

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 8 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26540105

研究課題名（和文）構造色から光源方向と分光分布を実時間推定する二次元ARマーカ

研究課題名（英文）The Rainbow Marker: An AR Marker with Planar Light Probe from Structural Coloration

研究代表者

浦西 友樹 (Uranishi, Yuki)

大阪大学・サイバーメディアセンター・准教授

研究者番号：00533738

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、複合現実感環境における光学的整合性の向上のため、光源方向を実時間推定可能な構造色を用いた二次元カラーマーカを提案した。構造色とは、光の波長以下の微細構造が生み出す光路差に起因する光学現象による発色である。構造色は、視点と光源の方向に依存して、微細構造により光源光の光路長が変化し、それらの干渉によって観測される色が変化する特性を有しており、本研究ではこの特性を利用した。本研究では、一般光源環境において支配的な光源の方向および分光分布を実時間で推定する手法を開発した。さらに、構造色を実時間表現する拡張現実アプリケーションを作成し、提案手法の有効性を確認した。

研究成果の概要（英文）：In this research project, we proposed a method for estimating a direction of a light source for a Mixed Reality (MR) environment.

A structural color is a color produced by microscopically structured surfaces that vary in appearance according to the viewpoint, the direction and the spectrum of the light source. The proposed marker contains a planar material which causes structural coloration. The direction of the light source is estimated by structural color pattern matching between an input pattern and referential color patterns. Two types of the marker were implemented, with a grating sheet and with a holographic sheet, to demonstrate that the proposed method is applicable in the field of augmented/mixed reality.

研究分野：コンピュータビジョン

キーワード：複合現実感 光学的整合性 構造色

1. 研究開始当初の背景

実環境を撮影した映像にバーチャルな物体を実時間で重畳表示する拡張現実感 (Augmented Reality: AR) 環境において、宝石などが作り出す遊色、屈折や分光などの光学現象による見えの変化をバーチャルな物体で再現し、光学的整合性を維持するためには、シーンに存在する光源の方向や分光分布を実時間で推定することが望まれる。カメラを用いた実時間での光源方向推定については、金属球を用いる手法[Yasumuro2003]や、透明球を用いる手法[Aoto2012]が提案されている。しかしながらこれまでの手法では、光源の方向や色は推定可能であっても、シーンの分光分布を実時間で得ることは困難であった。

<引用文献>

[Yasumuro2003] 安室ら, “立体マーカを用いた実空間における仮想物体の調和的表現: インタラクティブ MR インテリアデザイン”, 映像情報メディア学会誌, Vol.57, No.10, pp.1307-1313, Oct. 2003.

[Aoto2012] 青砥ら, “中空透明球体上の鏡面反射光を用いた近接点光源位置の推定”, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU) 講演論文集, pp.1-8, Aug. 2012.

2. 研究の目的

本研究では、カメラ画像から光源の方向および分光分布を推定するための構造色マーカを提案する。図 1 に提案手法の概要を示す。構造色とは、光の波長以下の微細構造が生み出す光路差に起因する光学現象による発色である。構造色は、視点と光源の方向に依存して、微細構造により光源光の光路長が変化し、それらの干渉によって観測される色が変わる特性を有しており、本研究ではこの特性を利用する。本研究では、一般光源環境において支配的な光源の方向および分光分布を実時間で推定する手法を開発し、構造色を実時間表現する拡張現実アプリケーションを作成することを目標とする。

3. 研究の方法

構造色 (Structural Coloration) とは、薄膜や微粒子、微小な溝など、光の波長以下の微細構造により発生する光路差に起因する発色であり、光源環境が一定である場合でも、観測視点および光源の方向に依存して観測される色が変わる特徴を有している。構造色を呈する物体の例として、光ディスク、シャボン玉やモルフォ帳の翅が挙げられ、コンピュータグラフィックスのための構造色モデルがこれまでに提案されている [Okada2013][Sun2000][Saeki2006]。

本研究では構造色を発色する素材の一つである回折格子シートを用い、回折格子シート面で発生する構造色のパターンを観測することで、環境に存在する光源の方向を推定する手法を提案する。図 2 に提案した構造色マー

