様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９　（共通）

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

令和　７ 年　 ９ 月 １９ 日現在

機関番号：１７１０２
研究種目：基盤研究(C)（一般）
研究期間：2018～2022
課題番号：１８Ｋ１１９５６

研究課題名（和文）動植物を投影対象とし形状と動きを考慮したプロジェクションマッピングの作成支援研究

研究課題名（英文）Automatic Generation of Dynamic Projection Mapping for Plants and Animals

研究代表者
森本　有紀（Morimoto, Yuki）

九州大学・芸術工学研究院・助教

研究者番号：２０５５３７５４

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　3,400,000円

研究成果の概要（和文）：プロジェクトの前半の研究では、小規模な植物に関してDPMの自動生成が可能となった。また、体験者が触れるなどのインタラクションにも可能なシステムを開発した。中盤では、より対象を広げるため、蚕やハリネズミなどをプロジェクタの投影対象とした研究を行い、これらへの自動的PM生成システムを開発した。後半はさらに、中規模以上の投影対象に発展するため、計算速度の向上、および、追跡手法の頑健性を高める手法を開発した。また、実験によって速度・追跡の頑健性ともに向上していることを明らかにした。この手法では50枚程度の対象を実時間レートで追跡することが可能である。

研究成果の学術的意義や社会的意義
この研究によって、今までに映像や想像の中でしか容易には実現しなかった、動植物の演出が可能となり、教育・広告・観光などへの応用によって大きな創造性が期待される。例えば、動的プロジェクションマッピングによる動植物への投影作品をその場で体験できるようになるためイルミネーションのような観光産業に役立てたり、直接内部情報をプロジェクションするなどの教育コンテンツの可能性がある。

研究成果の概要（英文）：Research in the first half of the project enabled the automatic generation of DPMs concerning small-scale plants. The system was also developed to be capable of interaction, such as touching by users. In the middle part of the project, research was conducted on silkworms and hedgehogs to expand the scope of the project, and an automatic PM generation system was developed for them. In the second half of the projection, we further developed methods to increase the computational speed and robustness of the tracking method to expand the projection to medium and larger projection targets. Experimental results showed that both the speed and robustness of the tracking were improved. This method is capable of tracking about 50 objects at a real-time rate.

研究分野：コンピュータ・グラフィックス

キーワード：動的プロジェクションマッピング　画像処理　ビジュアルエフェクト

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

１．研究開始当初の背景

(1) 従来のプロジェクションマッピング（PM）は立方体や建造物への投影例が多いが、近年は、人の顔、車、滝、魚、ペンギン、木、蛙など、投影対象が多様化しており、目的も作品展示、広告、観光向け建造物の PR、映像作品、ライブパフォーマンス、水族館の集客イベント、教育コンテンツなど多岐に渡る。動植物は風などの外部要因も含め勝手に動くため、投影対象として形状を考慮することは困難であり、既存の動植物 PM 作品では動植物が静止している瞬間を記録した動画作品、また体験作品では物体の凹凸や動きに対応していないものがほとんどである。

(2) 動的かつ可変な投影対象に対してインタラクティブに PM を作成する研究として、布・弾性体・顔への PM を自動生成するものなどがある。関連研究では、マーカー無／局所変形有／対象物が未知／設備が安価、という既存研究はない。動植物の PM ではマーカーを使うことが難しく、動きによる変形もあり、また多様な形状が対象となる。

２．研究の目的

本課題では、動植物を含む森や水のある環境に対してインタラクティブにコンテンツを適用できる動的プロジェクションマッピング（以下 PM と略す）の作成を支援するシステムの研究開発を目的とする。本研究では、現状では設置コストや技術面に困難があった、１）複雑な形状や、マーカー無しで局所的変形のある複数対象への自動追従を行う PM を可能にする。PM のコンテンツデザインにおいても、作成にかかる人的コストなどの面で、現状では手軽に扱うことができないが、本研究では、２）コンテンツを自動生成するアルゴリズムを開発し、意図的な編集をインタラクティブに実現するユーザ・インターフェース（以下 UI と略す）を含めた PM 支援システムを作成する。

