

移動ロボットの観察による他者ロボット作業動作のアシスト

Observation-based Assistance by Mobile Robot for Hand Movement of Partner Robot

○遠藤 哲哉*, 藤田 豊己*
○Tetsuya Endo*, Toyomi Fujita*

*東北工業大学

*Tohoku Institute of Technology

キーワード: 移動ロボット(Mobile robot), ステレオビジョン(Stereo vision), ロボットビジョン(Robot vision), 運動検出(Motion detection), SIFT 特徴量(SIFT features)

連絡先: 〒982-8577 仙台市太白区八木山香澄町 35 番 1 号 東北工業大学工学部知能エレクトロニクス学科 藤田豊己 TEL・FAX: 022-305-3228 E-Mail: t-fujita@tohtech.ac.jp

1. はじめに

ロボットが作業を行うには、センサにより対象物等を認識する必要があるが、状況によってはオクルージョンなどにより、自身の持つセンサでの検出ができない状況が考えられる。たとえば Fig.1(a)に示す状況では、作業ロボットは自身の持つカメラの視野の範囲外に操作対象物があるため操作を行うことができない。また、Fig.1(b)のように操作対象物へ手先を移動しているときに、自身のアームによりオクルージョンが発生し、操作対象物を検出することができないことも考えられる。このようなとき、カメラを有する協調相手のロボットが観察し、作業ロボットのアームの運動と対象物の位置や姿勢の情報を獲得することができれば、それらを作業ロボットに教示することで対象物の操作が可能になると考えられる。

本研究では、このような観察による間接的な操作補助に基づいた作業の実現を目指し、そのために観察ロボットが必要な情報を獲得する方法を検討する。観察に基づく協調に関する従来研究として、人間とロボットが組み立て作業を行う協調[1]や、ロボット群の移動や運搬に関する協調[2]についての研究がある。本研究では、Fig.1 に示す状況において作業ロボットが作業を完了するためのより基本的な協調を考える。

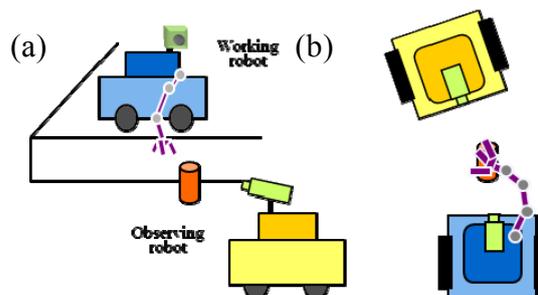


Fig.1 Situations in which a working robot cannot work

2. 観察による作業動作のアシスト

本研究で検討した観察による操作補助の手法の概要を Fig.2 に示す。図中で記した step A,B,C,D から成る。以下、順に説明する。

まず、step A において観察ロボットは観察画像から得られた SIFT(Scale-Invariant Feature Transformation)特徴量[3,4]より対応点を検出することにより作業ロボットとそのアーム、操作対象物の検出を行う(図中①)。そして観察位置を変えステレオビジョンの原理によりこれらの位置を算出し(②)、作業ロボットへ教示する。

次に step B において、作業ロボットは教示された自身のアーム手先位置、操作対象物の位置関係から手先の軌道を計画し(③)、手先を動作させる(④)。

step C では観察ロボットは動作中の作業ロボットの手先を観察してその運動を検出し(⑤)、逐次作業ロボットに教示する(⑥)。

そして、step D で作業ロボットは教示された手先の運動から計画通り手先が運動しているか判断し、必要に応じて手先軌道を修正する(⑦,⑧)。この step C と D を繰り返すことで操作の動作を達成することができる。

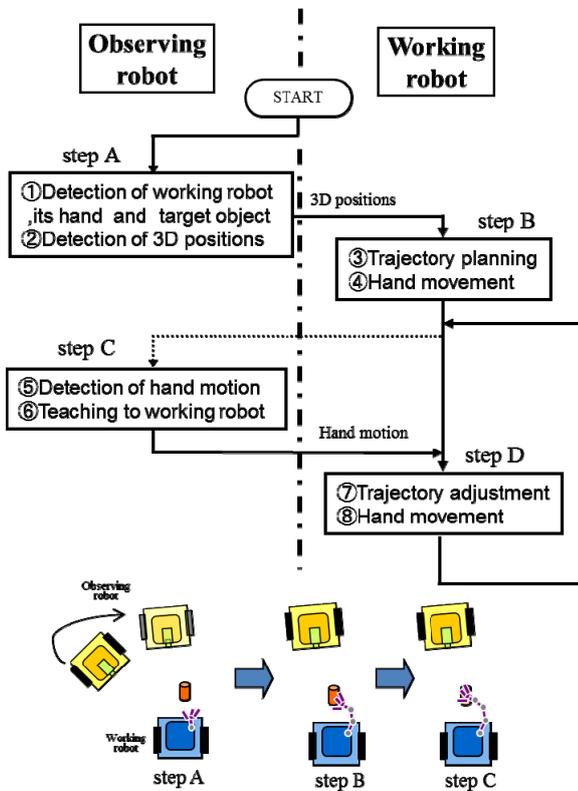


Fig.2 Observation-based Assistance

3. 観察ロボットによる位置・運動検出

3.1 SIFT 特徴量と対応点の検出

SIFT とは画像内から特徴点の検出と特徴量の記述を行うものである。検出した特徴点に対して、画像の回転、スケール変化、照明変化等に頑健な特徴量を記述するため、物体認識・検出に有効となる[3]。文献[4]で提案されたアルゴリズムを適用し、DoG(Difference-of-Gaussian)を用いて特徴点を検出してローカライズによりそれらを絞り込む。そして、それらのオリエンテーションを算出し、特徴量を記述する。

さらに、2画像からこれらの対応点を求める。基準画像における SIFT 特徴点1点について、探索する画像内の特徴点から特徴ベクトルの近い2点との間でそれぞれユークリッド距離を求め、この2つの距離の比率がある

しきい値以下の場合、近いほうの点を対応点として抽出する。

3.2 対象の検出

観察ロボットは、作業ロボット本体、アーム手先、操作対象物の SIFT 特徴量を事前に保持しておき、観察画像内から SIFT 特徴量の対応点を抽出することで周囲の環境からそれらを検出することができる。登録画像における特徴点数と対応点数の比率を求め、それが設定したしきい値以上ならばその領域に対象物が存在するとみなす。

3.3 対象の位置検出

観察ロボットは視点の異なる2画像における SIFT 特徴量の対応点の視差から、ステレオビジョンの原理により作業ロボット、アーム手先および操作対象物の位置を算出する。カメラの内部パラメータは事前にカメラキャリブレーションを行い固定し、外部パラメータはロボットのオドメトリ情報から求める。この段階では画像内での各対象領域は既に特定されているので、必要な対応点のみを用いて、それらの位置を検出することができる。

3.4 手先運動検出

ロボットアームが観察ロボットのカメラに投影されている状況を Fig.3 に示す。図中の点線矢印方向に作業ロボットの手先が移動している。弱中心射影を仮定し、観察ロボットは作業ロボットの手先を観察し続け、連続する画像の対応点から作業ロボットの手先の移動量を算出する。

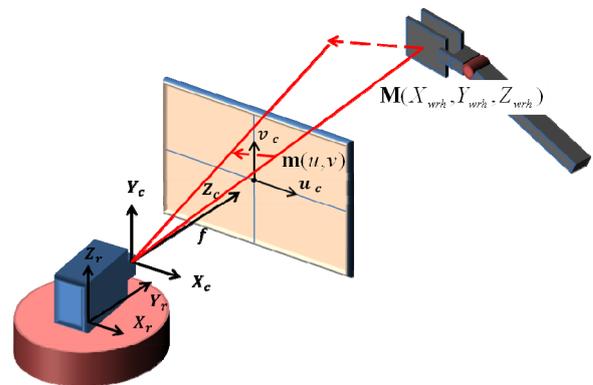


Fig.3 Motion detection model

ロボットアームの3次元点 \mathbf{M} は、画像面上の \mathbf{m} に投影される。

$$\mathbf{M} = (X_{wrh}, Y_{wrh}, Z_{wrh}) \quad (1)$$

$$\mathbf{m} = (u, v) \quad (2)$$

とすると, x_{wrh} と u には以下の関係がある.

$$X_{wrh} = \frac{Z_{wrh}}{f} u \quad (3)$$

f は焦点距離であり, 事前にカメラキャリブレーションを行い既知である. また, Z_{wrh} はカメラからロボットアームまでの奥行きであり 3次元位置検出で得られた値を用いる.

同様に Y_{wrh} も求め, これらよりロボットアームを連続して観察した画像から手先運動を算出する.

4. 作業ロボットによる手先動作

作業ロボットは, 観察ロボットより教示されたアーム手先と対象物の位置情報から対象物を操作するための手先運動を計画する. ここでは手先位置から操作対象物の位置まで直線軌道を計画するものとし, 各時刻における手先の微小位置変化からアーム各関節の回転角をヤコビ行列によって求める.

5. 実験

5.1 使用ロボットと操作対象物

車輪型移動ロボット Pioneer3-DX[5]を2台使用した. Fig.4に各々のロボットを示す.

Fig.4(a)は, 観察ロボットであり, パン・チルト回転可能なカメラを1台搭載している. ロボット上部に搭載されたボードコンピュータにより, 自身の移動指令や観察による各検出を実行する. 画像処理のソフトウェア開発は OpenCV を使用して行った.

Fig.4(b)は6自由度ロボットアームを搭載した作業ロボットである. ハンド部のサイズが140(幅)×160(奥行)(操作時)×100(高さ)mmとなっている. 作業ロボットにはセンサが搭載されておらず自身で操作対象物を認識することができない.

Fig.4(c)は作業ロボットの操作対象物である. 円柱のスプレー缶に特徴点を検出されやすいようパターンを付けた. サイズは65(直径)×390(高さ)mmとした.

5.2 対象検出実験

事前に登録した SIFT 特徴量を使用し, 3.2 章

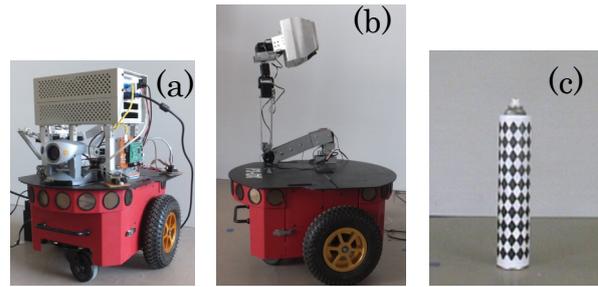


Fig.4 Observing robot ((a)), working robot ((b)) and target object((c))

で述べた方法により観察ロボットのカメラにより取得した画像から操作対象物, 作業ロボットおよびアーム手先の検出を行った.

各登録画像と検出結果を Fig.5 に示す. 上の3枚の画像((a), (b), (c))が登録画像であり, それぞれ左上からアーム手先, 作業ロボット, 操作対象物となる. それぞれの枠は登録画像において与えた対象エリアを示し, このエリア内の SIFT 特徴量が各対象の検出に使用された. 下の画像(d)は観察画像であり, 検出された各対象のエリアがそれぞれの枠線で示されている. SIFT 特徴量の対応点により各対象を検出することができた.

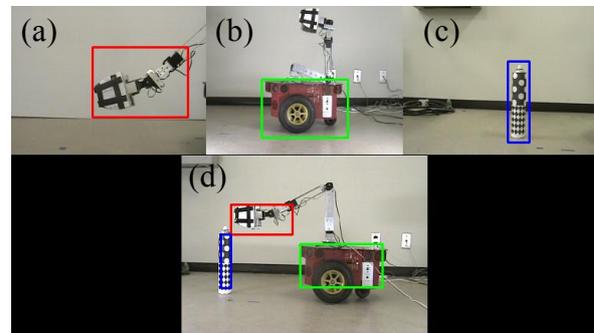


Fig.5 Registration images((a),(b),(c)) and detected areas((d))

5.3 位置検出実験

検出した操作対象物, 作業ロボット, アーム手先について, 3.3 章で述べた方法で3次元位置を検出した. 観察ロボットは3ヶ所から位置検出対象を観察した.

検出結果を Fig.6 に示す. O_1, O_2, O_3 は観察ロボットによる各観察位置を示す. 図中に観察位置とともに姿勢角も併記している. また, W は作業ロボット, A は作業アーム, T は作業対象物の実際の3次元位置であり, $OT, OA,$

OWは観察ロボットによって検出されたそれぞれの3次元位置である。また、Eは実際の位置と検出された位置との誤差を示している。

作業ロボットハンド部と操作対象物のサイズから、3次元検出実験における許容誤差はX, Y, Z方向ともに70mm程度と考えられる。もっとも誤差の大きかった操作対象物(OT)においても、この許容誤差範囲内に収まっていることから、操作に必要な3次元位置を検出できたと言える。操作対象物の誤差が最も大きかった理由として、一様な模様を付加した円柱を採用したことによる対応点の誤対応が考えられる。

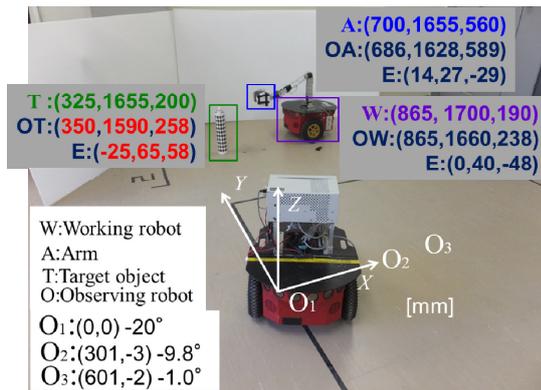


Fig.6 Result of detected 3D positions

5.4 運動検出実験

手先運動検出実験の外観を Fig. 7 に示す。作業ロボットは、アーム手先を位置 A(左画像)から A'(右画像)に向けて動かす。観察ロボットはその運動を観察し、このときの画像を用いて 3.4 章で述べた方法により運動検出をオフラインで行った。

手先運動検出結果を Table 1 に示す。上段は実際に動いた移動量であり、下段は観察によって算出された移動量である

Fig.7 中 OA と OA' は観察ロボットが検出した手先の各 3 次元位置であり、手先移動量はこの位置変化より算出した。実際の移動量との誤差は 10mm となった。Fig.8 はこの移動ベクトルを記したものである。太線が実際の並進移動ベクトルを表しており、細線は観察ロボットによって得られた移動ベクトルである。2次元平面上での並進運動が検出できた。

6. おわりに

本稿では、ロボットがオクルージョン等により作業対象物を検知することができない状

況において、協調相手のロボットが観察により必要な情報を取得して教示することでこの問題を解決する方法を検討した。今後は、各情報をより高精度に獲得し、作業ロボットがリアルタイムに対象物操作を行えるよう本手法を改良していく必要がある。また、運動検出においては誤差が蓄積されることが予想され、それを考慮した計画軌道の修正についても検討する必要がある。

参考文献

- [1] 木村, 池内, 視覚による動作認識に基づく人とロボットの協調, 第 2 回ロボティクスシンポジウム 稿集, pp.120-126, 1997
- [2] 國吉 康夫, マルチロボットにおける観察に基づく協調, 信学技法, TBCHNICAL REPORT OF IEICE, AI95-41, PRU95-156(1995-11)
- [3] 藤吉 弘亘: "Gradient ベースの特徴抽出-SIFT と HOG-", 情報処理学会 研究報告 CVIM 160, pp. 211-224, September, 2007
- [4] David G. Lowe, "Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints," International Journal of Computer Vision, Volume 60 Issue 2, pp.91--110, 2004.
- [5] MOBILE ROBOTS, "Pioneer 3 operations Manual"

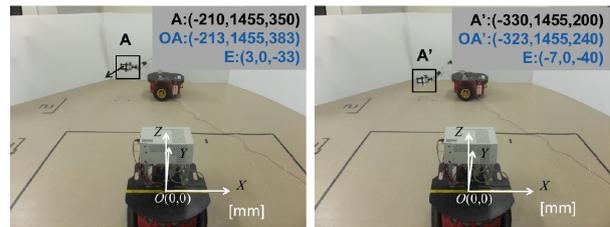


Fig.7 Experimental setup for hand motion detection

Table 1 Result of detected hand motion

| | Movement[mm] | | | Error[mm] | | |
|-----------------|--------------|---|-----|-----------|-----|------|
| | x | y | z | x | y | z |
| Actual movement | 120 | 0 | 150 | | | |
| Observation | 110 | 0 | 143 | -10.0 | 0.0 | -7.0 |

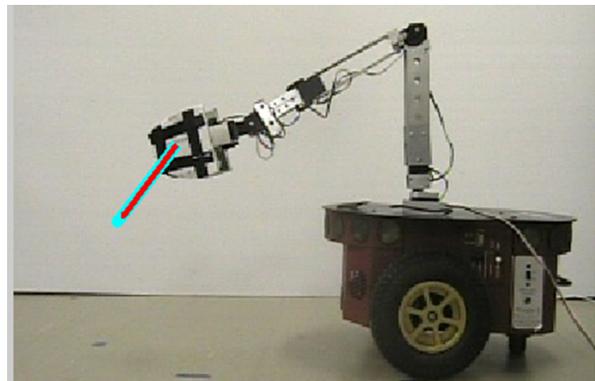


Fig.8 Result of detected hand movement vector