

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 7 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2011

課題番号：22760294

研究課題名（和文） 照明系の光学伝達関数を用いた実時間同軸三次元計測の研究

研究課題名（英文） Real-time Coaxial 3D measurement using depth from projection defocus

研究代表者

栗原 徹 (KURIHARA TORU)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・助教

研究者番号：50401245

研究成果の概要（和文）：

投影する並進移動縞の像の劣化からシングルフレームで三次元形状を推定するシステムを構築した。ある空間周波数をもつ格子が移動することで対象表面に生じる明暗は、その縞の移動速度と空間周波数により決定される時間周波数で変化し、その振幅は光学系の低域通過特性により焦点位置からのズレに反比例して小さくなる。これを時間相関カメラを用いて撮像することでワンショットで3次元形状を復元した。実験により、空間周波数成分の時間相関検出が可能であることを確認し、ゴム製の耳やセラミック製の置物の形状復元を実施した。

研究成果の概要（英文）：

We have developed single frame 3D measurement system using moving stripe pattern projection based on depth dependant modulation transfer function. When the stripe pattern with a certain spatial frequency component moves on the object, the brightness on it has temporal variation which is determined by its velocity and spatial frequency. The amplitude of that temporal variation decreases gradually with an increase in distance from focal point because of low-pass filter characteristics of the projection lens. The correlation image sensor can captures temporal variation in single frame, so that the 3D shape was reconstructed. We have confirmed those principles by some experiments.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	900,000	270,000	1,170,000
2011 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,100,000	630,000	2,730,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・計測工学

キーワード：三次元計測、時間相関イメージセンサ、デプスフロムデフォーカス、画像センシング、三角測量、形状復元

1. 研究開始当初の背景
3次元計測は、そのニーズの重要性から、光切断法、格子投影法、ステレオ法、Time-of-Flight法、フーリエ変換法、合焦法

など様々な手法が提案されており、古くから研究されているにも関わらず、依然として注目を集めている研究領域である。これらの手法を大別すると、三角測量によるものと、同

軸光学系によるものに分類することができる。申請者は、これまで光切断法による三次元計測、2 周波数格子投影法による三次元計測を行ってきたが、これらは三角測量に基づく手法であり、投影光が物体自身に遮られるオクルージョンの問題が避けられなかった。この領域では、カメラには物体が映っているにも関わらず、対象の形状が測定できないため、測定後の高次の処理が必要となっていた。一方で同軸光学系による三次元計測が様々なスケールで利用可能となれば、画面に映る領域ではすべて距離計測が可能となり、顕微鏡下での三次元計測、三次元ディスプレイ向けのコンテンツ制作、小型の腹腔鏡/内視鏡の三次元化といった様々な展開が可能となり、照明系と撮像系の光軸を同一とした三次元計測法の実用化が待たれている。

同軸三次元計測を実現する手法として、1) 白色干渉法、2)Time-of-Flight 法[4]、3)Depth-from-Defocus 法などが挙げられる。白色干渉法は、白色光源を用いた白色光の干渉を利用した手法であり、波長オーダーでの微小な凹凸測定を実現できるが、一方でその驚異的な精度により大きな物体の計測に向かない。Time-of-Flight 法は、近年の半導体撮像素子の進展により実現され発展しつつある手法であり、強度変調照明系と撮像素子を同軸上に設置できる長所がある。しかしながら、2次元撮像素子の応答速度の限界により、その精度は 5mm 程度にとどまり、限られた領域で応用を模索している段階である。一方で、Depth-from-Defocus 法は、撮像系のみから構成されるため装置は簡便であるが、撮像レンズの焦点ズレから対象の距離を計測する。そのため、1) 焦点位置を意図的に動かした複数枚の画像が必要であること、2) 撮像の焦点ズレは本質的に空間的な拡がりによってのみ検出されるため、画素ごとの密な三次元データを得ることができない、3) ボケの検出は撮像面での空間フィルタによるが、単一空間周波数での検出は不確定性原理により不可能であり、広帯域なフィルタとなることが避けられない、4) 対象表面にテクスチャ!などが必要であり一様な反射率を持つ物体は計測できない、といった課題が指摘される。また、能動的な Depth-from-Defocus 法も提案されているが、上記 1)、2)、3) の問題が解決したわけではない。

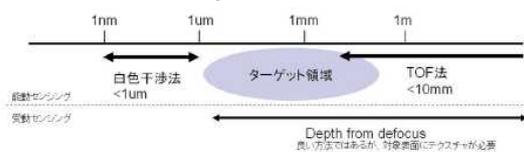


図 1: 本研究で特にターゲットとする領域: 確立した能動計測手法が未だに無い。

2. 研究の目的

本研究の目的は、照明系と撮像系の光軸を同一とした並進移動格子によるリアルタイム 3次元計測手法の確立である。光軸を同一とすることで物体自身の影により 3次元計測ができない領域を生じてしまうオクルージョンの問題を回避することが可能となり、並進移動格子により、投影格子の光学伝達関数による空間周波数劣化を時間軸で検出することが可能となることを期待できる。本研究ではこれらのトレードオフを明らかにし、実時間で三次元計測が可能となることを示す。また、時間空間周波数両面から最適投影格子パターンを設計する。これにより 3次元内視鏡/腹腔鏡、顕微鏡下での三次元計測、製造業における製品検査、リバーズエンジニアリング、3次元放送向けカメラなど様々な分野への展開が期待される。

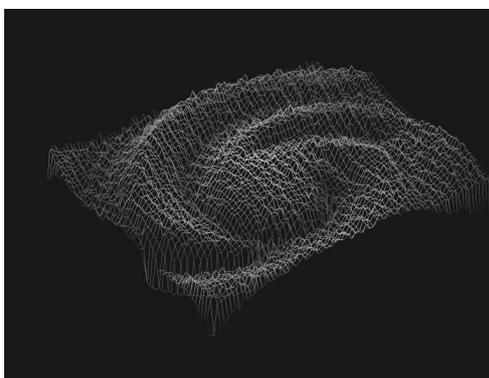
3. 研究の方法

まず、基本技術の確立を目的とし、100mm x 100mm x 100mm 程度の領域を対象とした 3次元計測装置を開発する。この際レンズ系の設計や精度と空間周波数のトレードオフについて、明らかにしていく。次に、上記トレードオフに基づき最適な投影パターンの設計を行い、さらに内視鏡への適用を目的とし、装置の小型化および最適な焦点深度設計、レンズ系の設計を行い提案手法の適用可能性を探り、期間内に可能な範囲で提案手法の有効性の検証を行う。

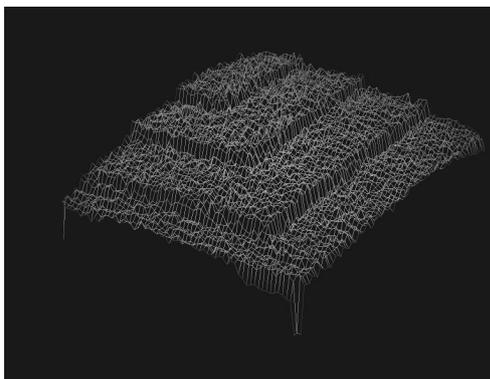
4. 研究成果

照明系と撮像系の光軸を同一とした並進移動格子によるリアルタイム 3次元計測手法について研究を行った。本研究では、光軸を同一とすることで物体自身の影により 3次元計測ができない領域を生じてしまうオクルージョンの問題を回避することが可能となり、並進移動格子により、投影格子の光学伝達関数による空間周波数劣化を時間軸で検出することが可能となることを明らかにした。本年度は提案法の原理に基づき、時間相関イメージセンサの時間相関出力を有効に活用することによりシングルフレームでの三次元計測を可能とし、リアルタイムで 3次元計測結果を提示するにいたった。また、プロジェクターを用いて可動部のないシングルフレーム高速三次元計測を行った。具体的には、高速に光強度変調可能な MEMS 素子を用いたプロジェクターにより、対象領域を並進する縞パターンを投影し、これをハーフミラーを用いて投影光学系と撮像光学系が同一の光軸を持つように時間相関イメージセンサを配置し時間相関撮像を行った。

ある空間周波数をもつ格子が移動することで対象表面に生じる明暗は、その縞の移動速度と空間周波数により決定される時間周波数で変化し、その振幅は光学系の低域通過特性により焦点位置からのズレに反比例して小さくなる。このように格子を並進させることで、投影パターンのエッジ上のみならず、全ての画素において奥行き測定が可能となる上、単一空間周波数成分を時間相関により検出することが可能となり、厳密なボケ量の推定が可能となる。MEMS 素子により 2 値矩形パターンを投影したため、元来、投影する縞は基本周波数に加え、3 倍周波数、5 倍周波数などの高調波成分を持つが、時間相関イメージセンサに入力する参照信号周波数を 3 倍とすることで、容易に 3 倍高調波成分を検出することが可能であることが確認された。これにより、空間周波数により異なるボケ量を多数の周波数を用いて推定することで、高周波数成分による焦平面での高精度推定と同時に、低周波成分により奥行きレンジの拡大を同時に実現可能である。実験により、空間周波数成分の時間相関検出を確認し、ゴム製の耳やセラミック製の置物の形状復元を実施した。これらの結果から、特に画像周辺部においてレンズの解像度低下が目立ち、平面を撮像しても滑らかに曲がっていく曲面として復元されることがわかった。実用化にはこれらの補正アルゴリズムの開発が必要である。



復元されたゴム製耳の形状



復元されたコルク製階段の形状

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 1 件)

Toru Kurihara and Shigeru Ando, "Single frame coaxial 3D measurement using depth from defocus of projection system," Proc. of SPIE, 査読有, Vol.8290, 82900V, 2012
<http://dx.doi.org/10.1117/12.907675>

[学会発表] (計 4 件)

①Toru Kurihara and Shigeru Ando, "Single frame coaxial 3D measurement using depth from defocus of projection system," Electronic Imaging, 2012/1/26, Burlingame, CA, USA

② Toru Kurihara and Shigeru Ando, "Single-frame coaxial projection 3D profilometry system using correlation detection of depth-dependent MTF," SICE2010, 2010年8月20日, Taipei, Taiwan

③ 栗原 徹, 落合和樹、安藤繁, "同心円モアレを用いた空間異存奥行き分解能を有する中心視三次元視覚センサ," 第 27 回センシングフォーラム, 2010年9月27日, 桐生

④ 栗原 徹, 安藤繁, "プロジェクターから投影される時空間縞パタンのボケを利用したシングルフレーム同軸三次元計測," 第 27 回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム, 2010年10月15日, 松江

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：
 発明者：
 権利者：
 種類：
 番号：
 出願年月日：
 国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：
 発明者：
 権利者：
 種類：
 番号：
 取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

栗原 徹 (Toru Kurihara)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・助
教

研究者番号：50401245

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：