

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18560363
 研究課題名（和文） ITSのための可視光／電波融合型通信プロトコル
 研究課題名（英文） Heterogeneous Networks using Optical and Radio Communications for ITS
 研究代表者
 羽瀨 裕真（HABUCHI HIROMASA）
 茨城大学・工学部・准教授
 研究者番号：90241744

研究成果の概要：

本研究では、路側に設置した配信基地局から“ブロードキャスト型光無線多値変調法”により情報配信し、取得失敗した配信情報を“車々間通信を用いたスペクトル拡散変調型ランダムアクセス法”により補間する光／電波融合通信システムを構築している。特に、ユーザ間で損失パケットを補間する誤り制御法、データの価値にしたがって配信可能距離を設定する階層型情報配信法とオンオフ信号に対応できる光無線変調法を検討している。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,200,000	0	1,200,000
2007年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	660,000	4,060,000

研究分野： 工学

科研費の分科・細目： 電気電子工学 ・ 通信・ネットワーク工学

キーワード： 自律分散ネットワーク，損失パケット補間法，光強度変調／直接検波，
 光ワイヤレス通信，階層型変調法，スペクトル拡散変調法，多値変調法，
 高度交通システム，路車間通信，車々間通信

1. 研究開始当初の背景

IT 新改革戦略の中に掲げられている IT 基盤の整備において、その一役を担うものに、情報通信ネットワークと交通ネットワークを統合する高度交通システム (ITS) がある。この ITS に関する支援技術には、車々間通信と路車間通信がある。車々間通信とは、路上のユーザ間通信であり、隣接ユーザ間通信ばかりでなく、近隣ユーザや路側に設置された

機器を中継局とする遠隔ユーザ間通信形態も考えられる。路車間通信とは、路側に設置された基地局とユーザ間の通信であり、基地局とユーザ間の双方向通信形態と基地局からユーザへの単方向通信 (放送) 形態がある。車々間通信や路車間通信は、事故防止や渋滞緩和、運転支援や同乗者支援などに活用される。ロングチュージナル制御やラテラル制御など走行支援・自車制御については車々間通信の活用が期待される。カーナビゲーション

システムにおける情報更新、駐車場情報や渋滞情報の取得、ETC などでは路車間通信の発展が重要となる。今後、基地局周辺の店舗・イベント・駐車場などのカーナビゲーションシステムの補助的な情報、渋滞情報、事故や緊急車両の通過などの交通情報、観光地などにおける場所属性のある情報、などのローカル情報を配信する放送型路車間通信がキーポイントになると考えられる。放送型路車間通信では、基地局を中心とするネットワーク内に存在するユーザのみが情報を享受することができる。特に近年では、LED 信号機に通信機能を持たせ光ワイヤレス通信によってユーザに道路情報を送信するような研究も盛んに進められている。この放送型路車間通信システムにおいては、

- 配信基地局がカバーする領域に存在する全ユーザに送信可能であること
- 送信のみを行うことで基地局システムの簡易化が可能であること

などの利点がある。一方、

- 配信基地局から遠いユーザほど受け取れる信号のエネルギーが小さくなることやシャドウイングなどが生じやすくなるため、ネットワーク内で同一情報を共有しようとするのに困難が生じること
- ユーザ間の相対的位置状況変化に要する時間は、配信パケット時間に比べて大きい。そのため配信基地局の通信エリア内でのシャドウイング状況は改善せず、連続的に情報取得失敗するユーザが存在すること
- 情報取得失敗時の誤り制御法が確立されていないこと
- ITS では配信情報が広域情報ばかりでなく配信基地局を中心としたローカル情報を含むため、ユーザが配信基地局から離れている場合には意味の無い情報になること

などの考慮すべき点がある。上記4点の問題は、放送型路車間通信にリバースリンクが存在せず、誤り制御が不十分であるために生じるものと考えられる。そこで、放送型路車間通信の誤り制御として、配信基地局を利用するものではなく、ユーザ同士の車々間通信を活用する誤り制御が考えられる。本研究では、路側に設置した基地局からブロードキャスト通信にてローカル情報を配信し、受信失敗したパケットを車々間通信で補う路車間一車々間通信統合システムを検討する。

