

研究速報

大局的特徴に対する DP マッチング

森 稔[†] (正員: シニア会員)内田 誠^{††} (正員: シニア会員)坂野 鋭^{†††} (正員)

DP Matching for Global Features

Minoru MORI[†], Seichi UCHIDA^{††}, Senior Members,
and Hitoshi SAKANO^{†††}, Member[†] 日本電信電話株式会社 NTT コミュニケーション科学基礎研究所, 厚木市
NTT Communication Science Laboratories, NTT Corpora-
tion, Atsugi-shi, 243-0198 Japan^{††} 九州大学大学院システム情報科学研究院, 福岡市
Kyushu University, Fukuoka-shi, 819-0395 Japan^{†††} 日本電信電話株式会社 NTT コミュニケーション科学基礎研究所, 京都府
NTT Communication Science Laboratories, NTT Corpora-
tion, Kyoto-fu, 619-0237 Japan

あらまし 時系列データの離れた時刻間の関係を抽出した大局的特徴を利用可能な DP マッチングの処理スキームを提案する. 具体的には, 任意の 2 時刻間で定義される大局的特徴群から, マルコフ性を満たしつつ識別能力も備える特徴を選択することで, 大局的特徴への DP マッチング適用を実現する. オンライン数字データを用いた評価実験で, 提案手法の有効性を確認した.

キーワード DP マッチング, 特徴抽出, 特徴選択, 大局的構造, オンライン文字認識

1. ま え が き

本論文では, 時系列パターンの認識における離れた 2 時刻間の関係を抽出した大局的特徴 (例えば [1], [2] 等) の一利用形態について提案する. 非マルコフ的特徴ともいえる同特徴は, パターンのマルコフ性を仮定した非線形照合処理である通常の DP (動的計画法) マッチングや HMM では直接利用できない. このため, 大局的特徴はその重要性の反面, 従来ほとんど利用されていない. 本論文では, 大局的特徴の有効性を明らかにするとともに, その組み込みを可能とした新たな DP マッチングの枠組みを提案する [3].

以下本論文では, 時系列パターン認識の例として, オンライン文字認識を用いて議論する. オンライン文字認識の従来法においても, ストローク上の各点の xy 座標 [4] や隣接する 2 点間の相対ベクトルから定義される局所方向 [5], [6] などの局所的すなわちマルコフ的特徴の利用が主であった. しかしこれらの特徴の利用は, DP マッチングや HMM を用いるための便宜的なものであり, 大局的特徴に対する局所の特徴の有用性

を意味しているわけではない. 実際, 文献 [2] で指摘されているとおり, 例えば “0” の筆記では, 筆記者は始末端間の関係を意識している. したがって筆記は局所特徴だけは表現できない.

提案手法の着眼点は, 本来任意の 2 時刻間で定義される大局的特徴に対し, 適当な制限を加えることで, DP マッチングでも扱えるようにすることである. 具体的には, 大局的特徴群の中から, 全順序性をもった部分集合を事前に最適選択し, その順序に従った形式的なマルコフ性によって, DP マッチングアルゴリズムを再構築する. なお, この最適選択についても, DP を利用する. すなわち本論文では, マッチングとその事前準備という異なる 2 局面において, それぞれ DP を利用することに注意する. オンライン数字データを用いた評価実験で, 提案手法により認識精度を向上可能であることを確認する.

2. 大局的特徴を用いた DP マッチング

提案手法は, 三つの要素技術からなる. 一つ目は, 文字からの大局的特徴抽出処理である. 二つ目は, 大局的特徴を用いた DP マッチングである. 三つ目は, 上記 DP マッチングで利用可能な大局的特徴の選択処理である. 以下, 順に説明する.

