

ラドン変換と一次元位相限定相関を用いた平面運動物体の位置と姿勢の検出アルゴリズム

Detection Algorithm of Position and Orientation of Planar Motion Objects
using Radon Transform and One-dimensional Phase-only Matched Filtering

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. In this paper, we will propose a detection algorithm using the Radon transform and one-dimensional phase-only matched filtering. The proposed vision algorithm performs Radon transform of a sample image and an input image. Next, this algorithm performs one-dimensional phase-only matched filtering along the distance of Radon transform and detects position and orientation of an object.

keywords: vision, planar motion, detection, position, orientation

1 はじめに

ロボットによる物体ハンドリングでは、照明の変動や対象物体の一部が隠れるといったことが想定されるため、これらに対しロバストな位置と姿勢の検出が必要である。これまでフーリエ変換を用いた検出方法では、パワースペクトルで姿勢を検出し、位相情報で位置を検出する方法が一般的である。しかし、この手法は、姿勢検出に用いるパワースペクトルが照明変動の影響を受けやすい。そこで我々は、ラドン変換と一次元位相限定相関を用いることで、パワースペクトルを用いず、物体の位置と姿勢検出を位相情報でマッチングを行う方法を提案している [1]。本報告では、提案するアルゴリズムを改善し、静止画像を用いた検出実験によって評価を行う。

2 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 ρ , x 軸からの角度が θ 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 α 回転させ、方向 β , 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, β は、変数 ρ の部分にのみ現れ、回転移動のパラメータ α は、変数 θ の部分にのみ現れる。

3 一次元位相限定相関

テンプレート側の一次元信号を $a_0(t)$ とし、 $a_0(t)$ を位相 φ シフトした一次元信号を $a_1(t)$ とする。このとき $a_0(t)$ と $a_1(t)$ の関係式は、

$$a_1(t) = a_0(t - \varphi) \quad (3)$$

と表される。また、一次元信号 $a_0(t), a_1(t)$ の一次元フーリエ変換 $A_0(f), A_1(f)$ を振幅と位相に分けて表

すと、

$$A_0(f) = |A_0(f)| e^{j\phi_0(f)} \quad (4)$$

$$A_1(f) = |A_1(f)| e^{j\phi_1(f)} \quad (5)$$

となる。ここで、 $\phi_0(f)$ と $\phi_1(f)$ は、位相成分の偏角を表し、 f は周波数を表す。次に一次元位相限定相関関数 $c(t)$ は、 $C(f)$ を逆フーリエ変換することで得られる。式 (4) (5) より、 $C(f)$ の式は、

$$\begin{aligned} C(f) &= \frac{A_0(f)}{|A_0(f)|} \cdot \frac{A_1^*(f)}{|A_1^*(f)|} \\ &= e^{-j(\phi_1(f) - \phi_0(f))} \end{aligned} \quad (6)$$

となる。ここで、 A_1^* は、 A_1 の複素共役である。式 (3) (6) より、逆フーリエ変換によって得られる一次元位相限定相関関数 $c(t)$ は、

$$\begin{aligned} c(t) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} C(f) e^{jft} df \\ &= \delta(t - \varphi) \end{aligned} \quad (7)$$

となり、デルタ関数を形成する。したがって、 $c(t)$ は $t = \varphi$ のとき、最大値が表れる。

4 提案するアルゴリズム

提案するアルゴリズムは、ラドン変換と一次元位相限定相関を用いたテンプレートマッチングで位置と姿勢の検出を行う。はじめに、テンプレートとなる原画像のラドン変換を $R_t(\rho, \theta)$ とし、原画像を角度 α 回転させ、方向 β に距離 d_0 並進させた画像のラドン変換を $R_i(\rho, \theta)$ とする。ここで、 ρ のステップ数を M とし、 θ のステップ数を N とする。また、ラドン変換 $R_t(\rho, \theta), R_i(\rho, \theta)$ を ρ 方向に一次元フーリエ変換を行ったものを $F_t(f, \theta), F_i(f, \theta)$ とする。

姿勢検出においては、テンプレート側の角度 θ_t と入力側の角度 θ_i に対して一次元位相限定相関を行う。姿勢検出で使用する位相限定相関関数 $p(\rho, \theta_t, \theta_i)$ は、次式の $P(f, \theta_t, \theta_i)$ を逆フーリエ変換することで得られる。

$$P(f, \theta_t, \theta_i) = \frac{F_t(f, \theta_t)}{|F_t(f, \theta_t)|} \cdot \frac{F_i^*(f, \theta_i)}{|F_i^*(f, \theta_i)|} \quad (8)$$

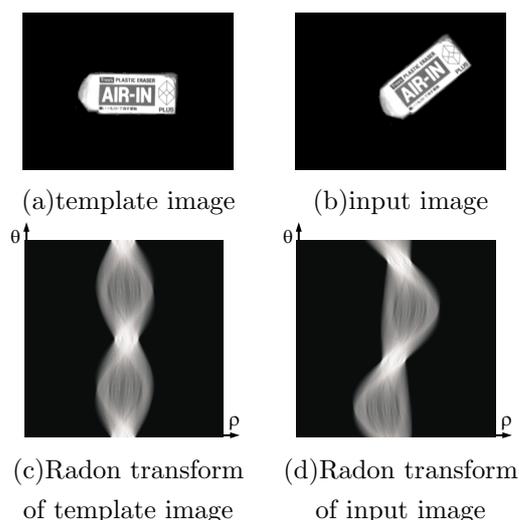


Fig. 1: Images and Radon transforms

ここで、 F_i^* は F_i の複素共役である。次に $p(\rho, \theta_t, \theta_i)$ より、各 θ_t, θ_i における ρ 方向のなかで最も高い値 ρ^{max} を $max(\theta_t, \theta_i)$ に記録する。このとき、 $max(\theta_t, \theta_i)$ のなかで高い値が表れるのは、式(2)より、 $\alpha = \theta_t - \theta_i$ となるときである。したがって、各姿勢 α^* における $max(\theta_t, \theta_i)$ の値の和 $sum(\alpha^*)$ を求め、 $sum(\alpha^*)$ のなかで最大値をとったときの α^* が、姿勢 α となる。

$$sum(\alpha^*) = \sum_{\theta_t=0}^{N-1} max(\theta_t, \theta_t - \alpha^*) \quad (9)$$

次に位置の検出について述べる。位置検出に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。

$$Q(f, \theta) = \frac{F_t(f, \theta + \alpha)}{|F_t(f, \theta + \alpha)|} \cdot \frac{F_i^*(f, \theta)}{|F_i^*(f, \theta)|} \quad (10)$$

$Q(f, \theta)$ を逆フーリエ変換すると、式(2)より、各 θ に対して ρ 軸方向のシフト量に最大値が表れる。各 θ に対して最大値が決定されるので、最大値が決定したときの ρ 軸の値を ρ_{peek} とし、各 θ に対して ρ_{peek} を $plot(\theta)$ に記録する。この $plot(\theta)$ は、座標原点から $d_0 \sin(\theta - \beta)$ の位置にある点をハフ変換で ρ - θ 空間に投票したものに等しくなる。したがって、 $plot(\theta)$ を逆ハフ変換 $h_{inv}(x, y)$ で x - y 平面に直線を投票し、直線が最も多く交差した点を求めることで、物体の位置を検出する。

5 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。静止画像のサイズは 320×240 [pixel] であり、ラドン変換の ρ の数を 256、 θ の数を 256 とした。検出実験には Pentium4 1.8GHz、メモリ 512MB 搭載の PC を使用し、OS は Linux である。また、ラドン変換は画素値投票型のハフ変換とほぼ等しいため、検出実験ではラドン変換を画素値投票型のハフ変換に置き換えた。検出実験に用いた原画像を Fig.1-(a) に示し、原画像を 40 [deg] 回転させ、 x 方向に 30 [pixel]、 y 方向に 20 [pixel] 並進移動させた入力画像を Fig.1-(b)

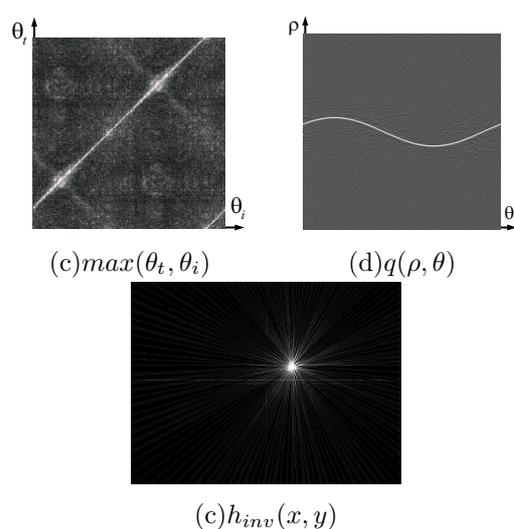


Fig. 2: Experiment results

Table 1: Computation time

処理名	処理時間
ラドン変換 $R(\rho, \theta)$	315[msec]
姿勢検出	1.5[sec]
並進移動検出	112[msec]
合計時間	1.9[sec]

に示す。また、Fig.1-(a)、(b) の画像をラドン変換したものをそれぞれ Fig.1-(c)、(d) に示す。

提案するアルゴリズムによる検出結果は、回転角度 39.4 [deg]、 x 方向の移動距離 30 [pixel]、 y 方向の移動距離 19 [pixel] となった。また、検出実験の処理に要した時間を Table 1 に示す。この実験で姿勢検出に使用した $max(\theta_t, \theta_i)$ を Fig.2-(a) に示し、位置検出に使用した $q(\rho, \theta)$ を Fig.2-(b) に、 $plot(\theta)$ を逆ハフ変換した $h_{inv}(x, y)$ を Fig.2-(c) に示す。逆ハフ変換 $h_{inv}(x, y)$ における x - y 平面の分解能は 1 [pixel] であり、 θ の分解能は 1.4 [deg] であるので、検出時の誤差は計算誤差の範囲内であるといえる。

6 終わりに

本報告では、ラドン変換と一次元位相限定相関を用いたビジョンアルゴリズムの提案とその評価を行った。今後の予定として、照明の変動や物体の一部が隠れた場合での検出実験を行い、提案するアルゴリズムのロバスト性について検証するつもりである。また、ラドン変換や一次元位相限定相関は並列処理が可能であるため、提案するビジョンアルゴリズムを FPGA に実装し、検出処理速度の向上を行うつもりである。

参考文献

- [1] 坪井辰彦, 平井慎一: "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", システムインテグレーション部門講演会 (SI2002), SI2002 講演論文集 (II), pp.117-118, 2002