RI-006

拡張現実感システムにおける実物体の構造抽出 ～特徴点群からの凸物体の抽出～

Structure Extraction of Real Object for Augmented Reality System —Convex Extraction from Feature Point Set—

小林 政善 † Masayoshi KOBAYASHI　池田 聖 † Sei IKEDA　井村 誠孝 ‡ Masataka IMURA　眞鍋 佳嗣 † Yoshitsugu MANABE　千原 國宏 † Kunihiro CHIHARA

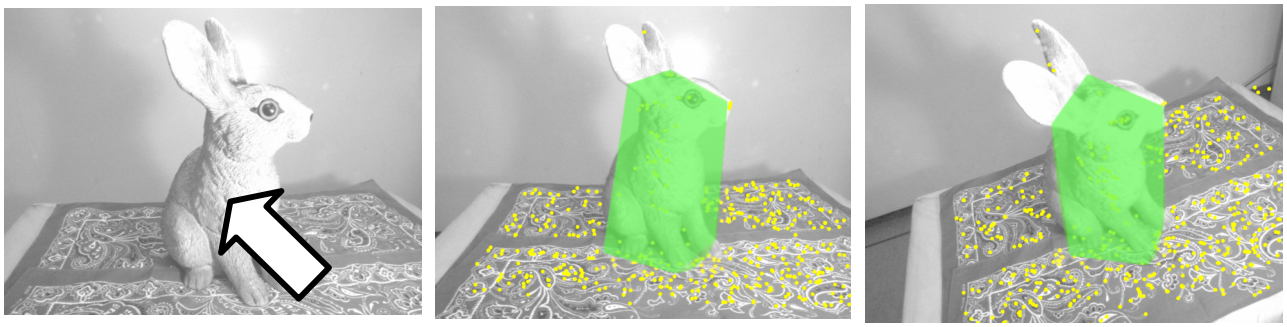

図 1: ポインティング操作による注目領域の強調表示

1　はじめに

拡張現実感とは計算機内の情報と現実世界の情報を違和感なく融合させる技術である．例えば，現実に存在する物体の隣に，計算機内に記録されている物体を表示し，利用者が両者を区別なく取り扱えるようにすることが最終的な目的である．これに対して，従来研究の大半は，幾何学的整合性 [1]，光学的整合性 [2]，時間的整合性 [3] という 3 つの整合性を解決し，2 種類の情報を「違和感なく融合」する事に，フォーカスを当ててきた．しかし，実際には両者を融合するだけでは，両者を区別なく扱う事が困難な場面が存在する．本研究では，拡張現実感に必要とされている 3 つの整合性がある程度解決されているという前提で生じる問題の例を示し，その解決を図る．

例えば遺跡内で発掘された建物跡に，拡張現実感システムを用いて CG で元の建物を復元する場面を考える．CG で復元された建物の修正箇所を複数の作業者間で検討する場合，修正箇所を色付けするなどして強調表示することにより，コミュニケーションを円滑にすることができる．これはあらかじめ用意された CG の建物が各パーツに分けられ，構造化されていることによって可能となる．しかし，実物体である建物跡は構造化されていないため，その一部を同様の手法で強調表示することは困難であり，計算機内の情報と同様に扱う事はできない．上記のような強調表示を行うためには，まず実物体を構造化する必要がある．本研究では，実物体を構造化し，注目する部分を強調表示させることが可能な手法の開発を目指す．

実物体の構造化を行う従来手法として，実物体の各頂点を手動で指定する方法，画像セグメンテーションを利用する方法，3 次元モデルを分割する方法がある．物体に含まれる各頂点を手動で指定することにより物体の形状を得る手法 [4][5] を，実物体のパーツの数だけ行う事により，実物体の構造化を行う事ができる．しかし，この手法は必要とする入力が多く煩雑であるために，複雑な形状の物体には適用が難しいという問題点がある．一枚の画像からの物体領域の抽出 [7] や，画像を複数の領域に分割する [6] ことで，入力画像における 2 次元的な実物体の構造を得ることができる．これらの手法はある視点から見たときの外観的な構造を取得できるが，視点位置の変化により実物体の見え方が大きく変化するとその情報は使用できなくなる．3 次元モデルを分割する手法 [8] では，CAD データなど連結関係が既知の点群データから凸形状を抽出し，階層表現により構造化される．入力される点群データに誤差が含まれることが想定されていないため，なんらかの手法で計測した実物体の形状に適用する事は困難である．

