正規化相関度に基づくブロック選択による画像テンプレート照合*

斉 藤 文 彦**

Image Template Matching by Selecting Block Areas Based on Normalized Correlation Rates

Fumihiko SAITOH

This paper proposed a method for image template matching that is robust to the occlusion of a target image area. A template image is separated into local block areas and the normalized correlation rates are calculated in all block areas. Only partial block areas that may be useful for matching are selected according to the thresholds for the normalized correlation rates in all block areas that are set through the template matching using the reference images. The experimental results show that the proposed method was robust to the occlusion of the target image in comparison with the conventional methods because it can search the target image area successfully even if the 90% of the target image area is occluded.

Key words: template matching, block matching, occlusion, normalized correlation

1. 緒 言

近年、多くの生産工程が画像処理技術によって自動化されつつある。工業用画像処理では、正規化相関によるテンプレート照合^{1)~3)}が、照明変動の影響を受けにくく、複雑なパラメータ類の設定が不要なことから、利用されることが多い⁴⁾。テンプレート照合は、テンプレート画像と類似した部分画像領域を対象画像内から探し出す処理であるが、例えば、並べられた部品群の中から目的とする部品を探し出すような場合、対象部品が他の部品の背景に隠れてしまうこともある。このような画像の隠蔽に対して、従来の正規化相関マッチングは、耐久性が低いことが指摘されている^{5),6)}。

本論文では、探索すべき部分画像領域の一部が隠蔽されている場合であっても、安定なテンプレート照合を実現する手法を提案する。部分画像領域が大幅に隠蔽された環境に対応するために、テンプレート画像をブロック領域に分割し、各ブロック単位に対象画像との相関度を求める。そして、相関度が低いブロックは、マッチング処理の対象外とすることによって、非隠蔽領域の情報を優先的に用いるテンプレート照合を可能とする。

2. 画像テンプレート照合

正規化相関マッチングは、濃度値の平均と分散に関して正規化が行われるため、画像全体の濃度変化の影響を受けにくいことが特長である^{2)~4)}。しかし、探索対象となる部分画像領域の隠蔽には弱く、特に濃度が極端に異なる物体によって遮蔽されている場合は、隠蔽領域が僅かであっても濃度情報に大きな影響が生じるため、マッチングに失敗する危険性が高くなる。そこで、隠蔽に頑強なテンプレート照合手法として、増分符号相関法が提案されている^{5),6)}。これは、隣接する画素間における濃度の増減符号にのみ着目したマッチング手法であり、画像全体に亘る均一な濃度変化だけでなく、局所的な濃度変化にも頑強であるという優れた特長を持つ。また、テンプレート画像とのマッチング状態が無相関な画像領域では、相関度の期待値が 0.5 と

Fig.1 Flow-chart of the proposed method

なるため、隠蔽された部分領域の影響を受けにくい。但し、マッチング状態が無相関であっても、その領域におけるマッチング結果は全体に影響するので、大幅な隠蔽に対しては、適用限界が発生すると考えられる。

3. 正規化相関度に基づくブロック選択テンプレート照合

3. 1 全体の流れ

提案するテンプレート照合手法の全体の流れを図 1 に示す。まず、テンプレート画像の登録過程では、サンプル画像内から矩形のテンプレート画像を設定し、複数のブロック領域に分割する。そして、複数の参照画像を用いて、各ブロック単位に正規化相関マッチングを行う。結果として得られた各ブロックに関する相関度データから、ブロック単位の相関度に関する閾値を設定する。

次に、テンプレート画像の探索過程では、各ブロック単位に対象画像内の各座標においてマッチングを行う。この場合、テンプレート画像の登録過程で各ブロック単位に設定した閾値以上の相関度が得られたブロックだけを選択し、これらのブロックにおける相関度の総和から、各座標におけるテンプレート画像とのマッチング率を算出する。つまり、テンプレート画像と探索対象画像間で、相関度が高いブロックだけがマッチングに

