

2E-7

画素間の拘束関係を利用したパターン連想

黒川 清 石川聖二 加藤清史
九州工業大学 工学部

1. はじめに

コンピュータビジョンにおいてオクルージョン問題は重要な課題の一つである。このオクルージョン問題を解く一つの手がかりとして、連想という脳の基本的機能を取りあげ、これを画像上の画素間の拘束関係を利用して実現する方法について考察する。画素間の拘束関係に着目すれば、連想問題がコンシステントラベリング問題¹⁾に帰着することを示し、また2値画像を用いた本連想方式による実験とその結果について述べる。

2. コンシステントラベリングによる連想方式

デジタル画像を $f(i, j)$ ($i=1, 2, \dots, I; j=1, 2, \dots, J$)で表せば、画像とは、画素 (i, j) とグレイレベル $f(i, j)$ のペアの集合とみなすことができる。そこで画素をユニット u ($u \in U$)、グレイレベルをラベル l ($l \in L$)とする。連想問題を考えるために基本となる画像パターンを取り、これを $f_k(i, j)$ ($k=1, 2, \dots, N$)で表せば、ユニット拘束関係及びユニット-ラベル拘束関係は、これらの個々の画像パターンに対して定義される。画像パターン $f_k(i, j)$ ($k=1, 2, \dots, N$)に対するユニット拘束関係を $T_k = \{(u_{r1}^k, u_{r2}^k, \dots, u_{rn}^k)\}$ 、ユニット-ラベル拘束関係を $R_k = \{(u_{r1}^k, l_{r1}^k, u_{r2}^k, l_{r2}^k, \dots, u_{rn}^k, l_{rn}^k)\}$ で表せば、 N 個の画像パターンがメモリに記憶された状態は、

$$T = \bigcup_{k=1}^N T_k, \quad R = \bigcup_{k=1}^N R_k$$

で定義される T, R を用いて表現できる。

想起のために入力される画像パターンは、

$$R' = \{(u_{r1}, l_{r1}, u_{r2}, l_{r2}, \dots, u_{rn}, l_{rn}) \mid (u_{r1}, u_{r2}, \dots, u_{rn}) \in T, \text{not}((l_{r1}=\text{nil}) \cap (l_{r2}=\text{nil}) \cap \dots \cap (l_{rn}=\text{nil}))\}$$

のようにユニット-ラベル拘束関係を用いて表現される。コンパチビリティモデル (U, L, T, R) に対して R' が入力されると、 R の要素は R' によって拘束を受ける。 R' に矛盾しない R の要素の集合を R^* で表せば、連想問題は、コンパチビリティモデル (U, L, T, R^*) で表されるコンシステントラベリング問題に帰着する。

入力 R' と矛盾するユニット-ラベル拘束関係を R から除いて、 R^* を生成するアルゴリズムREMは以下のように表現できる。

アルゴリズムREM

```
begin
  copy R to R*;
  for all x ∈ R* do
    for all w ∈ R' do
      if (ur1=ur'1, ur2=ur'2, ..., urn=ur'n)
        then if for a certain i
              (lri ≠ lr'i) and (lr'i ≠ nil)
                then remove x from R*
    end.
```

ここで、 $x=(u_{r1}, l_{r1}, u_{r2}, l_{r2}, \dots, u_{rn}, l_{rn})$ 、 $w=(u_{r'1}, l_{r'1}, u_{r'2}, l_{r'2}, \dots, u_{r'n}, l_{r'n})$ である。

本アルゴリズムに R' を与えて得られる集合 R^* を R^*_1 とする。

先述のように、コンシステントラベリング問題の解は、縦型探索によって求められるがこれは時間のかかる処理である。本稿では、ユニット u がラベル l を持つ確からしさがあるしきい値以上ならば、 (u, l) を確定ペアとして入力 R' に含める、という発見的手法を導入し、探索の効率化を計る。以下にアルゴリズムを示す。

アルゴリズムMAJ

```
begin
  copy R' to R";
  while R" is renewed do
    for all x ∈ R" do
      for all w ∈ R do
        if (ur'1=ur1, ur'2=ur2, ..., ur'n=urn)
          and Σ f(lr'i, lri) > θ
            then renew R"
    end.
```

ここで、 $f(l_{r'i}, l_{ri}) = \begin{cases} 1 & \dots \dots l_{r'i}=l_{ri} \\ 0 & \dots \dots l_{r'i}=\text{nil} \\ -\infty & \dots \dots \text{otherwise} \end{cases}$ であり、また θ :しきい値、 $x=(u_{r'1}, l_{r'1}, u_{r'2}, l_{r'2}, \dots, u_{r'n}, l_{r'n})$ 、 $w=(u_{r1}, l_{r1}, u_{r2}, l_{r2}, \dots, u_{rn}, l_{rn})$ である。

R'' の更新(renew)とは、ラベルがnilの x のユニットに、 w の同じユニットが持つラベルを与えることである。 R'' の他の要素が同じユニットを含めば、そのユニットにも同じラベルを与える。ただし、1つのユニットに対し2つ以上のラベルが付けられる場合は、各々新たに x を生成する。

Pattern association employing the constraint among pixels.

Kiyoshi KUROKAWA, Seiji ISHIKAWA, Kiyoshi KATO
Kyushu Institute of Technology

入力 R' をMAJで処理して得られる集合を R'' で表す。 R'' をREMで処理すれば、 R''_1 に対応する集合 R''_2 が得られる。一般に $n(R''_1) \geq n(R''_2)$ であるから、MAJ処理の導入によって探索効率を上げることができる。なお、画像パターンに多少のノイズが重畳しても処理可能であることが、MAJ処理の他の利点である。

3. 実験

2値画像パターンを対象として連想モデルを作成し、実験を行った。以下にその概要を述べる。

ユニットを $u_i (i=1, 2, \dots, n_1)$ 、ラベルは2値パターンを想定しているので、 $L = \{-1, 0, 1\}$ とする。 ± 1 がパターンを表し、0はラベル不明を表す。また $L^- = \{-1, 1\}$ と定義する。ユニット拘束関係 T は画素のペアを要素とし、各画素の値が互いにどのような関係にあるかをユニット-ラベル拘束関係 R で表現する。

記銘は、記銘パターンが提示されると、それが画素のペア $(u_i, u_j) \in T$ へのラベルの組 $(l_i, l_j) (l_i, l_j \in L^-)$ を R に登録する事によって行われる。想起は、記銘により生成された R と入力をもとに、以下のように2段階で行われる。

入力を $X = \{(u_{x1}, l_{x1}, u_{x2}, l_{x2}), \dots, (u_{xi}, l_{xi}, u_{xj}, l_{xj}), \dots\}$ 、拘束関係を $T = \{(u_1, u_2), \dots, (u_m, u_n), \dots\}$ 、 $R = \{(u_1, l_1, u_2, l_2), \dots, (u_n, l_n, u_m, l_m), \dots\}$ で表す。また $n(T) = n_T, n(R) = n_R$ とする。 n_T 個の画素のペアは、恣意的に選ぶが、画像上のすべての画素が含まれるものとする。

想起の第1段階は、アルゴリズムMAJによる想起である。ユニット拘束関係は画素のペアであるから、 $\theta = 0.5$ とする。ラベルがnilの画素の値は、複数の記銘パターンを考えているから普通一意には決まらない。そこで本実験では簡単のために、多数決論理によって画素の値を一通りに確定する。即ち、入力 X のユニット u_{xi} のラベル l_{xi} が未知のとき、そのユニットと拘束関係にある j 番目のユニット u_{xj} のラベル l_{xj} が、 r 個の想起パターン $P_k (k=k_1, k_2, \dots, k_r)$ の各々の j 番目のユニットのラベルと一致するとき、 P_k の i 番目のユニットのラベルの値の多数決によって l_{xi} の値を決定する。

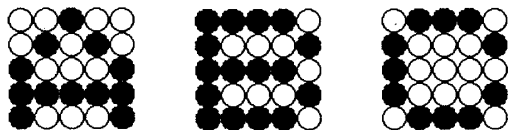


図1 記銘パターン

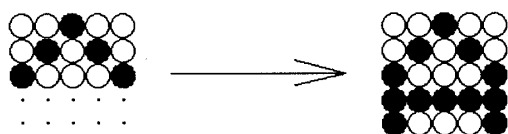


図2 想起過程の例1

画像 P 上の値が未知の画素数を $m(P)$ で表せば、 $m(P) \geq 0$ である。手続きMAJを実行すれば、 $m(X') \leq m(X)$ なるパターン X' が得られる。 $m(X') = 0$ のこともあるが、一般には $m(X') \neq 0$ である。そこで想起の第2段階として、値が未知の画素に対してコンシステントラベリングを試みる。まずREMによって、記銘パターンに対する拘束条件 R の要素の中で、パターン X' が与える拘束を満足しないものを除き、 $R^* (= WR)$ を生成する。次に (U, L, T, R^*) に関してコンシステントラベリングを求める。

2値画像パターン(図1)について連想モデルを構成し実験を行った。パターンの一部分が入力された場合はMAJのみで正しい想起が行われ(図2)、パターンの重なった部分が入力された場合はMAJ, REMより複数のパターンが想起された(図3)。

4. まとめ

コンシステントラベリングを用いたパターンの連想方式を提案し、2値画像パターンによってその動作を実験的に検討した。その結果、満足いく動作を得ることができた。

パターンの記銘は、従来のアナログ的な記銘と違い、ユニット-ラベル拘束関係 R の生成によってデジタルに行われる。そのため、 T をうまく取れば、記銘パターンの数が増えても、分離性の高い連想を行うことが可能であると思われるが、 T (あるいは R)の要素数が増大すると、本問題は縦型探索により逐次的に解が求められるので、探索時間が増大する。本連想システムの実現性の立場から、 T の与え方が検討されなければならない。また、実際の画像パターンへの適用には、処理時間の点で限界があるように思われるので、本連想方式を実行するための並列的なアルゴリズムも検討する必要がある。

参考文献

- 1) R.M. Haralick and L.G. Shapiro: "The Consistent Labeling Problem: Part 1", IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., PAMI-1, 173-184 (1979).

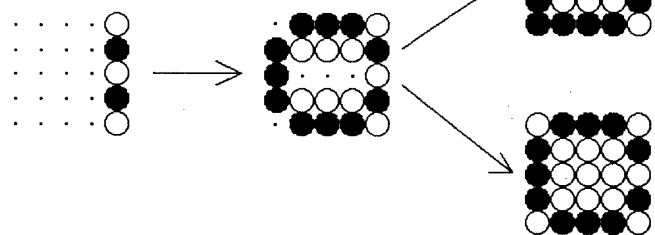


図3 想起過程の例2