2. 研究の目的

本研究は情報通信ネットワークと交通ネットワークを統合する ITS における路車間・

車々間統合通信システムに着目する。特に、路側に設置された基地局からの配信法として“ブロードキャスト型光多値変調方式”、その配信情報の取得失敗時の対処法として車々間通信による“スペクトル拡散多値変調型ランダムアクセス方式”からなる光/電波融合型通信システムの高信頼化・高品質化の実現を目指す。

本研究は放送型路車間通信の通信品質改善を変調法と損失パケット補間法（誤り制御）の両面から検討を行うことを目的とする。特に、

- (1) 無線環境及び各車両を中心とした動的なネットワーク環境
- (2) シャドウイングで生じる車両のネットワークからの消滅
- (3) 送信信号電力制御を行わないことによる遠近問題

などの既存システムでは考慮する必要のなかった新たな問題を検討する。

3. 研究の方法

本研究は、図1に示すブロードキャスト通信の信頼性を高めるためのスペクトル拡散変調法を用いた可視光/電波融合型通信ネットワークプロトコルについて検討を行う。特に、次の3つの点から検討する。

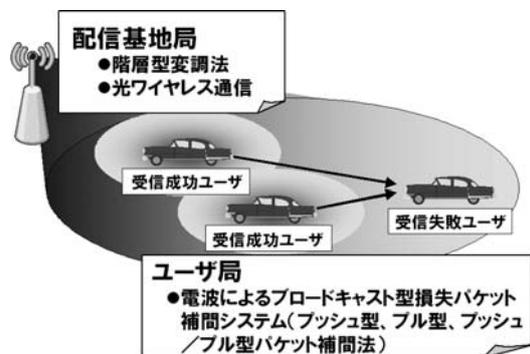


図1 考案システムの概観

(1) 損失パケット補間法：

プッシュ型損失パケット補間法とプル型損失パケット補間法を基にプッシュ/プル型損失パケット補間法を提案する。さらに、補間性能向上法として、負荷分散法を用いる方式を提案する。これらの提案方式について、平均パケット捕捉時間特性および平均パケット送信回数特性の理論式を導出し、性能解析を行う。さらに、コンピュータシミュレーションを行い、理論解析結果の妥当性を検討する。

(2) 放送型路車間通信の階層型変調法：

振幅シフトキーイング (ASK) と符号シフトキーイング (CSK) の融合法、直交振幅

変調法(QAM)による階層型変調法を検討する。これらの方式について、誤り率性能および通信距離特性について理論解析を行う。

- (3) 光ワイヤレス通信における変調法：
変形擬直交M系列対を用いるマルチパルスパルス位置変調法を提案する。提案方式について、情報伝送速度特性および誤り率性能を理論解析する。

4. 研究成果

4. 1 損失パケット補間法

(1) プッシュ／プル型損失パケット補間法

プッシュ／プル型損失パケット補間法は、プッシュ型とプル型損失パケット補間法を融合した方式である。その損失パケット補間手順は図2の通り、3 Stepある。

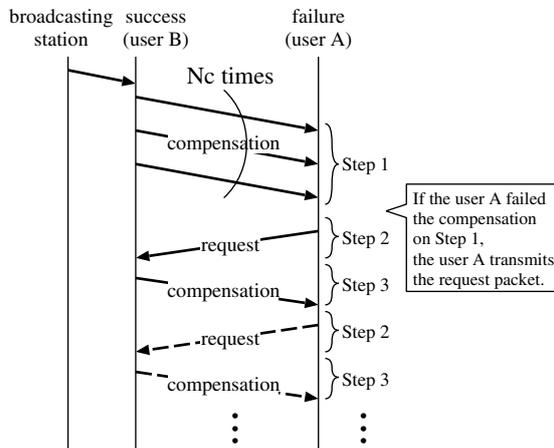


図2 損失パケット補間法の補間手順

Step1:

