

移動ロボットによる物体ひろいあげのための対象物の3次元形状獲得 -ロバスト性と復元精度の向上-

山崎 公俊(筑波大) 友納 正裕(筑波大) 坪内 孝司(筑波大) 油田 信一(筑波大)

3-D Shape Acquisition of a Target Object for a Mobile Manipulator - Improvements in Robustness and Accuracy -

*Kimitoshi Yamazaki, Masahiro Tomono, Takashi Tsubouchi and Shin'ichi Yuta
(University of Tsukuba)

Abstract— The robot working in a real environment is required to manipulate many objects around it. We have already proposed a method in which the robot acquires the accurate shape of an object using structure-from-motion techniques. This paper presents improvements in robustness and accuracy of the method. Experimental results show the effectiveness of our approach.

1. はじめに

移動ロボットが行動する環境として、オフィスや一般家庭などの想定すると、ロボットには、その移動機能を生かした様々な作業が期待できる。

筆者らは、実環境で物体操作をおこない、人間に有益な「仕事」をおこなう移動ロボットの開発に興味がある。移動ロボットが自律的に物体への接触作業をおこなう従来の研究例を見ると、操作対象とする物体の情報を、形状モデル等としてあらかじめ与えておくものが多い。しかし、実環境には多数の物体が存在し、環境中を広範囲に渡って移動するロボットにとって、存在する操作可能な物体全ての情報を、あらかじめ人間が与えておくことは困難である。そこで本研究では、物体の形状モデルを事前知識として持たない状態から、実環境中の物体を把持しひろいあげる自律移動ロボットの開発をおこなっている。

本稿では、ひろいあげをおこなう移動ロボットのための認識機能のひとつである、対象物の形状獲得について、以前提案した手法 [2] の問題点に対する改良法を提案し、実装した結果を述べる。

2. 研究の方針と問題設定

本研究では、ロボットは移動しながら、ひろいあげの対象物体に関する情報を取得する。すなわち、ロボットは、

1. 操作対象物体を移動しながら発見する。
(対象物の発見)
2. 発見した物体の位置と形状を獲得する。
(対象物の形状獲得)
3. 物体が把持可能な形状であれば、ひろいあげの計画を立て、実行する。
(対象物のひろいあげ動作)

という、一連の動作をおこなうものとする。

実験機として車輪型の移動ロボットを用いる。ロボットは、外界センサとして、単眼のカメラを搭載し、この視覚センサにより得られた画像データから、操作対象物の情報を獲得する。

対象物の条件を、以下のようにする。

- ・テクスチャがあり、形状は曲面を含んでもよい
- ・人工的なマーカは与えない
- ・床面上に存在する

3. 対象物の形状獲得

本研究のシステムでは、移動ロボットが走行しながら対象物の画像を撮影し、その画像列から、逐次的に対象物の

形状を獲得する。筆者らが提案した形状復元アルゴリズムは、画像列のみから、対象物の形状と、カメラの位置・姿勢を推定する [2]。このアルゴリズムは、ロボットの動きモデルを使わないので、カメラの角度の誤差、画像取得とオドメトリの同期のずれ、スリップなどによるオドメトリの誤差などの影響を受けない。また、逐次処理なので、対象物の形状獲得と同時に走行経路の変更が可能である。

以下で、その概要を説明する。

3-1 特徴点の抽出・追跡

対象物の形状復元は、取得した画像間で特徴点の対応をとり、その3次元位置を求めることでおこなう。本研究では、KLT-Tracker[1]を用いて、画像中の対象物のテクスチャから特徴点を抽出し、その特徴点を画像間で追跡する。

3-2 形状復元アルゴリズム

アルゴリズムは、初期フェーズ、逐次フェーズの2つに分けられる [2]。

初期フェーズ

逐次フェーズの初期値を生成するフェーズである。本研究では、全ての処理をロボットが自律的におこなうため、正確な初期値を得ることは非常に重要である。初期フェーズでは、形状復元処理開始後に取得した複数枚の画像から、最初のカメラの位置・姿勢と、そのカメラ位置から観察された対象物の形状を因子分解法を用いて求め、さらに非線形最小化により精度を高める。

逐次フェーズ

物体の形状とカメラ姿勢を逐次的に求めるフェーズである。ここでは、新しく画像を取得するごとに、1.、2. の処理を交互におこなう。

1. 前の画像から追跡され、既に3次元位置が判っている特徴点を用いて、現在のカメラ位置・姿勢を非線形最小化により推定する。
2. 推定したカメラ位置・姿勢を用いて、後から抽出された特徴点の3次元位置を、モーションステレオにより1点毎に求める。

