区分線形 2 次元ワープ法の提案

Piecewise Linear Two-Dimensional Warping

内田誠一　　迫江博昭
Seiichi UCHIDA　　Hiroaki SAKOE

九州大学大学院 システム情報科学研究科
Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University

1. はじめに　　筆者らはこれまでに単調連続性の条件下で純粋に非線形な 2 次元ワープを探索する動的計画 (DP) アルゴリズムを検討してきた [1,2]．この手法では高い変形追従能力を持つワープが実現される反面，計算量が画像サイズの指数オーダーとなる問題がある．本稿では，ワープの自由度を制限することによって計算量低減を図った手法として，区分線形 2 次元ワープ法を提案する．

2. 区分線形 2 次元ワープ　　$N \times N$ 画像$\boldsymbol{A} = \{a(i,j)\}$ の各行にあらかじめ選定された K 個の画素 $(i, P_k(i))$ $(k = 1,\ldots,K, P_{k-1}(i) < P_k(i))$ をピボット呼ぶ．ピボットの位置について，本稿では $P_1(i) = 1$, $P_K(i) = N$, $|P_k(i) - P_k(i-1)| \leq 1$ を仮定する．この時，第 k ピボット $(i, P_k(i))$ は$\boldsymbol{A}$上で一本の軌跡を成す (図 1左)．

ピボットをワープ関数 $x = x(i,j)$, $y = y(i,j)$ により $N \times N$ 画像$\boldsymbol{B} = \{b(x,y)\}$ 上に写像し，ピボット以外の画素については線形補間によりその写像先を決定すれば，$\boldsymbol{A}$の第 i 行は $K-2$ 個の屈曲点より成る折れ線として$\boldsymbol{B}$上に重ね合わせられる (図 1右)．この重ね合わせによる距離の画像全体での総和を最小化するワープを，$\boldsymbol{A}$,$\boldsymbol{B}$間の区分線形 2 次元ワープと定義する．よってワープの決定問題は，NK 個のピボットの$\boldsymbol{B}$上での像の最適化問題となる．

ワープに対する制約条件としては，単調連続性制約と整合窓制約を用いる．前者はピボット $(i, P_k(i))$ と $(i-1, P_k(i-1))$ の像が上下関係および近傍関係を保存し，ピボット $(i, P_k(i))$ と $(i, P_{k+1}(i))$ の像が左右関係を保存するための条件である．後者はワープによる座標の変化量を制限するための条件であり，これによりピボット軌跡形状がワープに反映される．なお両端のピボット $(k = 1, K)$ の像は画像$\boldsymbol{B}$の端点 $(y = 1, N)$ とする．以上の制約条件付き最適化問題は，文献 [1,2] の DP アルゴリズムを一部変更したもので解くことができる．

区分線形 2 次元ワープの変形追従能力は，$K = N$ とした極限として位置付けられる従来の 2 次元ワープ法 [1,2] に比べて低いが，対象に応じてピボットの位置や数を適切に設計すれば十分な精度が得られるものと期待される．

3. 計算量　　区分線形 2 次元ワープ問題を解く DP アルゴリズムの計算量は，ピボット数 K に関して指数オーダーとなるが，画像サイズ N に関しては多項式オーダーとなる．このため K が小さければ，現在の計算機能力でも十分厳密解を求めることができる．一方，K を大きくする必要がある場合は，ビームサーチなどの援用 [1,2,3] が必要となる．

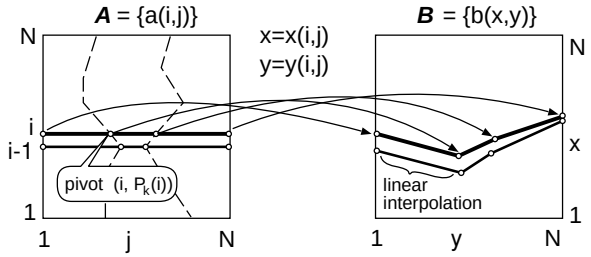

図 1: 区分線形 2 次元ワープ

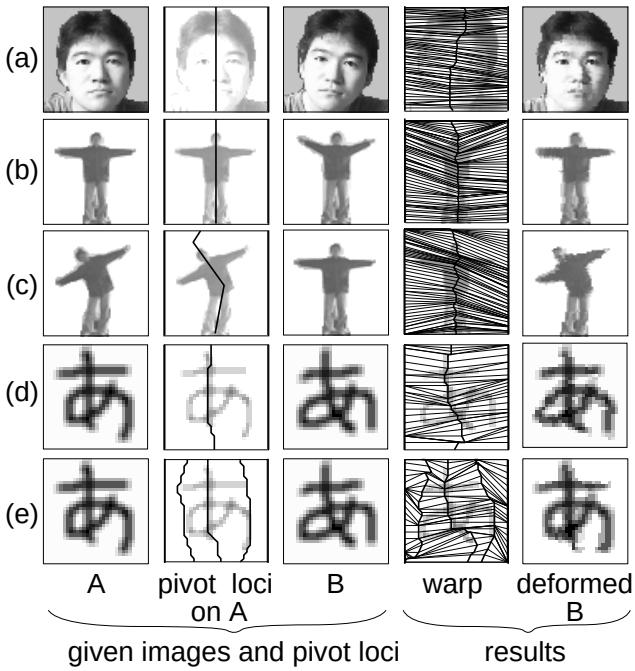

図 2: 区分線形 2 次元ワープの結果例 ((a) ~ (c) $N = 64$, $K = 3$; (d) $N = 32, K = 3$; (e) $N = 32, K = 5$)

4. 実験　　図 2に区分線形 2 次元ワープの結果例を示す．(a) ~ (c) ではワープによって 2 画像$\boldsymbol{A}$,$\boldsymbol{B}$が適切に整合されていることがわかる．一方，(d) のように変形が不十分な場合もあったが，(e) のようにピボット数を増やすことによって改善された．なお (e) はビームサーチを援用して得られた近似解である．

5. まとめ　　従来の単調連続 2 次元ワープ法に比べ大幅に計算量が少なくて済む，区分線形 2 次元ワープ法を提案した．また，実験を通してその有効性を確認した．

謝辞　　本研究の一部は，文部省科学技術研究費 (基盤研究 C(2), No.10680385) によった．

参考文献 [1] 内田, 迫江. 信学論, Vol.J81-D-II,No.6,1998. [2]S.Uchida and H.Sakoe. IEICE Trans. Inf.& Syst., Vol.E82-D, No.3, 1999. [3] 内田, 迫江. 信学総大, D-12-98, 3 1999.