

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

末吉知樹¹⁾

森本有紀²⁾ (正会員)

1) 九州大学芸術工学府

2) 九州大学芸術工学研究院

Automatic Generation of Projection Mapping for Plants

Tomoki Sueyoshi¹⁾

Yuki Morimoto²⁾ (Member)

1) Graduate School of Design, Kyushu University

2) Faculty of Design, Kyushu University

2DS18075M @ s.kyushu-u.ac.jp, morimoto @ design.kyushu-u.ac.jp

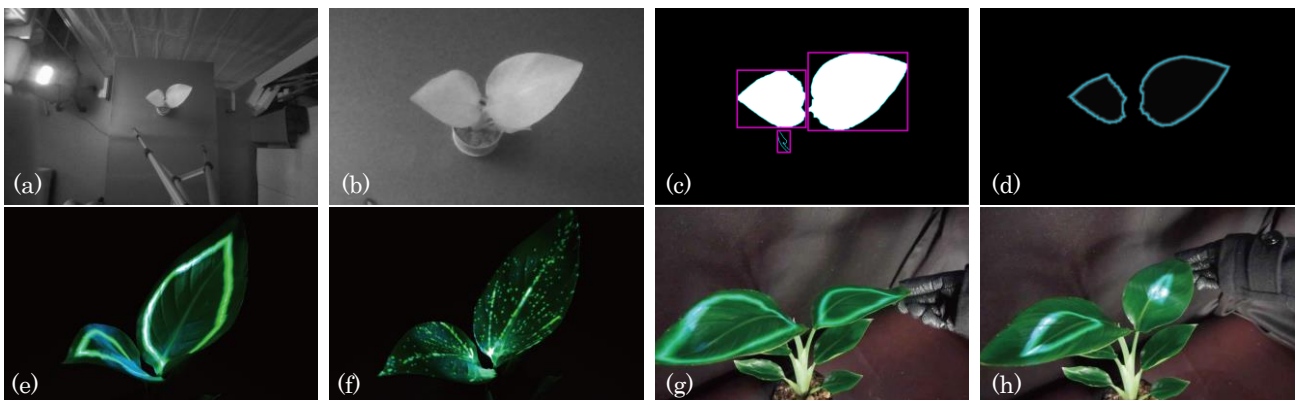


図1. 本システムの概要図. (a)入力画像. (b)射影変換の結果. (c)投影領域選出結果. (d)収縮エフェクトの生成結果. (e)収縮エフェクトの投影結果. (f)葉脈エフェクトの投影結果. (g)(h)動く葉に対する収縮エフェクトの投影結果

アブストラクト

近年, イベントや展示会でプロジェクションマッピングが盛んに使われている. 投影対象は立方体のオブジェクトなどから建物や魚などまで様々である. プロジェクションマッピングの投影対象と映像の位置合わせは, 特に植物のように多様かつ動きや変形のある場合, 非常に困難である. 本研究では, 植物の中でも葉を投影対象とし, 投影の位置合わせと植物に合うエフェクトの生成を自動的に行うシステムを提案し, 効果を検証する. エフェクトは2種類生成し, 一つは植物の動きにリアルタイムに対応できるもの, 一つは葉脈の流れをモチーフとしたものである.

1. はじめに

自然の中の光は人にとって魅力的である. 例として, 古くから現代においても蛍狩りなどが行われ[1], 映画作品などでは生物発光のような表現がしばしばみられる[2][3].

本研究では植物へのプロジェクションマッピングを生成するシステムを提案する. ただし, その実験段階として, 本稿では主に植物の葉を対象とする. 投影対象が風などの外力によって, 動き, 変形することを考慮し, 自動で位置合わせおよびエフェ

クト生成を行うシステムを構築する.