３．研究の方法

本システムは、赤外線カメラと赤外線ライト、プロジェクタで構成される。赤外線カメラとプロジェクタは、カメラとプロジェクタの光軸のズレを最小限に抑えるために、可能な限り近くに配置する。赤外線照明は光が投影対象に届くように配置する（図 1）。

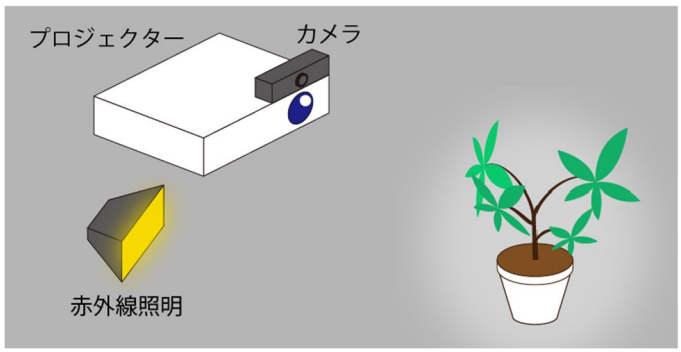

図１　設置図

体験者がプロジェクタで投影された映像を鑑賞しやすいようにするため、本システムの実行環境は暗い環境が適している。しかし、暗い環境で投影対象撮影する場合、可視光では 2 つ問題がある。一つは暗くて対象をうまく撮影できないことである。もう一つは、本システムによって対象上に投影された映像がカメラに写りこんでしまい、追跡の画像処理へ影響を与えてしまうことである。そこで、本システムでは、不可視光線である赤外線光を投影対象に照射し、赤外線カメラで撮影する。これによって、プロジェクタによる投影内容は含まず、暗い環境でも対象の植物をとらえることができる。

本手法の概要を図 2 に示す。フレームレート 30fps、解像度 1920×1080 の赤外線カメラで取得した画像（図 2a）を入力とし、まずプロジェクタの投影領域とカメラの取得領域における位置座標を揃えるため、入力画像に対して射影変換を適用する（図 2b）。射影変換には、前準備で記録した情報を用いることで効率よく行うことができる。ユーザは事前に、投影したい領域の輪郭内をクリックにより選択する（図 2c）。その後、追跡中は毎フレーム、一つ前のフレームの各輪郭点を追跡し（図 2d）、エフェクトを投影領域にテクスチャマッピングする（図 2e）。最後に生成された結果をプロジェクタで投影する。

(a) 赤外線カメラ画像 (b) 射影変換後 (c) 投影領域 (d) 追跡結果 (e) Texture Mapping
図 2　手法概要

追跡対象は主に植物の葉、蚕、ハリネズミとした。本研究では葉に対する追跡手法を 4 つ、その他は各 1 つずつ追跡手法を提案した。いずれの追跡も、特徴点を追跡し、残りを輪郭線上で補間する。例として葉の追跡手法 1 について以下に記載する。

まず、赤外線カメラで取得した初期フレーム画像を二値化する。二値化画像の白領域の輪郭を抽出し、ユーザが輪郭内部をマウスクリックによって指定することで、追跡する葉の領域を選択する。抽出した葉の領域の輪郭点列に基づいて内部をドロネー分割によって、三角形メッシュに分割する。次のフレーム以降、各輪郭点を追跡し、前後のフレームにおいて対応する三角形メッシュを求める。求めた三角形メッシュに対し、テクスチャマッピングによってエフェクトを適用する。

各輪郭点の対応付けでは、投影対象とする葉の形状を楕円形で長軸と短軸があるとし、前のフレームにおける輪郭上の最も遠い 2 つの端点を次のフレーム以降で追跡する。まず、端点の移動ベクトルとして、オプティカルフローを Lucas-Kanade 法によって求める。すると、2 つの端点の移動後の位置は前のフレームの位置にオプティカルフローを足した位置となる。しかし、これらの点はノイズなどの影響で、現時刻における葉の輪郭線上にあるとは限らない。よって、画像処理によって輪郭点列を求め、その中から、もっとも元の端点に近いものを対応づける。求めた端点より、輪郭上で相対的に初期の形状の位置関係に近いように間の点を配置する。

