

拡張現実感技術を用いた折り紙作業支援システムの開発

小澤祐樹[†] 蓬莱尚幸[†]

概要: 一般に、折り紙の作成方法の教示には折り図と呼ばれる平面図が用いられる。しかし折り図には、実際の折り紙と平面図との対応付けをすることが難しい場合や、紙を開いて潰すように折る等の特殊な折り操作を行う際、経験が少ない作成者では操作を理解できない場合があるというような問題がある。そこで本論文では、拡張現実感技術を用いて折り紙にCGを重ねて表示することで、折り紙作業を支援するシステムを提案する。提案するシステムでは、折り紙を撮影した画像から折り紙の辺と頂点にあたる画素を抽出し、各頂点ごとに、その頂点と折り紙の重心を結ぶ線分と各辺とが成す角度を要素とした特徴量ベクトルを作成する。そして、作業の手本となる折り紙画像から作成した特徴量ベクトルと、実際に作業をしている折り紙画像から作成した特徴量ベクトルとを比較することで折り紙の頂点どうしの対応付けを行い、それらを用いて2画像間の射影変換を求める。最後に、求めた射影変換を用いて、折り操作を教示するCGを作業中の折り紙画像に重畳表示する。作業者は、重畳表示された情報に従って作業をすることで、折り紙作業を行うことができる。

キーワード: 折り紙作業支援, 画像処理, 特徴マッチング, 拡張現実感

Development of Origami work support system Using Augmented Reality

YUKI OZAWA[†] HISAYUKI HORAI[†]

Abstract: This paper proposes a system which helps a user fold an origami work by superimposing computer graphics, that show instructions how to fold, on the user's onscreen origami work. First, this system detects the information of edges and vertices of an origami work as features based on an RGB image. Second, this system calculates the centroid of the origami work and calculates the angle defined by the vector from the vertex to the centroid and one of the edges respectively. Thus, it becomes able to describe all angles as features of a vertex. Then, this system matches vertices detected from user's onscreen origami work and ones detected from predetermined correct one in order to calculate a transformation matrix representing a coordinate transformation from user's origami image to the predetermined one. Finally, the system superimposes computer graphics on an image of user's origami work by using the calculated transformation matrix.

Keywords: Instruction of origami folding process, image processing, feature matching, augmented reality

1. はじめに

今、世界で注目される日本の文化の一つに折り紙がある。折り紙は、紙を折ることで新たな形を創造する遊戯であり、その芸術性から世界各国で趣味や美術活動として親しまれている。また、近年では数学や工学の分野において、折り紙の幾何的性質やその性質の応用に注目した研究が盛んに行われている。[1] 一般に、折り紙の作成方法の教示には、紙の折り目や紙を折る方向を破線や矢印で表した折り図と呼ばれる平面図が用いられる。折り図には、実際の折り紙と図との対応付けをすることが難しい場合や、紙を開いて潰すように折る等の特殊な折り操作を行う際、経験が少ない作成者では操作を理解できない場合があるというような問題がある。したがって、三次元物体である折り紙と平面図との対応付けや、折り操作の理解を容易に行うことのできる新たな教示方法が求められている。また、近年、拡張現実感技術を用いた作業支援の研究が盛んに行われている。

拡張現実感 (Augmented Reality: AR) とは、人間の感覚器官が現実空間から情報を得る際、その情報を変調して感覚器官に与えることで得られる、実際の感覚より強化あるいは目的に対して最適化された感覚を指す。拡張現実感技術を用いた作業支援とは、作業に必要な情報を使用者の感覚に重畳することで、従来の手段と比べて効果的に作業を支援する手法である。このAR技術を用いた作業支援の対象に折り紙を扱う研究も行われており、既存の研究としては、教師ビデオを作業空間に重畳表示するもの[2]や、折り紙に2次元マーカーを印刷して認識を行うもの[3]がある。これらの手法には作業空間にマーカーを置く必要がある、あるいは、折り紙にマーカーを印刷する必要があるといった制約のために、現実の作業空間や、市販の折り紙をそのまま使うことができない問題がある。以上の背景を踏まえ、本論文では、折り操作を指示する教示用CGを市販の一般的な折り紙に重ねて表示し、折り紙作業を支援するシステ

