

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 29 日現在

機関番号：33934

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350025

研究課題名(和文) 曲面のある動く立体物へのリアルタイム・プロジェクションマッピング支援システム

研究課題名(英文) Real-time projection mapping support system for moving three-dimensional objects with curved surfaces

研究代表者

杉森 順子 (Sugimori, Junko)

愛知工科大学・工学部・准教授(移行)

研究者番号：00559891

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、「曲面のある立体物」に正確なプロジェクションマッピングが行え、映像とマスクの合成をリアルタイムに計算することで、「動く立体物」にも投影できる制作支援システムを開発することである。プロジェクションマッピングとは、立体物の形状に合わせて変形した映像を投影する技法である。本研究では、プロジェクタを活用して壁面に映った立体物の影からマスクを自動作成し、光の走査で立体物に投影する変換画像の情報を計測する手法と、FPGAによるリアルタイム画像機器を開発した。この開発により、安価な機器を用いて動く立体物にリアルタイムでプロジェクションマッピングが行えるシステムを構築することができた。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to develop a production support system that can perform accurate projection mapping of "three-dimensional object with curved surfaces", calculate composition of image and mask in real time, and project it to "moving three-dimensional object". Projection mapping is a technique to project a deformed image according to the shape of a three-dimensional object. In this research, we propose following methods : (1)produce a mask from a shadow of a three-dimensional object reflected on the wall using a projector automatically, (2) measuring the information of the converted image projected on a three-dimensional object by scanning the light,(3) developing a real-time imaging device using FPGA. With this development, we were able to construct a system that can perform projection mapping in real time on moving three-dimensional objects using inexpensive equipment.

研究分野：映像デザイン

キーワード：プロジェクションマッピング 映像デザイン メディアデザイン 画像認識 コンテンツ インスタレーション 情報デザイン リアルタイム

1. 研究開始当初の背景

(1)「プロジェクションマッピング」とは、建物や立体物をスクリーンとしてその形状に合わせ、プロジェクタで映像を投影する技法である。東京駅で行われた映像スペクタクルショー「TOKYO STATION VISION」(2009)によって、広く社会に認知されることとなった。その用途もエンターテインメントに留まらず広告、観光、医療、教育、地域振興など様々な産業分野でも急速にニーズが高まっている。今後もプロジェクションマッピングは、新たなコンテンツ産業や情報ツールなどとしてさらに発展することが予見され、活用用途も広がることが期待できる。

(2)プロジェクションマッピングには、映像の制作力などに加え、建物などの立体物の形状に合わせて、正確に映像投影する技術が必要である。とりわけ対象物だけに投影するための「マスク画像」(以下マスク)の作成、映像が立体物に正確に投影されるように変換する画像処理技術、は不可欠である。しかし、一般的に映像制作者は工学的な技術やプログラム制作に長けているとは言えない。そのため、制作現場では手作業でマスクを作成することも多い。壁面のような直線的な形状と比べ、特に人体のような曲面をもつ立体物のマスクの正確な自動抽出は極めて難しい。こうした技術力および時間とコストが制約となり、プロジェクションマッピングの普及の大きな妨げとなっている。

(3)同時にプロジェクションマッピングは新しい映像技法である。社会の関心が高い一方で、まだ映像メディアとしての学術的な位置づけや分類、研究が十分に行われてはいない。本研究により工学と美術の学際領域を超え、テクノロジーが制作者を支援することで、新しい映像表現を後押しし、工学や芸術、産業、映像分野の更なる発展が期待できる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、映像制作者のために工学的専門知識が無くても「曲面のある立体物」に正確なプロジェクションマッピングが行えて、映像とマスクの合成をリアルタイムに計算することで「動く立体物」にも投影できる制作支援システムを開発することである。既存に有る同様のシステムは極めて高価であり、またその使用には専門的な知識やプロの技術者も必要であることから、制作者は簡単に利用できない。そこで本研究では、市販されている汎用機器を用いて安価に立体物の三次元情報を測定し、マスクを作成する。そのマスク画像をリアルタイムに修正しながら投影する手法の開発を行う。