* 原稿受付 平成 13 年 2 月 19 日

** 正 会 員 岐阜大学工学部 (岐阜市柳戸 1-1)

Fig.2 Separation of template image into block areas

用いられ、相関度が低いブロックは無視される。例えば、隠蔽領域に対応するブロックでは相関度が低くなるため、これらのブロックはマッチングの対象外となる。従って、非隠蔽領域だけを用いてマッチングが実行されるため、隠蔽に強い探索性能が期待される。以下に、提案手法について、詳細に説明する。

3. 2 ブロックマッチング

まず、図2に示すように、テンプレート画像を $M \times N$ 個の矩形ブロックに分割する。各ブロックのサイズは $P \times P$ 画素とする。テンプレート画像と探索対象画像間のマッチングは、各ブロック単位に行う。この場合、画像の濃度変化の影響を受けにくいように、マッチングアルゴリズムには、正規化相関を用いる。すなわち、探索対象画像 I 内のある座標 (x, y) において、テンプレート画像 T と照合を行った場合、あるブロック $B(m, n)$ ($0 \leq m < M-1, 0 \leq n < N-1$) に関する相関度 $C_B(x, y, m, n)$ は、次式によって求められる。

$$C_B(x, y, m, n) = \frac{\sum_{i=0}^{P-1} \sum_{j=0}^{P-1} \{I(x+b_m+j, y+b_n+i) - \mu_I(x+b_m, y+b_n)\} \cdot \{T(b_m+j, b_n+i) - \mu_T(m, n)\}}{\sqrt{\sum_{i=0}^{P-1} \sum_{j=0}^{P-1} \{I(x+b_m+j, y+b_n+i) - \mu_I(x+b_m, y+b_n)\}^2} \cdot \sum_{i=0}^{P-1} \sum_{j=0}^{P-1} \{T(b_m+j, b_n+i) - \mu_T(m, n)\}^2}} \quad (1)$$

但し、

$$\mu_I(x+b_m, y+b_n) = \frac{1}{P^2} \sum_{i=0}^{P-1} \sum_{j=0}^{P-1} I(x+b_m+j, y+b_n+i) \quad (2)$$

$$\mu_T(m, n) = \frac{1}{P^2} \sum_{i=0}^{P-1} \sum_{j=0}^{P-1} T(b_m+j, b_n+i) \quad (3)$$

$$b_m = P \cdot m \quad (4)$$

$$b_n = P \cdot n \quad (5)$$

である。もし、探索すべき部分画像領域がまったく隠蔽されていない場合、すべてのブロックに関して、上式による相関度は高い値となる。一方、一部が隠蔽されている場合、その隠蔽領域に対応するブロックに関しては、相関度は一般的に低くなる。

3. 3 ブロック単位の閾値設定

次に、各ブロックにおける相関度によって、そのブロックの選択と非選択を決定するために、ブロック単位に相関度に関する閾値を設定する。閾値の設定方法としては、すべてのブロックに関して、一定値とする方法が簡便である。しかし、閾値が一定の場合、隠蔽領域にもかかわらずブロックが選択されたり、逆に、非隠蔽領域であっても、僅かなノイズ等によって、ブロックが選択されないような場合が起こりうる。そこで、提案手法では、各ブロック単位に固有の閾値を設定することにする。

