

令和 3 年 4 月 22 日現在

機関番号：14603

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K19822

研究課題名（和文）光計測と信号処理の融合による次世代アクティブ計測技術の開発

研究課題名（英文）Active 3D Sensing Using Optical Measurement and Signal Processing Technologies

研究代表者

田中 賢一郎（Kenichiro, Tanaka）

奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・助教

研究者番号：60803244

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、時空間変調プロジェクトを用いた3次元形状計測手法の開発を行った。Time-of-flight カメラ、DMD、レーザーダイオード、投影レンズ、同期用電子回路を組み合わせることで、時空間変調が可能な新しいプロジェクト・カメラシステムを構築し、このシステムを用いることで、これまでできなかった、高速・広範囲・高精度な3次元形状計測が行えることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

3次元の形状を計測するために、空間変調のみを行う構造化照明と呼ばれる手法や、時間変調のみを行う time-of-flight と呼ばれる手法など、様々な方法が提案されてきた。これらはそれぞれに長所・短所を持ち、測りたいシーンに合わせてユーザーが手法を選択する必要があった。我々は、これらの長所のみを組み合わせるような、新しい時空間変調方式による3次元形状計測方法を構築することで、どんなものでもこれ一つで計測できることを目指した。これは、産業用途はもちろんのこと、フィールド用途やコンシューマ用途など、様々なシーンに適用可能であるため、社会的意義は非常に大きい。

研究成果の概要（英文）：In this research, we developed a 3D shape measurement system that uses spatio-temporal modulation. We built a spatio-temporal projector-camera system by combining time-of-flight camera, laser diodes, DMD, lenses, and electrical circuits. Using this device, we've realized a fast, wide range, and precise 3D shape measurement system.

研究分野：コンピュータビジョン

キーワード：コンピューテーショナルフォトグラフィ

1. 研究開始当初の背景

従来のアクティブ光計測は、プロジェクタ等の光源から構造化光を照射することで物体の3次元形状や反射特性を計測する技術である。マシンビジョンやコンピュータビジョン・グラフィックス関連分野で多用される重要な基礎技術であり、すでに工場自動化で実用化もされている。しかしながら、光源強度による制約から屋内等限られた環境でしか使用できないという問題があり、屋外での計測や動物体への適用は未だに困難である。弱い光源強度でも、屋外や動物体の計測を行うことができるような、高ノイズ耐性を持つ技術を実現することが求められており、インフラの点検や屋外でのAR・VRへの応用が期待されている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、コンピュータビジョン分野で発展したアクティブ光計測技術と情報通信分野で発達した高度な信号処理技術を融合した、新たな光計測技術を確立することである。アクティブ光計測技術では、光の強さを変化させることで光線に情報を乗せており、光源を発信機、センサを受信機と再定義すると単純な強度変調（AM）で通信しているとみなすことができる。しかしながら、AM変調は最も原始的な変調方式の一つであり、ノイズに脆弱かつ電波効率も悪いといった特徴があり、アクティブ光計測が適用できる範囲は外乱の少ない屋内などに限られていた。一方で、情報通信の分野では、多量のノイズが存在する空間で多数の端末が同時に通信できるよう、高速・高ノイズ耐性・高効率な変調方式及び信号処理技術が発達している。本研究では、これまでのアクティブ光計測が単純なAM変調によって実現されていたという点に着目し、情報通信分野で実用化されている技術と融合することで、高精度かつ外乱に強い画期的なアクティブ光計測分野の開拓という、挑戦的な課題に取り組む。

3. 研究の方法

本研究を進めるにあたり、具体的に以下に示す3点のサブテーマを設定する。サブテーマ1・2は理論及びデバイスの設計であり、互いに密接に関連しているため、小さな開発サイクルを高速に回すことで効率的に研究を進める。

(1) 光計測に適した信号処理技術：本研究の最も重要なテーマは、アクティブ光計測に適した信号処理方式を明らかにすることである。情報通信分野では、AMやFMよりもはるかに高性能なスペクトラム拡散などの変調方式や、検波方式、多重化技術等が多数実用化されており、アクティブ光計測へ適用可能な技術は多数に上る。しかしながら、通信技術は電波空間をいかに効率的に使用するかに最適化されており、3次元空間の計測を目的とした光計測とは異なる部分も多い。そこで、情報通信技術を応用する形で光計測に最適化した信号処理技術を開発する。例えば、プロジェクタによる投影は、非常に指向性の強い発信機がピクセル数だけ密に存在するとみなすことができる。そうした環境に特化した信号処理技術を、これまでの情報通信技術をベースに開発していく。

(2) 計測システム設計：これまでのアクティブ光計測は、光の強度を直接変調するだけで実現

していたため、映像投影用のプロジェクタがそのまま光源として利用されてきた。本研究では、様々な変調方式を時間・空間・波長など複数の次元において実現することを目指しており、高速・高解像度に駆動できるデバイスが必要である。そのため、理論の実証のためのプロトタイプとして、多波長高速駆動光源・デジタルマイクロミラーアレイ・バンドパスフィルタ等を組み合わせた多機能なプロジェクタ・カメラシステムを設計する。

(3) 有効性の実証およびアプリケーション開発： 開発した計測システムを用いて、実応用に向けた実証実験やアプリケーション開発を行う。まず、これまでのアクティブ光計測技術では計測困難であった、光源強度の制約に由来する問題である屋外での3次元形状復元や動物体の計測を行い本研究の有効性を実証する。また、従来のアクティブ光計測ではノイズに埋もれてしまい計測困難であった、古文書や文化財内部の計測への応用可能性を検証する。

4. 研究成果

(1) 計測システムの作成

光を時間・空間の双方で符号化し、シーンに投影する、時空間変調プロジェクタ及び、時空間変調信号を計測できるカメラを組み合わせた、新しいプロジェクタ・カメラシステムを構築した。外観を図1に示す。カメラは、Time-of-flightカメラをベースとし、カメラの同期信号を処理する電子回路、高速に点滅するレーザーダイオード、空間変調を行うデジタルマイクロミラーデバイス、投影レンズ群を組み合わせたプロジェクタ・カメラシステムであり、光は10nsの時間変調とFull HD解像度の空間変調を組み合わせて、時空間的に自由に変調することができる。

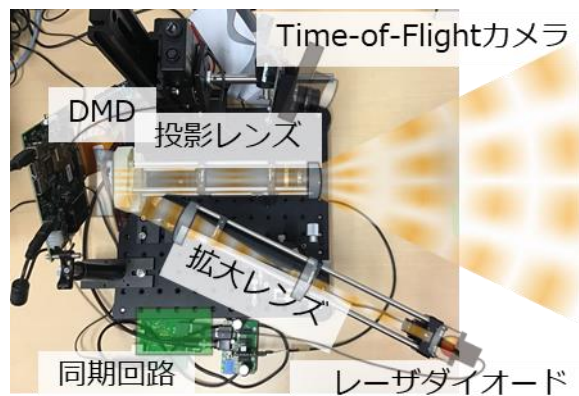


図1：時空間変調システム

(2) 計測アルゴリズムの構築

従来のアルゴリズムは、空間変調方式では視差のみに基づく計算、時間変調方式では、光路長のみに基づく計算を行っていた。この研究では、新たに、時空間双方を同時に変調したときに得られる視差と時間差の組み合わせデータを用いて、物体までの距離を一気に計測するアルゴリズムを構築した。これによって、従来は多数のフレームを用いて計算するしかなかった、広範囲・高精度な計測を、少数の計測で行う手法を実現できた。

(3) 実証実験

図2に、本手法によって実現した、高精度な形状計測の結果を示す。従来は、計測デバイスの限界によって、ノイズに埋もれて詳細に計測できなかった物体の詳細な形状が、本提案手法によって、同じデバイスかつ同じ光源強度であるにも関わらず、細部ま

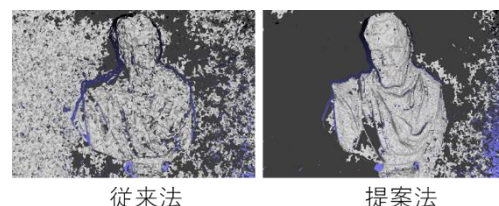


図2：実験結果

できれいに復元できていることが分かる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Takatani Tsuyoshi, Aoto Takahito, Tanaka Kenichiro, Funatomi Takuya, Mukaigawa Yasuhiro	4. 巻 1
2. 論文標題 Reconstruction of volumetric reflectance using spatio-sequential frequency correlation imaging	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Siggraph Asia Tech Brief	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1145/3283254.3283278	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kushida Takahiro, Tanaka Kenichiro, Aoto Takahito, Funatomi Takuya, Mukaigawa Yasuhiro	4. 巻 12
2. 論文標題 Phase disambiguation using spatio-temporally modulated illumination in depth sensing	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IPSI Transactions on Computer Vision and Applications	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s41074-020-00063-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 T. Kushida, K. Tanaka, T. Aoto, T. Funatomi, Y. Mukaigawa
2. 発表標題 Spatio-temporal Phase Disambiguation in Depth Sensing
3. 学会等名 IEEE International Conference on Computational Photography (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計2件

産業財産権の名称 三次元計測方法および三次元計測装置	発明者 榑田貴弘、田中賢一郎、青砥隆仁、舩富卓哉、向川康博	権利者 奈良先端科学技術大学院大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-081347	取得年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 三次元計測方法および三次元計測装置	発明者 榑田貴弘、田中賢一郎、青砥隆仁、舩富卓哉、向川康博	権利者 奈良先端科学技術大学院大学
産業財産権の種類、番号 特許、出願番号 PCT/JP2020/016921	取得年 2020年	国内・外国の別 外国

〔その他〕

Project Page

<https://takatani.org/2018/12/reconstruction-of-volumetric-reflectance-using-spatio-sequential-frequency-correlation-imaging/>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------