

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 23 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560450

研究課題名(和文) 空間光通信の伝搬路モデル及び高速高品質伝送手段の構築

研究課題名(英文) Development of free optical channel model and higher-capacity transmission scheme

研究代表者

岡本 英二 (Eiji, Okamoto)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：10358963

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：更なる大容量通信を可能とする新しい光衛星通信について、光衛星局-地上局間の下りリンクの伝搬路モデルを、マルコフモデルを元に構築した。その上で、復号計算量を抑えつつ高品質通信を実現する硬判定通信路符号化方式を提案した。その符号をフィードバックなしで複数の伝送速度・品質のペアに切り替えることのできるマルチレート伝送に拡張した。また情報通信研究機構が打ち上げる予定の小型光衛星に搭載される局の通信路符号化設計に協力した。

研究成果の概要(英文)：For a new laser satellite communication which enables a higher capacity communication, we proposed a Markov-based channel model of satellite-to-ground laser downlink based on measurement results. Using this model, we also proposed a hard-decision channel coding scheme achieving a high error correcting ability with moderate decoding complexity. In addition to that, this channel code is enhanced to a one-way multi-rate channel coding scheme in which multiple pairs of coding rate and error correcting ability can be switched without any feedback links. Finally, we have supported the channel code design on small optical transponder (SOTA) developed by National Institute of Information and Communications Technology, Japan in Space Optical Communications Research Advanced Technology Satellite (SOCRATES) whose launch is planned in 2014.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：通信・ネットワーク工学

キーワード：光衛星通信 空間光通信 伝搬路モデル 通信路符号化 LDGM符号 LT符号 消失通信路

1. 研究開始当初の背景

平成21年に我が国では宇宙基本計画が制定され、さらなる積極的な宇宙開発が推進されることとなった。その宇宙技術の根幹を支えるのは地球との高速通信である。人類のホームグラウンドである地球との確固たる通信手段を有することで、初めて有人・無人を問わず宇宙への進出が可能となるのである。しかし電波のみによる高速通信システムの構築は帯域の確保が困難であることから実現できないと考えられている。電波を用いる場合には国際電気通信連合無線通信部門 (ITU-R) 勧告に基づく各国の法律により周波数と帯域が制限される。したがってひっ迫しているマイクロ波帯での広帯域システムの構築は不可能であり、ミリ波帯などの高周波域の利用が必要となる。しかし高周波装置の衛星搭載には技術的課題も多く現実性はまだ高くない。そこでこの問題に対処するため、現在空間光通信を用いたシステムの構築が検討されている。光通信は広帯域通信が可能であり、直進性が強く電波に対して与干渉、被干渉がなく、光ファイバ地上系の普及が進んでいることから装置の技術が高いため、高速宇宙通信の有力な候補として無線とともに併用されることが期待されている。実際宇宙分野の国際技術標準化団体である宇宙データシステム諮問委員会 (Consultative Committee for Space Data Systems: CCSDS) において、宇宙光通信の技術標準化を担うスペシャルインタレストグループが組織されており、このグループでは宇宙光通信技術標準化策定を目指して活動している。標準プロトコルを作成するためには適切な伝搬路モデルの作成と、そのモデルにおける有効な符号化設計が必要である。ところがこのように標準化の要求が高まっているにもかかわらず宇宙光通信はその難易度から実験実績が追い付いておらず、実質的に日本の宇宙航空研究開発機構 (JAXA)・情報通信研究機構 (NICT) が実施した OICETS 光通信衛星と欧州宇宙機関 (ESA) の ARTEMIS 光静止衛星によるものの2つしか結果がない。そのため汎用性の高い有効な伝送技術の確立はまだなされておらず、通信路符号化の最適な設定もまだ明らかにされていない。したがって、宇宙開発の進展に不可欠な高速通信の実現のためには、空間光伝搬路モデルの構築と、効果的な符号設計が求められているところであった。

2. 研究の目的

高速大容量な光衛星通信を実用化させるために、

(1) 空間光実験のデータ解析を行い、汎用性のある伝搬路モデルを確立すること。

(2) そのモデルを用いた、宇宙光通信に最適な通信路符号化手法を構築することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 空間光実験のデータ解析と汎用性のある伝搬路モデルの確立

NICT が保有している OICETS 実験の種々の受信生データを解析し、光衛星-地上間の伝搬路データの特性抽出を行う。また、解析した実験データ結果を元に宇宙光無線伝搬モデルをマルコフモデルをベースに構築する。

(2) 伝搬路モデルを用いた、宇宙光通信に最適な通信路符号化手法の構築

構築したモデルを用いて、高速空間光伝送に適した通信路符号化手法を設計する。今までの電波宇宙通信では、主にリードソロモン符号と2元の畳み込み符号を接続した誤り訂正符号が用いられていたが、高速光通信においては、復号計算量の多い手法では受信側への負担が極めて大きくなり、復号遅延も大きくなってしまふことから、電波通信の符号が最適とは言えない。そこで現在多元符号を構成し線形復号を行うことが光衛星通信では考えられている。本研究においてもこの考えを用い、多次元の長消失符号 (LDPC 符号も含む) と線形復号を構成し、新たに構築した伝搬路モデルに最適な符号設計を明らかにする。また接続時に用いる誤りパターンの分散機構であるインターリーブにも設計要素が含まれているため、この最適な構成も明らかにする。

また、JAXA・NICT では大型の超高速光衛星のアプローチとは別に、商用化への敷居が比較的安く、衛星のクラスター化が実現できる小型衛星の開発も行っている。小型衛星にも光通信機器を搭載することを検討しており、この通信への実装を前提にした、簡易に復号が可能な符号の設計の支援を行う。平成24年度以降に実施される予定の小型光衛星 10 Mbps 伝送実験に搭載するための実装作業において、研究代表者からソースプログラムの提供を行う。

4. 研究成果

(1) 空間光実験のデータ解析と汎用性のある伝搬路モデルの確立

光衛星通信リンクにおいて、送受信側のどちらかもしくは両方にポインティングと追尾の誤差が生じた場合、受信電力の低下が起こる。大気を通過しない衛星間リンクにおいては、この誤差による劣化が十分小さいときにはビット誤り率の十分低い通信が可能であることが OICETS-ARTEMIS 間の光衛星通信実験の結果により示された。したがって回線マージンを大きく取ることにより誤りの無い伝送が実現される。一方、大気を通過する地上-衛星リンク、および大気をかすめる衛星間通信リンクは、いくつかの要因によるフェージング通信路としてモデル化され、それが実態によく合致する。まず大気揺らぎによる受信電力の数 KHz 周期の短時間変動を受ける。大気揺らぎの影響はシンチレーションインデックスの値で規定され、変動がな

い場合は 0, 平均値より大きな変動がある場合は 1 を超える値を持つ. この値は受信側レンズの開口径と光の波長, 受信機的能力で変化し, 一般に大きな開口径を用いることで平均化効果が得られシンチレーションインデックスを低減させることができる. また, 衛星仰角により大気の大気厚さが変わるため, 低仰角時は信号減衰量が増える. このパスロス は晴天の場合

$$a_{\text{atmos}}(\varepsilon) = \frac{10}{\left(\frac{\lambda}{1550\text{nm}}\right)^2 \cdot (\varepsilon + 1)} \text{ dB} \quad (1)$$

で近似される. ここで ε は仰角であり, $\lambda = [850, 1064, 1550] \text{ nm}$ は光の波長である. すなわち減衰量は仰角と波長に依存する. さらに地上局の気象状況によっても影響を受け, 雲による遮蔽を受けると中長時間の減衰を受ける. その他リンク間を遮る航空機などの物体による数十秒の短時間遮蔽も存在する. 航空機の場合には目の保護のため能動的に信号送信を停止する場合もある. また昼間の伝送の際には太陽の強い背景光による雑音の影響を受ける. これらの内ビームポインティングエラーと追尾エラーについては, 送受信機の光学技術の設計により無視できる範囲に抑えることが可能であると報告されているが, 無視できない場合には制御のタイミング時間に沿った離散時間的に変動する誤差が加わる.

この衛星-地上通信路のモデル化も種々行うことが可能であり, それぞれの現象に確率モデルを適用し統合確率分布を算出することも可能である. 要素ごとのモデル化が正確であり現象の要素数も多いほど正確な光衛星通信リンクのモデル化が可能であると思われるが, 確率密度関数の導出が複雑になる. もう一つのアプローチは, 用いる通信方式に合わせた簡易な通信路モデルを用いる方法である. これは現象の再現性という意味では正確性に劣るが, 通信路符号化技術の性能評価などにおいては有効であると考えられ, 空間光通信における通信路符号化を検討した文献では簡素化したものも多い. 伝送速

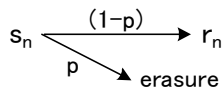


図1 ランダム消失通信路の離散時間モデル

度が数百 bps など比較的遅い場合は, シンチレーションの周期が数 KHz であることを踏まえ, 記憶のない通信路モデルでよく近似できることが示されている. また, 受信側の復号処理が硬判定の場合, 通信路を消失通信路として扱うことが検討されている. 図1に示すように等価低域系においては複素ベクトルにより送受信信号を表すことができ, n を時刻, 送信シンボルを s_n , 受信シンボルを r_n とする. 図に示すような記憶のないランダム消失通信路 (erasure channel: EC) では, 離散送信シンボルはランダムな確率 p で消失

し, $(1-p)$ の確率で正しく受信される. つまり受信された場合は $r_n = s_n$ と他のシンボルに誤ることは無いというモデルである. このモデル化を行うためには, 受信電力に閾値を設け, エラーフリーと見なすことのできる高い電力を閾値として設定し, それ以上を「正常受信」, 閾値未満を「消失」として受信側で扱う必要がある. 消失通信路として扱う利点は, 正常受信と判定した受信硬値信号をすべて正解として復号過程に用いることができる点であり, 一般的に低演算量の簡易な復号アルゴリズムを構成することが可能となる. さらに受信信号が硬値となるため, 通信路符号化と復号化処理を物理レイヤでなく上位レイヤで行うことも可能になるという点がある. 一方欠点としては, 閾値未満の信号をすべて消失として破棄してしまうことによる復号性能の劣化である. 切り捨てられた軟値情報の分の復号能力向上が得られないこ

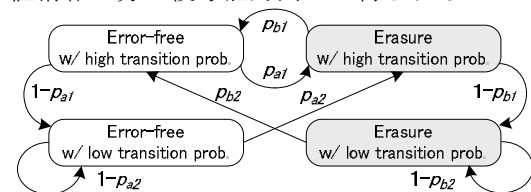
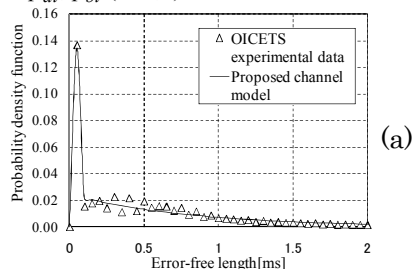


図2 OICETS 下り光リンクを模擬した4状態マルコフモデル

とになる. この劣化を抑えるためには閾値を適切な範囲で低くすることが有効であるが, 低すぎると「正常受信」に誤りが含まれてしまうことがあり, 受信側に誤り伝搬を引き起こして復号性能が大きく劣化してしまう.

一方, 伝送速度が上がると受信電力の落ち込みがバースト的になるため, 記憶のあるモデルで模擬されることが多い. 記憶のある消失通信路でのモデル化の場合, マルコフモデルなどの記憶のある伝搬路の状態に「正常受信」「消失」を用いることで実現できる. 我々は OICETS の通信実験における3回の衛星-地上上下りリンクの受信光電力特性を解析し, 4状態のマルコフモデルを提案した. OICETS は高度 610km の周回衛星であり, ダウンリンクは 53mW の $0.8\mu\text{m}$ 光を送信する. 地球局では受光電力が $23.5\mu\text{W}$ 以上であれば受信したマンチェスター型 2 値 PPM 信号をエラーフリーで復号できることが分かっていたため, 閾値を $23.5\mu\text{W}$ とし, 短変動と長変動状態の「正常受信 (LoS)」「消失 (NLoS)」状態を持つ図2のような4状態を構成した. ここで p_{ai}, p_{bi} ($i=1,2$) は状態遷移確率である.



(a)

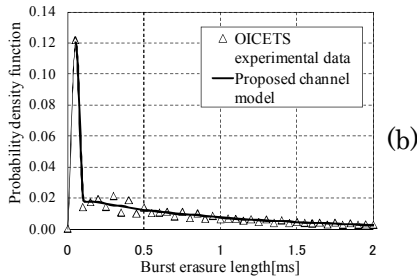


図3 OICETS 実験結果と提案モデルの確率密度関数：(a) LoS 分布，(b) NLoS 分布

この遷移確率を $p_{a1}=0.27, p_{b1}=0.24, p_{a2}=0.06, p_{a2}=0.05$ とした場合、OICETS 実験データの平均から求めた LoS, NLoS バースト長分布特性を図3に示す。このように短区間のピークと長区間の低確率分布に分かれていることが分かる。前者はシンチレーションの影響、後者は追尾誤差の影響と考えられる。そしてモデルと実験データが良く一致していることが確かめられた。

今後の光衛星通信路モデルとしては、ビームポインティングエラーと追尾エラーによるバースト的な落ち込みが技術的に解消可能であること、受信側の信号処理能力の向上により Gbps 級においても通信路符号化の軟値復号が可能になりつつあること、軟値情報の利用による復号性能のさらなる向上が求められていることなどから、次第に消失通信路でなく、ガウス雑音通信路などの軟値通信路モデルに収束すると考えられる。

(2) 伝搬路モデルを用いた、宇宙光通信に最適な通信路符号化手法の構築

4 状態マルコフ通信路における特性を評価する。図3のチャンネルモデルでは NLoS 確率がおおよそ 50%-60%の割合であったため、LDGM 符号の所要冗長度はおおよそ 70%、つまり符号化率が 0.3 程度となる。そのシミュレーション条件を表1に示す。伝送には符号語を W 個まとめて大きさ NW の S ランダムインターリーブを介し、バースト消失のランダム化による特性改善を図る。そのため W の伸長に伴い特性が改善されることが予想される。符号語数 W に対するハイブリッド復号のシンボル誤り率(SER)特性を図4に示す。なお受信側のチャンネル消失検出は完全と仮定し、信号の消失箇所をインターリーブ後も全て対応させる。 W の増加に伴い等価的なチャンネルがランダム消失通信路に近づき、誤り率特性が徐々に向上する。図4より、ハイブリッド復号は繰り返し復号に比べて訂正能力が優れていること、および符号化率 0.35では符号を 17 個以上、符号化率 0.30では符号を 7 個以上繋げる事により $SER=10^{-2}$ 実現出来ることが分かった。また図5に4状態マルコフチャンネル伝送時の繰り返し復号、ガウス消去法(Gaussian elimination: GE)復号、

ハイブリッド復号を行った場合の一符号語あたりの平均乗算回数を示す。符号化率は 0.25 とし、その他の条件は表2と同一である。結果より、GE 復号の平均乗算回数は

表1 LEO-GND 消失通信路における伝送特性のシミュレーション条件

Channel	4 state Markov
Transition Probability	pa1=27% pb1=24% pa2=6% pb2=5%
State condition	Los : error-free NLos : all lost
Transmission speed	1 [Mbps]
Cycle of fluctuation of channel	every 50bit
Code	LDGM staircase
Galois field	GF(2 ⁸)
Code length	N=1020
Code rate, (j,k)	0.30 (7,3), 0.35 (13,7)
Decoding	iterative decoding hybrid decoding
Number of codeword W	1 to 20
Interleaver	S random byte interleaver S=5
Channel estimation	Perfect

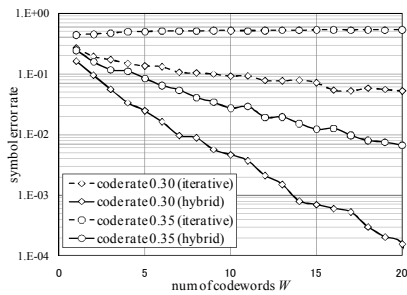


図4 LEO-GEO 消失通信路における LDGM 符号の誤り率特性

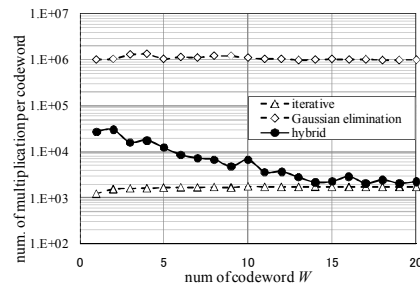


図5 LDGM 符号の各種復号手法における 1 語当たりの乗算回数特性

繰り返し復号の約 1000 倍と極めて大きいことが分かる。一方ハイブリッド復号の乗算回数は符号語の数 W が小さい領域では繰り返し復号の 10 倍以上であるが W が大きくなるにつれて両者の差は縮小し、 W が 10 以上の領域ではほぼ同一の計算量で済む事が分かる。よって繰り返し復号もしくはハイブリッド復号を用いる事で少ない演算量でも消失した信号の復元が可能であるといえる。

またこの結果を元に、NICT が平成 26 年度以降に打上げる予定の SOCRATES

(Space Optical Communications Research Advanced Technology Satellite) 衛星に搭載する小型光トランスポンダ (SOTA: Small Optical Transponder) に, LDGM 消失訂正符号を搭載する装置の設計についてソースプログラムの提供と符号構成検討の協力を行った.

さらに, LDGM 符号を, フィードバックなしで複数の伝送速度・品質のペアに切り替えることのできるマルチレート伝送に拡張した. これは, 送信局が QoS (quality of service) 要求や衛星の軌道に基づいて自由にレート切り替えを行うことができ, 伝送速度と品質をトレードオフで適応的に変更できるものであり, 計算機シミュレーション結果により受信側のモード誤りを抑え, 適応伝送が可能であることが明らかになった.

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 16 件)