[†] 茨城工業高等専門学校
〒312-0011 茨城県ひたちなか市中根866
National Institute of Technology, Ibaraki College,
866 Nakane, Hitachinaka-city, Ibaraki, 312-0011

ムを提案する。ここでいう教示用 CG とは教師画像に予め描画しておいた折り目や折り方を示す CG を指す。また教師画像とは、作業の手本となる折り紙の画像を指す。提案するシステムでは、教師画像と作業対象の折り紙画像との座標対応関係を示す射影変換行列を求め、求めた変換行列を用いて作業対象となる折り紙の姿勢にあわせて変形させた教示用 CG を表示する。

2. 教示用 CG 重畳のアルゴリズム

前章で述べたような射影変換行列の計算のためには、教師画像と作業対象となる折り紙画像間で対応する点の組み合わせを最低 4 組以上見つける必要があることが知られている。即ち、2 画像間で類似した部分を検出し、それらに対応付ける画像マッチング作業が必要である。このような画像マッチングを行う手法としては、テンプレート画像と類似したパターンを対象画像から検索するテンプレートマッチングと呼ばれる手法や、種々の手法によって検出した特徴点とその近傍から計算される局所特徴量を利用する特徴量マッチングと呼ばれる手法が提案されている。しかし、これらの手法を折り紙の画像に適用する場合、テンプレートマッチングには画像中の折り紙の向きや色の変化、形の歪みによって検索に失敗してしまうという問題がある。また特徴量マッチングを用いる場合、一般的な折り紙は局所的に類似した領域を多数持っているため、検出した特徴点のマッチングに失敗するという問題が起きる。

そこで、提案するシステムでは折り紙がどのような状態にあるかを特徴づける特徴量を、折り操作によって生じる折り紙の辺や頂点の位置関係から定める。本システムで扱う折り紙の辺とは、折り操作によって分割された折り紙の領域どうしの境界に現れる直線および折り紙の輪郭を指すものとする。また、折り紙の頂点とは、各辺の端点のうち、コーナー検出アルゴリズムを用いてコーナーであると判定された点を指すものとする。提案するシステムでは、師画像と、実際の作業対象となる折り紙を撮影した画像を用意し、これらの画像から抽出した辺と頂点の位置関係をもとに以下のような手順によって特徴量ベクトルを求める。

1. 折り紙の重心を求める。
2. ある頂点 A について、頂点と重心を結ぶベクトル V_g を求める。
3. 頂点 A から一定距離にある辺画素を見つけ、頂点 A とその辺画素を結ぶベクトル V_{e1} を求める。
4. V_g と V_{e1} のなす角を求める。
5. 頂点 A から一定距離にある全ての辺画素について 3, 4 の処理を行い、求めたすべての角度を要素とするベクトルを頂点 A の特徴量ベクトルとする。ただし、このベクトルは角度の大きさに昇順にソートされるものとする。

なお本手法は林らによる幾何特徴に基づく画像照合アルゴリズム [4] を参考に考案したものである。本手法によって特徴量を求める例を図 1 に示す。この例では、頂点 A から半径 r の位置にある辺画素を探索し、頂点から見つかった辺画素へのベクトル V_{e1} および V_{e2} と、頂点から重心へのベクトル V_g がなす角度 θ_1 および θ_2 を特徴量として取得している。

