

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 29 日現在

機関番号：12301

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2012～2014

課題番号：24680011

研究課題名(和文) 高速光学系によるアクティブプロジェクション

研究課題名(英文) Active projection based on high-speed optical devices

研究代表者

奥 寛雅 (Oku, Hiromasa)

群馬大学・大学院理工学府・准教授

研究者番号：40401244

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,300,000円

研究成果の概要(和文)：高速に焦点距離や投影方向を変調できる光学デバイスを利用して、投影像の合焦位置や投影方向を高速に制御可能なアクティブプロジェクションシステムとその応用手法とを開発した。奥行きによって異なるパターンをもつライトフィールドの投影像から1000Hzの計測周波数で高速に実環境の3次元情報を計測可能な新たな手法を研究・開発し、実環境での高速3次元計測・認識の実現からその有用性を実証した。さらに、当該システムを利用して高速運動する対象への動的プロジェクションマッピング手法を研究・開発し、あたかも印刷されているかのように見える新たな映像投影技術の有用性を実験や展示を通して実証した。

研究成果の概要(英文)：In this project, basic study on active projection technology and its applications, including prototype system development, were conducted. The active projection technology is a new projection method based on the high-speed control of projector's focal length and projecting direction using high-speed optical device/unit.

A new high-speed depth image measurement method was developed, which use a light field illumination that has different intensity pattern depending on the distance from the projector. A high-speed depth image estimation (< 1/1000 s) was demonstrated. The reason of this high-speed estimation is that the depth can be estimated from the projected pattern directly.

A dynamic projection mapping method was also developed based on the developed active projection system. Smooth projection of a facial expression on a randomly moving table tennis ball was demonstrated successfully.

研究分野：動的映像制御

キーワード：拡張現実感 プロジェクター 高速光学系

1. 研究開始当初の背景

人々への情報提供や意思決定支援のために、実世界の風景に文字や映像を重畳して情報を提示する手法は拡張現実感(Augmented Reality; AR)と呼ばれ盛んに研究されている。中でもプロジェクターにより映像・情報を投影する手法は、被投影対象を見ている人間が道具の装着や視線の制約なく認識できるため、その場を共有する人間にわかりやすく、かつお互いのコミュニケーションを阻害しない優れた利点がある。しかし、既存のプロジェクターは被写体の位置が動かないことを前提としているため、投影方向・焦点距離が固定されており、運動する対象を含む動的な実環境への映像投影が難しいという問題があった。

一方、研究提案者は光学系制御と高速画像処理とを組み合わせることで撮像を制御するダイナミックイメージコントロールの概念を提唱し、その中で高速液体レンズ(i)や高速視線制御ユニット(ii)など、高速光学デバイスを開発してきた。これらは焦点や視線方向をミリ秒で制御できる世界最高レベルの性能を持つ光学デバイス/ユニットである。

2. 研究の目的

そこで本研究では、これまで研究・開発してきたミリ秒オーダーで制御可能な光学デバイスと高速画像処理技術とを融合することで、動的な環境の即時理解に基づく対象への安定した情報投影を実現する新たな高速情報投影理論・技術を創出することを目的とした。本研究ではこの技術を「アクティブプロジェクション」と呼ぶ。

3. 研究の方法

これまで開発してきた光学デバイス・ユニットの特性を基礎として、この高速な光学系の制御を活用する新たな理論・アルゴリズムを研究・開発した。また、高速光学デバイス/ユニットを利用してアクティブプロジェクションに必要な試作システム開発を行い、開発した理論やアルゴリズムの実証実験を行った。また、これらの新たな手法の実用が見える形のデモンストレーションも開発し、展示会などでの実演やYouTubeでのビデオ公開を通じてその有用性、重要性を社会に広告した。

4. 研究成果

以下に代表的な研究成果の概略を述べる。

(1) アクティブプロジェクションシステムの開発

現在拡張現実感の研究では、実空間に映像を投影し、対象に映像情報を重畳させる研究が盛んに行われている。しかし、基本的には床や壁、机などの静的な対象への投影が想定さ

れており、特に運動する人間や自動車のように動的な対象への映像情報投影はあまり試みられてこなかった。

この主な原因として、動いている対象に十分に高速に映像の投影位置を追従させることができなかった点が挙げられる。動いている対象の位置をなんらかの手段で計測し、それに合わせて映像を投影する際に、プロジェクターの応答が遅いために対象に対して投影像がずれてしまう(幾何学的不整合)。このずれは観測している人に大きな違和感を与え、映像情報の認識を著しく困難にするために、大きな問題であった。

