

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 23 日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560445

研究課題名(和文) カラー成分の非線形写像を伴う映像オドメトリのためのビット深度階層符号化

研究課題名(英文) Bit depth layered coding with nonlinear mapping of color image components for visual odometry

研究代表者

岩橋 政宏 (Iwahashi, Masahiro)

長岡技術科学大学・工学部・教授

研究者番号：30251854

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)：災害現場にクローラ型ロボットを投入して環境情報を取得する際、ロボットの操縦を全て人に依存するのでは無く、出来るだけ自律的に走行できるロボットが要求される。これまでに半自律的に走行できるロボットは数多く開発されているが、基本的にはロボット単体として動作する場合が多い。これに対し、複数のロボットを連携させてミッションを遂行するには、ロボット間の通信にかかる課題を解決する必要がある。本課題では、ロボット間通信に適用した階層符号化と非線形色彩写像による映像オドメトリを用いた、新しいロボット間映像通信方式を開発している。これにより、災害現場における仮設の通信網における通信障害の問題が回避可能となる。

研究成果の概要(英文)：In case of retrieving environmental information with a crawler robot in a disaster site, it is required to use a robot which can automatically find its own pass as precise as possible. This research also considers collaboration among many such robots via a temporary internet communication system in the disaster site. Introducing the layered coding system especially tuned for robot-to-robot communication, it became possible to avoid congestion problem of packet transmission. It also became possible to realize precise visual odometry introducing the nonlinear color mapping.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学

キーワード：画像

### 1. 研究開始当初の背景

人が入れない災害現場にクローラ型ロボットを投入し、環境情報を取得する上で、人による操作に全てを依存するのでは無く、出来るだけ自律的に走行できる、ロボットシステムが必要とされている。

民生品としては、自律的に走行して部屋を掃除できるロボットが開発されている。これは、基本的にはロボット単体として動作するものであり、複数のロボットを連携させてミッションを遂行するには、ロボット間の通信にかかる課題を解決する必要がある。とくに、個々のロボットが取得したデジタル映像を通信するには、災害現場における仮設の通信網では、パケットの輻輳が生じ、通信が不安定となる問題が発生する。

### 2. 研究の目的

具体的な状況として、カメラから取得した映像に基づき自己位置を推定し(映像オドメトリ)、自律的に走行できる探査ロボットをレスキュー現場に複数台配備する場合を考える。この際、伝送される膨大な映像データが、通信路の限られた伝送容量を圧迫し、通信が不安定となる問題が生じる。

本課題では、自己位置推定に必要な最小の成分のみを抽出して伝送することで、データ量を大幅に圧縮できる機能的階層符号化に、カラー成分の非線形写像と、ビット深度の類別符号化を新たに導入する。これにより、特徴点が不明確な床面上での、安定した自律走行を実現する。

また、本課題では、「非線形写像」を新たに導入することで位置推定を安定化させる。この際、RGB カラー成分の無相関化を併用することで僅かな模様を顕在化させる。以上により、特徴点が不明確な床面上や屋外での安定した自己位置推定を実現する。また、「ビット深度の類別」符号化を導入することで、更なるデータ圧縮を実現する。

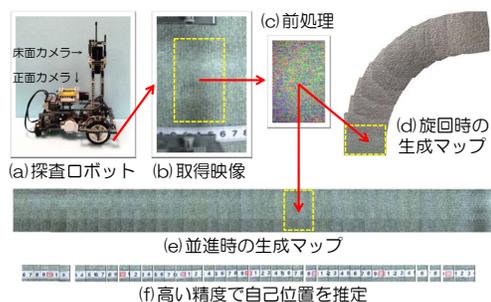


図1 カラー画像による映像オドメトリ

### 3. 研究の方法

主成分分析 (PCA) により RGB カラー成分を無相関化することで、マップ生成の安定性を大幅に向上できることが、既に実験的に確認されている。本課題では、これを非線形写像として一般化し、複数の色成分を少数の

成分に集約させ、更に、オドメトリの有効成分を上位ビットに集約させる。既に成功しているカーペット上でのマップ生成を、より特徴の少ないコンクリートに適用する。また、外乱光を遮蔽し、高輝度 LED 照明を装備、あるいは高解像度カメラを活用する。

既に、下位ビットがスパースな信号に対する類別符号化の効果が確認されている。これに基づき、本課題では、このスパース性を制御可能なトーンマッピングの設計方法を研究する。ノルム最適化の他にも、全探索を試みるか、ヒューリスティックな手法を試みる。

