

## エッジベース追跡を用いた折り紙作業支援 AR システムの構築 Origami instruction AR system using edge based tracking

徳盛太一朗<sup>†</sup> 伊佐元希<sup>†</sup> 遠藤聡志<sup>‡</sup> 赤嶺 有平<sup>‡</sup> 當間 愛晃<sup>‡</sup> 山田 孝治<sup>‡</sup>  
Taichiro Tokumori Motoki Isa Satoshi Endo Yuhei Akamine Naruaki Toma Koji Yamada

### 1. はじめに

経験したことのない作業や難解で膨大な作業工程がある作業を行うとき、作業者は作業手順の書かれたマニュアルを参照しながら行う。そのため、作業中に動作の切り替えが必要になり、その際に参照するマニュアルの箇所を間違えたり、動作の切り替え自体が作業者に負担をかけることもある。そのような問題を解消するために AR (拡張現実感) でのプラント保守や医療分野における作業支援が提案されている [1]。本研究では、折り紙問題に対するエッジベース追跡を用いた作業支援システムの構築を行う。折り紙作業支援は、物体認識や重畳表示のプロセスに加え、折り紙形状管理という問題も含んでおり、AR 作業支援のテストベツト問題といえる。

### 2. 折り紙作業支援システム

#### 2.1. 概要

システムは大別して、カメラ初期位置姿勢算出プロセスとエッジベース追跡プロセスに分けられる。エッジベース追跡への初期値として許容される程度の精度をもったカメラの外部パラメータが算出されるまで、カメラ初期位置姿勢算出プロセスを行い続ける。外部パラメータの推定に成功した後は、エッジベース追跡プロセスを行い続け、追跡が失敗した場合は再びカメラ初期位置姿勢算出プロセスに戻る。

#### 2.2. 初期カメラ位置姿勢算出プロセス

初期カメラ位置姿勢算出プロセスは、エッジベース追跡に渡すカメラ位置姿勢の初期値を求めるプロセスである。フローチャートを図 1 に示す。初期カメラ位置姿勢を求める手法は、小林らの傾斜角拘束を用いた高速初期化手法 [2] を用いる。この手法は、センサーから取得したカメラ傾斜角に加えて 3 組の画像上のエッジと 3D モデルのエッジ対応から、モデルに対するカメラの位置と姿勢を算出する手法である。ここで、傾斜角とは、三次元座標系に対する重力軸の傾きを表すものであり、2 自由度を持つ。重力軸回りの 1 自由度の回転を表す方位角をセンサーの値を使用しない理由は、ドリフト誤差の問題が残されているためである。方位角は 1 組の画像上のエッジと 3D モデルのエッジ対応から算出することができる。図 2 に手法の詳細を示す。画像上から検出されたエッジ上の任意の点  $a, b$  をカメラ位置座標に変換した  $\vec{C}_a, \vec{C}_b$  の外積により既知となっている  $\vec{n}_1$  を  $[n_x, n_y, n_z]^t$ 、センサにより得られた傾斜角回転行列に方位角回転行列を掛け付けた値を  $R_{cw}$ 、未知のカメラ位置ベクトルを  $[t_x, t_y, t_z]^t$  とすると、 $\vec{n}_1 \perp \vec{C}_p^t = 0$

を利用し、以下の式が成り立つ。

$$n_x t_x + n_y t_y + n_z t_z = -n_1 R_{cwp}$$

カメラ位置を表す未知数が 3 つ ( $t_x, t_y, t_z$ ) あるため、解を求めるために画像上の線分  $ab$  と 3D モデルのエッジ  $pq$  のような対応が 3 組必要になる。初期カメラ位置姿勢算出を行う前の画像上の直線エッジ検出には Canny 法と Hough 変換を用い、さらに検出されたエッジ周辺の HSV 色情報を用いて折り紙のものと思われるエッジを選別する。選別を行うことにより、画像上のエッジと 3D モデルエッジの組み合わせの数が減少するため、位置計算にかかる時間も減少する。算出されたカメラ位置は以下の条件によりその妥当性が評価される、

- ・位置計算に使用した 3 組の対応の画像平面上の距離が一定以下
- ・投影された 3D モデルと画像上に写った折り紙の重なり具合が一定以上

このプロセスでは現ステップモデルと次ステップモデルのそれぞれに対してカメラ位置姿勢計算を行い評価することにより、折り段階のステップ把握も行う。そのため、初期カメラ位置姿勢算出プログラムの処理速度や正答率が重要になってくる。

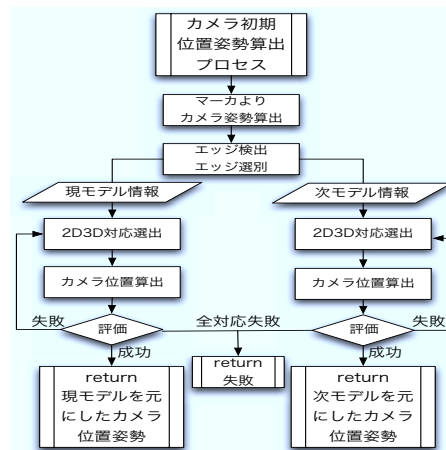


図 1: 初期カメラ位置姿勢算出プロセス

#### 2.3. エッジベース追跡プロセス

エッジベース追跡プロセスとは、画像上から得ることの出来るエッジ情報と前フレームで求めたカメラ位置姿勢を用いて再度カメラ位置姿勢を求めるプロセスである。フローチャートを図 3 にしめす。このプロセスは、Luca Vacchetti らの手法 [3] の一部を用いた。実装したプロセスでは、始めに前フレーム時に求めたカメラ位置姿勢を用いて追跡対象物を画面上に投影する (図

