

可変ブロック分割を用いたテンプレートマッチング

三谷 浩輔 佐治 斉
静岡大学大学院情報学研究科

概要 物体認識の自動化が進むにつれ、テンプレートマッチングに関する研究が数多く行われるようになった。本研究では、実環境を想定して、回転と遮蔽に頑強なテンプレートマッチング手法を提案する。まず、テンプレート画像を小ブロックに分割する。このとき、ブロック内の輝度分布によりブロックサイズを可変とする。各ブロック間のマッチングアルゴリズムとして、回転不変な特徴をもつヒストグラム照合法を用いる。各ブロックにおける照合結果を統合する方法として、ヘルマート変換式による投票処理を用い、最大累積投票数をもつ座標から変換パラメータを確定し、全体のマッチング位置を算出する。実験により、回転と遮蔽に対して安定して結果が得られることを示す。

Template Matching Method by Using Variable Size Block Division

Kosuke Mitani and Hitoshi Saji
Graduate School of Information, Shizuoka University

Abstract The object recognition has been automatic in many applications, and many studies of template matching have been reported. In this study, we propose a new method of template matching robust for rotation and occlusion. First, we divide a template image into several blocks. In the division, each block size is variable on the basis of brightness distribution in the block. Next, we use a histogram matching method that is rotational invariant in the block matching. Finally, we obtain the matching position of the template using vote and Helmert's transformation. We evaluate the efficacy of these approaches by several experiments.

1 はじめに

近年の画像処理技術の進歩に伴って、位置決めや計測、検査等の生産工程や、印鑑等の文字認識、スポーツ選手等の人物追跡、ロボットビジョン、無人監視システムなど、従来は人間の視覚に頼っていた多くの物体認識の自動化が進んでいる [1, 2]。これらのアプリケーションに対応可能な画像処理手法として、テンプレートマッチング手法が挙げられる。テンプレートマッチング手法とは、探索したい対象画像を参照画像情報(テンプレート)として用い、被探索対象画像における様々な位置(参照位置)において、テンプレートとの類似性を計算することにより、参照画像と一致した画像を探し出すマッチング手法である。

一般的な問題点として、不良照明条件の対応や複雑背景の処理、対象物の一部遮蔽、撮影環境による物体の幾何学的変化等が挙げられる。これらの個々

の問題に対応するために、従来よりさまざまなマッチング手法が提案されている。

テンプレートマッチング手法において、実利用を目的とした場合、良好な画像の照合だけではなく、濃度変化や一部遮蔽、幾何学的変化などの、画像の劣化の原因に対しても十分な頑強性を持つことが求められる。これらの点を踏まえて、本研究の目的として、遮蔽と回転に頑強なテンプレートマッチング手法の提案を行う。遮蔽と回転に対応するために、テンプレート画像の可変ブロック分割を用いる。また、ブロック間のマッチングアルゴリズムとして、回転不変であるヒストグラム照合法を用いる。各ブロックの対応をもとにヘルマート変換による投票処理で、全体のマッチング位置を確定する。以上の提案手法に対して、回転と遮蔽に対する評価を行い、有効性を検証する。また、ブロックの大きさを可変にすることによって得られる、マッチングの安定性の評価も行う。