生成するエフェクトは, 「風の谷のナウシカ」[2]や「AVATAR」[3]などの映像作品でありうる発光植物の表現を目指す. 映像作品に登場する植物は架空のものであるが, ランプやイルミネーションなどの人工物ではなく, その世界の中で生きている植物として描かれている. このように, 架空表現だとしても生き物であると感じさせるような発光植物の表現を目標とし, エフェクトの生成を行う.

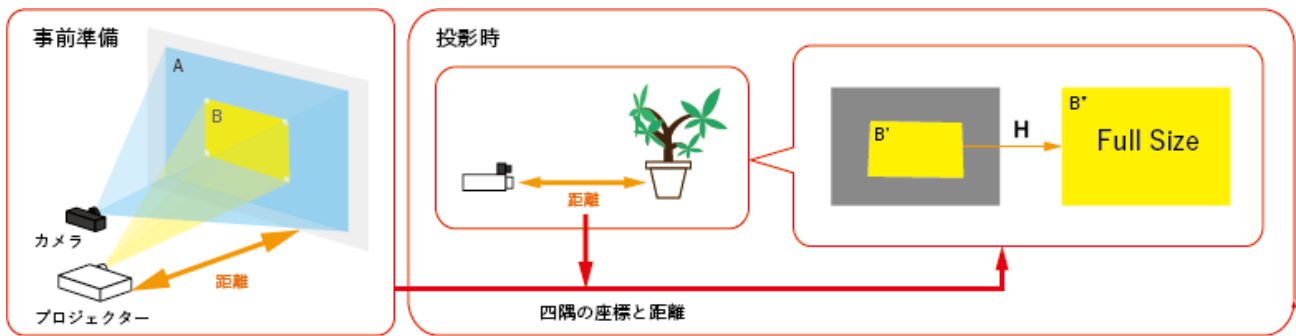


図2. 射影変換による位置合わせ

2. 先行事例

植物を投影対象としたプロジェクションマッピング作品の事例として、Projections in the Forest[4]や Scintillation[5]があげられる。これらの作品では、屋外の森でアーティストが位置合わせを手作業で行い、形状に合わせたエフェクトを作ることで、植物や生き物への投影を実現している。本研究では位置合わせを自動で行うことで、労力を軽減する。静止した物体の形状をスキャンし、投影映像の位置合わせを自動で行うデバイスとして Lightform[6]があるが、本研究では投影対象の葉が風などの外力によって、動き、変形することも考慮する。

また、動的、可変な物体に対して自動的な位置合わせを行った事例も多数ある。Narita らは赤外線マーカーを用いることで、紙や布の形状変化も考慮した投影を行っている[7]。Asai らの作品[8]や Bermano らの研究[9]では、顔を投影対象とし、エフェクトの自動的位置合わせを行っている。本研究では葉を投影対象とし、葉の動きと変形に対応可能なエフェクトも提案する。

3. 本手法

本研究では葉を対象に投影を行う。手法の概要としては、

1. カメラ、プロジェクター、赤外線照明などの設置
2. カメラ取得範囲とプロジェクター投影範囲の位置合わせ
3. カメラで取得した画像から投影する葉の領域の抽出
4. エフェクト生成と投影

となる。特に上記の2-4では、まず赤外線カメラで取得した画像(図1a)に対し、プロジェクターとカメラの位置を合わせるため、射影変換を行う(図1b)。次に、画像に対して輪郭抽出を行い、投影領域を選出する(図1c)。その投影領域に基づき、形状情報と植物由来のアルゴリズムによるエフェクトを生成し(図1d)、投影する(図1e, f, g, h)。

3.1 システム構成

システムは、カメラとプロジェクター、赤外線照明で構成される。カメラとプロジェクターはなるべく近い位置に設置し、両者の方向は葉の面に対してなるべく垂直になるように設置する。赤外線照明は光が投影対象に届くように配置する。

プロジェクションマッピングを行うとき、通常のRGBカメラで取得した場合、暗い環境では投影対象の形状が取得しづら

い。また、投影されている映像も画像として取得してしまうという点で問題がある。これら問題を解決するために、本システムでは赤外線照明と赤外線カメラを用いて画像を取得する。