2.1 大局的特徴の抽出

大局的特徴として, 筆者らが提案した特徴抽出法 [2] を用いる. この大局的特徴は, ストローク上の任意の 2 点間の相対ベクトルとして定義される. 以下, 全てのパターンは I 点にリサンプリングされているものとする. このとき, ${}_1C_2$ の 2 点間の組合せから, 相対ベクトル (dx, dy) を大局的特徴として計算する. ここで, ${}_1C_2 = I(I-1)/2$ 個の大局的特徴の中には, 従来の局所方向がサブセットとして含まれる. この大局的特徴は, シンプルだが各文字クラスの特徴的な形状を表現する高い能力があり, 文字ストローク上の時間的に離れた 2 点間の関係を定義することが可能である.

2.2 大局的特徴を用いた DP マッチング

図 1 に, 大局的特徴を用いた DP マッチングの処理概要を示す. ここで, P は参照パターン, E は入力パターンである. 参照パターン P で使用される大局的特徴は事前に定められており, k 番目の大局的特徴を定義する始端及び終端を各々 S_k, T_k ($k = 1, \dots, K$) とする. ここで, K は使用される大局的特徴の個数である. このとき, 大局的特徴を用いた DP マッチングでは, P 上の大局的特徴 S_k, T_k の E における対応先 $s(k), t(k)$ を順次最適化する. すなわち, 従来の DP

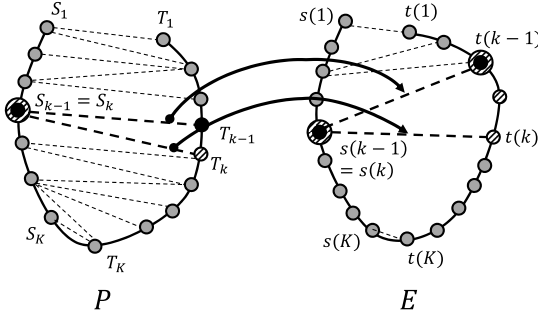


図 1 大局的特徴を用いた DP マッチングによる対応付けの例

Fig. 1 Procedure of DP matching using global feature.

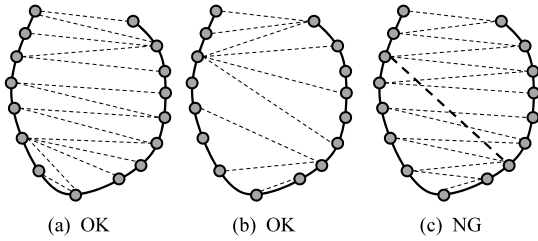


図 2 DP マッチングで許容される大局的特徴の例

Fig. 2 Examples of the selection results for the global feature.

マッチングが始端から終端の時間順序に沿った最適化であるのに対し、大局的特徴を用いた DP マッチングでは始端及び終端の両方向からの同時最適化となる。なお、類似の最適化処理は、文献 [7] にも見られる。

DP マッチングによる大局的特徴の最適対応付けのアルゴリズムは、以下のとおりである。最適化すべき変数集合は、図 1 に示すように、 $\{(s(k), t(k)) \mid k = 1, \dots, K\}$ である。これら変数集合を、 $(s(1), t(1)), \dots, (s(k), t(k)), \dots, (s(K), t(K))$ の順に逐次決定する過程を考える。目的関数は、対応する特徴間のユークリッド距離 K 個の総和である。それを最小化すべく各変数の値すなわち対応関係を決定することになる。

ここで、図 2 (a) のように大局的特徴 (S_k, T_k) が設定されていれば、 $(s(k), t(k))$ の決定には $(s(k-1), t(k-1))$ の値しか影響しない。したがって、この決定過程はマルコフ決定過程となり、その最適解は DP で求まる。具体的には、以下の S_k 及び T_k を制御変数とする制約付き最小化問題を DP を用いて解くことになる。

$$D = \min \sum_{k=1}^K (\alpha \cdot d_g(k) + (1 - \alpha) \cdot d_{xy}(k)) \quad (1)$$

ここで、 $d_g(k)$ は k 番目の大局的特徴間の距離値であり、以下で定義される。

$$d_g(k) = d(S(k) - T(k), s(k) - t(k)) \quad (2)$$

また、 $d_{xy}(k)$ は k 番目の大局的特徴を定義する両端点の xy 座標特徴間の距離値

$$d_{xy}(k) = d(S(k), s(k)) + d(T(k), t(k)) \quad (3)$$

である。 $d(\cdot)$ はユークリッド距離を表す。重みパラメータ α は、両距離値を結合する重みパラメータである。最小の値となる D が、入力パターンと着目参照パターン間の距離値として用いられる。なお、本 DP マッチングは、 $k - (s, t)$ の三次元空間での最適経路問題を扱うことになる。計算量はたかだかこの空間のサイズである $O(KI^2)$ となる。

最小化の際の制約条件は、以下のとおりである。**2.3** で述べる特徴選択法を用いれば、図 2 (a) のように $S_{k-1} = S_k$ 若しくは $T_{k-1} = T_k$ のどちらかが成り立つ。今、図 1 のように前者が成り立つ場合、その同一性を対応先でも保持すべく、 $s(k-1) = s(k)$ と制約する。更に、 t 側については、DP マッチングで広く用いられる単調連続性に倣い、 $0 \leq t(k-1) - t(k) \leq 2$ と制約する。逆の場合も同様である。

ところで、図 2 (c) のように大局的特徴が設定されると、上記の DP 最適化が不可能となる。これは k の決定に $k-1$ 以外の値が影響してしまい、マルコフ決定過程とならないことから明らかである。このように、全 $I(I-1)/2$ 個の大局的特徴、若しくは任意に選択した大局的特徴群を、参照パターンとして利用可能なわけではない。利用可能なのは、全順序性を保った大局的特徴の列、すなわち図 2 (a) 及び (b) の例のように、両端点が始端及び終端から単調に増加及び減少するような場合に限られる。なお、**2.3** で述べる方法に基づいて極力多くの大局的特徴を用いようとする場合、使用されないサンプル点が P 上に存在する図 2 (b) のような場合は生じない。

2.3 大局的特徴の最適な特徴選択

本節では、参照パターンとして設定可能な大局的特徴の選択法について述べる。選択に際しては、第一に、前節で述べたようにマルコフ性制約を満たす必要がある。第二には、その制約を満たす範囲で、識別に有効な特徴をなるべく多く選択する必要がある。後者について本論文では、各大局的特徴のクラス間分離度 (F 比) を用いる。 F 比は、クラス内分散とクラス間分散

の比として求められ [8], F 比が大きいほどクラス間
の分離度が高く識別に有効である.

以上により, 大局的特徴の選択問題は, 全 $I(I-1)/2$
個の大局的特徴から, マルコフ的制約すなわち全順序
性を満たしながら, それらの F 比の合計を最大とする
大局的特徴の列を求める問題となる. 全順序性は, 以
下の制約条件で表現される.

$$S_k \geq S_{k-1}, T_k \leq T_{k-1} \quad \text{for all } k \quad (4)$$

また, f_k を k ($= 1, \dots, K$) 番目の大局的特徴の F 比
としたとき, 識別に有効な特徴をなるべく多く選択す
ることは, 目的関数 $J = \sum_{k=1}^K f_k = \sum_{k=1}^K f(S_k, T_k)$
を $\{S_k, T_k\}$ 及び K について最大化することに相当す
る. とここで, なるべく多く特徴を選択するというこ
とは, なるべく密に大局的特徴を用いることに相当す
る. したがって, 最適解として図 2 (b) のような大局
的特徴列に含まれないサンプル点がある状況はあり得
ず, 同図 (a) のような解が必ず得られる. すなわち,
条件 (4) は実質的に以下と等価となる.

$$\begin{cases} S_k = S_{k-1}, T_k = T_{k-1} - 1, \text{ or} \\ S_k = S_{k-1} + 1, T_k = T_{k-1} \end{cases} \quad (5)$$

