

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

末吉知樹¹⁾ (学生会員)

森本有紀²⁾ (正会員)

1) 九州大学芸術工学府

2) 九州大学芸術工学府

Automatic Generation of Dynamic Projection Mapping for Leaves

Tomoki Sueyoshi¹⁾(Student Member) Yuki Morimoto²⁾(Member)

1) Graduate School of Design, Kyushu University 2) Faculty of Design, Kyushu University

1)sueyoshi.tomoki.661@s.kyushu-u.ac.jp 2)morimoto@design.kyushu-u.ac.jp

アブストラクト

植物の葉を対象とした動的プロジェクションマッピングを実現するため、葉への位置合わせと追跡を自動で行う手法を提案する。近年、プロジェクションマッピングにおける投影対象は建物から魚などまで様々である。しかし、植物の葉のように動的で可変な対象への投影は非常に困難である。本研究では、位置合わせを半自動化することで、投影時の労力を軽減する。また、事前の投影対象の形状の入力や追跡マーカーを使わずに動的で可変な葉を追跡し、リアルタイムに投影領域の位置合わせを行う。本システムによって、楕円形を主とした様々な葉への動的プロジェクションマッピングの自動生成を実現した。また、自動生成した3種類のエフェクトアニメーションを投影し、インタラクション作品を制作したものを学会や展示会で発表した。これらを通して、作品の体験者および審査員から評価を得た。

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

Abstract

We propose a method to generate dynamic projection mapping for leaves by automatically tracking the projection areas and the image registrations of projection areas. Recently, the targets of projection mapping have included various objects ranging from buildings to fish. However, it is difficult to project onto dynamic and deformable objects, such as leaves. Therefore, our system reduce effort during a projection by the semi-automatic image registrations. And our system registers images for dynamic and deformable object by tracking without any 3D model and markers. We achieve automatic generation of projection mapping for various leaves mainly oval ones. And we create interactive art works by projecting three effect animations which are generated automatically. Then, we displayed our works at a conference and an exhibition, and our work was evaluated by the experiencers and the judges.

Keywords: Dynamic projection mapping, image processing, visual effects

1. はじめに

プロジェクションマッピング (PM) では、ビルのような静的な建造物から、人の顔や生物などの動的で可変な物体まで、様々な物体を投影対象として扱うことが可能である。例えば、TOKYOHIKARI VISION [1]では、東京駅舎への大規模な投影を行っている。また、植物や生き物を投影対象とした PM 作品 Projections in the Forest [2]は、生物発光をモチーフに幻想的な作品となっている (この作品では投影対象は静止している)。し

かしこのような作品では、屋外の森で映像と投影対象の位置合わせを手作業で行う必要があり、膨大な労力と時間がかかる。一方、PM を支援する商用デバイスとして、Lightform [3]がある。Lightform は構造化光スキャンによって取得した静止物体の形状に対して、様々なアニメーションの自動的に位置合わせを行うことで投影する。これによって PM にかかる労力と時間を削減できるが、静的な対象しか扱うことができない。動的で可変な物体を投影対象とした手法も提案されているが、事前の準備なしで、自動的位置合わせを行うのは非常に困難である。

また、投影映像の遅延を感じさせないようにするため、高速なカメラとプロジェクターを用いている。

本研究では、動的で可変な投影対象の一つとして、植物の葉を扱う。著者らは、NICOGRAPH 2018にて、葉を対象としたPM支援システム[4]を提案した。PMにおける位置合わせを半自動化し、生物発光をモチーフとしたエフェクトアニメーション（以下、エフェクト）を葉の輪郭形状から自動で生成したシステムを用いてPMを行い、アンケートを実施した結果、芸術性において高い評価を得た。しかし、投影対象である葉の追跡を行っていないため、動く葉に投影できるエフェクトは限定的であった。

本システムでは、事前に投影対象のデータを入力することなく、植物の葉に対して、自動的位置合わせと追跡を行うことで、動的PM(DPM)を実現する。葉へのDPMを可能にすることで、葉とのインタラクションにおいて、より柔軟なエフェクト表現の適用を可能にし、人と植物間のより対話的な作品の制作を目指す。また、本システムでは、3種類のエフェクトを自動生成し、エフェクトを植物に投影したインタラクション作品を制作する。エフェクトは生物発光をモチーフに自動生成することで、蛍の鑑賞のように、鑑賞者に楽しんでもらうことができる作品を制作する。

2. 先行事例

2.1 ダイナミックプロジェクションマッピング

DPMにおける自動的な位置合わせの研究に関しては様々な手法が提案されている。生物を扱った作品としてChatFish[5]では、動く魚を追跡し、投影を行っている。魚のシルエットを投影領域として考慮しているが、シルエットの変化に伴う投影内容の変形は行っていない。本研究では、葉の輪郭形状の変形を追跡し、テクスチャマッピングによって、投影エフェクトの変形を行う。

