

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月 1日現在

機関番号：12101

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560383

研究課題名（和文） ITSのための高信頼化光／電波融合型通信プロトコル

研究課題名（英文） Reliable 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・教授

研究者番号：90241744

研究成果の概要（和文）：

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ランダムアクセス法”により補完する光／電波融合通信システムを構築している。特に、放送型路車間通信においてオンオフ信号に対応できる光無線変調法、ユーザ間で損失パケットを補完する変形2進カウントダウン法、不正アクセスユーザによる偽パケットのブロードキャストに対処可能な方式について検討している。

研究成果の概要（英文）：

In this study, a novel heterogeneous network using optical-wireless and radio communications for intelligent transportation systems is proposed. For road-to-vehicle communications, the optical-wireless turbo code using the unequal transmission power allocation scheme, the optical high-density communication using the modified pseudo orthogonal M-sequence, the hierarchical optical broadcast system, are investigated. For the loss packet compensation protocol using vehicle-to-vehicle communications, the modified binary countdown method is analyzed. Moreover, a simple protection scheme for error packets or spoofed packets from malicious users is evaluated.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2010年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：情報通信工学

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：損失パケット補完法、光強度変調／直接検波、光無線通信、階層変調法、スペクトル拡散通信、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。ロジッチュア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無線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こと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、配信パッケージ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 packets を車々間通信で補う路車間・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完法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、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)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“階層型変調を用いる光無線・可視光多値変調方式”と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。

本考案システムは、図1に示すように路車間通信（基地局からユーザ(車両)へ）と車々間通信（ユーザ間）のシステムからなる。次の点から検討する。

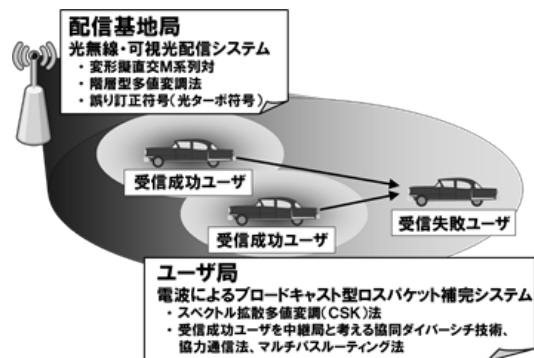


図1 考案システムの概観

- (1) 放送型路車間通信における光無線変調
白色ガウス雑音チャンネルで効果がある非均一電力割当て型ターボ符号を、光無線チャンネルへの適用時の効果を検討する。

情報伝送効率 $1[\text{bit}/\text{chip}]$ を達成できる変形擬直交M系列対を用いる並列組合せスペクトル拡散(並列組合せSS)通信を提案する。さらに、コードシフトキーイング(CSK)法を核とする光階層化変調法を提案する。これらの方式について、コンピュータシミュレーションや理論解析により評価する。

(2) 損失パケット補完法

これまで、損失パケットを基地局に問い合わせるのではなく、近隣ユーザ(車両)の自発的な送信により補完する方法を検討してきた。ユーザ間通信において、無線通信の無指向性・ブロードキャスト性を利用することにより、シャドウイングや隠れ端末の影響の軽減やパケット送信機会の不平等性を解消することが必要である。これらの問題を軽減できる変形2進カウントダウン法を提案する。提案方式について、コンピュータシミュレーションにより評価する。

(3) 偽パケットへの対処法

図1の本考案システムでは、悪意のあるユーザが受信成功ユーザを騙って偽情報を流布すると、失敗ユーザは正確な情報を得られないばかりでなく有害情報により危険にさらされる。その問題の軽減するために、2つの方式を提案する。1つは、配信基地局は各自の秘密鍵により暗号化し、各ユーザは該当基地局の公開鍵により復号する。各ユーザは基地局からの情報をそのまま光から電波に媒体変換してリレーする方式である。もう1つは、複数のユーザからの情報を重ね合わせることによる真情報検出法である。

