

平成19年度
研究開発成果報告書

高レスポンスマルチホップ
自律無線通信システムの研究開発

委託先： (株)国際電気通信基礎技術研究所

平成20年4月

情報通信研究機構

平成19年度 研究開発成果報告書 (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	3
2	研究開発の全体計画	
2-1	研究開発課題の概要	3
2-2	研究開発目標	5
2-2-1	最終目標	5
2-2-2	中間目標	5
2-3	研究開発の年度別計画	7
3	研究開発体制	8
3-1	研究開発実施体制	8
4	研究開発実施状況	
4-1	チャンネル構成技術の研究開発	9
4-1-1	研究開発概要	9
4-1-2	実施状況	9
4-1-3	MM-SA 方式送受信機の基本設計	9
4-1-4	MM-SA 方式無線仕様のシミュレーション	12
4-1-5	MM-SA 方式無線仕様の実機評価	14
4-1-6	交差点モデルを用いたシミュレーション評価	15
4-1-7	達成状況	19
4-2	チャンネル制御技術の研究開発	20
4-2-1	研究開発概要	20
4-2-2	実施状況	20
4-2-3	MM-SA 方式の性能評価	20
4-2-4	カットスルー転送の信頼性の向上	22
4-2-5	達成状況	26
4-3	中継パケット高速転送技術の研究開発	27
4-3-1	研究開発概要	27
4-3-2	実施状況	27
4-3-3	MM-SA 試作装置による中継転送特性の評価	27
4-3-4	IEEE802.11 における中継転送の高速化方式の検討	28
4-3-5	MM-SA 方式のメッシュネットワークへの適用	31
4-3-6	無線メッシュルータへの実装・評価	32
4-3-7	達成状況	32

4-4	アーキテクチャとシステム化技術の研究開発の研究開発	33
4-4-1	研究開発概要	33
4-4-2	実施状況	33
4-4-3	クロスレイヤ負荷制御方式	33
4-4-4	無線 LAN を用いたアーキテクチャとシステム化技術の検証	39
4-4-5	達成状況	42
4-5	総括	43
5	参考資料・参考文献	44
5-1	研究発表・講演等一覧	44

1 研究開発課題の背景

近年、無線ネットワークの利用が著しく進展し、その利用シーンは多岐にわたり、同時に新たなニーズも急速に拡大している。新たなニーズの中には、ITS（高度道路交通システム）における車両・歩行者等を含めた安全システムである e-Safety や次世代ネットワークゲーム、リアルタイム無線センシング・制御など、マルチホップ無線通信システムを前提として、遅延に対する制約条件の厳しいアプリケーションが出現している。e-Safety において安全運転支援のための車車間通信では、10 ミリ秒周期で周辺車両の位置・速度情報等を交換する必要があるため、マルチホップ環境を想定すると、中継ノードでの転送遅延は 1 ミリ秒を下回ることが要求される。ネットワークゲームでは同じゲームをする全てのゲーム機間で常に同じ画面を共有するには、16 ミリ秒以内に各ゲーム機からの情報が全てのゲーム機に分配されていなければならない。昨年暮れに発売開始されたゲーム機は見通し距離内の複数端末がゲームをできるものであるが、次世代機ではマルチホップによりさらに範囲を広げる方向性が十分予見される。これらの例からわかるように、新たな利用シーンでは極めて高いレスポンス性能が必要となってくる。

一方、現在利用が進みつつある IEEE802.11 ベースの自律無線通信システム（アドホックモード）の性能実力は、端末がネットワーク参加時にパケット送信までの遅延に数秒を要し、また 1 ホップあたりのパケット転送に数ミリ秒を要しているため、上記レスポンス性能要求を満たすことはできない。このようなレスポンス性の劣化要因は以下の点にあることがこれまでの研究で明らかとなっている。

IEEE802.11 におけるレスポンス性能劣化要因

- (1) 帯域共有による遅延：各端末が帯域を共有していることにより、電波到達範囲内に同時に送信しようとする端末が増加すると待ち時間が増加する。
- (2) キャリア検出時の遅延：送信開始時に他端末のキャリアを検出した場合、ランダムな数のスロット待ちを行う。これにより 802.11 では 1~1.7 ミリ秒の遅延が発生する。
- (3) 再送時の遅延：再送時にはコンテンションウィンドウのサイズを指数的に増加させる方式となっており、場合によっては予測不可能な非常に長い待ち時間を誘発することがある。
- (4) セル発見・参加時の遅延：セル同期用ビーコンを通常 100 ミリ秒周期で送信されるが、MAC レイヤでのビーコン中継機能が無いため、マルチホップ環境において端末が移動した場合、セル全体が同調するまで数秒の遅延が生じる場合がある。
- (5) 上位レイヤ処理に伴う遅延：宛先の書き換え、経路制御などの中継転送処理は物理的な送受信と別の上位レイヤで処理されるため、数ミリ秒の処理遅延が発生している。

これらの要因が複合的に作用して、前述のような遅延が発生している。これらの問題を解決し、高レスポンス化を実現することが求められている。

2 研究開発の全体計画

2-1 研究開発課題の概要

従来の無線 LAN 技術で避けられない主な遅延要因として、帯域共有による遅延、キャリア検出時の遅延、再送時の遅延、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、待ち時間無しでパケット送受信が可能で、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（MM-SA）によるチャンネル構成技術〔：サブテーマ 1〕、チャンネル制御技術〔：サブテーマ 2〕、中継

パケット高速転送技術〔：サブテーマ3〕、及びそれらをシステムの的に統合するアーキテクチャとシステム化技術〔：サブテーマ4〕の研究開発を行う。

2-1-1 チャンネル構成技術の研究開発【サブテーマ1】

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ンネル構成の研究開発を行う。高レスポンス化を図るためには、端末においてパケット送受信が同時に行え、かつパケット衝突時もパケット再生が可能なアクセス方式を検討し、遅延の低減化が可能となるチャンネル構成技術の研究開発を進める。

本研究開発においては、このような高レスポンス化に有効なチャンネル構成技術として、まず、複数周波数と拡散符号を用いたスプレッドアロハ方式（MM-SA）を提案した。次に MM-SA 方式について各種パラメータの最適化を図るため、シミュレーションによる特性評価、受信部部分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した。今後、特性評価結果に基づき MM-SA 方式送受信機的设计、試作、評価、実装を行う。

2-1-2 チャンネル制御技術の研究開発【サブテーマ2】

チャン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ン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ンネル制御技術は、サブテーマ1（チャンネル構成技術）を適切に利用するための必須技術である。

本研究開発においては、まず、サブテーマ1で提案した MM-SA 方式において課題となる広帯域干渉量（MAI）監視方式について提案を行った。次にチャンネルアクセス方式について、CDMA 特有の遠近問題等が存在する環境条件において、シミュレーションにより高レスポンスを維持する制御方式の検討を進めている。今後は、シミュレーション検討を継続するとともに、MAI 監視方式の回路規模を抑えたハードウェア構成の研究開発を行う。

2-1-3 中継パケット高速転送技術の研究開発【サブテーマ3】

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。

本研究開発においては、まず、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として、ラベルスイッチ機能やカットスルー転送技術の検討を進め、MM-SA 方式のパケット構造の設計に反映した。また、同時に、MAC レイヤにおけるパケット転送高速化の検討を進め、ルーティング処理を MAC レイヤで実行するラベルスイッチング手法を提案した。今後は、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。

2-1-4 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】

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開発課題であり、本サブテーマにて統合的なシステム実証を行う。

本研究開発では、サブテーマ1～3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

図るために、まずクロスレイヤアーキテクチャを用いたチャネルアクセス制御や負荷制御方式についてシミュレーションを行い制御の有効性を確認した。

今後、サブテーマ1～4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。

2-2-1-1 チャネル構成技術の研究開発

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

2-2-1-2 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。

2-2-1-3 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。

2-2-1-4 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。

2-2-2-1 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。

2-2-2-2 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。

2-2-2-3 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設計、試作、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。

2-2-2-4 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くレイヤ間でこれらの情報を授受するアーキテクチャについて、機能・性能を満足する見通しを得る。
- (2) チャネル構成技術、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				
ア「チャンネル構成技術の研究開発」	-	-	-	-	-	-	
イ「チャンネル制御技術の研究開発」	-	-	-	-	-	-	
ウ「中継パケット高速転送技術の研究開発」	-	-	-	-	-	-	
エ「アーキテクチャとシステム技術の研究開発」	-	-	-	-	-	-	
間接経費	-	-	-	-	-	-	
合計	-	-	-	-	-	-	

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

2 備考欄に再委託先機関名を記載

3 年度の欄は研究開発期間の当初年度から記載。

3 研究開発体制

3-1 研究開発実施体制

ATR 適応コミュニケーション研究所	1名 (所長)
スマートネットワーク研究室	12名
自律システム研究室	9名
ATR 知識科学研究所	6名
NEC 通システム株式会社	4名

研究代表者 小花貞夫 研究副代表者 鈴木龍太郎	スマートネットワーク研究室	
	研究員(酒井敏宏)	担当:サブテーマ1(リーダー)
	研究員(大山卓)	担当:サブテーマ1
	技術員(山口真司)	担当:サブテーマ1
	主任研究員(ヌリシラジ マハダド)	担当:サブテーマ2(リーダー)
	研究員(OYUNCHIMEG Shagdar)	担当:サブテーマ2
	研究員(TANG Suhua)	担当:サブテーマ2
	上級研究員(板谷聡子)(12月31日迄)	担当:サブテーマ3(リーダー)
	研究員(滝本栄二)	担当:サブテーマ3
	研究員(宮本進生)	担当:サブテーマ3
研究員(長谷川淳)	担当:サブテーマ4(リーダー)	
研究員(近藤良久)	担当:サブテーマ4	
担当は主たる担当サブテーマを記載。他のサブテーマの研究も一部実施する場合あり		
自律システム研究室		
室長(山口明)	担当:サブテーマ1	
上級研究員(長谷川晃朗)	担当:サブテーマ2	
研究員(金鐘玉)	担当:サブテーマ2	
客員研究員(Peter DAVIS)	担当:サブテーマ2	
研究員(西浦升人)	担当:サブテーマ3	
主任研究員(滝沢泰久)	担当:サブテーマ4	
研究員(AUST Stefan)	担当:サブテーマ4	
研究員(山本俊明)	担当:サブテーマ4	
研究員(谷口典之)	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		
知識科学研究所・知識処理研究室／知識入出力研究室		
所長(小暮潔)	担当:サブテーマ1	
室長(鳥山朋二)	担当:サブテーマ1	
主任研究員(野間春生)	担当:サブテーマ2	
主任研究員(納谷太)	担当:サブテーマ2	
主任研究員(阿部明典)	担当:サブテーマ3	
研究員(實廣貴敏)	担当:サブテーマ4	
担当は主たる担当サブテーマを記載。他のサブテーマの研究も一部実施する場合あり		
共同研究先:NEC通信システム株式会社		
NCOSラボラトリ		
主任(伊藤哲也)	担当:サブテーマ4(リーダー)	
主任(松本晃)	担当:サブテーマ3	
担当(飯塚宏之)	担当:サブテーマ3	
担当(江連雄一郎)	担当:サブテーマ4	

- 注) サブテーマ1 : チャネル構成技術の研究開発
 サブテーマ2 : チャネル制御技術の研究開発
 サブテーマ3 : 中継パケット高速転送技術の研究開発
 サブテーマ4 : アーキテクチャとシステム化技術の研究開発

4 研究開発実施状況

4-1 チャネル構成技術の研究開発

4-1-1 研究開発概要

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方式 MM-SA: Multi-Carrier & Multi-Code Spread ALOHA によるチャネル構成技術を開発する。

今年度は、昨年度に実施したシミュレーション及び変復調器部分試作モデルの開発・評価の成果を活用し、トラフィックモデルを用いた解析を進めた。また、5.8 GHz 帯での 4 つの周波数チャネルと 15 段または 7 段の拡散符号方式についてシミュレーションにより解析を行った。ハードウェアの部分試作としては、変復調装置の試作モデルを開発し、機能基本特性測定及び干渉特性評価を行った。

4-1-2 実施状況

ハードウェアの部分試作については、前年度の復調回路試作および 2 波干渉特性の検証結果と、シミュレーションで得られたパラメータを用いて、MM-SA 方式送受信機の試作を行った。本試作には干渉評価のための干渉信号、雑音の付加機能やサブテーマ 3 で検討を進めているカットスルー転送制御機能も合わせて組み込み、特性評価・検証を行った。

4-1-3 MM-SA 方式送受信機の基本設計

(1) MM-SA 方式無線仕様の検討

平成 18 年度に実施した(1)シミュレーションによる MM-SA 方式基本性能評価及び(2)MM-SA 方式受信部部分試作モデルの開発によるシミュレーション及び実験評価結果により、各種パラメータを選定し、伝送速度 4 Mbps、拡散率 15 から、帯域幅は約 500 MHz となり周波数割当上問題となった。

そこで、平成 19 年度は、誤り訂正技術の適用およびパケット情報量の最適化を行い、所用帯域幅を抑える仕様を検討した。MM-SA 方式無線仕様を表 4-1-1 に示す。カットスルー転送が 1 msec 以下となるように情報伝送レートを選定し、周波数帯域幅を周波数割当上実現可能な範囲にするために、図 4-1-1 に示すようなフレームフォーマットを選定し、拡散率を 15 とすることで、帯域幅を実現的な値とできた。

誤り訂正は、BCH (63, 51) を採用し、DATA_A および DATA_B に誤り訂正をかけた。

表 4-1-1 MM-SA 方式無線仕様

項目	仕様
周波数	5780, 5790, 5820, 5830MHz
チップレート	2.048Mcps
拡散率	15
シンボルレート	137ksps
情報転送レート	273kbps
拡散符号	Gold 符号
変調方式	$\pi/4$ シフト QPSK
復調方式	遅延検波
誤り訂正	BCH(63,51)
誤り検出符号	CRC 符号
パケット長	411bit

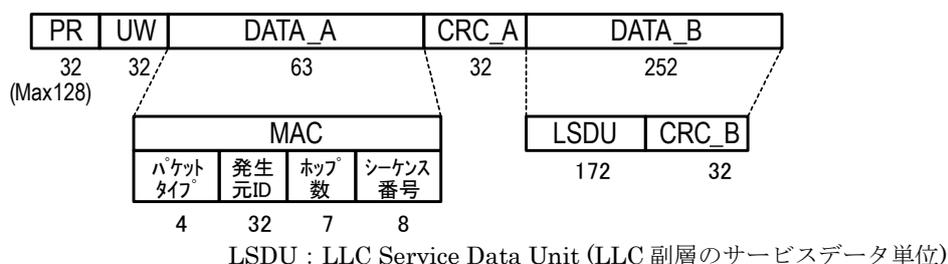
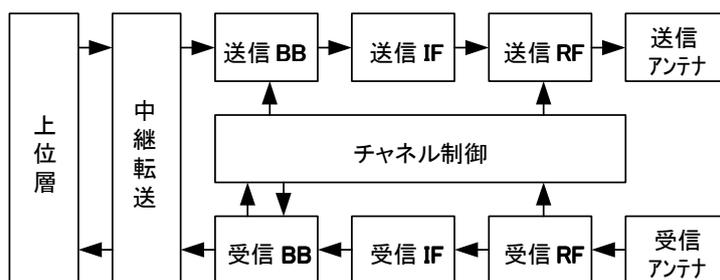


図 4-1-1 フレームフォーマット

(2) MM-SA 方式送受信機ハードウェアの検討

平成 19 年度に試作する MM-SA 方式送受信機の系統図を図 4-1-2 に示す。送受信機は、上位層部、中継転送部、送信/受信 BB 部、送信/受信 IF 部、送信/受信 RF 部と送信/受信アンテナで構成される。上位層部は、パケットの生成分解などのパケット処理やアクセス制御の機能を有し、中継転送部は、カットスルー方式の転送、パケットの廃棄/転送/上位層への処理判断、ラベルヘッダ操作の機能を有する。チャンネル制御部は、受信 RF 部および受信 BB 部からの情報を基にチャンネルを選定する機能を有する。送信 BB は、誤り訂正、拡散、変調機能を有し、送信 IF は直交変調機能を有し、送信 RF は高周波増幅および周波数変換機能を有する。受信 BB は、誤り訂正、逆拡散、復調機能を有し、受信 IF は直交復調機能を有し、受信 RF は高周波増幅および周波数変換機能を有する。また、アンテナは送受信用にそれぞれ設けた。



BB:Base Band
 IF:Intermediate Frequency
 RF:Radio Frequency

図 4-1-2 系統図

MM-SA 方式送受信機のユニット構成についてブロック図を図 4-1-3 に示す。送受信機は、BB ユニットと RF ユニットの 2 つのユニットで構成される。

BB ユニットは、TX_BB1&CONT 基板と RX_BB1~4 基板で構成される。TX_BB1&CONT 基板は、誤り訂正、変調、拡散等の信号処理機能、D/A コンバータおよび各種制御機能を有する。RX_BB1~4 は、1 つの周波数チャンネルにおいて A/D コンバータ、誤り訂正、復調、逆拡散、シンボル同期等の信号処理機能を有する。

RF ユニットは、TX_RF1 基板と LNA 基板、RX_RF1~4 基板で構成される。TX_RF1 基板は、直交変調、PLL(Phase Locked Loop)回路を持つ局部発振部および高周波電力増幅の機能を有する。LNA 基板は、アンテナにて受信した信号を規定レベルまで増幅する機能と信号を 4 つに分配する機能を有する。RX_RF1~4 基板は、一つの周波数チャンネルにおいて、中間周波数に変換し、直交復調する機能を有する。