* 本論文の著作権は電子情報通信学会が所有しています。

以下、2章でマッチングのアルゴリズムについて説明する。3章で実験を行った結果の考察を示し、4章でまとめと今後の課題について述べる。

2 マッチングアルゴリズム

2.1 処理の概要

ここでは、処理の概要について説明する。図1に本研究の概要を示す。

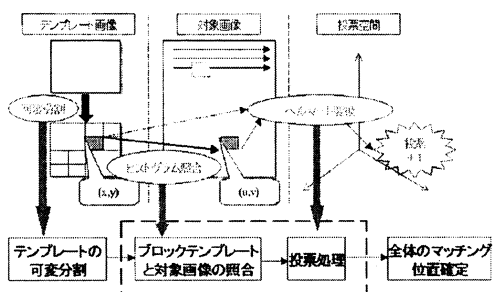


図 1: 処理の概要

まず、テンプレート画像をブロックに分割する（以後、分割したテンプレートブロックをブロックテンプレートと呼ぶこととする）。なお、ここでのブロックサイズは、ブロック内の輝度分布により可変とする。次に、それぞれのブロックテンプレートのマッチングアルゴリズムとして、回転不変であるヒストグラム照合法を用い、対象画像と対応付ける。ブロックテンプレートと対象画像の対応点の座標から、ヘルマート変換を用いて、投票空間内に投票を行っていく。この処理をすべてのブロックテンプレートに対して行うことによって、ブロックテンプレートと同数の対応点に対して、投票を行うことができる。投票処理が終了したとき、投票空間内の最大累積投票数に着目して、全体のマッチング位置を確定する。

2.2 テンプレートの可変分割

2.2.1 テンプレートの可変分割のアルゴリズム

テンプレート画像の可変ブロック分割のアルゴリズムについて説明する。テンプレートを仮に4等分割し、それぞれの輝度値の平均値をRGB要素それぞれ

れに対して求め、最大値と最小値の差が一定以上のものが、一つでも存在すれば分割を確定する。つまり、輝度分布に差のある場合には、分割を行い、輝度分布が一定の場合には、それ以上の分割を行わない。例えば、次のようなブロック（図2）の場合、

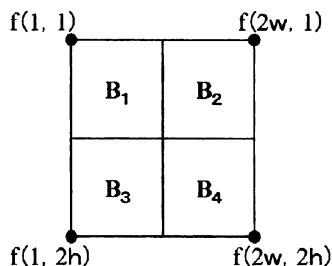


図 2: ブロック分割

次式のどれか一つでも条件を満たすとき、分割を確定する。

$$\max_{i=1,\dots,4} B_{iR} - \min_{i=1,\dots,4} B_{iR} > \text{閾値} \quad (1)$$

$$\max_{i=1,\dots,4} B_{iG} - \min_{i=1,\dots,4} B_{iG} > \text{閾値} \quad (2)$$

$$\max_{i=1,\dots,4} B_{iB} - \min_{i=1,\dots,4} B_{iB} > \text{閾値} \quad (3)$$

このとき、 $B_{1c(c=R,G,B)}$ から $B_{4c(c=R,G,B)}$ は次式で表される。

$$B_{1c(c=R,G,B)} = \frac{\sum_{n=1}^w \sum_{m=1}^h f_c(n, m)}{w \cdot h} \quad (4)$$

$$B_{2c(c=R,G,B)} = \frac{\sum_{n=w}^{2w} \sum_{m=1}^h f_c(n, m)}{w \cdot h} \quad (5)$$

$$B_{3c(c=R,G,B)} = \frac{\sum_{n=1}^w \sum_{m=h}^{2h} f_c(n, m)}{w \cdot h} \quad (6)$$

$$B_{4c(c=R,G,B)} = \frac{\sum_{n=w}^{2w} \sum_{m=h}^{2h} f_c(n, m)}{w \cdot h} \quad (7)$$

この分割アルゴリズムを用いて、実際の画像で行った例を図3に示す。

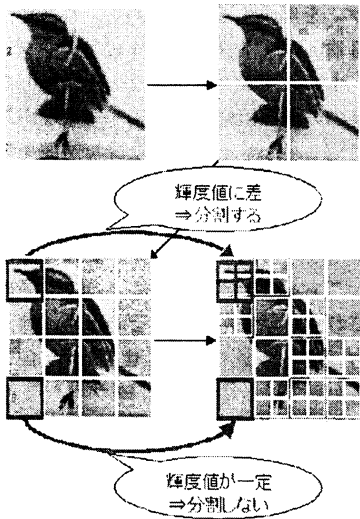


図 3: テンプレートのブロック分割

2.2.2 テンプレートの可変分割の利点

ブロック分割し、投票処理により結果を統合することで、遮蔽に対応できる [3]。探索すべき部分画像がテンプレート画像と全く同一であれば、すべてのブロックに関する投票が唯一の座標に集中する。一方、部分画像の一部が遮蔽されている場合、遮蔽領域に対応するブロックに関しては、誤った座標に投票される可能性が高くなる。しかし、非遮蔽領域に対応するブロックに関しては、正しい座標に投票される可能性が高い。投票空間内では、累積投票数が相対的に評価され、最大累積投票数を持つ座標が抽出される。これにより、テンプレート画像の一部が遮蔽された状態であっても、非遮蔽領域の投票が正しく行われれば、正しい座標の累積投票数は他の座標と比べて大きくなり、その結果、正しい座標がマッチング結果として求められる。さらに、小さなブロック単位にマッチングが行われるため、対象画像にわずかな幾何学的変化が生じて、その影響を受けにくい。