この問題を解決し、動的な対象に安定して映像を投影する一つ的手段として、高速視線制御ユニットとプロジェクターを組み合わせ、プロジェクターの投影方向を高速に制御可能なアクティブプロジェクションシステムを構築した。

高速視線制御ユニットは二軸の回転鏡によってカメラの視線方向を高速に制御可能な光学ユニットであるが、カメラの代わりにプロジェクターを設置することで、映像の投影方向を高速に制御することも可能である。そのため、基本的にはプロジェクターをカメラの代わりに設置すれば、その投影方向を高速に制御可能となる。しかし、実際には光学系の内部反射などに伴う迷光が対象認識用カメラに大きなノイズとなるという問題があり、これを解決するために、投影系と撮像系とが光軸を共有する箇所を最小限にとどめ、かつ内部反射を低減するための特殊な構造を開発することで、アクティブプロジェクションシステムを実現した。

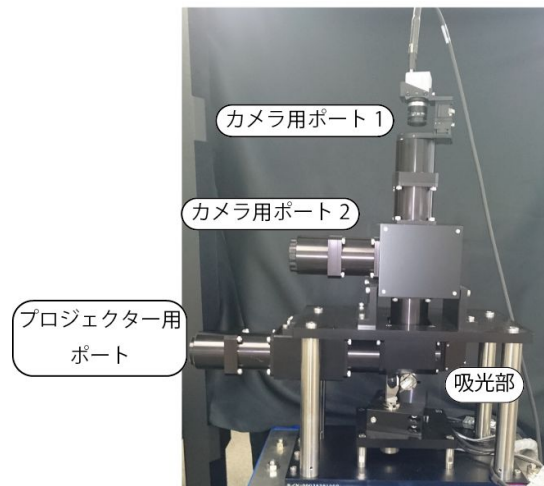


図 1. 試作アクティブプロジェクションシステムの写真

試作したアクティブプロジェクションシステムを図1に示す。当該システムは既存の高速視線ユニットの構造を元に、投影用ポートと撮像用ポートとがガルバノミラー直後のハーフミラーで分岐される構造をとること

で、内部反射による迷光を低減している。また投影用ポートからの投影光のうち、ハーフミラーを通過してしまう余分な光を吸収するための吸光部を備え、こちらも迷光の除去に寄与している。これらの構造により、迷光によるカメラ画像への影響が大幅に低減されることが実験から確認された。また、投影方向のミリ秒オーダーでの制御と高解像度の投影とを実現していることも確認された。

(2) アクティブプロジェクションのための高速物体認識アルゴリズム

動的な対象に映像を投影するためには、まず対象を画像から認識することが必要になる。しかし、映像投影が前提となるために、対象の表面に映像が重畳している画像から対象を認識することが必要であり、通常の画像処理アルゴリズムでは対象認識が難しい。この状況で対象を認識するために、新たな物体認識アルゴリズムを研究・開発した。本研究では高速に対象を認識する必要があるため、単純化のために対象の形状が姿勢に依存しない球などであることと、対象がトラッキングされていて視野中心に存在することを仮定した。その上で投影像が重畳していない場合に計測されるであろう元画像を、投影像が重畳した画像から推定し、推定した元画像から対象の認識を行うアルゴリズムを構築した。サッカーボールミラーを用いるためにプロジェクターの投影中心と撮像用カメラのカメラ中心は一致させることができ、そのため、対象までの距離によらずプロジェクター画素とカメラ画素との対応関係が陽にわかる。これにより、画素毎に投影像が重畳していない場合の画素値を推定すればよく、比較的単純な処理で安定して対象を認識可能である。

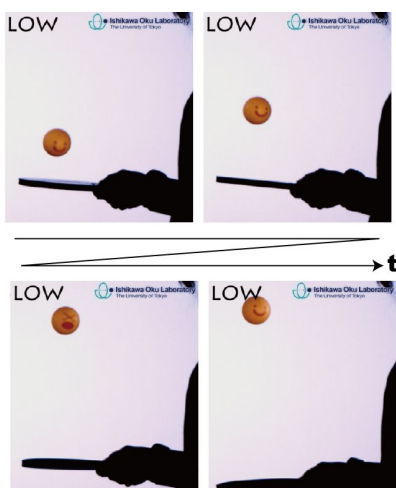


図2 リフティングされている卓球への表情の投影実験結果

(3) るみぺん：アクティブプロジェクションシステムによる動的物体への投影型拡張現実感

以上で述べた、アクティブプロジェクションシステムに高速物体認識アルゴリズムに基づくアプリケーションを実装し、実際に運動する対象に対して動的な投影を行い、投影型拡張現実感を実現した。この方式の投影型拡張現実感を「るみぺん」と名付けた。るみぺんは高速なトラッキングによって動いている対象にも常に投影位置ずれの少ない投影を実現でき、幾何学的不整合性をほぼゼロにした拡張現実感を実現できる。