配信基地局から送信されたパケットの受信に成功したユーザ（成功ユーザ）が近隣ユーザに対して配信基地局からの情報を補間パケットとして N_c 回ブロードキャストする。

Step2:

Step1 後、補間パケットの受信に失敗したユーザ（失敗ユーザ）は、補間パケットの受信に失敗したことを知らせるリクエストパケットを近隣ユーザに対してブロードキャストする。

Step3:

成功ユーザが、失敗ユーザからのリクエストパケットを受信すると、補間パケットを1回ブロードキャストする。

Step1 はプッシュ型損失パケット補間法と同等であり、Step2 と Step3 はプル型損失パケット補間法と同等である。Step1 で補間パケットの受信に失敗したユーザは Step2、Step3 を補間パケットの受信に成功するまで繰り返す。

返す。パケットを送信するにあたり、本方式のアクセス制御として、直交系列を用いたランダムアクセス法を導入する。各ユーザは共通の直交系列群（要素直交系列数は M ）を持っており、まず、パケットをブロードキャストするユーザは直交系列群の中から1つをランダムに選択する。次に、その直交系列を用いてパケットを構成するビットをスペクトル拡散し、スペクトル拡散されたパケットをブロードキャストする。

プッシュ／プル型損失パケット補間法の平均パケット送信回数、平均補間完了時間を明らかにした。本方式はパケット補間状況を確認でき、しかも補間完了時間をプッシュ型損失パケット補間法と同等にできるため有用であることがわかった。

(2) 負荷分散を行うプッシュ型損失パケット補間法

配信基地局からのパケット受信成功ユーザは自律的に補間パケットを送信する。その際、送信ユーザ数が増加するとパケット衝突も増加してしまう。ユーザ密度が過密である場合、ユーザ間干渉を如何に低減できるかがポイントとなる。

本方式は、プッシュ型損失パケット補間法と同様に各ユーザに共通の直交系列群を割り当て、アクセス制御法にランダムアクセス法を導入する。まず、送信ユーザは送信フレームを N_s スロットに分割し、 N_s スロットの中から1つのスロットをランダムに選択する。次に、各ユーザは与えられている直交系列群の中からランダムに1つの直交系列を選択する。最後に、選択した直交系列で拡散したパケットを選択したスロットを用いてブロードキャストする。本方式は送信フレームを伸長することでネットワーク負荷を時間軸方向に分散する方式である。そのため、負荷が小さい場合には、基本となるプッシュ型損失パケット補間法よりも平均パケット捕捉時間は長くなってしまふことになる。

本方式はこれまで提案したプッシュ型損失パケット補間法や単に拡散符号系列長を伸張する方式よりもユーザ密度増加時の平均補間完了時間および最小の平均補間完了時間からの劣化度がともに優れていることが分かった。

4. 2 階層型変調法

放送型路車間通信では、受信信号エネルギーは配信基地局から離れるほど小さくなる。そのため、ユーザが受信する情報量（情報価値）も配信基地局からの距離に応じて変化させることが望ましいと考えられる。これを実現する1つの手段として、配信基地局から離れるにしたがって受信情報量を減少または

情報価値を変化させる情報の段階的な変調を適用する階層型配信法が考えられる。

階層型変調法として、直交振幅変調(QAM)の信号点配置を不均一にする階層化法、2種類のデジタル変調法を融合する階層化法を示し、距離特性を評価した。白色ガウス雑音および自由空間減衰の通信路モデルでは、信号点配置を不均一にする方式が有効であることが分かった。また、2種類のデジタル変調法を融合する方式は光ワイヤレス通信への適用が期待できる。

4. 3 光ワイヤレス変調法

光ワイヤレス通信は使用に際して法規制度上の規制がなく、短波長のため送受信機の小型化や低消費電力、低価格化が可能であり、人や電磁機器への影響がない等の特徴がある。また、電気通信における無線方式のように周波数の割り当てがないため、多数の回線の設置が可能という利点もある。赤外線や可視光を利用した光ワイヤレス通信では人の目による認識を補助すると同時にデータ通信も行い、照明器具や電光掲示板、交通信号機を利用した情報伝送や列車間通信等での検討がされている。光ワイヤレス通信では、