具体的な目標は、マスク自動作成技術の確立、立体物の形状から投影画像に変換す

る技術の確立、プロジェクトマッピング技術の動向や制作者視点での調査を行う。

3. 研究の方法

研究ではまず、プロジェクションマッピングとデジタルデバイスの動向調査を行った。その分析を踏まえて、プロジェクタと PC、Web カメラ 2 台、リニアアクチュエータ、HDMI 入出力のある FPGA ボード (Fig.1) を用いたシステムを考案し、関連技術の開発を行った (Fig.2)。

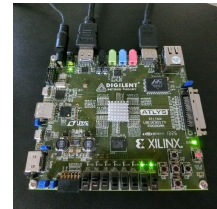


Fig.1 FPGA ボード

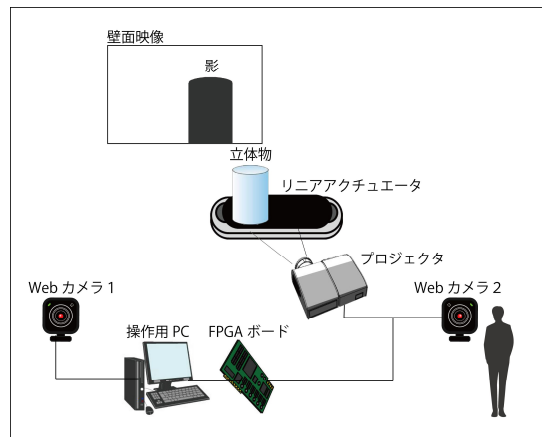


Fig.2 プロジェクションマッピングシステム構成

従来の制作手法では、立体物に正確な映像投影を行う場合、あらかじめデジタイザなどの機器を用いて三次元の形状データを収集して、そのデータをもとに投影映像を作成する手法が使われている。しかし、簡便に投影する手法を調査して検討した結果、投影画像は立体物の形状に沿って画像が変換されていれば、形状に合わせたプロジェクションマッピングができることが明らかになった。

そこで本研究では、当初予定していた三次元形状の計測は行わずに、プロジェクタから出力する画像の投影結果を立体物の形状に合うように映像を変形させる「プロジェクタ画像変換手法」を用いた。この手法は、鑑賞者の眼の位置に画像を計測する Web カメラ 2 を置き、その位置から見た時に正しい投影に見えるように出力画像を変形させる仕組みとした。

FPGA(Field Programmable Gate Array)とは、プログラム可能な大規模デジタル回路のことである。このハードウェアを用いる事で、汎用 PC では負荷の高い画像処理の演算を高速化することができる。本研究では、画像処理のフロー(Fig.3)に示すように、HDMI から入力された画像をマスクと立体物の形状に合わせて変形した画像を作成し、合成して HDMI から出力することができるプログラムを開発した。

この FPGA ボードにより、ハードウェアで

リアルタイム処理と PC 用に開発したマスクと形状の自動計測ソフトウェアを組み合わせることで、その立体物の形状に合わせて投影画像を変形し、マスクと合成して投影することが可能となった。

