

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 6 月 1 日現在

機関番号：12608

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2011

課題番号：22650031

研究課題名（和文）Light Field 理論（光線場理論）に基づく新しい光学計測系の構築と応用

研究課題名（英文）Light Field Based Optical Measurement System and Its Application

研究代表者

熊澤 逸夫 (Kumazawa Itsuo)

東京工業大学・像情報工学研究所・教授

研究者番号：70186469

研究成果の概要（和文）：

本課題では、照明系として、光学的計測に都合が良い Light Field を形成し、標準的なカメラで Light Field の光線を区別して検出するために、異なる波長で異なる方向から光を投射する LED 光源とカメラを組み合わせた実験装置を製作し、それを指の指紋や魚等の静的な物体の 3 次元計測に応用することを試みた。また、今後の研究課題の可能性を検証するために動いている指の検出へも応用した。具体的に、3 次元形状を簡易、高精細に検出するためのアルゴリズムを開発し、実験的な評価を行った。

研究成果の概要（英文）：

In the project, the optical measurement system with the optimal light field for lighting and the optimal camera setting was designed to measure the three dimensional shape of objects such as a finger surface and fish. The system uses LED lighting device that emits light with different spectrum band depending on the emission direction of the light. With this lighting device, the direction of the light is distinguished with the spectrum information by the standard camera with the spectrum band filters and the light field of the lighting system is used to increase the accuracy and efficiency of the observation of the three dimensional shape of the object. In addition, for the development for the next stage of the project, effectiveness of the system is evaluated for the detection of moving object and for the estimation of its motion in the three dimensional space.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,500,000	0	1,500,000
2011 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,900,000	420,000	3,320,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：情報センシング

1. 研究開始当初の背景

近年の光学技術と記録技術の進歩によって、Light Field の 4 次元の情報を計測、記録できる見通しが出てきたことから、

SIGGRAPH 等で Light Field の分析や応用に関する論文が発表されるようになった。例えば、2008 年の SIGGRAPH で Liang, C.K. 等は Light Field の計測方法を、また Raskar,

R.等は Light Field 理論をカメラのグレアの低減へ応用した研究を公表している。一方、筆者等は、蛍光顕微鏡光学系のモデルの構築に Light Field 理論を応用し、図 1 に示す任意光学系のシミュレータ（空間内の光線の位置と方向の計測装置）を独自に構成した。従来の CCD センサ等の撮像デバイスは、計測位置 (x, y) に入射する光線の入射方向を区別できないため、計測できるのは光量の 2 次元の分布 $I(x, y)$ のみであったが、これを Light Field 理論では、図 2 に示すように、入射方向 (θ, φ) も区別して 4 次元の情報 $I(x, y, \theta, \varphi)$ として計測、利用することに特徴がある。本研究では、図 1 の装置を活用しながら、現状技術で可能な範囲で光線方向 (θ, φ) を区別する新しい光学計測の原理を開発して、これを各種課題へ応用し、また将来への展開に向けて Light Field の 4 次元情報を現実的なメモリ量と計算量で扱う独自の手法を構築する。



図 1：空間内を飛び交う光線の位置と方向を計測する Light Field 計測装置（独自に開発）

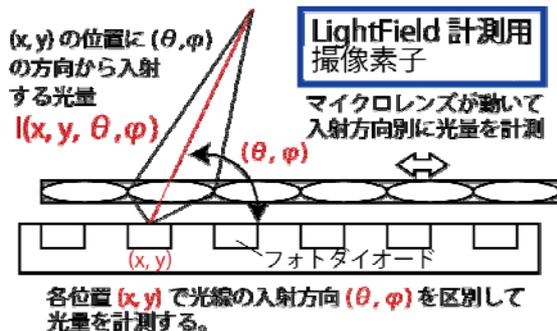


図 2：光線の入射位置だけでなく入射方向も区別して光量を測定できる Light Field 計測用撮像素子

2. 研究の目的

Light Field 理論に基づく新しい光学計測手法を構築し、(1)指紋情報の非接触計測、(2)カメラの超高精度キャリブレーション、(3)3次元形状情報に基づく物体認識へ応用する。

また Light Field の「光線の場」と流体力学における「粒子運動の場」のアナロジーによって、4次元情報を現実的なメモリ量と計算量で扱う独自の手法を構築する。

3. 研究の方法

Light Field を計測して利用するには図 2 に示す特殊なカメラが必要になるが、本課題では照明系を工夫することにより、通常のカメラを使って、限定された情報になるが Light Field を計測して 3次元位置、形状計測に利用できるようにした。