リフティングしている卓球の球に表情を投影した結果を図2に示す。下の方でラケットで打ち上げられ、その後少し上の方に来たところで痛い表情に変わっていることがわかる。

当該成果は複数のデモ展示でも好評を収め、この成果を含む結果は、**2014年映像情報メディア学会誌 2013年動画コンテンツ優秀賞、2014年第19回画像センシングシンポジウム 最優秀学術賞**等を受賞した。

(4) 構造化ライトフィールド投影による高速三次元画像計測手法

高速液体レンズをプロジェクターに接続することでプロジェクターの焦点距離高速に変調することができるようになる。実際に高速液体レンズを投影系に応用した試作プロジェクターを構築して、特に距離計測への応用可能性を検証した。この検証を通じて、距離に応じて投影像が変化するような光線場を投影し、その投影像から三次元計測を行う、構造化ライトフィールド投影による高速三次元計測法を着想した。

構造化ライトフィールドとは、距離に依存して光強度分布が変化する光線場であり、もしこれを生成できる照明系があると、対象に投影されているパターンから、照明から対象までの距離情報が直接推定できるようになる。これを利用すると高速な三次元計測の実現が期待できる。

その後の研究から、焦点制御の前に、まずは複数の投影面をもつ特殊な照明系を構築して構造化ライトフィールドを投影する手法の特性を解明し、それから焦点制御との組み合わせを研究した方がよいことがわかったため、本研究では特殊な照明系による構造化ライトフィールド投影法の研究・開発に注力した。

具体的には、(i)ロンキールーリングによる生成法と、(ii)二台のプロジェクターによる生成法と、とを研究・開発した。これらは、縦縞と横縞とをそれぞれ異なる焦点で合焦するように投影したものを重畳した光線場を投影する原理を採用しており、対象表面に投影されている縦縞と横縞とのコントラストの比を検出することで対象の距離を推定するものである。コントラストの比を検出しているため、対象表面の反射率の影響をキャンセルし、安定した距離情報推定を可能とする。実際にこの照明を投影し、1000fpsの画像セ

ンサで取得した画像から距離画像を推定する実験を行ったところ、約 2500 点の計測点をもつ距離画像を 1 ミリ秒以下で推定できることがわかり、従来一般的だったステレオ計測に基づく距離計測手法よりもはるかに高速な計測が可能であることを実証した。

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 11 件)

Kohei Okumura, Keiko Yokoyama, Hiromasa Oku and Masatoshi Ishikawa, 1ms Auto Pan-Tilt - video shooting technology for objects in motion based on Saccade Mirror with background subtraction, *Advanced Robotics*, 査読有, Vol.29, No.7, 2015, pp.457-468, DOI:10.1080/01691864.2015.1011299
安井雅彦, アルバロ カシネリ, 奥村光平, 奥寛雅, 石川正俊, 残像による動体軌跡上情報投影手法の提案とその実現にむけた残像特性の基礎的研究, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, 査読有, Vol.20, No.1, 2015, pp.55-64
末石智大, 長谷川圭介, 奥村光平, 奥寛雅, 篠田裕之, 石川正俊, 空中超音波触覚ディスプレイ・カメラ系による高速ダイナミック情報環境とその校正手法, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, 査読有, Vol.19, No.2, 2014, pp.173-183
宮下令央, 藏悠子, 奥村光平, 奥寛雅, 石川正俊, 高速光軸制御を用いた動的物体の非接触振動計測システム, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, 査読有, Vol.19, No.2, 2014, pp.99-104
Yoshihiro Watanabe, Hiromasa Oku, Masatoshi Ishikawa : Architectures and applications of high-speed vision, *Optical Review*, 査読無, Vol.21, Iss.6, 2014, pp. 875-882, DOI:10.1007/s10043-014-0140-8
Taku Senoo, Yuji Yamakawa, Yoshihiro Watanabe, Hiromasa Oku and Masatoshi Ishikawa, High-Speed Vision and its Application Systems, *Journal of Robotics and Mechatronics*, 査読無, Vol.26, No.3, 2014, pp.287-301
奥寛雅, 光学式視線制御機構による高速ビジュアルトラッキング, *日本ロボット学会誌*, 査読無, Vol.32, No.9, 2014, pp.774-778
奥村光平, 奥寛雅, 石川正俊, 1ms オートパン・チルト, *画像ラボ*, 査読無, Vol.25, No.5, 2014, pp.8-15
奥村光平, 石井将人, 巽瑛理, 奥寛雅, 石川正俊, 高速視線制御光学系による高速飛翔体の映像計測, 計測自動制御学会論文集, 査読有, Vol.49, No.9, 2013,

pp.855-864

末石智大, 奥村光平, 奥寛雅, 石川正俊, 二眼駆動鏡面式視線制御による高速運動・変形物体のステレオ計測システム, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, 査読有, Vol.18, No.2, 2013, pp.181-190

奥村光平, 奥寛雅, 石川正俊 : 高速光軸制御を用いた動的物体への投影型拡張現実感, *映像情報メディア学会誌*, 査読有, Vol.67, No.7, 2013, pp.J204-J211 DOI:10.3169/itej.67.J204

[学会発表](計 22 件)

1. Tomohiro Sueishi, Hiromasa Oku, Masatoshi Ishikawa, Robust High-speed Tracking against Illumination Changes for Dynamic Projection Mapping, *IEEE Virtual Reality Conference (VR2015)* (Arles Congress Center, Arles, France, 2015.3.26), 2015, pp.97-104 (Short paper)
2. 木村俊貴, 楊旭, 奥寛雅, プロジェクターを用いた構造化ライトフィールドの投影による高速三次元距離計測, *日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015 (Robomech 2015)* (みやこめっせ 京都, 2015.5.18) / 講演論文集, 2015, 1A1-103
3. 松本卓也, 奥寛雅, 石川正俊, 構造化ライトフィールドの投影による実時間距離計測, 第 32 回日本ロボット学会学術講演会(九州産業大学, 福岡, 2014.9.4) / 予稿集, 2014, 1J3-06
4. 奥村光平, 末石智大, 奥寛雅, 石川正俊, 時間幾何学的整合性を有する動的物体へのプロジェクションマッピング, 第 20 回画像センシングシンポジウム (SSII2014) (パシフィコ横浜, 神奈川, 2014.6.12-13) / 講演論文集, 2014, DS1-01
5. Hiromasa Oku : Dynamic image control based on high-speed optical devices (Invited), *The 5th International Symposium on Photoelectronic Detection and Imaging (ISPD12013)* (China National Convention Center, Beijing, China, 2013.6.26) / Invited Talks, 2013, p. 59
6. Kohei Okumura, Masato Ishii, Eri Tatsumi, Hiromasa Oku and Masatoshi Ishikawa, Gaze Matching Capturing for a High-speed Flying Object, *International Conference on Instrumentation, Control, Information Technology and System Integration (SICE Annual Conference 2013)* (Nagoya University, Nagoya, Japan, 2013.9.15) / Conference

- Proceedings, 2013, pp.649-654
7. Kohei Okumura, Hiromasa Oku and Masatoshi Ishikawa, Active Projection AR using High-speed Optical Axis Control and Appearance Estimation Algorithm, 2013 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME 2013) (The Fairmont San Jose, San Jose, USA, 2013.7.15) / Conference Proceedings, 2013, DOI:10.1109/ICME.2013.6607637
 8. Hiromasa Oku, Kazuma Tsukamoto, Masatoshi Ishikawa, Measurement of temporal response characteristics of liquid-liquid interface with a pinned contact line for high-speed liquid lens design, 2nd EOS Conference on Optofluidics (EOSOF 2013) (International Congress Centre Munich (ICM), Germany, 2013.5.14) / Abstract, 2013, 1569714639_002 (poster)
 9. 奥寛雅, 奥村光平, 石川正俊, 高速視線制御ユニットによる動的プロジェクションマッピング, 第18回日本バーチャルリアリティ学会大会(VRSJ2013) (ナレッジキャピタル, 大阪, 2013.9.20) / 論文集, 2013, pp.373-375
 10. 小林鉦石, 奥寛雅, 石川正俊, 可動ミラーを用いた全周走査高速視線制御・ユニットの提案, 第31回日本ロボット学会学術講演会(首都大学東京南大沢キャンパス, 東京, 2013.9.4) / 予稿集, 2013, 1E3-04
 11. 奥村光平, 横山恵子, 奥寛雅, 石川正俊, 1 ms オートパン・チルト ~ 動きの並進成分を極力除去した映像の生成技術~, 第31回日本ロボット学会学術講演会(首都大学東京南大沢キャンパス, 東京, 2013.9.4) / 予稿集, 2013, 1E2-03
 12. 奥寛雅, 奥村光平, 石川正俊, 高速光学系により応答時間を整合した新たなビジョンシステムの提案, 第19回画像センシングシンポジウム (SSII2013) (パシフィコ横浜, 神奈川, 2013.6.14) / 講演論文集, 2013, IS3-11
 13. 横山恵子, 末石智大, 奥村光平, 奥寛雅, 石川正俊 : 背景差分を適用した高速視線制御トラッキングシステムおよび屋外用ユニット, 第19回画像センシングシンポジウム (SSII2013) (パシフィコ横浜, 神奈川, 2013.6.13-14) / 講演論文集, 2013, DS1-07
 14. 末石智大, 奥寛雅, 石川正俊, 駆動鏡面式高速視線制御光学系を用いた高精度計測のための光学パラメータ推定, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013(ROBOMECH 2013) (つくば国際会議場, 茨城, 2013.5.24) / 講演論文集, 2013, 2A1-J01
 15. 奥寛雅, 奥村光平, 石川正俊, ロボティクス・ビジョン: フレーム毎の高速光学系制御に基づく次世代ビジョンシステムの提案, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013 (ROBOMECH 2013) (つくば国際会議場, 茨城, 2013.5.24) / 講演論文集, 2013, 2A1-J04
 16. 横山恵子, 奥村光平, 奥寛雅, 石川正俊, 可搬型高速視線制御システムの開発と背景差分を用いた屋外での高速物体追跡, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013 (ROBOMECH 2013) (つくば国際会議場, 茨城, 2013.5.24) / 講演論文集, 2013, 2A1-K01
 17. 大塚博, 奥寛雅, 石川正俊, 液体可変焦点レンズの応用に向けた焦点距離計測機構の基礎評価, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013(ROBOMECH 2013) (つくば国際会議場, 茨城, 2013.5.24) / 講演論文集, 2013, 2A1-K03
 18. 松崎翔太, 奥寛雅, 石川正俊, 焦点距離の高速スキャンにより得られる時系列画像を用いた高速三次元動き推定手法, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013 (ROBOMECH 2013) (つくば国際会議場, 茨城, 2013.5.23) / 講演論文集, 2013, 1P1-J06
 19. Hiromasa Oku, Dynamic imaging based on high-speed optical components (Keynote Lecture), The 5th International Symposium on Aero Aqua Bio-Mechanisms (ISABMEC 2012) (Howard International House, Taipei, Taiwan, 2012.8.26) / Proceedings, pp.13-18
 20. Hiroki Deguchi, Hiromasa Oku, Masatoshi Ishikawa : Arbitrarily Focused Video Using High-speed Liquid Lens (Posters), 5th ACM SIGGRAPH Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques in Asia (SIGGRAPH ASIA 2012) (Singapore EXPO, Singapore, 2012.11.29-30)
 21. Kohei Okumura, Hiromasa Oku and Masatoshi Ishikawa, Lumipen: Projection-Based Mixed Reality for Dynamic Objects, 2012 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME 2012) (Melbourne Convention and Exhibition Centre, Melbourne, Australia 2012.7.11) / Conference Proceedings, 2012, pp.699-704, DOI:10.1109/ICME.2012.34
 22. 奥村光平, 奥寛雅, 石川正俊, 動的対象への投影型拡張現実感, 2012年映像情報メディア学会年次大会(広島市立大学,

〔産業財産権〕

出願状況 (計 2 件)

1.

名称：背景差分抽出装置及び背景差分抽出方法

発明者：奥寛雅，横山恵子，石川正俊

権利者：東京大学

種類：特許

番号：特許願 2013-099408 / 優先権に基づく

国際出願 PCT/JP2014/061826

出願年月日：平成 25 年 5 月 9 日

国内外の別： 国際

2.

名称：視線方向制御装置

発明者：奥寛雅，石川正俊，小林鉦石

権利者：東京大学

種類：特許

番号：特許願 2013-141940

出願年月日：平成 25 年 7 月 5 日

国内外の別： 国内

〔その他〕

奥研究室ホームページ

<http://www.okulab.cs.gunma-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

奥 寛雅 (OKU, Hiromasa)

群馬大学・大学院理工学府・准教授

研究者番号：40401244

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし