

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成30年6月5日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K12454

研究課題名(和文) 空中像形成技術を利用した遮蔽に頑健な3次元センシング

研究課題名(英文) Occlusion-Robust 3D Sensing Using Aerial Imaging

研究代表者

渡辺 義浩 (Watanabe, Yoshihiro)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・講師

研究者番号：80456160

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、空中像形成技術を利用することで、遮蔽に頑健な新しい3次元センシングを実現した。空中像形成技術では、あらゆる方向からの光が局在化することで3次元像を空中に形成する。このような光線空間を、能動光を照射する系と反射光を観測する系の両者に組み込んだセンシングシステムを新たに設計・構築し、遮蔽への頑健性が高まることを実験によって示した。さらに、従来は不可能であった応用機能をユーザインタフェースの分野で実証した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we realized a new active 3D sensing using aerial imaging. We have shown the occlusion-robust sensing system configuration utilizing the special light field, in which aerial luminous spots can be formed by focusing rays of light from multiple directions. We also realized new user interface applications using this occlusion-robust sensing advantages.

研究分野：知覚情報処理

キーワード：センシングデバイス・システム 3次元計測 3次元ディスプレイ コンピュータビジョン 画像情報処理  
コンピュータシミュレーション フォトグラフィ

## 1. 研究開始当初の背景

対象の空間的な3次元位置や形状を取得する3次元センシングは、外界環境の空間把握において必要不可欠なものである。応募者は、この3次元センシングの速度を飛躍的に向上させることで、新たな価値を明らかにしてきた。具体的には秒間1,000回の速度でセンシングを実施する性能を実現し、デジタルアーカイブ、映像メディア、ユーザインタフェース、検査、ロボティクスなどの分野において新たなアプリケーションを切り拓いてきた。しかし、画像センシングの時空間的な解像度の向上を進めても、カメラを用いたセンシングには決定的な限界がある。これは、対象とカメラの間に遮蔽物があると情報を捉えることができないというボトルネックである。これに対して、ライトフィールドを捉えるビジョンを用いて僅かに視点を切り替える研究や、超高フレームレートのカメラが捉える光の反射分布から遮蔽物の向こう側の対象物を推定する研究があるが、十分な解決策ではなかった。このほか、超音波や磁気などを利用することで解決する可能性もあるが、光を用いた場合と比べて達成できる空間精度が低い問題が物理的に回避できない。

## 2. 研究の目的

物体の3次元位置や形状をカメラによって非接触で捉える3次元センシングは、数十年に渡って様々なアイデアが試されてきた。しかし、その多くは、カメラが実世界の1点と画像上の1点を1本の光線で結ぶことを起点とした発展であり、同幾何拘束を超えられない点で構造的な限界があった。具体的には、遮蔽に弱いと同時に、画像上の位置から3次元上の位置を決める情報が原理的に不足していた。本研究では、空中像形成技術に基づいた新たな3次元センシングを実現し、この限界を打破する。同技術が基盤と

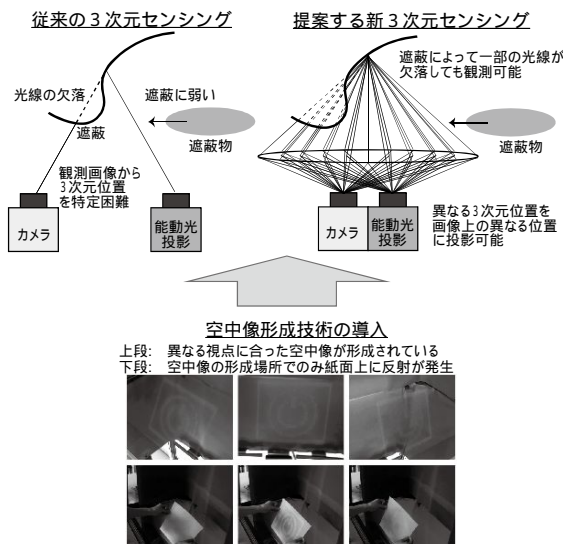


図1. 研究構想図

する、あらゆる方向からの光が局在化することで3次元像を空中に形成する光線空間に基づいたセンシングシステムの構成を明らかにするとともに、従来は不可能であった応用機能をユーザインタフェースや形状計測の分野で実証する。研究構想を図1に示す。