このフェーズでは、逐次的に、対象物の形状と、カメラ位置・姿勢を得ることができる。

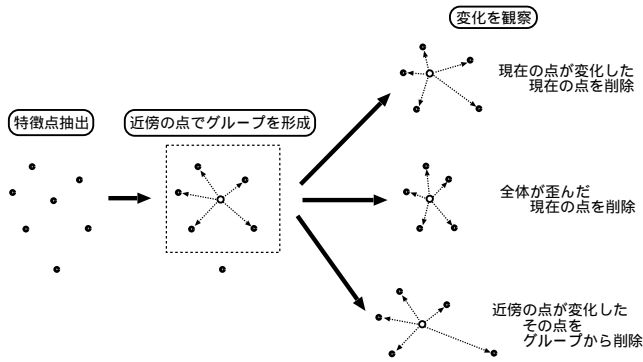


Fig.1 近傍の特徴点による比較

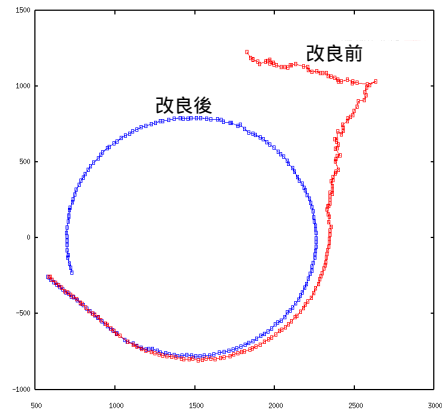


Fig.2 カメラの軌跡

4. 移動ロボットでの問題と対処

上記の形状復元アルゴリズムを実装した際、逐次フェーズにおいて、以下のような問題があった。

- 3次元位置が既知の特徴点において、Trackerの追跡ミスにより、特徴点の誤対応が生じる。その結果、カメラ位置・姿勢の推定に失敗する。
- 特徴点の追跡の際に、セルフオクルージョンにより既に隠れたはずの特徴点が追跡され続け、特徴点の誤対応や大きな位置ずれが生じる。

これらの問題に対処するため、逐次フェーズに改良を加えた。以下にその詳細を説明する。

4.1 Tracker 追跡ミスへの対処

ロボット上のカメラから得る画像列は全てが良好なものではない。映り込む対象物が画像間で大きく移動した場合、画像がぶれてしまった場合や、特徴そのものが弱い場合などに、Trackerはしばしば追跡ミスを起こす。そのような特徴点をから推定されるカメラ位置・姿勢は、正確ではない。

対処として、RANSACを用いて誤対応している特徴点を取り除く。具体的には、

- 画像内で観測された、既に3次元位置が判っている特徴点のうち、適当な個数をランダムに選択する。実装では、全個数の60%を選択している。
- 選択した特徴点からカメラの位置・姿勢を推定し、求めたカメラの位置・姿勢を用いて画像上に逆投影した特徴点と、Trackerで得た特徴点との位置の二乗誤差を評価する。

これを数百回繰り返し、評価が一番良いカメラの位置・姿勢を推定値とする。

4.2 セルフオクルージョンへの対処

逐次フェーズでは、ロボットは対象物の周囲を走行し、画像に映り込む対象物の見え方が大きく変化していく。このとき、隣り合う2枚の画像間で特徴に大きな変化がない限り、セルフオクルージョンにより既に隠れてしまった特徴点を、追跡し続けてしまう事態が生じる。

そこで、Fig.1のように、抽出された特徴点と、その近傍の特徴点との位置関係を調べ、追跡が正しいかどうかをチェックする。もし、現在の画像での特徴点間の位置関係が、以前の画像での位置関係と比較して所定の閾値以上の変化があった場合、その特徴点はセルフオクルージョンによって追跡が失敗したものと見なして除去する。なお、この方法は前節で述べた、特徴点の誤対応の除去にも有効である。

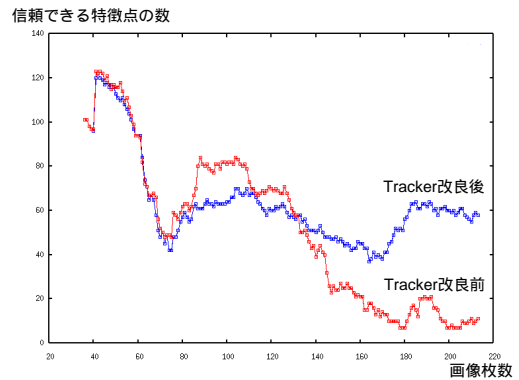


Fig.3 信頼できる特徴点数の遷移

5. 実験

2輪駆動型の車輪型移動ロボット「山彦」に、Canon VC-C4パンチルトカメラを登載し、実験をおこなった。対象物を床面状に設置し、ロボットにはその周囲、半径800mmの円経路を与えた。ロボットが20mm移動する毎に画像を取得し、計195枚の画像列を得た。処理時間はPentium4, 2.8 GHzで、120secを要した。

Fig.2に、アルゴリズムの改良前と改良後の、カメラの軌跡の比較を示す。改良前は、カメラ位置に誤差が蓄積していき、処理が途中で破綻しているが、改良をおこなった結果、推定するカメラ位置は、ほぼ与えた経路に沿っていることが判る。Fig.3に、逐次フェーズにおける、3次元位置が信頼できる特徴点数の推移を示す。セルフオクルージョンの対処をおこなった結果、特徴点の追跡結果が改善され、一定以上の信頼できる点が常に得られるようになった。また、対象物の形状についても、良好な復元結果を得た。

6. まとめ

本稿では、以前提案した、移動ロボットによる形状復元アルゴリズムの問題点を指摘し、その改良法の詳細を述べた。また、実際に移動ロボットを走行させながら取得した画像を用い、効果を確認した。

参考文献

- 1) Jianbo Shi, Carlo Tomasi: "Good Features to Track", Proc. of CVPR, pp.593-600, 1994.
- 2) 山崎, 友納, 坪内, 油田: 「移動マニピュレータによる物体ひろいあげのための対象物の逐次的な形状復元」, 第21回ロボット学会学術講演会, 2003.