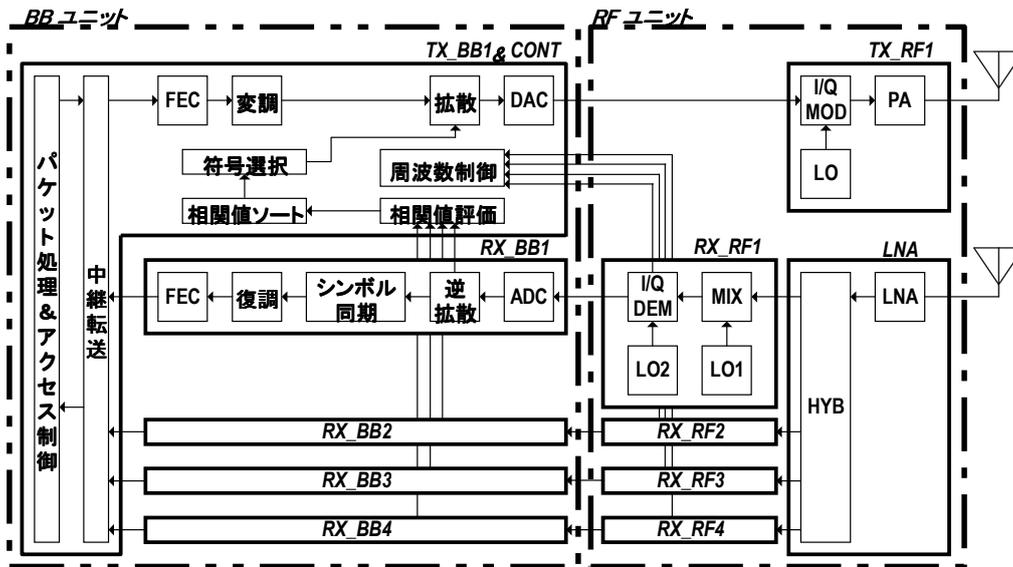


図 4-1-3 ブロック図

BB ユニットにおいて、FPGA は 5 個使用している。BB ユニットの FPGA 構成図を図 4-1-4 に示す。FPGA1 は、53000 ロジックセルの FPGA で、ベースバンド信号処理回路、FEC 付加回路、パケット処理回路、アクセス制御回路、中継転送回路を構成しており、使用率は 28% である。また、FPGA 2～5 は、60000 ロジックセルの FPGA で、一つの周波数チャンネルにおける逆拡散回路、ベースバンド信号処理回路、および FEC 訂正回路を構成しており、使用率は 66% である。

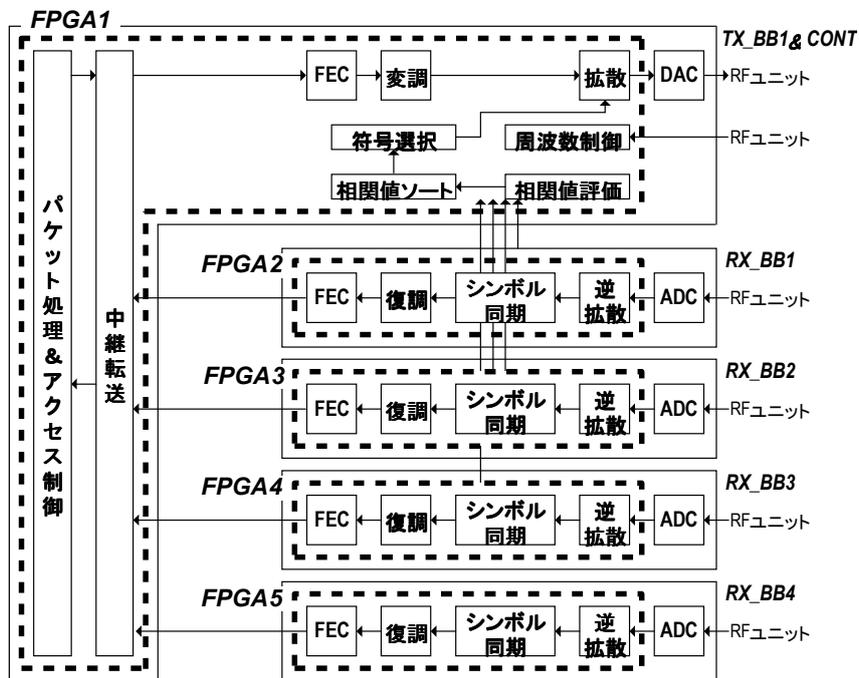
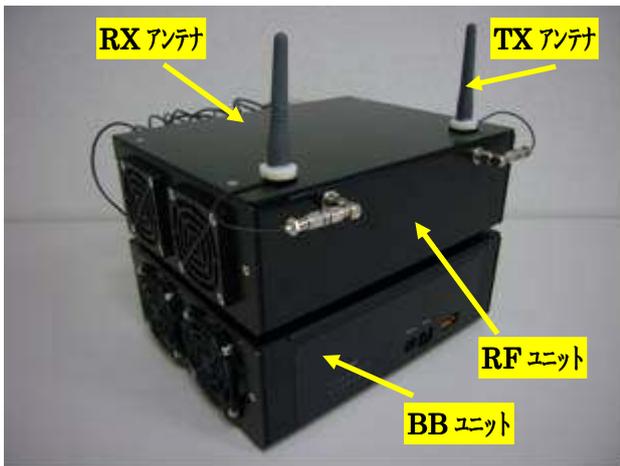


図 4-1-4 BB ユニットの FPGA 構成図

図 4-1-5 に試作した送受信機の外觀図を示す。RF ユニットおよび BB ユニットは、同じサイズであり、240(W)×190(D)×80(H)mm の B5 サイズ程度の大きさである。



(a) 正面図



(b) 背面図

RF ユニットサイズ : 240(W)×190(D)×80(H) mm

BB ユニットサイズ : 240(W)×190(D)×80(H) mm

図 4-1-5 試作装置の外観図

4-1-4 MM-SA 方式無線仕様のシミュレーション

(1) シミュレーション条件

表 4-1-1 の MM-SA 方式無線仕様のもと、電波伝搬環境が AWGN (Additive White Gaussian Noise : 加法性白色ガウス雑音) とし、干渉耐力特性の BER (Bit Error Rate) をシミュレーションした。図 4-1-6 にシミュレーションモデルを示す。干渉波として、Interference TX 部を設け、Phase/Frequency offset により周波数を 10MHz シフトした干渉波を所望波の MainTX に加算し BER を求めた。

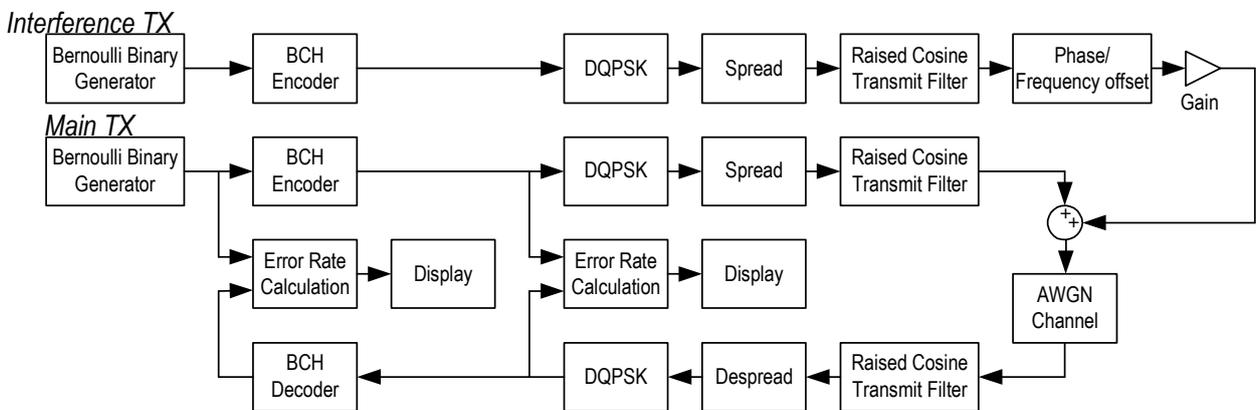


図 4-1-6 シミュレーションモデル

(2) シミュレーション結果

図 4-1-7 に同一周波数、異符号の干渉波による E_b/N_0 対 BER 特性を示す。この図より、 $C/I > -5\text{dB}$ なら干渉波の影響が無いことがわかる。また、 $C/I < -10\text{dB}$ つまり所望波より 10dB 以上大きな電力の干渉波が入力した場合、 E_b/N_0 が $2\text{dB}@1\text{E}-5$ 以上劣化することがわかる。

図 4-1-8 に隣接周波数、異符号の干渉波による E_b/N_0 対 BER 特性を示す。この図より、10MHz 離調、異符号の干渉波の場合、所望波より 80dB 大きな干渉波を入力しても、BER には影響しないことがわかる。つまり、現実には 80dB 以上もの干渉波は現実には発生しないため、10MHz 離調、異符号の干渉波は所望波には影響しないことがわかる。

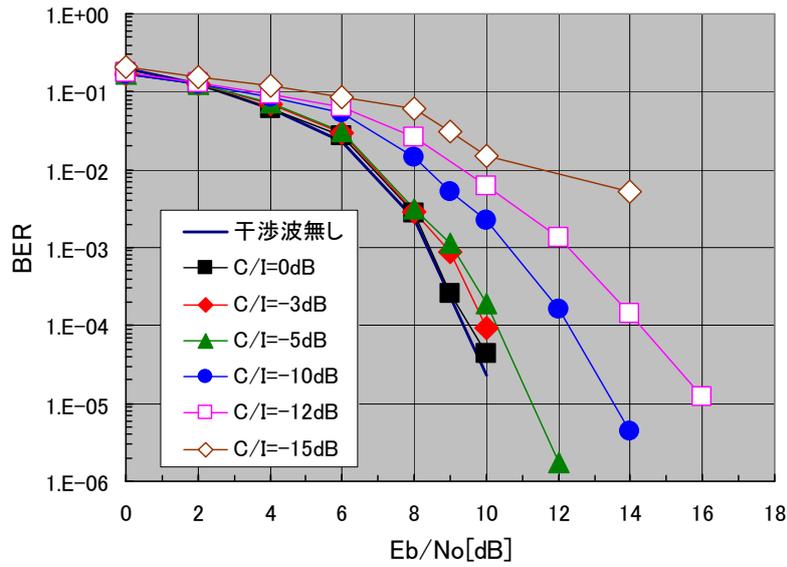


図 4-1-7 同一周波数、異符号の干渉波による E_b/N_0 対 BER 特性

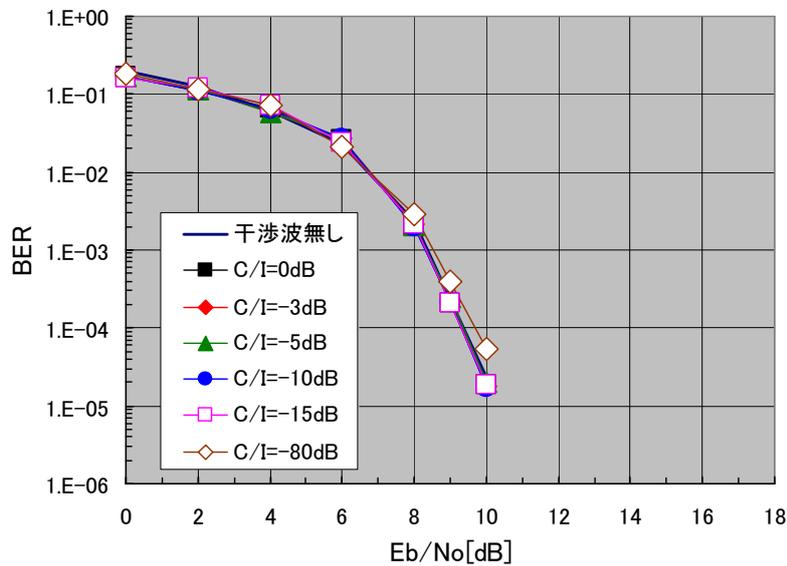


図 4-1-8 隣接周波数、異符号の干渉波による E_b/N_0 対 BER 特性

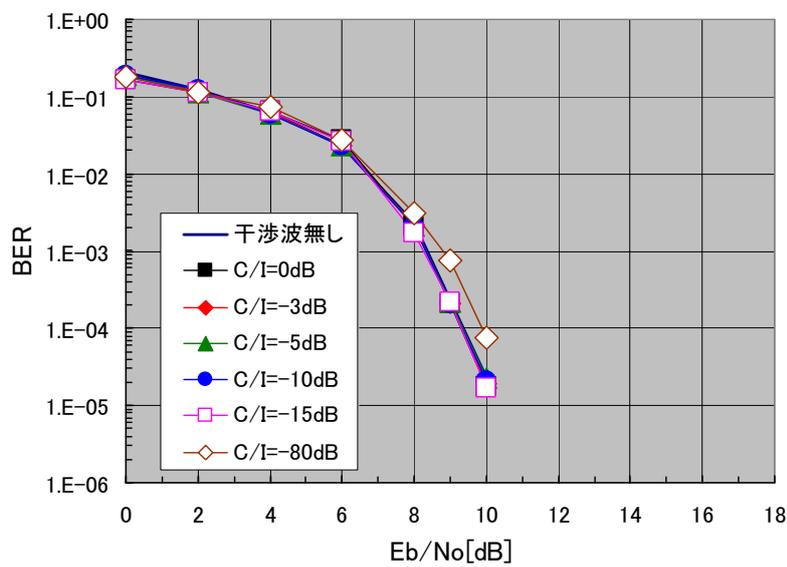


図 4-1-9 隣接周波数、同符号の干渉波による E_b/N_0 対 BER 特性

図 4-1-9 に隣接周波数、同符号の干渉波による E_b/N_0 対 BER 特性を示す。この図より、10MHz 離調、同符号の干渉波の場合、所望波より 80dB 大きな干渉波を入力しても、BER には影響しないことがわかる。つまり、現実には 80dB 以上もの干渉波は現実には発生しないため、10MHz 離調、同符号の干渉波は所望波には影響しないことがわかる。

以上のシミュレーション結果から、コードディビジョンより周波数ディビジョンの方が、干渉耐力が高いことがわかり、10MHz 離調すれば、BER への影響がほとんど無いことが分かった。

4-1-5 MM-SA 方式無線仕様の実機評価

(1) 受信特性

受信特性の基本特性である C/N(キャリア対ノイズ比)対 PER 特性を評価した。

①評価方法

図 4-1-10 に C/N 対 PER 特性を評価するための測定系統図を示す。信号発生器の出力端と送受信機の RX 端を同軸ケーブルにて接続する。信号発生器を用いて、理想的な送信信号を生成し、その信号を送受信機に加える。信号発生器には、送信出力を調整可能なアッテネータ機能を有しており、これを用いてキャリアレベルを調整する。また、信号発生器には、ノイズ発生器が内蔵しており、これを用いてノイズをキャリアに加算し、C/N を任意に設定し、そのときの PER を PC で測定する。

今年度は、ハードの制約上、誤り訂正無し、受信の AGC(Auto Gain Control)機能 OFF を前提条件として特性を検証した。

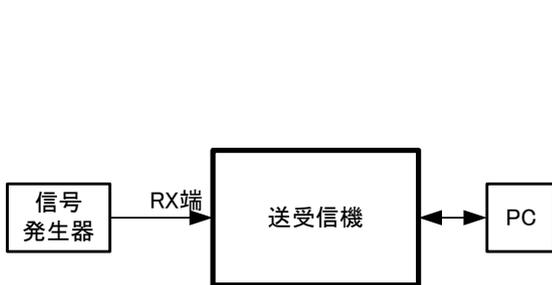


図 4-1-10 C/N 対 PER 測定系統図

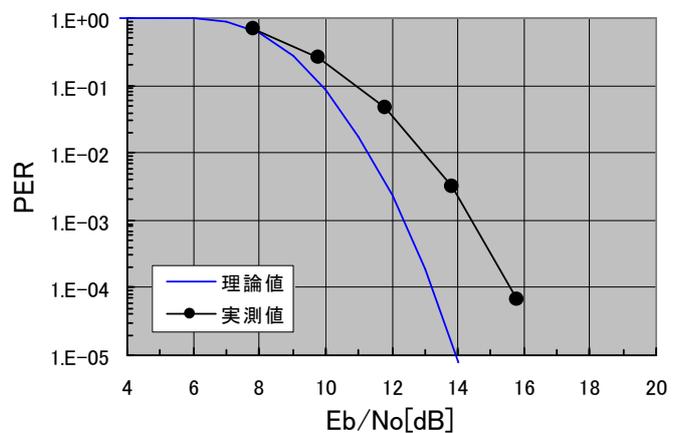


図 4-1-11 E_b/N_0 対 PER 特性

②評価結果

図 4-1-11 に E_b/N_0 対 PER 特性を示す。縦軸は PER、横軸は E_b/N_0 である。 E_b は 1 ビット当りの平均信号エネルギー、 N_0 は雑音電力密度である。測定時に設定した C/N を拡散率、変調方式、ハード条件により E_b/N_0 に換算しグラフ化している。

この図より、PER が $1E-5$ 以下を要求するなら、所要 E_b/N_0 は 16.5dB 以上であり、ハードに起因する固定劣化は、約 2.5dB であることがわかる。また、ASV の要求条件である PER が $2E-1$ 以下を要求値とするなら、所要 E_b/N_0 は 10dB 以上であることがわかる。

(2) 干渉耐力特性

①評価方法

図 4-1-12 に C/I をパラメータとする E_b/N_0 対 PER 特性を測定するための測定系統図を示す。所望信号源に理想的な信号発生器である信号発生器を用いる。信号発生器には、送信出力を調整可能なアッテネータ機能を有しており、これを用いてキャリアレベルを調整す

る。また、信号発生器には、ノイズ発生器が内蔵しており、これを用いてノイズをキャリアに加算し、C/N を任意に設定する。また、干渉波は、MATLAB にて干渉波を加算したベースバンド信号を生成し信号発生器より出力する。信号発生器は、送受信機の BB ユニットの RX 端に接続し、信号発生器からの所望波と干渉波の合成波を送受信機に入力し、PC により PER を測定する。干渉信号源には、同一周波数および異符号の干渉波のみ用いる。



図 4-1-12 C/I による
Eb/No 対 PER 測定系統図

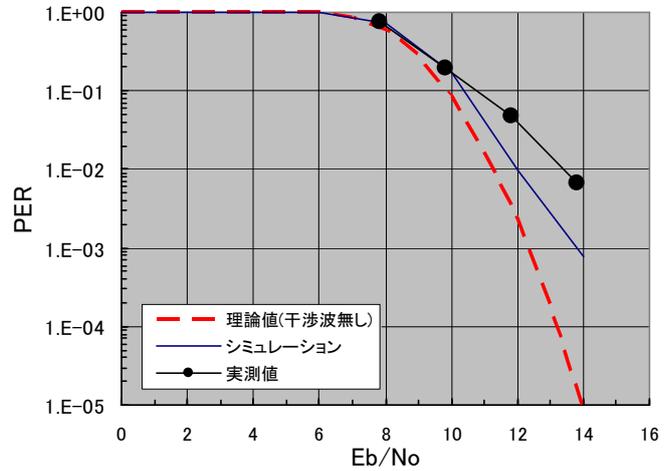


図 4-1-13 同一周波数、異符号の
干渉波による Eb/No 対 PER

②評価結果

図 4-1-13 に同一周波数、異符号の干渉波による Eb/No 対 PER 特性を示す。点線は、干渉波が無いときの特性であり、マーカが無い実線はシミュレーション値である。黒丸線は、C/I=0dB のときの実測値である。この図より、 $E_b \leq 10\text{dB}$ では、シミュレーション値と同じ結果を得た。しかし、 $E_b/No > 10\text{dB}$ では、シミュレーション値と異なる結果が得られた。これは、同期部分による劣化が発生していると推測し、今後の課題である。