Naritaらの研究[6]では、紙や布の形状変化も考慮した投影を実現しているが、追跡には赤外線マーカを必要とする。Okumuraらの研究[7]やHashimotoらの研究[8]では、マーカーレスで投影対象の位置や姿勢を追跡しているが、非剛体への投影は考慮していない。また、投影対象は平面や球体、もしくは形状が既知の物体に限定される。一方で、Bermanoらの研究[9]では、顔に対して変形を考慮した位置合わせを高速に行っているが、投影対象である顔の三次元モデルを事前に入力する必要がある。本研究では、投影対象を植物の葉に限定することにより、マーカーレスかつ投影対象データの事前入力無しで、投影対象の位置と変形を追跡し、自動的位置合わせを行う。

また、Miyashitaらの研究[10]では、モデル入力やマーカーなしで、動的で可変な対象へのDPMを実現している。3台の高速赤外線カメラを用いて、対象の法線情報を取得することで、液体なども含む様々な物体のマテリアルやテクスチャを変更する表現を行うことができる。本研究では、誰もが使いやすいような安価なデバイス構成によるシステム開発を目指し、30fpsの赤外線カメラ1台から得られる画像情報を用いて、複数枚の葉

の追跡を行い、植物へのDPMを実現する。

2.2 植物を用いたインタラクション作品

植物を対象としたインタラクションについても、様々な作品が発表されている。The interactive plant growing[11]は、鑑賞者が植物を触ることで、仮想空間の植物が育っていくインスタレーションである。また、Botanicus Interacticus[12]は、植物に触った位置等を推測できるセンシング技術によって、ディスプレイにエフェクトを表示するインスタレーションである。作品[11][12]では、インタラクションの結果がバーチャル空間に出力されるため、植物自体や植物の見え方に変化はないが、本研究では植物にPMを適用することで、植物自体の見え方を変える作品を制作する。

また、Botanical Puppet[13]は、電気刺激により、オジギソウの枝1本ごとの動作を制御している。植物そのものを変化させているが、植物や鉢に直接電極を接続する必要がある。本研究で提案するシステムは、植物とは非接触でインタラクションの入出力を行うため、様々な植物に適応可能である。

3. 本手法

本研究では、特に植物の葉を対象を限定する。3.1節で述べるシステム構成によって、位置合わせと追跡、エフェクトの生成を自動で行い、PMを実現する。位置合わせでは、事前準備によって記録したプロジェクターの投影領域の情報を用いることで、投影時に要する労力を軽減する。追跡では、投影対象とする葉の形状が、長軸と短軸をもつ楕円形であると想定し、最も遠い2つの端点が常に遮蔽されない状況に限定する。よって、インタラクションによって葉が変形しても、2つの端点は投影対象上の同じ箇所を指すという前提で、2つの端点を追跡する。エフェクトは、生物発光をモチーフとし、葉の輪郭形状から自動で生成することで、より投影対象自身が発光しているように感じられるエフェクトを3種類提案する。

3.1 システム構成

投影面を赤外線カメラで取得し、投影面に適応させた映像をプロジェクターで投影するシステム(ProCam)を用いる。カメラとプロジェクターは、双方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し、葉の全面が見える位置に設置する。また、投影対象を照らすように赤外線照明を設置する(図1)。

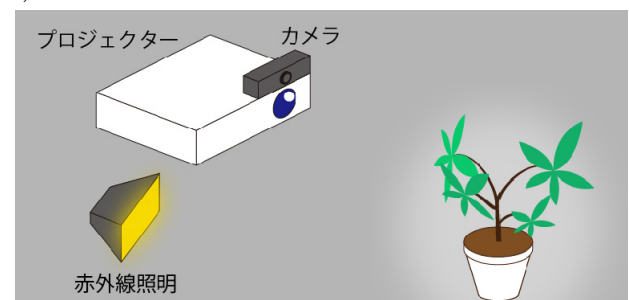


図1. 設置図。

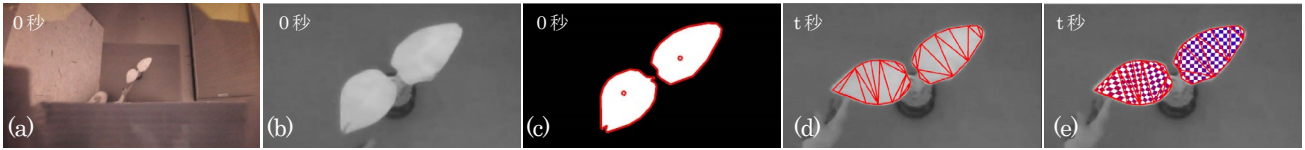


図2. 本手法の概要：(a)赤外線カメラ画像，(b)射影変換後，(c)投影領域，(d)追跡結果，(e)エフェクトのテクスチャマッピング。

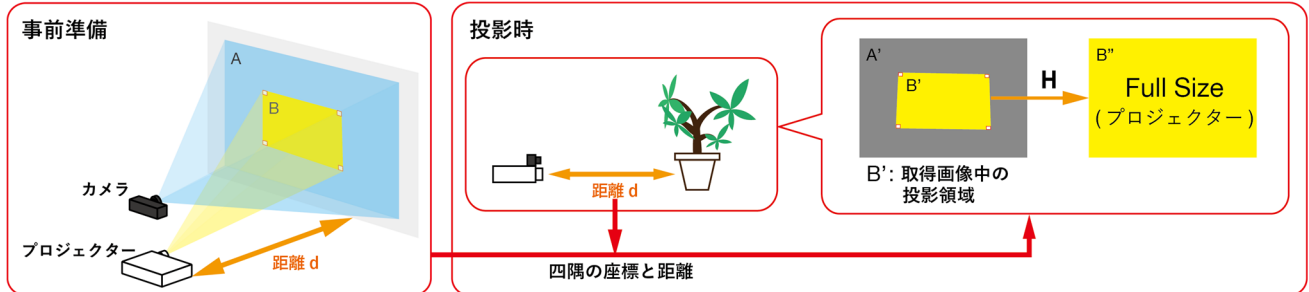


図3. 射影変換による位置合わせ。

体験者がプロジェクター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、プロジェクター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。

3.2 手法概要

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）に対し、処理を行う。処理ではカメラで取得するすべての画像をまずプロジェクター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（3.3節）。ユーザーは事前に、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（3.4節）（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ーで投影する。

3.3 プロジェクターの位置合わせ

現実空間でプロジェクターが投影可能な最大領域（図3B）をカメラで取得し（図3A）、取得画像（図3A'）中の投影領域（図3B'）をプロジェクターの出力解像度に合わせて射影変換することで（図3B''）、位置合わせを行う。以下のような手順で位置合わせを比較的簡単に行うことができる。

- <事前準備内容>
1. 黒背景の画像に4隅が白い正方形を描画した画像を投影
 2. プロジェクター投影領域の4隅の座標を記録
- <エフェクト投影の際>
3. 記録した座標をもとに射影変換（後述）で位置合わせ

上述の1-2は事前に一度だけ行う。事前準備時は、平らなスクリーンに対して垂直に配置したプロジェクターによって投影を行う。プロジェクターとスクリーンの距離 d を10cmずつ手作業で変えながら0.5mから2.5mまで、プロジェクター投影領域を自動で記録する。このとき投影内容として4隅に白の四角形を配置した画像を投影し、四角形的位置を画像処理によって取得した。このように対象物との距離に対応する投影領域を一度記録することで、その後は投影時に投影対象とプロジェクターの距離に応じて記録した4つの座標を射影変換に用いる。プロジェクターの解像度のサイズを記録した4隅に一致するよう射影変換を行うことで、位置合わせを行う。

実際に投影対象となる植物は記録時のような平面ではないが、このような処理によって画像の投影サイズを合わせる必要がある。本手法で扱う葉は縦横最大20cm以内の薄型のものであり、葉の付け根はある程度固定されているため、インタラクション等による奥行方向の移動を考慮しても最大で約30cm以内と想定した。投影対象の大きさや移動距離の想定した条件から、距離 d の範囲と量子化幅を決定した。

3.4 葉の追跡手法

本手法で動的で可変な対象に投影を行うため、以下のような手順で投影対象を追跡する。最初に、簡単な手入力を含む処理によって、投影領域を決定する。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。二値化の閾値は、ユーザーがスライダーを操作して調整することによって決定する。二値化画像の白領域の輪郭を抽出し、ユーザー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。ここで、1つの葉の領域における各頂点の位置を $p_i(i=1,2,\dots,m,m$:頂点数)とする。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（図4赤線）。次のフレーム以降、各輪郭点を追跡し、時刻 $t-1$ と時刻 t 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、時刻 $t = 0$ における輪郭上の最も遠い2つの端点 p_{far1}^0, p_{far2}^0 を追跡する。このとき、 $far1, far2$ は輪郭点列 p_i^0 中の端点の番号である (図4)。