- (a) オンオフ信号形式である
- (b) 大気の屈折率変動によりランダムな受信光強度の揺らぎ(シンチレーション)が生じるため閾値を用いる情報変調法は適さない
- (c) スロット間隔を狭めずに情報伝送速度を向上する、(d) 複数の配信基地局からの信号が分離可能である(多元接続が可能)

の要件がある。

本研究では、上記3点に対処可能な変形擬直交M系列対を用いるマルチパルスパルス位置変調法を考案し、性能評価にて以下の結果を得た。

- (1) 変形擬直交M系列対を用いるアンチポータル変調について、白色ガウス雑音環境およびシンチレーションが存在する環境において理論解析により検討した。本方式は復調の際に閾値判定を利用しないため、従来のOOK方式よりも良好な誤り率を示すことがわかった。
- (2) 変形擬直交M系列対を用いる光強度変調/直接検波(IM/DD)法とマルチパルス・パルス位置変調法を融合した方式を提案した。これまでのIM/DD法における2値伝送法では、最大ネットワーク容量は1[bit/chip]を超えられなかったが、本方式では1[bit/chip]以上を達成できる。例えば、8スロットからなるフレームを用いる場合では、

1.25[bit/chip]を達成できる。

4. 4 課題

- (1) 基地局からの配信法における高品質・高信頼性の確保に関する検討：
本研究では、光無線通信・可視光における多値変調法などに関する検討は行っているものの“繰返し配信法の適正化”や“誤り訂正符号化”などによる光信頼化および高品質化への検討が不十分である。
- (2) 情報鮮度を考慮した配信法の検討：
情報鮮度には、情報自身の新しさという点ばかりでなく、地域情報のような現在位置にのみに依存し、その場を離れると意味が失われる位置依存型情報も含まれる。そのため配信情報の階層化と信号伝達距離特性の間に何らかの関係があるわけであるが、本研究ではそれを考慮した配信法になっていない。
- (3) ユーザ間同期及び受信信号同期を考慮した損失パケット補間法の検討：
本研究では、ユーザ間同期および受信信号タイミング同期が揃っている前提での損失パケット補間法の評価を行っている。そのため、実用化のためにはユーザ間同期および受信信号タイミング同期の検討は必要不可欠であり、新たな同期法の提案を含め検討すべきである。
- (4) 複数の同一内容のパケット受信による品質改善法：
損失パケット補間時では、複数の受信成功ユーザから同一内容のパケットが送信されることとなる可能性が高い。そのためダイバーシチ効果が望めると考えられるが、本研究ではその効果について言及してない。協同ダイバーシチや協同通信などの検討を行う必要がある。
- (5) 不正アクセスユーザによる偽情報流布の対処法：
補間パケットとして、偽パケットを送信された場合の対処については検討をしていない。パケットの有効時間やローカル性を考慮した検討が必要になる。
- (6) 実際ユーザ環境等を反映した通信状況モデルによる性能解析：
現実的な通信環境を想定した検討が不十分である。特に、道路構成や周辺建物などを反映したモデルについては未検討である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- (1) 橋浦康一郎, 羽瀧裕真: “擬3進M系列を用いるコードシフトキーイング型スペクトル拡散方式”, 電子情報通信学会論文誌(A), Vol. J92-A, No. 5, pp. 380-387, 査読有, (2009年5月)
- (2) Nobuyoshi Komuro, Hirosasa Habuchi, Toshinori Tsuboi: “Nonorthogonal CSK/CDMA with received-power adaptive access control scheme”, 電子情報通信学会論文誌, Vol. E91-A, No. 10, pp. 2779-2786, 査読有, (2008年10月)

[学会発表] (計 31 件)