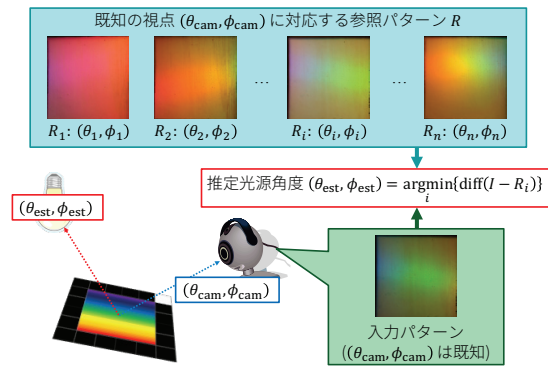


図 1 提案手法の概要

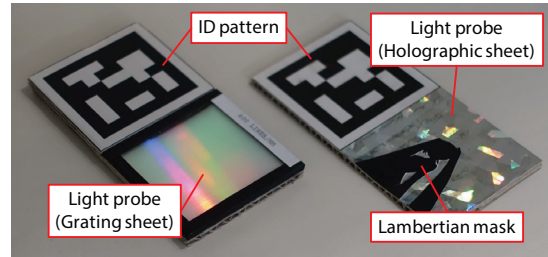


図 2 提案した構造色マーカ

カを示す。

① 参照パターンの撮影

観測される構造色パターンは、光源の方向、分光分布および視点の位置姿勢により決定される。本稿では、視点の位置姿勢 P_{cam} および光源の種類を固定し、マーカから見た光源の方向 (θ, ϕ) を変化させながら撮影した画像を参照パターンとして用いる。

② パターンマッチングによる光源方向推定

あるカメラ位置姿勢 P_{cam} においてマーカを撮影した画像から、回折格子シートが映り込んでいる領域を切り出し、入力パターン I とする。この入力パターン I と、事前に撮影した参照パターン R_i との相違度 d_i を求める。なお、本研究では RGB 表色系の値を用いて相違度 d_i を計算する。相違度 d_i が最小値 d_{min} となる i を探索し、 R_i を撮影したときの光線方向 (θ_i, ϕ_i) を推定光源方向 $(\theta_{est}, \phi_{est})$ とする。なお、上記の相違度を計算する際には、光源強度の影響を除去することが望ましい。そこで本研究では、参照パターンおよび入力パターンに対し、下記の処理を試みた。

- RGB 表色系で表された元画像をそのまま用いる
- いったん HSV 表色系に変換し、すべての画素において S および V の値を均一の定数とする平滑化処理を行い、RGB 表色系に逆変換した画像 (SV 平滑化画像) を用いる
- いったん $L^*a^*b^*$ 表色系に変換し、すべての画素において L^* の値を均一の定数とする平滑化処理を行い、RGB 表色系に逆変換した画像 (L^* 平滑化画像) を

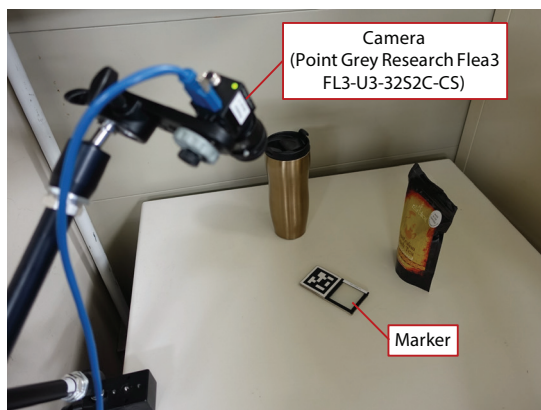


図 5 実験環境



図 4 提案手法による光源推定の様子
用いる

図 5 に示すような環境において、提案するマーカーを用いて光源方向を推定できるか確認した結果、提案手法による光源方向を実時間推定できることが示された。図 4 に提案手法による光源推定の様子を示す。

<引用文献>

[Okada2013] N. Okada et al., “Rendering morpho butterflies based on high accuracy nano-optical simulation”, *Journal of Optics*, Vol.42, No.1, pp.25–36, Mar 2013.

[Sun2000] Y. Sun et al., “Rendering iridescent colors of optical disks”, *Proceedings of the Eurographics Workshop on Rendering Techniques 2000*, pp.341–352, Jun 2000.

[Saeki2006] 佐伯ら, “光路差に着目した汎用的な構造色レンダリング手法”, *映像情報メディア学会誌*, Vol.60, No.10, pp.1593–1598, Oct 2006.

4. 研究成果

本研究の成果を年度別に述べる。

(1) 平成 26 年度

研究開始前の予定においては、シミュレーションおよび実際の観測により、提案手法の実現可能性を調査する予定であった。平成 26 年度においては、当初予定していた観測に加

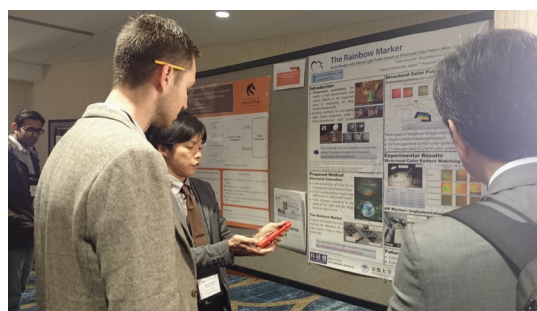


図 6 IEEE VR 2016 での発表



図 3 JP2016 でのデモ展示の様子

え、実測画像を用いたパターンマッチングベースの光源方向推定手法を実装し、単一の光源方向を推定可能であるか確認した。実験を行った結果、光源の分光分布が既知である暗室環境においては、提案手法により光源方向を推定できることが示された。

(2) 平成 27 年度

当初平成 27 年度に予定していた冷却 CCD による実験は、研究費および研究環境の問題から優先度を下方修正し、一般的な CCD カメラによる実験を行うこととした。しかしながら、暗室環境での予備実験および屋内光源環境での実験を経て、一般的な CCD カメラでも十分提案手法の検証が可能であることが確かめられたため、一般的な CCD カメラにより研究計画が進められた。一方で、当初は平成 27 年度の研究計画において構造色モデルの導入を挙げていたものの、この時点ではパターンマッチングを用いた光源方向推定アルゴリズムの実現に止まった。

なお、研究成果は IEEE Virtual Reality 2016 にてポスター発表された (図 6)。

(3) 平成 28 年度

平成 28 年度においては、1. 構造色モデルを用いた光源方向推定手法の提案、2. 複数の光源が存在する場合におけるそれぞれの方向や分光分布や推定可能性の考察、3. デモ用のアプリケーションの開発を目的とした。1. 構造色モデルを用いた光源方向推定手法の提案については、研究期間内での手法の確立には至らなかった。また、2. 複数の光源が存在

する場合におけるそれぞれの方向や分光分布や推定可能性の考察 についても構造色モデルの確立には至らず、提案手法のさらなる改良が求められる。今後は入力としてライトフィールドカメラを用いて構造色を観測することで、提案手法の改良を試みることを検討している。3. デモ用のアプリケーションの開発については、これまでの成果をもとにデモ用のアプリケーションを作成し、平成 28 年 6 月 23-25 日に大阪・インテックス大阪にて開催された JP2016 情報・印刷産業展において、提案手法のデモ展示を行った。デモ展示の様子を図 3 に示す。

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 7 件)

- [1] 浦西友樹, 丸山裕, 内藤知佐子, 岡本和也, 田村寛, 加藤源太, 黒田知宏, “失敗を可視化する採血トレーナ”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.22, No.2, 2017. 掲載決定
- [2] Y. Ideguchi, Y. Uranishi, S. Yoshimoto, Y. Kuroda, M. Imura and O. Oshiro, “Reconstruction of Smoke based on Light Field Consistency”, IEEJ Transactions on Sensors and Micromachines, Vol.136, No.12, pp.522-531,2016. DOI: 10.1541/ieejsmas.136.522
- [3] 井手口裕太, 浦西友樹, 吉元俊輔, 黒田嘉宏, 井村誠孝, 大城理, “ライトフィールドからの煙の空間濃度分布推定”, 映像情報メディア学会誌, Vol.70, No.7, pp.J146-J157, 2016. DOI: 10.3169/itej.70.J146
- [4] T. Karvonen, Y. Uranishi, T. Sakamoto, Y. Tona, K. Okamoto, H. Tamura and T. Kuroda, “Estimation of the Degree of Endolymphatic Hydrops Using Optical Coherence Tomography”, Advanced Biomedical Engineering, Vol.5, pp.19-25, 2016. DOI: 10.14326/abe.5.19
- [5] 三宅正夫, 眞鍋佳嗣, 浦西友樹, 井村誠孝, 黒田嘉宏, 大城理, “視覚障がい者のための色にもとづく服飾選択支援システム”, 生体医工学, Vol.53, No.5, pp.255-263, 2015. DOI: 10.11239/jsmbe53.255
- [6] S. Nagasaka, Y. Uranishi, S. Yoshimoto, M. Imura and O. Oshiro, “Haptic Interface with a Stylus for a Mobile Touch Panel”, ITE Transactions on Media Technology and Applications, Vol.3, No.4, pp.279-286, 2015. DOI: 10.3169/mta.3.279
- [7] 浦西友樹, 瀧澤洗, 吉元俊輔, 井村誠孝, 大城理, “視覚障がい者のための誘導音

を用いた線図形トレーシングシステム”, システム制御情報学会論文誌, Vol.28, No.5, pp.205-212, 2015. DOI: 10.5687/iscie.28.205

[学会発表] (計 38 件)

- [1] 津田直彦, 井村誠孝, “VR 技術を用いたフライ捕球訓練システム”, 情報処理学会第 79 回全国大会, 3ZF-01, 名古屋, 2017 年 3 月 17 日
- [2] 石川諒, 井村誠孝, “作業効率向上のための他者の存在感提示システム”, 情報処理学会第 79 回全国大会, 2Y-07, 名古屋, 2017 年 3 月 16 日
- [3] J. Thomason, P. Ratsamee, K. Kiyokawa, P. Kriangkamol, J. Orlosky, T. Mashita, Y. Uranishi and H. Takemura, “Adaptive View Management for Drone Teleoperation in Complex 3D Structures”, Proceedings of the 22nd International Conference on Intelligent User Interfaces (IUI2017), pp. 419-426, Limassol, Cyprus, 2017 年 3 月 13 日
- [4] 大城澄香, 井村誠孝, “バイノーラル再生を用いた英語学習における臨場感提示システムの構築”, インタラクシオン 2017, 東京, 2017 年 3 月 4 日
- [5] 林田賢二, 井村誠孝, “視線の動きに基づく英語多読支援”, インタラクシオン 2017, 東京, 2017 年 3 月 4 日
- [6] 藤原徹平, 井村誠孝, “二面直交リフレクタアレイを用いた視点追従空中ディスプレイ”, インタラクシオン 2017, 東京, 2017 年 3 月 2 日
- [7] 田村裕樹, 間下以大, 黒田嘉宏, 浦西友樹, 清川清, 竹村治雄, “狭帯域多波長画像ピラミッドを用いた生体マッチング方法の検討”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.116, No.412, pp.207-212, 京都, 2017 年 1 月 19 日
- [8] P. Raunonen, Y. Ideguchi, Y. Uranishi, M. Åkerblom, M. Kaasalainen, S. Yoshimoto, Y. Kuroda and O. Oshiro, “Virtual Reality Forest: Real Measured Trees and Enhanced Experience”, Proceedings of the EuroVR Conference 2016, Technical Session III, Athens, Greece, 2016 年 11 月 22 日
- [9] 井手口裕太, 浦西友樹, 吉元俊輔, 黒田嘉宏, 大城理, “光線収束性を用いた透明物体表面の五次元推定の高精度化”, 情報処理学会研究報告: コンピュータビジョンとイメージメディア, Vol.2016-CVIM-204, No.4, pp.1-8, 福岡, 2016 年 11 月 9 日
- [10] テチャサラトーン ナタオン, ラサミーポチャラ, 間下以大, 浦西友樹, 清川清, 竹村治雄, “投影型拡張現実によるパッキング支援システム”, 日本バーチャル