次のフレーム以降、時刻 t における端点 p_{far1}^t, p_{far2}^t を追跡する。まず、時刻 $t-1$ から t 間における $p_{far1}^{t-1}, p_{far2}^{t-1}$ の移動ベクトルとして、オプティカルフロー o_{far1}^t, o_{far2}^t 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

$$\begin{aligned} p_{opt1}^t &= p_{far1}^{t-1} + o_{far1}^t, \\ p_{opt2}^t &= p_{far2}^{t-1} + o_{far2}^t \end{aligned}$$

と計算される。しかし、これらの点は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、時刻 t の葉の輪郭点列 $q_j^t (j=1, 2, \dots, n, n: \text{頂点数})$ より、以下の処理によって最適な点を選択する。まず、葉の輪郭点列 q_j^t 中で最も遠い2点 $q_{farA}^t, q_{farB}^t (farA, farB: q_j^t \text{ 中の端点の番号})$ を求める。次に、それらの点とオプティカルフローによる移動後の2点 p_{opt1}^t, p_{opt2}^t との対応する輪郭点列状の点 q_{farA}^t, q_{farB}^t を以下のように求める。

$$\begin{aligned} d_{sum1} &= |p_{opt1}^t - q_{farA}^t| + |p_{opt2}^t - q_{farB}^t| \\ d_{sum2} &= |p_{opt1}^t - q_{farB}^t| + |p_{opt2}^t - q_{farA}^t| \\ q_{far1}^t, q_{far2}^t &= \begin{cases} q_{farA}^t, q_{farB}^t & (d_{sum1} < d_{sum2}) \\ q_{farB}^t, q_{farA}^t & (d_{sum2} < d_{sum1}) \end{cases} \end{aligned}$$

次に、それらと p_{opt1}^t, p_{opt2}^t の距離によって、端点 p_{far1}^t, p_{far2}^t を以下のように求める。

$$\begin{aligned} d_1 &= |p_{opt1}^t - q_{far1}^t| \\ d_2 &= |p_{opt2}^t - q_{far2}^t| \\ p_{far1}^t &= \begin{cases} q_{far1}^t & (d_1 < \alpha) \\ \arg \min_{x \in \{q_j^t\}} |p_{opt1}^t - x| & (d_1 > \alpha) \end{cases} \\ p_{far2}^t &= \begin{cases} q_{far2}^t & (d_2 < \alpha) \\ \arg \min_{x \in \{q_j^t\}} |p_{opt2}^t - x| & (d_2 > \alpha) \end{cases} \end{aligned}$$

閾値 α は実験によって経験的によい追跡結果を得られた $\alpha=5$ とする。端点以外の点 p_i^t は初期状態での端点からの長さの比を用いて計算する。輪郭線上の p_{far1}^t から p_{far2}^t 間の長さを a 、 p_{far1}^t から p_i^t の長さを b とすると、比 b/a が初期状態の比と等しくなる点を追跡結果とする (図4)。

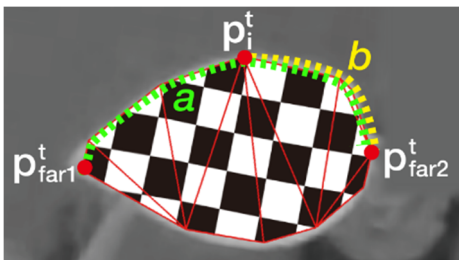


図4. 輪郭上の端点 p_{far1}^t, p_{far2}^t と残りの点 p_i^t .

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。そのため、投影するエフェクトの動きは時間経過の前後で滑らかではなくなる。よって、ズレによる出力映像への影響を軽減する処理を行う。時刻 t の各点の移動ベクトル v_i^t の時刻 $t-2$ 以降の加重平均結果 v_i^{avg} は以下である。

$$\begin{aligned} v_i^{avg} &= w^{t-2} v_i^{t-2} + w^{t-1} v_i^{t-1} + w^t v_i^t \\ w^{t-2} + w^{t-1} + w^t &= 1 \end{aligned}$$

このとき、重み $w^{t-2}=0.2, w^{t-1}=0.3, w^t=0.5$ とした。また、時刻 $t-2$ 以降の v_i^t のうち移動量 $|v_i^t|$ が中央値を持つベクトル v_i^{med} とすると、ズレを軽減した結果 p_i^t を以下のように求める。

$$p_i^t = \begin{cases} p_i^{t-1} + v_i^{avg} & (|v_i^{t-2}| < \beta \text{ and } |v_i^{t-1}| < \beta \text{ and } |v_i^t| < \beta) \\ p_i^{t-1} + v_i^{med} & (|v_i^{t-2}| > \beta \text{ or } |v_i^{t-1}| > \beta \text{ or } |v_i^t| > \beta) \end{cases}$$