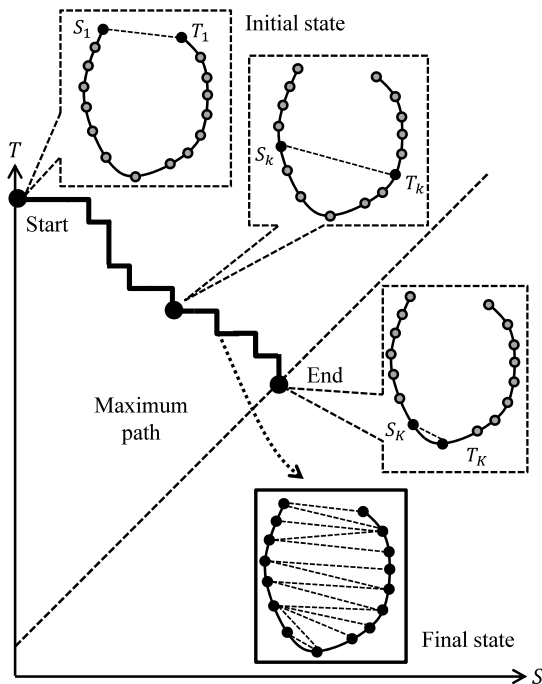


図 3 大局的特徴を用いた参照パターンに利用可能な特徴
選択処理の概要

Fig. 3 Feature selection procedure for reference pat-
tern using global features.

この最適特徴選択問題も, DP を用いて解ける. その
概要は, 図 3 の最適経路問題として説明される. 同図
の平面上の格子点 (S_k, T_k) には, 大局的特徴 (S_k, T_k)
の F 比が与えられている. そして, パターン P の始
端と終端を結ぶ大局的特徴 $(S_1, T_1) = (1, I)$ を開始点
として, $S_k = T_k - 1$ を満たす状態 (図中の対角線)
に到達する経路のうちで, 経路上の F 比の合計値が最
大となるものを見つける問題となる. ただし, 制約条
件 (5) があるため, S を一つ増やすか, T を一つ減ら
すという進み方となる. このように, 特徴選択問題は
極めて一般的な最適経路問題に帰着し, 一般的な DP
により $O(I^2)$ の計算量で最適解が得られる.

3. 評価実験

3.1 実験条件

提案手法の有効性を評価した. 評価データには,
UNIPEN データベース [9] のオンライン数字データを使
用した. “0”-“9”の各クラスで, 2,000 サンプルを
学習データに, 学習データとは異なる 2,000 サンプル
を評価データとして使用した. 前処理として, 各文字
を縦横比を保持しつつ 128×128 の大きさに正規化
し, 正規化後の文字パターンを $I = 40$ となるようにリ
サンプリングした. 最終的に, 前処理後の文字パター
ンから, 局所の特徴として I 個の xy 座標特徴, 及び
 ${}_I C_2 = I(I-1)/2$ 個の大局的特徴を抽出した. 識別関
数には, 1-Nearest Neighbor 法を用いた.

3.2 実験結果

図 4 に, 数字 10 クラスの評価データに対する認識
結果を示す. 縦軸が認識率を, 横軸が重みパラメタ
 α の値を表す. ここで, $\alpha = 0$ のときが従来手法のみ
で得られる認識率である. 図 4 から, 提案手法と従来

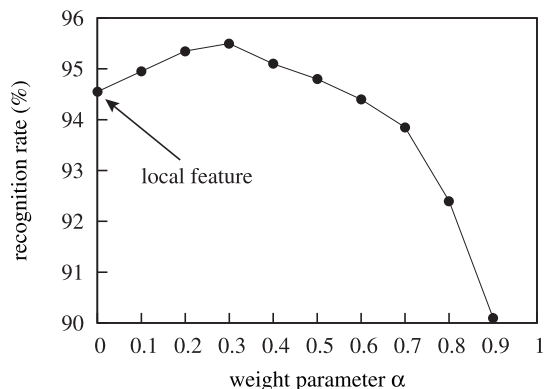


図 4 重みパラメタ α 別の認識精度
Fig. 4 Recognition accuracy (vs. α).

手法の統合により、従来手法の 94.5% から 95.5% に改善している。各クラス別の分析では、提案手法の利用により、クラス“1”での改善 (88% → 90.5%)、クラス“4”での改善 (89.5% → 92%)、及びクラス“7”での改善 (96% → 98.5%) が顕著であった。この改善理由には、例えばクラス“1”及び“7”におけるストロークの開始点付近における類似形状間の差が、より強調されたことが挙げられる。

一方、クラス“5”では認識率が低下した (97.5% → 95.5%)。その理由には、クラス“5”では、ストローク順が異なるサンプルが散見され、提案した大局的特徴が従来の xy 座標特徴より、ストローク順の変動に対して影響を受けやすいことがある。また、提案手法に対する重みを大きくした場合には、認識率が低下し従来手法を下回る認識性能しか得られなかった。この理由は、クラス“5”における認識率の低下原因として述べたように、大局的特徴がストローク順の変動に対して影響を受けやすく、重みを大きくするにつれて、その影響が大きくなったためである。

4. む す び

大局的特徴を利用可能とする DP マッチングの処理スキームを提案した。時系列データの離れた時刻間の関係を抽出した大局的特徴は、従来のマルコフ性の制約下における局所情報を用いた際にしばしば生じる誤った対応付けを回避できる可能性がある。提案した DP に基づいた特徴選択手法は、大局的特徴群から時間軸上の不整合を回避しつつ、各特徴の F 比を用い、より識別性能の高い特徴を参照パターンとして選択可能とする。選択した大局的特徴を用いた DP マッチングは、文字パターン間の大局的な対応付けに基づいたマッチングを実現する。オンライン数字パターンを用

いて評価実験では、提案手法は従来の局所的特徴を用いた DP マッチングと協調することで認識精度が向上可能なことを示した。今後の課題には、大局的特徴として 3 点間以上の関係を記述した特徴の検討、及び提案手法のアルファベットやかな・漢字等の数字以外の文字における評価がある。

文 献

- [1] S. Izadi and C.Y. Suen, “Integration of contextual information in online handwriting representation,” ICIAP’09, pp.132–142, 2009.
 - [2] 森 稔, 内田誠一, 坂野 鋭, “大局的構造情報を用いたオンライン数字認識,” 信学技報, PRMU2011-102, 2011.
 - [3] 森 稔, 内田誠一, 坂野 鋭, “大局的構造情報に対する DP マッチング,” 画像の認識・理解シンポジウム, IS1-47, 2012.
 - [4] K. Ikeda, T. Yamamura, Y. Mitamura, S. Fujiwara, Y. Tominaga, and T. Kiyono, “On-line recognition of hand-written characters utilizing positional and stroke vector sequences,” Pattern Recognit., vol.13, no.3, pp.191–206, 1981.
 - [5] C.C. Tappert, C.Y. Suen, and T. Wakahara, “The state of the art in on-line handwriting recognition,” IEEE Trans. Pattern. Anal. Mach. Intell., vol.12, no.8, pp.787–808, 1990.
 - [6] C. Bahlmann, “Directional feature in online handwriting recognition,” Pattern Recognit., vol.39, no.1, pp.115–125, 2006.
 - [7] 上田修功, 間瀬健二, 末永康仁, “弾性輪郭モデルとエネルギー最小化原理による輪郭追跡手法,” 信学論 (D-II), vol.J75-D-II, no.1, pp.111–120, Jan. 1992.
 - [8] 石井健一郎, 上田修功, 前田英作, 村瀬 洋, わかりやすいパターン認識, オーム社, 1998.
 - [9] I. Guyon, L. Schomaker, R. Plamondon, M. Liberman, and S. Janet, “Unipen project of on-line data exchange and recognizer benchmarks,” ICPR’94, pp.29–33, 1994.
- (平成 24 年 11 月 28 日受付, 25 年 3 月 7 日再受付)