- (1) 橋浦康一郎, 羽瀧裕真: “情報配信システムにおける非スロット型パケット補完法の平均損失パケット捕捉時間の導出”, 電子情報通信学会総合大会, 愛媛大学, A-17-1, (2009年3月)
- (2) 岡祐介, 羽瀧裕真, 大内浩司, 橋浦康一郎: “路車間通信における APSK を用いた階層型変調法の一検討”, 情報通信基礎サブサイエティ合同研究会技術報告, WBS2008-82 (IT2008-69, ISEC2008-127), pp. 163-166, (2009年3月)
- (3) Koichiro Hashiura, Hirosasa Habuchi: “Performance of the slot-distributed push-type packet compensation protocol for the road to vehicle broadcasting system”, International Symposium on Information Theory and Its Applications (ISITA'08), pp. 717-721, 査読有, (2008年12月)
- (4) Yusuke Kozawa, Hirosasa Habuchi: “Enhancement of Optical Wireless Multi-Pulse PPM” IEEE Global Communications Conference (IEEE GLOBECOM'08), 査読有, (2008年12月)
- (5) 橋浦康一郎, 羽瀧裕真: “放送型路車間通信における Push 型損失パケット補完法の性能改善手法”, ITS シンポジウム 2008, 査読有, (2008年12月)
- (6) 岡祐介, 羽瀧裕真, 大内浩司, 橋浦康一郎: “階層型変調法を用いる放送型路車間通信における通信距離性能について”, ITS シンポジウム 2008, (2008年12月)
- (7) 橋浦康一郎, 羽瀧裕真: “放送型路車間通信の損失パケット補完法における符号多値変調の効果”, 第31回情報理論とその応用学会, 2.3.2, pp. 164-169 (2008年10月)
- (8) 橋浦康一郎, 羽瀧裕真: “陪直交 CSK/SS を用いた Pull 型損失パケット補完法の

平均パケット捕捉時間特性”, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, A-5-19, (2008年9月)

- (9) 羽瀧裕真, 橋浦康一郎: “3値M系列を用いる CSK/SS のジッタ特性に関する検討”, 電子情報通信学会ワイドバンドシステム技術研究報告, WBS2008-13, pp. 41-46, (2008年7月)
- (10) Koichiro Hashiura, Hirosasa Habuchi: “Effect of the slot distributed scheme on the push-type packet compensation protocol”, International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC 2008), Paper No. 1290, pp. 493-496, 査読有, (2008年7月)
- (11) Yusuke Oka, Hirosasa Habuchi, Kouji Ohuchi: “Hierarchical information acquisition scheme on the local broadcasting system”, International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC2008), pp. 1345-1348, 査読有, (2008年7月)
- (12) Yusuke Kozawa, Hirosasa Habuchi: “Modified pseudo orthogonal M-sequence sets for synchronous optical-CDMA”, International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC 2008), pp. 1413-1416, 査読有, (2008年7月)
- (13) 橋浦康一郎, 羽瀧裕真: “放送型路車間方向通信における push 型パケット補完法の時間分散効果”, 電子情報通信学会ワイドバンドシステム技術研究報告, WBS2007-79, pp. 99-103 (2008年2月)
- (14) 小沢佑介, 羽瀧裕真: “2つのPN符号を用いる光無線マルチレベルPPMの一検討”, 電子情報通信学会ワイドバンドシステム技術研究報告, WBS2007-96, pp. 109-114 (2008年2月)
- (15) Koichiro Hashiura, Hirosasa Habuchi: “Performance analysis of Pull-type packet compensation protocol with perfect MCS/CDMA for the broadcasting system”, International Conference on Information Communications and Signal Processing (ICICS'07), Session Th1.5, P0674, 査読有り, (2007年12月)
- (16) Yusuke Kozawa, Hirosasa Habuchi: “Theoretical analysis of atmospheric optical DS/SS with on-off orthogonal M-sequence pairs”, International Conference on Information Communications and Signal Processing (ICICS'07), Session We4.5, P0686, 査読有り, (2007