そこで本稿では，幾何学的整合法として用いられるカメラの位置・姿勢推定手法 [9][10][11] の中間出力である現実環境の特徴点群を利用し，特徴点群から直接

† 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科
‡ 大阪大学 大学院基礎工学研究科

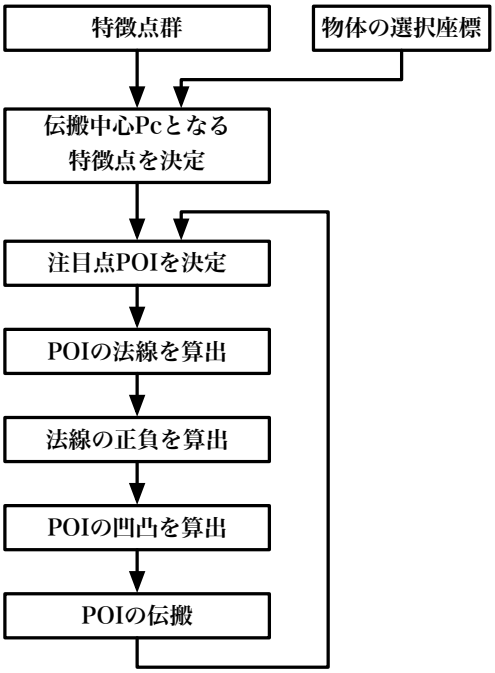

図 2: 物体抽出の手順

物体の構造を抽出する手法を提案する．物体の構造抽出手法の 1 つとして，複雑な形状の物体を複数の凸物体に分割する手法を試し，その結果を報告する．提案手法では，凸物体の表面は連続した凸面によって構成されているという仮定に基づき，ユーザが指定した物体表面上の点から領域を拡張することで，凸物体を抽出する．実験では実物体から計測した特徴点群を利用して実物体を抽出することで，提案手法の有効性を示す．

2　特徴点群からの物体抽出手法

提案手法で使用する特徴点群とは，実物体の表面に存在する特徴点の三次元位置を Structure-from-motion により計測したものの集合である．特徴点群を得るための手段としては，カメラを用いて自然特徴点を追跡することにより各特徴点の三次元位置を計測する手法 [9] を用いるが，この手法は通常，実時間で環境に対するカメラ位置・姿勢を算出するために用いられる．各特徴点は，以下のデータを保持している．

- 三次元位置
- 自身が観測されたときのカメラ位置
- 特徴点付近の微小なパッチ画像
- 特徴点の信頼度

図 2 に特徴点群から凸物体を抽出する処理の手順を示す．各処理の具体的な内容について，以下で述べる．

2.1　伝搬中心 Pc となる特徴点を決定

凹物体抽出処理の初めに，ユーザによる物体の選択が行われる．物体の選択インタフェースとしてはアプリケーションに応じて指先によるポインティングや視線方向の検出など様々なものが考えられるが，本稿では単にユーザへの提示画像中においてある座標が与えられたものとする．この処理では，与えられた座標から画像中において最近傍に位置する特徴点を伝搬中心 Pc として保持する．

2.2　注目点 POI を決定

注目点 POI として，伝搬された注目点 POI の中から伝搬中心 Pc に最も近いものから順に選ばれる．以降ではここで選ばれた注目点 POI について，注目点 POI の凹凸を調べることにより POI が凸物体の表面に位置する特徴点であるかどうかを調べる．

2.3　POI の法線を算出

一連の凸物体抽出処理では，POI の凹凸を抽出のための判断材料にする．特徴点群の中のある点が注目点 POI として与えられたとき，注目点 POI 付近に位置する他の特徴点の位置関係より，注目点 POI 付近の物体表面の凹凸を調べる．ある物体表面の凹凸はその面のどちらが表側であるかという情報に依存するため，注目点 POI の凹凸を考えるためには，まず注目点 POI の法線の方向を知る必要がある．法線の方向は以下の手順で算出する．

1. 注目点 POI を中心とする半径 r_{pca} の近傍点集合 S を取得する．
2. 集合 S に含まれる特徴点の三次元位置を主成分分析する．
3. 主成分分析の結果のうち第三主成分を法線の方向として得る．

2.4　法線の正負を算出

注目点 POI の法線の方向を取得することができたが，この法線ベクトルは物体表面の表側の方向へ伸びているとは限らない．そこで，特徴点群生成時に注目点 POI を観測した際の情報を利用する．提案手法では，ある特徴点が観測された際に，その特徴点から，特徴点を観測した際の計測機器の位置へのベクトルは表方向を向いているという仮定を置き，このベクトルを表方向ベクトルとして利用することで，注目点 POI の法線ベクトルから注目点 POI の表側の方向を得る．具体的には，上の処理で求めた法線ベクトルと表方向ベクトルとが成す角を計算し，これが 90° を越える場合には法線ベクトルが裏面を向いていると考えられるので，法線ベクトルの方向を逆にする．この処理によって，注

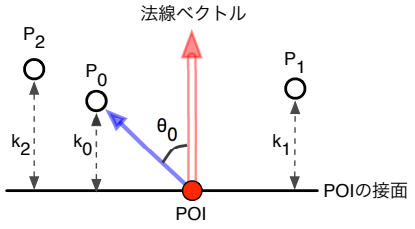

図 3: 曲率の導出

目点 POI から物体表面の表方向へ伸びる法線ベクトルを正しく算定できる．

2.5 POI の凹凸を算出

次に，注目点 POI 付近の物体表面の曲率を求め，これを基準として注目点 POI の凹凸を推定する処理について述べる．この処理では，注目点 POI 付近の他の特徴点が注目点 POI の接面に対して表側にあるか，裏側にあるかという情報を用いて面の曲率を大まかに推定する．以下に具体的な処理について述べる．

1. 注目点 POI から半径 r_k に存在する特徴点を，曲率推定のための評価点 $p_n(n = 0, 1, 2, ...)$ として保持する．
2. 評価点 $p_n(n = 0, 1, 2, ...)$ について，注目点 POI の接面への距離 $k_n(n = 0, 1, 2, ...)$ を算出する（図 3）．
3. 全ての $k_n(n = 0, 1, 2, ...)$ から，凹凸判定のための曲率 K を導出する．
4. 曲率 K について，注目点 POI 付近の物体表面が平面の場合は $K = 0$，凹である場合は $K > 0$，凸である場合は $K < 0$ となる．

ここで，曲率 K は式 (1) のように表せる．

$$\frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n}|POIP_i|cos\theta_i \tag{1}$$

上記の凹凸推定処理を，注目点 POI の付近に位置する他の特徴点についても行い，それらのうち凹であると判定された特徴点の割合によって，最終的な注目点 POI の凹凸の算出結果を得る．

2.6 POI の伝搬

注目点 POI が凸である場合は，注目点 POI は抽出すべき凸物体の表面に存在すると考えられるため，これを保持する．そして，より凸物体の領域を拡大するために，注目点から半径 r 以内に存在する他の特徴点へ注目点 POI を伝搬させる．

以上の処理によって，特徴点群から凸形状の物体を抽出する．

3 予備実験

提案手法を実装し，動作確認のためのテストデータと実測データのそれぞれについて実験を行った．

3.1 テストデータでの実験

特徴点群を人工的に生成したテストデータで，提案手法の動作を確かめるために実験を施行した．テストデータは，平面の上に立方体が乗っているようなシーンの特徴点群を模して生成した．その結果を図 4 に示す．図 4 中央は，全特徴点に対して凹凸の算出を行い，結果を可視化した画像である．凹の特徴点は濃く，凸の特徴点は薄く色づけされている．例外的に，平面と推定された特徴点は表示していない．立方体の辺が凸形状として，また立方体と床面が接している部分が凹形状として判定されていることがわかる．図 4 右は，立方体の適当な面をクリックし，提案手法により凸物体の抽出を行った結果である．最終的に抽出した凸物体の領域を塗りつぶして出力している．この実験から，提案手法における凹凸の推定が正しく動作しており，また凸物体が正しく抽出できるということが確認できた．

3.2 実測データでの実験

文献 [9] の手法を用いて現実環境の特徴点群を生成し，この実測データを用いて 3.1 節と同様の実験を施行した．測定対象としては，図 1 のウサギの石膏像を用いた．空中に誤検出した特徴点がノイズとして発生してしまっている様子が見て取れるが，実験結果は強調表示のために満足できるものが得られた．この結果より，特徴点群にある程度のノイズが含まれていても提案手法ならば凸物体を抽出できることがわかった．ただし，図 1 の中央と右に見られるように，耳の部分を凸物体の一部として得ることができない現象が発生した．これは，耳の部分に取得できた特徴点が極端に少なかったことが原因と考えられる．このように，テクスチャが乏しいために特徴点が得られにくい対象については，本稿の提案手法だけでは対応できない．

4 まとめ

本稿では，特徴点群から凸物体を抽出する手法を提案した．実験では提案手法が正常に動作していること，また多少のノイズが含まれる特徴点群からでも提案手法が凸物体を抽出できることを確認した．しかし，この手法を物体の構造抽出のために用いるには，更なる精度が求められる．特に，得られる特徴点の密度のばらつきについては対策が必要と考えている．今後は，提案手法における各種パラメータの自動設定法や物体の構造抽出手法について検討ことにより，構造化された物体の強調表示を実現する予定である．

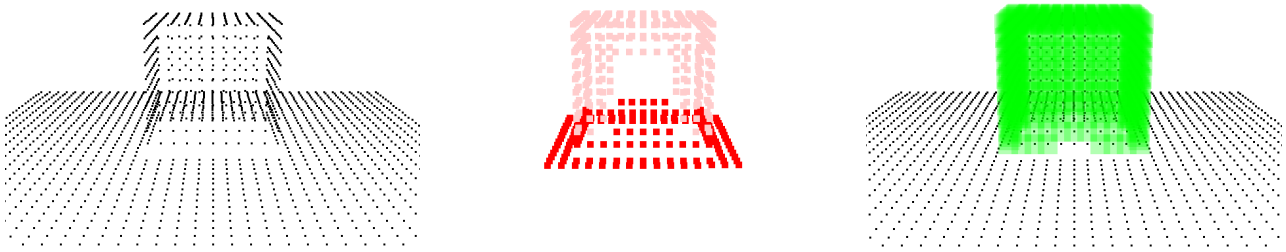

図 4: テストデータでの実験結果（左）入力した特徴点群,（中央）凹凸を算出した結果,（右）凸物体の抽出結果

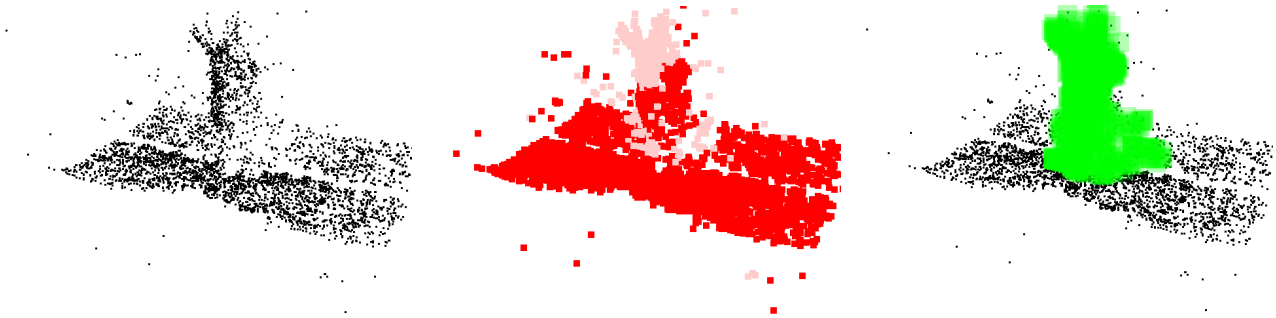

図 5: 実測データでの実験結果（左）入力した特徴点群,（中央）凹凸を算出した結果,（右）凸物体の抽出結果

参考文献

[1] H. Kato, M. Billinghurst: ”Marker Tracking and HMD Calibration for a Video-based Augmented Reality Conferencing System,” In Proc. IWAR ’99, San Francisco, CA, Oct. 20-21, pp. 85-94, 1999.

[2] B. Okumura, M. Kanbara, and N. Yokoya: ”Augmented reality based on estimation of defocusing and motion blurring from captured images,” Proc. IEEE and ACM Int. Sympo. on Mixed Augmented Reality(ISMAR2006), Oct., 2006

[3] T. Sielhorst, Wu Sa, A. Khamene, F. Sauer, N. Navab: ”Measurement of absolute latency for video see through augmented reality,” In IEEE and ACM Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality (ISMAR2007), Nara, Japan, Nov. 2007.

[4] P. Bunnun, W.W. Mayol-Cuevas: ”OutlinAR: an assisted interactive model building system with reduced computational effort,” In Proc. IEEE/ACM Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality (ISMAR2008), Los Angeles, CA, pp. 61-64, 2008.

[5] A. van den Hengel, A. Dick, T. Thormählen, B. Ward, and P. Torr: ”Video-trace: Rapid interactive scene modelling from video,” In ACM SIGGRAPH 2007, NY, pp. 86-90, 2007.

[6] Y. Li, J. Sun, C. Tang and H. Shum: ”Lazy Snapping,” In ACM Trans. SIGGRAPH 2004, Vol. 23, No. 3, pp. 303-308, 2004.

[7] J. Shi and J. Malik: ”Normalized cuts and image segmentation,” In IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 22, No. 8, pp. 888-905, 2000.

[8] 棚橋 英樹, 大野 尚則, 丹羽 義典: ”凸包を用いた 3 次元形状の階層的表現と認識手法,” 電子情報通信学会技術研究報告. PRMU, パターン認識・メディア理解, Vol. 98, No. 335, pp. 17-22, 1998.

[9] G. Klein and D. Murray: ”Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces,” Proc. Sixth IEEE and ACM Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality (ISMAR2007), Nara, Japan, Nov. 2007.

[10] E. Eade and T. Drummond: ”Scalable monocular slam,” In Proc. IEEE Int. Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR2006), pp. 469-476, NY, 2006.

[11] M. Montemerlo, S. Thrun, D. Koller, and B. Wegbreit: ”FastSLAM2.0: An improved particle filtering algorithm for simultaneous localization and mapping that provably converges,” In Proc. International Joint Conference on Artificial Intelligence, pp. 1151-1156, 2003.