4. 研究成果

(1) 光無線による路車間通信

① 非均一電力割当型ターボ符号

ターボ符号は、情報ビット系列と情報ビット系列をインタリーブによって並べ替えた系列をそれぞれ、異なる畳み込み符号器に入力し2種類のパリティビット系列を生成する。そのため、送信信号は情報1ビットと2つのパリティビットからなる3ビットで構成されることになる。受信機では、各パリティビットに対応する最大事後確率(MAP)復号器が利用され、1つの復号器の出力を他方の復号器の入力として利用し、複数回復号が繰り返される。このターボ符号の性能改善法の1つとして、情報ビット信号とパリティビット信号の重みを変える非均一電力化などが検討されている。例えば、SN比が大きくなると、情報ビットそのものを受け

取れる確率も高くなるため、情報ビット信号に割り当てられる電力をパリティビット信号よりも大きくすることにより、さらなる性能向上が期待できる。これは、ターボ符号の繰り返し回数も減少させることができ、情報復調待機時間を短くすることができると考えられる。この非均一電力化を用いたターボ符号は、電波による無線通信環境下では効果があることがこれまでに示されているが、光無線通信での効果は明らかにされていない。光無線通信では、電波の場合とは異なり、光電変換の際にAPDによる雑音や、シンチレーション、背景光など電波通信とは異なる影響を受けるため、電波において有効な方法がそのまま利用できるとはかぎらない。非均一電力割当型ターボ符号の光無線通信への適用可能性を検討した。

- ・ オンオフキーイング(OOK)やパルス位置変調(PPM)などの変調方式によらず効果的であることを示した。
- ・ OOKのように閾値判定する方式では、受信光電力が小さい場合には背景光の影響が、受信光電力が大きい場合にはシンチレーションの影響が大きいことを明らかにした。そのため、受信光電力を単に増加しても誤り率改善にはつながらないことが分かった。
- ・ PPMはOOKよりも良好なビット誤り率を示し、受信光電力の増加により特性も改善できることが分かった。これはデータ1と0の誤り方に偏りが少ないためであると考えられる。

② 変形擬直交M系列対を用いる並列組合せSS通信方式

並列組合せSS通信方式は、M個の疑似雑音(PN)符号を用いる。M個のPN符号からK個の符号を選択し、その選択されたK個の符号の極性を決定し、送信する。

- ・ 強度変調/直接検波(IM/DD)型の光無線通信では、負極性を利用することができない。そのため、負極性かわりに別の符号を割当てなければならない。変形擬直交M系列では、 $\{-1, 1\}$ -M系列の正符号の部分からなる系列と負符号の部分からなる系列の2符号系列で構成する。この2つの符号系列を極性データにより切り替えることにより、Kビットデータを表現する。
- ・ 符号長をL[chip]とすると、情報伝送率は $(\log_2(\frac{M}{K}) + K) / L[\text{bit}/\text{chip}]$ になる。例えば、L=16のとき $1.3[\text{bit}/\text{chip}]$ を実現し、オンオフキーイングで達成できる $1[\text{bit}/\text{chip}]$ を増大できることを理論解析により明らかにした。

③ CSK を用いる階層化通信

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り、低 S/N 比化してしまう。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。これを實現する1つの手段として、2種類の変調法を融合する方式を検討した。特に、高 S/N 比で高情報伝送効率と低ビット誤り率を實現する変調法と、低 S/N 比に対応可能であり復調システムが簡易な変調法を融合する方式を考案した。

CSK と符号数キーイング (CNK) を融合する CSK-CNK 方式により階層化通信を實現した。CSK は M 個の PN 符号系列の中から $\log_2 M$ ビットデータに応じて1つを選択し、送信する方式である。CSK は伝送速度やビット誤り率を改善でき、高 S/N 比時に適当である。CNK は CSK とは異なる PN 符号系列 N 個を用い、 $\log_2 (N+1)$ ビットのデータに従って送信符号数を決定する。例えば、 $N=3$ のとき、データ 00 には送信符号数 0 を、01 には送信符号数 1 を、10 には送信符号数 2 を、11 には送信符号数 3 を割当てる。このようにビットデータを 10 進数に変換した数に合わせて送信符号数を決定する。CNK は受信電力により送信符号数を推定して情報を得るため振幅シフトキーイング (ASK) と同様に装置は簡易である。CNK は ASK よりも振幅変動が小さいため、より遠距離通信に適していると考えられる。