既に、簡易なロボットを LEGO で作成し、カーペット上でのマップ生成が可能な状況である。本課題では、先行車が予め生成したマップ上で、後続車の走行経路を遠隔指定し、自律走行させる。高速走行が困難な場合は、静的運動において、静止画像によるコマ撮りを行う。

4つの色成分 (RG1G2B) と 12 bit のビット深度を持つ RAW 画像を用い、視認性の高いトーンマッピング方法を研究する。非線形写像として一般化し、高圧縮率かつ可逆なトーンマッピングを新規に提案する。

4つの色成分と 12 bit のビット深度へと、より少ない成分とビット深度への集約法を開発する。その際、人の目に対する鮮明度ではなく、自己位置推定の精度により判定する基準を考案する。更に、データ圧縮の観点も考慮することで、映像オドメトリに特化した階層符号化を開発する。

実証フィールドを、室内から室外へ、更には屋外へと拡張する。但し、晴天か曇天時に限定。カーペット上から、コンクリートやレンガ敷きの道などへ。可能であれば獣道を走行させる。

アドホック通信により、電波の中継にロボットを活用し、より遠隔での操作を実証試験する。多数のロボット中継が困難な場合は、少なくとも2台のロボットによる連携運用を実施する。屋上などの危険個所での、安全な自律走行を実現することで、実用上の有意性を示す。

無線 LAN ネットワークカメラ、および高速無線 LAN ルータを、既存のロボットに装備する。小型映像処理器、および映像処理用コンピュータ本体を、ロボットに搭載する。クローラ型ロボットに、ネットワークカメラおよび高速通信装置を装備する。小型映像処理装置をフィールド試験用に拡張する。映像処理用コンピュータ本体の能力を向上させるため、ソフトウェア開発環境である Matlab を更新する。国内外の学術集会において研究成果を発表する。研究成果を論文出版する。

### 4. 研究成果

主成分分析 (PCA) により、RGB カラー成分を無相関化することで、映像オドメトリにおけるマップ生成の安定性を、大幅に向上できることを実験的に確認した。これを非線形

写像として一般化し、オドメトリの有効成分を上位ビットに集約させた。また、カラー画像の色変換法として、固有変換を適用することで、複数の色成分を少数の成分に集約させ、既に成功しているカーペット上でのマップ生成を、より特徴の少ないコンクリート上の走行ケースに適用した。

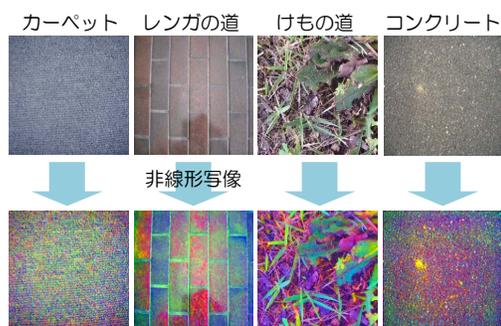


図2 多方向多色照明によるマップ生成

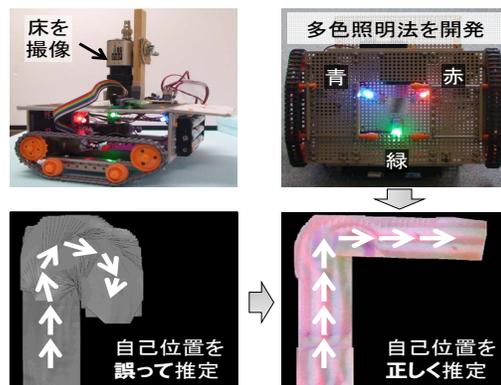


図3 多方向多色照明によるマップ生成

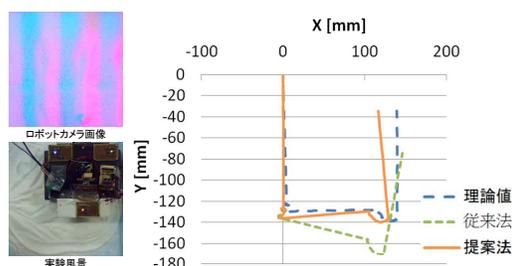


図4 自己位置推定の精度比較

圧縮伝送については、下位ビットがスパースな信号に対する類別符号化の効果を確認した。このスパース性を制御可能な、トーンマッピングの設計方法を研究した。簡易なロボットをLEGOで作成し、カーペット上でのマップ生成に成功した。先行車が予め生成したマップ上で、後続車の走行経路を遠隔指定し、自律走行させる方法を研究し、課題の抽出と対応方法の研究開発を実施した。

また、より少ない成分とビット深度への集

約法について研究した。その際、人の目に対する鮮明度ではなく、自己位置推定の精度により判定する基準を利用した。更に、データ圧縮の観点も考慮することで、映像オドメトリに特化した階層符号化を提案した。

認識処理については、4つの色成分(RG1G2B)と、12bitのビット深度を持つRAW画像を用い(標準は3色8bit)、視認性の高いトーンマッピング方法を研究した。非線形写像として一般化し、高圧縮率かつ可逆なトーンマッピングを新規に提案した。実証フィールドを、カーペット上からコンクリートやレンガ敷きの道など、室内から室外へと適用範囲を拡張した。

また、主成分分析に基づくカラー成分の無相関化により、マップ生成の安定性を向上できることを確認し、学会発表できた。多方向・多色照明を採用することで、映像オドメトリを更に安定化できることを確認し、学会発表でき、IEEE CAS 学生表彰を受賞した。スパースな信号に対する高能率符号化方法を提案し、学会発表できた。簡易なロボットをLEGOで作成し、マップ生成に成功した。

本研究課題の成果は、危険個所における、ロボットの安全な自律走行を実現に寄与するものである。例えば、屋上における有害鳥の監視などに応用できる。その他、工場やビルの「一時的」な夜間見回りや、有害鳥獣に対する「移動案内」等へも応用できる。

#### 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5件)

1. S. POOMRITIGUL, M. OGAWA, M. IWAHASHI, H. KIYA, "Reversible Color Transform for Bayer Color Filter Array Images", the APSIPA Transactions on Signal and Information Processing, vol.2, pp.1-10, Sept. 2013.
2. H. KIYA, H. KOBAYASHI, M. IWAHASHI, "Weighted Median Cut Quantization and its Applications for Images with Sparse Histogram", IEICE Trans. Fundamentals, Vol. J96-A, No.7, pp.462-470, July 2013.
3. M. IWAHASHI, H. KIYA, "Avoidance of Singular Point in Integer Orthonormal Transform for Lossless Coding", IEEE Trans. on Signal Processing, vol.60, no.5, pp.2648-2653, May 2012.
4. M. IWAHASHI, H. KIYA, "Reversible 2D 9-7 DWT based on Non - Separable 2D Lifting Structure Compatible with Irreversible DWT", IEICE Trans. on Fundamentals, E94-A, No.10, pp.1928-1936, Oct. 2011.
5. N. MOKHTAR, H. AROF, M. IWAHASHI,

“Real Time Eyeball Tracking via Derivative Dynamic Time Warping for Human Machine Interface”, International Journal of Innovative Computing, Information and Control, pp. 4335-4346, vol.7, no.7, July 2011.

[学会発表] (計 48 件)

1. T. ORACHON, M. IWAHASHI, "Compression of Medical Volumetric Data Using Lossless Non Separable Discrete Wavelet Transform", IT-4-3, The International Conference on Energy, Environment and Human Engineering (ICEEHE), Dec. 2013.
2. 伊藤麗良, 岩橋政宏, 貴家仁志, "フォーマット変換を用いた HDR 画像に対するロスレスビット深度スケーラブル符号化", 電子情報通信学会, 第 28 回信号処理シンポジウム, B3-1, pp.440-445, Nov.21, 2013.
3. 長谷川治郎, 伊藤麗良, 岩橋政宏, 貴家仁志, "ヒストグラム・パッキングを用いた HDR 画像のロスレスビット深度スケーラブル符号化", 電子情報通信学会, 第 28 回信号処理シンポジウム, P2-16, pp.295-300, Nov.21, 2013.
4. T. DOBASHI, T. MUROFUSHI, M. IWAHASHI, H. KIYA, "A Fixed-Point Tone Mapping Operation for HDR Images in RGBE Format", Asia-Pacific Signal and Information Processing Association 2013 Annual Summit and Conference (APSIPA), OS.37, IVM.16, no.4, pp.1-4, Oct. 2013.
5. M. IWAHASHI, T. ORACHON, H. KIYA, "Non Separable 3D Lifting Structure Compatible with Separable Quadruple Lifting DWT", Asia-Pacific Signal and Information Processing Association 2013 Annual Summit and Conference (APSIPA), OS.26, IVM.11, no.4, pp.1-4, Oct. 2013.
6. M. IWAHASHI, H. KIYA, "Error Equalization for High Quality LDR Images in Backward Compatible HDR Image Coding", Asia-Pacific Signal and Information Processing Association 2013 Annual Summit and Conference (APSIPA), OS.10, IVM.5, no.2, pp.1-4, Oct. 2013.
7. M. IWAHASHI, S. POOMRITTIGUL, H. KIYA, "Lossless Transform with Functionality of Thumbnail Previewing", Asia-Pacific Signal and Information Processing Association 2013 Annual Summit and Conference (APSIPA), OS.48, SIPTM.5, no.1, pp.1-4, Oct. 2013.
8. 南遥, 岩橋政宏, "多色照明下における彩度情報を用いた映像オドメトリ", 電子情報通信学会, 信越支部大会, no.6B-3, pp.93, Oct.5, 2013.
9. 吉田苗朗, 岩橋政宏, "PV パネル上における射影変換を用いた映像オドメトリの開発", 電子情報通信学会, 信越支部大会, no.6B-4, pp.94, Oct.5, 2013.
10. 柴田拓也, 岩橋政宏, "HDR 画像データの高効率符号化", 電子情報通信学会, 信越支部大会, no.6C-2, pp.97,
11. 伊藤麗良, 長谷川治郎, 岩橋政宏, 貴家仁志, "可逆対数写像とヒストグラム・パッキングを用いた HDR 画像のロスレス二階層符号化", 電子情報通信学会, 信越支部大会, no.6C-4, pp.99, Oct.5, 2013.
12. M. IWAHASHI, T. ORACHON, H. KIYA, "Three Dimensional Discrete Wavelet Transform with Deduced Number of Lifting Steps", IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), no.WA.L4, pp.1651-1654, Sept. 2013.
13. M. IWAHASHI, H. KIYA, "Two Layer Lossless Coding Of Hdr Images", IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP), pp.1340-1344, May 2013.
14. CHEW YIN PING, T. SHIBATA, M. IWAHASHI, H. KIYA, "Lossless Bit Depth Scalable Coding for Floating Point Images", International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT), 2C-5, pp.169-174, Jan. 2013.
15. 岩橋政宏, "ハイダイナミックレンジ画像符号化におけるトーンマッピング関数の特異性に起因する問題について", 生体情報処理と高度情報処理シンポジウム, G-3, pp.129-134, Jan. 2013.
16. 伊藤麗良, 岩橋政宏, "可逆対数写像を用いた HDR 画像のロスレス二階層符号化", 生体情報処理と高度情報処理シンポジウム, P-37, pp.281-284, Jan. 2013.
17. 柴田拓也, 岩橋政宏, "浮動小数点で表現された HDR 画像のためのロスレス符号化", 生体情報処理と高度情報処理シンポジウム, P-39, pp.289-292, Jan. 2013.
18. 橋詰直輝, 岩橋政宏, "有限語長化誤差を考慮した整数型 KLT の構成", 生体情報処理と高度情報処理シンポジウム, P-40, pp.293-296, Jan. 2013.
19. 南遥, 江崎諒介, 岩橋政宏, "多色照明を用いた位置推定システムに関する研究", 生体情報処理と高度情報処理シンポジウム, P-42, pp.301-304, Jan. 2013.
20. 五十嵐徹, 岩橋政宏, "ヒストグラムに疎性を持つ HDR 画像の高効率データ圧縮", 生体情報処理と高度情報処理シンポジウム, P-43, pp.305-308, Jan. 2013.
21. SUVIT POOMRITTIGUL, M. IWAHASHI, "Transcoding between Lossy Coding and Lossless Coding based on JPEG2000", 生体情報処理と高度情報処理シンポジウム, P-44, pp.309-312, Jan. 2013.

22. CHEW YIN PING, M. IWAHASHI, H. KIYA, "Lossless Bit Depth Scalable Coding for Floating Point Images", 生体情報処理と高度情報処理シンポジウム, P-45, pp.313-316, Jan. 2013.
23. 江崎諒介, 南遥, 岩橋政宏, "多方向色照明下における映像オドメトリの伝送量削減", 電子情報通信学会, 画像工学研究会, Dec. 2012.
24. M. IWAHASHI, H. KIYA, "Efficient lossless bit depth scalable coding for HDR images", Signal & Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA ASC), OS49 IV17, no.77, pp.1-4, Dec. 2012.
25. 伊藤麗良, 岩橋政宏, 貴家仁志, "浮動小数点画像に対するロスレスなビット深度スケラブル符号化", 第27回 信号処理シンポジウム, A7-22, pp. Nov. 2012.
26. 江崎諒介, 南遥, 岩橋政宏, "DCT 係数の正負符号を用いた位置推定における回転量検出の評価", 電子情報通信学会, 信越支部大会, 6C-4, pp.104, Oct.2012.
27. 南遥, 江崎諒介, 長谷川治郎, 竹下弘毅, 岩橋政宏, "多方向多色照明を用いた映像オドメトリの実環境における評価", 電子情報通信学会, 信越支部大会, 5A-3, pp.78, Oct.2012.
28. 五十嵐徹, 岩橋政宏, 貴家仁志, "復号時の誤差増幅を回避する重み付きメディアンカット量子化 - 疎ヒストグラム画像の高画質なデータ圧縮 -", 電子情報通信学会, 信学技報, IE2012, vol.65, pp.7-12, Oct. 2012.
29. M. IWAHASHI, H. KOBAYASHI, H. KIYA, "Fine Rate Control and High SNR Coding for Sparse Histogram Images", Picture Coding Symposium (PCS), pp.205-209, May 2012.
30. 岩橋政宏, 貴家仁志, "ハイダイナミックレンジ画像のための二階層ロスレス符号化", 映像情報メディア学会 技術報告 ITE Technical Report, vol.36, no.21, pp.17-20, IST2012-33, June 11, 2012.
31. M. IWAHASHI, H. KOBAYASHI, H. KIYA, "Lossy Compression of Sparse Histogram Image", IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP), pp.1361-1364, March 30, 2012.
32. 岩橋政宏, "自律走行ロボットのための床映像ビジュアルオドメトリ", 生体情報処理と高度情報処理, pp. G-3, pp.113-120, Jan.2012.
33. 相原克哉, 岩橋政宏, "多方向多色照明を用いた影情報抽出による映像オドメトリ", 生体情報処理と高度情報処理, P-34, pp. 243-246, Jan.2012.
34. 五十嵐徹, 岩橋政宏, "タイトル:4つの色成分を持つ Bayer 配列画像の可逆圧縮", 生体情報処理と高度情報処理, P-36, pp.251-254, Jan.2012.
35. 江崎諒介, 岩橋政宏, "多色照明を用いた位置推定システムに適した画像の RGB 成分の伝送量削減", 生体情報処理と高度情報処理, P-37, pp.255-258, Jan.2012.
36. 相原克哉, 江崎諒介, 岩橋政宏, 木村哲也, "多方向多色照明下における影情報を用いた映像オドメトリ", 電子情報通信学会, PRMU 実世界センシングとその応用 (VR 学会 SIG-MR と共催), PRMU2011-174, MVE2011-83, pp.285-290, Jan., 2012.
37. 本庄悠, 岩橋政宏, "ロボットの遠隔操縦のための顔方向による直感的ウィンドウ切替え操作の検討", 電子情報通信学会, PRMU 実世界センシングとその応用 (VR 学会 SIG-MR と共催), PRMU2011-177, MVE2011-86, pp301-304, Jan., 2012.
38. 相原克哉, 江崎諒介, 岩橋政宏, 木村哲也, "多方向多色照明を利用した自律走行ロボットのための映像オドメトリ", 第26回 信号処理シンポジウム, pp. 302-307, Nov. 2011.
39. 五十嵐徹, 小川公則, 岩橋政宏, "疎ヒストグラム画像の非可逆圧縮のための階調写像", 電気学会東京支部新潟支所, 研究発表会, Nov. 2011. 【優秀発表賞】
40. M. OGAWA, T. IKARASHI, M. IWAHASHI, "Lossless Color Component Transform for Data Compression", 電気学会東京支部新潟支所, IEEE session, 研究発表会, Nov. 2011.
41. M. IWAHASHI, M. OGAWA, H. KIYA, "Lossless Integer Color Transform for Four Color Components," IEEE Circuits and Systems Society, Visual Communications and Image Processing (VCIP), pp.1-4, Nov.7, 2011.
42. 相原克哉, 江崎諒介, 南遥, 岩橋政宏, "多方向多色照明による形状取得を用いた映像オドメトリ", 電子情報通信学会 信越支部大会, 5D-1, pp.91, Oct. 2011.
43. 江崎諒介, 相原克哉, 岩橋政宏, "マップ共有システムにおける DCT 係数の量子化と正負符号を用いた伝送量削減", 電子情報通信学会 信越支部大会, 5D-2, pp.92, Oct. 2011.
44. 小川公則, 五十嵐徹, 岩橋政宏, "整数型カルーネン・レーベ変換による RAW 画像の可逆圧縮", 電子情報通信学会 信越支部大会, 5A-3, pp.79, Oct. 2011. 【学生奨励賞受賞】
45. 五十嵐徹, 岩橋政宏, "ヒストグラムの疎性を利用したトーンマッピング手法の比較", 電子情報通信学会 信越支部大会, 5A-5, pp.80, Oct. 2011.

