単調連続 2 次元ワープの高速な近似アルゴリズム

An Approximation Algorithm for Monotonic and Continuous 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

単調連続 2 次元ワープ [1,2] は，2 画像の画素間の最適マッピングであり，位相構造を保存する 2 次元弾性マッチング処理を実現する．この最適マッピングは動的計画法 (DP) に基づくアルゴリズムにより求めることができるが，膨大な計算量が必要となる．このためビームサーチを適用した近似アルゴリズム [2] をこれまでに検討してきた．本稿では，この従来法より高速な近似アルゴリズムを提案する．本アルゴリズムは，DP アルゴリズムの部分的かつ逐次的な適用に基づいており，ワープの 2 次元的自由度を保持した上で大幅な計算量低減を実現する

2. 単調連続 2 次元ワープ問題と DP アルゴリズム

2 画像 $\boldsymbol{A} = \{a(i,j) \,|\, i = 1,\ldots,N_i,\ \ j = 1,\ldots,N_j\}$，$\boldsymbol{B} = \{b(x,y) \,|\, x = 1,\ldots,M_x,\ \ y = 1,\ldots,M_y\}$ 間の単調連続 2 次元ワープは，目的関数 $\sum_{i=1}^{N_i}\sum_{j=1}^{N_j} |a(i,j) - b(x(i,j),y(i,j))|$ を最小化するワープ関数 $x(i,j),\ y(i,j)$ として定義される．ただし，ワープ前に 4 隣接する 2 画素 (例えば (i,j) と $(i,j-1)$) のマッピングは 2 次元単調連続性制約により互いに制約される．

最適な単調連続 2 次元ワープを求める DP アルゴリズム [2] は，各画素のマッピングをラスタスキャン順に決定していく (N_iN_j) 段の多段決定過程に基づく．ここで単調連続性制約により，各段での決定は直前に決定された画素 $(i,j-1)$ のマッピングだけでなく，N_j段前に決定された画素 $(i-1,j)$ のマッピングにも依存する．この N_j 次マルコフ性に対処するため，アルゴリズム内部では N_j回分の決定履歴をまとめて一つのものとして扱っている．その結果，解の探索幅は N_jの指数オーダーとなり，アルゴリズムの時間計算量は$O(N_iN_jM_x9^{N_j})$ となる．

3. 近似アルゴリズム

上述の DP アルゴリズムの計算量は主に N_jに左右される．よって 2 辺の長さが異なる画像$\boldsymbol{A}$を扱う場合，短い辺の長さを N_jとする方がその逆の場合よりも計算量を少なくできる．

本稿ではこの性質を利用した近似アルゴリズムを提案する (図 1)．今，画像 $\boldsymbol{A}$ の D 行 ($j = 1,\ldots,D$) よりなる長方形 (slit) を考える．この長方形の最適ワープを求めるために必要な計算量は$O(N_iDM_x9^D)$ であり，これは D が小さければ十分実行可能な程度の計算量となる．次に，こうして得られた最適ワープのうち $j = 2,\ldots,D$ 行分は廃棄し，残る第 1 行のワープを境界条件として一つずらした長方形 ($j = 2,\ldots,(D+1)$) についての最適ワープを求める．同様の処理を最後の長方形 ($j = (N_j - D + 1),\ldots,N_j$) まで繰り返せば，結局$O(N_iN_jM_xD9^D)$ の計算量で準最適な単調連続 2 次元ワープが求まる．

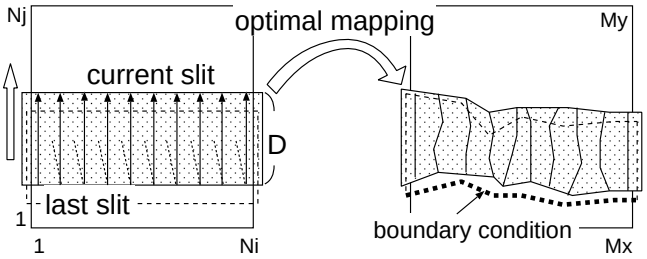

図 1. 近似アルゴリズム．

なお，本アルゴリズムに類似した近似アルゴリズムが MRF に基づく領域分割問題に適用されている [3] ．また，$D = 1$ とすれば，本アルゴリズムは杉村らの方法 [4] とほぼ等価なものとなる．

4. 計算効率の評価実験

本アルゴリズムの計算効率を計算時間と解の精度の関係により評価する実験を行なった．実験試料として乱数画像と顔画像それぞれ 100 対を用意した．前者は 256 階調濃淡画像，後者は 256 階調 RGB カラー画像であり，1 辺の長さはいずれも 32 である．解の精度は各画像対の距離に相当する $D(\boldsymbol{A},\boldsymbol{B})$ の平均値で評価した．この値が小さいほど精度が高いと言える．結果を図 2 に示す．比較のために，ビームサーチを適用した従来法 [2] の結果を併せて示している．従来法の効率は各段で残す探索経路数 R により制御される． この結果より，本アルゴリズムを用いた方が同じ時間で精度の高いワープが求まり，逆に短時間で従来法と同一精度のワープが求まることがわかる．

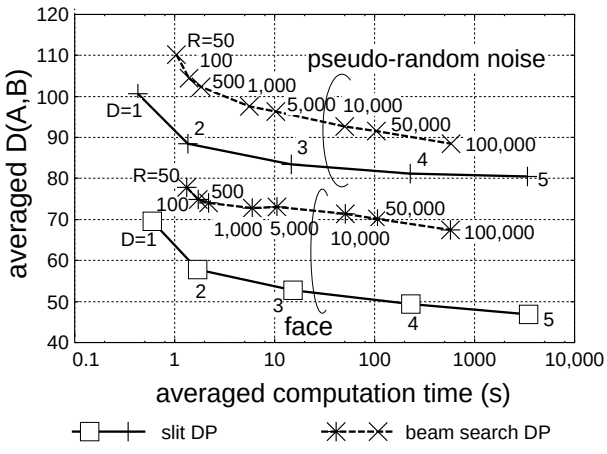

図 2. 計算時間と解の精度の関係．

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., (to be publised in 1999). [3]H.Derin and H.Elliott. IEEE Trans. PAMI., Vol.9, No.1, 1987. [4] 杉村, 飯国, 足立. 信学論, Vol.J80-D-II, No.1, 1997.