

画像情報処理1

－ 第13回 －

立命館大学 情報理工学部

画像・音メディアコース

岩本 祐太郎、徐 剛

シラバス

- ・画像解析するための画像特徴を抽出する方法について学ぶ
- ・画像認識方法(顔, 物体etc.)について学ぶ

9 / 徐剛	画像特徴の抽出 1
	画像の微分、勾配、エッジ抽出、Sobelフィルタ ※【BCPレベル1~2】対面で実施、【BCPレベル3~4】webで実施
10 / 徐剛	画像特徴の抽出 2
	Cannyフィルタ、ヒステリシス閾値処理 ※【BCPレベル1~2】対面で実施、【BCPレベル3~4】webで実施
11 / 徐剛	画像特徴の抽出 3
	2次元特徴、コーナーの抽出、Harrisオペレータ ※【BCPレベル1~2】対面で実施、【BCPレベル3~4】webで実施
12 / 徐剛	画像特徴の抽出 4
	ハフ空間、ハフ変換、直接抽出 ※【BCPレベル1~2】対面で実施、【BCPレベル3~4】webで実施
13 / 徐剛	画像照合と認識 1
	テンプレートマッチング、輝度の線形変換、正規化相関 ※【BCPレベル1~2】対面で実施、【BCPレベル3~4】webで実施
14 / 徐剛	画像照合と認識 2
	ディスタンスマップ、2次元パターンの探索、影や隠れにもロバストなエッジマッチング ※【BCPレベル1~2】対面で実施、【BCPレベル3~4】webで実施
15 / 徐剛	確認テスト(60分)と解説(30分)
	第9~14回の授業内容についてのテスト ※【BCPレベル1~2】対面で実施、【BCPレベル3~4】webで実施

参考文献・データセット

- CG-ARTS, ”デジタル画像処理[改訂第二版]”, 2020/2/26.
- 神奈川工科大学標準画像/サンプルデータ
http://www.ess.ic.kanagawait.ac.jp/app_images_j.html

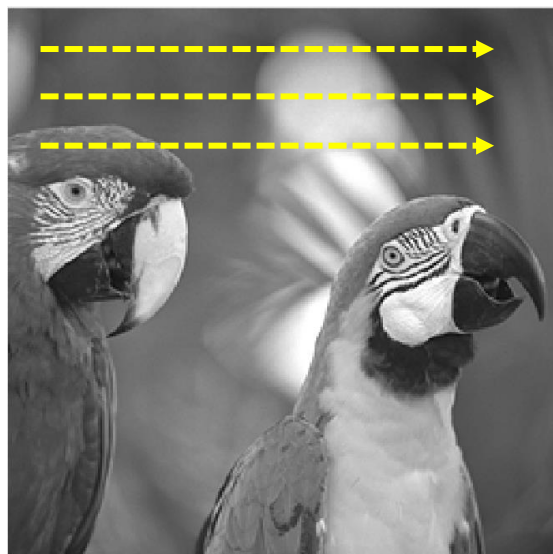
※スライドの画像は画像処理でよく用いられる上記の標準画像を利用

今日の目的

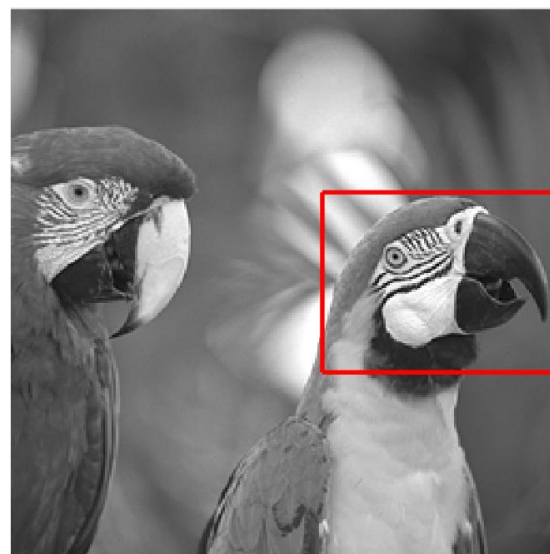
- テンプレートマッチングの原理理解
同じ物体の検出



テンプレート



探索画像



出力画像

テンプレートマッチングの目的

- 画像の中で見つけたい物体の位置を画像処理で見つけることができる.