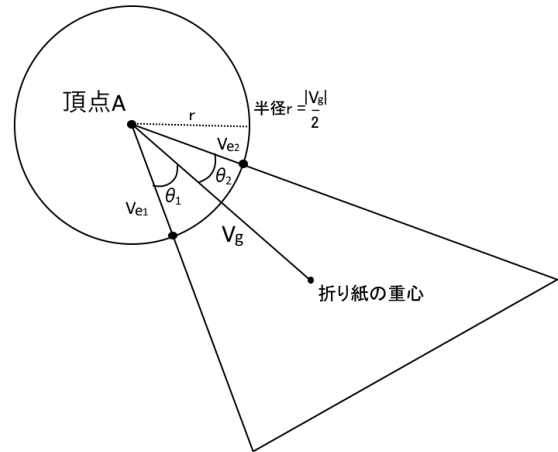


図 1 折り紙の特徴量を求めるイメージ

その後、求めた特徴量ベクトルの類似度を比較することで折り紙の頂点どうしの対応付けを行い、その対応付けから 2 画像間の座標対応関係を示す射影変換行列を求める。最後に、求めた変換行列を用いて作業対象となる折り紙の姿勢にあわせて教示用 CG を変形させる。

3. システムの実装

3.1 システムの構成と実装環境

図 2 に提案するシステムの構成図を示す。図 2 に示すように、システムは単眼 RGB カメラで撮影された現実の折り紙の画像に、折り紙のどこをどのように折ればよいかを指示する教示用 CG を重畳表示し、視覚ディスプレイを通してユーザに提供する。ユーザは指示に従って折り操作を進めることで、折り紙作品を完成させることができる。

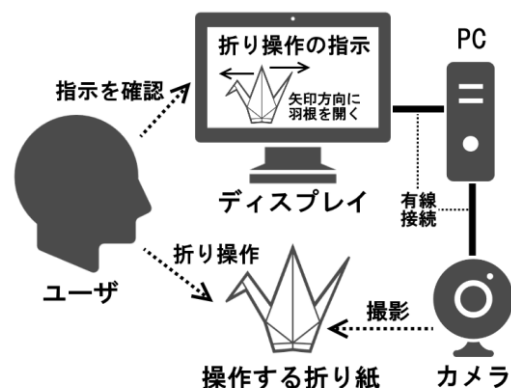


図 2 提案システムの構成図

また、本システムの実装に用いたコンピュータとカメラの仕様をそれぞれ表 1, 2 に示す。

表 1 コンピュータの仕様

CPU	Intel® Core™i7-5820K 3.30GHz
RAM	16.0GB
OS	Windows10™
ライブラリ	OpenCV 3.4

表 2 カメラの仕様

製品名	Microsoft® LifeCam Studio™
解像度	最大 1920×1080
フレームレート	最大 30fps

3.2 折り紙領域の抽出

画像中から折り紙の特徴量を抽出する前処理として、HSV フィルタによる折り紙領域の抽出を行った。今回は対象とする折り紙に両面色付きのものを用いたので、折り紙の両面の色相に当てはまらない色相を持つ画素値を 0 にする HSV フィルタを作成し、適用した。図 3 に折り紙領域の抽出結果を示す。



(a).入力画像 (b).出力画像

図 3 折り紙領域の抽出

3.3 折り紙の辺検出

次に折り紙の辺にあたる部分を検出する。画像中から直線部分を検出する手法として、確率的 Hough 変換を利用した。図 4 に、図 3-(b)に示した折り紙領域から確率的 Hough 変換による辺検出を行った結果を示す。ただし、確率的 Hough 変換の探索対象となるエッジ画素の検出および確率的 Hough 変換の処理には、OpenCV において実装されている Canny 関数および HoughLinesP 関数を用いた。

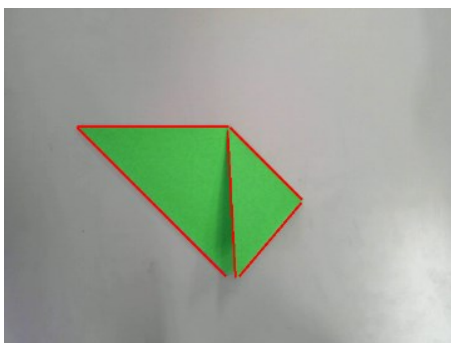


図 4 確率的 Hough 変換による折り紙の辺検出

3.4 折り紙の頂点検出

2章で述べたように、本システムでは折り紙の頂点を、辺の端点のうち、コーナー検出アルゴリズムを用いてコーナーであると判定された点を指すものとした。図 5 に、OpenCV において実装されている goodFeaturesToTrack 関数を用いて、図 3-(b)にコーナー検出アルゴリズムの一つである Harris のアルゴリズムを適用した結果を示す。

