

順位相関係数に基づくロバスト画像照合法

北海道大学工学部 ○流郷 達人 金子俊一 五十嵐 悟
日立製作所 生産技術研究所 宮本 敦

要旨

ロバスト画像照合法である順位相関係数と標本化順位相関を提案する。順位相関係数は明度列を順位列に変換して照合を行っているために影などによる照明変化に対してロバストな手法である。標本化順位相関はテンプレート内に標本点を決め標本点を基準に順位相関係数を計算しているため順位相関係数の特性を残したまま他の物体による遮蔽に対してもロバスト性がある手法である。論文では、これらのロバスト性を実験によって示す。

1 はじめに

テンプレート（以下、TP）画像照合は画像理解やパターン認識の分野における最も基本的な技術の一つであり、従来から様々な手法が提案されてきた。画像における明度情報に直接依存する手法として正規化相関、残差2乗和などがある。最近では実環境において多く発生する照明不良、遮蔽、背景変化などの不良条件に対処するためのロバスト性の高い照合法として、増分符号相関[1]、選択的正規化相関[2]、方向符号照合[3]なども提案されている。

本論文では、順位統計量の画像照合問題への適用について考察する。具体的には Spearman の順位相関を拡張した照合判別のための評価量を導入する。これは実世界における画像照合問題に特有の照明変化に起因する明度変化やハイライト、他の対象物による遮蔽などの不良設定条件に対処することを目的としている。単純な順位相関を用いる手法と標本化順位相関に基づく手法の双方について検討する。

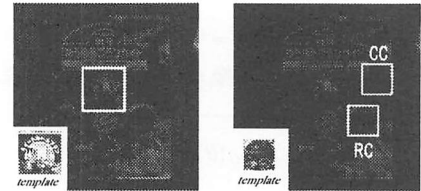
2 順位相関係数による画像照合

2.1 順位相関係数

TP 画像及び対象画像のそれぞれを、1次元の明度列 $F = \{f_n\}_{n=1}^N$ 、 $G = \{g_n\}_{n=1}^N$ とする。それぞれの系列における個々の明度の順位列を $S^F = \{s_n\}_{n=1}^N$ 、 $S^G = \{s'_n\}_{n=1}^N$ とし N は TP 画像の総画素数である。すなわち、明度（画素） f_n の順位 s_n は次式で定義される自然数となる。

$$s_n = \left| \{i \mid f_i < f_n\} \right| + \left| \{i \mid f_i = f_n \cap i < n\} \right| \quad (1)$$

双方の画像の順位列 S^F と S^G が得られた後に、両リスト間の類似度を求めなければならない。標本列の順位に基づいて、その分布の恒等性検定の問題はノンパラメトリック統計学において主に検討されてきた。Wilcoxon 検定などが有名である。また、統計的な独立性検定の問題としては、いくつかの順位相関係数が用いられてきた[4]。標本列の期待値の相違に関する、Wilcoxon 統計量は併合標本列における元標本列の順位の総和であり、その値に対して有意性検定を行う。本論文で扱う標本列は環境内の不良条件によって、例えば平均明度がかなり異なる標本画像であり、そのような平均明度の相違に鈍感で、かつ本質的なテクスチャの相違に敏感である統計量を必要とする。従って、Wilcoxon 検定などを直接用いることは困難である。従って本論文では、Spearman の順位相



(a) TP(70 × 70) (b) TP(50 × 50)
図 1: 照明条件の異なる画像照合の例

関を用いて類似性を評価する。ただし、上に述べたものを含めた他のアプローチについても今後画像照合への効果的な利用を検討していく予定である。

Spearman の順位相関係数は直接標本列を扱うのではなく、それらから求められた順位列に基づいて次式で定義される[4]。

$$r = 1 - \frac{6 \sum_{n=1}^N (s_n - s'_n)^2}{N(N^2 - 1)} \quad (2)$$

これは系列 S^F 及び S^G の類似度を評価する関数と考えることができる。すなわち、2つの明度列が互いに相似であれば、相関値も高い値 ($r_{sup} = 1$) となり、相似でなければ低い値 ($r_{inf} = -1$) となり、 $-1 \leq r \leq 1$ が成り立つ。順位相関係数は明度差を反映せずに計算される。言い方をかえれば、順位の隣接する画素の明度差は常に(強制的に) 1とし、明度値自体の影響を低減していると考えられる。

2.2 順位相関係数を用いた照合実験

ここでは、全体的な明度変化が起こっている、すなわち照明条件が異なっている画像を用いて照合実験を行った。

図1の(a)及び(b)では照明の強さを変化させ全体的にかけがえができた状態を想定した。対象画像サイズは 300×300 である。TP 画像と照合結果を図1に示す。

全体的に画像を暗くしたりハイライトになっている画像においても順位相関では照合に成功した。

3 標本化順位相関による画像照合

3.1 標本化順位相関

前節で導入した順位相関係数は照合すべき画像全体にわたる順位の一一致度合いの評価に基づいている。

照明変動などにはロバストであるが、遮蔽やハイライトなどのように TP 画像の一部が大きく変化する場合にはロバスト性は高くない。本節では標準化することによって更に大きなロバスト性を得るとともに、計算時間コストの低減を図るための照手法を提案する。

K 個の適当な標本点を $P = \{p_k = (x_k, y_k)\}_{k=1}^K$ 、個々の標本点を中心とする画素数 L の近傍群の集合を $C = \{c_k\}$ ($|c_k| = L$) とし、これらをサブ TP (以下、STP) と呼ぶ。例えば、大きさ 3×3 の 8 隣接近傍では $c_k = \{(x, y) \mid x_k - 1 \leq x \leq x_k + 1, y_k - 1 \leq y \leq y_k + 1\}$ 、 $L = 9$ となる。

近傍 c_k 内の画素を 1 次元化して $\{f_{ki}\}_{i=1}^L$ と表す。画素 f_{ki} の近傍領域 c_k 内における順位を s_{ki} とする。対象画像 G の画素についても同様の標本点近傍における標本画素の順位を s'_{ki} と定義する。近傍 c_k 内で定義される TP 画像と対象画像との局所的な順位相関値 w_k を次式で定義する。

$$w_k = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^L (s_{ki} - s'_{ki})^2}{L(L^2 - 1)} \quad (3)$$

w_k は明度変化に対するロバスト性をもつ。すなわち明度の比較から求められる順位 (順序) に基づく照合評価量であるので、照明変動や陰影などに起因する明度変化が対象画像に生じた場合にも順位相関値は保存される。順位値を変換された明度値と考えれば、順位相関は明度差を常に 1 に規格化して算出された明度相関と考えることもできる。 $-1 \leq w_k \leq 1$ であるので、その補数は $0 \leq 1 - w_k \leq 2$ となり、近傍内の明度群どうしの相違度とみなすことができ小さいほど違いが少ない。例えばある近傍だけを考え、 $F = \{5, 8, 8, 3, 7, 9, 1, 2, 10\}$ 、 $G = \{4, 9, 8, 2, 5, 7, 1, 1, 8\}$ とするとき、それぞれの順位列は $\{4, 6, 7, 3, 5, 8, 1, 2, 9\}$ 、 $\{4, 9, 7, 3, 5, 6, 1, 2, 8\}$ となり、 $w = 0.93$ 、 $1 - w = 0.07$ となる。順位は昇順に従った。

各相違度は空間的に標準化して算出し、遮蔽などの不良状態にも対処する。これらの局所的な相違度を全標本点にわたって評価することによって画像どうしの照合評価値とする。全相違度を総合するために従来は最小 2 乗平均に基づいて平均或は総和を最小化する方式が多く用いられてきた。しかしながらこの方式では想定するノイズとは異なる分布特性をもつような大きな例外ノイズの混入に対して容易に影響され判定を誤り易いことが知られている。本論文ではこのような例外値の影響を抑えながらしかもある程度の精度を保持するために、次のような最小 2 乗メジアンに基づく評価方式を採用する [5]。すなわち、全標本点ごとの相違度にわたる中央値のみに注目し、その値を最小とする対象画像を最適と判定するものである。

$$W = \text{med}_k \{(1 - w_k)^2\} \quad (4)$$

この W を標準化順位相関 (Sampled rank correlation: SRC) と呼ぶ。この評価関数を最小化することは、少なくとも過半数 $K/2$ 以上の相違度の値をこれより低く抑えることに相当しており、適当な k を選ぶことにより残りの (評価していない) 標本点において相違

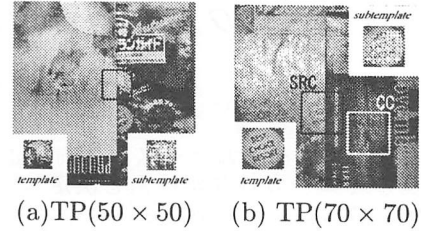


図 2: 遮蔽を含む画像照合の実例

度が大きく値を変化させる場合にも正しい判定を行うことが期待できる。照明条件などを制御できない実環境での画像照合問題においては、他の遮蔽物によって隠されている場合や部分的な陰影やハイライトによって明度変化する場合が多く、このような不良条件に対しても性能を落とさずに照合することが可能となる。

3.2 標準化順位相関を用いた実験

ここでは見つけた対象物が遮蔽されている状態での照合実験を行った。

図 2(b) では遮蔽とさらにストロボによるハイライトの状態での標準化順位相関 (SRC) と正規化相関 (CC) の実験結果を示した。対象画像のサイズは 300×300 である。

標準化順位相関では遮蔽があってもまた、さらにハイライトになっている状態でも TP を探し出すのに成功している。しかし標本点の数、サブ TP のサイズによって大きく計算時間が左右される。

4 まとめ

順位相関係数及び標準化順位相関に基づく明度変動や遮蔽にロバストな照合法を提案した。また、実験により順位相関係数では明度変化に対しロバスト性があることを示し、標準化順位相関では遮蔽に対するロバスト性の可能性について見通しを得た。

今後の課題として実応用を目指した照合時間の短縮や安定したロバスト画像照合のための標本点の選択方法の決定である。

参考文献

- [1] 村瀬一朗, 金子俊一, 五十嵐悟: 増分符号相関法によるロバスト画像照合, 信学論 (D-II), vol.83-D-II, no.5, pp.1323-1331, 2000.
- [2] 佐藤雄隆, 金子俊一, 五十嵐悟: 選択的正規化相関によるロバスト画像照合, 電気学会論文誌, vol.C, no.4, pp.800-807, 2001.
- [3] F.Ullah, S.Kaneko, S.Igarashi: Orientation Code Matching For Robust Object Search, Trans. IE-ICE on Inf. & Syst., vol.E84-D, no.8, 2001. (in press)
- [4] M.Kendall and J.D.Gibbons: Rank Correlation Methods, Edward Arnold, 1990.
- [5] 乾健太郎, 金子俊一, 五十嵐悟: LMedS クラスタリングによるロバスト直線あてはめ, 電子情報通信学会論文誌, vol.84-D-II, no.1, pp.48-55, 2001.