

## 片側ラドン変換を用いた平面運動物体の識別と位置・姿勢検出

## Identification and Detection of Position and Orientation of Planar Motion Objects using One-sided Radon Transform

坪井辰彦 (立命大), 平井慎一 (立命大)

Tatsuhiko Tsuboi\*, Shinichi Hirai,

Dept. of Robotics, Ritsumeikan Univ., Kusatsu, Shiga 525-8577

A new approach to the detection of the position and the orientation of planar motion objects based on one-sided Radon transform is presented. Detection of position and orientation of planar motion objects is a key to advanced object handling. First, one-sided Radon transform is introduced. Second, an algorithm to detect planar motion of objects is constructed. The algorithm is then implemented on a computer and is evaluated experimentally.

keywords: vision, sensing, identification, planar motion

## 1 はじめに

平面運動物体の識別と位置・姿勢の検出は、物体のハンドリングにおいて重要な鍵となる技術である。平面運動を検出する方法は、従来より数多く提案されている。代表的な手段として、(1) 正規化相関演算法 [1], (2) ハフおよびフーリエ変換を用いた方法 [2] が挙げられる。まず、正規化相関演算法は、物体の平行移動を認識できる。しかし、物体の回転を認識できない。ハフおよびフーリエ変換を用いた方法は、拡大・回転平行移動を検出することができ、また、対象物体の形状に制限はない。しかし、ハフ変換とフーリエ変換を用いるため、演算量が極めて多い。

本報告では、始めに片側ラドン変換の定義とその性質について述べる。提案するビジョンアルゴリズムで実験を行い、その評価と平面運動計測実験の結果について述べる。

## 2 片側ラドン変換

従来より、ラドン変換を用いて、物体の位置・姿勢を検出する手法が知られている。ラドン変換においては、積分路が Fig.1-(a) に示すように直線であるため、角度  $\theta$  と  $\theta + \pi$  を区別することが困難である。そこで、積分路を直線から、Fig.1-(b) に示すように半直線に変更する。すなわち、

$$U[g](\rho, \theta) = \int_0^{\infty} g(\xi \cos \theta - \rho \sin \theta, \xi \sin \theta - \rho \cos \theta) d\xi \quad (1)$$

とする。これを片側ラドン変換と呼ぶ。

## 2.1 片側ラドン変換を用いたビジョンアルゴリズム

片側ラドン変換の特性を基にして、平面運動物体の位置、姿勢を計算するアルゴリズムを構築した。本報告で使用するアルゴリズムを示す。

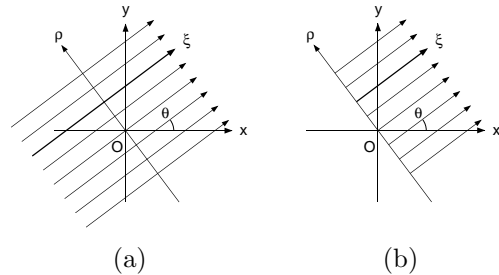


Fig. 1: Integral paths in Radon transform and in one-sided Radon transform

Step 1 テンプレート画像の重心  $G_{sample}$  と入力画像の重心  $G_{input}$  を計算する。重心  $G_{input}$  の座標を物体の位置とする。

Step 2 テンプレート画像の片側ラドン変換  $U_{sample}(\rho, \theta)$  と入力画像の片側ラドン変換  $U_{input}(\rho, \theta)$  を計算する。

Step 3 それぞれの重心を座標の原点として、 $U_{sample}(0, \theta - \alpha) \equiv U_{input}(0, \theta) \quad \forall \theta$  を満たす  $\alpha$  を求める。求めた  $\alpha$  が物体の姿勢である。

$\rho = 0$  のラドン変換が  $\pi$  周期の関数であるのに対し、 $\rho = 0$  の片側ラドン変換が  $2\pi$  周期の関数である。すなわち、片側ラドン変換  $U_0(\theta, 0)$  と  $U_0(\theta + \pi, 0)$  の値は、一般に異なる。このことは、2つの片側ラドン変換  $U_{sample}(\rho, \theta)$  と  $U_{input}(\rho, \theta)$  の1次元マッチングで角度  $\alpha$  と  $\alpha + \pi$  を区別できることを意味する。したがって、物体の回転角度は、上述のアルゴリズムによって計算できる。

物体の種類識別に相関関数を用いる。相関関数  $S(\tau) = \int_0^{2\pi} \{U_{sample}(0, \theta + \tau) - U_{input}(0, \theta)\}^2 d\theta$  を計算し、 $S(\tau)$  の最小値  $S_{min} = S(\tau_{min})$  を求める。最小値  $S_{min}$  が閾値以内であれば、入力画像はテンプレ

