

## ドローネー三角錐分割にエッジ検出を組み合わせた特徴点群からの3次元復元

3D model acquisition method based on  
Delaunay tetrahedralisation and edge detection.

高安 伸<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>  
Shin Takayasu      Satoshi Endo      Yuhei Akamine      Naruaki Toma      Koji Yamada

## 1. はじめに

動画像からの3次元復元の手法として、ドローネー三角錐分割を用いたPanらのProFORMA[1]が知られている。これは固定カメラの前で実オブジェクトを回転させることで復元モデルを生成する。本研究では特徴点群に対するドローネー三角錐分割にエッジ検出を組み合わせるによりハンドヘルドカメラで撮影したシーンを復元する手法を提案する。この手法は、まず動画像から取得した特徴点にドローネー三角錐分割を用い凸包モデルを生成する。動画像にエッジ検出を用いて、エッジで囲まれた閉領域を検出する。閉領域画像とドローネー三角錐分割を比較することにより凹部となる部分の不要な四面体を取り除く。これらのアルゴリズムを実装し評価を行う。

## 2. ProFORMA

PanらのProFORMA[1]は固定カメラの前でオブジェクトを回転させた動画像から3次元モデルを復元するシステムである。オブジェクトを回転させ特徴点の移動量から特徴点の三次元位置推定を行い、その特徴点に対しドローネー三角錐分割を行う。その後、特徴点の可視性に注目し不要な四面体を削除することで精度の高い3次元復元を可能としている。ProFORMAは特徴点の取りづらい状況には不向きであるため、本研究ではエッジ検出を用いることで特徴の少ない場所でも3次元復元可能なシステムの提案をする。

## 3. 提案手法

提案手法では、動画像より特徴点の3次元位置を取得し、その特徴点に対しドローネー三角錐分割を行う。ドローネー三角錐分割を適用したモデルは凸包となり凹部を表現できない。そのためエッジ検出を組み合わせる。動画像に対するエッジ検出を行い、エッジで囲まれた閉領域外にある四面体を削除することで不要な四面体を取り除く。これを複数フレームで繰り返すことにより凹部を表現することが可能となる。

## 3.1. 三次元モデルの構成手順

三次元モデルの構成手順は大きく別けて5つの手順からなる。

1. PTAM(Parallel Tracking and Mapping for Small AR work space)[2]より三次元空間の特徴点とキーフレーム画像を取得する。

2. 特徴点に対してドローネー三角錐分割を用い、凸包モデルを作成する。
3. キーフレーム画像に対してCannyフィルタ、ハフ変換を行い直線で構成された画像を生成する。
4. ハフ変換後の画像から直線で囲まれた閉領域を検出する。
5. 凸包モデルをキーフレーム画像と同じカメラ位置から見た画像を比較し、エッジの閉領域外にある四面体を削除する。

## 3.2. 三次元空間の特徴点取得および三次元位置推定

三次元空間の特徴点の取得、および三次元位置推定にはPTAMを用いる。PTAMは、単眼カメラによってARを実現するために自己位置姿勢推定と、特徴点の三次元位置推定を行うシステムである。このシステムは、カメラが未知の領域を写した際に、自身で保持しているマップに未知の領域の特徴点を追加することによって、上記の機能を実現することができる。PTAMでは、この2つの処理を別スレッドで行うことにより、高速化し、さらに正確に特徴点の取れたフレーム(キーフレーム)の情報のみでマッピングを行うことにより、リアルタイムでの処理を可能としている。

## 3.3. ドローネー三角錐分割

ドローネー三角錐分割とはドローネー三角形分割[3]を三次元に拡張したものとなる。ドローネー三角形分割は点群から任意に3点選び、その3点を通る円を求め、その円内に他の点が存在しなければ三角形を生成する。ドローネー三角形分割を適用した図形は凸包になるという特徴がある。このドローネー三角形分割は多次元に拡張することもできる。ドローネー三角錐分割を適用した例を図1に示す。

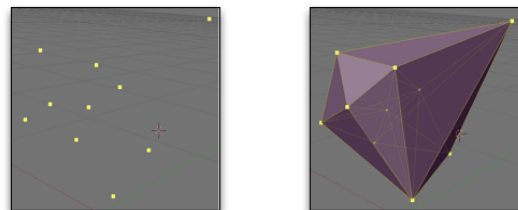


図1: ドローネー三角錐分割  
左. 特徴点群    右. ドローネー三角錐分割

<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

### 3.4. エッジ抽出

エッジ抽出には Canny 変換とハフ変換を用いる。ハフ変換を行う前処理としてエッジ検出した2値化画像を Canny フィルタを適用し作成する。Canny フィルタを用いることによりエッジ以外のノイズを省き、ハフ変換の精度を上げることができる。

