

科学研究費補助金研究成果報告書

平成24年 6月 8日現在

機関番号：82626

研究種目：新学術領域研究

研究期間：2009～2011

課題番号：21200002

研究課題名（和文） 超高速3次元形状計測センサの開発および応用の研究

研究課題名（英文） Development of Ultra-fast 3D Measurement System and Its Application

研究代表者

佐川 立昌 (SAGAWA RYUSUKE)

独立行政法人産業技術総合研究所・知能システム研究部門・研究員

研究者番号：30362627

研究成果の概要（和文）：本提案の目的は、超高速な形状計測センサの開発および、計測した形状データを用いた応用の研究を行うことである。提案する形状計測手法は、プロジェクタから固定したパターンを投影し、観測対象上に写ったパターンをカメラで観測することによって形状を復元する。単一画像から形状データを得られるため、ハイスピードカメラを用いることにより、高速な事象の観測が可能な手法を開発した。これまでの実験により、1000～32000コマ/秒で撮影された、複雑かつ高密度な形状の計測に成功した。

研究成果の概要（英文）：The goal of this proposal is to develop the sensor that measures the 3D shapes of objects captured at very high frame rate. The proposed method uses the patterns cast by a projector and acquired by a camera. Since the shape is reconstructed by using a single image, the method can measure the shapes of objects in very fast motion. We have succeeded to acquire intricate and dense shapes captured at 1,000~32,000 frames/second in the experiments.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|------------|-----------|------------|
| 2009年度 | 8,300,000 | 2,490,000 | 10,790,000 |
| 2010年度 | 7,700,000 | 2,310,000 | 10,010,000 |
| 2011年度 | 4,500,000 | 1,350,000 | 5,850,000 |
| 総計 | 20,500,000 | 6,150,000 | 26,650,000 |

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：コンピュータビジョン、画像・文章・音声等認識、ユーザインターフェース

1. 研究開始当初の背景

物体衝突時における変形や、高速回転するタービンの羽のような、急激に変化するシーンの観察には、従来ハイスピードカメラを用いた高速度撮影が用いられてきた。この時、衝突する物体の変形や、タービンの羽の細かい振動など、対象シーンの運動や変形を解析し、モデリングを行なうには、高速な映像撮影だけでは不十分であり、高速な連続計測が可能な、3次元形状計測の手法が求められる。

ところが、現在一般に用いられている形状計測センサ（レーザレンジセンサ、パターン光投影型センサ）は、原理的に「複数回」レーザなどの光源を照射し、それらを観測する必要があることから、上記のようなハイスピード3次元形状計測を実現することが難しく、これまで30FPS（フレーム/秒）程度が限度であった。30FPS程度の計測速度では、上記のような高速物体の計測がほぼ不可能であるばかりではなく、人物の手足の動きや、

表情の変化も、時として非常に速い動きとなるため、これらを正確に計測することも困難である。このため、これまでの手法の延長線上ではない、実際に高速な3次元形状計測が実現できる新たな3次元計測手法が強く望まれてきた。

もしこのような高速な3次元形状計測が実現できれば、高速度撮影の映像、すなわちスローモーション映像が見たものに新鮮な驚きを与えたばかりではなく、人間の目には捉えられない事象の観察を可能とし、その結果、新たな多くの発見をもたらしたように、我々人類に、想像を超えた新しい発見や、多くの分野にブレークスルーをもたらす可能性がある。

2. 研究の目的

本提案の目的は、超高速な連続計測が可能な形状計測センサの開発と、計測した超高速な連続形状データを用いた応用に関する研究である。具体的には、形状データを100~10000FPSで連続的に取得可能なセンサの構築を目指す。

これまでこのような問題を解決するために、プロジェクタとカメラを利用した形状計測手法を基に、カメラによる1回の撮影(ワンショット)のみで3次元形状計測を行う手法を研究・開発してきた。これまでの研究において、高速形状計測に必要な基礎理論は構築済みであり、試験的な実装による動作確認もされているが、超高速な形状計測を実現するためには解決すべき課題があることが分かっている。特に、照射パターンの誤検出の補正および高輝度プロジェクタの構築は、喫緊の課題である。そこで本提案では、これらの課題を解決することにより、実際に超高速な3次元形状を計測可能なシステムを構築した。

3. 研究の方法

上記の課題を解決するために本研究では下記の要素について研究を行った。

(1) カラーパターン光を用いたワンショット3次元形状計測法の研究

複数の色を用いたパターン光を設計し、これまで開発したワンショット3次元形状計測法と組み合わせることにより、3次元形状復元に必要なプロジェクタ・カメラ間の対応付けにおける曖昧さ解決に利用する。

(2) 複数のカメラ、プロジェクタを用いた計測システムの研究

提案するシステムの基本的なデバイス構成は、1台のカメラと1台のプロジェクタを用いるものであるが、視野が限られているため、観測対象全体の形状計測ができなかった。そこで、複数のデバイスを用いて

計測する手法を研究し、広範囲を同時に形状計測するシステムを構築する。

(3) 赤外光を用いて形状計測を行うシステムの研究

提案手法では、プロジェクタからパターン光を投影するため、物体本来のテクスチャが乱され、形状とテクスチャを同時に撮影できない。そこで、赤外光パターンを投影するシステムを開発し、同時計測を実現する。

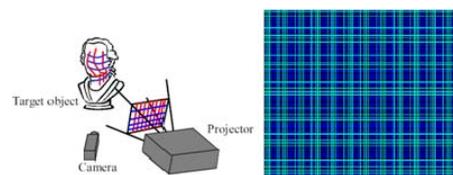
(4) 高密度な形状計測の実現

これまで提案してきた形状復元方法は、投影したグリッドパターン上の形状データを生成するものであったため、画像解像度と比べて疎な復元結果であった。そこで高密度に補間することによって、密度が高い形状データを生成する手法を研究する。

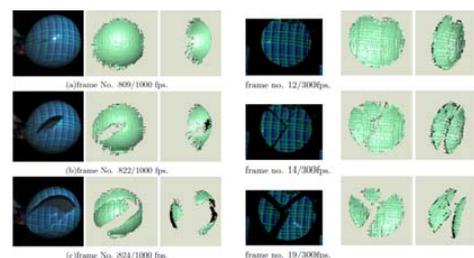
4. 研究成果

(1) カラーパターン光を用いたワンショット3次元形状計測法の研究

平成21年度において、3次元形状復元に必要なプロジェクタ、カメラ間の対応付けにおける曖昧さ解決に利用するため、これまで開発したワンショット3次元形状計測法とカラーパターン光を組み合わせる方法を提案した。この方法では、de Bruijn 系列に基づいた周期的なカラーコードを利用したパターンを用いる。このカラーコードを用いることによって、周期内での位置を区別できるため、対応付けの曖昧さと、投影するグリッドパターンの誤接続を減らす効果を実現した。グリッドパターンの誤接続が発生した場合に、これまで開発した方法では共面性拘束による対応付けが破綻するという問題があったが、誤接続が存在する場合にも、破綻なく対応付けを実現する手法を提案した。下図は、提案する計測システムおよびパターンを示している。このシステムを用いて、風船の破裂、および皿の破壊の瞬間の形状計測に成功した。



(左) 復元システム、(右) 投影パターン

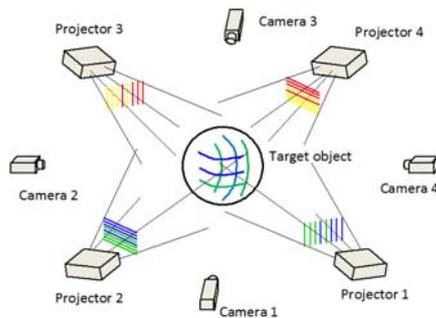


風船の破裂と皿が割れる様子の形状計測

(2) 複数のカメラ、プロジェクタを用いた計測システムの研究

平成 22 年度における研究では、まず複数のデバイスを利用した、広範囲な計測手法の開発を行った。初期実施計画に記されていない発展として、平成 21 年度の研究で、複数のカメラ、プロジェクタを利用した形状計測の可能性が示された。そこで提案手法を拡張し、観測対象の周囲にカメラとプロジェクタを配置し、高速移動物体に対して全周形状の計測を行う方法の研究開発を行った。