4-1-6 交差点モデルを用いたシミュレーション評価

(1) 交差点モデルにおけるシミュレーション条件

図 4-1-14 は、ASV-4 (Advanced Safety Vehicle) で定義されている車々間通信による安全運転支援のための通信サービスエリアの内、出会い頭衝突防止アプリケーションに対する条件である。今年度は、このアプリケーションの通信性能条件を高レスポンスアドホック無線通信方式 (MM-SA, Multi-Carrier & Multi-Code Spread ALOHA) がどの程度満足するか、また、どの様な問題点があるのかを明確にするためにシミュレーション評価を行なった。

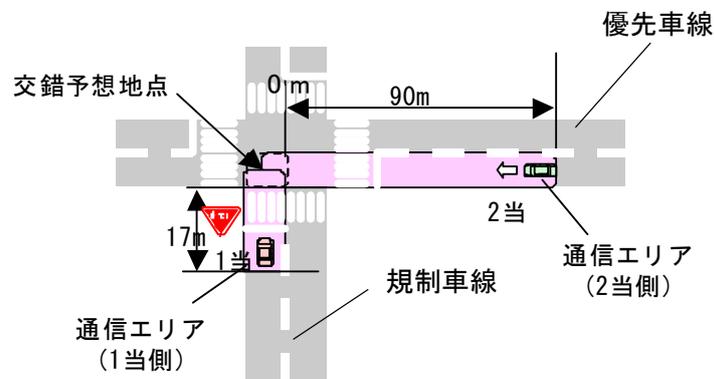


図 4-1-14 車々間通信による安全運転支援のための通信エリア (ASV-4)
(出会い頭衝突防止 (一時規制あり))

図 4-1-14 に示す通信性能条件は、ピンク色で囲まれている部分がアプリケーションのサービスエリアである。規制車線の停止車線で停止している車両（1 当：第 1 当事者）が受信車両に当たり、優先車線でサービスエリア内に入ってきた車両（2 当：第 2 当事者）が送信車両である。受信車両（1 当）はサービスエリア内を走行している送信車両（2 当）からのパケットの到達率を評価する。また、周囲に合計 88 台の車両を配置し、各車両が 100 msec で自分の位置情報等を含むパケットを送信する。

本シミュレーションでは、送信車両（2 当）の位置に対するパケット到達率及び場所率を評価する。5.8 GHz 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 版ではパケット到達率 80%以上と規定されている。場所率とは、交差点の中心（図 4-1-14 中の 0 m）の位置からパケット到達率 80%を満たす割合を示すものである。

表 1 に MM-SA 方式の基本仕様及びシミュレーション条件を示す。

表 4-1-2 MM-SA 方式の基本仕様及びシミュレーション条件

	項目	値	備考
MAC 部	メディアアクセス制御方式	Spread ALOHA 方式	
	パケット発生	送信要求 100msec 間隔	
	要求パケット到達率	80 %	5.8 GHz 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 版参照
	パケットサイズ	3056 ビット:(ターボ使用時) 1112 ビット:(ターボ未使用時)	
BB 部	同期処理	チップレベルで同期	
	拡散符号	Gold 符号	
	拡散率	1~63 倍で可変	
	情報伝送速度	273 kbps	15 倍拡散時
	シンボルレート	136 ksps	15 倍拡散時
	チップレート	2048 kcps	固定
	変復調方式	$\pi/4$ shift DQPSK	
	チャンネル監視シンボル数	5 シンボル	
	誤り訂正	ターボ符号あり/なし	符号化率:1/3
	周波数帯	5.8 GHz 帯	
	必要帯域幅	4.096MHz	1 チャンネル当たり
	周波数チャンネル数	4 チャンネル	
	アンテナ指向性	無指向性	
アンテナ利得	0 dBi		
伝搬路	レイトレーシング	イメージング法	
	フェージング	OFF	
	建物のモデル化	建物、路面:あり 車体:なし (交差点数:1 交差点)	
	AWGN	OFF	
	自車両の電波の回りこみ	なし	
車両条件	台数	88 台	1 当、2 当含む
	走行時速	70 km/h	

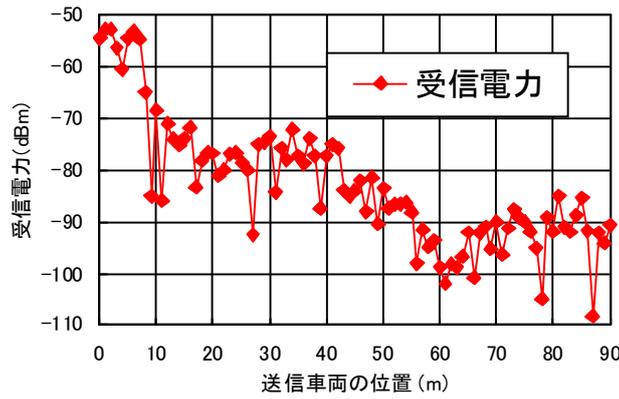


図 4-1-15 受信電力特性

図 4-1-15 に、送信車両（図 4-1-14 中の 2 当）が交差点に向かって走行中に、規制車線で停止している受信車両（図 4-1-14 中の 1 当）での受信電力を示す。出会い頭アプリケーションでは、建物がある交差点を想定している。そのために、所望波（2 当から送信され、1 当で受信する電力）は直接波では届かずに、回折波が届く。これに対して、規制車線を走行している車両からの干渉波は直接波が届くために、D/U 比（所望波／非所望波）が非常に悪い環境である。この条件下で、サービスエリア内で送信車両（2 当）の位置を変え、受信車両（1 当）でのパケット到達率を評価した。

(2) パケット到達率及び場所率のシミュレーション結果

送信（2 当）車両の位置に対するパケット到達率とパケット到達率が 80%以上となる場所率を求めた。

図 4-1-16 及び図 4-1-18 から、拡散率が小さい程、パケット到達率が高いことが分かる。これは、無線周波数帯域を 4 MHz に固定しているために、チップレートが 2.048 Mbps となる。よって、拡散率が大きくなると、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るためと思われる。

図 4-1-16 及び図 4-1-18 中から、ターボ符号を使用する場合と使用しない場合を比較すると、ターボ符号を使用しない方がパケット到達率は高いことが分かる。これも、ターボ符号を使用することで、ターボ符号の符号化率が 1/3 であるため、パケット長が長くなり、パケット到達率が劣化しているものと考えられる。

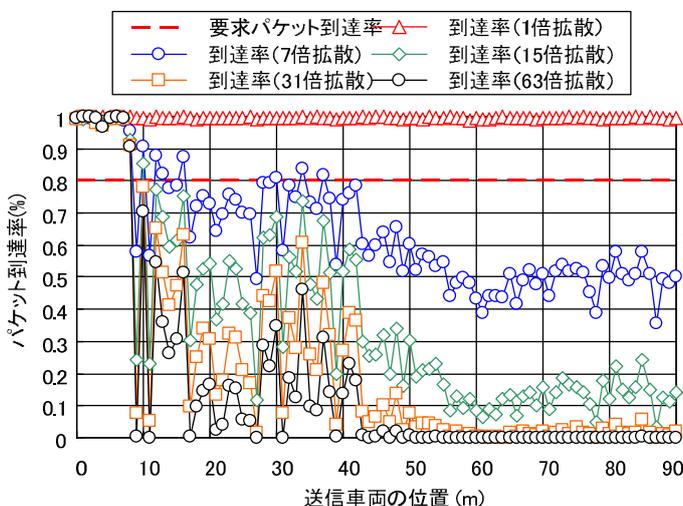


図 4-1-16 パケット到達率
—送信車両の位置特性(ターボ符号あり)

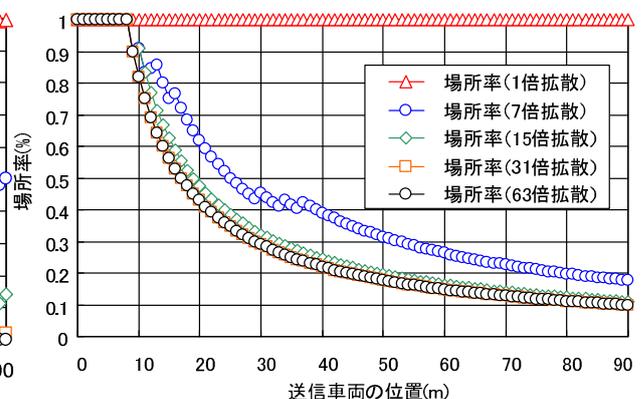


図 4-1-17 場所率
—送信車両の位置特性(ターボ符号あり)

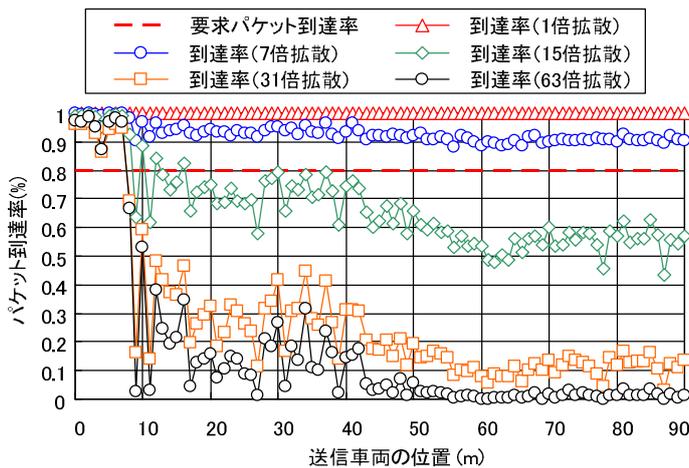


図 4-1-18 パケット到達率
—送信車両の位置特性（ターボ符号なし）

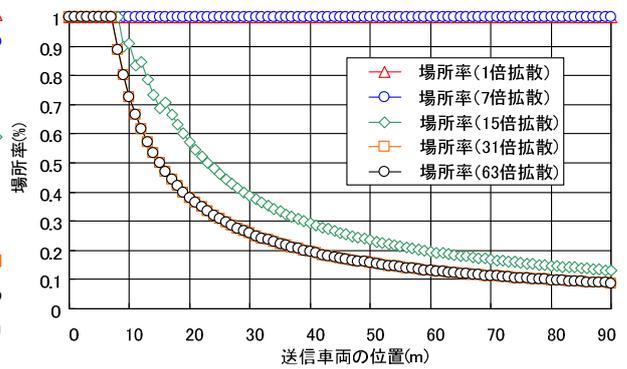


図 4-1-19 場所率
—送信車両の位置特性（ターボ符号なし）

MM-SA 方式は CSMA (Carrier Sense Multiple Access) 方式と異なり、1つの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、SS 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、できるだけ、パケット衝突を生じない様にする事が、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。これは先に述べた様に、所望波の直接波は届かずに回折波しか届かないのに対して、規制車線を走行している車両からの干渉波は直接波が届き、D/U 比が拡散符号の拡散利得以上であると考えられる。

これらの結果から、拡散及び誤り訂正による冗長度によって、パケット長が長くなると、それだけ、パケット衝突を起こす機会が増え、パケット到達率を劣化させてしまう。即ち、パケット衝突回避のために、できるだけパケット長を短くすることが有効である。

図 4-1-16 及び図 4-1-18 のパケット到達率 80%以上 (ITS FORUM RC-005 1.0 版で規定) の規定を送信車両の位置が 0 m から x m において、どれだけ満たしているかを調べた結果を図 4-1-17 及び図 4-1-19 に示す。ターボ符号を用いる、用いないに係らず、約 9 m 以下では場所率 100%を満たしていることが分かる。近距離では SS の拡散利得により、パケット到達率 80%以上を満たすことができることが分かった。拡散率が小さい程、場所率が良いのは、拡散率の冗長度により、パケット衝突が発生しやすく、また、D/U 比が小さいためと考えられる。

次に、ターボ符号の効果を調べるために表 4-1-3 に示す 3 種類で比較評価を行なった。

表 4-1-3 ターボ符号比較条件

条件	ターボ符号	パケット長
1	未使用	1112 bit
2	使用 (符号化率 1/3)	3056 bit
3	未使用	3056 bit

図 4-1-20 及び図 4-1-21 に各種のパケット到達率—送信車両の位置特性及び場所率特性を示す。図から分かる様に、条件 1 のターボ符号未使用、パケット長 1112 bit のケースが一番良い。これからも分かる様に、できるだけパケット長を短くする必要がある。また、条件 2 及び条件 3 を比較すると、ターボ符号を使用することで、パケット到達率 80%以上にまでは至らないが、ターボ符号の効果があることが分かった。

図 4-1-21 から約 9 m 以下での 3 ケース共に、場所率 100%を維持している。これは SS(Spread Spectrum)の効果によるものであり、MM-SA 方式の特徴である。すなわち、近距離での通信品質は高いと言える。

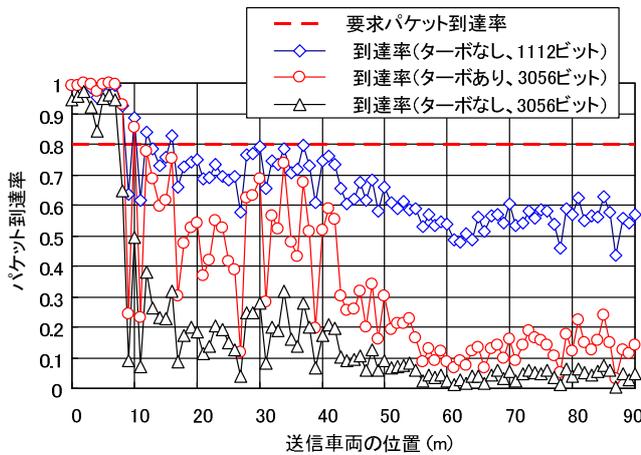


図 4-1-20 各種のパケット到達率
—送信車両の位置特性

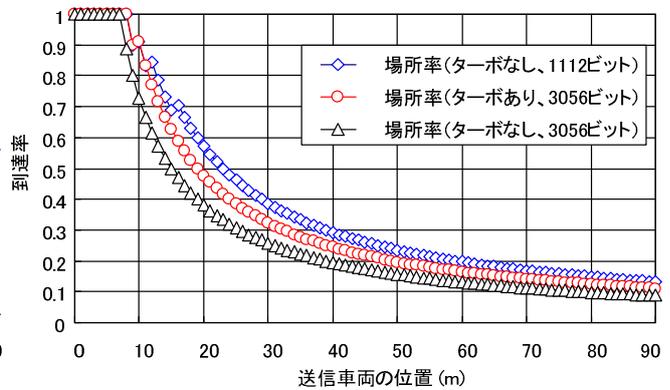


図 4-1-21 各種の場所率特性

以上のシミュレーション結果から、以下の性質が明らかになった。

- パケット衝突を回避するために、できるだけパケット長を短くすることがパケット到達率を改善する上で有効である。
- 全サービスエリア内（送信車両の位置 0 m～90 m）で、パケット衝突率 80%を満足するケースは、
 - ターボ符号使用、拡散率 1 倍
 - ターボ符号未使用、拡散率 1 倍及び拡散率 7 倍
 である。
- 送信車両の位置が約 10 m 以下では、全ての拡散率のケースで場所率 100%を達成している。これは、Spread Spectrum の効果によって、干渉波とパケット衝突が生じても、信号分離ができるために、パケットが到達すると考えられる。これは、MM-SA 方式の特長と言える。送信車両の位置が 10 m 以上で、パケット到達率が劣化しているのは、所望波は直接波が届かずに、回折波になっているのに対して、干渉波は規制車線に存在する車両からは直接波が届いてしまうために、SS の拡散利得以上の D/U 比になっていると考えられ、パケット到達率が劣化していると考えられる。
- 出会い頭衝突防止アプリケーションでは、所望波の直接波は届かずに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干渉波が直接届く。

よって、パケット到達率及び場所率を改善する方法として、規制車線からの干渉波をどの様にして、抑制するかが重要となる。この方法として、今後、以下の項目についてシミュレーション評価を行なう予定である。

- 規制車線と優先車線で周波数チャンネルを変える周波数制御
- 干渉キャンセラ機能を使った干渉抑制効果
- 所望受信信号が低い場所での転送機能効果

4-1-7 達成状況

ハードウェア試作については、今年度は RF 部およびアンテナを有する送受信機を試作した。この試作機により、所望 E_b/N_0 、干渉耐力について検証し明確にすることができた。

交差点モデルを用いたシミュレーション評価においては、建物で囲まれた交差点モデルを用いて、車車間通信における安全運転支援のアプリケーションに即したシミュレーションを行った。シミュレーションの結果、MM-SA 方式では近距離におけるパケット到達率は100%が得られるが、車両間の距離が大きいと周囲の車両による干渉雑音のため、通信ができないことが分かった。

以上のように、平成19年度継続提案書に従い、今年度の研究開発として、昨年度の部分試作モデルを用いたトラフィックモデルの確立、MM-SA 方式の各種パラメータの決定、および送受信装置試作モデルの設計を完了した。また、設計に基づき送受信装置の試作モデルを開発し、基本特性を検証した。今後、試作機を用いて試作機同士の通信品質の検証とフィールドにおける通信品質を検証する予定である。また、シミュレーション評価に関しては、干渉キャンセラや周波数選択により干渉量をおさえる手法の検討を行う。

4-2 チャネル制御技術の研究開発

4-2-1 研究開発概要

MM-SA は複数の周波数を利用するため、送受信において適切な周波数を効率良く選択する制御機能が必要である。特に拡散信号が重畳するため、複数端末の送信信号が原因となる干渉量(MAI)を監視し、MAIの少ないチャネルを選択することにより通信品質を維持すると同時に、送信時の待ち時間を排除する。

