

2次元物体の柔らかな画像マッチングの研究

WAKAHARA, Toru / 若原, 徹

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

科学研究費助成事業 研究成果報告書

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

4

(発行年 / Year)

2014-05

平成 26 年 5 月 15 日現在

機関番号：32675

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500225

研究課題名(和文) 2次元物体の柔らかな画像マッチングの研究

研究課題名(英文) Research on flexible image matching of two dimensional object

研究代表者

若原 徹 (WAKAHARA, Toru)

法政大学・情報科学部・教授

研究者番号：40339510

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,700,000円、(間接経費) 510,000円

研究成果の概要(和文)：1. KLダイバージェンスをマッチング尺度としてアフィン変換耐性のある新たな画像マッチング手法を考案した。まず濃淡画像を2次元確率分布として表現し、次に2つの2次元確率分布間のKLダイバージェンスを最小化する最適アフィン変換の非線形最適化問題として定式化し、最後に最適アフィン変換成分の効率的な反復解法を示した。

2. 処理時間の短縮が課題となっていたGAT相関法において、変数分離およびテーブル参照を用いて計算量を大幅に削減する高速化GAT相関法を考案した。これにより、k-最近傍法との組合せによる強力な画像マッチングの実装が可能となった。手書き数字認識に適用し、世界最高水準の認識精度を達成した。

研究成果の概要(英文)：1. A new, affine-invariant image matching technique via KL (Kullback-Leibler) divergence minimization was proposed. First, we represented a grayscale image as a probability distribution. Second, we introduced KL divergence between an affine-transformed input image and a template using their corresponding probability distributions. Finally, we determined optimal affine parameters that minimize KL divergence using an iterative method.

2. A drastic acceleration of GAT correlation to realize distortion-tolerant image matching with far less computational burden was proposed. The key ideas were separation of variables and generation of lookup tables in the original GAT computational model. A powerful combination of k-NN classification and accelerated GAT correlation techniques achieved the state-of-the-art recognition accuracy in handwritten numeral recognition.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学、知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：パターン認識 変形耐性画像マッチング

様式 C-19、F-19、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 整った環境下で学習サンプルを多数収集できれば統計的パターン認識手法が極めて有力であるが、現実世界の画像パターン認識課題ではクラス毎の学習サンプル数が少なくてパターン収集条件も一定しない場合がほとんどである。こうした課題に対して、従来、最適なテンプレートと2次元物体の変形モデルを用いたモデルベースの変形耐性画像マッチング手法が検討されてきた。

(2) しかし、アフィン変換で記述できる線形変形に耐性を持つ画像マッチング手法は、変形成分が大きい場合に安定なマッチングが保証されなかった。また、非線形変形を吸収する画像マッチング手法は、非線形変形の範囲の規定が難しく、さらに変形耐性によりマッチング能力が向上する副作用としての過剰マッチングの抑制が未解決課題であった。

2. 研究の目的

(1) 2次元物体の線形画像マッチングでは、アフィン変換（回転、伸縮、せん断、平行移動）で記述できる線形変形を、各成分が大きとも、安定に吸収できる画像マッチング手法を構築すること、特に、回転、伸縮、せん断を表す 2×2 の行列と平行移動を表す2次元ベクトルを陽に決定できることを目的とする。

(2) 2次元物体の非線形画像マッチングでは、対象とする非線形変形の範囲を明確に規定すること、その非線形変形を吸収するためのマッチングアルゴリズムを構築すること、特に、非線形変形成分をパラメトリックに陽に決定できること、および過剰マッチングを抑制できることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 第一の方法として、アフィン変換で記述できる変形成分が大きとも安定に吸収できる画像マッチング手法を構築するため、マッチング尺度として正規化相互相関に加えてKLダイバージェンスなどの情報量基準、最適化手法としてGAT相関法や共役勾配法、非線形最小二乗法などを比較検討し、収束安定性およびマッチング精度の向上を果たす。