次に、ブロックの大きさを輝度分布による可変とすることで得られる利点について説明する。テンプレートのサイズをあまりに小さくすると、マッチングに必要な情報までもが、失われてしまう恐れがある。

また、輝度値が一定の場合に分割を行って、類似するブロックテンプレートを多数作成した場合、マッチングにおける誤認識が増えることが予想される。つまり、矩形領域内の輝度変化がないテンプレートに関しては、テンプレートサイズが大きいほど安定性があるといえる。これによって、すべてのブロックテンプレートと対照画像の対応位置のばらつきを抑制することが可能となるため、信頼性のある結果を得ることができる。

2.2.3 ブロックテンプレートの探索範囲

ブロックテンプレートを対象画像全領域内において探索しようとする、類似性のあるパターンに誤ってマッチングしてしまう可能性が増大する。この問題に対処するために、本研究では、照合させるブロックテンプレートの分割前におけるテンプレートの照合位置の情報を用いることとする。

初期の段階から考える。まず、全く分割されていないテンプレート画像に対して、ヒストグラム照合法で照合を行う。このときの照合座標近傍に、4等分割したブロックテンプレートに対する初期探索点を定め、ブロックサイズに合わせた探索範囲内で4等分割したブロックテンプレート照合を行う。この処理を繰り返すことで、分割される前の段階で、大局的な位置を把握できるため、狭い範囲内での局所的な照合が可能になる(図4)。これにより、ブロックの輝度値が一定であっても、大きな例外値が発生しにくくなる。つまり、分割される前の段階の照合情報を用いることで、安定なマッチングが行えると考えられる。

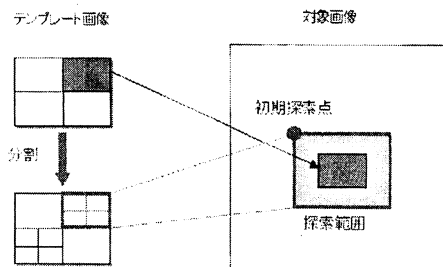


図 4: ブロックテンプレートの探索範囲

2.3 ヒストグラム照合法

それぞれのマッチングアルゴリズムとして、回転不変量であるヒストグラム照合法 [4] を用いる。あるブロックテンプレートについて、RGB ヒストグラムと、次式で定義される変換表色系 [5] から求められるヒストグラムを作成する。

$$I_1 = \frac{R+B+G}{3} \quad (8)$$

$$I_2 = \frac{R-B}{2} \quad (9)$$

$$I_3 = \frac{2G-R-B}{4} \quad (10)$$

このとき、ヒストグラムを作成するために、ブロック領域内の回転不変形状である円領域内のデータのみを用いる。

次に、対象画像内において、参照しているブロックテンプレートと同じ大きさの領域内のデータを用いて、ヒストグラムを作成する。この2つのヒストグラムを比較し、対応する各要素間の差の絶対値の総和を求める。対象画像内においてヒストグラムを作成する位置を移動させつつ、上記総和値が最小となる座標を、このブロックテンプレートの照合位置とする (図 5)。以上の処理をすべてのブロックテンプレートに対して行うことで、ブロックテンプレート数と同数の座標を対応付ける。