閾値 β は経験的に $\beta=10$ とした。また、ズレを軽減した結果 p_i^t は出力結果のみに使い、次のフレームの処理では、 p_i^t を用いる。

3.5 エフェクトアニメーションの生成

本手法では、3種類のエフェクトを生成した。生物発光のように、投影対象自身が発光しているような表現を目指し、葉自身から得られる輪郭や形状、葉脈生成アルゴリズムを用いてエフェクトを生成する。エフェクトは初期フレームに得た取得画像の輪郭情報等を元に作成し、作成した映像を追跡時に読み込む。

3.5.1 葉脈エフェクト

葉脈によって水や養分が流れていくイメージのエフェクトを生成する (図6)。選出された投影領域内で葉脈を生成し、葉脈を溝に見立て、粒子が葉脈の始点から移動する。生物発光では、青や緑の光が多く見られることから、粒子の色を青や緑を含む色に設定する。投影領域の選出後の処理の流れは以下である。

1. ユーザーがマウスクリックにより、葉脈の始点を指定する。
2. 葉脈を生成する。
3. 葉脈に沿って粒子を動かす。

Runionsらの手法[14]では、ランダムに配置された栄養分に向かって、葉脈が形成されるというアルゴリズムに則って葉脈の生成をシミュレーションしている。本手法ではこの栄養分を抽出された輪郭内部に配置する。また、葉脈の始点をマウスで指定することで、より適切な葉脈の形を生成する。

葉脈を元に投影領域に速度場 (図5) を生成し、これに基づき粒子が加速度運動によって移動する。葉脈を生成する際、葉脈上の点それぞれに前の点から自身の点に向かう速度ベクトルを計算し、正規化したベクトル \vec{v} を保存する。全ての投影領域内の各画素において、注目画素に最も近い葉脈のベクトル \vec{v} を探索する。 \vec{v} に垂直なベクトルを \vec{u} とすると、各画素に対して働く力 \vec{w} は $\vec{w} = \vec{v} + \vec{u}$ となる。

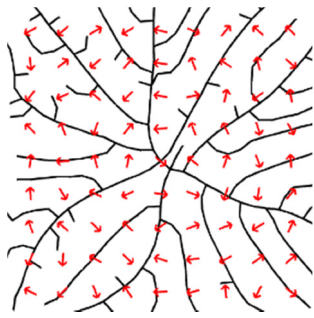


図5. 生成した葉脈とベクターフィールド

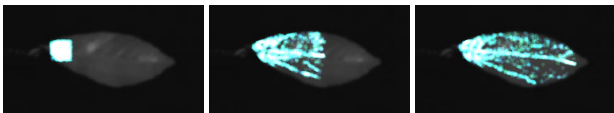


図6 葉脈エフェクトの出力結果

3.5.2 輪郭エフェクト

形状に沿って身体が発光するオワンクラゲをモチーフに、投影対象の縁に配置された粒子が発光するエフェクトを生成する(図7)。処理の手順は以下ようになる。

<初期フレーム>

1. 投影領域に対して、モルフォロジー演算(収縮処理)を行う。
2. 輪郭を抽出する。このとき、輪郭点間は距離が等しくなるように計算する。
3. 得られた輪郭点上に、粒子を配置する。

<毎フレーム>

4. 粒子の色や大きさを変化させ、点滅させる。

粒子の色は、葉脈エフェクトと同じく、青や緑を選択する。

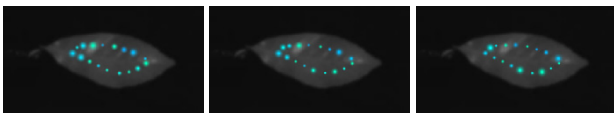


図7 輪郭エフェクトの出力結果

3.5.3 収縮エフェクト

葉内部が発光しているような表現を目指し葉が一定のリズムで投影領域全体が点滅するエフェクトを作成する(図8)。輪郭エフェクトと同じく、モルフォロジー演算を用いる。以下のような手順を毎フレーム繰り返し、アニメーションを作成する。アニメーションの現フレームをnフレーム目とする。

1. 収縮処理とガウシアンマスクの大きさを計算する。
2. 1で計算した大きさのマスクで、収縮処理を行う。
3. 1で計算した大きさのマスクでぼかし処理を行う。

手順1では、nを用いて、マスクのサイズを計算する。点滅に強弱をつけるため、nに正弦関数をかけて、計算する。手順2では、得られたサイズのマスクで、収縮処理を行う。手順3では、手順1で得られたサイズで、手順2で得られた結果に対し、ぼかし処理を行う。ぼかし処理には、ガウシアンフィルタを用いる。