- リアリティ学会 複合現実感研究会, MR2016-12, 千歳, 2016年10月13日
- [11] 井村誠孝, “凝着モデルに基づく指腹部と対象物表面との接触シミュレーション”, 第21回日本バーチャルリアリティ学会大会, 筑波, 2016年9月14日
- [12] 大菅誠弥, 井村誠孝, 伊藤雄一, 岸野文郎, “スタイラスペンにおける筆記条件に応じた筆記感提示”, 第21回日本バーチャルリアリティ学会大会, 筑波, 2016年9月14日
- [13] A. Saito, M. Nakao, Y. Uranishi and T. Matsuda, “Deformation Estimation of Elastic Bodies Using Multiple Silhouette Images for Supporting Endoscopic Surgery”, Proceedings of 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2016) Late Breaking Research Posters Paper, Orlando, FL, United States, 2016年8月16日
- [14] T. M. Karvonen, Y. Uranishi, Tatsunori Sakamoto, Yosuke Tona, Kazuya Okamoto, Hiroshi Tamura and T. Kuroda, “3D Reconstruction of Cochlea Using Optical Coherence Tomography”, Proceedings of 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2016), pp.5905-5908, Orlando, FL, United States, 2016年8月16日
- [15] Y. Ideguchi, Y. Uranishi, S. Yoshimoto, Y. Kuroda and O. Oshiro, “5D Estimation of Transparent Object based on Light Field Convergence”, 第19回画像の認識・理解シンポジウム Extended Abstract, OS1-2, 浜松, 2016年8月1日
- [16] Y. Uranishi and M. Imura, “Estimation of Lighting Direction Based on Structural Coloration”, 第19回画像の認識・理解シンポジウム Extended Abstract, PS2-14, 浜松, 2016年8月1日
- [17] 福士雄太, 岡本和也, 岩尾友秀, 浦西友樹, 田村寛, 齊藤永, 加藤源太, 黒田知宏, “外来病棟における位置情報とオーダ情報を用いた患者待ち時間の分析”, 第60回システム制御情報学会研究発表講演会 論文集, 143-3, 京都, 2016年5月25日
- [18] 今中健, 岡本和也, 疋田智子, 岩尾友秀, 浦西友樹, 田村寛, 齊藤永, 加藤源太, 黒田知宏, “勤務表から抽出した制約条件を用いたナース・スケジューリングシステム”, 第60回システム制御情報学会研究発表講演会 論文集, 323-3, 京都, 2016年5月25日
- [19] 江指未紗, 中野友裕, 岩尾友秀, 浦西友樹, 岡本和也, 加藤源太, 齊藤永, 田村寛, 野間春生, 黒田知宏, “医療機器と病院情報システムを接続する試み”, 第55回日本生体医工学会大会 プログラム・抄録集, Vol.54, Suppl.1, p.140, 富山, 2016年4月26日
- [20] Y. Uranishi, M. Imura and T. Kuroda, “The Rainbow Marker: An AR Marker with Planar Light Probe based on Structural Color Pattern Matching”, Proceedings of the IEEE Virtual Reality 2016 (VR2016), pp.303-304, Greenville, SC, United States, 2016年3月21日
- [21] Y. Tani, K. Tobitani, M. Imura and N. Nagata, “Shitsukan-Sommelier, A Tool for the Personal Digital Fabrication in Near Future”, Proceedings of the International Conference on Digital Fabrication, Tokyo, Japan, 2016年3月3日
- [22] M. Imura and N. Nagata, Development of Finger-Surface Contact Simulation for Tactile Feeling of Fabricated Products, Proceedings of the International Conference on Digital Fabrication, Tokyo, Japan, 2016年3月3日
- [23] 村井裕樹, 井村誠孝, “食欲に影響を与える食卓照明システム”, 電子情報通信学会総合大会, 福岡, 2016年3月15日
- [24] 城隆之, 井村誠孝, “空間理解のためのインタラクティブ教育支援システム”, 電子情報通信学会総合大会, 福岡, 2016年3月15日
- [25] 丸山裕, 浦西友樹, 内藤知佐子, 岡本和也, 田村寛, 黒田知宏, “リスク想定学習のためのフィードバック情報を投影する採血シミュレータ”, 計測自動制御学会関西支部・システム制御情報学会若手研究発表会 講演論文集, E2-4, 大阪, 2016年1月8日
- [26] 井手口裕太, 浦西友樹, 吉元俊輔, 黒田嘉宏, 大城理, “辺縁での光学的部分恒常性に基づく透明物体の表面形状推定”, 情報処理学会研究報告: コンピュータビジョンとイメージメディア, Vol.2015-CVIM-199, No.11, pp.1-8, 兵庫, 2015年11月6日
- [27] J. Kawaguchi, Y. Ideguchi, Y. Uranishi, S. Yoshimoto, Y. Kuroda, M. Imura and O. Oshiro, “Oil Bubble Display: Oil Display for Flexible Interaction with Projected Images”, The 25th International Conference on Artificial Reality and Telexistence and the 20th Eurographics Symposium on Virtual Environments (ICAT-EGVE 2015) Demos, Kyoto, Japan, 2015年10月28日