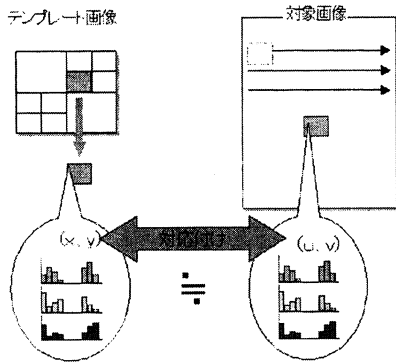


図 5: ヒストグラム照合法

次に、RGB ヒストグラムとともに変換表色系ヒストグラムも作成した理由について説明する。

RGB ヒストグラムを作成するにあたって、本来ならば、RGB3 次元空間の各軸を 256 分割した 3 次元

ヒストグラムを作成する必要がある。ここで、対象画像内の 3 次元ヒストグラムを作成して、ブロックテンプレートの 3 次元ヒストグラムと比較し、そして対象画像内の参照領域を 1 画素ずらしながら同じ処理を繰り返していくと、莫大な計算時間を要することになる。そこで、計算時間短縮のため、RGB 要素をそれぞれについて独立した 1 次元ヒストグラムを用いて照合を行った。その結果、異なるヒストグラムであっても RGB 値の分布によっては同様のものと判断される可能性がある。そのため、独立した RGB 値それぞれに関連性を持たせるため、前述した変換表色系から求められるヒストグラムも作成した。この系は RGB 値からの線形変換によって実験的に定められた簡便なものであり、カラー画像から対象物体の領域を取り出したり、意味のある領域に分割したりする操作や、セグメンテーションに有効であることが示されている。 I_1 は明度に対応し、 I_1, I_2, I_3 は無相関に近いとしている。

2.4 ヘルムート変換を用いた投票処理

投票処理は、Hough 変換に代表されるように、投票空間内における投票結果が相対的に評価されるため、頑強な認識を実現する上で、有効性の高い方法と考えられる。

求められた対応点の座標対から、ヘルムート変換に基づく投票空間内に投票し、最大累積投票数を持つ座標からパラメータを確定し、マッチング位置を算出する。ヘルムート変換は次式で定義される。

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B \\ C \end{bmatrix} \quad (11)$$

A, B, C, θ : ヘルムート変換パラメータ

(u, v) : 対象画像座標

(x, y) : テンプレート画像座標

ここでパラメータ A は拡大・縮小、 B と C は平行移動、 θ は回転を意味する。

今回の研究では、拡大縮小を考慮していないため、 A を 1 と固定する。ヒストグラム照合法によって、対象画像 (u, v) とブロックテンプレート (x, y) は対応付けられているため、 θ の値を -180° から 180° の範囲で増加させていき、 B と C の値を求めて、3 次元投票空間 (θ, B, C) 内において、パラメータの値を

求めるために投票を行う。すべてのブロックテンプレートについて、照合した座標対の投票処理を行い、最終的に最大累積投票数を持つ座標から、パラメータを確定する。

ブロックを分割することのみでも、わずかな回転には対応できる。さらに本研究においては、各ブロックテンプレートのマッチングアルゴリズムとして、ヒストグラム照合法とヘルマート変換を用いた投票処理により、各ブロックの照合において回転に左右されず、さらに、テンプレート全体においても、理論的には、何度回転しても照合可能な方法を実現している。

切り出したテンプレート画像を作成する(図7)。そしてテンプレート画像を可変ブロック分割させて、マッチングを行った(図8)。

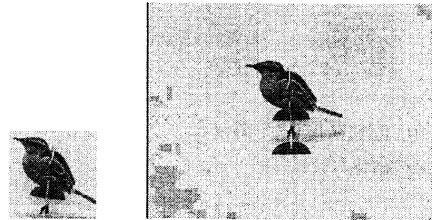


図 7: テンプレート画像 (10° 回転) と対象画像

3 実験

3.1 実験条件

実験では、第2章で述べた今回の提案手法の有効性を示すために、人工的に回転と遮蔽を施した画像を用いて検証した。

実験について、CPU1.5GHz(PentiumIV)、メモリ400MBのコンピュータを使用した。また、画像サイズに関しては、対象画像320×240画素、テンプレート画像100×100画素で、画素値3バイト(RGB値各1バイト)とした。

テンプレート画像の可変ブロック分割の閾値は、できるだけブロックテンプレートの数が少なくなるように、実験的に定めた。分割の段階として、テンプレート画像のサイズを考えて、3段階まで分割を行うこととした。ブロックの探索については、分割する前の照合位置の中心に対してブロックサイズの2倍の範囲内で行った。