こうした観点から本課題で制作した装置を図 3 に示す。この装置では、光源として 3色の LED を使い、光源位置とその照射方向に応じて異なる色の照明光が与えられる。この色情報によってラベル化された照明光が対象に照射されて反射した光がカメラによって計測される。



図 3 本課題で構成した照明系とカメラからなる装置

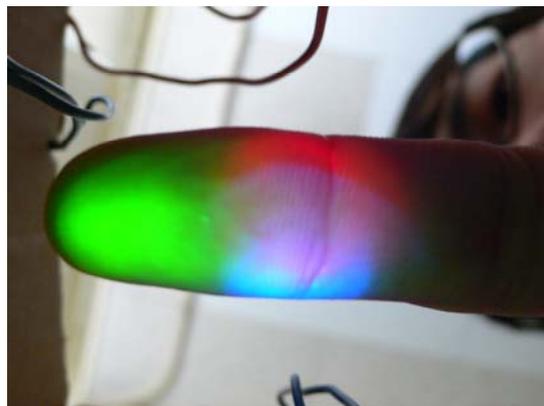


図 4 指紋の皮膚表面における隆起の 3次元形状を測定するために方向に応じて色を変えた照明

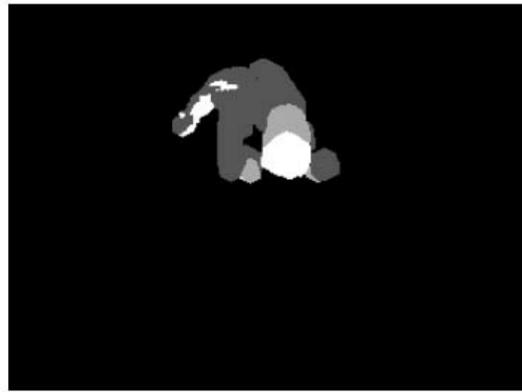
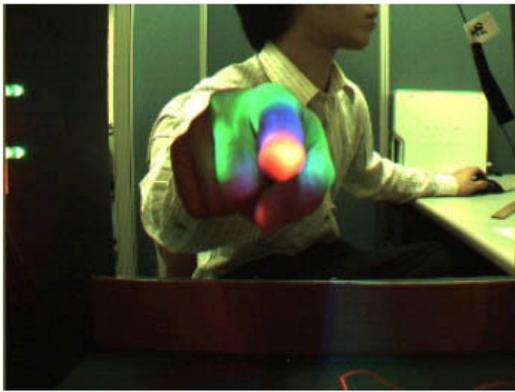


図5 図3の装置で手指を照明した様子と、この計測画像からカメラから手指までの距離情報を灰色の濃淡で表した結果

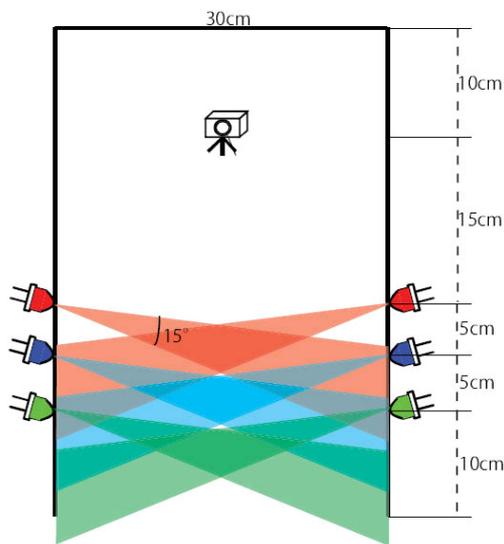


図6 光源の光の照射方向を区別できるように色でラベル付けを行った照明系

この色情報と反射強度を用いて、その反射光の元になった空間中の光線の方向と位置、強度を推定し、物体の3次元位置や形状を推定する上での手掛かりとすることができる。

図3の装置を用いて、当初は、指紋の隆起の立体情報を計測することを試みた。例えば、図3の装置を用いて指の表面を照明すると図4のような画像を計測できる。照明の光線方向に応じて色が異なるため、図4の画像の色情報から光線方向を推定できる。この光線方向から指紋の隆起の面の方向が分かり、隆起の立体形状を推定できる。

さらに、指紋のような微細な立体構造よりも手指の形状を検出の方が容易であり、また近年、手指の形状をジェスチャーとしてスマートテレビの操作に利用することに 관심이高まっていることから、本課題では、図3の装置を指のジェスチャー認識に応用した。