## 3. 研究の方法

本研究計画は、遮蔽と3次元情報獲得の両者に対して頑健な新たな3次元センシングを目標として、A)基盤技術の確立とB)応用展開の2つを柱として立案されている。A)基盤技術の確立では、立体像形成技術に基づいて、能動光投影と反射光撮像を実施するシステム構成を明らかにするとともに、能動光の構造化、システムの大規模化、環境光を利用する構成への拡張に着手する。B)応用展開では、特に遮蔽に対する頑健性を最大化する応用として、作業環境のモノの配置に影響を受けず、空中ジェスチャ認識が可能なユーザインタフェースや、複雑な形状でも死角なく捉える形状計測を実施する。

## 4. 研究成果

平成28年度は、A)基盤技術の確立に関して、システムの構築及び定量的な性能評価を実施した。提案するシステムでは、空中像提示技術を能動計測における投影光源として利用する。同提示技術の光線を多方向から集める特性によって遮蔽に頑健な3次元計測を実現できると考えられる。本年度は、特に撮像系と投影系の両者が効率よく光線を扱えるようにするためのシステム構成を新たに設計・構築するとともに、遮蔽に対する頑健性を実験によって確認した。図2に構築したシステムを示す。また、図3に遮蔽頑健性に関する簡単な実験結果を示す。さらに、光線の集光位置周辺における光の分布も計測に利用できることに着目し、3次元位置の計測範囲拡大や、接触面の角度などが取得可能であることを確かめた。加えて、複数の点光源を用いることで、3次元位置を計測できる範囲が拡大可能であることも確かめた。点光源を多点化した場合は、撮像系の一部を回転させ、空間を立体的に走査することで計測を実施できることを示した。

また、B)応用展開に関して、テーブルトップ型のユーザインタフェースを想定したプロトタイプを構築した。具体的には、上記で開発した基本システムを作業机の下に収めたような構成のプロトタイプを開発した。このプロトタイプを用いたデモンストレーションによって、机上の作業スペースにもものが置かれていても良く、センサを置く場所を別途確保する必要もなく、指が入り組んだ複雑なジェスチャや道具を把持した状況でのジェスチャも認識ができることを示した。図4に実験の様子を示す。

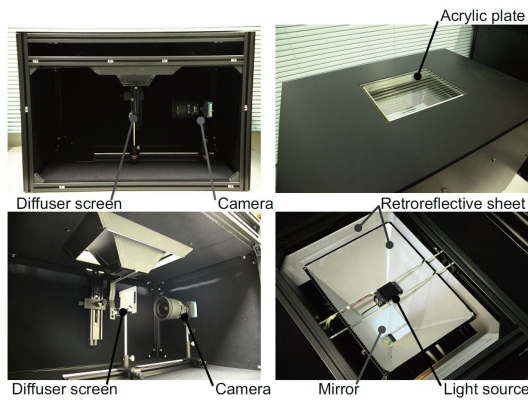
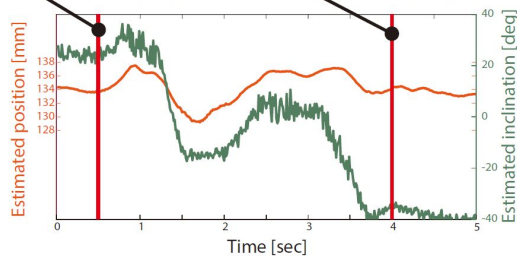
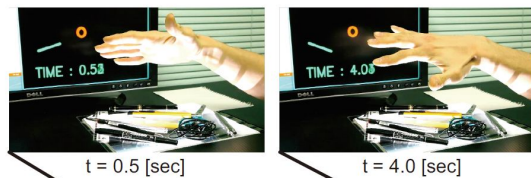
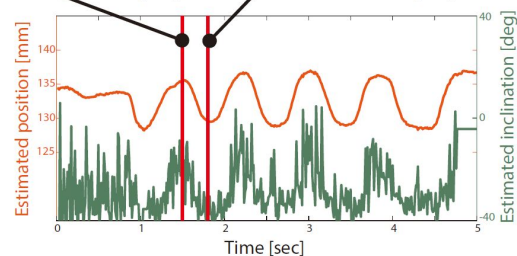
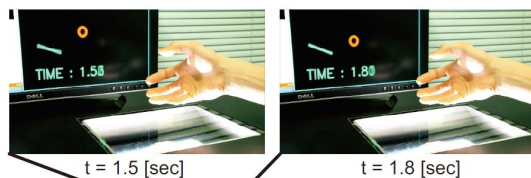


図 2 構築したシステム

以上の通り、平成 28 年度においては、空中像形成技術を投影・撮像の両方に適用することで、遮蔽に頑健な 3 次元センシングが可能であることを実証した。ただし、ここで構築したシステムの構成には、計測精度の向上に向けて、最適化の余地があると考えられる。また、遮蔽の条件に応じて変化する誤差の影響のメカニズムを正確にとらえることができていなかった。そこで平成 29 年度は、提案する原理の下、最適なシステム構成を探るために、空中像形成技術を利用した 3 次元センシング用の光線追跡シミュレーション環



The top of the measuring device is messy



User hand takes a complex form

図 4 遮蔽下でも手の 3 次元位置・姿勢を認識できている様子

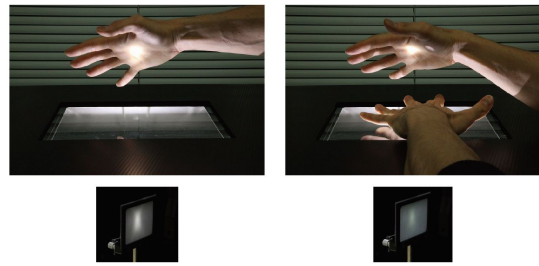


図 3 手の平にセンシングのための能動光が照射され(左上)、システム内部においてその反射光が捉えられている(左下)。対象とシステムの間で遮蔽が生じた場合においても、能動光と反射光が変わらず捉えられていることが分かる(右)。

境を構築した。同シミュレーションによって、空間にどのように光線が形成されるかを定量的に評価することができる。特に本シミュレーションでは、再帰性反射材の種類や、光学系の配置を変えたときに、3 次元位置や姿勢の計測がどのような精度をもたらすか確認した。さらに、遮蔽の条件による光線場の変化も解析し、その頑健性に関する特性を確認した。加えて、本シミュレーションと実際に構築したシステムの 2 つによる計測結果を比較し、シミュレーションの妥当性を確認するとともに、2 つの結果が異なる部分については、そのメカニズムを考察した。

## 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 0 件)

[学会発表](計 3 件)

[1] Yoshihiro Watanabe: High-speed 3D vision and its applications for real-world interaction, The 31st International Congress on High Speed Imaging and Photonics (ICHSIP-31)(Osaka, 2016.11.10)/Proceedings, pp.722-727.

[2] 渡辺義浩: 高速性がもたらす実世界把握・提示の新展開, 第 77 回応用物理学会秋季学術講演会(新潟, 2016.9.15)/講演論文集, (2016).

[3] Masahiko Yasui, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: Occlusion-Robust 3D Sensing Using Aerial Imaging, IEEE International Conference on Computational Photography (ICCP 2016) (Evanston, 2016.5.15)/Proceedings, pp.170-179 (2016)

[図書](計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況（計 0 件）

取得状況（計 0 件）

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.k2.t.u-tokyo.ac.jp/vision/Aerial3D/>

## 6．研究組織

### (1)研究代表者

渡辺 義浩 (Watanabe, Yoshihiro)

東京大学・情報理工系研究科・講師

研究者番号：80456160