このような実験条件のもと、それぞれ異なる対象画像5枚を用意して、実験を行った。

3.2 回転に対する評価

まず、テンプレートの回転に対する評価を行った。対象画像内から、人工的に回転させ切り出したテンプレート画像を用意して、理論値と実測値の差を比較した。

一例として、次に示す対象画像から10°回転させて

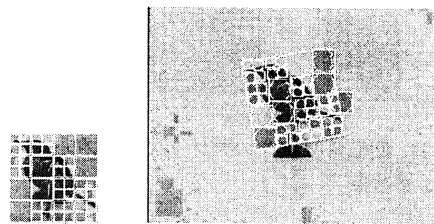


図 8: 回転角度 10° のブロックテンプレートとマッチング結果

次に回転角度を20°, 45°, 90°, 135°, 180°とした場合のブロックテンプレートとマッチング結果を示す(図9-図13)。

対象画像(図7)に対して、ヘルマート変換パラメータ θ, B, C の理論値と、投票処理から求められる最大累積投票数をもつ座標 (θ, B, C) の実測値の比較を行った。その結果を表1に示す。

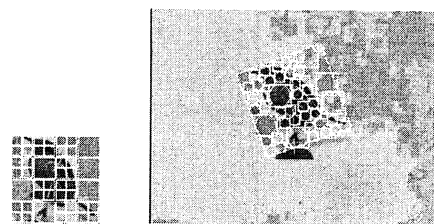


図 9: 回転角度 20° のブロックテンプレートとマッチング結果

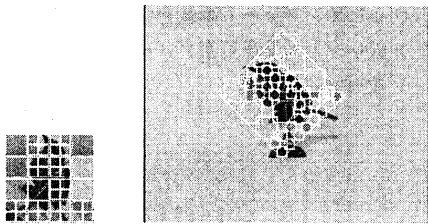


図 10: 回転角度 45° のブロックテンプレートとマッチング結果

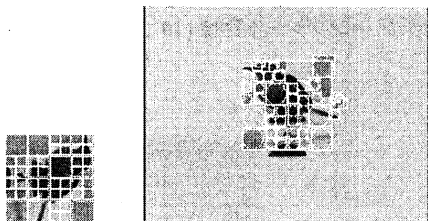


図 11: 回転角度 90° のブロックテンプレートとマッチング結果

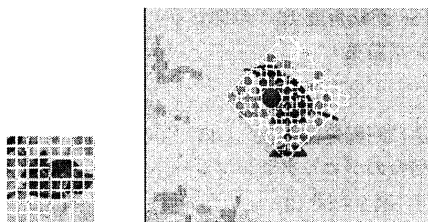


図 12: 回転角度 135° のブロックテンプレートとマッチング結果

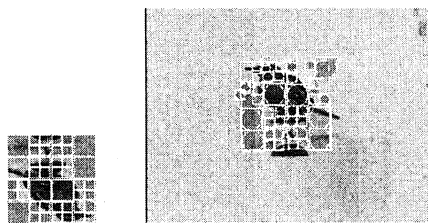


図 13: 回転角度 180° のブロックテンプレートとマッチング結果

表 1: 回転に対する理論値と実測値の比較

	理論値			実測値		
	θ (deg)	B (pix)	C (pix)	θ (deg)	B (pix)	C (pix)
図 8	10	106	61	10	104	61
図 9	20	98	72	21	96	72
図 10	45	87	98	45	85	98
図 11	90	111	158	90	111	159
図 12	135	160	169	135	159	170
図 13	180	206	158	181	207	158

他の対象画像の結果も合わせて結果を評価すると、誤差にして、回転角度 2° 以内、距離 3 画素以内であった。理論値、実測値ともに、整数値で結果を求めたため、この程度の誤差となった。また、回転角度の大きさに比例して誤差が大きくなることはなく、回転角度に依存しないマッチングが可能となった。

3.3 回転と遮蔽双方に対する評価

次に回転と遮蔽双方に対する評価を行った。対象画像を上下左右から意図的に遮蔽した画像を新たな対象画像として複数用意し、遮蔽されていない場合の値との誤差の平均値を求めた。