投影対象である葉は様々な形のものに適応可能であるが、取得画像において葉同士が離れている必要がある。

3.2 プロジェクター投影の位置合わせ

カメラの取得画像とプロジェクターの投影位置を一致させるため、取得した画像を変換することで位置合わせを行う(図2)。一般的に手で位置合わせを行う場合、手順は以下であり、時間と労力がかかる。

1. エフェクトを投影
2. 投影された対象を確認しながら、対象の輪郭や形状に合わせてポイントを打っていき、パスを描く
3. エフェクトをパスに合わせ、投影結果を確認する
4. うまくエフェクトが投影対象に合うまで2-3を繰り返し行う。

これに対して本手法では射影変換を行うことによって、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。

＜本手法の事前準備内容＞

1. 四隅が白い画面を投影
2. プロジェクターの四隅の座標を記録

＜エフェクト投影の際＞

3. 記録した座標をもとに射影変換で位置合わせ

本手法における位置合わせとは、現実にはプロジェクターの投影された領域をカメラで取得し、その領域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ある。ここでは、任意の四角形領域を別の四角形領域に変換するために、射影変換を用いる。変換前後の四角形領域の四隅の座標を元に、射影変換行列を求め、取得画像の変換を行う。よって変換前後の四角形領域の座標が入力情報として必要である。

前述した本手法による位置合わせの1-2はエフェクトの投影の際ではなく、前もって行う内容で、射影変換に必要な投影領域の四隅の座標を記録しておく。このとき、投影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行い、距離を10cmずつ変えながら0.5mから2.5mまで記録する。これによって、植物など投影対象が平面でなくても、対象までの距離によって射影変換のための座標を取得することができる。投影時に距離を計測して入力し、射影変換を行う。また、この

とき四隅に白の四角形を配置した画像を投影し、四角形の位置を画像処理によって取得することにより、手作業による計測の手間を大幅に減らすことができる。

3.3 2種類のエフェクトの生成

本手法では2種類のアニメーションエフェクトを作成する。しかし、アニメーションエフェクトを個々の葉に追従させるためには、葉の形状の特定と追従を行わない限り制約がある。本手法ではこれを行わずに追従を行うことができるエフェクト(3.3.1)と、追従を行わず、静止した対象へのより柔軟な表現が可能なエフェクト(3.3.2)の2種を生成する。

両方のエフェクト生成に共通する処理として、投影領域の選出を行う。まず、赤外線カメラで取得したグレースケール画像を二値化し、輪郭を抽出する。この輪郭の面積の大きさが閾値に二つの閾値(最大値と最小値)の間にあるとき、投影領域として選出する。閾値はカメラで取得する範囲や葉の大きさによって調整した任意の範囲を用いる。

3.3.1 収縮エフェクト

水の波紋が形状に沿って進んでいくようなアニメーションエフェクトを生成するために、モルフォロジーの収縮処理を用いる。モルフォロジーとは画像の領域に対し膨張と収縮の画像処理を用いるものである。

本手法では二値化したカメラ画像に対して、毎フレーム以下の処理を行うことで、エフェクトを作成する。

1. 収縮処理。初回より後は2の処理結果に対して行う。
2. 1の結果の前景を半透明色、背景を透明にしたレイヤーを保存(1~2をn+30回繰り返す)
3. 生成されたn+30のレイヤーのn+1からn+30のレイヤーを重ねて合成する。

このときnは初期値を0として、毎フレーム1ずつ増加する。nは25を超えると減少に切り替わり、毎フレーム1ずつ減少していく。また、0以下になると増加に戻る。これを繰り返す。選出された領域のみ透過するマスク画像を用いることで、葉の部分のみエフェクトを描画する。

3.3.2 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。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. 葉脈の始点をユーザーが指定
2. 葉脈を生成
3. 葉脈に沿って粒子を動かす