例： **プリント基板の組み立て検査：**

指定されたICが設計どおりの正しい位置に実装されているかを検査するとき(デジタル画像処理, P218)

パノラマ画像の生成：

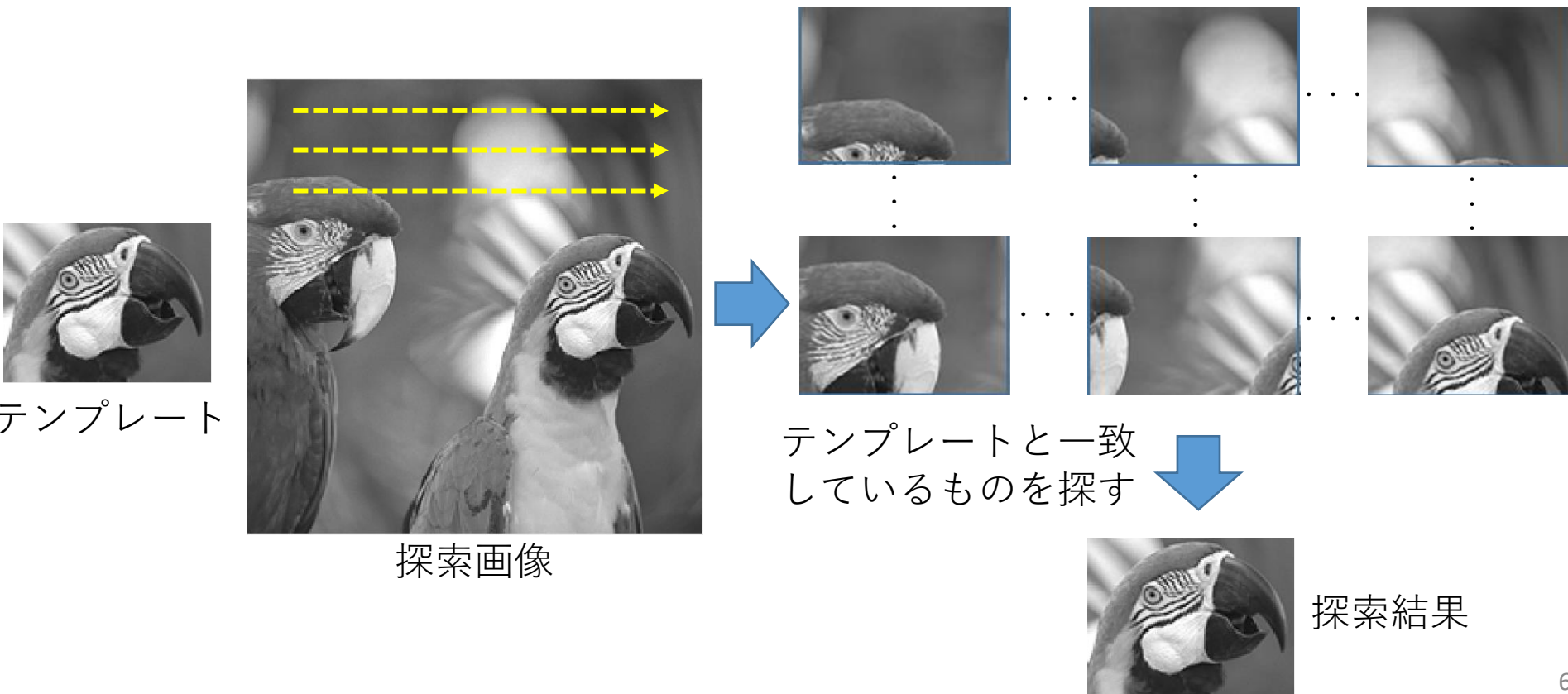
画像の重なっている部分を位置合わせするとき

三次元計測：

ステレオカメラ画像内の対応点をマッチングするとき

テンプレートマッチング(考え方)1

テンプレートを探索画像全体に対して移動し，探索画像の中から一致している領域を探す．



テンプレートとの相違度

テンプレートと対象画像が一致しているか測るために
相違度または**類似度**が用いられる。

■相違度

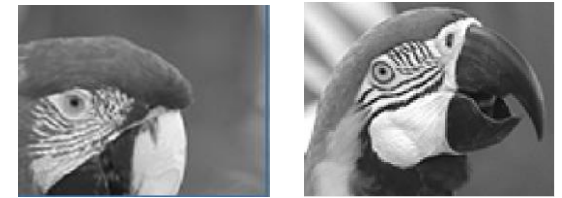
二乗誤差や絶対値誤差

差の二乗和：SSD(Sum of Squared Difference):
一致のとき0

$$R_{SSD} = \sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} (I(i,j) - T(i,j))^2$$

差の絶対値和：SAD(Sum of Absolute Difference):
一致のとき0

$$R_{SAD} = \sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} |I(i,j) - T(i,j)|$$



対象画像 テンプレート

I :対象画像

T :テンプレート

\bar{I} :対象画像の平均

\bar{T} :テンプレートの平均

相違度と相違度の関係

テンプレートと対象画像が一致しているか測るために
相違度または**類似度**が用いられる。

■ 相違度

二乗誤差や絶対値誤差

差の二乗和：SSD(Sum of Squared Difference):
一致のとき0

$$\begin{aligned} R_{SSD} &= \sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} (I(i,j) - T(i,j))^2 \\ &= \sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} (I(i,j)^2 + T(i,j)^2 - 2I(i,j)T(i,j)) \end{aligned}$$



対象画像 テンプレート

I :対象画像

T :テンプレート

\bar{I} :対象画像の平均

\bar{T} :テンプレートの平均

■ 類似度

相関値(CC: Cross Correlation):

$$CC = \sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} I(i,j)T(i,j)$$

