

ビジョンベース制御による平面運動物体ハンドリング

○夏目悟, 平井慎一
(立命館大学 ロボティクス学科)

Vision-based Handling of Planar Motion Objects

*Satoru Natsume and Shinichi Hirai :Ritsumeikan University

Abstract—In this paper, we will propose a system that handles planar motion objects using visual information. In food and recycle industries, handling of different-shaped objects with various position and orientation is needed. Here, we will develop a vision algorithm based on one-sided Radon transform and will construct a vision-based handling system using camera-in-gripper.

Key Words: handling, vision, planar motion, control

1. はじめに

現在, ハンドリング技術は整列されている物体を対象としている. 従って, 整列するのが難しい物体や外乱により整列がずれた場合においては, 現在のハンドリング技術では対応できない. 食品産業やリサイクル産業においては, テーブル上やコンベア上を運動する様々な形状, 位置・姿勢を有する物体をハンドリングすることが望まれている. 本報告では, 片側ラドン変換を用いた平面運動検出アルゴリズムと, カメラ内蔵型グリッパを用いて, 平面運動物体をハンドリングするシステムを構築する.

2. ビジョンベース制御

様々な形状の平面運動物体をハンドリングする場合, 対象物とマニピュレータのエンドエフェクタの相対位置・姿勢を合わせる必要がある. マニピュレータのエンドエフェクタに CCD カメラ内蔵のグリッパを取り付けることにより, ハンドリング直前まで精密な画像を認識でき, 対象物とエンドエフェクタの相対位置・姿勢を合わせることが容易になる. 逆に環境中にカメラを固定した場合, マニピュレータと対象物の干渉が起り得る. この場合には対象物とエンドエフェクタの相対位置・姿勢を合わせることが困難である.

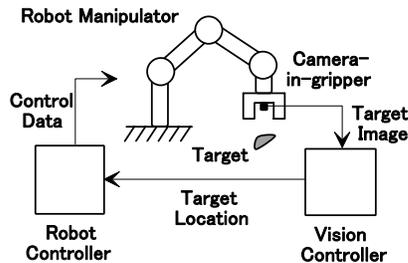


Fig.1 Information flow in vision-based handling

本研究のビジョンベース制御では, Fig.1に示すように, マニピュレータ制御とビジョン情報の画像処理を別々のPCで動作させる. これは, モジュール性の向上と計算負荷を分散させるためである. そこでビジョ

ンコントローラとロボットコントローラを通信させて CCD カメラからの画像に基づき, マニピュレータならびにグリッパを制御する.

3. 平面運動物体の位置姿勢検出

本研究では, 画像処理アルゴリズムとして片側ラドン変換¹⁾を使用する. Fig.2に示すように, 対象物体の重心 C_o を通り, x 軸と角度 θ をなす直線を ρ 軸とする. 点 (x, y) における画素値を $g(x, y)$ で表す. 片側ラドン変換は, ρ 軸上の点から ρ 軸の接線方向を向く半直線上で, 画素値を線積分した値である. すなわち,

$$R(\theta, \rho) = \int_0^{\infty} g(\rho \cos \theta + \xi \sin \theta, \rho \sin \theta - \xi \cos \theta) d\xi$$

である. 片側ラドン変換により, 画像 $g(x, y)$ は, $\theta - \rho$ パラメータ空間に変換される.

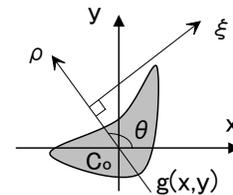


Fig.2 One-sided Radon transform

片側ラドン変換を用いた画像認識においては, 入力画像の片側ラドン変換 $R_i(\theta, \rho)$ と, テンプレート画像の片側ラドン変換 $R_t(\theta, \rho)$ を比較することにより対象物の姿勢 φ_f を求めることができる²⁾. また, 画像の重心位置から運動平面内の位置 p_x^f, p_y^f を求めることができる.

現在, PC の演算能力の制約からビデオレートでの画像処理を行うために, $R(\theta, 0)$ だけを演算している. 対象物が剛体の場合は, $R_i(\theta, 0)$ と $R_t(\theta, 0)$ を比較することにより, 物体の姿勢 φ_f を求めることができる. グリッパの向きは運動平面の法線方向に一致すると仮定し, テンプレート画像内の対象物の大きさと入力画像内の対象物の大きさを比較することにより, グリッパの鉛直方向の現在位置 p_z^f を求めている.

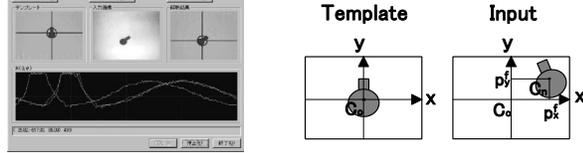


Fig.3 Computation of one-sided Radon transforms and template matching

Fig.3のようにテンプレートマッチングの解析結果から画面内での位置 (p_x^f, p_y^f, p_z^f) を算出する．精度を上げるために正規化カメラモデルを使い，画面内の位置からカメラ座標系で表した位置 $p_c = (p_x^c, p_y^c, p_z^c)$ を求める．

4. ARCNET によるリアルタイム通信

ロボットコントローラとビジョンコントローラの通信にはARCNET(リアルタイムLAN)を使用している．ARCNETを使用することにより，リアルタイム通信が可能となり，ビジョンコントローラはビデオフレームレート(33msec)毎にロボットコントローラと通信することができる．

5. マニピュレータ制御

本節では，ビジョンコントローラからの情報に基づいて，マニピュレータを制御する手法について述べる．ベース座標系で表したハンドリング対象物の位置ベクトル姿勢行列をそれぞれ p_d, R_d と表す．また，グリッパの位置・姿勢を p, R と表す．対象物に追従するためには，グリッパの位置・姿勢 p, R が対象物の位置・姿勢 p_d, R_d に一致するようにマニピュレータを制御する必要がある．カメラ内蔵グリッパにおいてはカメラ座標系がグリッパに固定されている．マニピュレータにおけるベース座標系からカメラ座標系への回転行列，位置ベクトルをそれぞれ $A(q), d(q)$ と表す．ここで， q はマニピュレータの関節角である．グリッパの位置・姿勢を対象物の位置・姿勢に一致させるため， p_d, R_d から逆運動学により，関節角の目標値 q_d を計算する．このとき，関節角 q を q_d に一致させることにより，対象物の追従が実現できる．そこで次の制御則を用いる³⁾．

$$\tau = C_p(q_d - q) - C_v \dot{q}$$

ここで， τ は関節トルク， C_p, C_v はそれぞれ位置と速度のフィードバックゲインである．

ビジョンコントローラとロボットコントローラ間で通信するデータの流れを Fig.4に示す．ビジョンコントローラでは，ベース座標系で表した対象物の位置・姿勢 p_d, R_d を計算する．この計算には，回転行列 $A(q)$ ，位置ベクトル $d(q)$ が必要である． $A(q), d(q)$ の値はロボットコントローラから送られる．

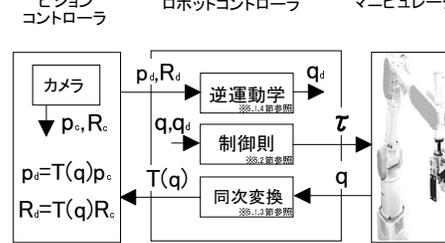


Fig.4 Data flow in vision-based handling

6. 実験

本研究で用いる実験装置の概略を Fig.5に示す．カメラ内蔵グリッパからあらかじめ撮影したテンプレートと現在カメラに写る画像に基づき，マニピュレータを制御した結果を Fig.6に示す．

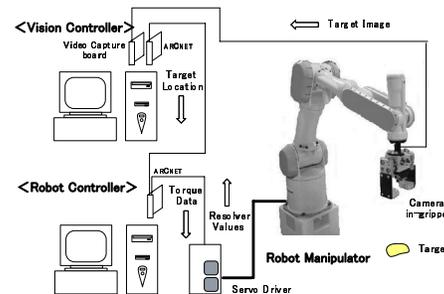


Fig.5 Experimental setup

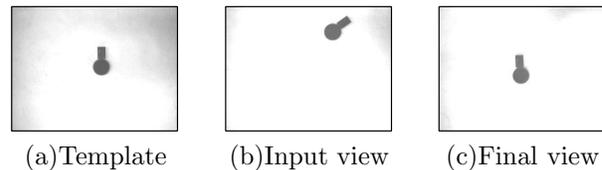


Fig.6 Experiment result

7. おわりに

本報告では，片側ラドン変換を用いた平面運動検出アルゴリズムと，カメラ内蔵型グリッパを用いて，平面運動物体をハンドリングするシステムを構築した．実験結果より，ビジョンコントローラがハンドリング対象物の位置と姿勢を認識して，マニピュレータが対象物を追跡できることがわかった．

参考文献

- 1) 坪井, 平井: “片側ラドン変換を用いたビデオフレームレートでの物体認識と平面運動計測”, 第18回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.645-646, 2000
- 2) 増淵, 平井: “ロボット搭載用高速高機能ビジョンモジュールの研究”, 第18回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.649-650, 2000
- 3) 吉川: “ロボット制御基礎論”, コロナ社, 1988