図3の装置で、手指を照明すると図5のような画像が計測される。ここで対象物の距離と各光源から照射される各色の照明光は図6のように分布し、その強度の変化は図7のようなグラフで表される。この照明が指に当たって反射される光の色分布から、反射面の位置と方向が分かることから、指の3次元形状を推定できる。

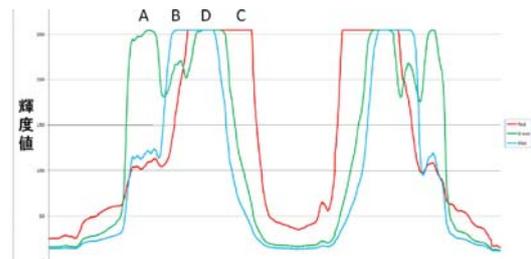


図7 カメラからの距離と照明光の色分布

以上の手法により計測した3次元情報（カメラから指表面までの距離）を図5の右図に灰色の濃淡で示す。

4. 研究成果

以下に本課題の成果をまとめる。現状のカメラの撮像センサでは被写体表面の反射光の反射方向別の光強度や撮像センサへ入射する光線の入射方向別の光強度を計測することはできない。そこで、本課題では、照明方法に工夫を加えて、新しい光学計測の手法を開発した点に特色がある。

1. プロジェクタを複数台用いて、撮影空間に各方向から各色の光を照射することにより、光線方向と光線位置を光の波長帯(色)で区別できるように Light Field を生成する装置を試作した。

2. 上記装置を用いて被写体を照明することによって、被写体表面からの反射光強度を光の波長(色)によって反射方向別に分離して

検出する方式を開発した。光線の方向とそれに対応する波長の対応関係を利用することにより、計算量を画的に減らして、リアルタイムに物体の3次元運動を計測する方法を開発することを試み、同時に連度する2つの物体を区別して検出することに成功した。

3. 特殊な Light Field で水族館内の水槽を照明することにより、魚の種別を画像認識する精度と計算効率を向上するための準備として、魚の形状と模様を利用して魚を識別する方法を開発した。まだ具体的に照明系の形成には至っていないが、適切な照明系を用いることにより、魚の形状と模様を区別して識別できる見通しが立った。

以上に述べたように、標準的なカメラを利用しながらも照明系を工夫することによって、物体表面から反射される光の光線の位置や方向を詳しく把握しながら(すなわち完全にはないが部分的に Light Field の情報を使いながら) 対象の3次元形状を計測するシステムを構成し、その効果を実験的に検証して確認することができた。

なお本課題では、今後の研究の継続のために、図8に示すように液晶プロジェクタを用いた照明系を構成した。この照明光では画素単位で色を変え、照明光の光線の方向と位置を、より精度良く、色情報に基づき区別できるようになる。また照明光の強度を時間的に変調できるため、色と時間変調パターンの違いにより、さらに細かく光線方向と位置を区別して、Light Field をより正確に利用できるようになる。今後の課題の予備実験として、図8の装置を用いて指のジェスチャーの認識を行った。



図8 液晶プロジェクタの画素単位で光線の色を変え、さらに光の強度を時間変調して、光線情報をより詳細に区別できるようにした照明系と単眼カメラを用いる実験装置。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

(1) 鈴木健斗、熊澤逸夫、3色光源を用いた単眼カメラによる高速3次元計測法、第14回画像の認識・理解シンポジウム予稿集、査読無、1巻、2011、1429-1436

(2) 熊澤逸夫、網膜に学ぶ画像処理、日本設計工学会誌、査読無、46巻、2011、

317-328

(3) C.-H. Quivy, I. Kumazawa, Normalization of Active Appearance Models for Fish Species Identification, ISRN Signal Processing, 査読有、2011、2011、Web journal (16 pages) Article ID 103293

〔学会発表〕(計1件)

(1) Prarinya Siritanawan, Toshiaki Kondo, Kanokvate Tungpimolrut, Itsuo Kumazawa, A visual tracking method using the Hamming distance, Proceedings of International Conference on Information and Communication Technology for Embedded System, 査読有、Bangkok、2012年3月23日〔図書〕(計1件)

(1) C.-H. Quivy, I. Kumazawa, Springer, Background Images Generation Based on the Nelder-Mead Simplex Algorithm Using the Eigen-background Model, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 6753, 2011, 10(172-181 分担部分)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

熊澤逸夫 (Kumazawa Itsuo)

東京工業大学・像情報工学研究所・教授
研究者番号：70186469