46. M. IWAHASHI, H. KIYA, "Regularity Guaranteeing Implementation of DWT Designed under Lifting Structure", Asia-Pacific Signal and Information Processing Association 2011 Annual Summit and Conference (APSIPA), Wed-AM.RS12, pp.1-4, Oct.19.2011.
47. 相原克哉, 江崎諒介, 岩橋政宏, 木村哲也, "多方向多色照明下における色情報を用いた映像オドメトリ", 第 13 回 DSPS 教育者会議, pp.6-11, Sept. 2011. 【IEEE Circuits and System Best Student Demonstration Award 受賞】
48. S. SAMSUDIN, N. MOKHTAR, H. AROF, F. IBRAHIM, M. IWAHASHI, "Blind User Indoor Environment Mapping System for Self-Localization", IEEE International Conference on Computer and Commun. Devices (ICCCD), no.57, pp.497-500, May 2011.

〔図書〕(計 3 件)

1. M. IWAHASHI, H.Kiya, "Discrete Wavelet Transforms", InTech, ISBN 978-953-307-313-2, Chapter 14, "Condition on Word Length of Signals and Coefficients for DC Lossless Property", pp.231-254, Sept. 2011.
2. 岩橋政宏, 電子情報通信学会, 「知識ベース: 知識の森」、2 群(画像・音・言語), 5 編, 10 ページ、(全 18 群 140 編)
3. M. IWAHASHI, H. Kiya, "Discrete Wavelet Transforms", InTech, ISBN 980-953-307-580-3 の中の 1 章, " Non Separable Two Dimensional Discrete Wavelet Transform for Image Signals", ISBN 980-953-307-580-3, Aug. 2012.

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 1 件)

名称: 「有害鳥類の数及び停留位置の確定方法及びその確定装置並びに有害鳥類の防除法」

発明者: 岩橋政宏、湯川高志、吉田昌弘、柳和久、山本麻希

権利者: 長岡技術科学大学

種類: 特許

番号: 特願 2009- 297779

出願年月日: 平成 21 年 12 月 28 日

国内外の別: 国内

○取得状況 (計 6 件)

名称: 「流水領域検出システム、流水領域検出方法、及びプログラム」

発明者: 岩橋政宏、今井裕二

権利者: 長岡技術科学大学

種類: 特許

番号: 特許登録番号第 4677561 号

取得年月日: H23 年 2 月 10 日

国内外の別: 国内

名称: 「電力自立型河川監視装置」

発明者: 高橋勉, 白樫正高, 岩橋政宏, 坪根正, 木佐木麻央

権利者: 長岡技術科学大学

種類: 特許

番号: 特許登録番号第 4910134 号

取得年月日: H24 年 1 月 27 日

国内外の別: 国内

名称: 「流水領域検出システム、流水領域検出方法、及びプログラム」

発明者: 岩橋政宏、齋藤敦史

権利者: 長岡技術科学大学

種類: 特許

番号: 特許登録第 04910139 号

取得年月日: 2012 年 01 月 27 日

国内外の別: 国内

名称: 「画像処理システム、画像処理方法、及びプログラム」

発明者: 岩橋政宏

権利者: 長岡技術科学大学

種類: 特許

番号: 特許登録番号第 4839442 号

取得年月日: H23 年 10 月 14 日

国内外の別: 国内

名称: 「画像通信装置及び画像通信方法」

発明者: 岩橋政宏

権利者: 長岡技術科学大学

種類: 特許

番号: 特許登録番号第 4934808 号

取得年月日: H24 年 3 月 2 日

国内外の別: 国内

名称: 「映像伝送システム、映像伝送装置、映像伝送方法、探査ロボット、及びプログラム」

発明者: 岩橋政宏、木村哲也

権利者: 長岡技術科学大学

種類: 特許

番号: 特許登録番号第 5017646 号

取得年月日: 登録日 H24 年 6 月 22 日

国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1)研究代表者

岩橋 政宏 (IWAHASHI MASAHIRO)

長岡技術科学大学・工学部・教授

研究者番号: 30251854

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし