

# ラドン変換とフーリエ位相限定相関法を用いた 平面運動物体の位置・姿勢検出

## Detection of Position and Orientation of Planar Motion Objects using Radon Transform and Phase-Only Correlation of Fourier 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

Detection of the position and the orientation of planar motion objects is a key to advanced object handling. We will propose a detection method using the Radon transform and phase-only correlation of Fourier transform. The proposed vision algorithm performs Radon transform of sample image and input image. Next, this algorithm compares one dimension Fourier transform of Radon transforms. Then, this algorithm detects the position and the orientation of a planar motion objects using phase-only correlation.

keywords: vision, detection, position, orientation

### 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。我々が提案するビジョンアルゴリズムは、画像に対しラドン変換を行い、そのラドン変換に対して1次元のフーリエ位相限定相関法を用いることで物体の位置と姿勢を検出する。ラドン変換によって画像の線積分を行い、位置と姿勢の検出にフーリエ位相限定相関を用いることで、若干の照明の変動や物体の部分的な変形に対してもロバストな検出が可能になる。

本報告では、ラドン変換とフーリエ位相限定相関を用いたビジョンアルゴリズムを提案する。

### 2 提案するビジョンアルゴリズム

#### 2.1 ラドン変換

本研究で使用するラドン変換は、原点からの距離  $\rho$ 、 $x$  軸からの角度が  $\theta$  の直線に沿う画素値の線積分である。ここで画像の格子点配列を  $g(x, y)$  とすると、本研究で用いるラドン変換の式は、

$$R(\rho, \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} g(\xi \cos \theta - \rho \sin \theta, \xi \sin \theta + \rho \cos \theta) d\xi. \quad (1)$$

となる。ここで、原画像を  $g_0$ 、原画像を角度  $\alpha$  回転させ、方向  $\beta$ 、距離  $d_0$  並進させた画像を  $g_1$  とすると、画像  $g_0, g_1$  のラドン変換  $R_0(\rho, \theta)$ 、 $R_1(\rho, \theta)$  の関係は、次式が成り立つ。

$$R_1(\rho, \theta) \equiv R_0(\rho - d_0 \sin(\theta - \beta), \theta + \alpha), \forall \rho, \theta. \quad (2)$$

上式に示すように、並進移動のパラメータ  $d_0, \beta$  は、変数  $\rho$  の部分にのみ現れ、回転移動のパラメータ  $\alpha$  は、変数  $\theta$  の部分にのみ現れる。ラドン変換では、 $R(\rho, \theta) \equiv R(-\rho, \theta + \pi)$  が成り立つため、フーリエ位相限定相関で  $\theta$  と  $\theta + \pi$  を区別するのは困難である。そこで、ラドン変換を  $\rho$  方向に微分したものを正負に分離する手法 [1] を取り入れ、フーリエ位相限定相関で  $\theta$  と  $\theta + \pi$  の区別ができるようにした。

#### 2.2 フーリエ位相限定相関

ラドン変換  $R_0(\rho, \theta)$ 、 $R_1(\rho, \theta)$  を  $\rho$  方向にフーリエ変換を行ったものを  $F_0(f, \theta)$ 、 $F_1(f, \theta)$  とする。姿勢検出では、位相限定相関関数  $p(\rho, \theta_0, \theta_1)$  を使用する。位相限定相関関数  $p(\rho, \theta_0, \theta_1)$  は、次式の  $P(f, \theta_0, \theta_1)$  を逆フーリエ変換することで得られる。

$$P(f, \theta_0, \theta_1) = \frac{F_0(f, \theta_0)}{|F_0(f, \theta_0)|} \cdot \frac{F_1^*(f, \theta_1)}{|F_1^*(f, \theta_1)|} \quad (3)$$

ここで、 $F_1^*$  は、 $F_1$  の複素共役である。次に  $p(\rho, \theta_0, \theta_1)$  のピークを求め、そのときの  $\rho$ 、 $\theta_0$ 、 $\theta_1$  の値をそれぞれ  $\rho^{max}$ 、 $\theta_0^{max}$ 、 $\theta_1^{max}$  とする。次に  $\theta_0^{max}$  と  $\theta_1^{max}$  から次式を用いて回転角度  $\alpha$  を求める。

$$\alpha = \theta_0^{max} - \theta_1^{max} \quad (4)$$

次に並進移動距離の検出には、位相限定相関関数  $q(\rho, \theta)$  を使用する。位相限定相関関数  $q(\rho, \theta)$  は、 $Q(f, \theta)$  を逆フーリエ変換することで得られる。

$$Q(f, \theta) = \frac{F_0(f, \theta + \alpha)}{|F_0(f, \theta + \alpha)|} \cdot \frac{F_1^*(f, \theta)}{|F_1^*(f, \theta)|} \quad (5)$$

$Q(f, \theta)$  を逆フーリエ変換すると (2) 式より、各  $\theta$  に対して  $\rho$  軸方向のシフト量にピークが表れる。各  $\theta$  に対してピークが決定されるので、ピークが決定したときの  $\rho$  の値を  $\rho_{peek}$  とし、各  $\theta$  における  $\rho_{peek}$  をプロットする。角度  $\theta$  とピーク  $\rho_{peek}$  との関係は、 $d_0 \sin(\theta - \beta)$  と一致する。したがって、プロットしたものを  $\theta$  方向にフーリエ変換を行えば、周波数  $\omega = 1$  の振幅スペクトルから距離  $d_0$ 、位相角から方向  $\beta$  を求めることができる。

### 3 検出実験

提案するビジョンアルゴリズムの評価を行うため、静止画像を用いて物体の位置と姿勢の検出実験を行った。ラ

Table 1: Detection of vision algorithm

入力画像	姿勢 $\alpha$ [deg]	距離 $d_0$ [pixel]	方向 $\beta$ [deg]
input0	0.0	7.5	175.8
input1	40.8	10.9	186.1
input2	90.0	12.3	211.4
input3	139.2	13.0	223.8
input4	180.0	9.1	242.1
input5	220.8	4.7	233.0
input6	271.4	1.3	177.1
input7	320.6	7.0	166.3

(a) 背景あり

入力画像	姿勢 $\alpha$ [deg]	距離 $d_0$ [pixel]	方向 $\beta$ [deg]
input0	0.0	0.3	192.1
input1	40.8	9.4	221.3
input2	90.0	19.1	-89.69
input3	139.2	2.8	-46.8
input4	180.0	1.2	-17.9
input5	218.0	6.1	218.2
input6	272.8	0.6	70.3
input7	319.2	8.5	138.6

(b) 背景なし

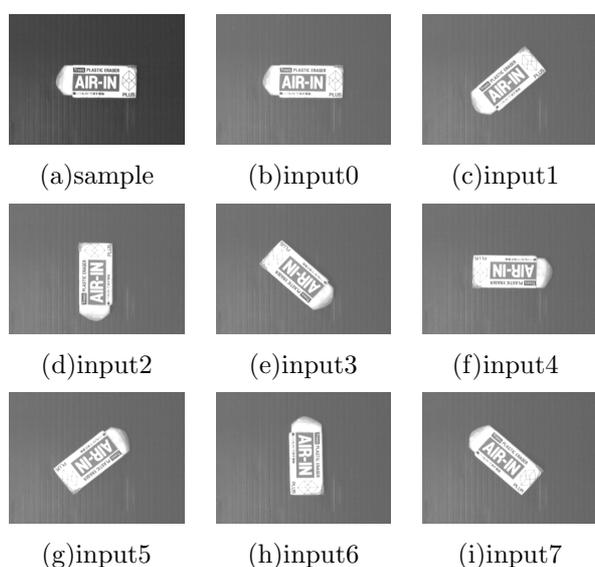


Fig. 1: Images

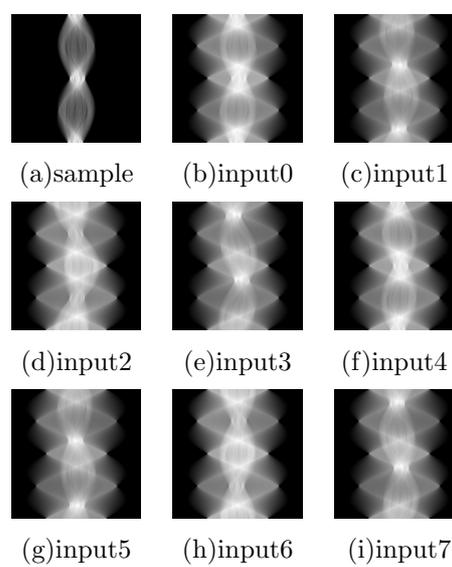


Fig. 2: Radon transforms

Table 2: Computation time

処理名	処理時間
ラドン変換 $R(\rho, \theta)$	3.6[sec]
姿勢検出	5.2[sec]
並進移動検出	48[msec]

ラドン変換の  $\rho$  のステップ数を 256,  $\theta$  のステップ数を 256 とした。物体の位置と姿勢の検出実験には、自作 PC/AT 互換機 (Pentium4 1.8GHz, メモリ 512MB 搭載), OS は Vine Linux Ver.2.5 を使用した。提案するビジョンアルゴリズムによる物体の位置と姿勢の検出実験には、背景ありと背景なしの入力画像を用いて検出の比較を行った。原画像と背景ありの入力画像を Fig.1 に示し、これらの画像のラドン変換を Fig.2 に示す。また、背景なしの入力画像は、背景ありの画像から背景部分の画素値を 0 にしたものを使用している。このときの検出実験結果を Table 1 に示し、検出に要した処理時間を Table 2 に示す。

今回の実験では、正確な位置と姿勢を計測していなかつ

たため、計測誤差がどの程度かは不明である。しかし目測と検出結果より、提案するビジョンアルゴリズムは、姿勢に関しては若干の照明変動でもロバストな検出が可能だと考えられる。逆に位置の検出についてはロバスト性があるとはいえないため、位置検出のアルゴリズムを見直す必要がある。

## 4 終わりに

本報告では、ラドン変換とフーリエ位相限定相関を用いたビジョンアルゴリズムの提案を行った。次に背景ありとなしの場合での検出実験を行い、検出結果を評価した。今後の予定として、位置検出のアルゴリズムを見直し、ビジョンアルゴリズムの検出精度についても詳しく調べる。また、別の物体が画像内に入っているときの検出実験も行い、提案するビジョンアルゴリズムのロバスト性について考察するつもりである。

## 参考文献

- [1] 大西弘之, 鈴木寿, 有本卓: “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, pp.232-240, 1998