今年度は、昨年度に実施したチャネル制御方式の検討結果を活用し、チャネル制御装置の具体化設計を実施する。本設計を変復調装置試作モデルに実装し、MAI 監視の基本方式及び受信信号品質の検出・評価方式の機能及び特性を評価し、基本設計を終える。

4-2-2 実施状況

受信端末における受信電力は、遠近問題や周辺の電波環境によっては干渉量が大きく変動し、チャネルの有効利用の改善に当たって、以下の課題を考慮する必要がある。

- ①パケットの優先度に基づく送受信モード制御
- ②送受信端末間のチャネル・拡散コード確認
- ③チャネルの負荷に基づくランダムアクセス制御
- ④チャネルの干渉量に基づくチャネル・拡散コード選択
- ⑤自律分散型アドミッション制御
- ⑥自律分散型電力制御

昨年度は上記項目①、②、③に該当する機能をネットワークシミュレータ上で実装し、ユニキャスト通信におけるシステム性能への影響及び解決法の有効性について評価した。本年度は MM-SA 方式のブロードキャスト通信における性能評価、上記項目⑤、⑥に該当する制御プロトコルの検討、及びチャネル選択方式の検討を進めた。

また、パケット転送遅延を最小化するために検討を進めているカットスルー転送技術について、パケット転送の信頼性を確保するための誤り制御技術の検討を進めた。

4-2-3 MM-SA 方式の性能評価

MM-SA 方式による車車間通信システムの重要な目的は、車両間での周期的位置情報の交換や緊急情報の転送により交通事故の発生件数を削減することである。そのため、位置情報の交換や緊急情報の転送において、パケット到達の高信頼性及び低遅延性が要求されている。そこで、車両間での位置情報交換を対象に評価を行った。また、比較対象として IEEE802.11 を用いた。表 4-2-1 はシミュレーション条件・パラメータを示す。

このシミュレーション条件・パラメータにおいて、パケット到達率に関して、パケット

ロスを引き起こす要因として以下の項目を考慮し、各々の要因の影響に対して評価を行った。

表 4-2-1 シミュレーション条件及びパラメータ

項目	仕様値
トポロジ	交差点(4車線)
通信領域	550 [m] × 550 [m]
車間距離	17.4、9.9、6.2、3.9、2.5 [m]; ランダム配置
ノード数	192、288、384、480、576
シミュレーション時間	30 [sec]
アプリケーション	位置情報パケット(ブロードキャスト)
送信間隔	100 [ms]
パケット・サイズ	200 [Byte]
チャンネル帯域	20 [MHz] (1 ch)
電波伝搬モデル	Free-Space
802.11b	
PHY	Sc-SA
MAC	CSMA/CA
変調方式	DQ-PSK
データ・レート	11 [Mbps]
MM-SA	
PHY	Mc-SA
MAC	CDMA
拡散率	31
変調方式	DQ-PSK (802.11bの仕様にそろえた。)
データ・レート	2.84 [Mbps]

チャンネルアクセス遅延の実験結果を図 4-2-1 に示す。横軸は車間距離 (車両数)、縦軸はチャンネルアクセス遅延を示す。実験結果から、802.11 においては carrier-sense や指数バックオフ機能によりチャンネルアクセス遅延が端末の増加に比例して増加することが分かる。車間距離 17.42 m の場合以外、バックオフ中に他の車両による位置情報パケットの送信が発生し、長い遅延 (6.5~24 ms) が発生している。802.11 方式のチャンネルアクセス遅延は位置情報の生成間隔 (100 ms) に比べ大きな値となり望ましくない。MM-SA 方式においては、チャンネルアクセス遅延はチャンネルアクセスのバックオフ遅延であり、端末数に依存せず 0.4 ms 程度であり、位置情報の生成間隔 (100 ms) に比べ小さい値となり望ましい遅延特性である。また、位置情報パケットの生成間隔がチャンネルアクセス遅延より大きいため、キューイング遅延はない。

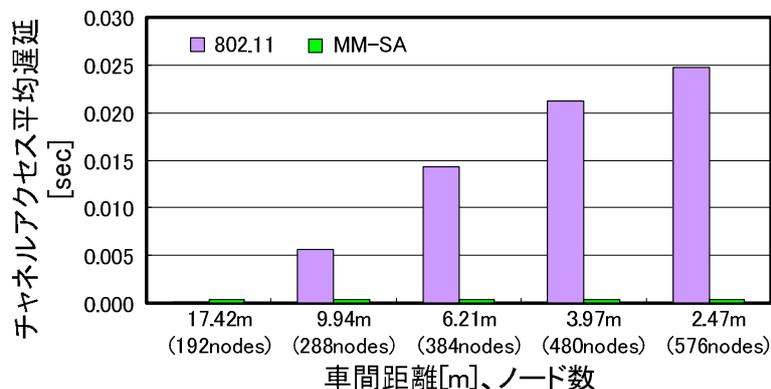


図 4-2-1 チャンネルアクセス遅延特性の比較

図 4-2-2、図 4-2-3 は 802.11 及び MM-SA 方式の送受信車両間のホップ数に対するパケット到達率特性を示す。

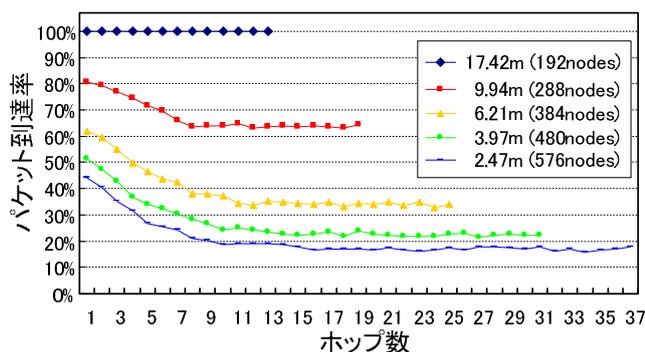


図 4-2-2 802.11 方式におけるホップ数対パケット到達率特性

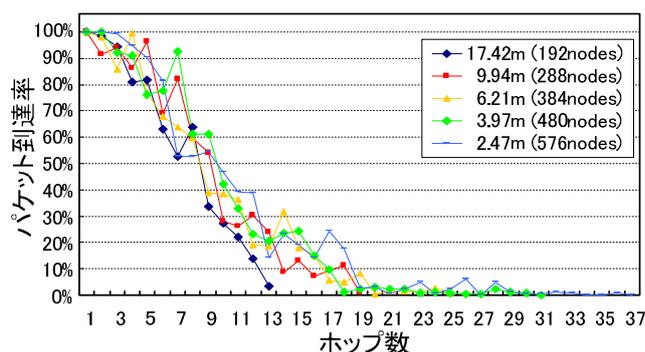


図 4-2-3 MM-SA 方式におけるホップ数対パケット到達率特性

これらの図から 802.11 方式の場合はパケット到達率がノード数に大きく依存するがホップ数に大きく依存しないことが分かる。また、車両数が増加すると輻輳が発生し、少ないホップ数(1~3)においても受信確率が低下することが分かる。これらの特徴から 802.11 方式は車車間通信の高信頼要求を満たさないことが分かる。

一方、MM-SA 方式のパケット到達率特性は、パケット到達率がノード数に依存しない代わりにホップ数に大きく依存する。また、少ないホップ数(1~3)に関しては位置情報パケットが高い確率で受信されることが分かる。上記特性から、MM-SA 方式は車車間通信における隣接端末間での位置情報の高信頼配信に適していることが分かる。

4-2-4 カットスルー転送の信頼性の向上

(1) カットスルー転送方式の高信頼化検討

本プロジェクトにおいて、転送遅延を 1 ミリ秒以下にするためにカットスルー転送手法の適用を検討している。図 4-2-4 は、カットスルー転送手法の説明図である。同図には、端末 V1 が送信したパケットを端末 V2 がカットスルー転送手法により転送する様子を表している。具体的には、端末 V2 は端末 1 からのパケットのラベル(ヘッダ)を、正しく受信できたら直ちに転送処理を開始する。従って、カットスルー遅延(CTF_{wr})は、パケット送信遅延(TxD) よりもはるかに短く、1 ミリ秒以下の転送遅延の実現が可能となる。しかし、同図から分かるように、転送端末はパケットを受信しながら送信するため、パケットのデータ部分に関してはエラー訂正を行えない。従って、エラーを含んでいるパケットでも転送してしまい、信頼性の面で問題を抱えている。

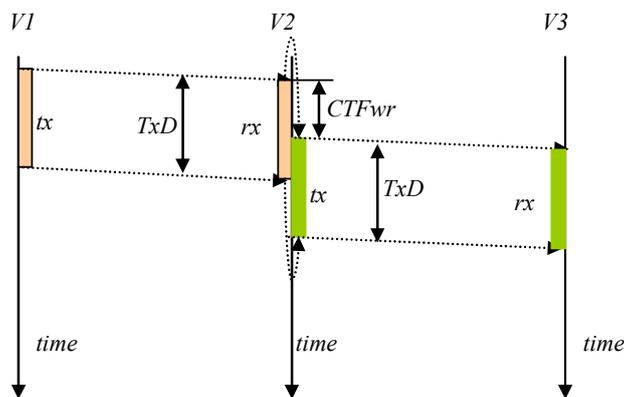


図 4-2-4 カットスルー転送方式

本年度はカットスルー転送方式の信頼性を向上させるための方式の検討およびシミュレーションによる性能評価を行った。以下、方式の説明を行う。車車間通信において、位置情報または緊急情報のマルチホップの転送が一般的である。ここで、図 4-2-5 を用いて緊急情報のカットスルー転送を説明する。同図において、端末(車両)V1 が急ブレーキし、緊急情報をブロードキャストしたとき、同一パケットが端末 V2, V3, V4 で受信され、それぞれの端末がカットスルー転送手法によりパケットを転送する。この場合に、次ホップの端末、例えば端末 V5 は V2, V3, V4 端末から同一の情報を受信し、端末 5 において空間ダイバシティが成り立つ。

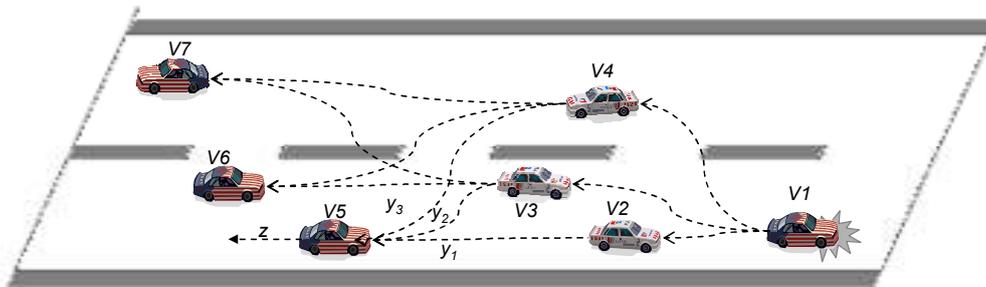


図 4-2-5 空間ダイバシティ

さらに、これらのパケットが端末 V5 でほぼ同時に到着する。実際にこれらのパケットが端末 V5 で到着するタイミングのずれは各々のパス(リンク)における伝搬遅延の差によるものである。例えば、最長と最短のパス長の差が 100 メートルとすると到着タイミングのずれは 0.34 マイクロ秒しかない。この時間差は、本 MMSA システムにおける 1 シンボル遅延よりも短いため、ほとんど同時到着といえる。

ここで我々は、転送端末におけるダイバシティ合成によりカットスルー転送の信頼性を向上する手法を検討した。具体的には、例えば図 4-2-6 で示すように、車両 1 がブロードキャストしたビット列(図 4-2-6(a))を車両 2, 3, 4 がそれぞれカットスルー転送した場合、図 4-2-6(b)で示すようにそれぞれ一ビットずつのビットエラーを含んで車両 5 に受信されたとする。そのとき、車両 5 は図 4-2-6(c')で示すようにダイバシティ合成を行うことにより、エラーを訂正して転送することができる。また、端末 5 において各々のパケットがほぼ同時到着するため、本ダイバシティ合成手法は、付加遅延をほとんど与えることなくカットスルー転送の信頼性を向上できると考えられる。

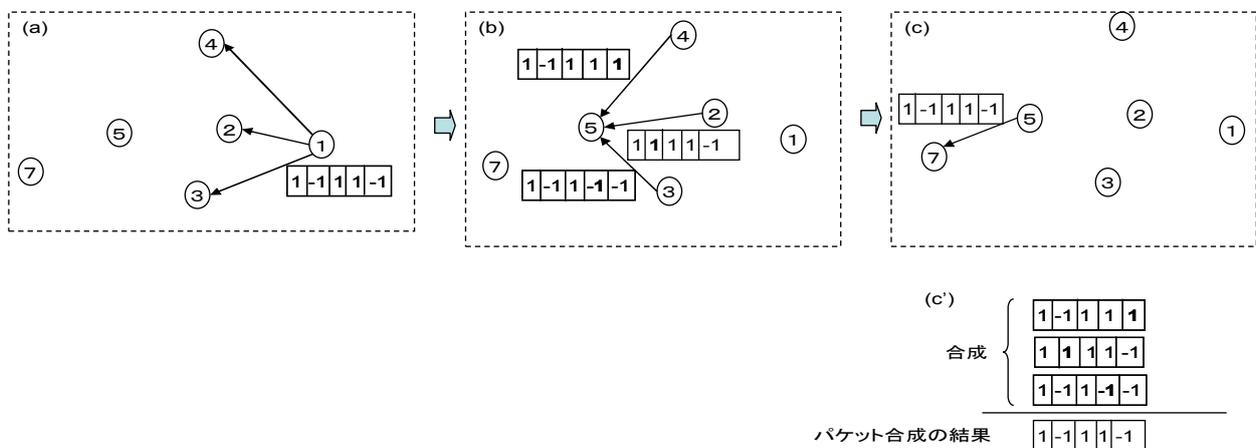


図 4-2-6 ダイバシティ合成による性能改善

実用的なダイバシティ合成手法として、最大比合成(Maximal Ratio Combining, MRC)、選択合成(Selection Combining, SC)、等利得合成(Equal Gain Combining, EGC)がある。これらの方式において、各々の受信信号が以下の式に従って合成される。

$$z = \sum_{i=1}^K a_i y_i$$

ここで y_i は i 番目の信号、 K は受信パケット数、 a_i は y_i に関する合成計数である。 a_i の設定仕方によって、ダイバシティ合成手法がそのパフォーマンスと実装コストの面で異なる。MRC は出力 SNR が最も高くなるように合成係数を設定しているため、理想的なパフォーマンスが得られる。一方、EGC においては全て合成係数が等しい値を取るように設定される。一方、SC は一つの信号、一般的にもっとも強い信号に非ゼロの合成係数を、その他の信号に対してゼロの合成係数を与える。実装コストは SC が最も低く、MRC が最も高いことが知られている。

(2) カットスルー転送手法の性能評価

ダイバシティ合成手法の性能を理論解析とシミュレーションにより評価した。評価に用いたネットワークポロジを図 4-2-4 に示す。端末 G で生成された緊急情報が最大 M ホップを渡ってカットスルー手法により転送され、各ホップにおいて N 個の端末が同時転送を行うとする。性能評価として、各々のホップにおいてのエラー訂正前の平均 BER 特性を調査した。

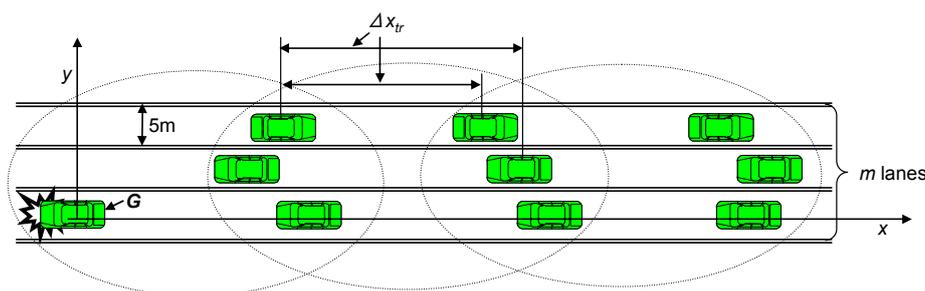


図 4-2-7 ネットワークポロジ

図 4-2-8 は従来カットスルー転送方式と MRC カットスルー転送方式の BER 特性の理論解析の結果を示す。ここで、従来のカットスルー転送方式はダイバシティ合成を適用しない方式であり、MRC カットスルー転送方式は最大比合成手法を適用する方式である。理論解析条件として、変調方式が QPSK、最大ホップ数(M)が 5、同時転送端末数(N)が 3 とした。図 4-2-5 で示すように、両方式は 1 ホップにおいて同一の BER 特性をもつ。これは、図 4-2-4 で表すように、1 ホップ目の受信端末は、パケット生成端末(G)からパケットを直接受信するため、これらの端末においてダイバシティ合成は不可能である。従って、1 ホップ目の BER 特性は従来カットスルー転送方式と MRC カットスルー転送方式で同一となる。一方、2 ホップ目およびそれ以降のホップにおける BER 特性は、従来カットスルー転送方式と MRC カットスルー転送方式では大きく異なる。従来カットスルー転送方式において、ホップ数が増加するに連れて、BER 特性が悪化する。それに対して、MRC カットスルー転送方式の場合は、ホップ数の増加が BER を悪化させないことが分かる。従って、MRC カットスルー転送方式の場合、1 ホップ目で得られた BER 特性が、後方のホップで維持される。また、同図で示すように、従来カットスルー転送方式の BER 特性は全般的に悪い結果となった。具体的には、 E_b/N_0 が 10dB の場合に両方式が最も低い BER を得るが、その値が従来カットスルー転送方式の場合およそ 10^{-3} 、MRC カットスルー転送方式の場合はおおよそ 10^{-6} であり、

MRC カットスルー転送手法は BER を 3 桁も改善できることが分かる。

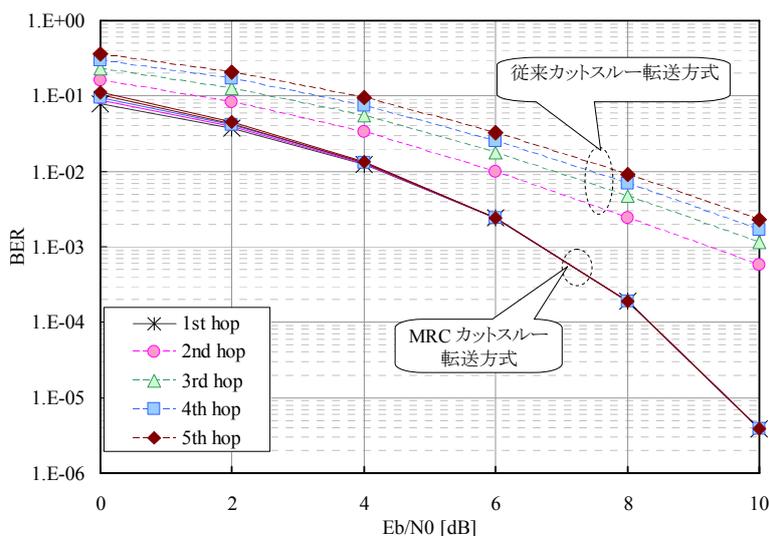


図 4-2-8 理論解析の結果

次に、従来カットスルー転送方式、SC カットスルー転送方式、MRC カットスルー転送方式の BER 特性を MATLAB シミュレータにより評価した結果を報告する。ここで、従来カットスルー転送方式は、転送端末が最初に受信した packets を転送するものである。SC カットスルー転送方式は転送端末が受信 packets の内、SINR が最も高いものを転送するものである。MRC カットスルー転送手法は、転送端末が合成後の SNR が最も高くなるように全受信 packets を合成するものである。表 4-2-5 はシミュレーション条件を示す。

表 4-2-5 シミュレーション条件

パケットサイズ	400 [bits]
最大ホップ数(M)	5
同時転送端末数(N)	1-5
任意の送受信車両間の距離(図4、 Δx_i)	100-200 [m]
車両間相対速度	0-100 [km/h]
拡散率(PN)	15
変調方式	QPSK
パスロスモデル	Free Space/ Plane Earth
フェージングモデル	Rayleigh fading
周波数帯	5.8 [GHz]

図 4-2-9 は従来カットスルー転送方式と SC カットスルー転送方式と MRC カットスルー転送方式の BER 特性のシミュレーション結果である。シミュレーションにおいて、ラベル長を 0 とした。同図において、マークが白く塗られたものが従来カットスルー転送方式、マークが灰色で塗られたものが SC カットスルー転送方式、その他のものが MRC カットスルー転送方式の結果である。同図から分かるように、理論解析と同様、MRC カットスルー転送方式は、BER 特性を大きく改善した。さらに、MRC カットスルー転送方式において、ホップ数が増加しても BER 特性が悪化していない。これに対して、従来カットスルー転送方式と SC カットスルー転送方式の場合、ホップ数増加が BER 特性の悪化を招く結果となった。SC カットスルー転送方式は従来カットスルー転送方式に比べて、BER 特性が良いが、その改善が大きい。その理由は、従来カットスルー転送方式の場合の転送端末が最初に受信した packets を転送するが、SC カットスルー転送方式の場合は SINR が最も高い packets を

転送する。しかし、実際に、最初に受信されるパケットは一般的に一番近い端末からのものであり、そのときの SINR 特性も他パケットのものより優れる確率が高いといえる。従って、SC カットスルー転送方式は従来カットスルー転送方式の BER 特性を大きく改善できない結果となった。

図 4-2-10 にラベル長とパケット長の割合を大きくした場合の各方式の BER 特性を示す。横軸はラベル長とパケット長の割合である。同図においても、図 4-2-9 の場合と同様、マークが白く塗られたものが従来カットスルー転送方式、マークが灰色で塗られたものが SC カットスルー転送方式、その他のものが MRC カットスルー転送方式の結果である。結果が示すように、従来カットスルー転送方式と SC カットスルー転送方式の場合、ラベル長の割合の影響が少ない結果となった。一方、ラベル長の割合の影響は、MRC カットスルー転送方式の場合に非常に大きく、ラベル長の割合の増加が BER 特性の悪化を招いた。また、ラベル長の割合が大きい場合、ホップの増加が BER 特性の悪化を招く結果となった。これは、本シミュレーションにおいて、ラベルの中で発生したビットエラー数が任意のエラー訂正能力(シミュレーションの場合 2) を超える場合、該当パケットが破棄され、ダイバシティ合成に含まれないという判断処理を導入しているからである。従って、ラベル長が長くなると、ラベルの中でのビットエラー数が増加し、破棄されるパケット数も増加することになる。破棄されるパケット数が増加するとダイバシティ利得が減少し、結果的に BER 特性が悪くなる。

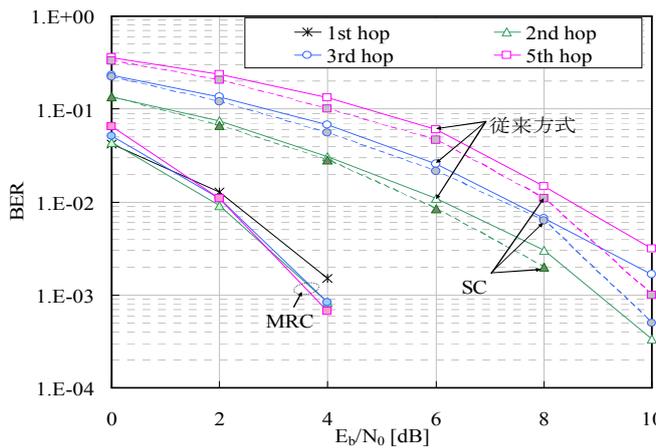


図 4-2-9 各カットスルー転送方式の BER 特性 (シミュレーション結果)

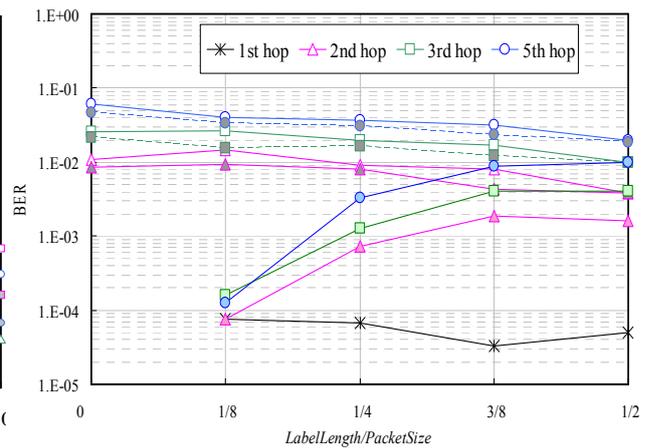


図 4-2-10 ラベル長の割合の影響

4-2-5 達成状況

今年度は、平成 19 年度継続提案書に従い、平成 18 年度に実施したチャネル制御方式の検討結果を活用し、チャネル制御装置の具体化設計を実施した。また、本設計を変復調装置試作モデルに実装し、MAI 監視の基本方式及び受信信号品質の検出・評価方式の機能及び特性を評価した。さらに、MM-SA 方式の性能評価としては、干渉特性の高精度化のため、交差点周辺に設定した車両密度で配置したときの干渉のシミュレーションを実施した。シミュレーションでは、IEEE802.11 と MM-SA を比較検討した。その結果、車両密度が高くなると従来の IEEE802.11 では、近接車両間においても通信品質が大幅に劣化するのに対し、MM-SA 方式では、近傍車両へのパケット到達率を高く維持できることが分かった。

カットスルー転送における信頼性の向上法を検討し、ダイバシティ合成による改善手法を開発した。

交差点付近での干渉特性および 4-1-6 節での交差点モデルを用いたシミュレーション結果から、MM-SA 方式は近傍では良好なパケット到達率特性を示すが、10 m 以上の領域での

特性改善が必要であることが分かった。そのため、MM-SA 方式の複数チャネル配分を道路によって変え干渉軽減を図る方式の検討などの MAI 監視とチャネル制御方式の高度化が課題である。

4-3 中継パケット高速転送技術の研究開発

4-3-1 研究開発概要

本サブテーマでは、パケット受信から次ホップ先に向けた送信開始までの処理時間短縮が課題である。この課題を克服するため、本研究開発ではラベルスイッチング手法を取り入れたルーティングの高速化技術、輻輳やループ化を防ぐフラディング手法を低レイヤで実現するためのカットスルー転送方式を開発する。

今年度は、昨年度に着手した高速転送処理装置の概念設計結果を送受信装置に実装した。また、既存無線 LAN 装置を用いて低レイヤでのパケット転送処理のシミュレーション及び PC への実装によって機能及び特性を評価した。

4-3-2 実施状況

試作した MM-SA 方式送受信装置を用いて中継転送特性を評価した。また、上位レイヤでの高速化検討として、IEEE802.11 方式におけるフラディングパケット転送高速化における遅延発生要因を解析・評価した。高信頼転送技術としては、複数チャネル利用や冗長性追加によりパケット到達率を改善し信頼性を確保する技術を開発した。

MM-SA 方式と上位レイヤを組み合わせたメッシュネットワークの特性を解析するため、MM-SA 方式による物理レイヤおよび MAC レイヤを用いた場合のパケット到達率特性や遅延特性のシミュレーション評価を実施した。

ルーティング技術に関しては、提案・開発した各種の高信頼化技術を無線メッシュルータに実証し特性評価を行い、実用性を確認した。

4-3-3 MM-SA 試作装置による中継転送特性の評価

(1) 評価方法

表 4-1-1 に示す MM-SA 方式無線仕様を基に試作した送受信機を用いて中継転送時間を評価した。

図 4-3-1 に中継転送時間を評価する評価系統図を示す。評価用試験装置は、BB ユニットで生成した I/Q 信号を信号発生装置により所望波を発生する装置である。中継転送時間は、評価用試験装置の所望波を受信後、ヘッダ部の受信から完了までの時間と転送処理時間とする（図 4-3-1 の●～■部までの時間）。

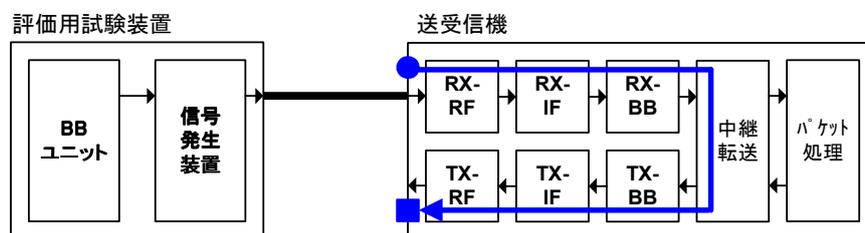


図 4-3-1 評価系統図

(2) 評価結果

中継転送時間を 5 回測定した結果、平均値は 0.52 msec となり、目標とする 1 ホップあたり 1 msec 以下を十分満足することができた。

各ブロックの遅延時間を評価した結果、TX-RF 部の局部発振器の周波数引き込み時間は

0.17 msec であり、RX-BB 部+中継転送部+TX-BB 部は 0.36 msec であった。ヘッダ部 95 bit と情報転送速度 273 kbps から想定するヘッダ部の遅延時間が 0.34 msec であることから、先程の RX-BB 部+中継転送部+TX-BB 部は 0.36 msec より、中継転送部の遅延時間は 0.02 msec ということが分かった。

4-3-4 IEEE802.11 における中継転送の高速化方式の検討

新規高レスポンス中継パケット高速転送技術開発のために、2007 年度も引き続き既存の IEEE802.11 デバイスとアドホックルーティングを使用したメッシュ型のネットワークを含む広域無線マルチホップネットワークシステムにおいて、リアルタイム性が要求されるようなアプリケーションをサポートするための課題を検討した。

(1) IP 層内処理によるフラディング高速化の検討

IEEE802.11 方式におけるフラディングを高速化する手法として、レイヤ 2 となるデバイスドライバ内部でパケット中継を行う方式について、昨年度に実装と評価を行った。今年度は、本方式のより詳細な評価と解析を行った。

従来手法 1 (アプリケーション内処理手法)、従来手法 2 (IP 層内処理手法) とソフトウェアに起因する通信遅延を削減する提案手法について、中継遅延のうちソフトウェアによる部分とその遅延原因の解析を行った。解析結果を図 4-3-2 に示す。図から、ソフトウェア処理において発生する通信遅延は、その大部分が遅延処理によるものであることが分かる。遅延処理とは、オペレーティングシステムのカーネルが割込み処理のオーバーヘッドを削減するために使われる処理である。提案手法では、デバイスドライバ内部で遅延処理を挟まずに即座に処理することで、通信遅延の約 50% を削減できた。

提案手法で、デバイスドライバの処理遅延の増加は中継にかかる処理をデバイスドライバ内部に移設したためである。以上のことから、パケットの中継においては、中継時にカーネル内部で行われる遅延処理の削減が非常に有効であることが分かった。

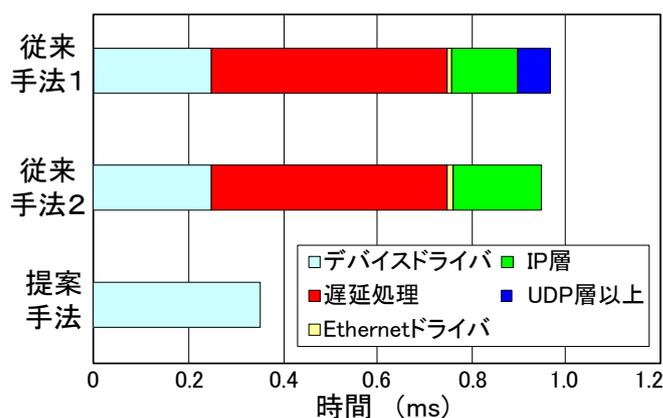


図 4-3-2 各種転送処理手法における中継遅延内訳

(2) マルチチャネル伝送による信頼性向上

伝送の冗長性を高めてパケット再送を減らし遅延時間の増加を抑える方式について検討を行った。冗長性は複製パケットを送信する方法とし、1つのチャネルを使用した場合と2つのチャネルを使用した場合について、パケット到達率を比較した。図 4-3-3 に2チャネルを用いる場合のフラディングの概念図を示す。

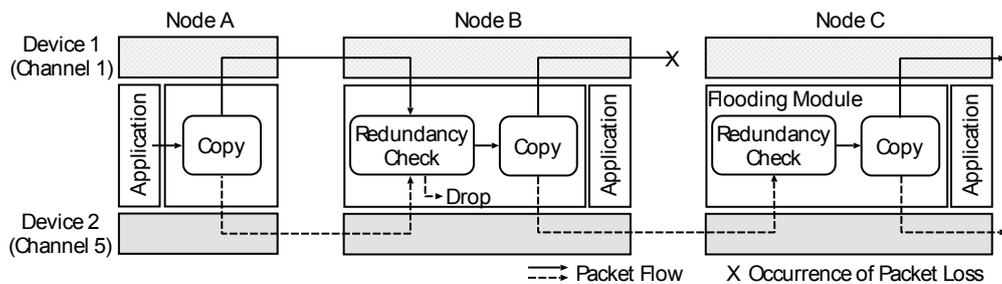


図 4-3-3 マルチチャネルフラディングの例

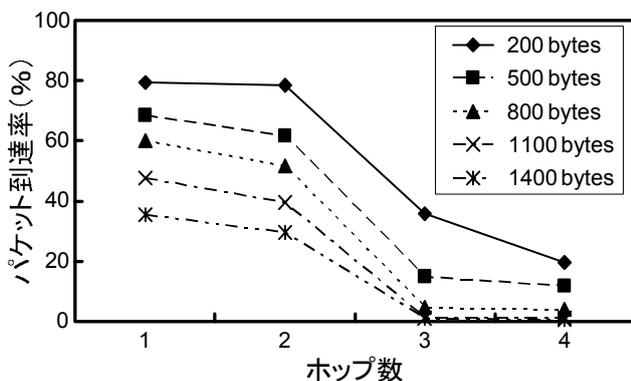


図 4-3-4 シングルチャネル方式の
パケット到達率

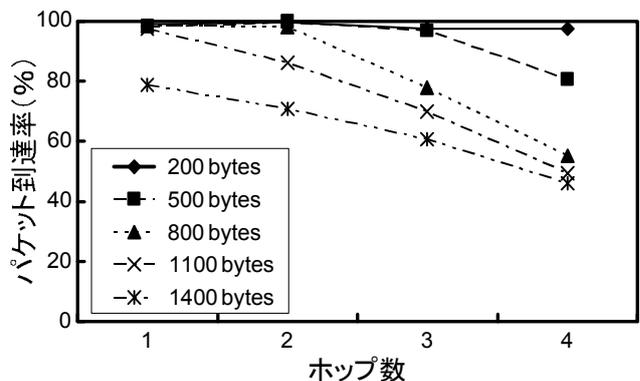


図 4-3-5 マルチチャネル方式の
パケット到達率

図 4-3-4 及び図 4-3-5 は、端末を 1 直線に 4 台配置し、一番端の送信端末からそれぞれのホップ数におけるパケット到達率をシングルチャネル方式とマルチチャネル方式について、パケットサイズを変えて実験した結果である。図 4-3-4 より、シングルチャネル方式を使用した場合、3 ホップ目以降ですべてのパケットサイズの場合においてパケット到達率の著しい劣化が見られる。一方、図 4-3-5 より、マルチチャネルによる並列的な冗長化を行った場合は、パケットサイズが 500 バイトの場合は 3 ホップ、200 バイトの場合は 4 ホップまで 100%に近いパケット到達率を維持することが可能であることがわかった。今後は、端末数が多くなった場合でも動作可能なようにシミュレーションなどを通して機能拡張を検討する予定である。

(3) 冗長フラディングによる信頼性向上

緊急車両の接近を通知するようなアプリケーションでは、フラディングによる音声配信は重要な技術である。そこで、パケット送信の際に冗長性を持たせつつ、ネットワークを流れるパケット数を増やさず、同一データを複数回送信する方法として、冗長フラディング方式を提案し、実証実験を行った。冗長フラディング方式は、アプリケーションが生成した過去のデータをミドルウェア内でバッファに格納し、新規データ生成時に 1 つのパケットに集約して送信する方法である。具体的には、各端末において、長さ R の送信バッファを用意し、 $(R-1)$ 個のすでに送信したデータと新しく生成されたデータを 1 つのパケットに集約して送信する。また、アプリケーションが予定時間に次のパケットを生成しない場合は、現存するバッファの中身を送信、バッファ内が空になったら送信終了する。図 4-3-6 に冗長度が 3 の冗長フラディング方式の概要を示す。ここで、 n は生成されたパケットのシーケンス番号を表している。5 番目のパケットに注目すると、7 番目のパケットが送信されるまでに 3 回送信される。

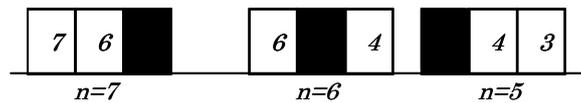


図 4-3-6 冗長フラディング方式の概要

本方式の有効性を示すために、屋内に 3 つの端末を設置して行う静的実験と、実際の車両を用いて一般道で行う動的实验において、重複パケットチェックのみを行うフラディング、冗長フラディング、AODV、OLSR で比較実験を行った(表 4-3-1)。

表 4-3-1 最大パケット損失率の比較(%)

	静的実験	動的实验
フラディング	1.66	17.62
冗長フラディング	0.71	5.2
AODV	0.44	19.58
OLSR	1.78	83.02

表 4-3-1 より、フラディング、冗長フラディング方式を使用する場合も、静止状態で他のアドホックルーティングプロトコルと同等の性能を示していることが分かる。しかし、動的实验においては、アドホックルーティング使用時に経路変更に追従できず、大きなパケット損失率を示すのに対し、冗長フラディング使用時には、数%のパケット損失率に抑えられていることがわかる。今後はスケーラビリティに関する工夫を導入し、大規模ネットワークにおいて提案方式の有効性を示していく予定である。

(4) パケット結合方式によるボトルネックの改善

アドホックネットワーク上に複数のリアルタイム通信が存在する場合に、ボトルネックとなる端末の存在を避けることが重要である。そこで、初年度に提案したパケットをまとめる方式を拡張し、各中継端末において次ホップ毎にキューを保持し、時間によるタイマーおよびパケットサイズによる閾値により、パケットをまとめて送る方式を検討した。本方式は、フラディングおよびルーティングの双方に適用可能である。図 4-3-7 に、4 台の端末間で両端で 3 ホップとなる経路を用い、G. 711(パケットサイズ 200byte、送信間隔 20ms) および G. 729(パケットサイズ 60byte、送信間隔 20ms) コーデックを想定した VoIP 接続(ルーティング)を行った場合の実験結果である。

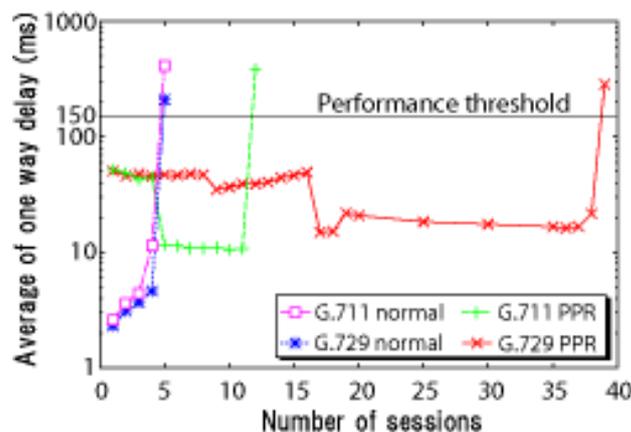


図 4-3-7 パケット結合方式の実験結果

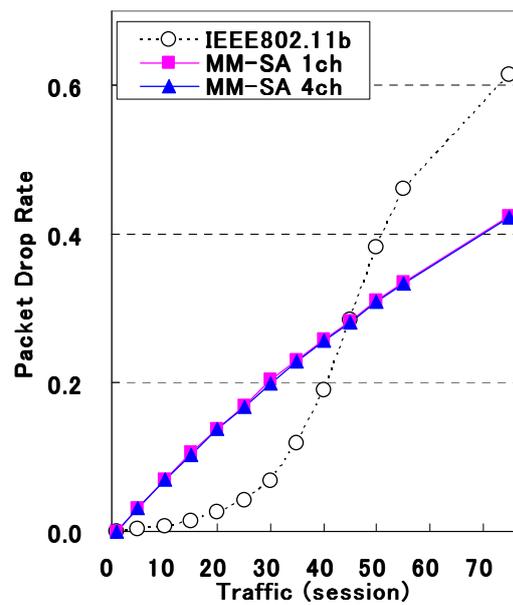
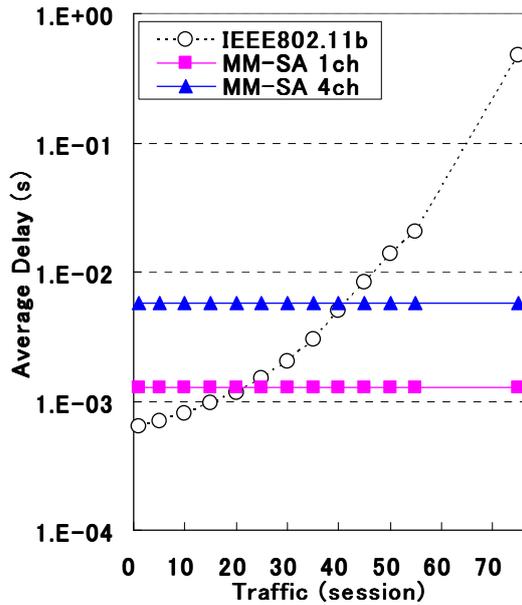
図 4-3-7 より、3 ホップの構成では、セッション数が少ない場合では、タイマーによる制御のため、提案方式の遅延時間が、パケットをまとめない従来方式に比べ大きくなっている。しかし、従来方式では 6 セッション以上になると、コーデックに関わらず、遅延が急激に増加している。それに対し、提案方式では、G. 711 で 12 セッション、G. 729 で 37 セッションまで許容可能になっている。ここで、許容セッション数内において、セッション数が多い方が、遅延時間が短くなっているのは、パケットサイズの閾値により待ち時間が発生しないためである。

4-3-5 MM-SA 方式のメッシュネットワークへの適用

MM-SA 方式のメッシュネットワークへの適用を検討した。まず、基本的な特性を調査するため、IEEE802. 11b との比較評価を行った。評価には QualNet を用い、MM-SA の MAC および PHY を IEEE802. 11b (11Mbps 固定) の収容帯域に合わせ(表 4-3-2)実施した。トラフィックには G. 729 の VoIP を想定した 60byte のパケットを 20ms 間隔で発生させた。送信チャネルをランダムに選択した場合の遅延時間およびパケット損失率を図 4-3-7、送信チャネルに干渉の少ないチャネルを選択した場合の遅延時間およびパケット損失率を図 4-3-8 に示す。図 4-3-8 より、遅延時間については、セッション数が少ない場合は、伝送レートの低い MM-SA は、IEEE802. 11b に比べ大きな遅延時間となっているが、セッション数が増加するにつれ、IEEE802. 11b では送信待ち時間も増加するため、遅延時間も増加している。しかし、MM-SA では、待ち時間が発生しないため、一定の値となっており、約 40 セッションで IEEE802. 11b に比べ優位となっている。パケット損失率についても同様に、セッション数が少ない場合は、IEEE802. 11b が優位となっているが、45 セッションあたりで MM-SA が優位となっている。また、図 4-3-9 より、送信チャネルに干渉の少ないチャネルを選択する場合、衝突が軽減され、50 セッションあたりまで、損失がほとんどないことが分かった。今後は、遠近問題を考慮した場合の検証および回避策を検討していく予定である。

表 4-3-2 MM-SA を用いたメッシュネットワークのシミュレーション諸元

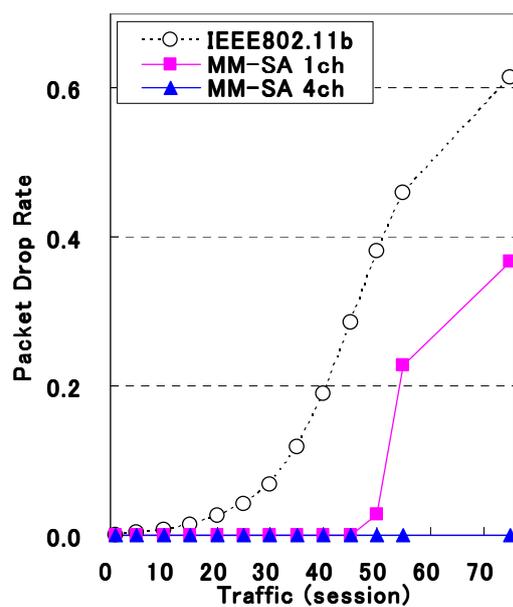
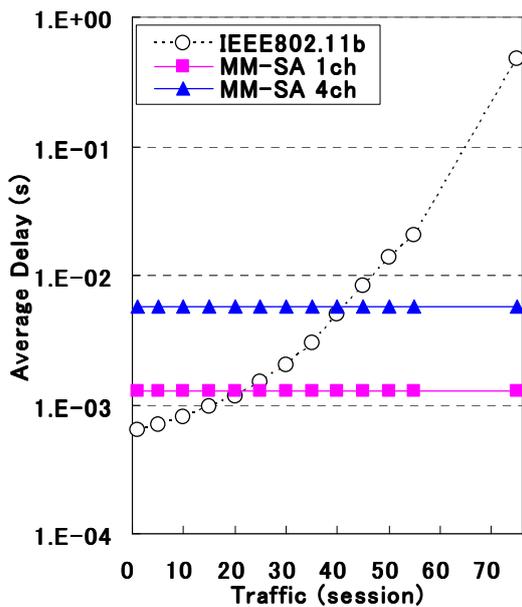
	IEEE802.11b	MM-SA
チャネル数 / 拡散符号数	1/1	1/15
伝送レート	11Mbps(固定)	733.333kpb s/ch
変調 / 拡散方式	DQPSK / CCK	DQPSK / CCK 相当



(a) 遅延時間

(b) パケット損失率

図 4-3-8 MM-SA の基本特性評価結果 (送信チャネルランダム選択)



(a) 遅延時間

(b) パケット損失率

図 4-3-9 MM-SA の基本特性評価結果 (送信チャネル干渉量考慮)

4-3-6 無線メッシュルータへの実装・評価

IEEE802.11 を使用する際、遅延時間に大きな影響を与えるのが、MAC における再送メカニズムであり、再送回数をいかに減少させるかが重要な課題となる。再送回数を増加させる大きな三つの要因として、不安定な中継端末を選択することによるパケットエラー率の増加、ルーティング制御パケット損失による経路変更、適切なレート制御が挙げられ、これらの解決策を昨年度に提案し、本年度は以下に示す5種の提案方式について、無線メッシュルータへ実装し評価実験等を行った。

- ① 一定以上の信号強度を持つ端末を中継端末として選択する方式 (SS 方式)

- ② 2段階の信号強度を設け信頼性の高い中継端末を維持する方式（2段階閾値方式）
- ③ 偏った配置の端末が孤立するのを防ぐため隣接端末数から信号強度閾値を変更する方式（孤立防止方式）
- ④ トラフィック増加に伴うルーティングの制御パケット損失に対して、データパケットを用いて救済する方式（ARM方式）
- ⑤ 各リンクで遅延時間がもっとも短くなるようなレート制御方式

これらの提案方式を実装した無線メッシュルータは、有線網が利用できない環境でのネットワーク仮設やリモート監視機能に有効であり、共同研究期間において実用化を視野に継続開発を行うこととなった。

4-3-7 達成状況

今年度は、平成19年度継続提案書に従い、平成18年度に実施したラベルスイッチング機能とフラディング機能の高速化技術の検討結果を活用し、1) ラベルスイッチ機能の方式設計、試作、評価、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の開発、3) 中継パケット識別結果に応じた制御アルゴリズムの開発、4) カットスルー転送方式の実現手法を検討し、ハードウェア基本設計を行い、サブテーマ1における送受信装置の試作機に機能を組み込んだ。

この試作機により、中継転送時間および中継転送部の遅延時間を明確にすることができた。今後は、複数台による1ホップあたりの遅延時間を検証する。

上位レイヤでのパケット転送高信頼化の検討においては、フラディングおよびルーティングそれぞれでの高信頼化提案およびシミュレーション評価、テストベッドによる評価を行い実用化可能な技術を開発することができた。また、MM-SA方式の場合の転送特性を評価するため、シミュレーションモデルを開発し、IEEE802.11との比較検討を行った。今後は試作ハードウェアと組み合わせた評価を行う計画である。

4-4 アーキテクチャとシステム化技術の研究開発

4-4-1 研究開発概要

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として、クロスレイヤアーキテクチャが重要な開発課題である。遅延の最小化を図るためには、様々な情報をレイヤにまたがって活用することが必要であり、そのためのアーキテクチャを開発する必要がある。

4-4-2 実施状況

今年度は、アプリケーションレイヤの負荷が無線チャネルの容量を超えることによる品質劣化や遅延の増大を防ぐため、負荷と伝送路のバランスを取るクロスレイヤ負荷制御方式を検討し評価した。

4-4-3 クロスレイヤ負荷制御方式

(1) クロスレイヤ負荷制御方式の検討

自律無線通信ネットワークシステムにおいて、図4-4-1に示すように物理レイヤ、ネットワークレイヤ、アプリケーションレイヤ間で相互に制御信号を授受し、その情報に基づいたクロスレイヤ技術による通信の高速化が期待できる。特に、アプリケーションレイヤで生成される負荷が無線チャネルのキャパシティを越える場合、端末内のリンクレイヤキューにおいてバッファ溢れが発生し、高レスポンス化の実現が困難となる。従って、高レスポンス化の実現のためには、負荷とチャネルキャパシティのバランスが取れている状態を常に確保する必要がある。そして、無線チャネルのキャパシティはフェージング、端末の数と移動などにより常時変動しているため、適応的なクロスレイヤ負荷制御が要求される。そこで、我々は、リンクレイヤにおけるキュー状態に基づいた適応的に負荷制御を行

うクロスレイヤ制御方式を検討した。

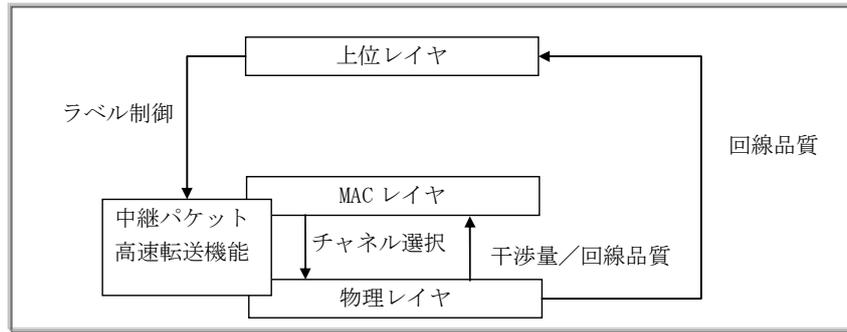


図 4-4-1 クロスレイヤアーキテクチャの概念

昨年度はシングルセル環境におけるレート制御とアドミッション制御方式を検討し、その効果をシミュレーションにより確認した。本年度はレート制御方式のマルチホップ通信への拡張を行い、シミュレーションによりその性能評価を行った。図 4-4-3 は、図 4-4-2 で示すマルチホップ通信におけるレート制御方式を実現するための端末 2 のシステム構造図である。同図におけるクロスレイヤモジュールはレイヤを跨いだ情報交換を実現するためのものである。クロスレイヤレート制御は負荷監視モジュール、下位層レート制御モジュール、上位層レート制御モジュール、さらに負荷監視を行うための入力キューと下位層レート制御を行うための出力キューによって行われる。入力キューは端末 2 へパケットを送信する端末毎に対応させる。具体的には端末 1、端末 2、端末 3 用にそれぞれに対して入力キューが設けられている。出力キューは端末 2 がパケット送信する相手端末である端末 1 と端末 3 用にそれぞれ設けられる。

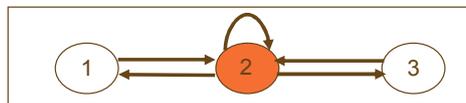


図 2. マルチホップ通信トポロジー：
 端末 2 は自端末で生成されるトラフィックを端末 1 と 3 へ送信すると共に、端末 1 からのトラフィックを端末 3 へ、端末 3 からのトラフィックを端末 1 へ転送する。

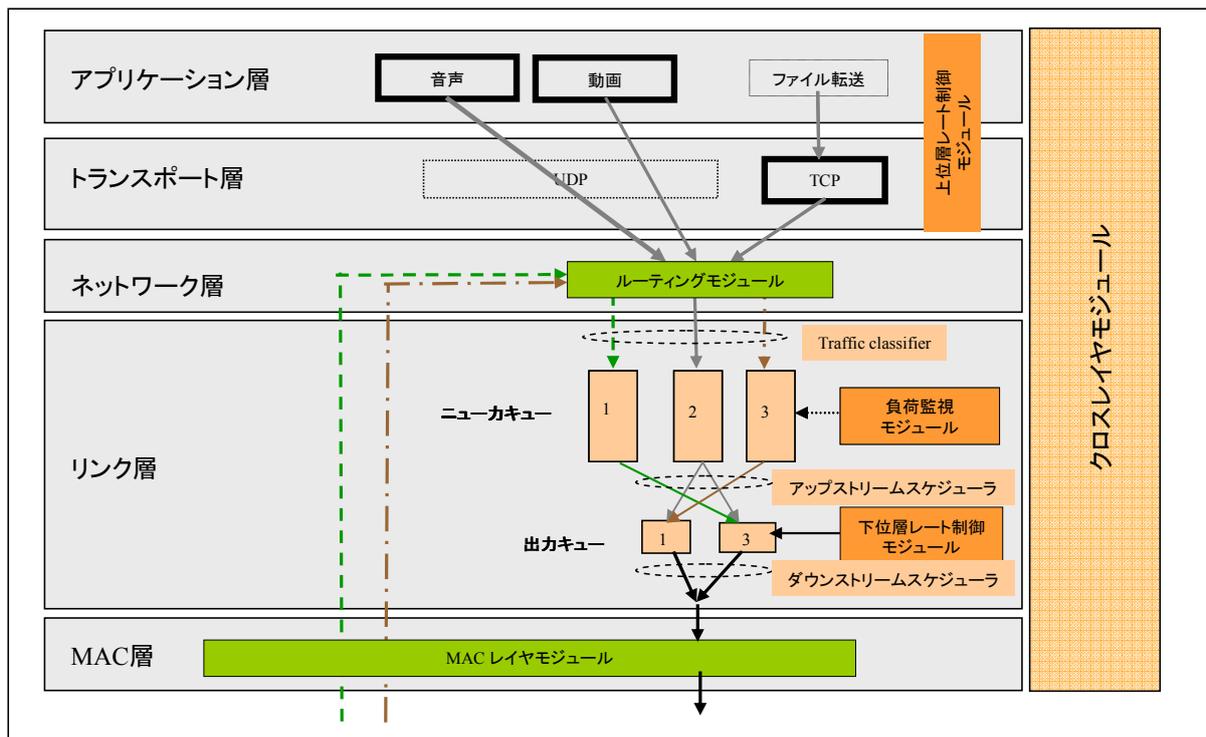


図 4-4-3 システム構造：図 4-4-2 における端末 2 のシステム構造を示す。

負荷監視モジュールは周期的に各入力キューにおける負荷状態を監視し、キュー長が最大許容キュー長を越える場合にトラフィックの目標レートを計算する。そして、該当入力キューが自端末用に設けたものであれば上位層レート制御モジュールに、そうでなければ、該当近隣端末へレート制御の指示を行う。端末内のレート制御の指示はクロスレイヤモジュールを介して行われる。一方、端末間のレート制御の指示は、レート制御用に生成される制御パケットまたはピギーバック方式により行われる。自端末内の負荷監視モジュールからレート制御の指示を受けた上位層レート制御モジュールは上位層で生成されるトラフィックの送信レートを制御する。一方、近隣端末からレート制御の指示を受けた場合、下位層レート制御モジュールは該当する出力キューからのレートを制御する。

図 4-4-4 に上記の 2 種類のシグナリング手法とレート制御の様子を示す。同図において端末 2 内の入力キュー 1 での負荷が許容範囲を超えた(1) ため、端末 1 へレート制御の指示を行う(2)。端末 1 における下位層レート制御モジュールは出力キュー 2 からのパケット送信レートを制御する(3)。その結果、端末 1 内の入力キュー 1 の中のキュー長が許容キュー長範囲を超え(4)、その状況を監視した端末 1 内の負荷監視モジュールは上位層レート制御モジュールへレート制御の指示を行う(5)。上位層レート制御モジュールは指示に従って、送信トラフィックの制御を行う(6)。これにより、ネットワーク全体の負荷状態がチャネルキャパシティを越えないことになり、高レスポンス通信が実現できる。

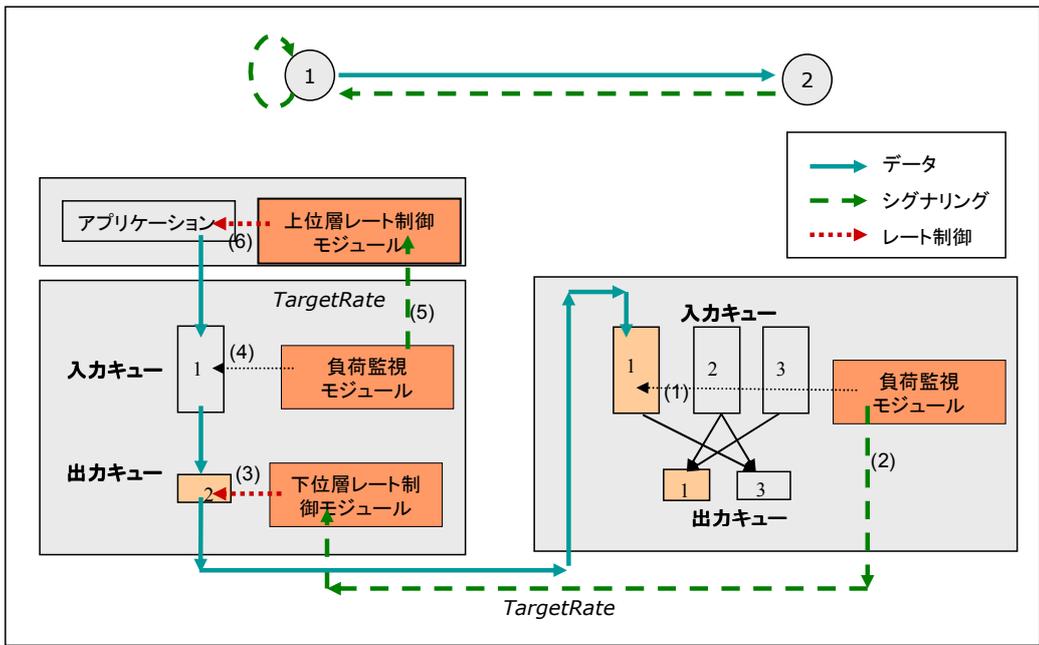


図 4-4-4 端末間、端末内のレート制御の指示およびレート制御

最大許容キュー長は、最大許容キュー遅延の提供（例えば 1 ミリ秒）により、以下の式で計算される。

$$TQL_{max} = Dequeue_Request_Rate \times TQD_{max} \quad (1)$$

ここで、 TQL_{max} は最大許容キュー長、 TQD_{max} は、最大許容キュー遅延、 $Dequeue_Request_Rate$ は MAC レイヤからのパケット出力要求レートである。

図 4-4-7 は負荷監視モジュールおよび上下位層レート制御モジュールにおける処理の流れを説明したものである。図 4-4-5 において、 $QL[n]$ は現監視時点におけるキュー長、 $QL[n-1]$ は前回の監視時点におけるキュー長を表す。

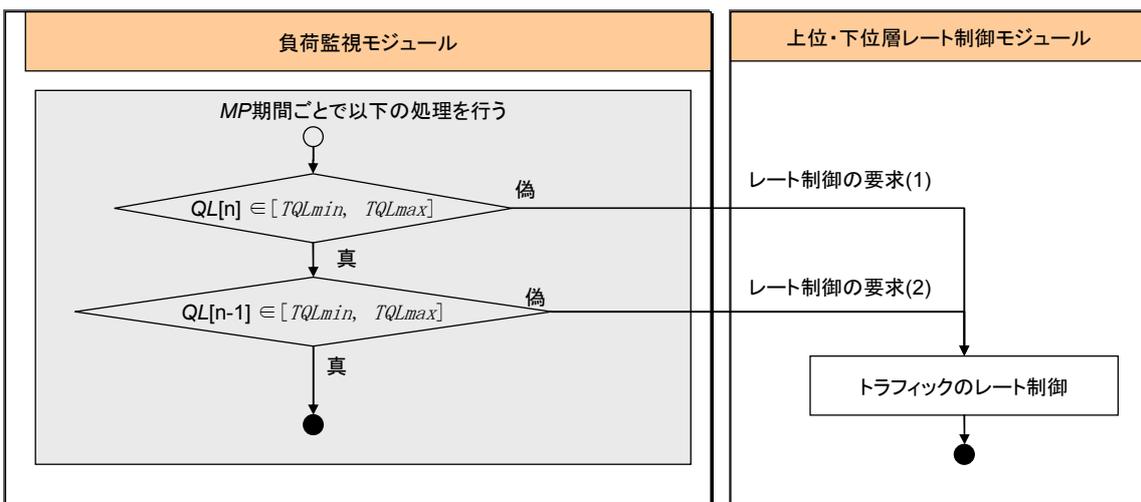


図 4-4-5 クロスレイヤ負荷制御方式

図 4-4-5 の「レート制御の要求(1)」において、以下の目標レートが上位層レート制御モジュールへ通知される。

$$T_{\text{arget_Rate}} = \text{Dequeue_Request_Rate} + \frac{TQL - QL[n]}{MP} \quad (2)$$

ここで、*Target Rate* は目標レート、*MP* は負荷監視周期、*TQL* は目標キュー長であり *TQLmax* と *TQLmin* の平均値である。

また、図 4-4-5 の「レート制御の要求(2)」において、以下の目標レートが上下位層レート制御モジュールへ通知される。

$$T_{\text{arget_Rate}} = \text{Dequeue_Request_Rate} \quad (3)$$

上位層レート制御モジュールはクロスレイヤモジュールからレート制御の指示を受けたら、各々のアプリケーションからのトラフィックの送信レートを設定する。例えば、音声トラフィックと動画トラフィックの送信を行っている端末において、各々のトラフィックのレートは以下のように設定される。

$$\begin{aligned} \text{Traffic_Rate (voice)} &= \alpha \times T_{\text{arget_Rate}} \\ \text{Traffic_Rate (video)} &= (1 - \alpha) \times T_{\text{arget_Rate}} \end{aligned} \quad (5)$$

ここで α はトラフィックの重み係数であり、 $[0,1]$ の範囲で値を取る。

下位層レート制御モジュールは近隣端末からレート制御の指示を受信したら、該当出力キューからの送信レートを制御する。具体的には、下位層レート制御モジュールは各々の出力キューのステータスの管理を行う。出力キューステータスはロックまたはアンロックの値をもち、キューのステータスがアンロックの間のみキューからパケットを取り出すことができる。全ての出力キューのステータスは初期状態では、アンロックであり、近隣端末からのレート制御の指示が来ない限り、ステータスはアンロックのままである。一方、近隣端末からレート制御の指示を受信されたら、キューのステータスはロック、アンロックの値を交互に切り替えることになる。そして、ロックのステータスの時間は $1 / \text{Target_Rate}$ である。

上記により、クロスレイヤ負荷制御方式において、上下位層におけるレート制御モジュールはキュー状態に適応した送信レートでトラフィックを制御する。これにより、負荷とチャネルキャパシティがバランスが取れ、無線通信の高レスポンス化が図れる。

(2) クロスレイヤ負荷制御方式の性能評価

クロスレイヤ負荷制御方式の性能評価をネットワークシミュレータにより行った。シミュレーショントポロジーを図 4-4-6 に示す。シミュレーションにおいて7本のトラフィックを設定しており、表 4-4-1 はシミュレーション条件を示す。

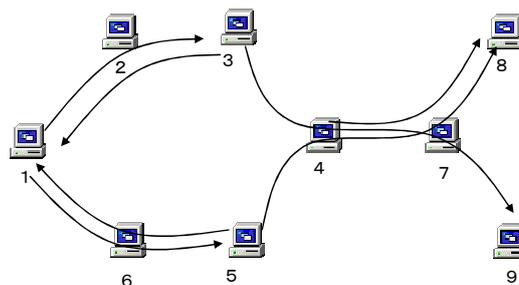


図 4-4-6 ネットワークトポロジー

高レスポンス無線通信は CDMA システムを想定しているが、今回はクロスレイヤ負荷制御方式の性能評価を IEEE 802.11b (CSMA/CA)上で行った。これは、負荷制御方式には、MAC レイヤ、物理レイヤが直接に関連しないことと、さらに CDMA チャネルアクセス制御方式は現在検討中であるためである。

表 4-4-1 シミュレーション条件

シミュレーション時間	100 [sec]
MAC プロトコル, 帯域	IEEE 802.11b, 11Mbps
トラフィックタイプ	CBR
パケットサイズ	320 [bytes]
トラフィックの最小, 最大レート	16, 512 [kbps]
TQDmin, TQDmax	10, 100 [ms]
MP	500 [ms]

評価実験において、以下の方式の比較を行った。

- 従来方式 (負荷制御を行わない方式)
- 負荷制御方式 (マルチホップレート制御方式)

図 4-4-7 に各フローのエンド・エンド遅延を示す。同図から分かるように、従来方式においてエンド・エンド遅延は著しく高く、平均 2.5 秒のエンド・エンド遅延を示した。これに対して、負荷制御方式はエンド・エンド遅延が非常に短く、平均 0.3 秒となった。

また、図 4-4-8 において、各フローに関するパケット到達率の結果を示す。従来方式における各フローのパケット到達率は 5 パーセント未満であるに対して、負荷制御方式におけるフローのパケット到達率は非常に高く、平均 95%以上であり、性能を大きく改善できた。

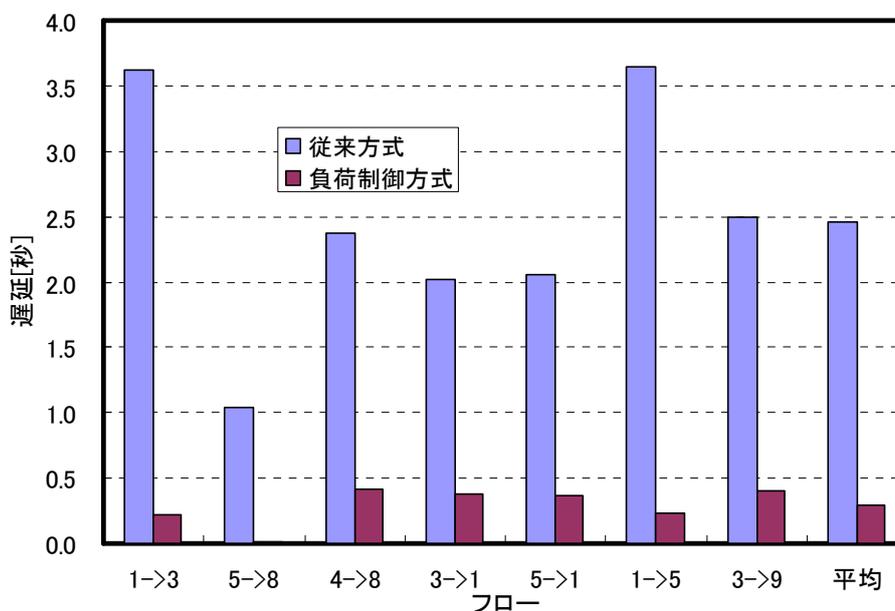


図 4-4-7 エンド・エンド遅延の評価

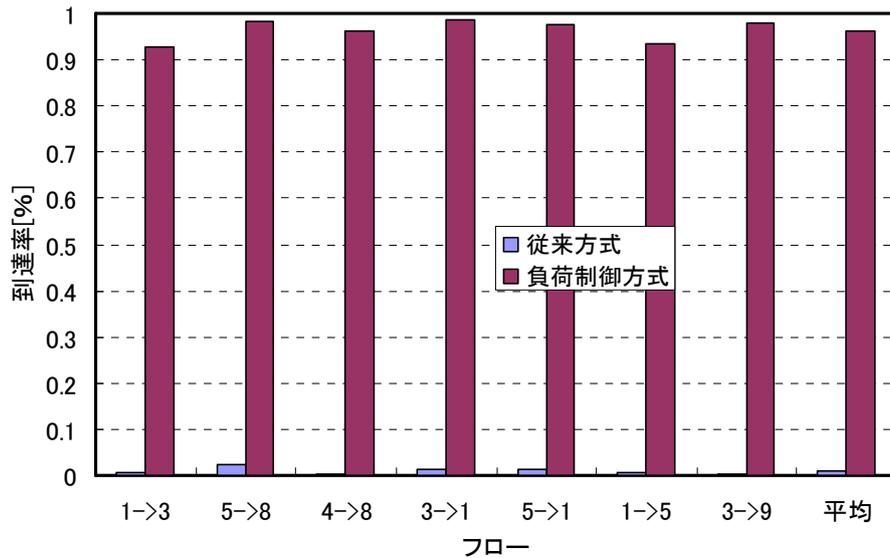


図 4-4-8 到達率の評価

表 4-4-2 において、各々の方式におけるアプリケーション層の平均送受信パケット数を示す。

従来方式におけるアプリケーション層はレート制御を行っていない。従って、送信アプリケーションが 10000 パケットを送信しても、相手受信端末でのアプリケーションは平均 99.85 パケットしか受信していない。一方、負荷制御方式において、負荷とチャネルがバランシング取れているため、アプリケーションは平均 1635.14 パケットを送信し、その内平均 1598.14 パケットを相手受信端末が受信できること示している。以上により、本クロスレイヤ負荷制御方式は遅延、到達率、スループットの各指標において従来方式より明らかに優れていることが分かる。

表 4-4-2 アプリケーションレイヤにおける平均送受信パケット数

	従来方式	負荷制御方式
送信パケット数	10000	1635.14
受信パケット数	99.85	1598.14

4-4-4 無線 LAN を用いたアーキテクチャとシステム化技術の検証

(1) メッシュネットワークにおけるレート制御方式の評価

まず、昨年度に中継パケット高速転送技術に関する研究において、データ通信パケットよりルーティング制御パケットのロスが発生しやすい点に着目し、データ通信が正常に行われている経路に関して、ルーティング制御パケットが損失してもすぐに経路切替を行わず経路を維持する ARM 方式を提案した。本年度は、この ARM 方式の有効性を検証するために、端末 32 台をランダムに配置した構成で、VoIP セッションを用いたシミュレーションを実施した。図 4-4-9 にシミュレーション結果を示す。図から ARM 方式が約 10%パケット損失率を改善できることが分かった。

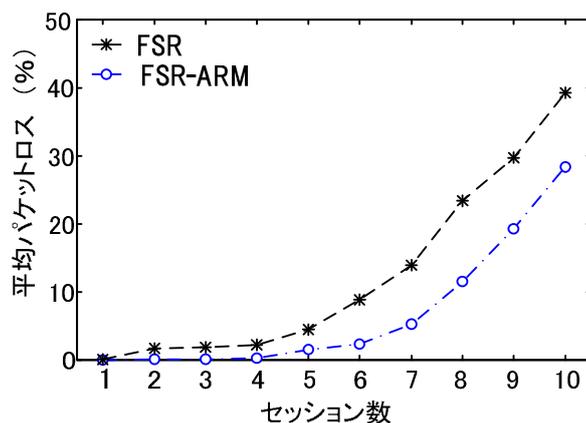


図 4-4-9 ARM 方式のランダム配置のシミュレーション結果

また、各リンクで遅延時間がもっとも短くなるようなレート制御方式の有効性を示すために、実証実験を行った。その結果、本方式を用いたほうが、従来方式と比べて 2 倍近いスループットを得られることが分かった（表 4-4-3）。

表 4-4-3 チャンネル割り当て実証実験結果

	Max Throughput (3 hops)	
	1500byte Packet	200byte Packet
従来方式	3.6Mbps	1.2Mbps
提案方式	9.3Mbps	2.4Mbps

(2) マルチチャネルフラディングによる信頼性の改善

フラディングを用いた急ブレーキなどの緊急情報伝送を行うことを想定すると、低遅延で高い信頼性を確保することが重要な課題となる。そこで、確実に情報を伝えるために複数の複製パケットを送信することにより情報の冗長性を高める方法を提案・評価した。伝送路として 1 つのチャネルを使用する場合と複数のチャネルを使用する場合についてシミュレーションにより評価した。