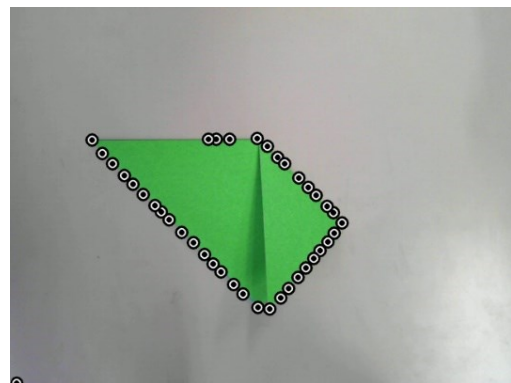


図 5 Harris のアルゴリズムによるコーナー検出

図 6 に、判定されたコーナーのうち、3.3 節で求めた折り紙の辺の端点と閾値以下の距離にあると判定されたコーナー、即ち本件システムが扱う折り紙の頂点を示す。

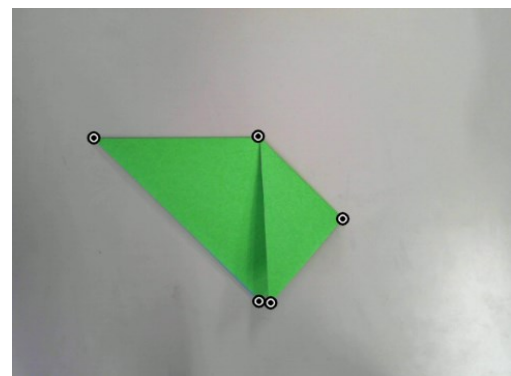


図 6 折り紙の頂点

3.5 対応点のマッチングと教示用 CG の重畳

実装した教示用 CG 重畳のアルゴリズムを確認するため、図 3 とは別の折り紙を図 3 と同様の形まで折り進めた例を用意した。その例を図 7-(a)に、図 7-(a)から 3.2-3.4 節で述べた手法を用いて辺と頂点の情報を検出した結果を図 7-(b)および図 7-(c)に示す。

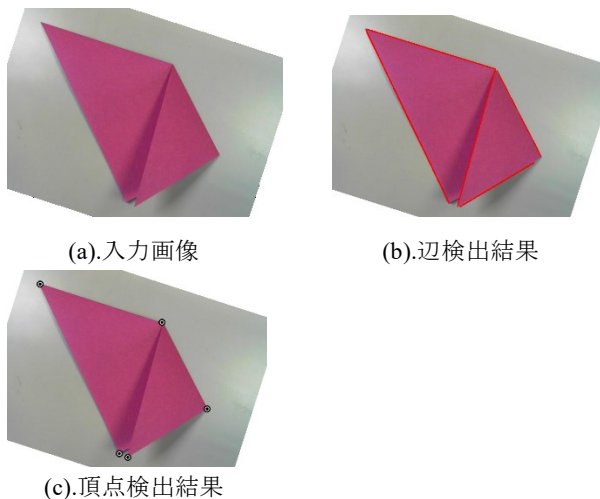


図7 折り紙画像からの辺・頂点検出

次に、2章で述べたアルゴリズムを用いて図6および図7-(c)に示した折り紙の各頂点から特徴量ベクトルを算出した。図8に、算出した特徴量ベクトルどうしをコサイン類似度によって比較し、最も高い類似度を示した頂点どうしをマッチングした結果を示す。