しかし、上記の結果には、画像のノイズによるズレが含まれる。ズレによる出力映像への影響を軽減するため、求めた位置と前フレームの位置を、ずれの大きさを考慮して加重平均したものを移動後の位置とする。

エフェクトアニメーションの生成については、対象物体の輪郭に基づき、疑似的に葉脈を生成するエフェクト、葉全体がぼんやり光るような生物発光らしいエフェクト、クラゲの生物発光をモチーフとしたドット列のエフェクトなどを実装した。

４．研究成果

本システムの結果画像を図 3～9 に示す。また、葉に対する追跡手法 4 つの比較表を示す（表 1）。特に手法 3 では追跡できる形状が多く、速度も速い。しかし、対応できる葉の数は 10 枚程度までである。手法 4 は形状を楕円形に絞ることで、50 枚程度まで対応できる。また、他手法と比べ、対象同士の衝突が起こっても追跡を続けやすい。屋外での自然な状態での木の葉での実験では、30 枚程度の葉に対する実験を行うことができた。しかし、密集した葉の追跡は難しく、今後、対象物体の密度などに考慮してシステムの改良を行うことが課題として挙げられる。

表 1．葉や花を対象とした 4 つの追跡手法の比較

項目/手法		手法1	手法2	手法3	本手法4
形状	楕円形	○	○	○	○
	ハート形	―	○	○	―
	カエデ	―	○	○	―
	イチョウ	―	○	○	△
	花	―	○	○	―
動き	平行移動	○	○	○	○
	z軸回転	○	○	○	○
	x軸回転	○	○	○	○
	局所変形	△	○	○	―
速度	追跡速度	4.97 ms	6.22 ms	4.57 ms	2.02 ms

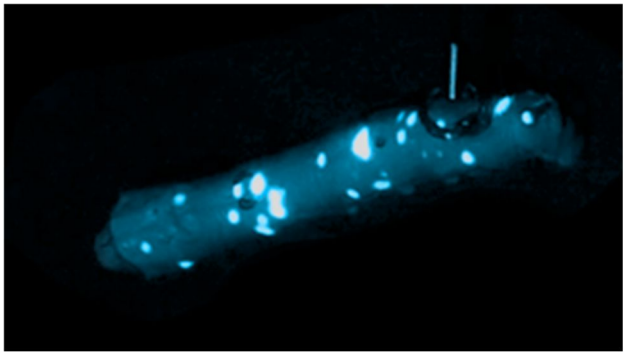

図 3　楕円の葉への動的プロジェクションマッピング
図 4　蚕への動的プロジェクションマッピング

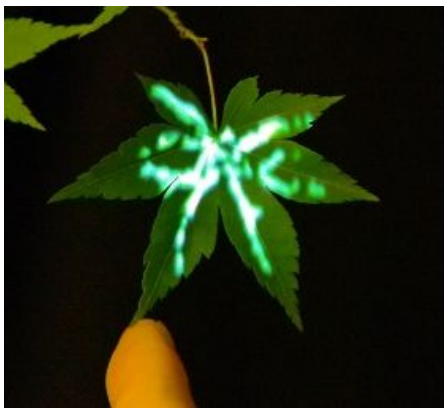

図 5　イチョウの葉への動的プロジェクションマッピング
図 6　もみじへの動的プロジェクションマッピング

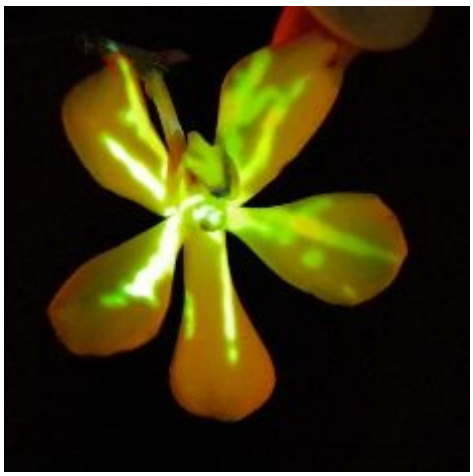

図 7　ツタの葉への投影での遮蔽への対応
図 8　花びらへの動的プロジェクションマッピング

図 9　映像作品 bioluminescent life

５．主な発表論文等

〔雑誌論文〕　計9件（うち査読付論文　9件／うち国際共著　0件／うちオープンアクセス　9件）

１．著者名 末吉 知樹，森本 有紀	４．巻 20-1
２．論文標題 葉を対象とした動的プロジェクションマッピングの自動生成	５．発行年 2021年
３．雑誌名 芸術科学会論文誌	６．最初と最後の頁 21-29
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 －