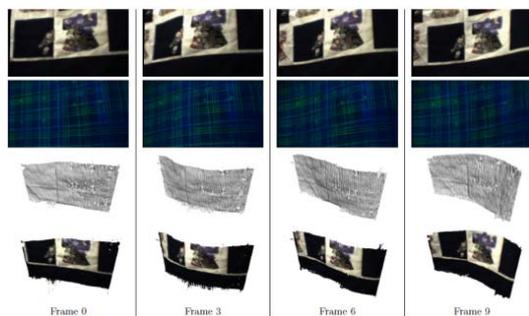
平成 23 年度には、その全周形状システムを発展させ、すべてのカメラ・プロジェクタの情報を統合することによって、形状計測の精度を向上させる手法について研究した。その手法に基づいた全周形状計測システムを構築し、人の動きの計測あるいは、柔軟物体の計測によって、その運動のモデリングのためのデータ取得実験を行った。



全周形状計測システム

(3) 赤外光を用いて形状計測を行うシステムの研究

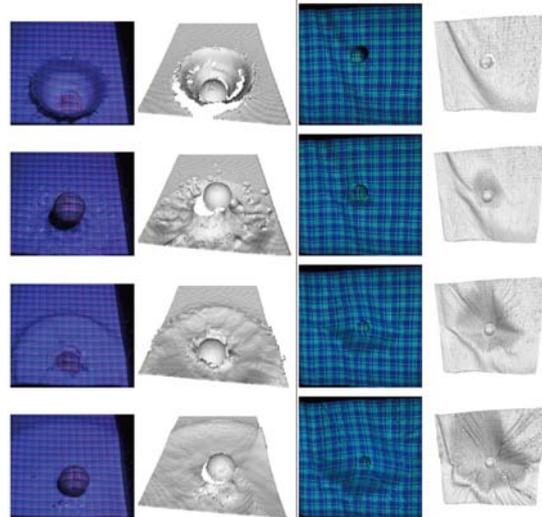
これまで可視光を投影するプロジェクタを用いてパターンを投影したのに対し、赤外光を用いてパターン投影を行うプロジェクタの設計と試作を行い、赤外光を用いて形状計測を行うシステムの研究開発を行った。これにより、可視光のテクスチャの撮影と形状計測を同時に行うことが可能となった。



テクスチャと形状の同時計測

(4) 高密度な形状計測の実現

これまで提案してきた形状復元方法は、撮影したグリッドパターン上の形状データを生成するものであったが、平成 23 年度にはこれを高密度に補間することによって、密度が高い形状データを生成する手法を研究開発した。下記の図は、水面にボールを落とした瞬間の形状変化、および布にボールを当てた瞬間の形状変化について実験を行った例である。それぞれ 60FPS, 2000FPS で撮影を行った。補間によりカメラの画素全てを用いて形状復元することにより、水面に起こる波などの細かな形状の計測に成功した。



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 6 件)

- ① Furukawa, Sagawa, Kawasaki, Sakashita, Yagi, Asada, Entire Shape Acquisition Technique Using Multiple Projectors and Cameras with Parallel Pattern Projection, IPSJ Transactions on Computer Vision and Applications, 査読有, vol. 4, 2012, pp. 40-52, DOI: 10.2197/ipsjtcva.4.40
- ② Daribo, Furukawa, Sagawa, Kawasaki, Hiura, Asada, Efficient Rate-Distortion Compression of Dynamic Point Cloud for Grid-Pattern-Based 3D Scanning Systems, 3D Research, 査読有, vol. 3, no. 1, 2012, pp. 1-9, DOI: 10.1007/3DRes.01(2012)2
- ③ 古川, 川崎, 佐川, 阪下, 大田, 頭師, 八木, 浅田, 複数プロジェクタを用いた線形解法によるワンショットアクティブ形状計測, 情報処理学会論文誌, 査読有, vol. 52 no. 5, 2011, pp. 1923-1938 <http://ci.nii.ac.jp/naid/110008508022>
- ④ 大田雄也, 佐川立昌, 古川亮, 川崎洋,

八木康史、浅田尚紀、Belief-Propagation
による高密度なグリッドパターン検出及
びデプルーイン系列を用いた高速動物体
のロバストな三次元計測手法、電子情報
通信学会論文誌 D、査読有、J93-D、2010、
pp.1544-1554、
<http://ci.nii.ac.jp/naid/110007681691>

- ⑤古川亮、川崎洋、佐川立昌、八木康史、
Shape from Grid Pattern Based on
Coplanarity Constraints for One-shot
Scanning, IPSJ Transactions on
Computer Vision and Applications, 査読
有、vol.1, 2009, pp.139 -157,
DOI: 10.2197/ipsjtcva.1.139

[学会発表] (計 24 件)

- ① Sagawa, Kawasaki, Furukawa, Kiyota,
Dense One-shot 3D Reconstruction by
Detecting Continuous Regions with
Parallel Line Projection, 13th
International Conference on Computer
Vision, 2011/11/8, Fira de Barcelona,
Barcelona, Spain
- ②佐川立昌、川崎洋、古川亮、清田祥太、
平行線投影を用いた連続領域の検出によ
る高密度なワンショット形状復元、第 14
回画像の認識・理解シンポジウム、
2011/7/20、石川県、金沢市文化ホール
- ③Sakashita, Sagawa, Furukawa, Kawasaki,
Yagi, A System for Capturing Textured 3D
Shapes based on One-shot Grid Pattern
with Multi-band Camera and Infrared
Projector, 2011 International
Conference on 3D Imaging, Modeling,
Processing, Visualization and
Transmission (3DIMPVT), 2011/5/16,
Huagang Hangzhou HNA Resort, Hangzhou,
China
- ④Furukawa, Sagawa, Kawasaki, Sakashita,
Yagi, Asada, One-shot entire shape
acquisition method using multiple
projectors and cameras, 4th Pacific-Rim
Symposium on Image and Video
Technology (PSIVT2010), 2010/11/15,
Singapore, Singapore
- ⑤佐川立昌、大田雄也、八木康史、古川亮、
浅田尚紀、川崎洋、Dense 3D
Reconstruction Method Using a Single
Pattern for Fast Moving Object、IEEE
12th International Conference on
Computer Vision、2009/10/1、京都国際
会館(京都府)

[図書] (計 1 件)

- ①長原一、佐川立昌、ナノオプトニクスエ
ナジー、ロボット情報学ハンドブック第 5
章 5.2、2010、14 ページ (263-276)

[産業財産権]

○出願状況 (計 2 件)

名称：画像処理方法および装置

発明者：佐川、川崎、古川

権利者：産総研、広市大、テクノドリーム二
十一

種類：特願

番号：2011-158175

取得年月日：2011/7/19

国内外の別：国内

②名称：3 次元形状の取得装置、処理方法お
よびプログラム

発明者：古川、川崎、佐川

権利者：テクノドリーム二十一、産総研、広
市大

種類：特願

番号：2011-157249

出願年月日：2011/7/15

国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐川 立昌 (SAGAWA RYUSUKE)

独立行政法人産業技術総合研究所・知能シ
ステム研究部門・研究員

研究者番号：30362627

(2) 研究分担者

古川 亮 (FURUKAWA RYO)

広島市立大学・情報科学研究科・講師

研究者番号：50295838

川崎 洋 (KAWASAKI HIROSHI)

鹿児島大学・理工学研究科・教授

研究者番号：80361393