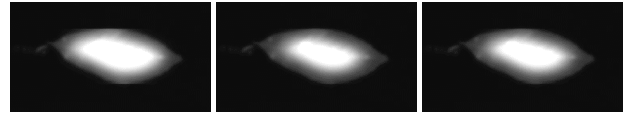


図8 収縮エフェクトの出力結果

4. 結果考察と作品展示

本研究で示す追跡結果と投影結果の作成には、Windows PC(Intel Core i9-9900(3.1GHz) PC)を使用する。エフェクトの投影結果や作品制作では、16GBのメモリを搭載したMacbook Pro (Intel Core i7 (3.2 GHz) PC with 3 GB RAM and a C++ compiler)を使用する。カメラは解像度1920×1080のBUFFALO BSW200MBKを、プロジェクターは解像度1280×720のTaxan KG-PL081W, 赤外線照明はS8100-IRを使う。場所は暗い室内で実験を行う。

本システムによる追跡結果を確認するため、手動による4種類の葉の動かし方に対し、追跡と投影を行った結果を図9に示す。また、より詳細な結果を付録Aに示す。動かし方は、平行移動(図9ab)、カメラ方向の軸回転(図9cd)、葉の軸回転(図9ef)、葉の折り曲げ(図9gh)とした。これらの結果より、本手法では葉の追跡、および現実空間での投影の双方において問題なく自動で行えることがわかる。本手法では最も速い2つの端点を追跡しているため、端点を同定できないような極度の変形や端点の遮蔽が無い限り、移動や回転、軸回転、変形に対して、柔軟に追跡が可能である(図9、図10)。



図10 中心部を凹ませるように変形させた葉への投影結果

また、エフェクトの投影結果を図11に示す。本手法は楕円形の葉の追跡を前提としたものであるが、実際に様々な形状の葉に適用したところ、楕円形の葉だけでなく長軸と短軸の差が大きい形状であれば追跡することができた(図11d)。本手法による追跡とエフェクトの生成は、投影対象が1つの時、追跡に約2.4msの時間を要し、約80fpsの速度で処理を行うが、システム全体としては使用したカメラの最高速度である30fpsで動作する。通常、遅延を感じない機材環境は165.6fps以上であるため、30fpsのカメラの場合、遅延を避けることはできない。本手法はそのような制約の下、安定した追跡を行うことができた。実際に、平行移動する葉に対しては60cm/s、回転する葉に対しては2.4rad/sまで追跡できたが、投影時には4cm/s以上で平行移動する葉、0.3rad/s以上で回転する葉において、システム遅延によって生じるズレを確認した(図12)。また、投影対象の葉の数を変えた時、処理時間は増加するものの、14枚までは30fps(1フレーム33.3ms)で追跡できることを確認した(図11abcef、図13)。



図9 動く葉に対する追跡結果と投影結果（長軸11cm，短軸7cmの葉を手動で動かした。）

(a), (b)約40cm平行移動させた葉に対する追跡・投影結果，(c), (d)約360度回転させた葉に対する追跡・投影結果，(e), (f)葉の長軸を中心に約45度軸回転させた葉に対する追跡・投影結果，(g), (h)一部を折り曲げるように変形させた葉に対する追跡・投影結果