(2) 変形 2 進カウントダウン方式による損失パケット補完法

配信情報の取得失敗時の対処法として、2 進カウントダウン法を用いた損失パケット補完法を検討した。

- 各ユーザが共通の優先度符号群 (N_p) を持ち、複数のスロット (N_s) からなるフレームを用いて伝送する変形 2 進カウントダウン法を提案した。各送信ユーザはパケット送信の成功、失敗、待機に応じてスロットの選択や優先度符号の更新を行う。つまり、次の手順にしたがって送信が行われる。
 - 送信スロットを N_s 個のスロットの中からランダムに選択する。
 - 優先度コードを N_p 個のコードの中からランダムに選択する。
 - (b) で選択したコードを利用してカウントダウンを行う。優先度コードの構成ビットが 1 の場合は信号送信し、0 の場合は信号送信せず他ユーザの送信信号を観測する。0 のとき他ユーザの送信信号を受信したならば優先度コードの送信を止め、待機する。
 - 優先度コードを最

後まで送信したユーザがデータパケットを送信する。(e) 次フレームでは、前フレームでの待機ユーザは、選択スロット番号は同一とし、前回の選択コードに 1 ビット加算したものを新コードとしてカウントダウンに用いる。

- 本方式は従来の 2 進カウントダウン法と異なり、各ユーザの送信機会均等化が図れる、また隠れ端末問題によるパケット衝突を緩和できる。
- 変形 2 進カウントダウン法のパケット捕捉時間特性をコンピュータシミュレーションにより評価した。その結果、優先度コード群の要素符号数 N_p を 16、1 フレーム当たりのスロット数 N_s を 3 とした場合、ユーザ数が変化しても即時性を保つことができることを明らかにした。
- 本方式と優先度コード群のみを用いる 2 進カウントダウン法やスロット化アロハ方式と比較した結果、本方式が最も良好な性能を示すことを明らかにした。

(3) 偽パケットへの対処法

図 1 の考案システムでは、各ユーザが配信基地局からの情報をブロードキャストするリレー型の誤り制御であるため、悪意のあるユーザが偽情報を流布させることも可能になってしまう。そのため、情報保護を如何に達成するかが問題となる。さらに、ITS 通信特有のバースト的なシャドウイングやなどに対処する必要がある。本方式は路車間通信に光無線伝送を、車車間通信には電波通信を用いる光/電波融合型通信であるため、各通信路環境の違いに対処する必要がある。そこで、2 つの方式を考案した。

① 電子証明法を活用した方法

配信基地局は各自の秘密鍵を用いて暗号化して情報配信し、各ユーザは公開鍵を用いて復号し、各ユーザは配信基地局からの情報に受信成功した場合に単に光から電波に媒体変換してリレーする方式を考案した。配信基地局としては LED 信号機を想定し、その公開鍵はカーナビゲーションシステムの地図上に埋め込み、随時更新する。このことは公開鍵の更新や正当性を駐車時に行うことになり、移動中に証明局との接続を行う必要が無く、即時的に偽パケットを排除できることになる。1 基地局のカバーエリアは小さいため、秘密鍵の解読を短時間で終了することは困難であると考えられる。例え解読されたとしてもその影響は限定的であると考えられる。

② RAKE 受信方式を活用した方法

RAKE 受信機は通常、電波型の無線通信に

において、遅延波に重み係数を乗算して加算することにより性能向上を図る方式である。本車々通信では、配信局からの情報をリレーすることにより損失補完を行うため、同一の情報が異なる車両から異なるタイミングで送信さ、従来の RAKE 受信機での利用状況と類似している。そのため、RAKE 受信機を活用することにより性能向上が期待できる。

図 2 に基地局からの情報を N ユーザがリレーし、その補完パケットを失敗ユーザが RAKE 合成する方式を示す。RAKE 合成する際の各パケットの重み係数は、最初に受け取った補完パケットの受信時間を基準に相対時間を計測し、その時間により相対的なユーザ間距離を計算し、その距離に応じて行う。つまり、自由空間減衰量（距離の 2 乗減衰量）を重み係数とする。白色ガウス通信路では、不正ユーザ存在率が 10^{-4} であるとき N が 3 以上のとき不正アクセスユーザに対処可能であることが分かった。

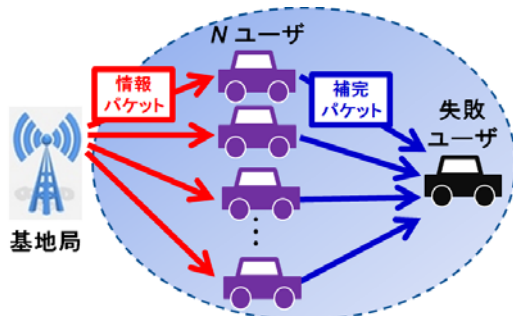


図 2 RAKE 受信方式を用いる方法

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 3 件)

- (1) Koichiro Hashiura, Hiromasa Habuchi : “Performance Improvement of the Inter-Vehicle Push-Type Packet Compensation Protocol for the Road to Vehicle Broadcasting System”, International Journal of Intelligent Transportation Systems Research, Vol.8, No.8, pp.164-174, (2010-08)(査読有)
- (2) Yusuke Kozawa, Hiromasa Habuchi : “A Comparison of Wireless Optical CDMA Systems using Chip-Level Detection”, 電子情報通信学会論文誌(EA), Vol.E93-A, No.11, pp.2291-2298, (2010-11)(査読有)
- (3) Ryo Enomoto, Hiromasa Habuchi : “Performance of DS/SS System using Pseudo-Ternary M-Sequences”, 電子情報通信学会論文誌(EA), Vol.E93-A, No.11, pp.2299-2306, (2010-11)(査読有)

[学会発表] (計 27 件)

- (1) Yusuke Kozawa, Hiromasa Habuchi: “Analysis of Wireless Optical CDMA using Chip-Level Detection”, International Workshop on Signal Design and its Application in Communications (IWSDA), pp.52-55, Fukuoka, (2009-10-20)
- (2) Ryo Enomoto, Hiromasa Habuchi : “Properties of the Pseudo-ternary M-sequences”, International Workshop on Signal Design and its Application in Communications (IWSDA), pp.56-59, Fukuoka, (2009-10-20)
- (3) Koichiro Hashiura, Hiromasa Habuchi : “Performance of the Asynchronous Push-type Packet Compensation Methods for Road-to-Vehicle Broadcasting System”, International Technical Conference of IEEE Region 10, Singapore, (2009-11-26)
- (4) Yusuke Oka, Hiromasa Habuchi, Kouji Ohuchi, Koichiro Hashiura : “Construction of Hierarchical Optical Broadcasting Systems for Intelligent Transport System”, International Technical Conference of IEEE Region 10, Singapore, (2009-11-26)
- (5) 遠藤亮, 羽瀨裕真, 大内浩司: “放送型路車間通信における非均一電力化ターボ符号の効果”, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, A-17-12, 新潟大学, (2009-09-17)
- (6) 榎本良, 羽瀨裕真, 橋浦康一郎: “擬 3 進 M 系列を用いる SS 方式の誤り率”, 電子情報通信学会技術研究報告, WBS2009-34, 大阪市立大学, (2009-10-16)
- (7) 小澤佑介, 羽瀨裕真: “IM/DD による光無線マルチレベル PPM の性能評価”, 電子情報通信学会技術研究報告, WBS2009-66, 信州大学, (2010-3-4)
- (8) 羽瀨裕真: “SS 技術を用いた車車間通信について”, 電子情報通信学会技術研究報告, WBS2009-76, 信州大学, (2010-3-4)
- (9) 榎本良, 羽瀨裕真, 橋浦康一郎: “擬 3 進 M 系列を用いる同期捕捉システムの一検討”, 電子情報通信学会総合大会, A-5-4, 東北大学, (2010-3-16)
- (10) Yusuke Kozawa, Hiromasa Habuchi : “Theoretical Analysis of M-CSK/CDMA System in Optical Wireless Channel”, International Symposium on Information Theory and its Applications / International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications (ISITA/ISSSTA), Session No. Au-Tu-3, Taiwan, (2010-10-19)
- (11) Ryo Enomoto, Hiromasa Habuchi: “Study on the Code Acquisition and Tracking Systems Using Pseudo-ternary M-sequences”, International Symposium on

