区分線形な 2 次元ワープの提案と検討

内田誠一　　迫江博昭
(九州大学大学院 システム情報科学研究科)

1. はじめに　2 画像間の最大一致を与える 2 次元-2 次元写像を 2 次元ワープと呼ぶ．パターン認識の立場から見れば，2 次元ワープは画像の弾性マッチングであり，同時に画素をプリミティブとする構造解析でもある．筆者らは単調連続 2 次元ワープを検討してきたが [1,2]，高い変形追従能力を持つ反面，計算量が画像サイズの指数オーダーとなる問題があった．本稿では，ワープの変形追従能力を制限することで計算量低減を図り実用性を高めた手法として，区分線形 2 次元ワープを提案し，検討を行なう．

2. 区分線形 2 次元ワープ　区分線形 2 次元ワープは，図 1に示すように，$N \times N$ 画像$\boldsymbol{A} = \{a(i,j)\}$ の各行の像が $N \times N$ 画像$\boldsymbol{B} = \{b(x,y)\}$ 上で折れ線を成すように制限された 2 次元-2 次元写像 $x = x(i,j), y = y(i,j)$ である．$\boldsymbol{A}$の各行は，その上の $K(\leq N)$ 個の画素 (以下，ピボットと呼ぶ) の位置で折り曲げられ，$\boldsymbol{B}$上に重ね合わせられる．ピボット以外の画素は，ピボットの像の線形補間により，その像が決定される．ワープはこのように NK 個あるピボットの像で制御され，各行での重ね合わせによる距離を画像全体で最小化するように決定される．

ピボットは人間の介在によって事前に$\boldsymbol{A}$上に設定される．このとき列方向に連続的な K 本の軌跡を描けば，各行に K 個のピボットが設定される (図 1左)．ピボットはワープの基準点なので，この設定は対象に生じる変形を考慮して行なう必要がある．なお K 個のピボットうち 2 個は端点 $(j = 1, N)$ とする．

ピボットの像は，単調連続条件と整合窓条件により制約される．前者はピボットの上下関係および近傍関係をワープ後も保存するための条件であり，ワープに位相保存の性質を与える．後者はワープによる変形量を制限する条件であり，これにより事前に与えたピボット軌跡の形状がワープに反映される．両端のピボットの像は$\boldsymbol{B}$の端点 $(y = 1, N)$ とし，x 方向のみにワープするものとする．

3. アルゴリズムと計算量　上述の制約条件の下で最適な区分線形 2 次元ワープを決定する問題は，単調連続 2 次元ワープ決定問題を解く動的計画 (DP) アルゴリズム [1,2] を一部変更しピボット制御を組み込んだ形で解ける．その計算量は各行のピボット数 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．このためワープの変形特性の適当な近似により K を小さくできれば，現在の計算機能力でも厳密解を求めることができる．$K = N$ の場合として位置付けられる単調連続 2 次元ワープ法の計算量が N に関する指数オーダーであることを考えると，ワープを行方向に区分線形化したことにより大幅な計算量の低減が実現したと言える．K を小さくできない場合は，ビームサーチなどの組み込み [1,2,3] が必要となる．

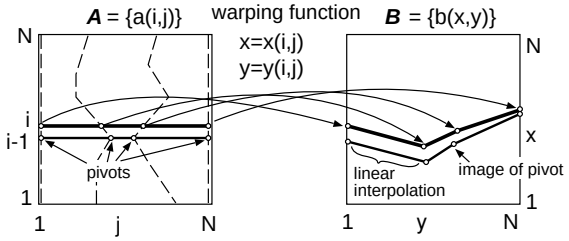

図 1: 区分線形 2 次元ワープ

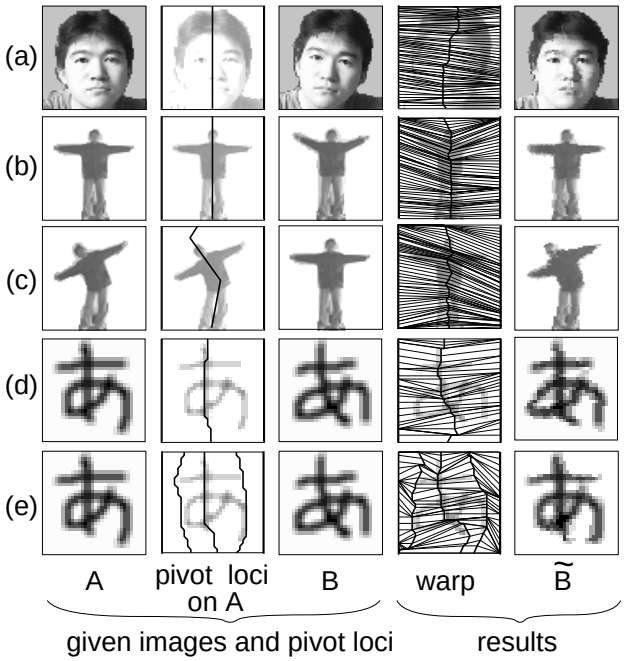

図 2: 区分線形 2 次元ワープの結果例 ($N = 64$(a ∼ c), 32(d,e); $K = 3$(a∼d), 5(e))

4. 実験　図 2に区分線形 2 次元ワープの結果例を示す．ここで$\tilde{\boldsymbol{B}} = \{b(x(i,j), y(i,j))\}$ である．(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 (すなわち$\boldsymbol{A} \sim \tilde{\boldsymbol{B}}$)．(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) はビームサーチを組み込んだ DP アルゴリズムで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.