１．著者名 Arano Mayu、Morimoto Yuki	４．巻 3
２．論文標題 Dynamic Projection Mapping for Silkworms	５．発行年 2021年
３．雑誌名 ACM SIGGRAPH 2021 Posters	６．最初と最後の頁 1-2
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1145/3450618.3469153	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 －

１．著者名 Tomoki Sueyoshi, Yuki Morimoto	４．巻 20-4
２．論文標題 Interactive Dynamic Projection Mapping onto Thin Plants with Bioluminescent Effect Animations	５．発行年 2021年
３．雑誌名 The Journal of the Society of Art and Science (NICOGRAPH International Journal track)	６．最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/NICOINT52941.2021.00008	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 －

１．著者名 Tomoki Sueyoshi, Yuki Morimoto	４．巻 6
２．論文標題 Dynamic Projection Mapping for Thin Plants using a Robust Tracking Method against Occlusion	５．発行年 2021年
３．雑誌名 ACM SIGGRAPH 2021 Labs	６．最初と最後の頁 1-2
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1145/3450616.3464521	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 －

1．著者名 Tomoki Sueyoshi, Yuki Morimoto	4．巻 6
2．論文標題 Interactive DPM for Thin Plants with the Latency Measurement	5．発行年 2021年
3．雑誌名 ACM SIGGRAPH 2021 Posters	6．最初と最後の頁 1-2
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1145/3450618.3469151	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 －

1．著者名 末吉 知樹, 森本 有紀	4．巻 20
2．論文標題 葉を対象とした動的プロジェクションマッピングの自動生成	5．発行年 2021年
3．雑誌名 芸術科学会論文誌	6．最初と最後の頁 21-29
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 －

1．著者名 Tomoki Sueyoshi, Yuki Morimoto	4．巻 －
2．論文標題 Interactive Dynamic Projection Mapping onto Thin Plants with Bioluminescent Effect Animations	5．発行年 2021年
3．雑誌名 the special issue of Journal of The Society of Art and Science	6．最初と最後の頁 －
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 －

1．著者名 Sueyoshi Tomoki、Morimoto Yuki	4．巻 58
2．論文標題 Semi-Automatic Generation of Shape-Specific Dynamic Projection Mapping onto Plants and Animals	5．発行年 2025年
3．雑誌名 Leonardo	6．最初と最後の頁 250～256
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1162/leon_a_02664	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 －

１．著者名 Mayu Arano, Yuki Morimoto	４．巻 Vol.21, No.4
２．論文標題 Dynamic Projection Mapping on Living Things	５．発行年 2022年
３．雑誌名 The Journal of the Society for Art and Science	６．最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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4件（うち招待講演　0件／うち国際学会　2件）

１．発表者名 Tomoki Sueyoshi, Yuki Morimoto
２．発表標題 Tangible Projection Mapping onto Deformable Moving Thin Plants via Markerless Tracking
３．学会等名 The 32st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology Adjunct Proceedings (UIST '19 Adjunct)（国際学会）
４．発表年 2019年

１．発表者名 Tomoki Sueyoshi,Yuki Morimoto
２．発表標題 Automatic Generation of Interactive Projection Mapping for Leaves
３．学会等名 SIGGRAPH Asia Posters（国際学会）
４．発表年 2018年

１．発表者名 末吉 知樹，森本有紀
２．発表標題 葉を対象としたプロジェクションマッピングの自動生成
３．学会等名 NICOGRAPH 2018 Short paper (Conference track)
４．発表年 2018年

１．発表者名 末吉 知樹，森本有紀
２．発表標題 Projection for Leaves
３．学会等名 NICOGRAPH 2018展示発表(Exhibition track)
４．発表年 2018年

〔図書〕　計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

－

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
研究分担者	伊藤　浩史 (Hiroshi Ito) (20512627)	九州大学・芸術工学研究院・准教授 (17102)	

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