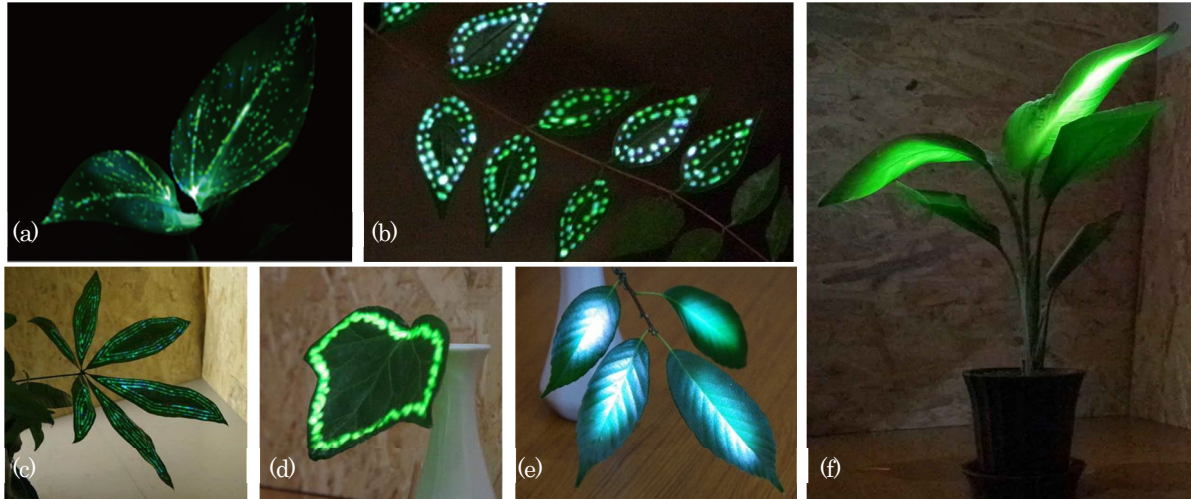


図 11. エフェクトの投影結果 (a)葉脈エフェクト, (b), (c), (d)輪郭エフェクト, (e)(f)収縮エフェクト

生成した3種類のエフェクトは本システムによって、投影対象の形状や変形の条件を満たす限り、動く葉に対して大きくずれることなく、いくつかのエフェクトを適用できた。これによって、「葉自身が発光しているような表現」を行った(図 11)。

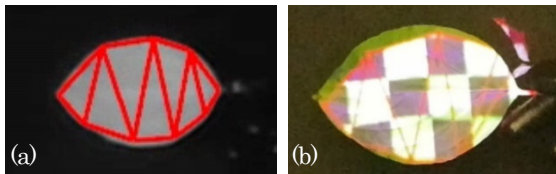


図 12. 同速度で動く葉に対する追跡結果(a)とブレが生じる投影結果(b)

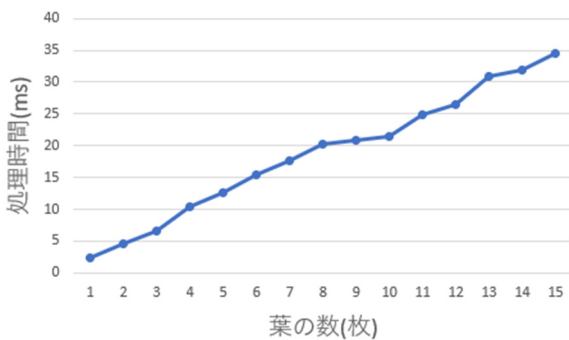


図 13. 葉の枚数に伴う処理速度の変化

本システムによるプロジェクターの位置合わせでは、手作業では約40分程度かかるところを、約10分で行うことができた。また、作品展示なども含めて、投影結果に大きな問題はなかった。

また、本システムを用いた作品制作の実践として、NICOGRAPH2018において「Projection for Leaves」、アジアデジタルアート大賞展(ADAA)2018において「Projection Mapping for Leaves」を発表し、展示を行った(作品の動画は以下のリン

クを参照:[作品動画](#))。展示では体験者は赤外線カメラに写らない手袋を着用した上で葉を動かせるようにした。

「Projection for Leaves」の展示は、2日間にわたり各5時間行い、多くの研究者や学生に鑑賞してもらった。1鉢の植物に投影を行い、インタラクションによる葉の移動量によって、3種類のエフェクトが切り替わるようにした。「Projection Mapping for Leaves」の展示は、6日間にわたり各10時間、美術館で行い、小学生程度の子供からご高齢の方まで幅広い世代の方々やアーティストの方々に鑑賞してもらった。鑑賞時間は、作品説明の時間を含めて3~5分程度であった。投影対象毎に異なるエフェクトの適用と時間変化に伴う切り替えによって、3種類のエフェクトを提示した(図 14)。



図 14 アジアデジタルアート大賞展 2018 の展示様子

両展示合わせて、100人以上の来場者に鑑賞してもらうことができた。多くの来場者に興味を持ってもらい、体験者からは様々な意見が得られた。まず「綺麗」「面白い」等の意見が得られたため、来場者に作品を楽しんでもらうという、本作品の目標を達成することができた。エフェクトは生物発光をモチーフとしたが、「生命感を感じる」等の意見が得られたため、目指していた表現をある程度達成することができた。また、両作

品では本手法の自動追跡システムを活かし、葉を触って動かす様子を鑑賞してもらった。その結果、作品を動かした際に鑑賞者が驚く様子が多く見られたため、可変な物体へのDPMによって、従来の静止した投影対象へのPMとは異なり、より対話的な体験を提供することができた。その他、「落ち着く」「部屋に欲しい」等の意見も得られたため、インテリアとしての展開も期待できる。一方、機材環境の制約の下、作品を展示したが、作品の鑑賞において遅延は特に問題にならなかった。また、両作品において受賞するなど高い評価を得た。

課題としては、端点の同定が難しい、正円に近い形状やカエデ等の複雑な形状、大きな形状変形への対応が困難という点である。本手法では、葉が長軸と短軸をもつ楕円形という前提で、2つの端点を追跡することで、各輪郭点の位置を計算しているため、端点の追跡が難しいと考えられる。