本手法ではRunionsらの手法[10]に基づき、抽出された輪郭内部に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3a)を生成する。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正規化したベクトル \vec{v}_i を保存する。このとき $i = 1, 2, \dots, m$, mは葉脈ベクトルの総数である。全ての投影領域内の各画素pに対して、最も近い \vec{v}_p を探索する。 \vec{v}_p に垂直なベクトルを \vec{u}_p とすると、各画素に対して働く力 \vec{w}_p は $\vec{w}_p = \vec{v}_p + \vec{u}_p$ のように求める。

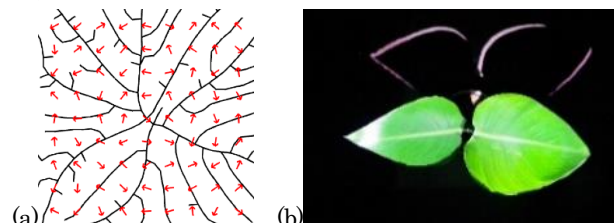


図3. 葉脈をもとに生成された速度場(a)と抽出した領域全体にプロジェクターで投影したもの(b)

4. 結果と評価

本研究で示す投影結果の作成には、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)を使用した。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

図3b, 4, 5に、本システムによって作成した投影結果を示す。位置合わせの自動化に関しては、概ね正確に投影を行うことができた。

2つのエフェクトについては評価実験を行った。植物の種類はストレチア・オーガスタ、おおよそ15センチの大きな葉が2枚付いたものを用いた。二値化の閾値は188, 輪郭の面積(pixel数)の最小値は11730, 最大値は78200に設定した。複数の項目について、収縮エフェクトと葉脈エフェクトについて、それぞれ5段階評価してもらい、46人に回答してもらい、結果を得た(表1)。

どちらのエフェクトも、「植物に対してエフェクトの形/色は合っていましたか」に対しての評価値は高かった。このことから、本手法によって、葉の形状に合わせたエフェクトを生成することができたことがわかる。また、本研究では、現実または映像作品などの架空の世界のどちらかにおいて、自然の植物らしいと認識されるような表現を目指した。この目標は「違和感はありませんでしたか」に対して、両者とも評価値が低かったことから、達成できたことが分かる。「綺麗でしたか」、「美しいと思いませんか」、「神秘的でしたか」の質問に対し、両者とも4以上の平均値だったことから、魅力的な表現を生成することができたと分かる。

課題は、モルフォロジーによるエフェクトの「人工的でしたか自然でしたか」に対して、人工的に見えている人が多かったことである。その要因として、アニメーションの速度が一定だったこと、色のグラデーションの変化が足りなかったことが挙げられる。