図3に示すように、テンプレート画像を探索する際に、通常

Fig.3 Threshold setting to select block areas for matching

用いられるような対象画像を k 枚準備して、これらを参照画像とする。参照画像には、隠蔽がなく、探索すべき部分画像領域の位置が各々異なるものを用いる。次に、参照画像を用いてテンプレート照合を行い、目的とする部分画像領域が発見された時点における各ブロック単位の相関度を求める。すべての参照画像について探索処理を実行すると、各ブロックに関して、 k 種類の相関度が得られる。これらの相関度の中から最小値を選び、各ブロックに関する閾値とする。参照画像は、通常の探索対象画像であるので、各ブロックについて、最も相関度が低かった場合のマッチング結果を統合して、すべてのブロックに関する閾値が設定されることになる。位置変化、光学系の歪み、画像処理システムのノイズ、軽微な照明変動等に代表される正常な条件下における外乱の影響から、参照画像毎に部分画像領域が発見された場合の各ブロックに関する相関度は変化する。参照画像を複数枚用いることによって、これらの外乱を受けた参照画像の中から、各ブロックについて、最も相関度が低かった場合の結果を得ることができる。以上の方法によって各ブロックの閾値を設定した場合、正常な条件下におけるマッチングでは、対象画像領域の位置において、ほぼすべてのブロックが選択され、一方、隠蔽等の例外的な外乱が発生した場合は、その領域に対応するブロックは選択されない可能性が高くなる。

3. 4 正規化相関度に基づくブロック選択

次に、実際の探索対象画像を用いてテンプレート照合を行う。このテンプレート画像の探索処理では、各ブロック単位に相関度を求め、相関度が3.2で設定した各ブロックの閾値以上となる場合だけ、その相関度がマッチング処理に用いられる。従って、ブロック単位の閾値を用い、探索対象画像の各座標においてテンプレート照合を行うと、座標ごとにマッチング処理に用いられるブロックが動的に選択されることになる。この場合、探索対象画像内の座標 (x, y) におけるマッチング率 $C(x, y)$ は、次式によって求められる。

$$C(x, y) = \frac{1}{M \cdot N} \sum_{m, n \in S_B} C_B(x, y, m, n) \quad (6)$$

ここで、 S_B は、座標 (x, y) において各ブロックについてマッチングを行った結果、相関度が閾値以上であったブロック全体を表す。探索対象画像内のすべての座標について、上式によるマッチングを行い、最大マッチング率が得られた座標を目的とする

Fig.4 Experimental images

Fig.5 Ranges of normalized correlation rates in all block areas

Fig.6 Results of template matching by occluded rates

部分画像領域の位置とする。

4. 実験と結果

4. 1 実験条件

提案手法による実験を行った。図 4 に示すように、自然な風景画像として(a)river, 工業分野におけるテンプレート照合でよく対象となるプリント基板の画像(b)print を用い、各々の画像の中から、同図に示したテンプレート画像を探し出す。テンプレート画像のサイズは、各々、 80×80 画素、 80×64 画素である。各ブロックのサイズは 8×8 画素、探索対象画像は 256×240 画素である。なお、ブロック単位の閾値設定のために用いる参照画像および探索対象画像は、機械式ステージを用いてカメラに対して xy 方向に平行移動させた各位置において撮影した画像を用いた。従って、カメラに対する位置変化やノイズ等の影響から、画像データは撮影のたびに变化している。

4. 2 ブロック単位の閾値設定

各ブロックについて、3. 3 で述べた方法によって、ブロック選択のための閾値を設定した。具体的には、(a)river および (b)print の各画像について、 $k=100$ 枚の参照画像を用いて、テンプレート照合を行った。そして、各々のブロックについて、得られた 100 個の相関度の最小値を閾値として設定した。図 5 は、各ブロックに関して、100 個の相関度の最小値および平均値を求め、次に、すべてのブロックに関するこれらの最小値および平

均値の範囲を表したものである。画像の位置変化によっては、探索すべき対象画像領域は、視覚的にはほとんど変化しない。しかし、実際には、位置ずれによる量子化誤差、ノイズ等の影響から、各々の参照画像によって、各ブロックにおける相関度が変化していることがわかる。

4. 3 隠蔽に対する耐久性

4. 2 で設定したブロック単位の閾値を用い、実際の探索対象画像を用いてテンプレート照合を行った。隠蔽に対する耐久性を評価するために、目的とする部分画像領域を障害物によって 10% 刻みに遮蔽して、正しい探索が実行されるか否かを調べた。結果は、各画像に関して、90% までのすべての遮蔽率で正しく部分画像領域を発見した。図 6 は、遮蔽率が 20%, 50%, 80% の場合に部分画像領域を探索した例を示す。これらの結果から、提案手法は、隠蔽に対して優れた頑強性を持つと言える。