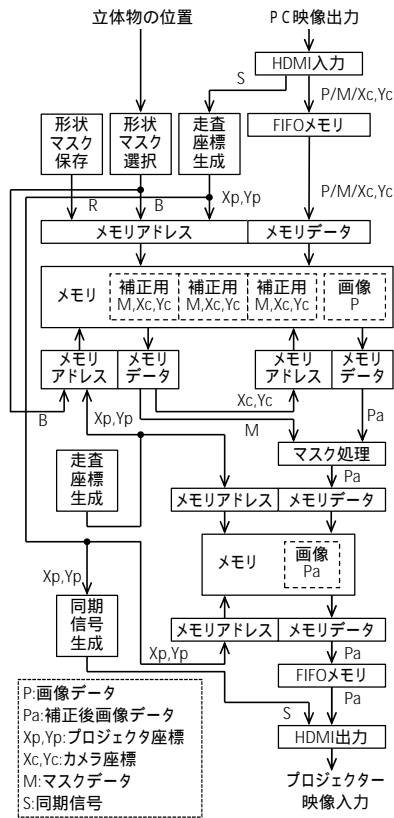


Fig.3 FPGAによる画像処理フロー

本研究では、立体物だけに映像を投影するためのマスクの自動作成技術、立体物の形状に合わせた投影画像への変換技術の確立を行う。

(1) マスク自動作成技術の確立

プロジェクタで投影された壁面をWebカメラ1で撮影し、立体物の影からマスク画像を自動作成するプログラムを開発した。このマスクによって立体物だけに映像を投影することができる。FPGA基板を組み合わせることで、曲線をもつ立体物のマスク作成および、リアルタイムでプロジェクションマッピングを行うシステムを考案した。

はじめに、立体物（直径20×高さ40cmの円柱）の手前からプロジェクタで投影し、壁面に映った画像をWebカメラ1で撮影する。その画像のなかの立体物の影から、その形状



Fig.4 立体物の影から形状マスクを自動生成

を抽出してマスクの自動生成(Fig.4)を行う。

リニアアクチュエータを使うことによって動いた位置を正確に知ることが可能のため、立体物のある位置情報を把握し、位置によって変形していくマスクをあらかじめ取得して、記憶することができる。この仕組みを用いて、リニアアクチュエータに乗る円柱のマスクを自動生成し、動く位置に追従して映像を投影することができた(Fig.5)。



Fig.5 円柱の動きに合わせて映像が追従

なお、影からのマスクの抽出にはカメラとプロジェクタの位置合わせ（キャリブレーション）が必要であるが、後述する(2)の立体物の形状計測を用いて行っている。

(2) 立体物の形状に合わせた投影画像への変換技術の確立

次に、プロジェクタで光の線を縦横方向に動かしながら投影して、その線の形状の変形から、立体物のプロジェクタ画像変換情報を計測するシステムを開発した。実験では、写真と投影対象の立体物として白色の胸像を用意した(Fig.6)。

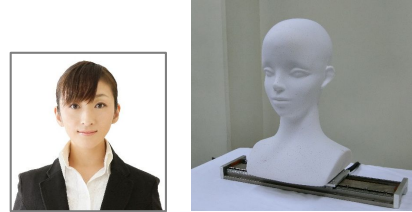


Fig.6 投影写真と投影対象の胸像

胸像と壁面に、プロジェクタで表示した直線をy軸方向、x軸方向それぞれに走査する。Webカメラ2で撮影すると、直線の位置情報からカメラとプロジェクタの座標関係が計測でき、立体物の形状に合わせたプロジェクタ画像変換情報を計算することができる(Fig.7)。

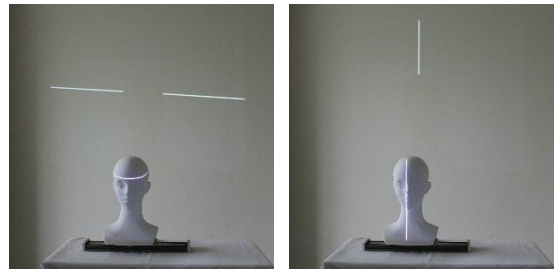


Fig.7 立体物への走査の様子

この仕組みを活用して、胸像をリニアアクチュエータで動かした位置ごとに、プロジェクタ画像変換情報を収集した(Fig.8)。

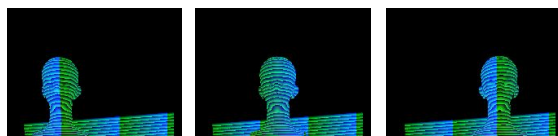


Fig.8 位置ごとに取得された胸像の変換情報

同様にマスク自動生成技術を用いて、壁面の影から胸像のマスクを抽出する(Fig.9)。このマスクと投影したい写真を合成し、投影を行う。マスクと画像変換情報は HDMI 信号に変換され、FPGA ボードに入力される。