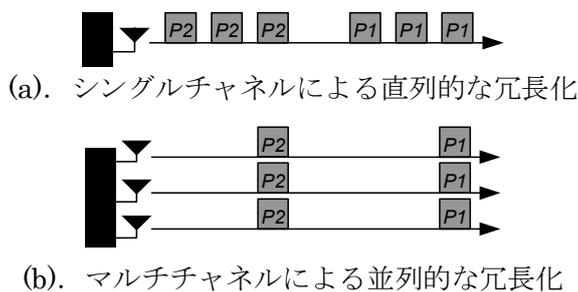


図 4-4-10 複製パケットの送信

図 4-4-10 は、1 チャネルのみを用いた直列的な冗長化した場合(a)と、複数のチャネルを用いた並列的な冗長化した場合(b)を示している。シミュレーションの結果、1 つの情報に対して 1 つのパケットしか送信しない場合に、4 ホップする環境で 60%程度あったパケット損失率が、2 個以上の冗長パケットを送信することにより、20%以下まで改善できることが分かった。また、マルチチャネルによる並列的な冗長化を行った場合は、シングルチャネルによる直列的な冗長化に比べて、4 ホップの場合の平均遅延時間を 40 ミリ秒程度

短縮できることも分かった。このことから、車車間通信のような高信頼性と高レスポンス性が同時に満たされるべき環境では、マルチチャネルによる並列的な冗長化が有効であることが分かった。そこで、マルチチャネルによる並列的な冗長化を実装し、実験を行い、同様の効果があることを確認した。この結果を踏まえ、本方式については、新規 MM-SA デバイスに組み込むための設計を行った。また、端末数が多くなった場合でも動作可能なようにシミュレーションなどを通して機能拡張を検討する予定である。

(3) 端末グループ化による隠れ端末回避法の検討

チャネル制御技術において昨年度に検証した隠れ端末を回避する手法を用いて、自動的にチャネルを割り当てるグループを決定できるかどうかを実証実験により検証した。図 4-4-11 に実証実験配置図を示す。端末 6~8 が隠れ端末群グループ A とグループ B の中継端末になるように配置した。

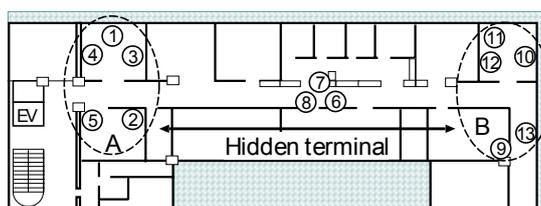


図 4-4-11 実証実験配置図

表 4-4-4 グループ分け実証実験結果

		端末番号												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
試 行 回 数	1	1	1	1	1	1	1	◎	1	2	2	2	2	2
	2	1	1	1	1	1	◎	1	1	2	2	2	2	2
	3	1	1	1	1	1	◎	1	1	2	2	2	2	2
	4	1	1	1	1	1	◎	1	1	2	2	2	2	2
	5	1	1	1	1	1	◎	1	1	2	2	2	2	2
	6	1	1	1	1	1	◎	1	1	2	2	2	2	2
	7	1	1	1	1	1	◎	1	1	2	2	2	2	2
	8	1	1	1	1	1	◎	1	1	2	2	2	2	2
	9	1	1	1	1	1	1	◎	1	2	2	2	2	2
	10	1	1	1	1	1	1	◎	1	2	2	2	2	2

表4-4-4では、“1”、“2”がグループ名、◎はグループを決定した端末を示している。これらの結果より、すべての場合において、隠れ端末群の中継端末となっている隠れ端末が、隠れ端末状態を検知し、正しくグループわけを行うことが可能であることが分かった。

(4) 混雑検知による経路切替制御の検討

次に、2006年度に提案したチャネルの混み具合を推定する方式の拡張として、HELLO パケット（もしくはそれに類似する一定周期で発信されるパケット）の受信時間間隔の揺らぎを観測することにより、チャネルの混雑具合を推定する方法を提案した。図 4-4-12 および図 4-4-13 は、低トラフィック時と高トラフィック時に、一定時間パケット受信時間間隔を測定し、その標準偏差を計算したものであり、HELLO パケットのように定期的に出されるブロードキャストパケットの到着時間間隔の揺らぎを観測することによって、チャネ

ルの混み具合を推定できることが分かった。

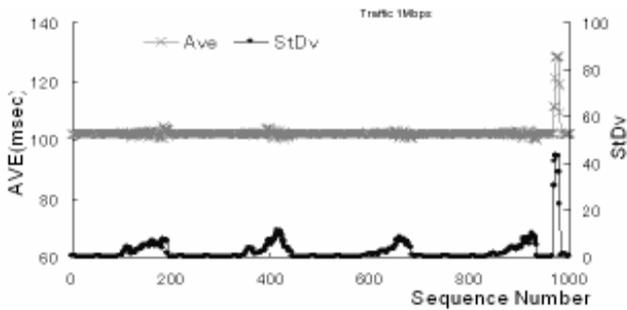


図 4-4-12 低トラフィック時の受信時間間隔の平均及び標準偏差

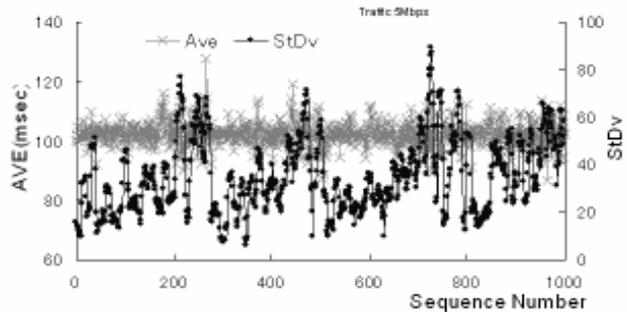


図 4-4-13 高トラフィック時の受信時間間隔の平均及び標準偏差

(5) VoIP アプリケーション連携方式の検討

アドホックネットワークで混雑を検知した中継端末が VoIP アプリケーションの動作する端末にそのことを通知し、通知を受信した VoIP アプリケーションが無音パケットを破棄し送信しないことにより混雑を軽減する方式を VoIP 端末開発企業と連携して提案した。一般的には無音破棄機能を利用することにより、話頭欠けや背景音がなくなることによる音質劣化が発生する。また、混雑を検知した中継端末が全ての VoIP アプリケーションが動作する端末に通知を行う場合、全ての VoIP アプリケーションが一斉に無音破棄機能を利用するため、急激なトラフィック量の減少による影響が発生する。そのため、この方式では混雑を検知した中継端末がトラフィック量から混雑通知を送る端末数を決めることにより、無音破棄による音質劣化を可能な限り避け、帯域の有効利用を実現した。図 4-4-14 に混雑通知と VoIP の無音破棄機能と連携した方式の実証実験結果を示す。VoIP の携帯電話並みの音質とされる 150ms 以下の遅延時間を許容可能と想定すると、3~4 ホップのアドホックネットワークにおいて、無音破棄を行わない従来方式では、5 セッションが限界であるのに対し、提案方式では、12セッションまで許容可能なセッション数を増加することができた。今後は、混雑検知の精度向上や通知方法の検証を行う予定である。

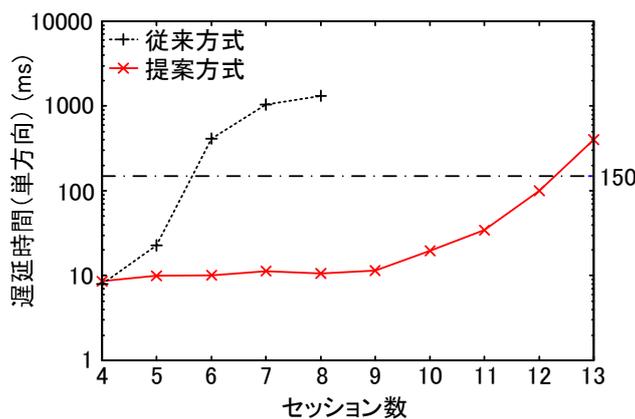


図 4-4-14 VoIP アプリケーション連携方式の実証実験結果

4-4-5 達成状況

今年度は、平成 19 年度継続提案書に従い、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くレイヤ間でこれらの情報を授受するアーキテクチャにつ

いて、機能・性能を満足する見通しを得るため、クロスレイヤアーキテクチャを無線ネットワークに適用しネットワークの信頼性を向上させる取り組みとしてクロスレイヤ負荷制御方式を開発した。この方式では、アプリケーション層を含めて各レイヤのキューを監視しオーバーフローを防ぐよう制御するため、結果としてネットワークの輻輳を抑えパケット到達率を高く維持することができた。以上、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了した。

無線 LAN を下位レイヤに用いた場合のシミュレーションおよび実装実験においては、回線状態に合わせた経路制御やフロー制御の有効性を確認した。これらの技術を適用した無線メッシュルータは、共同研究企業や連携企業において実用化に向けた開発を行うこととなった。

今後は、MM-SA 方式送受信装置へのクロスレイヤアーキテクチャの実装をすすめ、総合的な無線ネットワーク環境での特性評価を行う必要がある。

4-5 総括

平成 19 年度は、継続提案書の計画に対し、ほぼ 100% の進捗で、基本設計、試作・特性評価、シミュレーション評価等を実施することができた。

具体的には、チャンネル構成技術の研究開発では、平成 19 年度は、5.8 GHz 帯での実証実験の実施を考慮して、占有帯域幅の削減のため、パケット情報量等を必要最小限とし、周波数帯、伝送速度、及び拡散率の最適化や誤り訂正技術導入による改善を考慮したパラメータ検討を行った。シミュレーションにより誤り訂正導入の効果を検証し、情報伝送速度 273 kbps、拡散率 15 での設計の見通しが得られた。

ハードウェアの部分試作については、平成 19 年度は、シミュレーション及び部分試作で得られたパラメータを用いて、MM-SA 方式送受信機の試作を行った。本試作には干渉評価のための干渉信号、雑音の付加機能やサブテーマ 3 で検討を進めているカットスルー転送制御機能も合わせて組み込まれ、特性評価の結果、所期の特性が得られた。また、転送遅延は 1 ms 以下となることが実測された。

チャンネル制御技術の研究開発では、平成 19 年度は、遠近問題を解消するチャンネル制御方式を検討するため、アドミッション制御に基づくチャンネル制御方式の検討を行った。さらに、交差点モデルを用いた干渉特性のシミュレーションを行い、MM-SA 方式では、近傍車両へのパケット到達率を高く維持できることを明らかにした。また、カットスルー転送における信頼性の向上法を検討し、ダイバシティ合成による改善手法を開発した。

中継パケット高速転送技術の研究開発においては、MM-SA 方式試作ハードウェアを用いた測定により、転送遅延が平均 0.52 ms と目標値である 1 ms 以下を満たすことを示した。また、上位レイヤでの制御技術の検討においては、IEEE802.11 方式を利用し、転送遅延を減らす技術の検討を進め、中継端末の選択方式や、レート制御方式、及びボトルネック軽減方式等を検討し、遅延時間短縮効果を確認した。また、ラベルスイッチやカットスルー技術の基本検討として、レイヤ 2 での転送処理の検討を行い有効性を検証した。さらに冗長性を高め遅延時間の増加を抑える方式としてマルチチャンネル転送の有効性を確認した。

アーキテクチャとシステム化技術の研究開発では、チャンネル構成技術、チャンネル制御技術、中継パケット高速転送技術の各機能の動作において必要な制御情報、状態通知情報を抽出し、レイヤ間でのこれらを授受を可能にするためにクロスレイヤアーキテクチャを開発し、レート制御、アドミッション制御のシミュレーション評価を実施した。その結果、遅延が低く抑えられ有効性が確認された。また、状態監視技術や信頼性向上のためのマルチチャンネルによる冗長度の向上により低遅延で高信頼の伝送技術を確立することができ、無線メッシュルータ機器への応用の結果、それらの実用化の目処を得た。

今後、開発した MM-SA 方式送受信機および干渉波信号装置を用い、詳細な特性検討を行うとともに上位レイヤと組み合わせた無線ネットワーク特性の評価を行う。

5 参考資料・参考文献

5-1 研究発表・講演等一覧

発表種別	雑誌名・会議名	発表者	タイトル	発表日	Vol.No.
3 収録論文	IEEE Global Communications Conference(GLOBECOM 2007)	湯 素華, 鈴木 龍太郎, 小花 貞夫	An Opportunistic Progressive Routing (OPR) Protocol Maximizing Channel Efficiency	2007.11.26～ 2007.11.30	ページなし
7 一般口頭発表	電子情報通信学会、モバイルマルチメディア通信研究会	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	2007.5.17～ 2007.5.18	MoMuC2007-7 , pp.33-36
7 一般口頭発表	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)	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	2007.5.17～ 2007.5.18	MoMuC2007-12 , pp.57-60
7 一般口頭発表	情報処理学会 第131回 DPS 研究会	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	2007.6.6～ 2007.6.7	2007-DPS-131 , pp.51-56
3 収録論文	The 32nd Annual IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN)	Satoko Itaya, Jun Hasegawa, Yoshihisa Kondo, Peter Davis, Ryutaro Suzuki, Sadao Obana	Demonstration of robust transmissions using redundant broadcast for multihop inter-vehicular communications	2007.10.15～ 2007.10.18	pp.620-624
1 研究論文	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」特集号	瀧本 英二, 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	2008.2	Vol.49, No.2, pp.672-683
3 収録論文	IEEE International Conference on Networks (ICON2007)	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	2007.11.20～ 2007.11.21	pp.301-305
7 一般口頭発表	電子情報通信学会、無線通信システム研究会	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	2007.6.28～ 2007.6.29	RCS2007-13, pp.13-18
7 一般口頭発表	電子情報通信学会、情報ネットワーク研究会	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ディングの実装と評価	2007.7.19～ 2007.7.20	IN2007-42, pp.91 - 94
7 一般口頭発表	電子情報通信学会、モバイルマルチメディア通信研究会	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ディングのシミュレーションによる評価	2007.7.19～ 2007.7.20	MoMuC2007-42 , pp.103 - 108
7 一般口頭発表	2007 年電子情報通信学会ソサイエティ大会	Oyunchimeg Shagdar, Mehdad. N. Shirazi, Suhua Tang, Ryutaro Suzuki, Sadao Obana	Cross Layer Delay Control for Wireless Networks	2007.9.10～ 2007.9.14	B-7-38 , p.98

7 一般口頭発表	2007 年電子情報通信学会ソサイエティ大会	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	2007.9.10～ 2007.9.14	B-21-5 , p.407
7 一般口頭発表	2007 年電子情報通信学会ソサイエティ大会	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	2007.9.10～ 2007.9.14	B-21-26 , p.428
3 収録論文	IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM 2007)	Satoko Itaya, Jun Hasegawa, Peter Davis, Ryutaro Suzuki, Sadao Obana	Packet aggregation at access points for concurrent real-time interactions over wireless relay networks	2007.11.26～ 2007.11.30	ページなし
7 一般口頭発表	電子情報通信学会、AN 研究会	長谷川 淳, 板谷 聡子, デイビス ピーター, 榎原 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	2007.8.23～ 2007.8.24	AN2007-54 , pp.19-24
7 一般口頭発表	電子情報通信学会、無線通信システム(RCS)研究会	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	2007.8.23～ 2007.8.24	RCS2007-54 , pp.7-12
3 収録論文	The IEEE 22nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA2008)	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	2008.3.25～ 2008.3.28	
7 一般口頭発表	電子情報通信学会、ネットワークシステム研究会	Oyunchimeg Shagdar, Mahdad N. Shirazi, Tang Suhua, Ryutaro Suzuki, Sadao Obana	Improving Reliability for Cut-Through Packet Forwarding in CDMA Vehicular Networks	2007.10.18～ 2007.10.19	NS2007-86, pp.33-38
7 一般口頭発表	電子情報通信学会、アドホックネットワーク研究会 (AN)	Suhua Tang, Mehdad N. Shirazi, Oyunchimeg Shagdar, Ryutaro Suzuki, Sadao Obana	An Efficient Geocast Scheme for Distributing Congestion Information in Inter-Vehicle Communications	2007.10.30～ 2007.10.31	AN2007-48, pp.79-84
7 一般口頭発表	電子情報通信学会、アドホックネットワーク研究会	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	2007.10.30～ 2007.10.31	2007-46, pp.69-74
8 報道発表	報道発表	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	

3 収録論文	ICUIMS 2008 (International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication)	Oyunchimeg Shagdar, Suhua Tang, Mehdad N. Shirazi, Ryutaro Suzuki, Sadao Obana	Reliable Cut-Through Forwarding in CDMA Inter-Vehicle Networks	2008.1.31～ 2008.2.1	ページなし
3 収録論文	Fourth IEEE International Workshop on Heterogeneous Wireless Networks	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	2008.3.25～ 2008.3.28	
7 一般口頭発表	2008 年電子情報通信学会総合大会	Suhua Tang, Mehdad N. Shirazi, Oyunchimeg Shagdar, Ryutaro Suzuki, Sadao Obana	Mobility Prediction-based Position Distribution in Vehicular Transportation System	2008.3.18～ 2008.3.21	
7 一般口頭発表	電子情報通信学会 CQ/MoMuC/USN 研究会	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 向けトラフィック制御方式の提案	2008.1.24～ 2008.1.25	CQ2007-84, pp.19-24
7 一般口頭発表	2008 年電子情報通信学会総合大会	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	2008.3.18～ 2008.3.21	
7 一般口頭発表	2008 年電子情報通信学会総合大会	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 -	2008.3.18～ 2008.3.21	
7 一般口頭発表	2008 年電子情報通信学会総合大会	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	2008.3.18～ 2008.3.21	
7 一般口頭発表	2008 年電子情報通信学会総合大会	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 -	2008.3.18～ 2008.3.21	
7 一般口頭発表	電子情報通信学会、情報ネットワーク研究会	Oyunchimeg Shagdar, Suhua Tang, Mehdad N. Shirazi, Ryutaro Suzuki, Sadao Obana	Cross Layer Adaptive Rate Control Scheme over Wireless LAN	2008.3.6～ 2008.3.7	IN2007-179, pp.121-126
7 一般口頭発表	電子情報通信学会 2008 アドホックネットワーク研究会	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	2008.3.6～ 2008.3.7	AN2007-67, pp.19-24