一例として、先ほどの対象画像(図 7)に対して、上下左右から 50% 遮蔽を施した画像を以下に示す(図 14- 図 17)。

これらの対象画像に対して、先ほどの 10° 回転させたテンプレート画像(図 7)についてマッチング処理を行った。結果を以下に示す(図 18- 図 21)。マッチング結果において、遮蔽部分に関しては、探索すべき部分画像の位置以外の座標に対応し、一方、非遮蔽部分に対応するブロックに関しては、正しい位置に対応している。遮蔽ブロックの投票はばらつくが、非遮蔽ブロックの投票が一点に集中し、最大累積投票数が正しいパラメータとなることが分かる。

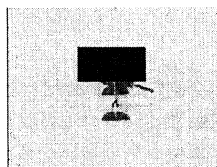


図 14: 上部 50%遮蔽



図 15: 下部 50%遮蔽

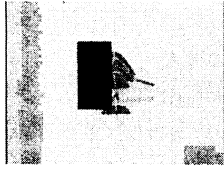


図 16: 左部 50%遮蔽

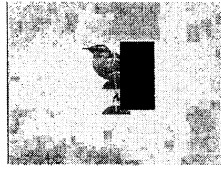


図 17: 右部 50%遮蔽

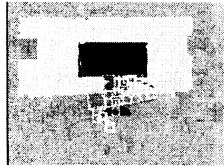


図 18: マッチング結果 (上部 50%遮蔽)

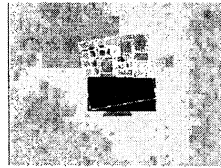


図 19: マッチング結果 (下部 50%遮蔽)

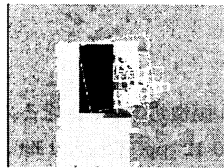


図 20: マッチング結果 (左部 50%遮蔽)

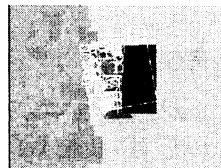


図 21: マッチング結果 (右部 50%遮蔽)

これらの遮蔽を施した対象画像に対し、テンプレート画像の回転角度を 10° 、 20° 、 45° とし、照会を行った。遮蔽されていない状態で照会させたパラメータ (θ, B, C) を正しく照会された場所とし、そこを基準に照会結果の誤差の平均を求めた。結果を表 2 に示す。なお、誤差の尺度として Δd を以下の式で定義する。

$$\Delta d = \sqrt{\{\Delta B\}^2 + \{\Delta C\}^2} \quad (12)$$

表 2: 回転と遮蔽に対する正しい位置との誤差の平均

回転角度 遮蔽率 (%)	10° 回転		20° 回転		45° 回転	
	$\Delta\theta$ (deg)	Δd (pix)	$\Delta\theta$ (deg)	Δd (pix)	$\Delta\theta$ (deg)	Δd (pix)
50	0.50	0.90	1.25	1.80	1.25	1.82
60	0.50	0.90	1.25	1.80	1.25	1.82
70	0.25	0.35	1.75	2.36	1.25	2.02
80	0.15	1.41	2.25	3.54	2.50	3.61

対象画像 1 枚について、上下左右から遮蔽を施したものの 4 枚、計 20 枚の画像について、誤差の平均値

を求めた。遮蔽率が大きくなるに従って、誤差のほうも大きくなる。また、マッチングの成功確率に関して、60%の遮蔽に関しては、100%正確なマッチングができたが、遮蔽率 70%に対して約 7 割、遮蔽率 80%に対しては、約 5 割程度の結果だった。この原因として考えられることは、遮蔽によって、投票が正しい座標に集中しない点が考えられる。遮蔽領域が大きくなると、遮蔽領域に対応すべきブロックの影響により、遮蔽されていないブロックの累積投票数と同等の累積投票数が誤った座標に集中し、正しい座標を抽出することが困難となるのである。よって、遮蔽領域が大きくても安定に結果を求めるためには、ほぼ同じ投票数を持つ座標群から、正しい座標を抽出するアルゴリズムを検討する必要がある。

