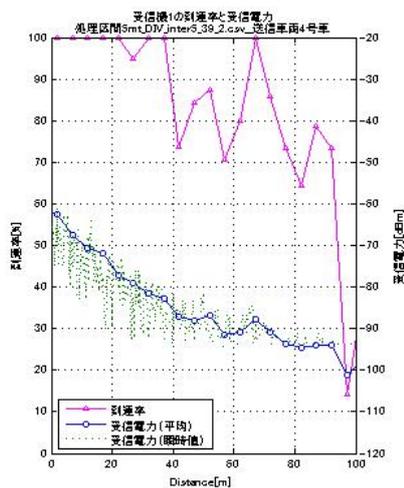


c) ダイバーシティ効果

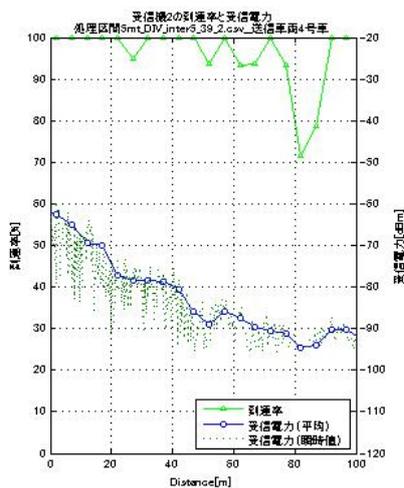
図エ(2-18) 銀座地区 NLOS 環境における通信特性結果



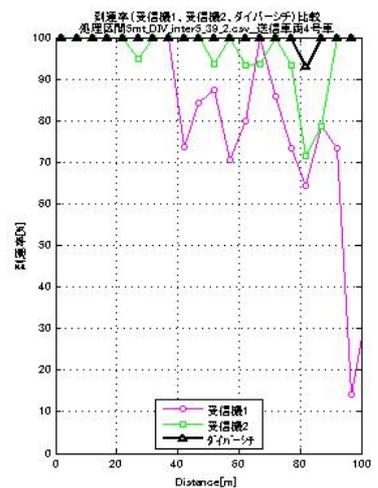
図エ(2-19) 銀座地区 NLOS 環境の道路条件



a) 受信機 1 での受信

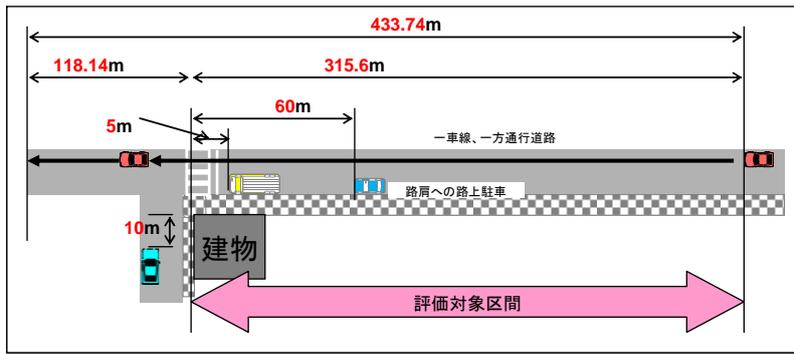


b) 受信機 2 での受信



c) ダイバーシティ効果

図エ(2-20) 月島地区 NLOS 環境における通信特性結果

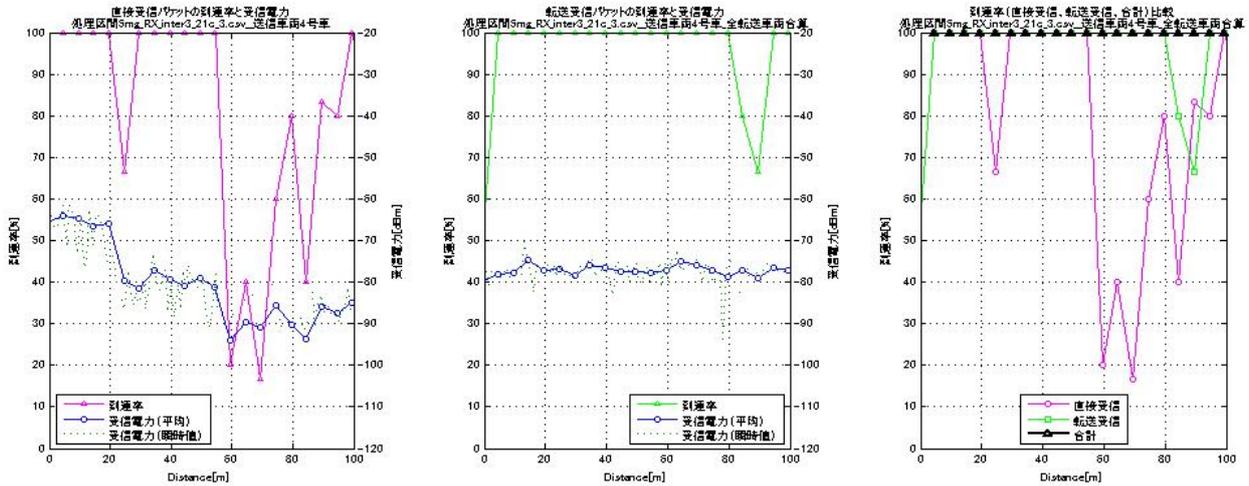


図エ(2-21) 月島地区 NLOS 環境の道路条件

(ii) 転送実験および高負荷（模擬）実験時の通信特性

図エ(2-22)～図エ(2-25)に、転送実験の通信特性結果と道路条件を示す。

NLOS 環境の結果の図エ(2-22)および図エ(2-24)において、a) のように送信（2 当）車両からの直接受信では、目標の 90m を満足できない場合においても、転送制御を行うことにより 80%以上の通信品質を確保できることが実験より確認できた。なお、本実験では、ダイバーシチ受信は行っていない。