$$R_{SSD} = \left(\sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} (I(i,j)^2 + T(i,j)^2) \right) - CC$$

テンプレートとの類似度

テンプレートと対象画像が一致しているか測るために
類似度または**相違度**が用いられる。

■ 正規化類似度 コサイン類似度, 相互相関係数

正規化相互相関(NCC: Normalized Cross Correlation):
一致のとき1



対象画像 テンプレート

I :対象画像

T :テンプレート

\bar{I} :対象画像の平均

\bar{T} :テンプレートの平均

$$R_{NCC} = \frac{\sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} I(i, j) T(i, j)}{\sqrt{\sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} I(i, j)^2 \times \sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} T(i, j)^2}}$$

ゼロ平均正規化相互相関(ZNCC: Zero meanNormalized Cross Correlation):
一致のとき1, **明るさ変動に対してロバスト**

$$R_{ZNCC} = \frac{\sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} (I(i, j) - \bar{I})(T(i, j) - \bar{T})}{\sqrt{\sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} (I(i, j) - \bar{I})^2 \times \sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} (T(i, j) - \bar{T})^2}}$$

補足：類似度 (ZNCC)

ゼロ平均正規化相互相関(ZNCC:Zero meanNormalized Cross Correlation):
一致のとき1, **明るさの線形的変化に対してロバスト**

$$R_{ZNCC} = \frac{\sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} (I(i,j) - \bar{I})(T(i,j) - \bar{T})}{\sqrt{\sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} (I(i,j) - \bar{I})^2 \times \sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} (T(i,j) - \bar{T})^2}}$$



- ・このまま計算を行うと平均値を計算するステップ(\bar{I}, \bar{T}), 平均値との差($I - \bar{I}, T - \bar{T}$)を計算するステップにわかれ計算量が増加する.
- ・分散を計算する公式(分散=(サンプルの二乗の平均値)-サンプルの平均値の二乗)を用いると一度のループで処理が完了し計算量が削減できる.

$$R_{ZNCC} = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} I(i,j)T(i,j) - \frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} I(i,j) \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} T(i,j)}{\sqrt{\left\{ \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} I(i,j)^2 - \frac{1}{MN} \left(\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} I(i,j) \right)^2 \right\} \left\{ \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} T(i,j)^2 - \frac{1}{MN} \left(\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} T(i,j) \right)^2 \right\}}}$$

$$R_{ZNCC} = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} I(i,j)T(i,j) - \frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} I(i,j) \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} T(i,j)}{\sqrt{\left\{ \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} I(i,j)^2 - \frac{1}{MN} \left(\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} I(i,j) \right)^2 \right\} \left\{ \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} T(i,j)^2 - \frac{1}{MN} \left(\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} T(i,j) \right)^2 \right\}}}$$

<擬似コード>

//テンプレート画像の輝度の合計を事前に計算する

T = 0;

T2 = 0;

for(i=0;i<=M-1;i++){

for(j=0;j<=N-1;j++){

T += T(i,j);

T2 += T(i,j)*T(i,j);

}

}

// 探索画像側の輝度の計算

for(x=0;x<=K-M;x++){

for(y=0;y<=L-N;y++){

IT = 0;

I = 0;

I2 = 0;

for(i=0;i<=M-1;i++){

for(j=0;j<=N-1;j++){

IT += I(x+i,y+j)*T(i,j);

I += I(x+i,y+j);

I2 += I(x+i,y+j)* I(x+i,y+j);

}

}

R(x,y) = (IT-I*T/(M*N)) / sqrt((I2-I*I/(M*N))*(T2-T*T/(M*N))); Rzncc類似度の計算

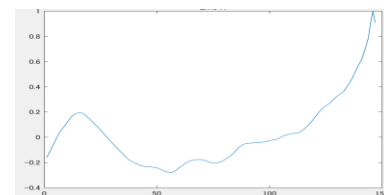
}

}

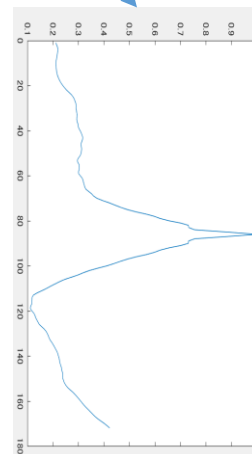
テンプレート側は画像が変化しないため事前に計算可能！

探索画像側は画像が変化するため、随時計算する

テンプレートマッチング



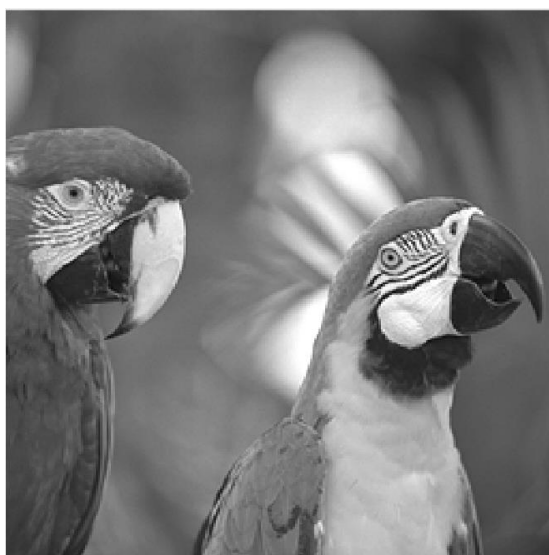
ZNCC



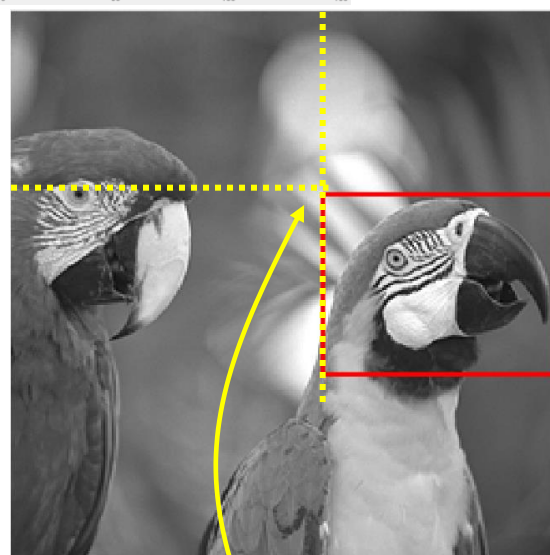
出力画像



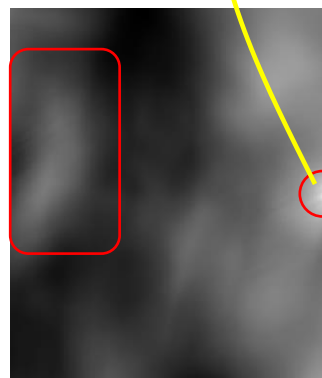
テンプレート



探索画像



類似箇所



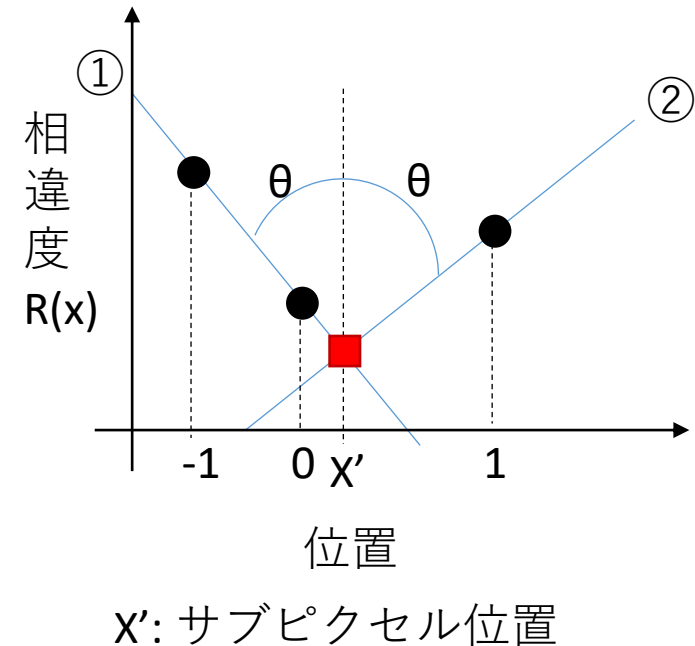
1:完全一致

ZNCCの二次元分布

【補足】サブピクセル位置推定

高精度に位置合わせを行うために、サブピクセル単位 (ピクセル以下、小数点を扱う) の位置推定を行う。

画素単位ごとに取得された類似度や相違度をフィッティング関数で補間することで、関数の最大または最小の位置がサブピクセル位置となる。



■ 等角直線フィッティング

 $R(1) < R(-1)$ のとき

直線の式は $y = ax + b$ より、直線①は点 $(0, R(0))$ 、 $(-1, R(-1))$ を通る。

$$y = (R(0) - R(-1))x + R(0)$$

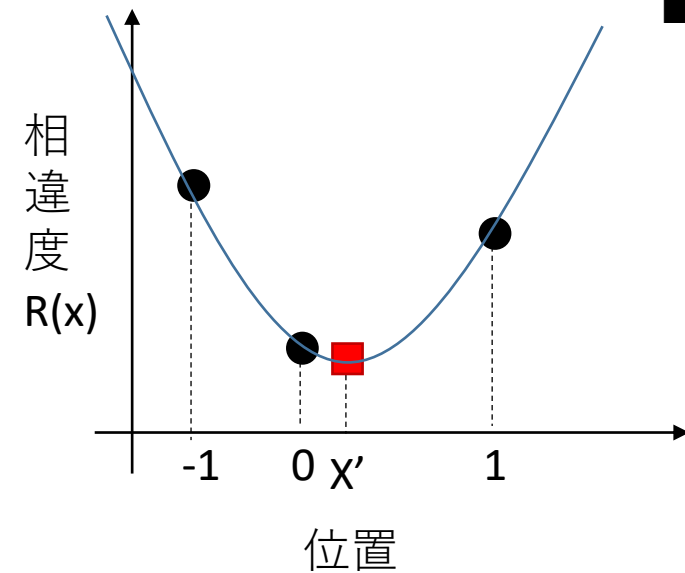
直線②は点(1,R(1))を通り、直線①の傾き $\times -1$ (縦軸反転)である。

$$y = -(R(0) - R(-1))x + R(0) + R(1) - R(-1)$$

直線①と②の交点は、同様に $R(-1) < R(1)$ のとき、

$$x' = \frac{R(1) - R(-1)}{2(R(0) - R(-1))} \qquad x' = \frac{R(1) - R(-1)}{2(R(0) - R(1))}$$

【補足】サブピクセル位置推定



x' : サブピクセル位置

■ パラボラフィッティング
相違度が最小の点を含む近傍3点を用いて、二次関数フィッティングを行う。二次関数の式は $y = ax^2 + bx + c$ であるので、点 $(-1, R(-1))$, $(0, R(0))$, $(1, R(1))$ を通る係数を求めると、

$$a = \frac{R(-1) - 2R(0) + R(1)}{2}, b = \frac{R(1) - R(-1)}{2}, c = R(0)$$

平方完成または、 x について微分し $dy/dx=0$ のときの x を求めると、

$$x' = \frac{R(-1) - R(1)}{2R(-1) - 4R(0) + 2R(1)}$$

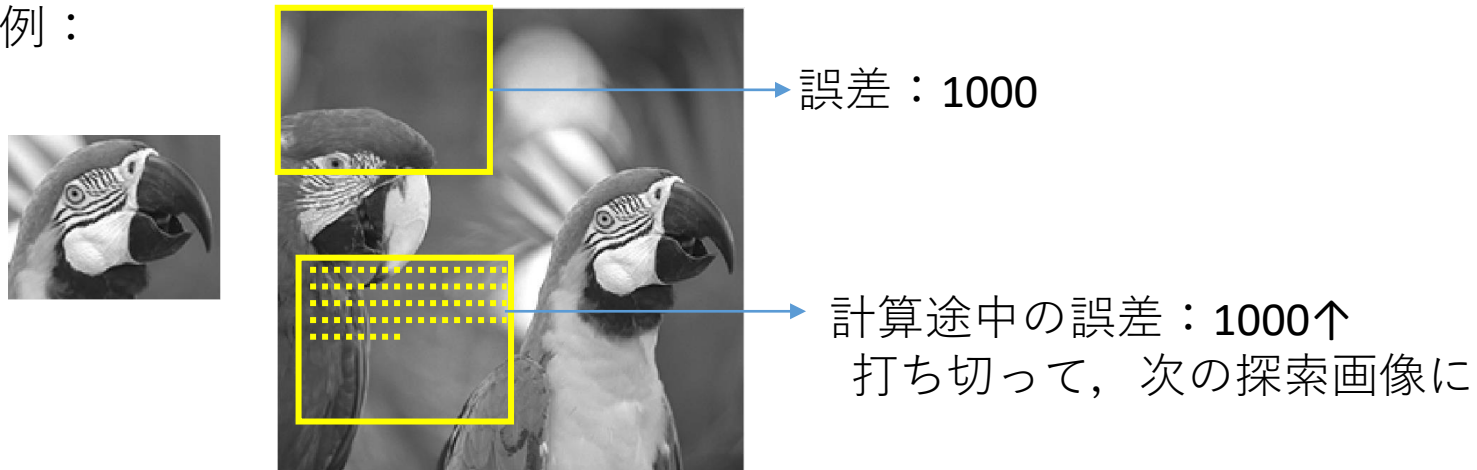
補足：テンプレートマッチングの高速化

探索範囲を画像全体として類似度または相違度を計算することを**全探索**と呼ぶ。全探索では計算量が多いため様々な高速化手法が提案されている。

1. 残差逐次検定法：相違度の計算途中で打ち切ることで高速化を図る。

相違度を用いたテンプレートマッチングにおいて、画像が一致していない場合計算途中(forループ中)ですぐに誤差が大きくなる。そこで、閾値以上の誤差になった場合は途中で打ち切り、次の画像を探索する。閾値の決め方はその前の対象画像までで計算した誤差量の最小値を閾値とするなどの方法がある。

例：



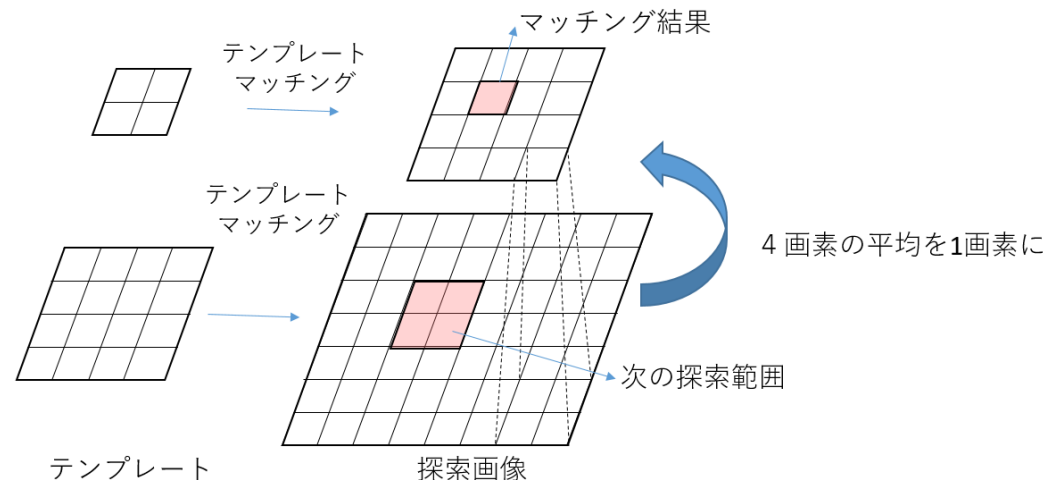
補足：テンプレートマッチングの高速化

探索範囲を画像全体として類似度または相違度を計算することを**全探索**と呼ぶ。全探索では計算量が多いため様々な高速化手法が提案されている。

2. 粗密探索法：探索領域を省くことで高速化を図る。

画像を段階的に低解像度化(イメージピラミッド)し、最も低解像度の画像(例えば4x4)からテンプレートマッチングを行い、その結果に対応する領域を一つ解像度の高い画像内で再度探索する。それを元の解像度になるまで繰り返し行うことで高速にテンプレートマッチングが行える。

例：



練習問題13－1

I と T に対して、

$$I' = aI + b$$

$$T' = cT + d$$

のような線形変換を施して得られた I' と T' のゼロ平均正規化相互相関 (ZNCC) は、 I と T のゼロ平均正規化相互相関 (ZNCC) に等しいことを示せ。