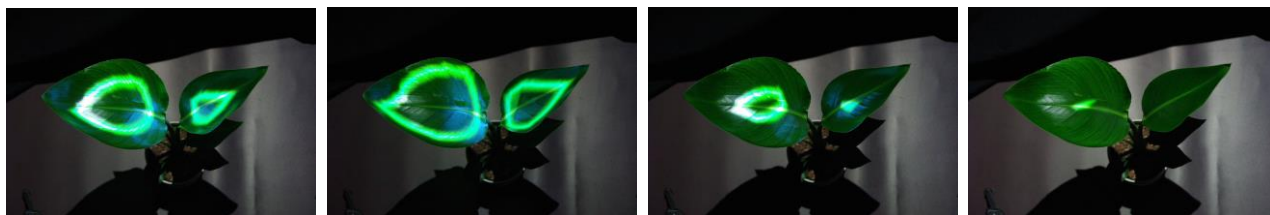


図 4. 収縮エフェクトのアニメーション

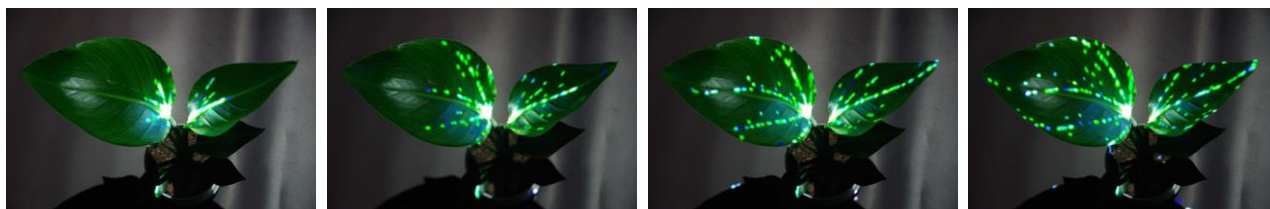


図 5. 葉脈エフェクトのアニメーション

表 1. 5段階評価アンケートの結果. 黄色および緑色のハイライトの部分から, 葉の形状に合わせたエフェクトを生成することができたこと, および, 魅力的な表現を生成することができたと分かる.

	(A) 収縮エフェクト		(B) 葉脈エフェクト	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差
人工的でしたか自然でしたか	2.54348	1.11719	3.54348	1.0572
無機的でしたか有機的でしたか	3.32609	1.06443	3.97826	1.01058
違和感がありましたか	2.13043	1.01315	1.93478	0.98692
生物発光らしさはありましたか	3.47826	1.11782	4.15217	0.75087
綺麗でしたか	4.78261	0.46218	4.71739	0.4962
美しいと思いましたか	4.65217	0.47628	4.65217	0.63305
神秘的でしたか	4.43478	0.82494	4.52174	0.71442
植物に対してエフェクトの形は合っていましたか	4.32609	0.7817	4.54348	0.74327
植物に対してエフェクトの色は合っていましたか	4.58696	0.64525	4.65217	0.66651

5. まとめ・課題

本研究では, 葉へのプロジェクションマッピングを支援するシステムを提案し, 位置合わせの労力を軽減しつつ, 生き物であると感じさせる発光植物の表現の自動生成を達成できた. また, 葉以外の自然物(木やキノコ, 昆虫など)への応用も期待できる.

課題は, 対象物体の検出, 追跡である. 追跡が可能になれば, 葉脈のエフェクトのような対象の特定が必要なエフェクトもインタラクティブな投影が可能になる. 収縮エフェクトにおいても, 速い動きに対応できていない. 本手法では, コンピュータ上の計算は 30~60fps の速度で処理されているが, リアルタイムゲームでは一般的に 60fps くらいが必要とされているため, 処理の高速化が必要である. また, 本研究で用いたカメラとプロジェクターはどちらも 30fps までしか対応していないため, デバイスを 60fps 以上に対応させることなどが必要である.

葉脈エフェクトにおいては葉脈生成アルゴリズムを用いたが, 投影対象自身の葉脈などの詳細情報を元に生成することで, より形状を考慮した汎用性のある表現の生成も期待できる.

参考文献

[1] 水野年方, 蛭狩 天明頭婦人, 1891

[2] 風の谷のナウシカ, 宮崎駿ら, 1984

[3] AVATAR, James Francis Cameron et al., 2009

[4] Friedrich van Schoor, Tarek Mawad, Projections in the Forest, 2014

[5] Xavier Chassaing, SCINTILLATION, 2009

[6] Brittany Factura, Laura LaPerche, Phil Reyneri, Brett Jones, and Kevin Karsch. 2018. Lightform: procedural effects for projected AR. In ACM SIGGRAPH 2018 Studio (SIGGRAPH '18). ACM, New York, NY, USA, Article 6, 2 pages.

DOI: <https://doi.org/10.1145/3214822.3214823>

[7] 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.

[8] Nobumichi Asai et al., OMOTE / REAL-TIME FACE TRACKING & PROJECTION MAPPING, 2014

[9] Amit H. Bermano, Markus Billeter, Daisuke Iwai, Anselm Grundhöfer, "Makeup Lamps: Live Augmentation of Human Faces via Projection, 2017. Eurographics

[10] 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.