(2) 第二の方法として、非線形変形を吸収する2次元物体の画像マッチング手法を構築するため、まず2次元ワープ法とGAT/LAT法の結合により非線形変形を統一的に記述・分解する枠組みを提案し、有効性を検討する。

(3) 第三の方法として、「非線形変形＝局所領域での線形変形」と規定する新しい観点から、過剰マッチングを抑制しながら局所領域毎に線形画像マッチングを効率的に実行するパラメトリックな変形モデルを用いたPAT相関法を確立する。

4. 研究成果

(1) アフィン変換で記述できる広範囲の線形変形を吸収する画像マッチング手法として、新たにKLダイバージェンス最小化基準を取り上げた。まず、濃淡画像を2次元確率分布として表現して2枚の濃淡画像間のKLダイバージェンスを新たに定義し、次いで上記KLダイバージェンスを最小化するアフィン変換成分を求める非線形最適化問題を定式化し、最後にレーベンバーグ・マーカート法と新規提案の線形近似による反復解法を適用した。人工的にアフィン変換を加えた変形画像間のマッチング実験を行った結果、提案手法の線形近似による反復解法は、レーベンバーグ・マーカート法と比較して、アフィン変換変形耐性、過剰マッチングの抑制、処理時間のいずれにおいてもはるかに優れた性能を示した。これは汎用的かつ有力なアフィン不変画像マッチング手法の新規提案であり、極めて意義が大きい。

(2) アフィン変換で記述できない非線形変形を吸収する画像マッチング手法として、2次元ワープ法とGAT/LAT法の結合により変形ベクトル場を漸近展開する手法の検討を進めた。この手法では2次元ワープ法により変形ベクトル場が高精度に抽出できることを前提としているが、具体的実装とその最適化を行ったものの、非線形変形への対応能力が不十分であること、およびワープ範囲を広げると処理時間が膨大となること、が明らかとなった。

(3) 非線形変形を吸収する画像マッチング手法として、「非線形変形＝局所領域での線形変形」と規定する新しい観点から、部分と全体の正規化相互相関マッチングで非線形変形を吸収するPAT相関法を提案した。具体的に実装して手書き数字認識に適用した結果、従来のGAT相関法との直列適用により認識精度が大きく向上した。極めて有力かつ有望な手法であり、PAT相関法の定式化をさらに工夫してより高精度化すること、処理時間の短縮を図ること、などの課題が明らかとなった。

(4) 本研究の基礎となるGAT相関法は、2枚の濃淡画像間で正規化相互相関値を最大化する最適なアフィン変換成分を決定する際、① 1枚の画像の総画素数を N と記すと、準最適解を求めるための計算量が N の2乗オーダーとなる、② 準最適解を最適解に収束させるために反復解法を用いている、ために多くの処理時間がかかった。今回、GAT相関法の計算モデルの構造を詳細に分析することにより、上記①に対して、(a) 変数分離の手法により計算量が N の1乗オーダーとなる、(b) 定型計算をテーブル参照で置き換える、という高速化手段を考案した。この高速化GAT相関法は、従来のGAT相関法と比較すると、マッチング精度は維持したままで、処理時間を約20分の1に短縮できた。

(5) 画像マッチングでは、学習サンプル数が少なく統計的パターン認識手法が利用できない場合、学習サンプルを全数登録するk-最近傍法が有力である。その際、画像マッチングに変形耐性を持たせると認識能力が大きく向上すると期待される。変形耐性のない単純相関法、代表的な変形耐性マッチング手法である接距離法、および高速化GAT相関法によるk-最近傍法を手書き数字認識に適用した結果、登録サンプル数の大小に関わらず、高速化GAT相関法は明らかに認識率が高く、かつ処理時間は接距離法の約2分の1に抑制できることが確認できた。図1に、k-最近傍法での登録サンプル数と各手法での認識率の関係を示す。図2に、k-最近傍法での登録サンプル数と各手法での処理時間の関係を示す。ただし、Intel Xeon X5650 CPU @2.67GHz を使用した。

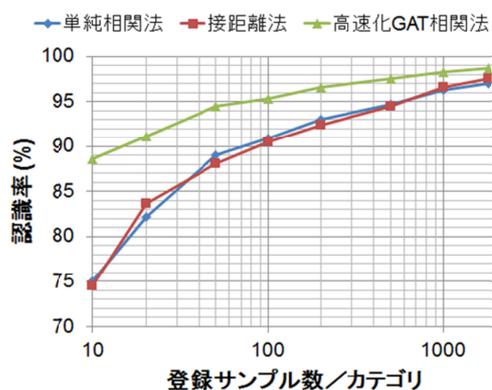


図1 登録サンプル数と認識率の関係

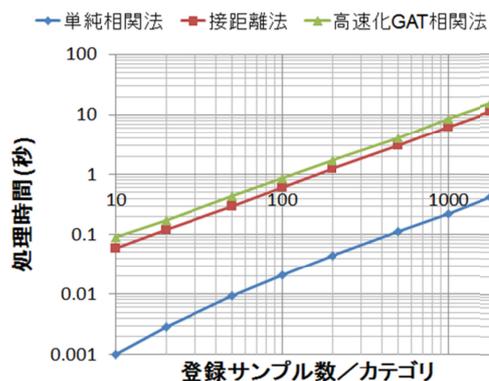


図2 登録サンプル数と処理時間の関係

(6) 非線形変形を吸収する新たな画像マッチング手法として、2次元射影変換成分を吸収できる汎用的な画像マッチング手法の定式化を行い、計算モデルの骨子を定めた。これをGPT(Global Projection Transformation)相関法と呼ぶこととした。基本アイデアは、2次元射影変換をアフィン変換と部分射影変換の積に等価的に分解した点にある。この分解により、GAT相関法の自然な拡張として2次元射影変換成分の計算モデルを構築できた。

(7) 研究成果は国際会議で発表し、広く社会に発信した。特に、上記(4)、(5)で述べた画期的な研究成果である高速化GAT相関法およびk-最近傍法との組合せによる高精度画像認識技術については権威ある海外ジャーナルに投稿して採録・掲載となった。海外からの閲覧およびダウンロード数も極めて多い。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

- ① Toru Wakahara and Yukihiro Yamashita, "k-NN classification of handwritten characters via accelerated GAT correlation," Pattern Recognition, vol. 47, no. 3, pp. 994-1001, Mar. 2014. 査読有.
DOI: 10.1016/j.patcog.2013.05.005
- ② Toru Wakahara and Yukihiro Yamashita, "Acceleration of GAT correlation for distortion-tolerant image matching," Proc. 21st International Conference on Pattern Recognition, pp. 746-749, Nov. 2012. 査読有
- ③ Toru Wakahara and Yukihiro Yamashita, "k-NN classification of handwritten characters via accelerated GAT correlation," Proc. 13th International Conference on Frontiers in Handwriting Recognition, pp. 143-148, Sept. 2012. 査読有.
DOI: 10.1109/ICFHR.2012.225
- ④ Toru Wakahara and Yukihiro Yamashita, "Affine-invariant recognition of handwritten characters via accelerated KL divergence minimization," Proc. 11th International Conference on Document Analysis and Recognition, pp. 1095-1099, Sept. 2011. 査読有.
DOI: 10.1109/ICDAR.2011.221

[学会発表] (計1件)

- ① 若原徹、山下幸彦、GPT 相関法による2D 射影変換に不変な画像マッチング、電子情報通信学会 パターン認識・メディア理解研究会、三重大学・2013年12月12日～13日。

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計0件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

若原 徹 (WAKAHARA, Toru)
法政大学・情報科学部・教授
研究者番号：40339510

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：