

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 27 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2013～2016

課題番号：25240027

研究課題名（和文）ライトフィールドビジョン -画像理解のためのコンピューショナルフォトグラフィ-

研究課題名（英文）Light Field Vision - Computational Photography for Image Understanding

研究代表者

長原 一（Nagahara, Hajime）

九州大学・システム情報科学研究所・准教授

研究者番号：80362648

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 36,000,000円

研究成果の概要（和文）：近年、画像による物体認識が盛んに研究されており、実用化の期待も高い。従来の物体認識では、物体の輝度パターンを統計的に学習することで、異なる物体の見かけの違いを物体の違いとして判断していた。しかしながら、日常にはガラスやプラスチックで作られた透明物体があふれている。従来の画像認識では、背景による影響から透明物体の認識は不可能で、そのような物体は例外として扱われていた。本研究では、透明物体を画像により認識する問題に取り組んだ。LF画像を入力として用い、透明物体の屈折により生じる光線空間の歪みを特徴量とするLFD特徴を提案した。このLFDを用いて透明物体の識別やセグメンテーションを可能とした。

研究成果の概要（英文）：It is getting attention to recognize objects from a image. There are a lot of researches have been proposed and most of them uses statistical learning and recognition such as bag of features of intensity pattern of the object. However, this kind of approach cannot directly apply to transparent object recognition, since the appearance and the intensity patten of the object is drastically changed by background appearance. So the previous approach have been ignored the transparent objects from the target object. We proposed new approach and methods to handle the transparent objects in object recognition. We proposed light field distortion feature (LFD) for describing the object. The feature describes the distortion of light field caused by refraction of the transparent objects. We used the LFD feature and realized to object classification and segmentation of the objects as the applications.

研究分野：コンピューショナルフォトグラフィ

キーワード：コンピューショナルフォトグラフィ ライトフィールド 物体認識

1. 研究開始当初の背景

近年、コンピュータショナルフォトグラフィ(CP)と呼ばれる新しい研究分野が盛んに研究されている。CPは、カメラの光学系を工夫したり、撮像過程に計算機を導入することで、カメラの物理的な撮像限界を超えた計測を可能とする。本研究グループの長原、日浦、向川らは被写界深度の拡張やシーンや物体の形状推定、ライトフィールド取得、画像の鮮明化、半透明物体の計測など様々なCP手法の提案を行ってきた。本研究で用いるライトフィールドカメラもCP分野において提案され、自由視点画像や仮想的なリフォーカス画像の生成に用いられてきた。これらの例の様に、カメラハードウェアの改良のみでは実現が難しい、または画像処理だけでは解決が難しい問題を、CPではハードウェアとソフトウェアの改良を組み合わせることで容易に解決してきた。もともとCPは、コンピュータグラフィックス(CG)分野において提案されてきたため、CV分野とは異なりシーン中の物体の認識や厳密な形状推定はさておき、単に仮想的な見えを合成するビジュアライゼーションの応用ばかりに用いられてきた。一方でCV分野では、特に画像認識において公開データを用いた認識率競争が盛んであることから、入力を変えて問題解決をするアプローチはほとんど無かった。また、物体検出や形状計測に関しては光源やカメラ位置を厳密にコントロールしたり、多波長を用いるなど、個別の問題に対する計測の工夫はされてきたものの、体系的にまとめられてはこなかった。

2. 研究の目的

本研究では、ライトフィールドで画像理解を考える「ライトフィールドビジョン」(LFビジョン)を提案し、その有効性を実験的に示すことを目指している。LFビジョンでは、従来のカメラが撮像する2次元画像の制約を取り払い、シーン中の光線の集合であるライトフィールド(LF)全体から、体系的に現実世界を認識する枠組とする。LFは一般的には $I(s, t, x, y)$ の4次元関数で表され、3次元空間内でのシーンのあらゆる見え方(形状や明るさ・色)を高次元の光線情報として保持している。これに対して、従来のカメラは、 (s, t) で表される光線位置の情報をレンズにより積分するために、その画像は入射角 (x, y) のみの2次元の縮退情報として劣化観測されたものとなる。そのため、図1-aに示す様に、2次元画像から元の3次元世界を理解することは不良設定問題であり、本質的にシーンの理解は困難な問題であった。それに対して提案するLFビジョンでは、本来の高次元LF全体を入力として想定することで、あらゆるビジョンの問題をより安定に求めることができる(図1-b)。例えるならば、CVとLFビジョンは入力医療でいうX線写真からCTスキャンに変わったぐらいの違い

がある。提案するLFビジョンの有効性を示す具体的課題として、透明や鏡面物体の検出と認識、形状復元というチャレンジングな課題を設定する。ガラスや金属製の物体は、日常環境にあふれているにも関わらず、照明条件や計測方向によりその見かけが大きく変化するため扱いが難しく、画像理解の対象物体としてしばしば例外として扱われてきた。このCV分野で最も困難とされる対象についての問題を解決することでLFビジョンの有効性を示し、画像理解の現実問題への応用を促進する。さらには、LFビジョンを突き詰めていくと、LF中のどの光線情報が応用目的(たとえば物体認識)に対して重要であるのかという画像理解の本質が見えてくる。つまり、特徴となるLFの部分空間を直接センシングできるタスク指向カメラのような新しいCPの実現へと昇華させることができる。

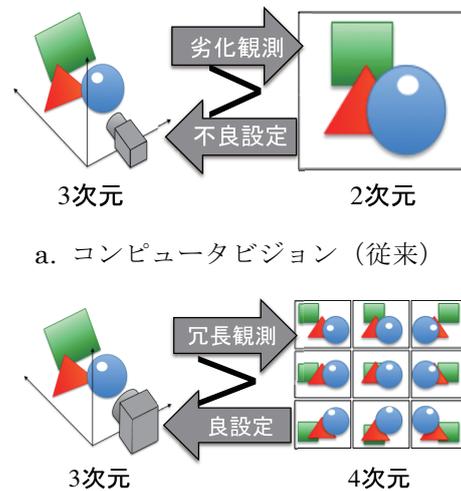


図1: 従来のコンピュータビジョンと提案するライトフィールドビジョン

3. 研究の方法

(1) ライトフィールドカメラのキャリブレーション

LFカメラにはカメラアレイ型や内部にマイクロレンズアレイを配置したPlenoptic型など、様々な光学系のものが提案されている。従来のLFカメラは主にCGに用いられてきたことから、厳密なキャリブレーション手法は提案されなかった。本研究のような画像理解の目的においては、厳密なカメラパラメータ推定が必須であるため、LFビジョンの基礎ツールとしてキャリブレーション手法を提案する。

(2) 物体の特徴記述

従来のSIFTなどの画像特徴は、画像の見かけ(輝度勾配)を特徴としていた。そのため、透明や鏡面物体のように物体そのものの見かけにほとんど特徴がない物体の特徴は記述できなかった。本研究では、LFを用いた新しい画像特徴記述手法であるLight Field

Distortion (LFD) 特徴を提案し、透明や鏡面物体の画像理解に用いる。透明物体が存在すると物体の屈折により光線空間が歪められる。この LF の歪みを LFD 特徴と呼び特徴記述に用いる。この LFD 特徴は背景の同一画素の対応関係から求まり、背景画素の輝度値には依存しないことから背景に不変となる。

(3) 透明物体の識別

提案する LFD を特徴量として異なる形状の透明物体を識別する手法について提案する。具体的には、LF カメラで撮影された画像から LFD を抽出し、統計的学習・識別手法である Bag of feature 手法を用いて異なる物体を異なるクラスに識別する。

(4) 透明物体のセグメンテーション

シーンから透明物体領域を自動的に抽出するセグメンテーションの手法を提案した。具体的には、透明物体領域中の画素の尤度を LFD の歪み量として定義し、MRF 手法を用いて近傍画素を考慮して最適化を行うことで、安定したセグメンテーションを実現した。

4. 研究成果

(1) ライトフィールドカメラのキャリブレーション

カメラアレイ型の LF カメラと Plenoptic 型の LF カメラそれぞれに対応したキャリブレーション手法を提案実装した。実際のカメラアレイ型カメラの ProFusion25, Plenoptic 型カメラの Lytro ILLUM を用いてキャリブレーションを行い、物体認識やセグメンテーションの実験に用いた。

(2) 物体の特徴記述

透明物体認識のための特徴記述子である LFD を提案した。この LFD をプログラムとして実装し、透明物体認識やセグメンテーションの応用研究に適用した。

(3) 透明物体の識別

実際に、市販の LF カメラ ProFusion25 を用いて撮影されたデータを用いて、透明物体の識別を行った。具体的には図 2 に示す 18 種類のガラスでできた透明物体を対象に様々な環境下での識別実験を行い、84%の識別率を実現した。これまでの手法では、透明物体を異なる背景下で識別する手法はなく、本研究がはじめてこのような条件下での透明物体識別を実現した。

(4) 透明物体のセグメンテーション

実際に市販の LF カメラを用いて撮影された透明物体画像から、透明物体領域をセグメンテーションにより抽出した。図 3 に撮影シーンと物体領域の抽出結果を示した。従来のセグメンテーション手法は、輝度の類似度を物体領域の尤度にしていたため、透明物体のような、背景の影響を受ける対象には用いることができなかった。本研究がはじめて透明物体に対するセグメンテーションを実現した。

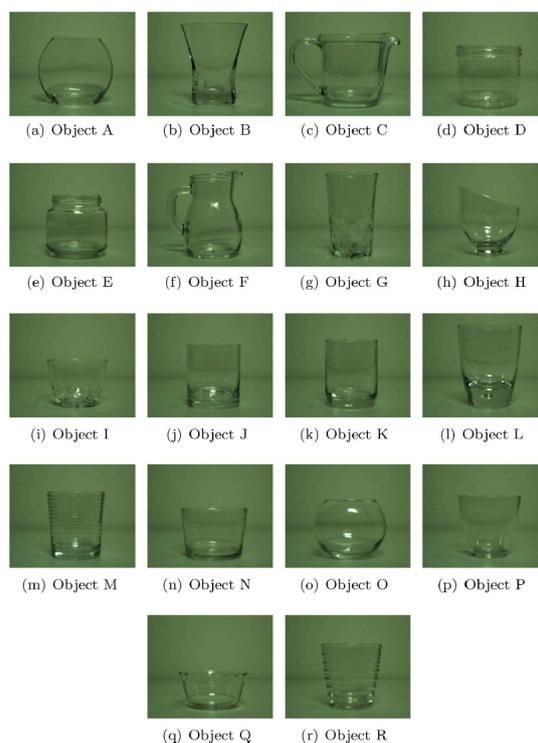


図 2: 識別に用いた透明物体



図 3: 透明物体のセグメンテーション結果

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 9 件)

- ① Atsushi Shimada, Hajime Nagahara, Rin-ichiro Taniguchi, “Background light ray modeling for change detection”, *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 査読有, Vol. 38, pp. 55-64, Feb., 2016.
- ② Yichao Xu, Hajime Nagahara, Atsushi Shimada, Rin-ichiro Taniguchi, “Light Field Distortion Feature for Transparent Object Classification”, *Computer Vision and Image Understanding*, 査読有, Vol. 139, pp. 122-135, Sep., 2015.
- ③ Yichao Xu, Kazuki Maeno, Hajime Nagahara, Rin-ichiro Taniguchi,

“Camera Array Calibration for Light Field Acquisition”, *Frontiers of Computer Science*, 査読有, Vol. 9, No. 5, pp. 691-702, Oct., 2015.

- ④ Hajime Nagahara, Yasushi Yagi, “Lensless imaging for wide field of view”, *Optical Engineering*, 査読有, Vol. 54, No. 2, Issue 25114, pp. 1-8, Feb., 2015.
- ⑤ Shuhei Matsui, Hajime Nagahara, Rin-ichiro Taniguchi, “Half-Sweep Imaging for Depth from Defocus”, *Image Vision Computing*, 査読有, Vol. 32, No. 11, pp. 954-964, Nov., 2014.
- ⑥ 長原 一, 中村勇太, 井手佑人, 谷口倫一郎, “自由視点提示のための効率的画像取得と主観・客観画質評価”, *画像電子学会論文誌*, 査読有, Vol. 43, No. 4, pp. 559-567, Sep., 2014.
- ⑦ Toshiki Sonoda, Hajime Nagahara, Rin-ichiro Taniguchi, “Motion Invariant Coding using Programmable Aperture Camera”, *IP SJ Transaction on Computer Vision and Applications*, 査読有, Vol. 6, pp. 25-33, June, 2014.
- ⑧ Atsushi Shimada, Hajime Nagahara, Rin-ichiro Taniguchi, “Object Detection based on Spatio-Temporal Light Field Sensing”, *IP SJ Transaction on Computer Vision and Applications*, 査読有, Vol. 5, pp. 129-133, Aug., 2013.
- ⑨ 長原 一, “ライトフィールドビジョンと符号化撮像”, *映像メディア学会誌*, Vol. 67, No.8, Aug., pp. 647-649, 2013(招待論文).

[学会発表] (計 77 件)

1. Takuya Yoda, Hajime Nagahara, Rin-ichiro Taniguchi, Keiichiro Kagawa, Keita Yasutomi, Shoji Kawahito, “Dynamic Photometric Stereo Method using Multi-tap CMOS Image Sensor”, *Int. Conf. Pattern Recognition*, Dec.8th,2016, Cancun, Mexico.
2. Hideaki Uchiyama, Atsushi Shimada, Hajime Nagahara, Rin-ichiro Taniguchi, “3D surveillance system using camera array”, *Int. Workshop on Information Search, Integration, and Personalization*, Nov.3rd, 2016, Lyon, France.

3. Yichao Xu, Hajime Nagahara, Atsushi Shimada, Rin-ichiro Taniguchi, “TransCut: Transparent Object Segmentation from a Light-Field Image”, No. IS1-07, Aug.1st, 2016, 浜松(招待講演).
4. Hajime Nagahara, “Computational 3D imaging”, *Display week*, May 24th, 2016, San Francisco, CA, USA(招待講演).
5. Hajime Mihara, Takuya Funatomi, Kenichiro Tanaka, Hiroyuki Kubo, Hajime Nagahara, Yasuhiro Mukaigawa, “4D Light-field Segmentation with Spatial and Angular Consistencies”, *Int. Conf. Computational Photography*, May 15th, 2016, Evanston, IL, USA.
6. Toshiki Sonoda, Hajime Nagahara, Kenta Endo, Yukinobu Sugiyama, Rin-ichiro Taniguchi, “High-Speed Imaging using CMOS Image Sensor with Quasi Pixel-Wise Exposure”, *Int. Conf. Computational Photography*, May 15th, 2016, Evanston, IL, USA(Best paper runners-up award).
7. Hajime Nagahara, “Introduction to computational photography”, *Workshop on Image Processing and Image Understanding*, Feb.15th, 2016, Jeju, Korea(招待講演).
8. Yichao Xu, Hajime Nagahara, Atsushi Shimada, Rin-ichiro Taniguchi, “TransCut: Transparent Object Segmentation from a Light-Field Image”, *Int. Conf. Computer Vision*, Dec.16th, 2015, Santiago, Chili.
9. 長原 一, “コンピュータショナルフォトグラフィ+CMOS”, *Optics & Photonics Japan*, NO. 29aES5M Oct. 29th, 2015, 東京(招待講演).
10. Hajime Nagahara, “Light field Vision - Light field imaging and its applications for scene understanding-”, *JSAP-OSA Joint Symposia*, Sep.15th, 2015, Nagoya, Japan(招待講演).
11. 長原 一, “フォーカススweepフォトグラフィ”, *マルチアパーチャ・ライトフィールドカメラ応用ワークショップ*, Sep.7th, 2015, 東京(招待講演).