Fig.9 位置ごとに生成された胸像のマスク

4. 研究成果

(1) 動く立体物へのプロジェクションマッピングの実現

上記のシステムにより、胸像の位置に合わせてマスクを合成し、形状に合わせた画像の変形を行う技術によって、リニアアクチュエータで動く胸像に合わせて投影をすることができた(Fig.10)。



Fig.10 胸像への写真投影結果

この技術を用いることで、従来技術であるレーザーによる三次元形状の計測や機器間のキャリブレーションが不要となり、これまで難しいとされていた人体のような曲面をもつ立体物の形状に合わせて、プロジェクションマッピングを投影することができた。

このシステムでは、高価な画像処理専用のPCや計測機器は不要であるため、制作者は安価に使用することができる。また、平面である写真を立体物に簡単に投影できることから、よりリアリティのある映像表現や新たな活用の可能性が広がった。

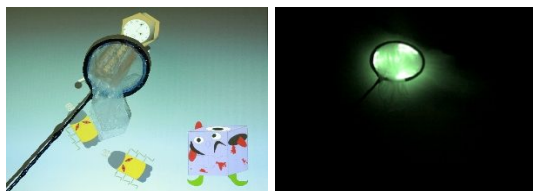
(2) 基礎技術応用コンテンツの開発

さらに、新たにこれまでの研究過程で開発した基礎技術を組み合わせることで、3つのインタラクティブコンテンツを考案し、実現した。

妖怪キャッチャーゲーム

プロジェクタと赤外線カメラを用いて、動く物体を追従するシステムと、インタラクティブに反応するエンターテインメントシステムを作成した。これは、壁面に投影された動く妖怪のイラスト画を、実物の虫捕り網で追いかけて、捕まえるというゲームである。虫捕り網の輪の部分には、赤外線 LED が取り

付けてあり、赤外線カメラで網のLEDの位置を特定することができる。そのため動きのある映像のなかでも、虫捕り網だけを簡単に検出することができる仕組みとなっている(Fig.11)。作成したゲームは、一般にも公開展示を行い、4歳から70歳代まで200名以上が体験して楽しんだ。



(a)妖怪映像を網で捕獲 (b)赤外線カメラ画像
Fig.11 妖怪キャッチャーゲーム

赤外線カメラを用いたプロジェクタ用タッチパネルペンシステム

妖怪キャッチャーゲームで構築した仕組みをさらに活用して、プロジェクタで投影した映像上に、リアルタイムで絵や文字を書くことができる、タッチパネルペンシステム(Fig.12)を開発した。このシステムは、指し棒の先端に取り付けた赤外線LEDを赤外線カメラで認識し、そのカメラ画像から重心を検出する方法を用いている。

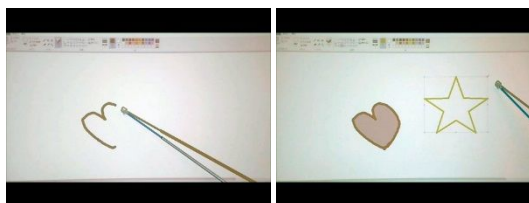


Fig.12 投影された映像の上で絵が書けるペン

アクチュエータと連動した射的ロボット

Webカメラで赤い風船の色を検出し、玩具の銃での的を射抜くゲーム(Fig.13)を開発した。銃口に緑色のレーザーポインターを取り付け、雲台上の銃の射線が重なるようにしたうえで、アクチュエータで制御する仕組みを考案した。開発した物体検出プログラムでは、赤い風船の重心をリアルタイムに求めて、緑色のレーザースポットの位置を同時に検出ができるため銃口の向きを把握することができ、的の動く赤い風船に当てる事ができた。