1. H. Inoue, E. Okamoto, Y. Shoji, Y. Takayama, and M. Toyoshima, "Comparative Study on Low-Rate Forward Error Correction Codes in Downlink Satellite-to-Ground Laser Communications," Proc. 2014 International Conference on Space Optical Systems and Applications (ICSOS2014), 5 pages, May. 2014. 査読有
2. H. Takenaka, Y. Takayama, Y. Koyama, Y. Munemasa, E. Okamoto, M. Akioka, and M. Toyoshima, "Study on Coding Parameters for a Small Optical Transponder," Proc. 2014 International Conference on Space Optical Systems and Applications (ICSOS2014), 3 pages, May. 2014. 査読有
3. 岡本英二, 京拓磨, 井上拓昭, 荘司洋三, 高山佳久, 豊嶋守生, "[特別講演] 光衛星通信に適した通信路符号化とその展望," 信学技報, vol. 113, no. 32, SAT2013-5, pp. 25-30, May 2013.
4. T. Inoue, T. Kyo, E. Okamoto, Y. Shoji, Y. Takayama, and M. Toyoshima, "A LT-based multi-rate transmission scheme with fast decoding for satellite laser communication," Proc. 2012 International Conference on Space Optical Systems and Applications (ICSOS2012), 5 pages, Oct. 2012. 査読有
5. H. Takenaka, M. Toyoshima, Y. Takayama, Y. Koyama, M. Akioka, E. Okamoto, and T. Kyo, "Study on Error Coding Program for Implementation in SOTA," Proc. 2012 International Conference on Space Optical Systems and Applications (ICSOS2012), 3 pages, Oct. 2012. 査読有
6. 京拓磨, 岡本英二, 荘司洋三, 高山佳久, 豊嶋守生, "光衛星通信におけるインターリーブのブロックを基準としたマルチレート LDGM 符号化伝送に関する一検討," 信学技報, vol. 112, no. 191, SAT2012-27, pp. 55-60, Aug. 2012. 査読無
7. 岡本英二, 荘司洋三, 豊嶋守生, 高山佳久, "リピータモードによる誤り訂正符号の効果の実証実験," 情報通信研究機構季報, vol. 58, nos. 1/2, pp. 73-82, Jul. 2012. 査読有
8. E. Okamoto, Y. Shoji, M. Toyoshima, and Y. Takayama, "Transmission experiments on OICETS repeater mode for verification of channel coding effect," Journal of the national institute of information and communications technology, vol. 59, nos. 1/2, pp. 83-93, Mar./Jun. 2012. 査読無
9. 京拓磨, 岡本英二, 荘司洋三, 高山佳久, 豊嶋守生, "光衛星通信のためのマルチレート LDGM 符号化伝送におけるレート推定手法の改善," 信学技報, vol. 111, no. 437, SAT2011-70, pp. 31-36, Feb. 2012. 査読無
10. Y. Yamashita, E. Okamoto, Y. Iwanami, Y. Shoji, M. Toyoshima, and Y. Takayama, "A Markov-based satellite-to-ground optical channel model and its effective coding scheme," IEICE Trans. Commun., vol. E95-B, no. 1, pp. 254-262, Jan. 2012. 査読有
11. T. Kyo, E. Okamoto, Y. Shoji, Y. Takayama, and M. Toyoshima, "An efficient multi-relay transmission scheme using LDGM code for satellite burst erasure channel," Proc. AIAA International Communications Satellite Systems Conference (ICSSC-2011), AIAA2011-8045, pp. 1-12, Nov. 2011. 査読有
12. H. Takenaka, M. Toyoshima, Y. Shoji, Y. Takayama, Y. Koyama, M. Akioka, and E. Okamoto, "Evaluation of the optical communication system for Small Optical Transponder (SOTA) based on the laboratory test," Proc. International Astronautical Congress (IAC), IAC-11.B2.2.10, 5 pages, Oct. 2011. 査読有
13. 岡本英二, 京拓磨, 荘司洋三, 高山佳久, 豊嶋守生, "[依頼講演] 低軌道衛星-地上間光通信リンクのチャネルモデル化と LDGM 符号化による性能向上," 信学技報, vol. 111, no. 179, SAT2011-16, pp. 1-6, Aug. 2011. 査読無
14. 京拓磨, 岡本英二, 荘司洋三, 高山佳久, 豊嶋守生, "光衛星通信のための LDGM 符

号を用いたマルチホップ協調通信に関する一検討,” 信学技報, vol. 111, no. 179, SAT2011-17, pp. 7-12, Aug. 2011. 査読無

15. 岡本英二, 松尾裕孝, 京拓磨, 荘司洋三, 高山佳久, 豊嶋守生, “光衛星-地上リンクに適した LDGM マルチレート伝送方式の一検討,” 信学技報, vol. 111, no. 179, SAT2011-18, pp. 13-17, Aug. 2011. 査読無
16. H. Matsuo, E. Okamoto, Y. Iwanami, Y. Shoji, M. Toyoshima, and Y. Takayama, “Multi-rate low density generator matrix code for optical satellite communications,” Proc. IEEE Int’l Conf. on Space Optical Systems and Applications (ICSOS), pp. 350-354, May 2011. 査読有

[学会発表] (計 8 件)

1. 井上拓昭, 岡本英二, 荘司洋三, 高山佳久, 豊嶋守生, “下りリンク光衛星通信に適した低符号化率消失訂正符号の一検討,” 第 57 回宇宙科学技術連合講演会講演集, 1H09, 5 pages, Oct. 2013.
2. 岡本英二, “無線通信の長・短距離化と大容量化,” 第 7 回 Next30 産学フォーラム, 一般社団法人中部経済連合会, May 2013.
3. 井上拓昭, 京拓磨, 岡本英二, 荘司洋三, 高山佳久, 豊嶋守生, “地上-衛星間空間光通信に適するマルチレート LT 符号化伝送システムの一検討,” 2012 年信学会ソサイエティ大会, B-3-9, Sep. 2012.
4. E. Okamoto, “[Invited 2day lecture] Recent topics in wireless communication,” Chungbuk National University, Korea, May 2012.
5. 井上拓昭, 京拓磨, 岡本英二, 荘司洋三, 高山佳久, 豊嶋守生, “空間光通信における LT 符号を用いたマルチレート伝送の構築,” 2012 年信学会総合大会, B-3-7, Mar. 2012.
6. 井上拓昭, 岡本英二, “空間光通信における LT 符号を用いたマルチレート伝送の構築,” 信学会東海支部卒業研究発表会, 0A-13, Mar. 2012.
7. 京拓磨, 岡本英二, 荘司洋三, 高山佳久, 豊嶋守生, “マルチレート LDGM 符号のブラインドレート推定に関する検討,” 2011 年電気関係学会東海支部連合大会, B1-3, Sep. 2011.
8. 京拓磨, 岡本英二, 荘司洋三, 高山佳久, 豊嶋守生, “バースト消失通信路に有効な LDGM 符号のレート推定アルゴリズム,” 2011 年信学会ソサイエティ大会, B-3-14, Sep. 2011.

[産業財産権]

○出願状況 (計 2 件)

1. 名称: 送受信システム

発明者: 岡本英二, 京拓磨, 荘司洋三, 豊嶋守生, 高山佳久

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特許願 2012-181794 号

出願年月日: 24 年 8 月 20 日

国内外の別: 国内

2. 名称: マルチレート線形符号のレート推定方法及び送受信装置

発明者: 岡本英二, 京拓磨, 荘司洋三, 豊嶋守生, 高山佳久

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特許願 2012-044113 号

出願年月日: 24 年 2 月 28 日

国内外の別: 国内

○取得状況 (計 1 件)

名称: 衛星-地上間光通信特性シミュレータ

発明者: 荘司洋三, 高山佳久, 豊嶋守生, 岡本英二, 山下善稔

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特許第 5526432 号

取得年月日: 26 年 4 月 25 日

国内外の別: 国内

[その他]

研究協力者の受賞 3 件

1. 京拓磨, 「誤り訂正符号化技術を用いた光衛星通信の高効率化に関する研究」平成 24 年度電子情報通信学会東海支部学生研究奨励賞受賞, Jun. 2013.
2. 京拓磨, 第 2 回衛星通信研究賞, 電子情報通信学会衛星通信研究会, Aug. 2012.
3. T. Kyo, E. Okamoto, Y. Shoji, Y. Takayama, and M. Toyoshima, “An efficient multi-relay transmission scheme using LDGM code for satellite burst erasure channel,” Proc. AIAA International Communications Satellite Systems Conference (ICSSC-2011), AIAA2011-8045, pp. 1-12, Nov. 2011. 【Best Student Paper Award】

ホームページ等

<http://okamoto.web.nitech.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡本 英二 (OKAMOTO, Eiji)

名古屋工業大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号: 10358963