- 日
- [28] A. Saito, M. Nakao, Y. Uranishi and T. Matsuda, “Deformation Estimation of Elastic Bodies Using Multiple Silhouette Images for Endoscopic Surgery”, Proceedings of the 14th International Symposium on Mixed and Augmented Reality, Poster, Fukuoka, Japan, 2015年9月30日
- [29] T. Karvonen, Y. Uranishi, T. Sakamoto, Y. Tona, K. Okamoto, H. Tamura and T. Kuroda, “Estimation of the Degree of Endolymphatic Hydrops Using Optical Coherence Tomography”, 生体医工学シンポジウム 2015 講演予稿集, p.134, 岡山, 2015年9月25日
- [30] 三宅正夫, 眞鍋佳嗣, 浦西友樹, 吉元俊輔, 井村誠孝, 黒田嘉宏, 大城理, “視覚障がい者のための色にもとづく服飾選択支援システム”, 生体医工学シンポジウム 2015 講演予稿集, p.93, 岡山 2015年9月25日
- [31] 丸山裕, 浦西友樹, 内藤知佐子, 岡本和也, 田村寛, 黒田知宏, “採血トレーニングのための穿刺位置に対する注射針の角度および深度推定”, 第15回日本VR医学会学術大会 抄録集, p.13, 京都, 2015年9月12日
- [32] T. Karvonen, Y. Uranishi, T. Sakamoto, Y. Tona, K. Okamoto, H. Tamura and T. Kuroda, “Segmentation of Cochlear Structure in Optical Coherence Tomography Images”, 第15回日本VR医学会学術大会 抄録集, pp.39-40, 京都, 2015年9月12日
- [33] Y. Ideguchi, Y. Uranishi, S. Yoshimoto, M. Imura and O. Oshiro, “Light Field Consistency for Spatial Density Estimation of Smoke”, 第18回画像の認識・理解シンポジウム Extended Abstract, SS1-9, 大阪, 2015年7月28日
- [34] 浦西友樹, 井村誠孝, 黒田知宏, 大城理, “光源方向推定のための構造色パターンマッチング”, 第59回システム制御情報学会研究発表講演会 論文集, 343-4, 大阪, 2015年5月20日
- [35] 丸山裕, 浦西友樹, 内藤知佐子, 岡本和也, 田村寛, 黒田知宏, “注射トレーニングのための腕型シミュレータへの解剖学的構造の投影”, 第59回システム制御情報学会研究発表講演会 論文集, 313-5, 大阪, 2015年5月20日
- [36] 井手口裕太, 浦西友樹, 吉元俊輔, 井村誠孝, 大城理, “平行投影近似のためのライトフィールドカメラへの補助レンズの追加”, 第59回システム制御情報学会研究発表講演会 論文集, 343-2, 大阪, 2015年5月20日
- [37] 井手口裕太, 川口純輝, 和田章宏, 浦西友樹, 吉元俊輔, 井村誠孝, 大城理, “Oil Bubble Display: 油の変形・結合・分離による 投影像の形状や色とのインタラクション”, インタラクション 2015 論文集, pp.1005-1009, 東京, 2015年3月5日
- [38] Y. Ideguchi, Y. Uranishi, S. Yoshimoto, M. Imura, O. Oshiro, “Reconstruction of Spatial Density of Smoke based on Light Field Consistency”, 第17回画像の認識・理解シンポジウム Extended Abstract, SS1-58, 岡山, 2014年7月28日
- [図書] (計1件)
- [1] 藤本雄一郎, 青砥隆仁, 浦西友樹, 大倉史生, 小枝正直, 中島悠太, 山本豪志朗 (著), “OpenCV 3 プログラミングブック”, マイナビ (2015.9)
- [その他]
ホームページ等
<https://sites.google.com/site/uranishi/>
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
浦西 友樹 (URANISHI, Yuki)
大阪大学・サイバーメディアセンター・准教授
研究者番号：00533738
- (2) 研究分担者
井村 誠孝 (IMURA, Masataka)
関西学院大学・理工学部・教授
研究者番号：50343273