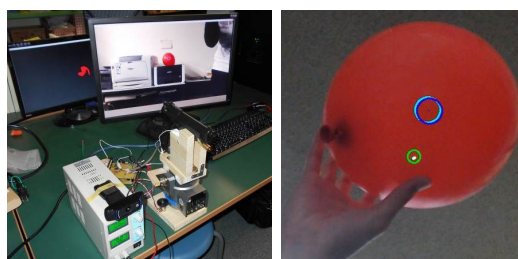


Fig.13 レーザーポインター射的的の機器と結果

これらの成果から、本研究では汎用機器を用いて、動く立体物にリアルタイムでマスクを作成し、映像を投影する目的を達成することができたと考える。

新たに、研究過程で開発した基礎技術を組み合わせて応用することで、インタラクティブなゲームを考案した。一般向けに公開を行い、技術の有用性を実証する成果が得られた。研究内容や調査過程で収集したデータや情報の一部は資料としてまとめ、学会発表や論文等で研究成果の発表を行った。また、作品を制作する際に発案の参考資料として活用した。さらに、一般向けの講演会やセミナーなどを行うことで、研究成果を社会にわかりやすく伝える活動も行った。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

杉森順子、創作したオブジェへのプロジェクションマッピング 《私の左眼は何を見ている》を事例として、愛知工科大学紀要、査読有、第14巻、2017、9-17

〔学会発表〕(計12件)

杉森順子、東條仁、富岡俊哉、永野佳孝、デザインとモノづくりの教育を連携したエンタテインメントシステムの実施報告、日本デザイン学会第3支部平成28年度研究発表会概要集、27-28、2017年3月18日、名古屋学芸大学(愛知県)

稲垣彰一郎、瀧谷悠、安井健人、杉森順子、荒川俊也、非接触センサーを用いた可動式ミニチュアモニメントの開発、日本デザイン学会第3支部平成28年度研究発表会概要集、29-30、2017年3月18日、名古屋学芸大学(愛知県)

東條仁、富岡俊哉、永野佳孝、杉森順子、赤外線を用いたプロジェクタ用タッチパネルの開発、第17回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会、2016年12月17日、札幌コンベンションセンター(北海道)

杉森順子、川崎宏典、技術と文化の融合からみたプロジェクションマッピングの調査、第21回日本バーチャルリアリティ学会大会、14F-06、2016年9月14日、つくば国際会議場(茨城県)

杉森順子、東條仁、富岡俊哉、永野佳孝、移動する映像と実物体との融合によるエンタテインメントシステムの検討、第21回日本バーチャルリアリティ学会大会、11D-01、2016年9月14日、つくば国際会議場(茨城県)

杉森順子、石田裕哉、高木一樹、永野佳孝、移動する立体物に反応するプロジェクションマッピングの基礎手法の開発、日本デザイン学会第3支部平成27年度研究発表会概要集、21-22、2016年3月21日、名古屋

屋市立大学病院(愛知県)

杉森順子、プロジェクションマッピングを活用したコンテンツの制作、社会情報学会・芸術科学会中部支部合同研究発表会、2015年12月26日、名古屋大学(愛知県)

杉森順子、産業技術記念館におけるプロジェクションマッピングのデザイン、日本デザイン学会第62回研究発表大会 デザイン学研究、Vol.62、282-283、2015年6月13日、千葉大学(千葉県)
http://doi.org/10.11247/jssd.62.0_93

川口達央、永野佳孝、杉森順子、力覚付き一人称視点と三人称視点のデザイン設計を用いたピリヤードシミュレータの開発、日本デザイン学会第3支部平成26年度研究発表会概要集、37-38、2015年3月21日、名古屋市立大学病院(愛知県)

杉森順子、トヨタ産業記念館プロジェクションマッピング「未来へ続く夢」、映像表現・芸術科学フォーラム2015、映像情報メディア学会技術報告39(14)、11-14、2015年3月14日、早稲田大学(東京都)
<http://ci.nii.ac.jp/naid/110009937108>

鈴木光太、永野佳孝、杉森順子、プロジェクションマッピングにおける投影形状補正プログラムの研究開発、日本設計工学会東海支部平成26年度研究発表講演会論文集、93-94、2015年3月11日、名城大学(愛知県)

渡辺勇也、藤田知志、永野佳孝、GPUによる物体のリアルタイム検出を用いた射的ロボットの開発、日本設計工学会東海支部平成26年度研究発表講演会論文集、83-85、2015年3月11日、名城大学(愛知県)

〔図書〕(計1件)

桜井進、大橋製作所、杉森順子、美しすぎる数学、中公新書クラレ、2014、174(34-41)

〔その他〕(作品展、講演会等)(計6件)

杉森順子、【招待講演】プロジェクションマッピングの魅力と社会での最新産業応用事例、愛知県庁建設部OB桂友会講演会、2017年3月23日、ウィルあいち愛知県女性総合センター(愛知県)

杉森順子、平成28年度博士学位論文作品展、2017年3月23~26日、愛知県立芸術大学芸術資料館(愛知県)

杉森順子、プロジェクションマッピング事例と産業への活用の可能性、テックデザインセミナー、2016年9月25日、ちよだプラットフォームスクウェア(東京都)

<http://www1.aut.ac.jp/~sugimori/pdf/2>

小川秀明、杉森順子、井藤雄一、宮崎慎也、
【パネリスト】デジタルコンテンツ博覧会
NAGOYA「文化芸術創造都市講演会シンポジ
ウム」2015年12月12日、ナディアパー
ク・名古屋デザインセンター(愛知県)
[http://www.creative-nagoya.jp/report/
digihakunagoya2015/](http://www.creative-nagoya.jp/report/digihakunagoya2015/)

杉森順子、【招待講演】アートとサイエ
ンスを俯瞰する「創り手が話すプロジェク
ションマッピングの世界」2015年10月17
日、蒲郡市生命の海科学館(愛知県)
[https://www.city.gamagori.lg.jp/uploa
ded/attachment/31459.pdf](https://www.city.gamagori.lg.jp/uploaded/attachment/31459.pdf)

杉森順子、【招待作品展】トヨタ産業技術
記念館 20周年記念プロジェクションマッ
ピング「未来へ続く夢」2014年12月6~
7日、トヨタ産業技術記念館(愛知県)
[https://web.archive.org/web/201412280
31018/http://www.tcmiit.org:80/informa
tion/2014/11/20-2.html](https://web.archive.org/web/20141228031018/http://www.tcmiit.org:80/information/2014/11/20-2.html)
<http://art-science.org/chubu/pm.pdf>

〔その他〕(新聞・ホームページ等)(計4件)

博士論文

杉森順子、プロジェクションマッピングを
活用した映像デザイン手法の提案、2017年
3月、愛知県立芸術大学大学院

学会誌

メディアアート作品展の記事として、2014
年12月にトヨタ産業技術記念館で開催さ
れたプロジェクションマッピング「未来に
続く夢」展の取材内容が記載、芸術科学会
学会誌「DiVA」38号、2015年7月10日発
行、37-38
[http://art-science.org/diva/diva38-hq
.pdf](http://art-science.org/diva/diva38-hq.pdf)

新聞取材

「プロジェクションマッピングで技術発
展の歴史映像を壮大に」トヨタ産業技術記
念館作品展報道記事、中部経済新聞 2014
年12月4日朝刊

ホームページ

大学ホームページで、研究内容や実証実験
として制作した作品、コンテンツ等を紹介
<http://www1.aut.ac.jp/~sugimori/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

杉森 順子 (SUGIMORI JUNKO)
愛知工科大学・工学部・准教授
研究者番号：00559891

(2) 研究分担者

永野 佳孝 (NAGANO YOSHITAKA)
愛知工科大学・工学部・教授
研究者番号：40610142

(3) 研究協力者

小沢 慎治 (OZAWA SHINJI)
愛知工科大学・工学部・名誉教授