4. 4 ブロックの選択状況

上記の実験において、部分画像領域が発見された時点で、マッチングに用いられたブロック、すなわち、相関度が 4. 2 で設定したブロック単位の閾値以上の値となり、選択されたブロックを図 7 の白領域によって示す。隠蔽領域の境界部分で若干のノイズはあるが、各遮蔽率について、非隠蔽領域に対応するブロックがほぼ正しく選択され、逆に隠蔽領域に対応するブロックは選択されていないことがわかる。これらの結果から、ブロック単位の閾値設定法が効果的に機能していると言える。

Fig.7 Selected blocks when the target image areas were found

Fig.9 Ranges for successful matching by block sizes

Fig.8 Distributions of matching rates

4. 5 マッチング率の分布

4. 3で述べたように、高い遮蔽率の場合であっても、正しく部分画像領域が探索された。ところで、4. 4で述べたように、遮蔽率の増加につれて、部分画像領域の探索時点において、相関度が高いブロックは、非隠蔽領域に対応するブロックに限定されるため、マッチングに用いられるブロック数は減少する。提案手法では、探索対象画像内の各座標において、相関度が閾値以上のブロックが動的に選択されるため、探索に有効なブロックだけを用了マッチングが行われる。しかし、遮蔽率が小さい方が、すなわち、選択されるブロック数が多い方が、マッチングの信頼性は高いと考えられる。つまり、4. 3では、遮蔽率が高い場合であっても、テンプレート照合は正しく実行されたが、マッチングに用いられるブロック数の減少によって、テンプレート照合の信頼性は低下している可能性がある。

そこで、隠蔽の影響を評価するために、各遮蔽率について、探索された部分画像領域の位置周辺におけるマッチング率の分布を求めてみた。結果を図8に示す。遮蔽率の増加に従って、正しい部分画像領域の位置を示すピークの周辺に若干のノイズが見られるが、ピークが明確に保持されていることから、マッチングの安全マージンはかなり高いと考えられる。

4. 6 ブロックサイズの検討

以上の実験では、ブロックサイズを8×8画素に設定した。ブロックサイズを小さくした場合、マッチングに用いられるブロック数は増加するが、ブロック内の画素数の減少によって、ブロック単位のマッチングの信頼性は低下すると考えられる。逆に、ブロックサイズを大きくした場合、ブロック内の画素数の増加によって、ブロックマッチングの信頼性は向上するが、ブロック数が減少するため、遮蔽率が高い場合は、ごく一部のブロックしか選択されないような状況が生じる。ここでは、ブロックサイズの影響を評価するため、4×4、8×8、16×16画素の各ブロックサイズについて、テンプレート照合の実験を行った。

図9は、各ブロックサイズについて、正しく部分画像領域が

探索できた遮蔽率の範囲を示している。ブロックサイズによらず、80%以上という高い遮蔽率まで探索能力が保持されているが、8×8画素の場合に最も良好な結果が得られた。図10は、遮蔽率が80%の場合の各ブロックサイズによるマッチング率の分布を表している。いずれのブロックサイズの場合でも、探索位置におけるピークが明確であることがわかる。また、図11は、遮蔽率が80%の場合に、各々のブロックサイズについて、探索位置において選択されたブロックを示している。ブロックサイズが4×4画素の場合は、ブロック単位のマッチング精度が不十分な場合があり、隠蔽領域と非隠蔽領域を分離するブロック選択状況に若干のノイズが発生している。一方、ブロックサイズが8×8および16×16画素の場合は、隠蔽領域に対応するブロックが選択されていないことから、ブロック単位のマッチングの安定性が高いことがわかる。但し、ブロックサイズが16×16画素の場合は、僅か2、3個のブロックしか選択されておらず、マッチングに利用されている総合的な領域サイズは、4×4あるいは8×8画素の場合の方が広いと言える。

ブロックサイズとブロック数は、マッチングの信頼性に関してトレードオフの関係にあると言える。また、テンプレート画像のサイズや画像パターンによって、最適なブロックサイズが変化する可能性もある。今回の実験では、ブロックサイズの影響は比較的小さかったが、最も高い遮蔽率まで探索が行われたことから、8×8画素程度が適当であるという結果が得られた。

4. 7 従来手法との比較

従来手法として、正規化相関マッチング(NCM: Normalized Correlation Matching)および増分符号相関法(ISC: Incremental Sign Correlation)を用いてテンプレート照合実験を行った。図12は、提案手法(SBM: Selected Block Matching)も含めて、遮蔽率が80%の場合の各手法による探索結果を示す。NCMおよびISCでは、正しい探索が行われなかった。また、図13は、これらの従来手法によって、正しい探索結果が得られた遮蔽率の範囲を示す。図9に示した提案手法による結果と比較すると、NCMは、隠蔽

Fig.10 Distributions of matching rates by block size (occluded rate=80%)

Fig.11 Selected blocks by block size (occluded rate=80%)

Fig.12 A result of template matching (occluded rate=80%)

に対して耐久性が低いことがわかる。一方、ISCは、提案手法と比較して、限界遮蔽率が僅かに低い、優れた性能を持つことがわかる。更に、図14は、遮蔽率が80%の場合の従来手法によるマッチング率の分布を示す。NCMでは、部分画像領域の位置を示すピークはほとんど消滅している。また、ISCでは、ピークは確認できるが、周辺のノイズ成分が大きく、これが誤マッチングの原因と考えられる。これらに対して、提案手法は、図8の遮蔽率が80%の場合に示したように、ピークが明確で、しかもノイズ成分も少ないことから、隠蔽に対して信頼性が高いと考えられる。

5. 結 論

目的とする部分画像領域の一部隠蔽に対して、信頼性の高いテンプレート照合を実現する手法を提案した。提案手法では、テンプレート画像をブロック領域に分割し、各ブロック単位に相関度を求める。そして、各ブロック単位に設定した閾値に従って、マッチングに有効なブロックだけを選択してテンプレート照合を行う。実験の結果、次の事項がわかった。

- (1) 90%の遮蔽率まで正しい探索が行われ、隠蔽に対して優れた頑強性を持つことがわかった。
- (2) ブロック単位の閾値設定によるブロック選択処理が有効に

Image	Block size	Occluded rate (%)									
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
(a)river	NCM	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	ISC	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
(a)print	NCM	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	ISC	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

Fig.13 Ranges for successful matching by the conventional methods

Fig.14 Distributions of matching rates by the conventional methods (occluded rate=80%)

働いていることがわかった。

- (3) ブロックサイズは、8x8画素が最適であったが、4x4、16x16画素の場合も隠蔽に対して優れた性能が得られた。
- (4) 正規化相関マッチングおよび増分符号相関法と比較して、隠蔽に対して優れた頑強性が得られた。

参 考 文 献

- 1) 秦 清治：“ロボットビジョンの産業への応用”，日本ロボット学会誌，10, 2 (1992) 47.
- 2) D.I.Barnea, and H.F.Silverman, “A class of algorithms for fast digital image registration,” IEEE Trans. Comput., C-21 (1972) 179.
- 3) W.M.Silver, “Normalized correlation search in alignment, gauging, and inspection,” SPIE, 755 (1987) 23.
- 4) 水谷栄二，“グレースケールパターンマッチングを用いたF A用画像処理装置とその応用例,” O plus E, 141 (1991) 141.
- 5) 村瀬一朗，金子俊一，五十嵐悟，“増分符号相関によるロバスト画像照合,” 電子情報通信学会論文誌 (D-II), J83-D-II, 5 (2000) 1323.
- 6) 村瀬一朗，金子俊一，五十嵐悟，“増分符号相関による画像照合,” 精密工学会誌，66, 2 (2000) 261.