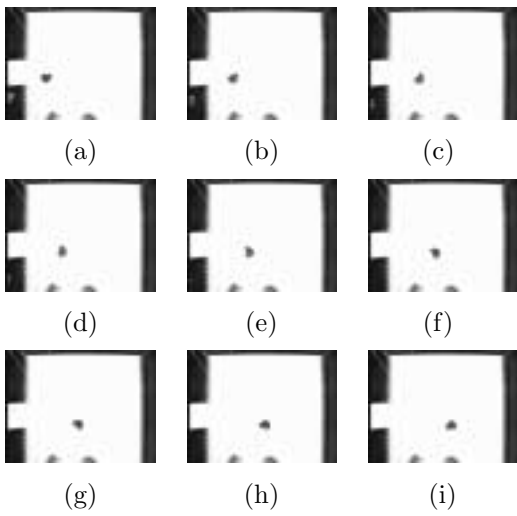


Fig. 2: Successive images in planar motion of curved object

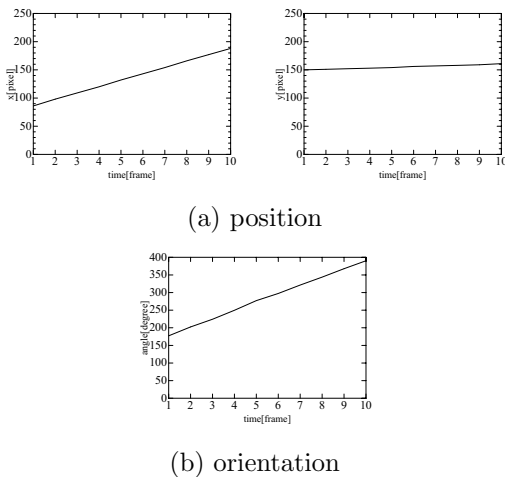


Fig. 3: Computed position and orientation of curved object

ト画像の形状に一致すると判定する．このとき  $\tau_{min}$  が物体の姿勢である．

### 3 平面運動計測

2節で述べたビジョンアルゴリズムを用いて、ビデオフレームレート (33msec 周期) でエアテーブル上を平面運動する物体の計測結果を行った．コントローラに自作 PC/AT 互換機 (Pentium III 800MHz, メモリ 256MB 搭載) を選択し, OS は Vine Linux Ver1.1 を選択した．CCD カメラから画像を取り込むためのボードには, I O DATA 製 GV-VCP2/PCI を使用している．なお, Linux カーネルバージョンは 2.0.38 であり, コンパイラには, GCC Ver2.7.2.3 を使用した．取り込む画像のサイズは 320x240(pixel) で, カラーはグレースケールである．実験に使用した物体は, 正三角形, 正方形, 曲線体, 円形の 4 種類である．パターンマッチングの順番は, 最初に正三角形, 次に正方形, 最後に曲線体とし, マッチングしないときは識別

Table 1: Computation time

処理名	処理時間 [msec]
MMX 命令による差分計算 (320x240)	1.65
画像サイズの切り出し (250x160)	1.56
2 値化重心計算	1.35
片側ラドン変換用サイズ切り出し (64x64)	0.08
片側ラドン変換 (64x64, 積分分割数 32)	7.88
片側ラドン変換平均値処理	0.02
1 種類のパターンマッチング	1.34

不能としている．曲線体のときの計測結果を Fig.2 と Fig.3 に示す．エアテーブル上では, 理論上等角速度運動を行うので, 本報告で提案するビジョンアルゴリズムが, 正しいということが証明できた．今回の実験による物体の種類の識別率は, 正三角形が 100%, 正方形が 100%, 曲線体が 91%であった．CCD カメラを前よりも近づけ, 片側ラドン変換のウィンドウサイズを 128x128 にして平面運動計測をしたところ, 曲線体の識別率が 97%に上昇した．この結果より, 物体の解像度を上げることで識別率が上昇することが判明した．

平面運動計測にかかった処理時間は, 正三角形までで約 16.0[msec], 正方形までで約 17.8[msec], 曲線体までで約 19.8[msec] である．平面運動計測での個々の処理時間を Table 1 に示す．この結果より, ビデオフレームレート (33msec 周期) 内で物体認識の処理を行うことができた．

### 4 終わりに

本報告では, 片側ラドン変換を用いたビジョンアルゴリズムでビデオフレームレートでの平面運動計測を行い, 物体の識別と位置・姿勢検出の評価を行った．今後の課題として, 物体の種類の識別率を向上させることと複数物体・重なった物体を扱えるようにしていくことが挙げられる．

### 参考文献

- [1] 尾崎, 谷口: 画像処理 その基礎から応用まで (第 2 版), 152-205, 240-243, 1983
- [2] 大西, 鈴木, 有本: "ハフおよびフーリエ変換を用いた拡大・回転・平行移動検出法の部品位置決めへの応用", 日本ロボット学会誌, vol.16, no.2, pp232-240, 1998