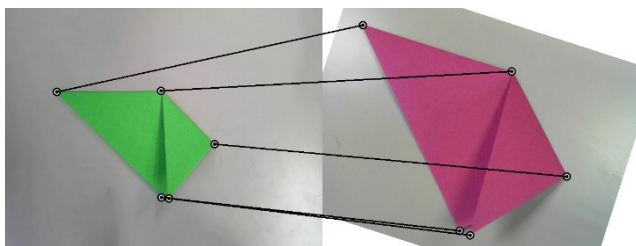


図8 提案手法による対応点のマッチング結果

図8より、提案した手法によって正しい頂点をマッチングすることが可能であると分かる。

最後に、図3の折り紙を教師画像として、教師画像に描画した教示用CGを図7の折り紙に重畳表示する。即ち、図7に示したマッチング結果を用いて射影変換行列を計算し、計算した変換行列によって変形させた教示用CGを図7-(a)に重畳させる。図9にその結果を示す。ただし、射影変換行列の計算には、OpenCVにおいて実装されているfindHomography関数を用いた。

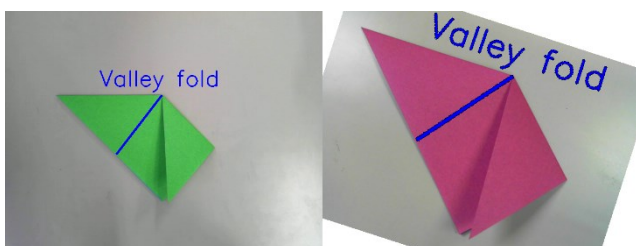


図9 教示用CGの重畳結果

4. おわりに

4.1 まとめ

本研究では、拡張現実感技術を用いて折り紙作業を支援するシステムを作成した。図9に示すとおり、提案手法を用いて教示用CGを実際の折り紙の形にあわせて変形させ、重畳表示することができた。

4.2 今後の課題

今後の課題として、以下がある。

4.2.1 辺・頂点推定アルゴリズムの改良

本研究では、折り紙の辺検出および頂点の推定にOpenCVにおいて実装された画像処理関数を用いている。これらの関数は与えられたパラメータに従って画像処理を行うが、現在のシステムでは対象となる折り紙が変化した時、正しい検出結果を得るためにこれらのパラメータを手動で調整する必要がある。

4.2.2 特徴量ベクトル抽出アルゴリズムの改良

本研究では頂点-重心間ベクトルと頂点-辺画素間のベクトルのなす角度を特徴量として計算し、それらを要素とした特徴量ベクトルを作成する。この特徴量ベクトル作成の際、計算した角度を昇順にソートして格納するため、この特徴量ベクトルは回転に対し不変性をもつ。しかしこの様な特徴量ベクトルの場合、辺との位置関係が重心に対して回転対称となるような頂点が複数ある場合にそれらを区別できず、マッチングの際に誤対応を起こす可能性がある。そのため、このような頂点を区別できるような特徴量ベクトル抽出アルゴリズムを考案する必要がある。

4.2.3 提案システムの評価

本研究ではシステムを用いて折り紙作業全体を支援する実験を行うまでに至らなかった。被験者に実際にシステムを用いて折り紙作業をしてもらい、提案システムが折り紙作業支援に対してどの程度有効かを検討する必要がある。

参考文献

- [1] 日本折紙学会. “折紙探偵団 折り紙の科学・数学・研究教育 周年”. <http://www.origami.gr.jp/OSME/index.html>, (参照 2018-02-07).
- [2] 後藤道彦, 植松裕子, 斎藤英雄, 仙田修司, 池谷彰彦. “作業空間への教師ビデオ重畳表示によるAR支援システム”. 画像電子学会誌. 2010, Vol.39, No.6, pp.1108-1120.
- [3] 北村勇也, 岡誠. “拡張現実を用いた折り紙の製作指導システムの提案”. 情報処理学会研究報告. 2011, Vol.2011-HCI-142, No.16, pp.1-6.
- [4] 林宏樹, 斎藤文彦. “等距離エッジ点群の幾何特徴に基づく回転対応画像照合”. 2006, 電学論 C, Vol.126, No.4, pp.519-525.