12. Atsushi Shimada, Hajime Nagahara, Rin-ichiro Taniguchi, “Change Detection on Light Field for Active Video Surveillance”, 12th IEEE Int. Conf. Advanced Video and Signal based Surveillance, Aug. 25th, 2015, Karlsruhe, Germany.
13. Trung Ngo Thanh, Hajime Nagahara, Rin-ichiro Taniguchi, “Shape and Light Directions From Shading and Polarization”, 第18回画像の認識・理解シンポジウム, IS1-8, July 29th, 2015, 大阪(招待講演).
14. 長原一, “フォーカススイープ フォトグラフィ”, 三次元画像コンファレンス, July 9th, 2015, 神奈川(招待講演).
15. Trung Thanh Ngo, Hajime Nagahara, Rin-ichiro Taniguchi, “Shape and Light Directions from Shading and Polarization”, IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 2310-2318, June 8th, 2015, Boston, MA, USA.
16. Ryuichi Akashi, Hajime Nagahara, Yasuhiro Mukaigawa, Rin-ichiro Taniguchi, “Scattering Tomography Using Ellipsoidal Mirror”, Int. Conf. Computational Photography, Apr. 25th, 2015, Houston, TX, USA.
17. Ryuichi Akashi, Hajime Nagahara, Yasuhiro Mukaigawa, Rin-ichiro Taniguchi, “Scattering Tomography Using Ellipsoidal Mirror”, The 21th Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision, Jan. 28th, 2015, Mokpo, Korea.
18. Hajime Nagahara, “Computational Imaging”, 2nd Asian Image Sensors and Imaging Systems Symposium, pp. 75-76, Dec. 2nd, 2014, Tokyo, Japan(招待講演).
19. 長原一, 徐軼超, 島田敬士, 谷口倫一郎, “ライトフィールドカメラを用いた透明物体識別”, 視覚情報基礎研究会, Sep. 11th, 2014, 東京(招待講演).
20. Hajime Nagahara, “Light Field Vision”, ACCV2014 AC workshop, Sep. 3rd, 2014, Singapore(招待講演).
21. Md. Abdul Mannan, Seichi Tagawa, Toru Tamaki, Hajime Nagahara, Yasuhiro Mukaigawa, Yasushi Yagi, “Light Transport Refocusing for Unknown Scattering Medium”, Int. Conf. Pattern Recognition, pp. 4382-4387, Aug. 28th, 2014, Stockholm, Sweden.
22. Ryuichi Akashi, Hajime Nagahara, Rin-ichiro Taniguchi, “DMD Camera for Pixel Exposure Coding”, The 20th Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision, pp. 43-47, Feb. 5th, 2014, Okinawa, Japan.
23. Hajime Nagahara, “Light Field Vision -Introduction to light field and beyond the next -”, The 20th Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision, Feb. 5th, 2014, Okinawa, Japan(招待講演).
24. Md. A. Mannan, S. Tagawa, Y. Mukaigawa, H. Nagahara, T. Tamaki, Y. Matsushita, “Depth Estimation in Unknown Scattering Media by Light Transport Refocusing”, The 17th SANKEN International Symposium, Jan. 21th, 2014, Osaka, Japan.
25. Ryuichi Akashi, Hajime Nagahara, Rin-ichiro Taniguchi, “Implementation of Pixel Coding Camera Using DMD”, The 9th Joint Workshop on Machine Perception and Robotics, Oct. 31th, 2013, Kyoto, Japan.
26. Kazuki Maeno, Hajime Nagahara, Atsushi Shimada, Rin-ichiro Taniguchi, “Light Field Distortion Feature for Transparent Object Recognition”, 第16回画像の認識・理解シンポジウム, Aug. 31th, 2013, 東京(招待講演).
27. Atsushi Shimada, Hajime Nagahara, Rin-ichiro Taniguchi, “Background Modeling based on Bidirectional Analysis”, IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 1979-1989, June 26th, 2013, Portland, OR, USA.
28. Kazuki Maeno, Hajime Nagahara, Atsushi Shimada, Rin-ichiro Taniguchi, “Light Field Distortion Feature for Transparent Object Recognition”, IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, pp.

- 2786-2793, June 27th, 2013, Portland, OR, USA.
29. Yichao Xu, Kazuki Maeno, Hajime Nagahara, Rin-ichiro Taniguchi, “Mobile Camera Array Calibration for Light Field Acquisition”, Int. Conf. Quality Control by Artificial Vision, pp. 283-290, May 31th, 2013, Fukuoka, Japan.
30. Kazuki Maeno, Hajime Nagahara, Atsushi Shimada, Rin-ichiro Taniguchi, “Light Field Distortion Feature for Transparent Object Recognition”, Int. Conf. Computational Photography, Apr. 20th, 2013, Boston, MA, USA.
31. Yichao Xu, Kazuki Maeno, Hajime Nagahara, Rin-ichiro Taniguchi, “Light Field Rectification from Camera Array Images”, Int. Conf. Computational Photography, Apr. 20th, 2013, Boston, MA, USA.
32. Hajime Nagahara, Rin-ichiro Taniguchi, “Computational photography using programmable aperture”, 1st Asian Workshop on Smart Sensor Systems, Mar. 29th, 2013, Jeju, Korea.
33. Kazuki Maeno, Hajime Nagahara, Atsushi Shimada, Rin-ichiro Taniguchi, “Light Field Distortion Feature for Transparent Object Recognition”, Int. Symposium on Information Science and Electrical Engineering, Vol. 20, Jan. 11th, 2013, Fukuoka, Japan.
34. Toshiki Sonoda, Hajime Nagahara, Rin-ichiro Taniguchi, “Motion-Invariant Coding Using a Programmable Aperture Camera”, Asian Conf. Computer Vision, Nov. 7th, 2012, Daejeon, Korea.
35. Kazuki Maeno, Hajime Nagahara, Atsushi Shimada, Rin-ichiro Taniguchi, “A Background Invariant Feature for Transparent Object Recognition”, The 8th Joint Workshop on Machine Perception and Robotics, Oct. 16th, 2012, Fukuoka, Japan.
36. Toshiki Sonoda, Hajime Nagahara, Changyin Zhou, Takuya watanabe, Hiroshi Ishiguro, Shree Nayar, “Programmable Aperture Camera Using LCoS”, Int. Conf. Computational Photography, Apr. 28th, 2012, Seattle, USA.
37. Shuhei Matsui, Hajime Nagahara, Rin-ichiro Taniguchi, Shunsaku Yasugi, Takashi Kawamura, “Half-Sweep Imaging for Depth from Defocus”, Int. Conf. Computational Photography, Apr. 28th, 2012, Seattle, USA.
38. Hajime Nagahara, “Focus Sweep Photography”, The Sanken Int. Symposium, Jan. 12th, 2012, Osaka Japan.
- ほか
- [その他]
ホームページ等
<http://limu.ait.kyushu-u.ac.jp/project/project003.html>
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
長原 一 (NAGAHARA, Hajime)
九州大学・システム情報科学研究所・准教授
研究者番号：80362648
- (2) 研究分担者
谷口 倫一郎 (TANIGUCHI, Rin-ichiro)
九州大学・システム情報科学研究所・教授
研究者番号：20136550
- 鳥居 秋彦 (TORII, Akihiko)
東京工業大学・理工学研究科・助教
研究者番号：20585179
- 日浦 慎作 (HIURA, Shinsaku)
広島市立大学・情報科学研究科・教授
研究者番号：40314405
- 向川 康博 (MUKAIGAWA, Yasuhiro)
奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・教授
研究者番号：80452811
- 島田 敬士 (SHIMADA, Atsushi)
九州大学・基幹教育院・准教授
研究者番号：20136550
- (3) 連携研究者
なし
- (4) 研究協力者
なし