# 単調性連続性を保存する 2 次元ワープ法の検討

迫江博昭, 内田誠一
(九州大学大学院　システム情報科学研究科)

## 1. まえがき

2 次元ワープは, 標準パターン画像を 2 次元的に変形して入力画像中のパターンに対応させる処理であり, 文字認識や画像データベースの検索などに応用される. 本稿では単調性および連続性を考慮したノンパラメトリックな 2 次元ワープを提案する.

## 2. 単調性および連続性を考慮した 2 次元ワープ

入力画像を $a(t,s)\ (t,s = 1,\ldots,N)$, 標準パターンを $b(x,y)\ (x,y = 1,\ldots,M)$ とする. 本稿では $N > M$ とする. 2 次元ワープでは, 最小化問題

$$D(a,b) = \min_{\substack{x(t,s)\\ y(t,s)}} \left[ \sum_{t=1}^{N} \sum_{s=1}^{N} |a(t,s) - b(x(t,s), y(t,s))| \right] \quad (1)$$

を解き, ワープ関数 $x(t,s)$, $y(t,s)$ と同時に距離 $D(a,b)$ を求める.

本稿ではワープ関数 $x(t,s)$, $y(t,s)$ に次の拘束条件を与える.

- 境界条件

$$x(1,s) = 1,\ x(N,s) = M,\ y(t,1) = 1,\ y(t,N) = M \quad (2)$$

- 単調連続性条件

$$|x(t,s+1) - x(t,s)| \le 1, \quad y(t,s+1) = y(t,s) + \{0,1\} \quad (3)$$
$$|y(t+1,s) - y(t,s)| \le 1, \quad x(t+1,s) = x(t,s) + \{0,1\} \quad (4)$$

(1) 式の最小化問題を入力画像の列単位に分解し, 入力画像上の列

$$\boldsymbol{a}_t = \{a(t,1),\ldots,a(t,s),\ldots,a(t,N)\} \quad (5)$$

と標準パターン上の系列

$$\boldsymbol{\phi}_i = \{b(x_1^i, y_1^i),\ldots,b(x_s^i, y_s^i),\ldots,b(x_N^i, y_N^i)\} \quad (6)$$

間の対応を考える (図 1). この $\boldsymbol{a}_t$ と $\boldsymbol{\phi}_i$ の対応は, ワープ関数 $x(t,s)$, $y(t,s)$ によって

$$x(t,s) = x_s^i,\ y(t,s) = y_s^i, \quad 1 \le s \le N \quad (7)$$

と表現できる. この対応に関する距離

$$d_{t,i} = \sum_{s=1}^{N} |a(t,s) - b(x_s^i, y_s^i)| \quad (8)$$

を用いると, 2 次元ワープは $d(t,i)$ の $t$ についての総和を最小とする, $\boldsymbol{\phi}_i$ の系列として考えることができる.

$\boldsymbol{\phi}_i$ の形状は (3) 式で制限されており, それによって列 $\boldsymbol{a}_t$ 内の各ピクセル間のワープ先での連続性および単調性が保証される (図 2-(a)).

また $\boldsymbol{a}_t$ が対応する $\boldsymbol{\phi}_i$ と $\boldsymbol{a}_{t+1}$ が対応する $\boldsymbol{\phi}_j$ は (4) 式による連続性および単調性の関係を満たすように決定される必要がある (図 2-(b)).

## 3. 動的計画法によるワープの構成法

提案した 2 次元ワープは動的計画法 (以下 DP) によって効率的に求めることができる. 以下にそのアルゴリズムを示す.

- $\phi_i$ に関する集合

$$\Lambda_i = \{k \mid x_s^k \le x_s^i,\ |y_s^k - y_s^i| \le 1,\ 1 \le s \le N\}$$
$$\lambda_x = \{k \mid x_s^k = x,\ 1 \le s \le N\}$$

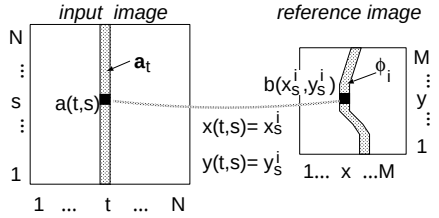


図 1: 列単位のワープ

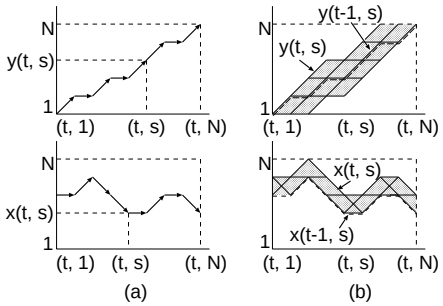


図 2: 存在可能なワープ関数の例

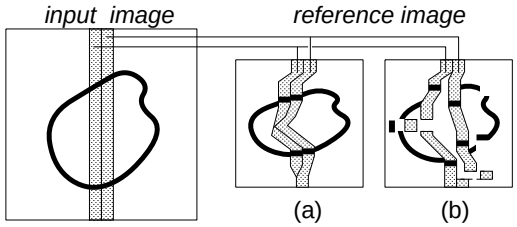


図 3: ワープの例 : (a) 本手法, (b)Levin 等による方法

- 初期値　$g_{1,i} = d_{1,i} \quad \text{for } i \in \lambda_1$
- DP 漸化式　$g_{t,i} = \min_{k \in \Lambda_i} [g_{t-1,k}] \ + \ d_{t,i}$
- 距離計算結果　$D(a,b) = \min_{k \in \lambda_M} [g_{N,k}]$

## 4. Levin 等の方法との比較

Levin 等によって提案された Dynamic Planar Warping[1] ではワープ関数 $x(t,s)$, $y(t,s)$ に対し単調性のみが拘束条件として与えられる.

$$y(t,s+1) \ \ge \ y(t,s) \quad (9)$$
$$x(t+1,s) \ \ge \ x(t,s) \quad (10)$$

このように Levin 等の方法では連続性が全く考慮されていないので, 結果として図 3-(b) の様な不連続なワープを許してしまう.

## 5. まとめ

連続性単調性を考慮した 2 次元ワープの構成法を提案した. 今後の課題としては計算量の低減, および対象固有の変形に応じたワープの構成法が挙げられる.

## 参考文献

[1] E.Levin,R.Pieraccini. *Proc.ICASSP*, pp.III 149-152, 1992.