【Canny フィルタ】Canny フィルタはエッジの高さおよび信頼度と呼ばれる2つの閾値を設定することでエッジ抽出を行うものである。エッジ高さとは注目画素の周囲における濃淡値の変化量、信頼度とはノイズの影響の尺度をあらわす指標である。閾値を適応的に設定することによって、強い雑音に対しても効果的にエッジを抽出することができる。このため、Canny フィルタは広く一般に用いられている。

【ハフ変換】ハフ変換は画像内の特徴点をより多く通る直線を取得するものである。また複数の直線を取得することができる。これにより対象画像の直線的なエッジを取得することができる。

ハフ変換を適用したサンプルを図2に示す。

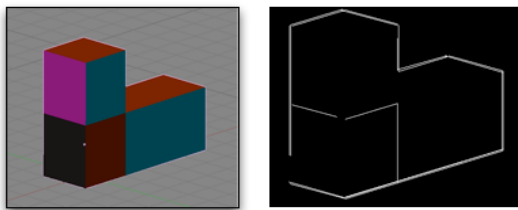


図2: Canny およびハフ変換後の画像

### 3.5. 四面体の削除

四面体の削除には、閉領域画像 図3(a)と凸包モデル 図3(b)の差分をとる。差分のある座標にある四面体を削除する。

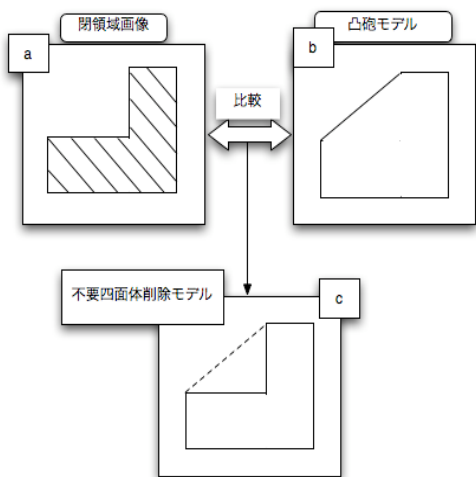


図3: (a). 閉領域画像 (b). 凸包モデル (c). 不要四面体削除

### 4. 実験

L字型の3次元モデル図4(a)を使用し提案手法を用いてコンピュータ上で復元を行う。入力画像 図4(b)に対し、Canny フィルタとハフ変換を適用しエッジ画像を生成する。エッジ画像からエッジで囲まれた閉領域を塗りつぶした閉領域画像 図4(c)を生成する。L字モデルの頂点を入力とし、ドロネー三角分割を行い、ドロネー三角錐分割モデル 図4(d)を生成する。閉領域画像とドロネー三角錐モデルを比較し、差分を含む四面体を削除した結果が図4(e)である。不要四面体の削除が適切に行われている。

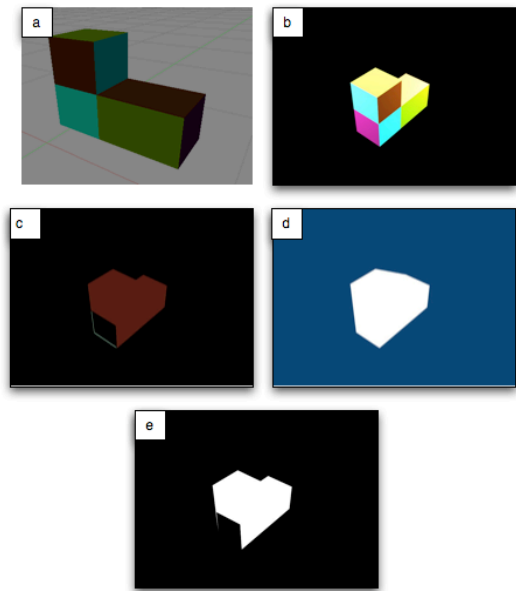


図4: (a). 元画像 (b). 入力画像 (c). 閉領域画像 (d). ドロネー三角錐分割適用モデル (e). 不要四面体削除モデル

### 5. おわりに

本研究では特徴点群に対しドロネー三角錐分割を適用したモデルに、エッジ検出により得られる閉領域画像との差分をとることによって、3DCG モデリングを行う方法を提案し、実装した。実装したシステムに対しシミュレーション実験を行ったところ良好な結果を得た。実画像を用いた実験、耐ノイズ性の評価が必要である。

### 参考文献

- [1] Q. Pan, G. Reitmayr, and T. Drummond: 「ProFORMA: Probabilistic Feature-based On-line Rapid Model Acquisition」、Proc. of the 20th British Machine Vision Conference, 2009.
- [2] Georg Klein, David Murray, 「Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces」、International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR'07, Nara)
- [3] M. ドバーク, M. ファン. クリペルド, ち: 「コンピュータ・ジオメトリ 計算機科学:アルゴリズムと応用」、近代科学社, pp.224-256 (2000-1)