- Information Theory and its Applications / International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications (ISITA/ISSSTA), Session No.LS1-We-1, Taiwan,(2010-10-20)
- (12) Ryo Enomoto, Hiromasa Habuchi : “Performance Evaluation of the Code Acquisition System Using Pseudo-Ternary M-Sequences”, 16th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC), Coding and DSP session, New Zealand, (2010-11-2)
- (13) Koichiro Hashiura, Hiromasa Habuchi : “Performance Evaluation of the Vehicular Ad-Hoc Network Using the Modified Binary Countdown Scheme”, 16th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC), Cross-Layer Design session, New Zealand, (2010-11-2)
- (14) Koichiro Hashiura, Hiromasa Habuchi : “Media Access Control Scheme Based on the Binary Countdown for Vehicular Ad-Hoc Network”, 10th International Conference on Intelligent Transport Systems Telecommunications (ITST), WE2 session, Kyoto, (2010-11-10)
- (15) 羽瀨裕真: “擬3進M系列の同期システムについて”, 電気学会C部門大会, 熊本大学, (2010-9-2) (査読無)
- (16) 橋浦康一郎, 羽瀨裕真: “変形2進カウントダウンを用いたアクセス制御法の一検討”, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-21-13, 大阪府立大学, (2010-9-15)
- (17) 村田知昭, 羽瀨裕真, 遠藤亮 : “光無線通信における非均一電力化ターボ符号の効果”, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, A-5-2, 大阪府立大学, (2010-9-16)
- (18) 村田知昭, 遠藤亮, 羽瀨裕真: “非均一電力化ターボ符号の光無線通信でのビット誤り率の検討”, 電子情報通信学会技術研究報告, WBS2010-26, ならまちセンター, (2010-10-8)
- (19) Koichiro Hashiura, Hiromasa Habuchi : “The Modified Binary Countdown Scheme for Vehicular Ad-hoc Network System”, 8th Asia-Pacific Wireless Communication Symposium (APWCS), MP6: Wireless Networks, Singapore, (2011-8-22)
- (20) Yusuke Kozawa, Hiromasa Habuchi : “Enhancement of Optical Wireless N-CSK System”, 8th Asia-Pacific Wireless Communication Symposium (APWCS), TA3: Wireless Resource Allocation and HARQ, Singapore, (2011-8-23)
- (21) Koichiro Hashiura, Hiromasa Habuchi : “Theoretical Analysis of the Modified Binary Countdown Scheme”, The 8th International Conference on Information, Communications, and Signal Processing (ICICS), WM6.1, Singapore, (2011-12-14)
- (22) Yusuke Kozawa, Hiromasa Habuchi : “Theoretical Analysis of Parallel Combinatory Spread-Spectrum Communication System for Optical Wireless Communications”, 8th International Conference on Information, Communications, and Signal Processing (ICICS), FM4.1, Singapore, (2011-12-16)
- (23) Tomoaki Murata, Hiromasa Habuchi : “Effect of Unequal Transmission Power Allocation In Turbo-Coded Optical Wireless Communication System”, 8th International Conference on Information, Communications, and Signal Processing (ICICS), WP5.4, Singapore, (2011-12-14)
- (24) Takayoshi Numata, Hiromasa Habuchi : “An Optical MPPM-PSM Scheme for Increasing Data Transmission Rate”, The 8th International Conference on Information, Communications, and Signal Processing (ICICS), TM6.3, Singapore, (2011-12-15)
- (25) 羽瀨裕真, 岡田光平, 小澤佑介: “変形擬直交M系列対を用いるエネルギー検波型DS/SS法の提案”, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, A-5-11, 北海道大学, (2011-9-15)
- (26) 日向野泰幸, 羽瀨裕真: “Slotted ALOHA型無線ネットワーク符号化法の有効性”, 電子情報通信学会技術研究報告, WBS2011-27, 新潟大学, (2011-10-12)
- (27) 黒田幸伸, 羽瀨裕真, 橋浦康一郎: “路車単方向通信におけるRAKEを用いるpush型パケット補完法の一検討”, 電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会, No. 123, 東海大学, (2012-3-3)

[その他]

ホームページ等

<http://rainbow.cis.ibaraki.ac.jp/Achievement/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

羽瀨 裕真 (HABUCHI HIROMASA)

茨城大学・工学部・教授

研究者番号：90241744