3.4 安定性に対する評価

最後にテンプレート画像を可変ブロックに分割したことで得られる安定性に対して評価を行った。評価の基準として、ヘルムート変換に基づく投票空間内の投票数に着目して、最大累積投票数と第 2 位累積投票数の差の相対値を比較した。相対値が高いほど、安定してマッチングが行えたといえる。この相対値を求める式を以下に定義する。

$$\text{第 2 位候補解との差の相対値} = \frac{\text{最大累積投票数} - \text{第 2 位累積投票数}}{\text{ブロックテンプレートの個数}} \quad (13)$$

テンプレート画像において、提案手法 (可変ブロック分割及び RGB ヒストグラムと変換表色系ヒストグラムを利用) と、可変ブロック分割で、RGB ヒストグラムのみを利用し変換表色系ヒストグラムを利用しない場合と、ブロックの大きさを固定した場合 (RGB ヒストグラムのみを利用) について比較を行った。結果を表 3 に示す。

表 3: マッチングに対する安定性の評価

可変ブロック分割 +変換表色系	可変ブロック 分割	固定ブロック 分割
0.079	0.055	0.026

以上の結果より、提案手法がブロックの大きさを固定に分割した場合に比べて、相対値が高く、安定

してマッチングを行えたといえる。また、変換表色系ヒストグラムを作成したことで、RGBヒストグラムのみを用いて比較した場合に比べて、より信頼性のある結果が得られた。

今回の提案手法において、ブロック分割の基準は、輝度分布に従うこととした。この基準に対しては、画像領域内のエッジや分散などの他の特徴に対しても有効であるか今後検証していく予定である。

4 まとめ

4.1 結論

本研究では、テンプレート画像の可変ブロック分割を用いたテンプレートマッチング手法を提案した。またブロック単位のマッチングにおいては、ヒストグラム照合法を用いることで、回転に依存しない照合を可能にした。ヘルマート変換に基づく投票処理より、投票空間内における投票結果を相対的に評価し、頑強な認識を実現した。実験の結果、提案手法が遮蔽と回転に対して頑強であることを検証した。また、ブロックの大きさを可変にすることで、ブロックのばらつきを抑えることができ、より安定したマッチング結果を得ることができた。

4.2 今後の課題

以下に今後の課題を列挙する。

- 複雑な条件下での実験
本研究の実験では、単純な背景の前に一つの物体が存在するという、非常に簡単な画像を用いた。実利用を目的とした場合、より複雑で実環境に近い条件下での実験を行う必要がある。
- 被写体の拡大・縮小への対応
本研究では、テンプレート画像の面積の拡大縮小を考慮に入れていない。実際には、そのような状況は少なく、画像の拡大・縮小への対応が

求められる。

- ブロック相互位置関係の導入
ブロックの対応位置の候補を複数列挙し、そのブロックの周辺ブロックの位置との関連性を調べることで、対応位置候補の中からより正確な位置を求める手法を実現できればより信頼性のある照合が行えると考えられる。
- 他手法との比較
従来からの種々のテンプレートマッチング手法との比較を行い、どの点で優れているか、どの点で劣っているかを検討し、提案手法の向上に努めたい。

以上に示した課題を解決するために、多数の画像に対して実験を行い、検証し、解決していきたいと考えている。

参考文献

- [1] 加藤敦彦. グレースケール画像処理の動向とその応用. 電子技術, Vol. 1990-12, pp. 72-78, 1990.
- [2] 水谷栄二. グレースケールパターンマッチングを用いたFA用画像処理装置とその応用例. *O plus E*, Vol. 141, pp. 141-152, 1991.
- [3] 斎藤文彦. ブロック照合投票処理を用いた遮蔽に強い画像マッチング. 電子情報通信学会論文誌 (D-II), Vol. J84-D-II, No. 10, pp. 2270-2279, 2001.
- [4] 村瀬洋, V.V.Vinod. 局所色情報を用いた高速物体探索—アクティブ探索法—. 信学論, Vol. J81-D-II, No. 9, pp. 2035-2042, 1998.
- [5] Y. Ohta, T. Knade, and T. Sakai. Color information for region segmentation. *Computer Graphics and Image Processing*, Vol. 13, pp. 224-241, 1980.