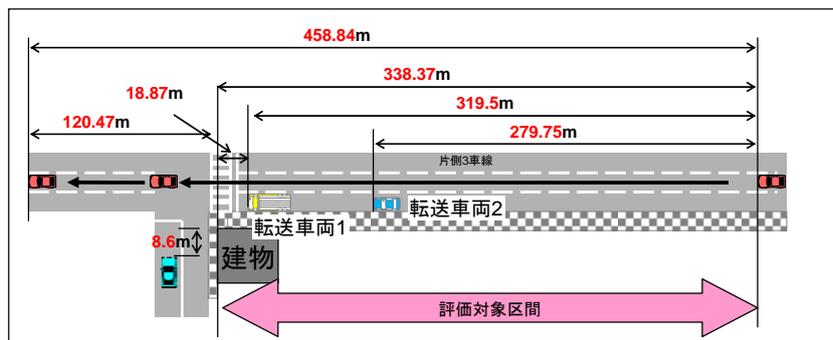


a) 送信車からの直接受信

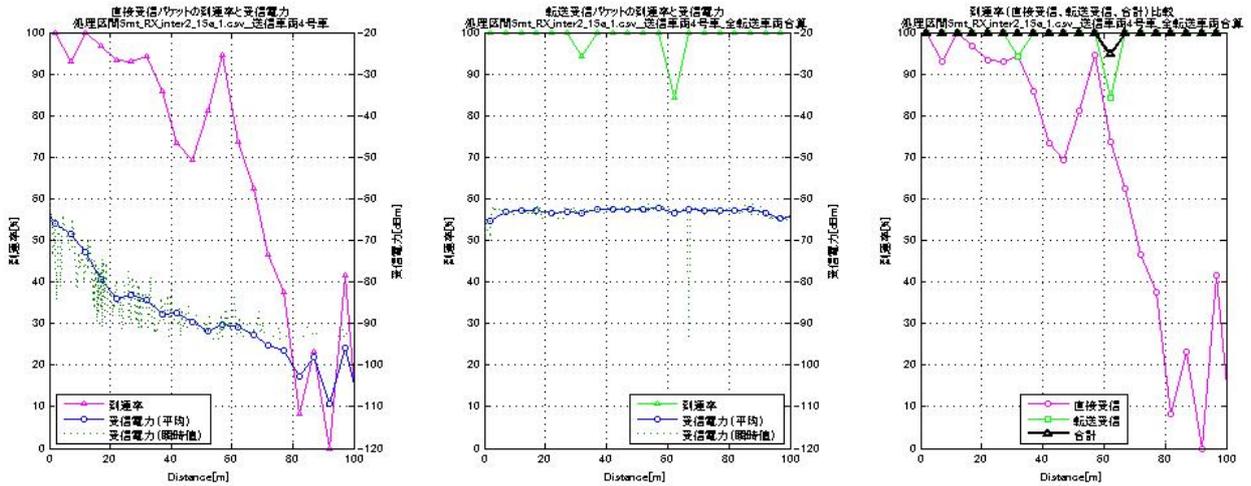
b) 転送車からの受信

c) 直接および転送受信の合計

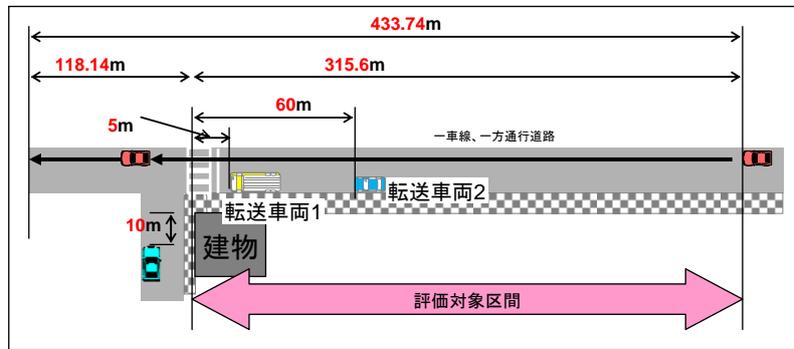
図エ(2-22) 銀座地区 NLOS 環境における転送実験通信特性結果



図エ(2-23) 銀座地区 NLOS 転送実験環境の道路条件



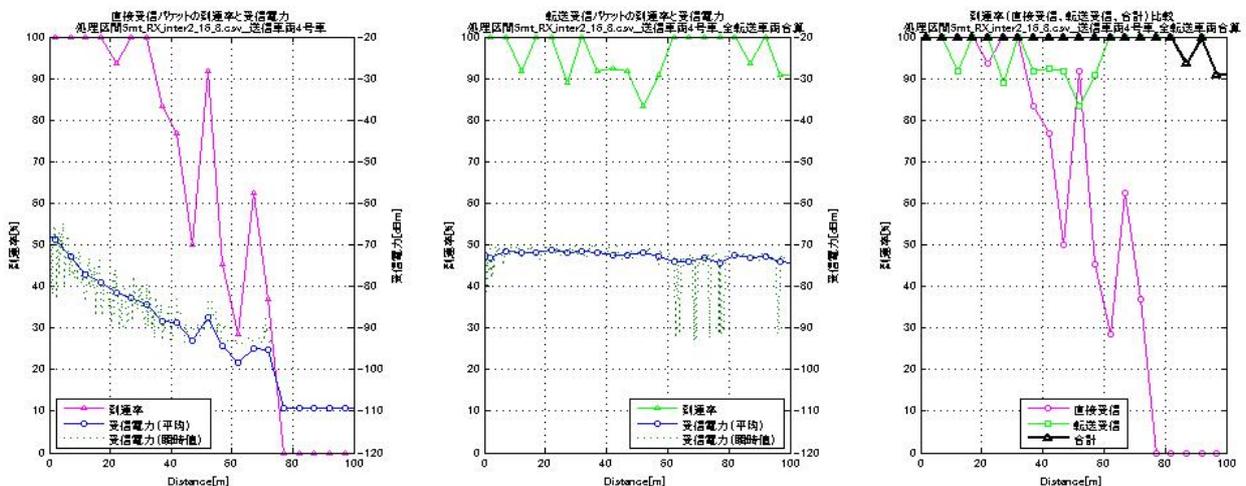
a) 送信車からの直接受信 b) 転送車からの受信 c) 直接および転送受信の合計
 図エ(2-24) 月島地区 NLOS 環境における転送実験通信特性結果



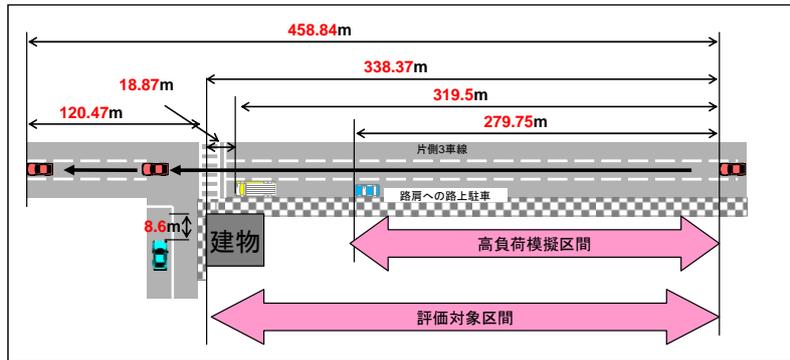
図エ(2-25) 月島地区 NLOS 転送実験環境の道路条件

次に、図エ(2-26)～図エ(2-29)に、高負荷（模擬）環境実験の通信特性結果を示す。

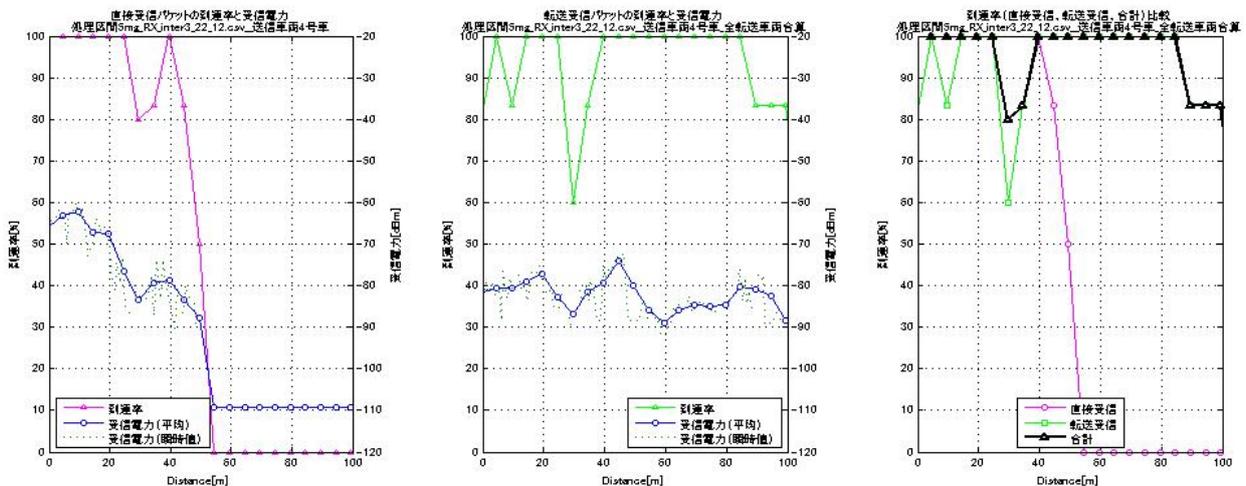
LOS 環境の結果の図エ(2-26)および図エ(2-28)において、a) のように送信（2 当）車両からの直接受信では、目標の 90m を満足できない場合においても、転送制御を行うことにより 80%以上の通信品質を確保できることが実験より確認できた。なお、本実験では、ダイバーシティ受信は行っていない。



a) 送信車からの直接受信 b) 転送車からの受信 c) 直接および転送受信の合計
 図エ(2-26) 銀座地区 NLOS 環境における高負荷（模擬）環境実験通信特性結果

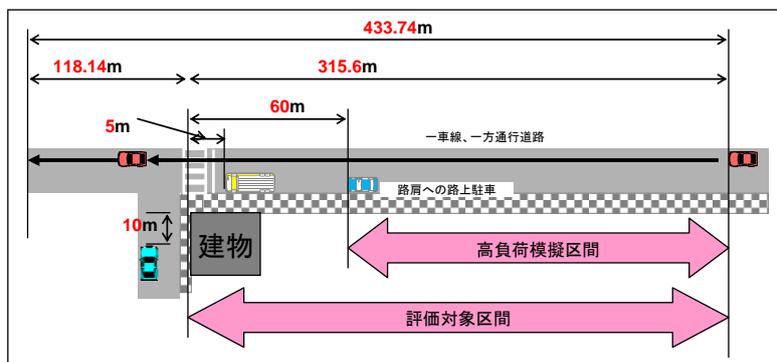


図エ(2-27) 銀座地区 NLOS 高負荷 (模擬) 実験環境の道路条件



a) 送信車からの直接受信 b) 転送車からの受信 c) 直接および転送受信の合計

図エ(2-28) 月島地区 NLOS 環境における高負荷 (模擬) 環境実験通信特性結果



図エ(2-29) 月島地区 NLOS 高負荷 (模擬) 実験環境の道路条件

⑥ 公開実証実験

プロトタイプ装置を用いて、MM-SA 方式の適用性検証および安全運転支援アプリケーションの動作検証を、神奈川県横須賀市にて FRAN2009 公開実証実験として実施した。

(i) 概要

- 場所 : 神奈川県横須賀市の横須賀リサーチパーク
- 実施日 : 2009年11月27日
- 内容 : 高負荷を模擬した環境における、MM-SA 方式の適用性検証および安全運転支援アプリケーションの検証

想定事故シーン：右折時衝突防止支援および出会い頭衝突防止支援

参加者数：97名（自動車メーカー関係、車載機メーカー関係、通信機メーカー関係、政府関係機関・研究所等）

(ii) 実証実験環境

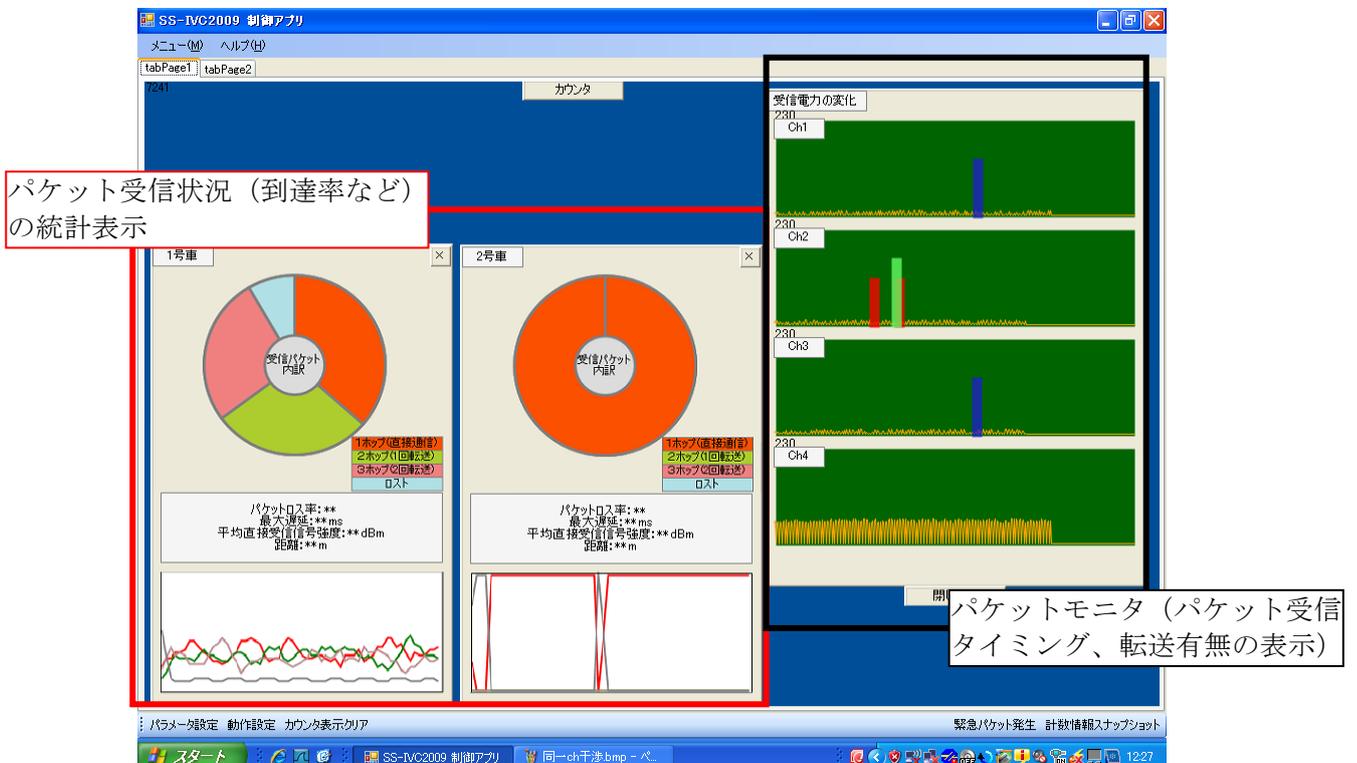
右折時衝突事故防止支援シーンを想定した実証実験における、走行風景、装置の搭載状況を図エ(2-30)に示す。



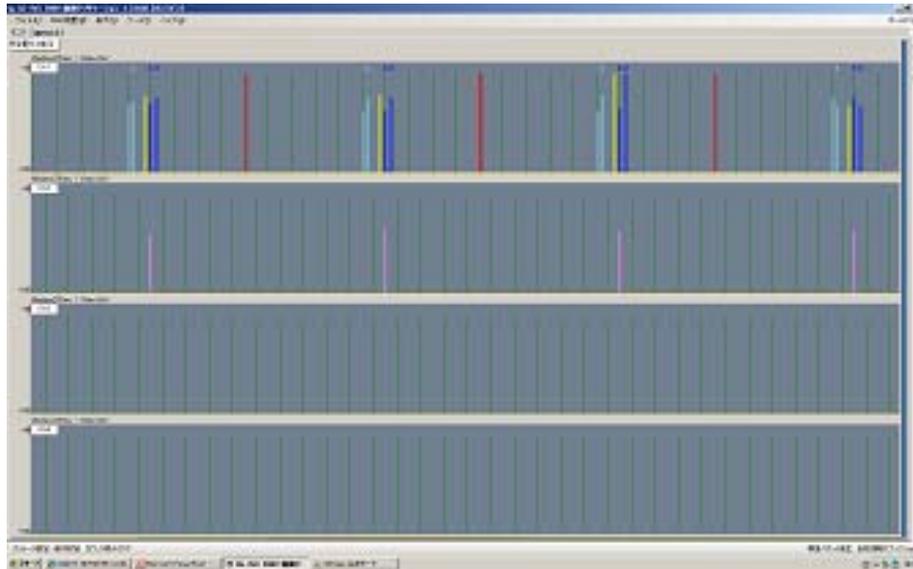
図エ(2-30) 実証実験における走行風景（左）と車両内への装置搭載状況（右）

(iii) 実証実験結果

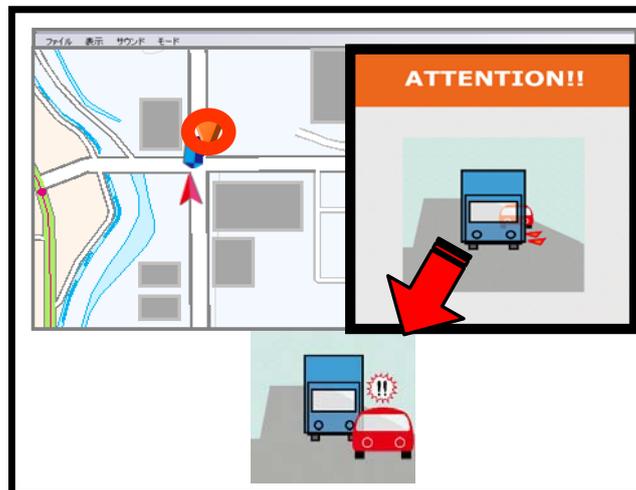
高負荷を模擬した環境において、タイミング制御機能、転送制御機能が正常に動作することを通信モニタ画面にて確認した。また、安全運転支援アプリケーションが正常動作することも、開発した安全運転支援アプリケーション「ASView」にて確認した。これらの確認画面を図エ(2-31)～図エ(2-33)に示す。



図エ(2-31) 通信モニタ画面の画面構成（イメージ）



図エ(2-32) タイミング制御と転送制御の動作確認画面
(通信モニタ内パケットモニタの拡大図)



図エ(2-33) 安全運転支援アプリケーション「ASView」における危険警告の様子

4-4-3 実施計画に対する達成状況

当初、計画した中間目標及び最終目標に対する達成状況は以下の通りである。

中間目標（平成 20 年 1 月末）に対する達成状況

- 一 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、状態通知情報を抽出し、レイヤ間でこれらの情報を授受するための直近車両位置管理テーブルに基づくアーキテクチャを用いることにより、レスポンスを低下させることなく機能・性能を満足する見通しを得た。
- 一 上記の直近車両位置管理テーブルを用いて、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をシステムとして統合するための基本設計を終えた。

最終目標（平成 22 年 3 月末）に対する達成状況

- 一 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、状態通知情報を抽出し、レイヤ間でこれらの情報を授受する

ための直近車両位置管理テーブルによるアーキテクチャを確立した。

- ー 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を統合し、小型基盤モジュールとしてハードウェア実装を完了した。
- ー ITS 車車間通信システムを用いた安全運転支援システムの実際の運用場所となる東京都内公道において、提案方式の適用性についての屋外実験により実証した。次世代ネットワークゲーム機への適用性については、4-3-2 (2) ③において検証し、リアルタイム性を損なうことなく高信頼な通信が実現できることを実証した。

4-5 総括

平成 21 年度は、実施計画書の内容に対し、ほぼ 100%の進捗で、シミュレーション評価、試作機による屋外実証実験等を実施することができた。本研究開発では、高レスポンスなマルチホップ自律無線通信システムを実現するための方式として、マルチキャリア・マルチコード スプレッドアロハ (MM-SA) 方式を独自に考案し、その改良と最適化を行い、安全運転支援のための車車間通信システムや無線メッシュネットワークへの応用を想定し定量的な評価を行ってきた。その結果、本研究開発の最終年度として、当初設定した研究開発の最終目標である、「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の実現」を達成するとともに、目標に設定したレスポンス性能だけでなく、高トラフィック環境における優れた通信信頼性を達成することができた。

具体的には、チャンネル構成技術の研究開発では、複数のスペクトラム拡散符号と複数の周波数チャンネルによるチャンネル構成の考案とその最適化を行い、極めて高速なレスポンス性能と高いパケット到達率が両立可能であること、また周囲の干渉端末の台数に影響を受けにくい特長をもつことを見出した。とくに、1 ホップ当たりの転送遅延時間は、周囲の干渉端末の台数やそれによる通信トラフィックの混雑度に関わらず、1 ミリ秒以下が達成可能であることを確認した。また、ASV で策定されている交通事故防止シナリオである出会い頭衝突防止と右折事故衝突防止に対して、ASV 通信要件 (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ことが確認でき、これを試作機のハードウェアに反映した。また他の通信方式 (CSMA をベースとする方式) との比較評価を行い、ASV の通信要件を満足できない CSMA ベースの方式に比べ、MM-SA 方式が大幅にパケット到達率を改善して 100%近くを達成するとともに、ASV で規定するパケットフォーマットを想定した場合のパケット到達遅延特性は 2~4 ミリ秒程度と CSMA ベースの方式に比べて 10 分の 1 以下となる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。とくに、欧米で検討されている広帯域でパケット長が極めて短い方式である IEEE802.11p との比較評価でもその優位性が確認されるとともに、IEEE802.11p 方式は大規模都市環境のような高負荷環境では大きく性能が低下する可能性が示された。

チャンネル制御技術の研究開発では、MM-SA 方式がスペクトル拡散信号の特性である遠近効果を有効に活用してその性能を発揮するために必須なコア技術である送信タイミング制御方式とマルチホップ転送制御方式についての特性改善方式についての検討を行い、道路上の 1 車線が右折待ち等で渋滞している場合や同一方向に走行している周辺車両密度が高い場合等での転送パケット同士の衝突を著しく軽減できることを確認した。また、交差点等で適切に周波数チャンネルを制御して遠近効果による干渉を抑制するのに必要な、交差点における車両方向位置特定アルゴリズムの改善を行うとともに、そのベースとなる GPS による車両の位置特定精度の改善方式を考案した。また、MM-SA 通信の信頼性を向上するための手法として、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。

中継パケット高速転送技術の研究開発では、前方で追突事故が発生した場合等での優先的な高速転送を実現するための機能としてカットスルー転送方式を提案し、その転送時間や通信品質の評価を実施した。また高速転送方式を無線メッシュネットワークに応用した場合の高信頼化技術として、ネットワークコーディング技術に着目し、これまで限界があった IP 電話等の通信セッション数の増大に対応できる双方向パケット連結・符号化方式や、無線伝搬特性が不安定な場合でも端末間で連携してパケット損失を防ぐリアルタイムブロードキャスト方式等の考案と評価を行い、その優れた効果を示した。

アーキテクチャとシステム化技術の研究開発では、MM-SA 方式のコア技術を全て実装しシステム化した試作機 (プロトタイプ) の設計と開発を行い、これを試験車両に搭載して ATR 敷地内外、横須賀市 YRP、東京都銀座および月島など屋外での実証実験を行った。とく

に YRP での実験は、自動車業界や通信業界の専門家を対象として公開実施し、好評とともに成功した。実験では、建物や実際に走行する他の一般車両が多数存在する環境での伝搬特性、通信品質特性、および高負荷環境特性を取得することができ、MM-SA 方式が実環境においても ASV 通信要件を満足する優れた性能を発揮することを確認した。

以上の成果の一部については、ITS 情報通信システム推進会議における国内標準化会議の寄与文書として势力的に反映し、平成 21 年度報告書に車々間通信方式の標準候補の 1 つとして、MM-SA 方式の概要、評価結果、実験結果等の詳細が掲載された。

5 参考資料

5-1 研究発表・講演等一覧

【平成 17 年度～平成 21 年度】

研究論文（査読有）	11 件
外国発表予稿等(査読有)	20 件
収録論文	44 件
学術解説等	1 件
一般口頭発表	31 件
その他資料	18 件
標準化提案	19 件
外部表彰	3 件
報道発表	1 件
新聞・TV 報道	6 件
技術移転	1 件

<研究論文>

- [1] 瀧本 栄二, 滝沢 泰久, 鈴木 龍太郎, 小花 貞夫 : フラッディング高速化手法の実装と評価, 情報処理学会論文誌「情報洪水時代のネットワークサービス」特集, Vol. 49, No. 2, pp. 672-683 (2008. 2. 21)
- [2] 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)
- [3] 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)
- [4] シャグダル オユーンチメグ, マハダッド ヌリ シラジ, 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)
- [5] 長谷川 淳, 板谷 聡子, 近藤 良久, 四方 博之, 榊原 勝己 (岡山県立大学), デイビス ピーター, 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, 情報処理学会 推薦論文, Vol. 50, No. 8, pp. 1823-1834, (2009. 8. 15)
- [6] 長谷川 淳, 四方 博之, 近藤 良久, デイビス ピーター, 榊原 勝己 (岡山県立大学), 三浦 龍, 小花 貞夫 : Bidirectional Packet Aggregation and Coding for Efficient VoIP Transmission in Wireless Multi-Hop Networks, 電子情報通信学会 英文論文誌, Vol. E92-B, No. 10, pp. 3060-3070, (2009. 10. 1)
- [7] 湯 素華, Jun Cheng (同志社大学), Chen Sun (NICT), 三浦 龍, 小花 貞夫 : Joint

Channel and Network Decoding for XOR-Based Relay in Multi-Access Channel, IEICE Transaction on Communications, Vol.E92-B, No.11, pp.3470-3477, (2009.11.1)

- [8] 四方 博之, オユーンチメグ シャグダル, 大山 卓, 宮本 進生, 近藤 良久, 長谷川 淳, 酒井 敏宏, 三浦 龍, 小花 貞夫 : Development of CDMA Inter-Vehicle Communications System for Safety Driving Support, IEEE Wireless Communications Magazine, Vol.16, Issue6, pp.24-31 (2009.12)
- [9] Oyunchimeg Shagdar, Takashi Ohyama, Mehdad. N. Shirazi, Hiroyuki Yomo, Ryu Miura, Sadao Obana : Safety Driving Support using CDMA Inter-Vehicle Communications, Journal of Information Processing Special issue of "Intelligent Transportation Systems and Mobile Communication for Safe and Secure Society", Vol.51, No.1, pp.101-115 (2010.1.1)
- [10] 長谷川 淳, 四方 博之, 小菅 昌克 (富士通関西中部ネットテック株), デイビス ピーター, 榊原 勝己 (岡山県立大学), 三浦 龍, 小花 貞夫 : 無線マルチホップネットワークにおける VoIP 転送のための無音圧縮制御方式, 電子情報通信学会論文誌 B, (2010.5 掲載予定)
- [11] 宮本 進生, 三浦 龍, 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, 三浦 龍, 小花 貞夫:CDMA vs. TDMA : 安全運転支援のための車車間通信システム特性評価, 電子情報通信学会論文誌 B (2010.7 掲載予定)

<外国発表予稿等>

- [1] Satoko Itaya, Jun Hasegawa, Yoshihisa Kondo, Peter Davis, Ryutaro Suzuki, Sadao Obana : Demonstration of robust transmissions using redundant broadcast for multihop inter-vehicular communications, Proc. of the IEEE Local Computer Networks (LCN2007), pp.620-624 (2007.10.15-2007.10.18)
- [2] 近藤 良久, 板谷 聡子, 山口 真司, デイビス ピーター, 鈴木 龍太郎, 小花 貞夫 : Estimation of Wireless Channel Congestion Based on Fluctuation of Packet Arrival Interval, Proc. of the IEEE International Conference on Networks (ICON2007), pp.301-305 (2007.11.20-2007.11.21)
- [3] 湯 素華, 鈴木 龍太郎, 小花 貞夫 : An Opportunistic Progressive Routing (OPR) Protocol Maximizing Channel Efficiency, Proc. of the IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM 2007) (2007.11.26-2007.11.30)
- [4] Satoko Itaya, Jun Hasegawa, Peter Davis, Ryutaro Suzuki, Sadao Obana : Packet aggregation at access points for concurrent real-time interactions over wireless relay networks, Proc. of the IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM 2007) (2007.11.26-2007.11.30)
- [5] Oyunchimeg Shagdar, Suhua Tang, Mehdad N. Shirazi, Ryutaro Suzuki, Sadao Obana : Reliable Cut-Through Forwarding in CDMA Inter-Vehicle Networks, Proc. of the ICUIMS 2008 (International Conference on Ubiquitous Information Management and

Communication) (2008. 1. 31-2008. 2. 1)

- [6] 瀧本 栄二, 近藤 良久, 板谷 聡子, 鈴木 龍太郎, 小花 貞夫 : Evaluation of Multi-Channel Flooding for Inter-Vehicle Communication, Proc. of the IEEE International Workshop on Heterogeneous Wireless Networks, pp.960-965 (2008. 3. 25-2008. 3. 28)
- [7] 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, Proc. of the IEEE PIMRC 2008 (IEEE International Workshop on Wireless Distributed Network (WDN2008)) (2008. 9. 15-2008. 9. 18)
- [8] Tang Suhua, Oyunchimeg Shagdar, Mehdad N. Shirazi, Ryutaro Suzuki, Sadao Obana : Opportunistic Cooperation and Selective Forwarding, a Virtual MIMO Scheme for Wireless Networks, Proc. of the IEEE PIMRC 2008 (2008. 9. 15-2008. 9. 18)
- [9] 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, Proc. of the 15th World Congress on Intelligent Transport Systems, pp. 1-11 (2008. 11. 16-2008. 11. 20)
- [10] Suhua Tang, Jun Cheng, Chen Sun, Ryutaro Suzuki, Sadao Obana : Turbo Network Coding for Efficient and Reliable Relay, Proc. of the IEEE ICCS 2008, pp. 1603-1608 (2008. 11. 19-2008. 11. 21)
- [11] Tang Suhua, Oyunchimeg Shagdar, Hiroyuki Yomo, Mehdad N. Shirazi, Ryutaro Suzuki, Sadao Obana : Layer-2 Retransmission and Combining for Network Coding-Based Forwarding in Wireless Networks, Proc. of the IEEE ICCS 2008, pp. 1597-1602 (2008. 11. 19-2008. 11. 21)
- [12] 近藤 良久, 四方 博之, 山口 真司, デイビス पीター, 三浦 龍, 小花 貞夫 : Wireless Broadcast with Random Network Coding for Real-time Applications, Proc. of the IEEE Wireless Communications & Networking Conference (WCNC 2009) (2009. 4. 5-2009. 4. 8)
- [13] Oyunchimeg Shagdar, Takashi Ohyama, Mehdad N. Shirazi, Suhua Tang, Ryutaro Suzuki, Ryu Miura, Sadao Obana : Message Dissemination in Inter-Vehicle CDMA Networks for Safety Driving Support, Proc. of the VTC2009-Spring (2009. 4. 26-2009. 4. 29)
- [14] 四方 博之, 宮本 進生, オユーンチメグ シャグダル, 大山 卓, マハダド シラジ, 三浦 龍, 小花 貞夫 : Supporting Safety Driving with Inter-Vehicle CDMA Networks under Realistic Accident Scenarios, Proc. of the ICC2009 (2009 IEEE Vehicular Networking & Applications Workshop) (2009. 6. 14-2009. 6. 18)
- [15] Suhua Tang, Ryu Miura, Sadao Obana : Distributed Multi-User Scheduling for Improving Throughput of Wireless LAN, Proc. of the IEEE ICC 2009 (2009. 6. 14-2009. 6. 18)

- [16] 長谷川 淳, 四方 博之, 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 : Bidirectional Packet Aggregation and Coding for VoIP Transmission in Multi-Hop Networks, Proc. of the IEEE ICC 2009 (2009. 6. 14-2009. 6. 18)
- [17] 四方 博之, 宮本 進生, シャグダル オユーンチメグ, 大山 卓, マハダド ヌリシラジ, 三浦 龍, 小花 貞夫 : Performance of CDMA and CSMA Based Inter-Vehicle Networks for Safe Driving, ITS World Congress 2009, (2009. 9. 21-2009. 9. 25)
- [18] 四方 博之, 近藤 良久, 長谷川 淳, 酒井 敏宏, 大山 卓, 三浦 龍, 小花 貞夫 : MM-SA : Inter-Vehicle Communications System based on CDMA Technology, 3rd IEEE LCN Workshop On User MObility and VEHicular Networks (ON-MOVE), pp.671-672, (2009. 10. 20-2009. 10. 23)
- [19] 松本 晃 (NEC 通信システム) , 吉村 紘一 (NEC 通信システム) , Aust Stefan (NEC 通信システム) , 伊藤 哲也 (NEC 通信システム) , 近藤 良久 : Performance evaluation of 802.11n devices for vehicular networks, IEEE LCN ON-MOVE 2009, pp. 669-670, (2009. 10. 20-2009. 10. 23)
- [20] Oyunchimeg Shagdar, 四方 博之, 大山 卓, 三浦 龍, 小花 貞夫 : Transmission Scheduling in Multi-carrier Multi-code Spread Aloha Inter-Vehicle Communications System, IEEE WONS 2010 (Wireless On-demand Networks Systems and Services), pp. 66-73 (2010. 2. 3-2010. 2. 5)

<収録論文>

- [1] Peter Davis : Self-Organizing Multi-hop Communication Mechanisms, バイオコミュニケーション国際シンポジウム 2006 分子通信テクノロジー国際シンポジウム, PP. 22-23 (2006. 1. 19-2006. 1. 20)
- [2] 板谷 聡子, 長谷川 淳, Peter Davis, 門脇 直人, 小花 貞夫 : 無線メッシュネットワークにおける効率的な通信方法の提案, 電子情報通信学会 モバイルマルチメディア通信研究会 (MoMuC) , MoMuC2006-21, pp. 115-118 (2006. 5. 18-2006. 5. 19)
- [3] 酒井 敏宏, 門脇 直人, 板谷 聡子, Mahdad N. Shirazi, 小花 貞夫 : アドホック無線通信システムの高レスポンス化に関する提案, 電子情報通信学会 無線通信システム研究会 (RCS), RCS2006-128, pp. 139-144 (2006. 8. 31-2006. 9. 1)
- [4] 板谷 聡子, 長谷川 淳, 長谷川 晃朗, Peter Davis, 門脇 直人, 小花 貞夫 : リアルタイム通信向け広域無線マルチホップネットワークの設計, 第 5 回情報科学技術フォーラム (FIT2006), pp. 41-42 (2006. 9. 5-2006. 9. 7)
- [5] 瀧本 栄二, 滝沢 泰久, 門脇 直人, 小花 貞夫, 大久保 英嗣 (立命館大) : アドホックネットワークにおける中継遅延の削減方式, 第 5 回情報科学技術フォーラム (FIT2006), pp. 181-182 (2006. 9. 5-2006. 9. 7)

- [6] Peter Davis : 大規模アドホックネットワークの高速応答性, 日本 OR 学会 「情報ネットワーク性能評価」研究部会 第11回研究会 (2006. 10. 24)
- [7] デイビス ピーター, 板谷 聡子, 長谷川 淳, 門脇 直人, 小花 貞夫 : Fast Response in Large-Scale Ad hoc Networks, 甲南大学知的情報通信研究所シンポジウム「ネットワークと情報処理」, pp. 13 - 18 (2006. 12. 27)
- [8] 長谷川 淳, 板谷 聡子, デイビス ピーター, 門脇 直人, 小花 貞夫 : アドホックネットワークにおける経路安定化手法, 電子情報通信学会 MoMuC 研究会 移動体通信ワークショップ, pp. 13- 16 (2007. 3. 7-2007. 3. 9)
- [9] Oyunchimeg Shagdar, Mahdad N. Shirazi, Ryutaro Suzuki, Sadao Obana : Medium Access Control for Distributed CDMA Networks, 電子情報通信学会 ネットワークシステム研究会 (NS), NS2006-26, pp. 247-252 (2007. 3. 8-2007. 3. 9)
- [10] ヌリシラジ マハダド, Oyunchimeg Shagdar, 鈴木 龍太郎, 小花 貞夫 : Delay Control in Wireless Ad Hoc Networks via Back-Pressure Rate Signaling, 電子情報通信学会 ネットワークシステム研究会 (NS), NS2006-216, pp. 299-304 (2007. 3. 8-2007. 3. 9)
- [11] 板谷 聡子, 長谷川 淳, 近藤 良久, 末廣 信哉, デイビス ピーター, 鈴木 龍太郎, 小花 貞夫 : 車車間通信における音声配信方法の提案, 電子情報通信学会 モバイルマルチメディア通信研究会(MoMuc), MoMuC2007-12, pp. 57-60 (2007. 5. 17-2007. 5. 18)
- [12] 近藤 良久, 板谷 聡子, 山口 真司, デイビス ピーター, 鈴木 龍太郎, 小花 貞夫 : パケット到達周期測定による帯域混雑具合推定方式の提案, 電子情報通信学会 モバイルマルチメディア通信研究会, MoMuC2007-7, pp. 33-36 (2007. 5. 17-2007. 5. 18)
- [13] 瀧本 栄二, 滝沢 泰久, 鈴木 龍太郎, 小花 貞夫 : アドホックネットワークにおける中継遅延の削減方式, 情報処理学会 第131回 DPS 研究会, 2007-DPS-131, pp. 51-56 (2007. 6. 6-2007. 6. 7)
- [14] 酒井 敏宏, 大山 卓, 鈴木 龍太郎, 門脇 直人, 小花 貞夫 : 高レスポンスアドホック無線通信方式:MM-SA 方式の試作と性能評価, 電子情報通信学会 無線通信システム研究会, RCS2007-13, pp. 13-18 (2007. 6. 28-2007. 6. 29)
- [15] 瀧本 栄二, 近藤 良久, 板谷 聡子, 鈴木 龍太郎, 小花 貞夫 : マルチチャネルフラッドングの実装と評価, 電子情報通信学会 情報ネットワーク研究会, IN2007-42(2007-07), pp. 91-94 (2007. 7. 19-2007. 7. 20)
- [16] 近藤 良久, 板谷 聡子, 瀧本 栄二, デイビス ピーター, 鈴木 龍太郎, 小花 貞夫 : マルチチャネルフラッドングのシミュレーションによる評価, 電子情報通信学会 モバイルマルチメディア通信研究会 (MoMuC) , MoMuC2007-42, pp. 103-108 (2007. 7. 19-2007. 7. 20)
- [17] 酒井 敏宏, 大山 卓, 鈴木 龍太郎, 門脇 直人, 小花 貞夫 : 高レスポンスアドホック

ク無線通信方式:MM-SA 方式の車車間通信への適応に関するシミュレーションによる基本特性評価, 電子情報通信学会 無線通信システム研究会 (RCS), Vol.107 No.193, RCS2007-54, pp.7-12 (2007.8.23-2007.8.24)

- [18]長谷川 淳, 板谷 聡子, デイビス ピーター, 榊原 勝己, 山北 次郎, 鈴木 龍太郎, 小花 貞夫: アドホックネットワークにおける高トラヒックによる通信性能劣化改善方式の性能評価, 電子情報通信学会 アドホックネットワーク研究会 (AN), Vol.107 No.193, AN2007-54, pp.19-24 (2007.8.23-2007.8.24)
- [19]Oyunchimeg Shagdar, Mahdad N. Shirazi, Tang Suhua, Ryutaro Suzuki, Sadao Obana: Improving Reliability for Cut-Through Packet Forwarding in CDMA Vehicular Networks, 電子情報通信学会 ネットワークシステム研究会 (NS), NS2007-86, pp.33-38 (2007.10.18-2007-10.19)
- [20]Suhua Tang, Mehdad N. Shirazi, Oyunchimeg Shagdar, Ryutaro Suzuki, Sadao Obana: An Efficient Geocast Scheme for Distributing Congestion Information in Inter-Vehicle Communications, 電子情報通信学会 アドホックネットワーク研究会 (AN), AN2007-48, pp.79-84 (2007.10.30-2007.10.31)
- [21]ヌリシラジ マハダド, Oyunchimeg Shagdar, Suhua Tang, 鈴木 龍太郎, 小花 貞夫: Medium Access Control for Distributed CDMA networks, 電子情報通信学会 アドホックネットワーク研究会 (AN), AN2007-46, pp.69-74 (2007.10.30-2007.10.31)
- [22]長谷川 淳, 小菅 昌克, 板谷 聡子, デイビス ピーター, 鈴木 俊寛, 榊原 勝己, 鈴木 龍太郎, 小花 貞夫: アドホックネットワークにおける VoIP 向けトラヒック制御方式の提案, 電子情報通信学会 CQ/MoMuC/USN 研究会, CQ2007-84, pp.19-24 (2008.1.24-2008.1.25)
- [23]ヌリシラジ マハダド, Oyunchimeg SHAGDAR, Suhua TANG, 鈴木 龍太郎, 小花 貞夫: On Latency and Reliability of CDMA-based Intervehicle Communication, 電子情報通信学会 アドホックネットワーク研究会 (AN), AN2007-67, pp.19-24 (2008.3.5-2008.3.7)
- [24]Oyunchimeg Shagdar, Suhua Tang, Mehdad N. Shirazi, Ryutaro Suzuki, Sadao Obana: Cross Layer Adaptive Rate Control Scheme over Wireless LAN, 電子情報通信学会 情報ネットワーク研究会 (IN), IN2007-179, pp.121-126 (2008.3.6-2008.3.7)
- [25]Suhua Tang, Oyunchimeg Shagdar, Mehdad N. Shirazi, Ryutaro Suzuki, Sadao Obana: Experiment Evaluation of Mobility Prediction Progressive Routing (MP2R) in Inter-Vehicle Communications, 情報処理学会 高度交通システム研究会 (ITS), 2008-ITS-33, pp.39-45 (2008.6.20)
- [26]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 (RCS), RCS2008-16(2008-05), pp.1-6 (2008.6.27)
- [27]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)

- [28] 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 (ITS) , ITS2008-9(2008-07), pp. 7-12 (2008. 7. 28)
- [29] シャグダル オユーンチメグ, 大山 卓, マハダド 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, ITS2008-22(2008-09), pp. 15-20 (2008. 9. 10)
- [30] 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 : 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), pp. 770-775 (2008. 10. 7-2008. 10. 10)
- [31] 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)
- [32] 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)
- [33] 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)
- [34] 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)
- [35] 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)
- [36] 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, 2009-ITS-36, pp. 47-52 (2009. 3. 5-2009. 3. 6)
- [37] 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, 無線分散ネットワークに関するワークショップ (2009. 3. 26-2009. 3. 27)

- [38] 近藤 良久, 四方 博之, 山口 真司, デイビス ピーター, 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通信方式の実機実装による評価, 電子情報通信学会 RCS 研究会, RCS2009-10(2009-05), pp. 67-72, (2009. 5. 21-2009. 5. 22)
- [39] 四方 博之, 長谷川 淳, 三浦 龍, 小花 貞夫 : マルチホップ VoIP 転送のためのパケット連結・ネットワークコーディング方式に関する実験的検証, 電子情報通信学会無線通信システム研究会, RCS2009-10(2009-05), pp. 55-60 (2009. 5. 21-2009. 5. 22)
- [40] Oyunchimeg Shagdar, Takashi Ohyama, Hiroyuki Yomo, Mehdad N. Shirazi, Ryu Miura, Sadao Obana : 車車間通信におけるチャネルアクセスおよびパケット転送方式, 電子情報通信学会 通信方式研究会 (CS) , CS2009-13(2009-7), pp. 1-6, (2009. 7. 2-2009. 7. 3)
- [41] 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) , 三浦 龍, 小花 貞夫 : 無線マルチホップネットワークにおける VoIP 転送のための無音圧縮制御方式, 電子情報通信学会 コミュニケーションクオリティ研究会 (CQ 研) , CQ2009-17, pp. 13-18, (2009. 7. 8-2009. 7. 9)
- [42] 瀧本 栄二, シャグダル オユーンチメグ, 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(MM-SA)方式における周波数チャネル制御手法の提案と評価, 情報処理学会 ITS 研究会, Vol. 2009-ITS-38, No. 1, pp. 1-8, (2009. 9. 9)
- [43] デイビス ピーター, 大山 卓, シャグダル オユーンチメグ, 四方 博之, 三浦 龍, 小花 貞夫 : MONTE CARLO ANALYSIS OF INTER-VEHICLE BROADCAST PROTOCOLS IN LARGE SCALE URBAN STREET ENVIRONMENTS, 第 40 回高度交通システム研究会, Vol. 2010-ITS-40, No. 8 (2010. 3. 4-2010. 3. 5)
- [44] 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), 三浦 龍, 小花 貞夫 : マルチホップ VoIP 転送のための無音圧縮制御方式, 電子情報通信学会 情報ネットワーク研究会 (IN) , IN2009-205, pp365-370, (2010. 3. 4-2010. 3. 5)

<学術解説等>

- [1] 三浦 龍 : ITS 車車間通信システムの研究開発—無線通信技術による交通事故の削減をめざして—, 電子情報通信学会誌, Vol. 92, No. 10, pp. 893-895, (2009. 10. 1)

<一般口頭発表>

- [1] 小花 貞夫, 門脇 直人, Peter Davis : 大規模アドホックネットワークの実現に向けて, 電子情報通信学会 2006 年ソサイエティ大会, BP-4-4, pp. ss-10 - ss-11 (2006. 9. 19-2006. 9. 22)
- [2] 松本 晃 (NEC 通信システム), 伊藤 哲也 (NEC 通信システム), 飯塚 宏之 (NEC 通信システム), 江連 裕一郎 (NEC 通信システム), 長谷川 淳, 板谷 聡子 : 無線アドホックネットワークにおけるリンク維持手法, 電子情報通信学会 2006 年ソサイエティ大会, B-21-30, p. 398 (2006. 9. 19-2006. 9. 22)
- [3] 長谷川 淳, 板谷 聡子, Peter Davis, 門脇 直人, 小花 貞夫 : 無線マルチホップス

- スイッチングの提案と実証, 電子情報通信学会 2006 年ソサイエティ大会, BS-12-4, pp. s91 - s92 (2006. 9. 19-2006. 9. 22)
- [4] 板谷 聡子 : 802.11 を用いた無線マルチホップネットワークでの遅延時間削減, 高レスポンスマルチホップ自律無線通信ワークショップ, (2007. 2. 22-2007. 2. 23)
- [5] 鈴木 龍太郎 : 高レスポンスマルチホップ自律無線通信システム~ATR の取り組み~, 高レスポンスマルチホップ自律無線通信ワークショップ, (2007. 2. 22-2007. 2. 23)
- [6] 長谷川 淳, 板谷 聡子, デイビス ピーター, 門脇 直人, 小花 貞夫 : アドホックネットワークにおける隠れ端末検知と回避手法, 電子情報通信学会 2007 年総合大会, B-21-45, p. 634 (2007. 3. 20-2007. 3. 23)
- [7] 瀧本 栄二, 門脇 直人, 小花 貞夫 : 擬似 ARP エントリを用いた無線ユニキャスト通信の高速中継手法, 電子情報通信学会 2007 年総合大会, B-21-16, p. 605 (2007. 3. 20-2007. 3. 23)
- [8] Oyunchimeg Shagdar, Mehdad. N. Shirazi, Naoto Kadowaki, Sadao Obana : Cross Layer Design for Multi-Hop Wireless Networks, 電子情報通信学会 2007 年総合大会, B-7-205, p. 295 (2007. 3. 20-2007. 3. 23)
- [9] ヌリシラジ マハダド, Oyunchimeg Shagdar, 門脇 直人, 小花 貞夫 : A Study on CDMA Media Access Control for Mobile Ad-Hoc Networks, 電子情報通信学会 2007 年総合大会, B-7-206, p. 296 (2007. 3. 20-2007. 3. 23)
- [10] Pham Thanh Giang (Nagaoka University of Technology), Oyunchimeg Shagdar, Kenji Nakagawa (Nagaoka University of Technology) : Fairness in Multi-Hop Ad-Hoc Networks, 電子情報通信学会 2007 年総合大会, B-7-158, p. 248 (2007. 3. 20-2007. 3. 23)
- [11] 末廣 信哉, 長谷川 淳, 板谷 聡子, デイビス ピーター, 門脇 直人, 小花 貞夫 : 無線マルチホップスイッチングの性能評価, 電子情報通信学会 2007 年総合大会, B-21-13, p. 602 (2007. 3. 20-2007. 3. 23)
- [12] 近藤 良久, 板谷 聡子, 長谷川 淳, デイビス ピーター, 伊藤 哲也 (NEC 通信システム), 松本 晃 (NEC 通信システム) : 無線マルチホップワークにおける送信レートとパケットサイズに関する基礎実験, 電子情報通信学会 2007 年総合大会, B-21-44, p. 633 (2007. 3. 20-2007. 3. 23)
- [13] Oyunchimeg Shagdar, Mehdad. N. Shirazi, Suhua Tang, Ryutaro Suzuki, Sadao Obana : Cross Layer Delay Control for Wireless Networks, 電子情報通信学会 2007 年ソサイエティ大会, B-7-38, p. 98 (2007. 9. 10-2007. 9. 14)
- [14] 長谷川 淳, 板谷 聡子, デイビス ピーター, 鈴木 龍太郎, 小花 貞夫 : アドホックネットワークにおける端末グループ化による隠れ端末回避手法の提案, 電子情報通信学会 2007 年ソサイエティ大会, B-21-5, p. 407 (2007. 9. 10-2007. 9. 14)
- [15] 近藤 良久, 板谷 聡子, デイビス ピーター, 伊藤 哲也, 松本 晃 : ルーティング制

御パケットでのフレーム到達状況通知によるレート制御方式, 電子情報通信学会 2007 年ソサイエティ大会, B-21-26, p. 428 (2007. 9. 10-2007. 9. 14)

- [16] Suhua Tang, Mehdad N. Shirazi, Oyunchimeg Shagdar, Ryutaro Suzuki, Sadao Obana : Mobility Prediction-based Position Distribution in Vehicular Transportation System, 電子情報通信学会 2008 年総合大会, B-21-12, p. 603 (2008. 3. 18-2008. 3. 21)
- [17] 宮本 進生, 近藤 良久, 長谷川 淳, 板谷 聡子, デイビス ピーター, 鈴木 龍太郎, 小花 貞夫 : 多元接続方式(MM-SA)を用いた無線メッシュネットワークにおけるリアルタイム通信 (2) -シミュレーションによる基本特性評価-, 電子情報通信学会 2008 年総合大会, B-21-17, p. 618 (2008. 3. 18-2008. 3. 21)
- [18] 瀧本 栄二, 鈴木 龍太郎, 小花 貞夫 : リアクティブ型経路制御におけるラベルスイッチの実現方法の提案, 電子情報通信学会 2008 年総合大会, B-19-35, p. 539 (2008. 3. 18-2008. 3. 21)
- [19] 長谷川 淳, 板谷 聡子, 近藤 良久, デイビス ピーター, 鈴木 龍太郎, 小花 貞夫 : アドホックネットワークにおけるパケット結合方式の提案と検証, 電子情報通信学会 2008 年総合大会, B-21-33, p. 634 (2008. 3. 18-2008. 3. 21)
- [20] 近藤 良久, 宮本 進生, 長谷川 淳, 板谷 聡子, デイビス ピーター, 鈴木 龍太郎, 小花 貞夫 : 多元接続方式 (MM-SA) を用いた無線メッシュネットワークにおけるリアルタイム通信 (1) -リアルタイム通信の課題と MM-SA 方式の適用-, 電子情報通信学会 2008 年総合大会, B-21-16, p. 617 (2008. 3. 18-2008. 3. 21)
- [21] 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, B-21-6, p. 364 (2008. 9. 16-2008. 9. 19)
- [22] 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. 11. 6-2008. 11. 8)
- [23] 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, B-21-19, p. 675 (2009. 3. 17-2009. 3. 20)
- [24] 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, B-21-19, p. 674 (2009. 3. 17-2009. 3. 20)
- [25] 小花 貞夫 : Fast-response Inter-vehicle communications ~Supporting safe driving by the exchange of information on vehicle location and status~, FuturICT2009 (Future Information and Communication Technologies) , (2009. 6. 29-2009. 6. 30)
- [26] 四方 博之, 小花 貞夫, 三浦 龍, 長谷川 淳, 近藤 良久, 宮本 進生, 山口 真司, 大

山 卓, 筒井 英夫, オユーンチメグ シャグダル, 湯 素華, 瀧本 栄二 : MM-SA 方式のプロトタイプ装置とデモ紹介, FRAN2009 ワークショップ, (2009. 11. 27)

[27] シャグダル オユーンチメグ, 小花 貞夫, 三浦 龍, 四方 博之, 大山 卓, 筒井 英夫, 湯 素華, 瀧本 栄二, 宮本 進生, 長谷川 淳, 近藤 良久, 山口 真司 : MM-SA 方式の通信特性, FRAN2009 ワークショップ, (2009. 11. 27)

[28] 三浦 龍, 小花 貞夫, 長谷川 淳, 四方 博之, 近藤 良久, 宮本 進生, 山口 真司, 筒井 英夫, 湯 素華, オユーンチメグ シャグダル, 瀧本 栄二, 大山 卓 : 安全運転支援のための高レスポンス車車間通信方式 MM-SA の概要, FRAN2009 ワークショップ, (2009. 11. 27)

[29] シャグダル オユーンチメグ, 四方 博之, 大山 卓, 三浦 龍, 小花 貞夫 : 安全運転支援車車間通信方式 MM-SA のための改良型パケット転送制御, 電子情報通信学会 2010 年総合大会, A-17-1, p. 229 (2010. 3. 16-2010. 3. 19)

[30] 筒井 英夫, 大山 卓, 三浦 龍, 小花 貞夫 : 安全運転支援車車間通信方式 MM-SA の実証実験, 電子情報通信学会 2010 年総合大会, A-17-2, p. 230 (2010. 3. 16-2010. 3. 19)

[31] 大山 卓, シャグダル オユーンチメグ, 三浦 龍, 小花 貞夫 : 安全運転支援車車間通信方式 (MM-SA) におけるターボ符号化の効果, 電子情報通信学会 2010 年総合大会, A-17-3, p. 231 (2010. 3. 16-2010. 3. 19)

<その他資料>

[1] 大山 卓 : 高レスポンス化のためのチャンネル構成・制御技術～シミュレーション評価検証～, 高レスポンスマルチホップ自律無線通信ワークショップ, (2007. 2. 22-2007. 2. 23)

[2] 酒井 敏宏 : 高レスポンス化のためのチャンネル構成・制御技術～機能評価試験装置～, 高レスポンスマルチホップ自律無線通信ワークショップ, (2007. 2. 22-2007. 2. 23)

[3] シャグダル オユーンチメグ, 大山 卓 : MM-SA チャンネルアクセス技術 ～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. 11. 6-2008. 11. 8)

[4] 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. 11. 6-2008. 11. 8)

[5] 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. 11. 6-2008. 11. 8)

[6] 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 オープンハウス, (2008. 11. 6-2008. 11. 8)

[7] 瀧本 栄二, 大山 卓 : 危険情報の高速伝達技術, ATR オープンハウス, (2008. 11. 6-2008. 11. 8)

- [8] 瀧本 栄二, 大山 卓 : 車両方向検知技術とその応用, ATR オープンハウス, (2008. 11. 6-2008. 11. 8)
- [9] 酒井 敏宏 : MM-SA プロトタイプ装置の試作, ATR オープンハウス, (2008. 11. 6-2008. 11. 8)
- [10] 酒井 敏宏 : 屋外実験による技術実証, ATR オープンハウス, (2008. 11. 6-2008. 11. 8)
- [11] 三浦 龍, 小花 貞夫 : 高レスポンス車車間通信技術, ATR オープンハウス, (2008. 11. 6-2008. 11. 8)
- [12] 三浦 龍, 小花 貞夫 : 高レスポンス車車間通信のためのチャンネル構成・制御技術, ATR オープンハウス, (2008. 11. 6-2008. 11. 8)
- [13] 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 オープンハウス, (2008. 11. 6-2008. 11. 8)
- [14] 近藤 良久, 山口 真司, 四方 博之 : マルチチャンネル無線メッシュネットワーク, ATR オープンハウス, (2008. 11. 6-2008. 11. 8)
- [15] 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 オープンハウス, (2008. 11. 6-2008. 11. 8)
- [16] 小花 貞夫 : 自動車向け ITS 通信技術の研究, 京都新聞 (2009. 3. 7)
- [17] 三浦 龍, 小花 貞夫, 四方 博之, 瀧本 栄二, 長谷川 淳, 大山 卓, 近藤 良久, Oyunchimeg Shagdar, Tang Suhua, 宮本 通生, 筒井 英夫, 山口 真司 : 安全運転を支援する高レスポンス車車間通信システム, けいはんな情報通信研究フェア ATR オープンハウス, (2009. 11. 6-2009. 11. 7)
- [18] 小花 貞夫, 三浦 龍, 長谷川 淳, 四方 博之, 近藤 良久, 宮本 進生, 山口 真司, 筒井 英夫, 湯 素華, シャグダル オユーンチメグ, 瀧本 栄二, 大山 卓 : 安全運転を支援する高レスポンス車車間通信システム, FRAN2009 ワークショップ, (2009. 11. 27)
- <標準化提案>
- [1] 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) の比較-, 運転支援通信システム専門委員会 規格 TG (2008. 7. 17)
- [2] 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, 運転支援通信システム専門委員会 規格 TG (2008. 8. 21)

- [3] 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) の比較-, 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)
- [4] シャグダル オユーンチメグ, 三浦 龍, 小花 貞夫 : 車車間通信における転送方式の検討, 運転支援通信システム専門委員会 規格 TG (2008. 10. 16)
- [5] 大山 卓, 三浦 龍, 小花 貞夫 : 720MHz 帯、5. 8GHz 帯 1 つ角における受信電力特性 レイトレース, 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 (第 19 回 規格 TG 会合) (2009. 1. 15)
- [6] シャグダル オユーンチメグ, 三浦 龍, 小花 貞夫 : 5. 8GH 帯 車車間通信における転送方式の検討, 運転支援通信システム専門委員会 規格 TG (2009. 1. 15)
- [7] 大山 卓, 三浦 龍, 小花 貞夫 : 720MHz 帯、5. 8GHz 1 つ角における受信電力特性 レイトレース評価, ITS 情報通信推進会議 運転支援通信システム専門委員会 無線方式 TG (第 29 回 無線方式 TG 会合) (2009. 1. 16)
- [8] 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)
- [9] 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 4 つ角交差点, 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 (第 20 回 規格 TG 会合) (2009. 2. 12)
- [10] シャグダル オユーンチメグ, 三浦 龍, 小花 貞夫 : RC005 転送方式の検討, 運転支援通信システム専門委員会 規格 TG, H20 年度規格 TG 報告書 (ドラフト) 4. 4 章 (2009. 2. 12)
- [11] 大山 卓, 三浦 龍, 小花 貞夫 : 720MHz 帯、5. 8GHz 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 4 つ角交差点, 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 (第 30 回 無線方式 TG) (2009. 2. 13)
- [12] シャグダル オユーンチメグ, 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, 運転支援通信システム専門委員会 規格 TG, H20 年度規格 TG 報告書 (案) L3-1, pp. 16-29 (2009. 3. 12)
- [13] 三浦 龍 : 高レスポンス車車間通信のための CDMA ベース制御方式 (MM-SA) の研究紹介, 運転支援通信システム専門委員会 方式検討タスクグループ (2009. 7. 16)

- [14] 三浦 龍：高レスポンス車車間通信のための CDMA ベース通信制御方式(MM-SA)-通信特性シミュレーション-, 運転支援通信システム専門委員会 方式検討タスクグループ (2009. 8. 20)
- [15] Oyunchimeg Shagdar, 三浦 龍：欧米における車々間通信のための転送方式の動向調査(1), 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 方式検討タスクグループ (2009. 9. 17)
- [16] Oyunchimeg Shagdar, 三浦 龍：欧米における車々間通信のための転送方式の動向調査(2), 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 方式検討タスクグループ (2009. 10. 15)
- [17] Oyunchimeg Shagdar, 三浦 龍：安全運転支援に適した車々間通信の転送方式の検討, 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 方式検討タスクグループ (2009. 11. 12)
- [18] ディビス ピーター, 三浦 龍, 大山 卓, 四方 博之, シャグダル オユーンチメグ, 小花 貞夫：大規模都市環境における通信制御方式のモンテカルロ解析報告, 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 方式検討タスクグループ (2010. 1. 14)
- [19] 三浦 龍, Oyunchimeg Shagdar, 筒井 英夫, 大山 卓, 四方 博之, ディビス ピーター, 小花 貞夫：「H21 年度 方式検討 TG 報告書案 「レイヤ 3,7 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 方式検討タスクグループ (2010. 3. 11)

<外部表彰>

- [1] 長谷川 淳、Dicono2008 優秀論文賞
「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」
受賞期日：2008. 8. 22
- [2] 長谷川 淳、情報処理学会関西支部 学生奨励賞
「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」
受賞期日：2008. 12. 1
- [3] 小花 貞夫、近畿情報通信協議会会長表彰
「自律無線通信システムの研究開発に尽力し実用化に向けた諸課題を解決するなど
情報通信の発展に多大な貢献」
受賞期日：2009. 6

<報道発表>

- [1] 板谷 聡子, 近藤 良久, 長谷川 淳, Peter Davis, 鈴木 龍太郎, 小花 貞夫：ユビキタスネット社会を支える高品質・高レスポンスな無線メッシュネットワークを実現～離れた場所どうしても対戦ゲームが可能に～ (2007. 10. 25)

<新聞・TV 報道>

- [1] 「ATR、高品質・高レスポンスな無線メッシュネットワークを実現」
NIKKEI NET、2007. 10. 25
- [2] 「データ途切れず、素早く双方向通信可能に —新型無線ルータ ATR が開発」
毎日新聞、2007. 10. 26
- [3] 「利用混雑時でも 1 キロ内通話可能 —ATR、無線通信技術—」
日経産業新聞、2007. 11. 7
- [4] 「山地など設備なくても通信可能 —ATR、常時安定の中継器開発」
京都新聞、2007. 11. 23
- [5] 「車同士が通信 衝突事故防ぐ —ATR、新システム開発—」
京都新聞、2009. 3. 7
- [6] 「衝突事故を防ぐ 新システム」
京都テレビ、京 BizW、2009. 3. 13

5-2 産業財産権

5-2-1 出願特許数

国内出願 46件、 国際出願 15件

5-2-2 公開特許一覧

公開日	公開番号	発明の名称
2007/8/2	特開 2007-194787(日本)	無線装置およびそれを備えた無線ネットワークシステム
2007/8/30	特開 2007-221527(日本)	中継器、それを用いた無線ネットワークシステムおよび中継器における処理をコンピュータに実行させるためのプログラム
2007/9/13	WO/2007/102208(PCT)	マルチホップ無線ネットワークシステム
2006/10/5	WO/2006/104185(PCT)	無線装置
2008/1/24	特開 2008-17028(日本)	無線装置およびそれを備えた無線通信ネットワーク
2008/3/13	20080062901(米国)	無線装置
2008/4/10	特開 2008-85924(日本)	無線装置、それにおける隠れ端末の検出方法および通信制御方法
2008/5/22	特開 2008-118351(日本)	無線メッシュネットワーク通信方式
2008/8/7	特開 2008-182479(日本)	無線通信システムおよびそれに用いられる無線装置
2009/1/15	特開 2009-010689(日本)	無線ネットワーク、それに用いられる無線装置、それにおける転送端末の選択をコンピュータに実行させるためのプログラムおよびそのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体
2009/1/22	特開 2009-016900(日本)	無線装置、それにおけるチャネルの選択をコンピュータに実行させるためのプログラムおよびそのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体
2008/3/13	特開 2008-061227(日本)	無線装置、それを備えた無線通信ネットワークおよび無線装置

公開日	公開番号	発明の名称
		におけるチャンネル検出方法
2009/2/12	特開 2009-033442(日本)	無線ネットワークおよびそれに用いられる無線装置
2008/3/6	20080056196(米国)	経路の切断や切り替えが発生し難い無線装置およびそれを備えた無線通信ネットワーク
2009/5/27	101444040(中国)	マルチホップ無線ネットワークシステム
2009/4/2	特開 2009-071581	無線装置およびそれをを用いた無線ネットワーク
2008/5/29	20080125069(米国)	無線装置
2008/3/27	20080076461(米国)	ネットワークにおいて孤立した無線装置が発生するのを抑制可能な無線装置
2008/11/13	特開 2008-278450	無線装置およびそれを備えた無線ネットワーク
2009/5/14	特開 2009-105805	無線装置およびそれを備えたメッシュ型ネットワーク
2009/5/21	特開 2009-111440	無線装置およびそれを備えた無線ネットワーク
2008/5/8	20080107033(米国)	オーバーヘッドを低減して無線通信可能な無線通信ネットワーク
2009/6/4	特開 2009-124294(日本)	無線ネットワーク、それに用いられる無線装置およびその無線装置を備えた移動体
2009/6/11	特開 2009-130517(日本)	無線装置およびそれを備えた無線ネットワーク
2009/6/25	特開 2009-141836(日本)	無線装置およびそれを備えた無線ネットワーク
2009/7/23	特開 2009-164685(日本)	無線ネットワークおよびそれに用いられる無線装置
2009/8/6	特開 2009-177734(日本)	無線装置およびそれをを用いた無線ネットワーク
2009/8/6	特開 2009-177733(日本)	無線装置およびそれをを用いた無線ネットワーク
2008/8/14	20080192724(米国)	無線通信の安定性を向上可能な無線装置およびそれをを用いた無線ネットワーク
2009/12/17	特開 2009-296398(日本)	無線装置およびそれを備えた無線ネットワーク
2009/12/17	特開 2009-296416(日本)	無線装置およびそれを備えた無線ネットワーク

公開日	公開番号	発明の名称
2010/1/28	特開 2010-017136(日本)	無線装置およびそれを備えた無線ネットワーク
2010/2/12	特開 2010-034624(日本)	無線装置
2010/3/18	特開 2010-063068(日本)	無線装置およびそれを備えた無線ネットワーク
209/4/9	20090092083(米国)	マルチホップ無線ネットワークシステム
2010/3/25	特開 2010-068206(日本)	無線装置およびそれを備えた無線ネットワーク
2010/4/8	特開 2010-081470(日本)	無線装置およびそれを備えた無線ネットワーク
2010/4/22	特開 2010-093475(日本)	無線装置およびそれを備えた無線ネットワーク
2010/4/22	特開 2010-093738(日本)	無線装置およびそれを備えた無線ネットワーク
2009/4/30	20090109901(米国)	ループからなる経路を排除して経路選択を行う無線装置およびそれを備えたメッシュ型ネットワーク
2010/5/13	特開 2010-108457(日本)	無線通信装置、車両配置関係情報の取得方法

5-2-3 登録特許一覧

登録日	登録番号	発明の名称
2009/5/29	4316593(日本)	無線装置およびそれを備えた無線通信ネットワーク
2009/1/16	4247259(日本)	無線装置
2009//10/2	4384675(日本)	無線装置およびそれを備えた無線ネットワーク
2009/12/18	4423510(日本)	無線装置
2008/12/5	10-0873771(韓国)	無線装置

5-2-4 技術移転

製品名：「VR Blade」MR100/MR200 メッシュワイヤレスルーター
日本電気通信システム株式会社、2008.7