

# 実環境での物体操作を目的とした移動ロボットによる対象物探索

## Searching an Object for Manipulation by a Mobile Robot in Realistic Environment

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)

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

When a mobile manipulator moves along realistic environment having no information about object, it must recognize the environment around it and must decide its target object for manipulation. This paper proposes a way to search an object in realistic environment and obtains its accurate shape description in real time while the robot moving.

Key Words : Robot Vision, Mobile Manipulator, Target Searching, Feature Tracking, Shape Reconstruction

### 1 はじめに

実環境を対象とした移動ロボットの研究は多くおこなわれており、広い行動範囲をロボストに移動できるロボットが実現されている。また、実環境には様々な物体が存在しており、この中を移動するロボットが環境中の任意の物体を自由に操作する技術を持っていれば、移動ロボットが持ち運びなどの作業を自律的におこなうことが期待できるであろう。

筆者らは、移動ロボットにマニピュレータを搭載した「移動マニピュレータ」に、物体操作による作業を実環境中でおこなわせることに興味がある。この作業には様々な要素技術が必要であるが、本稿では、多数の物体が存在する実環境から、移動マニピュレータが操作の対象とする物体の探索を、実時間で、位置精度良くおこなう方法について述べる。

### 2 方針

移動ロボットにより物体を認識したり、操作をおこなう従来の研究では、正確な形状をあらかじめモデルとして与えておくものが多かった。しかし、物体が混在する実環境中では、対象となるすべての物体について、正確なモデルを与えることは現実的ではない。

そこで本研究では、移動マニピュレータは物体に関する事前知識を持たないとする。すなわち、実環境中を移動しながら操作対象とする物体を特定し、その後に対象物体を操作するために必要な情報を取得する手法を取る。これにより、移動マニピュレータの操作対象となる物体は飛躍的に増え、実環境で動作するのに適した機能を持つことができる。

### 3 処理の方法とアルゴリズム

移動マニピュレータは、操作対象物体の特定を走行しながらおこなう。そのため、高速でロボストな処理手法が必要となる。さらに、特定された物体の位置は、なるべく位置精度良く求められるべきである。なぜなら、この位置推定の正確さは、物体操作に必要な形状情報の取得処理に大きく影響するからである。

また、本研究では、実験システムとして、二輪駆動型の小型移動ロボットを用いる。このロボットは床面を走行するため、前提条件として、操作対象物体は床面上に存在しているものとする。

これらから、実環境からなるべく多くの情報を得るため、ビジョンセンサを用いる。そして移動ロボットには、小型で、システムが簡便であるなどの理由から、単眼のカメラを搭載する。つまり、ロボットは移動しつつ、搭載したカメラから複数枚の画像を取得し、操作対象物体の特定に必要な情報を抽出する。

本研究でのアルゴリズムは、

- 床面上を走行しながら複数枚の画像を取得し、各画像中から特徴点を選択し、追尾する。
- 任意の2枚の画像間での特徴点の推移と、各画像を取得したカメラの位置・姿勢から、モーションステレオをおこない、特徴点の3次元位置を求める。
- 得られたデータに含まれている誤差を補正し、カメラ位置・姿勢と特徴点の正確な値を求め直す。

である。以上より、床面上にある物体と、移動ロボットの正確な位置関係が求められ、その結果から操作対象物体の特定をおこなう。

#### 3.1 特徴点の選択・追尾

特徴点の選択・追跡には、KLT-Tracker[1]を利用した。このトラックにより、画像中の特徴点の推移と、特徴の強さの評価値が得られる。ただし、ここで得られる特徴点には、追跡ミスしたものや、カメラから遠いものが含まれる。これらの点は3次元位置復元に悪影響を及ぼすため、画像間での特徴点の移動量、Trackerから得られる特徴の評価値の大小、特徴点の画像内での位置、などを指標として、後の処理には信頼性の高い特徴点のみを用いる。

#### 3.2 モーションステレオ

ロボットが取得した画像列から2枚を選び出し、画像間での特徴点の推移と、それぞれの画像取得時のオドメトリデータ(車輪の回転数から得られるロボットの自己位置)をもとにして、モーションステレオ処理をおこなう。すなわち、特徴点の3次元位置を  $\mathbf{X} = (X, Y, Z)$ 、画像上の座標を拡張したベクトルを  $\tilde{m}_i = (x, y, 1)$  とし、2枚の画像間でのカメラの相対姿勢を  $\mathbf{R}$ 、位置を  $\mathbf{T}$  としたとき、以下の線形な評価関数を最小化することで点の3次元位置を得る [2]。

$$C = \|\mathbf{X} - s_1 A^{-1} \tilde{m}_1\|^2 + \|\mathbf{X} - s_2 A^{-1} \mathbf{R} \tilde{m}_2 + \mathbf{T}\|^2 \quad (1)$$

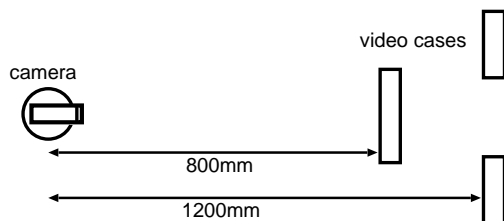


図 1: 実験環境



図 2: 取得画像

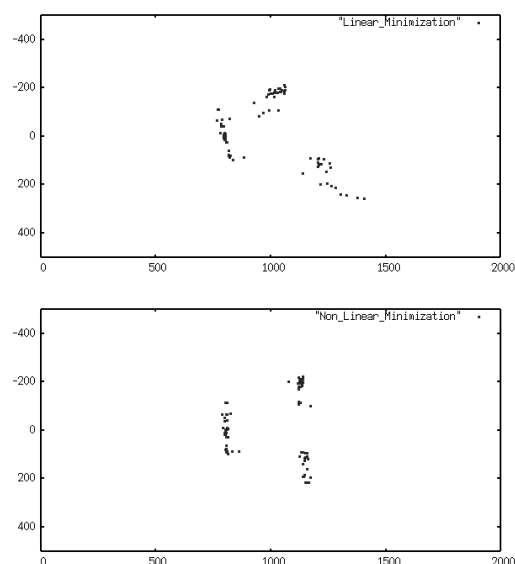


図 3: 処理結果 (上:モーションステレオによる結果  
下:非線形最小化による補正後の結果)

ここでの  $A$  はカメラの内部パラメータ行列であり、既知とする。

### 3.3 カメラの位置・姿勢の補正

3.2では、線形な評価関数を用いて特徴点の3次元位置を求めているが、この関数は、カメラの位置・姿勢が正確であるという前提のもとで利用できる。しかし、移動ロボットでは、カメラの位置・姿勢をオドメトリから得ており、ここには、オドメトリの累積誤差や、画像取得とのタイミングのずれなどにより誤差が含まれている。このため、オドメトリから求めたカメラ位置・姿勢を用いて形状復元をおこなう場合、誤差への対策が必要である。そこで、非線形関数を用い、補正処理をおこなった。

本研究の実験システムは、単眼のパンチルトカメラを搭載したロボットが床面上を走行するものである。ここで、可変な外部パラメータは、カメラの俯角  $\theta$ 、カメラのパン角  $\phi$ 、ロボットの直進成分  $x$ 、並進成分  $y$  の合計4つとなる。よって、最適なカメラの外部パラメータを求めるためには、上記の4つのパラメータの組み合わせを見つければよい。しかし、式(1)の評価関数は、並進成分とスケールを分離できないため、並進成分を小さくすると評価関数の値も小さくなってしまい、最適なパラメータを求められない。そこで、以下のような非線形の関数により、カメラの位置・姿勢も含めた最適化をおこなう。

$$C = \sum_{j=0}^2 \sum_{i=0}^P \left( \frac{\mathbf{r}_{xj}^T \mathbf{m}_{ij}}{\mathbf{r}_{zj}^T \mathbf{m}_{ij}} - \frac{X_i + t_{xj}}{Z_i + t_{zj}} \right)^2 + \sum_{j=0}^2 \sum_{i=0}^P \left( \frac{\mathbf{r}_{yj}^T \mathbf{m}_{ij}}{\mathbf{r}_{zj}^T \mathbf{m}_{ij}} - \frac{Y_i + t_{yj}}{Z_i + t_{zj}} \right)^2 \quad (2)$$

ここで、 $\mathbf{r}_x$ 、 $\mathbf{r}_y$ 、 $\mathbf{r}_z$  は回転行列  $\mathbf{R}$  の行ベクトルであり、 $t_x$ 、 $t_y$ 、 $t_z$  は、ワールド座標系からカメラ位置への平行移動成分  $\mathbf{T}$ 、 $X_i$ 、 $Y_i$ 、 $Z_i$  は特徴点の3次元座標を表す。そして、スケールを固定するため、ロボットの走行距離は一定であるという制約のもとで、式(1)による結果を初期値として、式(2)に対し非線形最小化をおこなう。以上より、 $\mathbf{R}$  と  $\mathbf{T}$ 、特徴点の3次元位置を補正する。

また、最小化にはマーカート法を用いているが、この手法では、変数が多くなるほど、値を更新する度に逆行

列の計算コストがかかる。そのため、以下のように計算量を軽減した。

- 3.1で述べた方法により、信頼度の高い特徴点だけに絞り、行列サイズを小さくする。
- 式(1)から求めた結果を、まずカメラの角度成分に対して、一定間隔で周辺の値を調べることで補正し、初期値を真値に近づけて収束を速くする。

これにより、オドメトリから得られたカメラの位置・姿勢について、高速で安定した補正処理をおこなう。

## 4 実験

実験のため、筑波大学知能ロボット研究室で開発された小型移動ロボット「山彦」に、Canon VC-C4 パンチルトカメラを搭載したシステムを構成した。実験環境としては、床面上に VHS のビデオケースを並べたものを用意した。カメラの俯角を 20 度とし、画像取得はロボットが 20mm 直進する毎におこなった。実験環境を図 2 に、取得画像を図 1 に示す。また、モーションステレオと非線形最小化の処理は、200mm 走行した後に、最初と最後の画像を用いておこなった。その結果を図 3 に示す。これらより、特徴点の3次元位置が正確に復元されていることが判る。また、CPU は 2.8GHz であり、処理時間については、特徴点抽出・追尾は画像を取得する毎に 0.5sec、モーションステレオと非線形最小化は最後の画像を取得した後におこない、所要時間はそれぞれ 0.1sec、0.4sec であった。

## 5 まとめ

本稿では、床面上におかれた操作対象物体を特定する処理を、移動ロボットによりおこなう際の、問題点と対処法を示した。そして、提案方式を実装し、実験により有効性を確認した。

## 参考文献

- [1] Jianbo Shi, Carlo Tomasi: "Good Features to Track", CVPR, pp.593-600, 1994.
- [2] 徐剛: 「写真から作る3次元CG-イメージ・ベースド・モデリング&レンダリング-7章・8章」, 近代科学社, 2002.