5. 結論

本研究では、葉へのDPMを支援するシステムを提案した。位置合わせにおいては、前もってプロジェクターの投影領域をカメラで取得し記録しておくことで、労力を大幅に軽減した。追跡手法においては、投影対象の端点を追跡することで、楕円形を中心とした様々な形状の葉を安定して追跡することができた。エフェクトにおいては、生物発光をモチーフに生成することで、鑑賞者に作品を楽しんでもらうことができた。

本研究では葉を対象に投影を行ったが、葉以外の自然物（花やキノコ、昆虫）を対象としたDPMへの応用も期待できる。また、事例[12]や事例[13]の手法と組み合わせたインタラクションコンテンツなどの制作も期待できる。

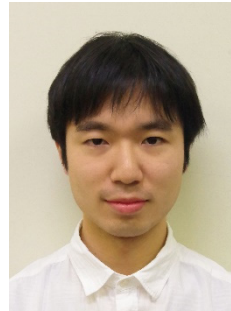
謝辞

本研究はJSPS科研費18K11956の助成を受けたものである。また、本研究は公益財団法人中山隼雄科学技術文化財団の援助を受けた。

参考文献

- [1] NAKED Inc., 2012, TOKYO HIKARI VISION
- [2] Friedrich van Schoor, Tarek Mawad. 2014. Projections in the Forest
- [3] Brittany Fatura, Laura LaPerche, Phil Reyneri, Brett Jones, and Kevin Karsch. 2018. Lightform: procedural effects for projected AR. In ACM SIGGRAPH 2018 Studio (SIGGRAPH '18). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 6, 1–2.
- [4] 末吉 知樹, 森本有紀, 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, NICOGRAPH 2018 Short paper (Conference track), 福岡, 2018.11.
- [5] Yasushi Matoba, Yoshiharu Ooide, Shingo Yamano, Shumpei Yamakawa, Taro Tokui, Hideki Koike. ChatFish: Projection on the Surface of Fish, 15th Int'l Meeting and Conf. on Virtual Reality and Converging(Laval Virtual 2013) Technologies (Laval Virtual 2013), 2013.
- [6] Gaku Narita, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa. 2015. Dynamic projection mapping onto a deformable object with occlusion based on high-speed tracking of dot marker array. In Proceedings of the 21st ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST '15), Stephen N. Spencer (Ed.). ACM, 149-152.
- [7] Kohei Okumura, Hiromasa Oku, and Masatoshi Ishikawa. 2013. Active Projection AR using High-speed Optical Axis Control and Appearance Estimation Algorithm. In Proceedings of the IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME '13). 1–6
- [8] Y. Morikubo and N. Hashimoto, "Edge-based object tracking for dynamic projection mapping," 2018 International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT), Chiang Mai, 2018, pp. 1-4.
- [9] Amit H. Bermanto, Markus Billeter, Daisuke Iwai, Anselm Grundhöfer, Makeup Lamps: Live Augmentation of Human Faces via Projection, 2017. Eurographics
- [10] Leo Miyashita, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa. 2018. MIDAS projection: markerless and modelless dynamic projection mapping for material representation. ACM Trans. Graph. 37, 6, Article 196 (December 2018).
- [11] Sommerer, C. and Mignonneau, L. The interactive plant growing, 1993: ARS Electronica.
- [12] Ivan Poupyrev, Philipp Schoessler, Jonas Loh, and Munchiko Sato. 2012. Botanicus Interacticus: interactive plants technology. In ACM SIGGRAPH 2012 Emerging Technologies (SIGGRAPH '12). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 4, 1.
- [13] Wataru Kurihara, Akito Nakano, Hisakazu Hada, 2017, Botanical puppet: Computer controlled shameplant. Proceedings – 2017 NICOGRAPH International, NICOInt 2017, 68–71.
- [14] Adam Runions, Martin Fuhrer, Brendan Lane, Pavol Federl, Anne-Gaëlle Rolland-Lagan, and Przemyslaw Prusinkiewicz. 2005. Modeling and visualization of leaf venation patterns. In ACM SIGGRAPH 2005 Papers, Markus Gross (Ed.). ACM, 702-711.

末吉 知樹



2018年 九州大学芸術工学部画像設計学科卒業. 2020年 九州大学芸術工学府芸術工学専攻修士課程修了. 同年より九州大学芸術工学府芸術工学専攻博士課程在学中.

森本 有紀



2008年九州大学芸術工学府修了, 同年東京大学にて日本学術振興会特別研究員, 2009年より独立行政法人理化学研究所研究員, 2012年より東京電機大学未来科学科講師, 芝浦工業大学助教などを経て, 2016年より九州大学助教. コンピュータグラフィクスに関する研究に従事. 情報処理学会, ACM SIGGRAPH 各会員. 博士(芸術工学).