<sup>†</sup>琉球大学 大学院 理工学研究科

<sup>‡</sup>琉球大学工学部情報工学科

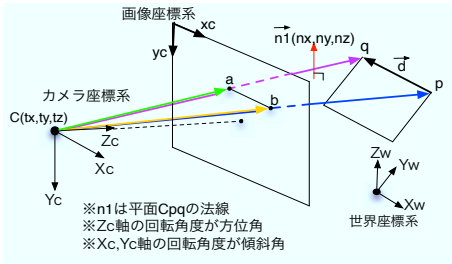


図2：初期カメラ位置姿勢算出手法

4-(a)．次に、投影された追跡対象物の各エッジに対して一定間隔で垂直な方向に探索線を引き(図4-(b))、それによって現フレーム時の追跡対象物のエッジになりうる点を探索する(図4-(c))．一本の探索線から発見された点群の中から、追跡対象物のエッジとの距離が一番近い値をその探索線の評価とする．最後に、最急降下法を用いて、全ての探索線の評価の総和が最も低くなるようなカメラ位置姿勢を求める．

このプロセス終了時にカメラ位置姿勢の評価を行い、カメラ位置姿勢の算出に成功と判断した場合はエッジベース追跡を繰り返す．失敗と判断した場合は、初期カメラ位置姿勢算出プロセスを実行する．

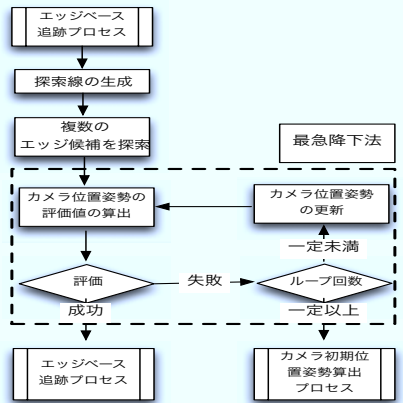


図3：エッジベース追跡プロセス

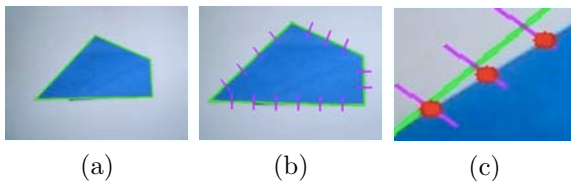


図4：エッジ候補の探索例

### 3. 評価実験

本実験では水鳥が折上がるまで、処理速度、正答率、重畳表示について評価を行う．実験では、センサの代わりに ARtoolkit を用いてマーカからカメラ傾斜角を取得する．なお、カメラの内部パラメータは予め校正しており、マーカと折り紙は必ず同じ平面上にあるものとする．

#### 3.1. 処理速度と正答率

表1は、水鳥を折る途中の3つのモデル(図5)に対する初期カメラ位置姿勢算出プログラムの処理速度と正答率を示している．処理速度は、検出されたすべての直線エッジに対してプログラムを実行した場合と HSV 色

情報を用いて折り紙のエッジと思われるものを抽出して実行した場合の結果を示している．また、正答率とはフレーム毎に位置・姿勢の計測がロストしたかどうかをシステムが判断した結果を示しており、計測がロストする条件は正しいと判断されるカメラ位置姿勢が 300ms 以内に算出されなかった場合である．実験の結果、HSV 色情報を用いてエッジを選別した場合、どのモデルでも初期カメラ位置計算にかかる処理時間が短くなりリアルタイム処理に問題のないと思われる速度がでている．正答率もそれぞれ50%以上の数値がでているため、初期カメラ位置姿勢推定プロセス内のループ回数が減り、妥当な初期カメラ位置姿勢が算出されるまでの時間は短くなる．



(a)：モデル1 (b)：モデル2 (c)：モデル3  
図5：実験対象折り紙モデル

	モデル1	モデル2	モデル3
平均処理速度 (選別なし)	77ms	88ms	120ms
平均処理速度 (選別あり)	34ms	50ms	60ms
正答率	71%	93%	59%

表1：処理速度と正答率

### 3.2. 重畳表示

折り操作を重畳表示した結果を示す．図6-(a)は引き上げ、図6-(b)はかぶせ折り、図6-(c)は中わり折りの情報を重畳表示している．今回の実験では、線分の色により折り操作の区別を行った．各モデルに対して、適切な位置に折り操作の情報の重畳表示ができています．



(a)：引き上げ (b)：かぶせ折り (c)：中わり折り  
図6：折り操作の情報を重畳表示した結果

### 4. まとめと今後の課題

本報告では、エッジベース追跡を用いた折り紙作業支援 AR システムの構築と評価を行った．その結果、ボトルネックとなる初期カメラ位置姿勢推定はリアルタイム処理に問題ないと思われる処理速度と正答率を出すことができた．

今後は、平面のみではなく 3D 物体の作業支援を目指し、作業分岐の特定もシステム内でできるように改良する．

#### 参考文献

- [1] “特集 拡張現実感(AR)”, 情報処理, Vol.51, No.4, 2010
- [2] 小林, 佐藤, 内山, 山本, “傾斜角拘束を用いたエッジベース位置合わせの高速初期化手法”, 日本 VR 学会論文誌, Vol.13, No2, pp.183-194, 2008.
- [3] Luca Vacchetti, Vincent Lepetit, and Pascal Fua, “Combining edge and texture information for real-time accurate 3D camera tracking” Proc.ISMAR’04, pp.48-57(2004)