- 年 12 月)
- (17) 橋浦康一郎, 羽瀧裕真: "push 型パケット補間法の高負荷時における平均パケット捕捉時間向上法について", 第 30 回情報理論とその応用学会, 32.4, pp. 661-665, (2007 年 11 月)
- (18) 小沢佑介, 羽瀧裕真: "変形擬直交 M 系列対を用いる光無線アンチポーダル DS/SS の性能解析", 第 30 回情報理論とその応用学会, 46.2, pp. 911-916, (2007 年 11 月)
- (19) Koichiro Hashiura, Hiromasa Habuchi: "Theoretical analysis of spread-spectrum Push/Pull type packet compensation protocol on local broadcasting services", IEEE International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC 2007), Session No.84, 459, CD-ROM, 査読有り, (2007 年 9 月)
- (20) Yusuke Kozawa, Hiromasa Habuchi: "Theoretical analysis of atmospheric optical PPM CDMA with pseudo orthogonal M-sequences", IEEE International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC 2007), Session No.110, 808, CD-ROM, 査読有り, (2007 年 9 月)
- (21) 小沢佑介, 羽瀧裕真: "擬直交 M 系列対を用いる光無線 DS/SS の一検討", 電子情報通信学会ワイドバンドシステム技術研究報告, WBS2007-7, pp. 7-12 (2007 年 6 月)
- (22) 橋浦康一郎, 羽瀧裕真: "路車単方向通信における push/pull 型パケット補間法の性能解析", 電子情報通信学会ワイドバンドシステム技術研究報告, WBS2007-12, pp. 35-39 (2007 年 6 月)
- (23) 橋浦康一郎, 羽瀧裕真: "push/pull 融合型補間法の平均パケット送信回数特性", 電子情報通信学会総合大会, A-5-25, (2007 年 3 月)
- (24) 小沢佑介, 羽瀧裕真: "オンオフ信号形式型 M 系列対を用いる光 PPM/SS の一検討", 電子情報通信学会総合大会, A-5-33, (2007 年 3 月)
- (25) 小沢佑介, 羽瀧裕真: "オンオフ信号形式型 M 系列対を用いる光 PPM のビット誤り率", 電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会, No. 51, 東京電機大学, (2007 年 3 月)
- (26) 橋浦康一郎, 羽瀧裕真: "放送型通信における push/pull 融合型パケット補間法の検討", 第 29 回情報理論とその応用学会, pp. 137-140, (2006 年 11 月)
- (27) Koichiro Hashiura, Hiromasa Habuchi: "Performance evaluation of the pull-type packet compensation protocol with common spreading sequences for broad-casting system", Tenth International Conference on Communication Systems (ICCS 2006), WA-5-3, CD-ROM, 査読有り, (2006 年 11 月)
- (28) Nobuyoshi Komuro, Hiromasa Habuchi, Toshinori Tsuboi: "Influence of channel estimation error on throughput performance in the channel estimation-oriented access control scheme with code shift keying", Tenth International Conference on Communication Systems (ICCS 2006), PB-8, CD-ROM, 査読有り, (2006 年 11 月)
- (29) Koichiro Hashiura, Hiromasa Habuchi: "Analysis of packet compensation protocols with MCS/CDMA for local broadcasting services", IEEE International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC 2006), CD-ROM, 査読有り, (2006 年 9 月)
- (30) 羽瀧裕真: "オンオフ信号形式型 M 系列対を用いる多値変調法の一検討", 電子情報通信学会ワイドバンドシステム技術研究報告, WBS2006-13, pp. 31-34, (2006 年 7 月)
- (31) 橋浦康一郎, 羽瀧裕真: "直交系列を用いたランダムアクセス法による Pull 型パケット補間法の解析", 電子情報通信学会ワイドバンドシステム技術研究報告, WBS2006-3, pp. 13-18, (2006 年 6 月)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

羽瀧 裕真 (HABUCHI HIROMASA)
 茨城大学・工学部・准教授
 研究者番号: 90241744

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし