

パラメトリックテンプレート法とそのサブピクセルマッチング への応用

田中 弘一 佐野 睦夫 大原 秀一 奥平 雅士

NTT ヒューマンインタフェース研究所
〒180 東京都武蔵野市緑町3-9-11

あらまし

正規化相関を用いたテンプレートマッチングにおいて、テンプレートの集合がなすパラメトリックなテンプレート空間を構成し、このテンプレート空間と参照画像とのマッチングを高速に行なうアルゴリズムを提案した。このパラメトリックテンプレート法を用いることにより位置ずれ、回転、スケール変化等の幾何学的変形や照明変動、個体変動等の非幾何学的な変形をもつ対象を効率的にテンプレート空間内の点として表現しマッチングできることを示した。また、特にパラメトリックテンプレート法を用いて対象物体の位置および回転を高速に、そしてサブピクセルの精度で高精度に推定する粗細探索アルゴリズムを提案し、実験によりその有効性を確かめた。

キーワード：パラメトリックテンプレート、正規化相関、粗細探索、サブピクセルマッチング

Parametric Template Method and Its Application to Subpixel Matching

Koichi TANAKA Mutsuo SANO Syuichi OHARA Masashi OKUDAIRA

NTT Human Interface Laboratories
Midori-Cho 3-9-11, Musashino-shi, Tokyo 180.

abstract

This paper describes a new normalized correlation template matching method which constructs a parametric template space from a set of templates and do matching effectively between a reference image and the parametric template space. In this method, it is shown that geometric deformations of a image such as translation, rotation, scale variation, and non-geometric deformations such as individual difference, illumination variation are represented by points in a parametric template space. We also provide high-speed subpixel matching algorithm using this parametric template method in coarse-to-fine search, which yields high-precision estimation results of translation and rotation. Experiments using real images showed the effectiveness of the algorithm.

Key words : Parametric template, normalized correlation, coarse-to-fine search, subpixel matching.

1 まえがき

従来、カメラ画像内で対象物を探索し位置を推定する方法として、図1のように対象物を表す規準テンプレート画像を作成しこの規準テンプレート画像を探索画像内で動かしながら正規化相関値が一番高い場所を見つけるテンプレートマッチング法が広く用いられている。

このテンプレートマッチング法では規準テンプレートを1ピクセル単位で動かすことによりピクセル単位の精度で対象物の位置を推定することが可能であるが、大きな探索画像に対しては探索時間がかかり過ぎる、探索結果がピクセル単位の精度でしか得られない、対象物に変動がある場合には追従できず探索が不安定になるという問題がある。

すなわち、テンプレートマッチングのアルゴリズムは以下の点を満足するように拡張される必要がある。

1. 探索の高速性
2. 探索の高精度性
3. 個体変動や環境変動に対するロバスト性

(1)の高速化の手法としては従来、粗細に探索する手法、すなわち最初は大きなサンプリング間隔で規準テンプレート画像との正規化相関を計算し、一番確からしい周辺をもっと細かい間隔で探索することにより時間の削減を行なう手法が用いられる[1][2]。しかしながらこの手法の問題は、最初に粗い探索で失敗すればそのあとでいくら細かく行っても探索の失敗を回復できないことや、細探索で細かく位置を絞り込んでいく時もまた探索もれを引き起こすことである。探索もれをできるだけ回避するためには粗探索におけるサンプリング間隔を細かくする必要があるが、細かいサンプリング間隔ではもとの狙いであった粗いサンプリング間隔で確からしい位置を推定することにより探索時間を削減するという粗細法の利点が無くなってしまふ。粗いサンプリング間隔でも確実に探索するアルゴリズムが必要である。

(2)の高精度を達成する従来手法としては、正規化相関値が最大をなすまわりを多項式でフィッティングして最大位置をサブピクセル精度で算出する方法[3]があるが、正規化相関値のフィッティングでは画像データを相関値という一次元情報に写像することに起因する精度の限界がある。

(3)の対象の個体変動(スケール、回転、ひずみ等)や環境変動(照明変度等)に関してロバストなマッチングを正規化相関マッチングの枠組で行なうには規準テンプレートとしてそれらの変動に対応した多数枚のものを用意し、この多数テンプレートとのマッチング結果を論理的にORで判定することが通常行なわれるが、この多テンプレートという、いわゆる点的な解決では変動レンジを覆うに十分な多数枚のテンプレートを必要とし処理時間の増大を引き起こす。

本論文で提案するパラメトリックテンプレート法では上で述べたようなテンプレートマッチングにおける問題点をテンプレートのなすパラメトリック空間と参照画像とのマッチングという枠組で統一的に解決できる。

テンプレートをパラメトリックに表現し、そのパラメトリックなテンプレートと参照画像を高速にマッチングすることができるなら、上で述べたような問題が次のように解決される。

(1)の粗いサンプリング間隔でのマッチングは、このサンプリング間隔の内部を補間するようなパラメトリックテンプレートを構成しこれと参照画像とを高速にマッチングすることにより処理時間を増すことなく、より確実にマッチングを行なうことができる。

(2)のサブピクセルのマッチングは、1ピクセル近傍のテンプレートからその内部を補間するパラメトリックテンプレートを構成することにより、相関値ではなくデータの補間に基づいたより高精度の推定を行なうことができる。

(3)の多テンプレートのマッチングにおいては、多テンプレートの内部を補間するパラメトリックテンプレートを構成しこれとマッチングすることにより多テンプレートという点的な表現ではなく、パラメトリックな連続的なテンプレート表現として変動を表すことができ、変動レンジを覆うテンプレートの数の削減できる。

このように、テンプレートマッチングの問題の多くのは、表現性の高いパラメトリックなテンプレートを構成しこれと参照画像とを高速にマッチングすることで解決可能である。

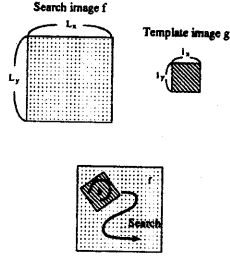


図 1: 正規化相関マッチング

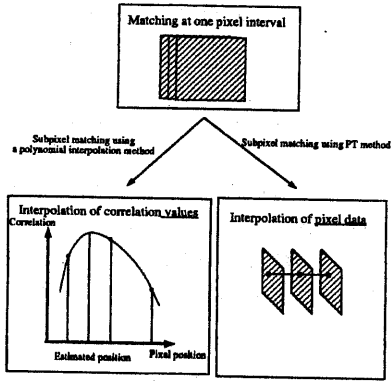


図 2: 相関値の多項式近似とパラメトリックテンプレート法によるサブピクセル推定

2 パラメトリックテンプレート法

2.1 複数テンプレートの線形補間

パラメトリックテンプレート空間は複数テンプレートの線形補間によって表されるテンプレート空間として定義される(図3参照)。このテンプレート空間の点は線形補間パラメータにより一意に表されるが、このパラメータにより表現されたこの空間内のテンプレートをパラメトリックテンプレートと呼ぶ。このテンプレート空間を張るもとなった複数テンプレート t_0, t_1, \dots, t_M はテンプレート空間では端に位置するテンプレートに相当するため端点テンプレートと呼ぶ。

端点テンプレートの選択により様々なパラメトリックテンプレート空間を構成することができる。構成されたパラメトリックテンプレート空間は検索対象の個体変動(位置ずれ、スケール、回転、歪み)や環境変動(照明変動等)をパラメトリックに表現していると考えられる。表1は端点テンプレートとそれにより張られるパラメトリックテンプレ

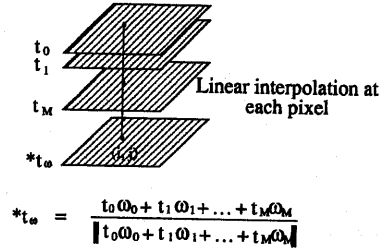


図 3: パラメトリックテンプレート空間の構成

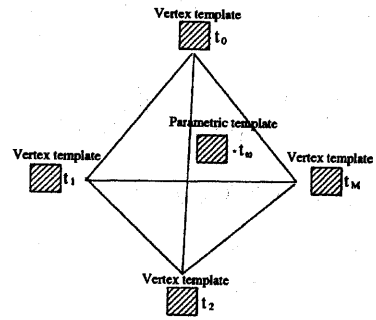


図 4: 端点テンプレート t_0, \dots, t_M を指定したときに張られるパラメトリックテンプレート空間とパラメトリックテンプレート $*t_w$

空間でのマッチング効果をまとめたのものである。次節以降で具体的なパラメトリックテンプレートの具体的な構成を述べる。

2.2 補間テンプレートとのマッチング

画像サイズ $l_x \times l_y$ である2つの画像 g, t の正規化相関値 ρ は以下で定義される。

$$\rho \equiv \frac{\sum_{(k,s) \in TW} (\Delta t) \times (\Delta g)}{\sqrt{\sum_{(k,s) \in TW} (\Delta t)^2} \sqrt{\sum_{(k,s) \in TW} (\Delta g)^2}} \quad (1)$$

$$\Delta f \equiv t[k, s] - \bar{t} \quad (2)$$

$$\Delta g \equiv g[k, s] - \bar{g} \quad (3)$$

$$TW \equiv \{ (k, s) \mid 1 \leq k \leq l_x, 1 \leq s \leq l_y \} \quad (4)$$

ここで、 $t[k, s]$ 、 $g[k, s]$ で位置 (k, s) での画像の輝度値を表す。また、画像 g に対する \bar{g} は、

$$\bar{g} \equiv \frac{\sum_{(k,s) \in TW} g[k, s]}{\sum_{(k,s) \in TW}} \quad (5)$$

表 1: パラメトリックテンプレート適用例

| 端点テンプレート t_0, t_1, \dots, t_M | 効果 |
|--------------------------------------|-------------------------------|
| 並進方向に粗サンプリングされた画像 並進方向に1ピクセル離れた画像 | coarse-to-fine 推定 サブピクセル推定 |
| 回転方向にサンプリングされた画像 | 回転推定 |
| スケール変化画像 | スケール不変マッチング |
| あおり画像 | あおり角推定 |
| 照明変動画像 | 照明変度を許容するマッチング |
| 歪み変動画像 | 歪み変動を許容するマッチング |

で定義される画像の平均値である。画像 g の正規化 \hat{g} を

$$\hat{g}[k, s] \equiv \frac{\Delta g}{\sqrt{\sum_{(k,s) \in TW} (\Delta g)^2}} \quad (6)$$

で、 \hat{g} 、 \hat{f} の相関演算 (\hat{g}, \hat{f}) を

$$(\hat{g}, \hat{f}) \equiv \sum_{(k,s) \in TW} \hat{g}[k, s] \times \hat{f}[k, s] \quad (7)$$

で導入し、正規化相関値 ρ 以下のように書く。

$$\rho = (\hat{g}, \hat{f}) \quad (8)$$

正規された画像 \hat{g} は以下の正規化条件

$$\sum_{(k,s) \in TW} \hat{g}[k, s] = 0.0 \quad (9)$$

$$\sum_{(k,s) \in TW} \hat{g}[k, s] \times \hat{g}[k, s] = 1.0 \quad (10)$$

を満たす。

さて、以上の準備のもとに2画像間の正規化相関をパラメトリックな空間と参照画像間の正規化相関に拡張を行なうことを考える。 t_0, \dots, t_M を $l_x \times l_y$ サイズのテンプレート画像としたとき、正規化されたテンプレート $\hat{t}_0, \dots, \hat{t}_M$ をから線形に張られるテンプレート空間を $M+1$ 個のパラメータ ω_i ($0 \leq i \leq M$) を導入することにより

$$\sum_{i=0}^M \omega_i \hat{t}_i \quad (0.0 \leq \omega_i \leq 1.0, \sum \omega_i = 1.0) \quad (11)$$

として構成することが出来る (図 4、図 3 参照)。こうして構成されたテンプレートは正規化されているとは限らないが、大きさを1に正規化した

$$*t_\omega \equiv \frac{\sum_{i=0}^M \omega_i \hat{t}_i}{\|\sum_{i=0}^M \omega_i \hat{t}_i\|} \quad (12)$$

は (9) と (10) に対応した正規化条件を満たす。すなわち、この空間内のテンプレートはパラメータ ω をもちいて $*t_\omega$ と表すことができ、任意のテンプレートサイズの画像 g とパラメトリックテンプレート $*t_\omega$ との正規化相関値は、

$$(\hat{g}, *t_\omega) \quad (13)$$

と計算することができる。

次に、 \hat{g} をある正規化テンプレートとしたとき、この \hat{g} と最大の相関を示す空間内の正規化テンプレート $*t_\omega$ を求めることを考える。それは、

$$(\hat{g}, *t_\omega) \rightarrow \max \left(\sum_{i=0}^M \omega_i = 1 \right) \quad (14)$$

なる正規化相関値を最大にする ω_i ($0 \leq i \leq M$) が与えるパラメトリックテンプレート $*t_\omega$ である。この拘束付きの最大化問題をラグランジュの未定乗数法を用いて解くと、最大相関値を与えるパラメータ ω は、

$$\omega = \frac{\mathbf{H}^{-1} \mathbf{G}}{(\mathbf{n}, \mathbf{H}^{-1} \mathbf{G})} \quad (15)$$

であたえられる。ここで、

$$\omega \equiv \begin{bmatrix} \omega_0 \\ \vdots \\ \omega_M \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$\mathbf{H} \equiv \begin{bmatrix} (\hat{t}_0, \hat{t}_0) & \dots & (\hat{t}_0, \hat{t}_M) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ (\hat{t}_M, \hat{t}_0) & \dots & (\hat{t}_M, \hat{t}_M) \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$\mathbf{G} \equiv \begin{bmatrix} (\hat{g}, \hat{t}_0) \\ \vdots \\ (\hat{g}, \hat{t}_M) \end{bmatrix} \quad (18)$$

$$\mathbf{n} \equiv \begin{bmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix} \quad (19)$$

である。

この解法で注意されることは、パラメトリックテンプレートの最大相関値およびそのパラメータ値を計算するのに端点テンプレート相関値 \mathbf{G} と端点ベクトル間の構造を表す相互行列 \mathbf{H} のみの単純な関係から求められることである。すなわち、正規化相関を計算するのにパラメトリックテンプレ-

ト空間内のテンプレートを生成する必要はなく高速にマッチングが可能である。

通常はこのパラメータ ω をより物理的に意味のある値に変換する必要がある。各端点テンプレートは通常、ある物理的なパラメータの変動に対応するテンプレートである。スケール変動の時のスケール値、回転変動の時の回転値、並進変動の時の並進値、あおり変動の時のあおり角等である。これらの物理的な数値を v_0, \dots, v_M とすると、パラメトリックテンプレートマッチングにより推定される値 v はパラメータ ω をもちいて

$$v \equiv \sum_{i=0}^M \omega_i v_i \quad (20)$$

として求めることができる。

3 パラメトリックテンプレート粗細探索

パラメトリックテンプレートの適用例として位置および回転のテンプレート探索を粗細に行ないサブピクセルの推定を行なうパラメトリックテンプレート粗細探索法について述べる。

従来、探索時間の削減を行なうために粗細に探索する手法が用いられるが、この手法の問題は、サンプリング間隔を粗くとったときに細探索の位置を絞り込んでいく段階において探索もれを引き起こすことである。また、サブピクセル推定の従来手法として、正規化相関値が極大をなすまわりを多項式でフィッティングして最大位置をサブピクセル精度で算出する方法があるが、正規化相関値のフィッティングではそれほど高精度は望めない。

本論文で提案するパラメトリック粗細探索は、パラメトリックテンプレート空間でのマッチングにより高精度に推定を行なうことで従来の粗細探索法の問題であった細探索における探索洩れの問題を解決し、最終レベルでデータ補間に基づいた高精度のサブピクセル推定を行なう。パラメトリックテンプレート空間でのマッチングは高速で行なえ、多数の粗探索の上位候補に対して細探索を行なっても探索時間がかからない。また、パラメトリックテンプレート空間でのマッチングはサンプリング間隔の $\frac{1}{10}$ から $\frac{1}{20}$ の精度で行なうことが出来る。なぜなら、パラメトリックテンプレート空間でのマッチングが正規化相関値のフィッティングではなくテンプレートデータ'の補間法にも

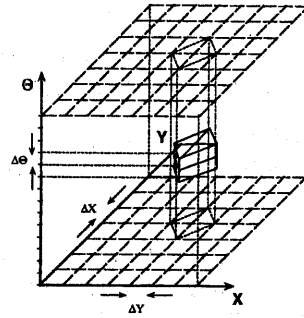


図 5: 粗細探索の粗格子と近傍領域

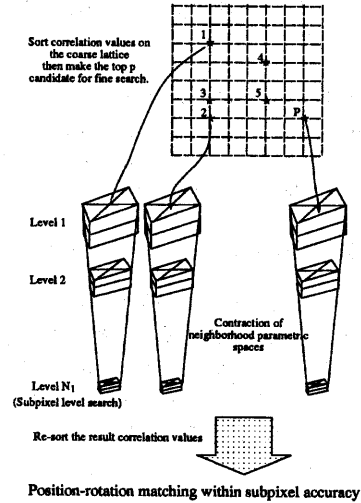


図 6: 粗細探索過程

とづくため、より多くの情報を位置や角度の推定に使えるからである。

3.1 粗細探索アルゴリズム

パラメトリックテンプレート粗細探索アルゴリズムは通常粗細探索の処理に従うが複数の確からしい候補に対して細探索を行なう事、および細探索ではパラメトリックテンプレート法を用いて推定することに特色がある。アルゴリズムは以下のとおりである。

[粗細探索アルゴリズム]

step 1 位置量子化間隔 Δx 、 Δy 、角度量子化間隔 $\Delta \theta$ でサンプリングされた粗格子を考え(図 5)、この格子点の分量だけ並進および回転し

た規準テンプレート画像 g とその位置角度での探索画像との正規化相関を計算

step 2 得られた正規化相関値をソーティングし、正規化相関値が高い方から上位 p 候補を選択 (図 6)

step 3 これら上位 p 候補に対して細探索を行いサブピクセル精度で推定された位置角度及びその時の正規化相関値を得る

step 4 これら正規化相関値のなかで一番高い正規化相関値を示す位置角度を推定する位置角度とする

細探索は、与えられた間隔 Δx 、 Δy 、 $\Delta \theta$ 候補位置角度 x_c 、 y_c 、 θ_c に対して次節で述べる量子化領域内を補間するパラメトリックテンプレート法を繰り返し用いて行なわれる。

[細探索アルゴリズム]

step 1 候補位置 (x_c, y_c) 、候補角度 θ_c 、を囲む間隔 Δx 、 Δy 、 $\Delta \theta$ で決定される量子化領域に対してパラメトリックテンプレート空間を作成し、このテンプレート空間と規準テンプレートとマッチングすることにより、 (x_s, y_s) 、 θ_s を得る

step 2 Δx 、 Δy が 1 ピクセルであるならばこれにて細探索は終了。1 ピクセルより大きい場合は、 Δx 、 Δy 、 $\Delta \theta$ を縮小係数 F により縮小

$$(\Delta x, \Delta y, \Delta \theta) \leftarrow (F_x \Delta x, F_y \Delta y, F_\theta \Delta \theta) \quad (21)$$

x_c 、 y_c 、 θ_c を

$$(x_c, y_c, \theta_c) \leftarrow (x_s, y_s, \theta_s) \quad (22)$$

により更新し **step 1** へ

3.2 パラメトリックテンプレート法による位置角度推定

パラメトリックテンプレート法を用い Δx 、 Δy 、 $\Delta \theta$ でサンプリングされた量子化空間内部での最適なマッチング位置角度を推定する。この位置角度推定では、位置の推定と角度推定を逐次的に用いる。

3.2.1 位置の推定

サイズ (L_x, L_y) の探索画像上の位置 (x, y) を中心に角度 θ だけ回転してテンプレートサイズ (l_x, l_y) に切り出した画像を $f(x, y, \theta)$ と書く、すなわち、

$$f(x, y, \theta)[k, s] \equiv f[x', y'] \quad (23)$$

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} k - \left[\frac{l_x}{2} \right] - 1 \\ s - \left[\frac{l_y}{2} \right] - 1 \end{bmatrix} \quad (24)$$

まず、探索画像上の位置 (x_c, y_c) 、角度 θ_c にあるテンプレートサイズに切り出した画像を $f_C(x_c, y_c, \theta_c)$ 、その上下左右にあるテンプレートサイズに切り出した画像を $f_N(x_c, y_c, \theta_c)$ 、 $f_S(x_c, y_c, \theta_c)$ 、 $f_W(x_c, y_c, \theta_c)$ 、 $f_E(x_c, y_c, \theta_c)$ とする。すなわち Δx 、 Δy を x 方向、 y 方向のサンプリング間隔として、

$$f_i \equiv f(x^i, y^i, \theta_c) \quad (i = C, N, S, E, W) \quad (25)$$

$$\begin{bmatrix} x^C & x^N & x^S & x^E & x^W \\ y^C & y^N & y^S & y^E & y^W \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_c & x_c & x_c & x_c + \Delta x & x_c - \Delta x \\ y_c & y_c + \Delta y & y_c - \Delta y & y_c & y_c \end{bmatrix} \quad (26)$$

とおく。位置角度 (x_N, y_N, θ_c) 、 (x_E, y_E, θ_c) 、 (x_S, y_S, θ_c) 、 (x_W, y_W, θ_c) を頂点とする菱形領域 $NESW$ の内部で規準テンプレート g と正規化相関値が高い位置を求めることを考える。

菱形領域 $NESW$ を 4 つの三角領域 $N\overline{E}C$ 、 $\overline{E}SC$ 、 $\overline{S}WC$ 、 $\overline{W}NC$ へと分解する。個々の三角領域に対して領域の頂点位置の画像を端点テンプレートとするパラメトリックテンプレートを構成し、これと規準テンプレート画像をマッチングすることにより、最大の正規化相関を与えるパラメータの値 ω およびその時の正規化相関値が計算される。このパラメータ値 ω から (20) 式を用いて、並進パラメータを (x_s, y_s) を以下のように求める。

$$\begin{bmatrix} x_s \\ y_s \end{bmatrix} = \sum \omega_i * \begin{bmatrix} x^i \\ y^i \end{bmatrix} \quad (27)$$

ここで和は 3 角頂点にわたってとられる。正規化相関値を 4 つの三角領域で比較し最大の値を与える 3 角領域の位置および正規化相関値をこの菱形領域 $NESW$ の推定位置とその時の正規化相関値とする。

3.2.2 角度の推定

次に、探索画像上の位置 (x_s, y_s) 、角度 θ_c にあるテンプレートサイズの画像を $f_C(x_s, y_s, \theta_c)$ 、その回転角に関して $\Delta\theta$ だけプラス方向とマイナス方向にあるテンプレートサイズの画像を $f_L(x_s, y_s, \theta_c)$ 、 $f_R(x_s, y_s, \theta_c)$ とする。すなわち $\Delta\theta$ を回転角のサンプリング間隔として

$$f_i \equiv \hat{f}(x_s, y_s, \theta^i) \quad (i = C, L, R) \quad (28)$$

$$(\theta^C, \theta^L, \theta^R) = (\theta_c, \theta_c - \Delta\theta, \theta_c + \Delta\theta) \quad (29)$$

とおく。位置角度 $(x_s, y_s, \theta_c - \Delta\theta)$ 、 $(x_s, y_s, \theta_c + \Delta\theta)$ を端点とする線分領域 \overline{RCL} の内部で規準テンプレート g との正規化相関値が高い位置を求めらる。

線分領域 \overline{RCL} を2つの線分領域 \overline{RC} 、 \overline{CL} へと分解する。個々の線分領域に対して領域の端点を端点テンプレートとするパラメトリックテンプレートを構成し、最大相関値を与えるパラメータの値から回転角度 θ_s を(20)式より

$$\theta_s = \sum \omega_i * \theta^i \quad (30)$$

と求める。ここで和は線分の頂点にわたってとられる。正規化相関値を2つの線分領域で比較し最大の値を与える線分領域の角度および正規化相関値をこの線分領域 \overline{RCL} の推定角度とその時の正規化相関値とする。求められた位置角度 (x_s, y_s, θ_s) を細探索処理で位置角度サンプリング格子内の推定値として使用する。

3.3 粗細探索の計算量

並進のみのパラメトリック粗細探索の計算量を簡単にみつもる。計算量に影響するパラメータは以下のものである。

- $L_x \times L_y$: 探索画像のサイズ
- $l_x \times l_y$: テンプレートのサイズ
- r : テンプレートサンプリング率
- $\Delta x, \Delta y$: 粗探索のためのサンプリング間隔
- N_c : 細探索候補数
- F : パラメータ空間縮小係数
- N_l : 細探索レベル数
- N_f : 一細探索あたりの計算数 (= 13)

ここで、テンプレートサンプル率が r とはテンプレート $l_x \times l_y$ の内、 $l_x \times l_y \times r$ 画素をマッチングに用いる事とし、一細探索あたりの計算数と

は、一回のパラメトリックテンプレート位置角度推定において必要とされる正規化相関の数である。また、

$$\max(\Delta x, \Delta y) \times F^{N_l-1} = 1 \quad (31)$$

である。

パラメトリックテンプレート粗細探索の計算量 t_p は、

$$t_p \sim \left(\frac{L_x - l_x}{\Delta x} \frac{L_y - l_y}{\Delta y} + N_p N_l N_f \right) r l_x l_y \quad (32)$$

これに対して通常の正規化相関探索の計算量 t_u は

$$t_u \sim (L_x - l_x)(L_y - l_y) l_x l_y \quad (33)$$

である。

実験によれば F として $1/3$ 、テンプレートの内100画素が計算に寄与するように r を決定すれば安定した探索結果が得られることがわかっている。そこで、具体的に以下の様な場合を考える。

- (L_x, L_y) : (512, 512)
- (l_x, l_y) : (64, 64)
- $(\Delta x, \Delta y)$: (20, 20) $\approx (l_x/3, l_y/3)$
- r : $100/(l_x l_y)$
- N_p : 13
- N_l : 4
- N_c : 4

このとき計算量の比 $\frac{t_u}{t_p}$ は、

$$\frac{t_u}{t_p} \approx 10^5 \quad (34)$$

であり、 10^5 倍の高速化が行なえる。

4 実験

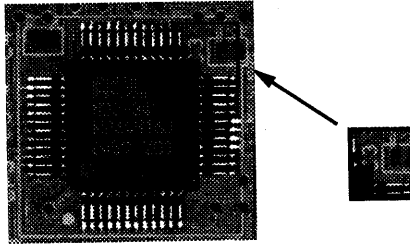
パラメトリックテンプレート法による位置推定誤差の評価実験を行なった。従来法として2次補間を用いたサブピクセル位置推定法(2次補間法)を用いた。

4.1 2次補間法

2次補間法はピクセル単位で見つけられた最大相関位置 (x, y) からのサブピクセル補正項 $(\Delta x, \Delta y)$ を以下の式で求めるものである[3]。

$$\Delta x = \frac{1}{2} \frac{\rho(x-1, y) - \rho(x+1, y)}{\rho(x+1, y) + \rho(x-1, y) - 2\rho(x, y)} \quad (35)$$

$$\Delta y = \frac{1}{2} \frac{\rho(x, y-1) - \rho(x, y+1)}{\rho(x, y+1) + \rho(x, y-1) - 2\rho(x, y)} \quad (36)$$



Search image Template image

図 7: 位置精度計測に用いた探索画像 f とテンプレート画像 g

表 2: 最大及び平均誤差

| | 提案手法 | 2次補間法 |
|-------|--------|--------|
| 最大誤差: | 0.0447 | 0.158 |
| 平均誤差: | 0.0185 | 0.0794 |

ここで、 $\rho(x, y)$ は位置 (x, y) での正規化相関値である。

4.2 位置推定誤差

図 7 の左が位置推定を行なった電子部品の画像で右がその時用いたテンプレート画像である。この電子部品を移動ステージに固定して y 軸方向に移動させその位置での画像を習得することを 100 回行なった。一回の移動量は $1\mu\text{m}$ である。この 100 枚の画像を用いて従来手法の 2 次関数のフィッティングによる方法とパラメトリックテンプレート粗細探索法に推定位置精度の評価実験を行なった。図 8 がこれらの y 軸方向の誤差の絶対値をプロットしたものである。縦軸が推定誤差で単位は 10^{-3} ピクセル、横軸は各サンプル番号を表す。それぞれの手法における最大誤差と平均誤差を表 2 に示す。これからパラメトリックテンプレート法による位置推定精度が従来の 2 次補間による精度と比較して最大誤差にして 3.5 倍、平均誤差にして 4.3 倍の精度を持つことがわかる。

5 むすび

カメラ画像内で対象物を探索する手法である正規化相関を用いたテンプレートマッチングにおいて、テンプレートの集合がなすパラメトリックなテンプレート空間を構成し、このテンプレート空

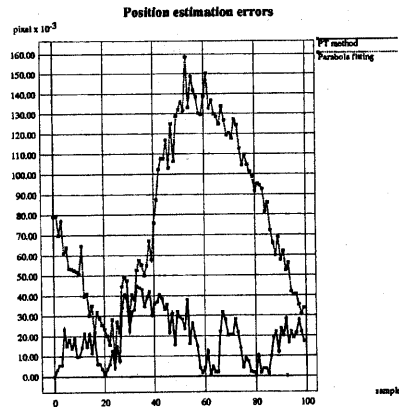


図 8: 100 個のサンプルに対する位置推定誤差

間と参照画像とのマッチングを高速に行なうアルゴリズムを提案した。このパラメトリックテンプレート法を用いることにより位置ずれ、回転、スケール変化等の幾何学的変形や照明変動、歪み変動等の非幾何学的な変形をもつ対象を効率的にテンプレート空間内の点として表現できることを示した。また、特にパラメトリックテンプレート法を用いて対象物体の位置および回転を高速に、そしてサブピクセルの精度で高精度に推定するパラメトリックテンプレート粗細探索アルゴリズムを提案し実験によりその有効性を確かめた。

参考文献

- [1] D. J. Hall, R. M. Endlish, D. E. Wolf and A. E. Brain, "Objective Methods for Registering Landmarks and Determining Cloud Motion from Satellite Data," *IEEE Trans. Comput.*, vol. C-21, pp. 768-776, July 1972.
- [2] E. A. Smith and D. R. Phillips, "Automated Cloud Tracking using Aligned Digital ATS Pictures," *IEEE Trans. Comput.*, vol. C-21, pp. 715-729, July 1972.
- [3] 清水、桑原, "画像間相関を利用したリアルタイム計測," 画像ラボ, vol.5 No.1, pp. 74-77, Jan. 1994.