

類似画像検索に用いる多次元心理空間の最適次元の検討

5B-6 田邊 勝義 大谷 淳 石井健一郎
NTTヒューマンインタフェース研究所

1. はじめに

筆者らは多次元心理空間を用いた類似画像検索について検討を進めている。本類似検索では、主観評価データに基づき各画像を多次元心理空間に配置し、この多次元心理空間と各画像から抽出した物理特徴量とを重回帰分析で対応づけることによって、人間の類似性の感覚を反映した類似画像検索系を構築し、利用する。前回の報告^[1]では、主観評価の被験者数および画像データ数が少数であったが、本稿では、多人数の主観評価データを多数の画像データに適用し、多次元心理空間の最適次元の検討を行い、決定された最適次元における検索の有効性を物理量のみでの検索との比較により検証する。

2. 多次元心理空間を用いる類似画像検索^[1]

人間が画像の類似性を評価する際には、1つの尺度で評価するわけではなく、複数の尺度で多次元的に評価していると考えるのが自然である。この観点から筆者らは、主観評価データに基づき各画像を多次元心理空間に配置し、画像間の類似性を多次元で評価して検索を行う方式を提案している^[1]。

本方式における検索系構築時にはまず、検索系を構成する画像(学習パターン)について主観評価を行い画像*i*と画像*j*間の非類似度 o_{ij} (≥ 0 ; o_{ij} の値が小さい程類似していることを示す)を求める。次に o_{ij} に基づき多次元尺度構成法^[2]により多次元心理空間における画像*i*の座標値 $y_i = \{y_{i1}, \dots, y_{i1}, \dots, y_{iA}\}$ (*A*:次元数)を決定する。

一方、学習パターンの各画像*i*から物理特徴量 x_{ik} ($k=1, \dots, m$; *m*:特徴次元数)を抽出する。学習パターンを用いて x_k を説明変数、 y_i を目的変数として、次元*t*毎に重回帰分析を行い、次式で示される重回帰式を求める。

$$y_i = b_{t0} + b_{t1}x_{i1} + \dots + b_{tm}x_{im} \quad (1)$$

ここで $b_{t0}, b_{t1}, \dots, b_{tm}$ は偏回帰係数。

このように式(1)を用いて画像*i*の x_{ik} から多次元心理空間上における座標値 y_i を計算できる。

さらに検索時には、例示(検索キー)画像*j*の x_{jk} から式(1)を用いて y_j を求め、次式に示す蓄積画像*i*との距離 d_{hij} を計算し、その値が小さいものを検索結果として出力する。

$$d_{hij} = \left\{ \sum_{t=1}^A (y_{ti} - y_{tj})^2 \right\}^{1/2} \quad (2)$$

3. 実験条件

実験に用いた画像は260種類の蝶のパターンで、白色背景に黒の図形パターンが存在する256×256の2値画像である。図形の外接矩形の長辺が256画素になるように図形の大きさを拡大縮小し、外接矩形の中心が画像の中心になるように256×256の領域に切り出し正規化

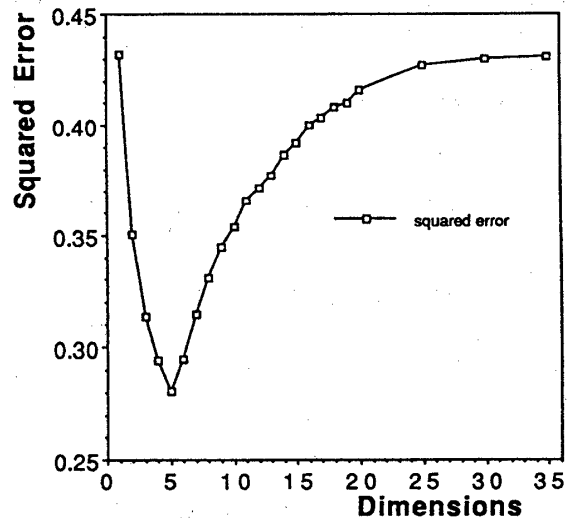


図1 従来手法の自乗誤差と次元数との関係

を行った。また、画像特徴としては文献[1]に示すものを用いた。

前述の画像間の非類似度 o_{ij} を主観評価により得るため、被験者43人に対して分類法^[2]を行った。すなわち、画像260枚をカード形式にしたものを被験者*p*($p=1, 2, \dots, L$)に与え、類似した画像を同一グループ G_c ($c=1, 2, \dots, C$; グループ数, 特に指定しない)に分類させ、その結果を用いて次式により o_{ij} を求めた。

$$o_{ij} = (1/L) \sum_{p=1}^L f(p) \quad (3)$$

$$f(p) = \begin{cases} = 0 & \text{if } i, j \in G_c \\ = 1 & \text{if } i, j \notin G_c \end{cases}$$

従って、 o_{ij} は、 $o_{min}=0$ と $o_{max}=1$ の間の値をとる。

4. 実験結果と考察

4.1 多次元心理空間における最適次元の決定

多次元心理空間の次元数は、検索結果に大きく影響を与えると考えられる。構築された検索系に対して、全蓄積画像を*A*次元の多次元心理空間に写像したとき、最も誤差の小さい次元*A*が最適な次元 A_{opt} を与えると考えられる。そこで、次式に示される推定誤差 ϵ_A ($A=1, 2, \dots$)を定義し、少数データ(25枚)に対して実験を行い、 $A_{opt}=7$ という結果を得ている^[1]。

$$\epsilon_A = (1/nC_2) \sum_{i < j}^n (o_{ij} - d_{hij})^2 \quad (4)$$

ここで*n*は、誤差評価対象画像数である。

本稿では、多数(260枚の画像)のデータに対して、前回と同様、式(4)を用いて A_{opt} をまず求めた。検索性能は学習パターンに大きく依存すると考えられるので、260枚から任意に50枚を選択し、*A*次元心理空間の検索系を構築した。この50枚の学習パターンセットを23通り作成し、式(4)の ϵ_A を23組の検索系それぞれに対して計算し、平均した結果を図1に示す。5次元で誤差 ϵ_A が最小となった。しかし、最小の5次元に於いても、誤差 ϵ_A の値が0.28であり、 o_{ij} の値域に比して大きい

と言える。

この原因としては、心理的に類似していない画像間の推定距離 dh_{ij} が、本来取り得ない o_{max} より大きな値をとる場合が多いことに起因すると考えられる。通常の類似画像検索では、心理的に類似している画像を検索するのが目的なので、心理的に類似している画像間の推定距離を精度良く評価する尺度 κ_A を導入することにした。

$$\kappa_A = (1/n C_2) \sum_{i < j}^n (o_{ij} - eh_{ij})^2 \quad (5)$$

$$eh_{ij} \begin{cases} = dh_{ij} & \text{if } dh_{ij} \leq o_{max} \\ = o_{max} & \text{if } dh_{ij} > o_{max} \end{cases}$$

κ_A は、 o_{max} より大きい値をとる dh_{ij} を強制的に o_{max} にすることにより、類似した画像の精度評価を反映している。式(5)の κ_A を23組の検索系それぞれに対して計算し、平均した結果を図2に示す。同図より $A=15$ より高い次元でほぼ一定値(0.027)になり、類似した画像の良好な推定が実現できていることが確認されたが、顕著なピークが現れないという、文献[1]とは異なる結果となった。そこで、次式に示される o_{max} より大きい値をとる dh_{ij} のみの誤差 ξ_A を評価することにした。

$$\xi_A = (1/M) \sum_{i < j, dh_{ij} > o_{max}}^n (o_{ij} - dh_{ij})^2 \quad (6)$$

ここで M は、 $dh_{ij} > o_{max}$ を満たすもの数である。式(6)の ξ_A を23組の検索系それぞれに対して計算し、平均した結果を図2に示す。同図より ξ_A は、次元に対してほぼ単調増加の傾向となることが分かる。よって $A \geq 15$ で κ_A は最小となるので、この範囲で ξ_A が最小値をとる $A=15$ を最適次元 A_{opt} と決定する。

4.2 最適次元における検索性能の評価

15次元で作成した検索系における検索の性能を評価するために、次式に示される検索ヒット率 η_r を用いた。

$$\eta_r = (1/N) \sum_{j=1}^N \left[\frac{1}{(r \times N)} \sum_{i=1}^r h(i, j) \right] \quad (7)$$

$$h(i, j) \begin{cases} = 1 & \text{if } j \text{ を検索キーとしたとき } o_{ij} \leq \theta \text{ かつ } i \text{ が上位 } R \text{ 位までに検索可} \\ = 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

ここで、 N は全蓄積画像数で本報告では $N=260$ である。また、 θ は心理的に類似していない画像を η_r の評価から除去するための閾値で、本報告では $\theta=0.2$ を用いた。つまり式(7)は、検索キー j の o_{ij} を値の小さい方から並べたときの上位 r 位以内の画像が R 位(通常 $R \geq r$)までに検索される割合を表している。

23組の検索系における式(7)の検索ヒット率の平均 η_{m_r} および物理データのみで検索した場合の検索ヒット率 η_{p_r} を図3に示す。ここで $R=15$ とした。同図より検索ヒット率 η_r は、 $r=3$ では90%以上、 $r=5$ でも85%以上と高検索率であった。また、本手法の方が物理量のみによる検索より良好な検索が実現できることを確認した。

この比較例として、上位15位までの検索結果例を図4に示す。図中各検索結果画像の左下の数字が順位を示している。物理量のみによる検索の場合は、心理的に類似していない画像が検索結果に混入しているのに対し、本手法では、15パターンのほぼ全てが心理的に類似している画像である。

5. おわりに

本稿では、類似画像検索に用いる多次元心理空間の

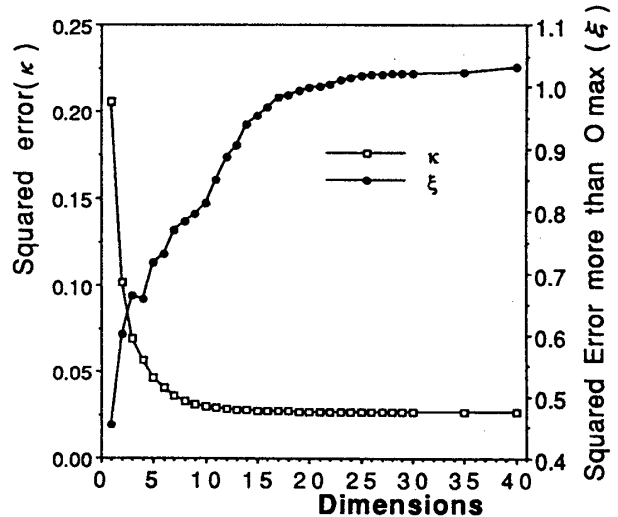


図2 自乗誤差と次元数との関係

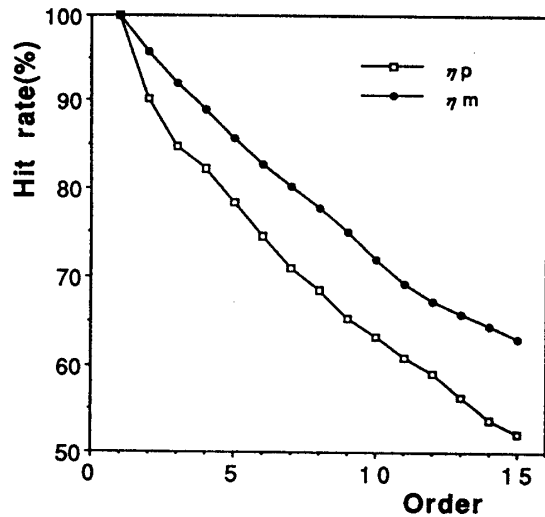
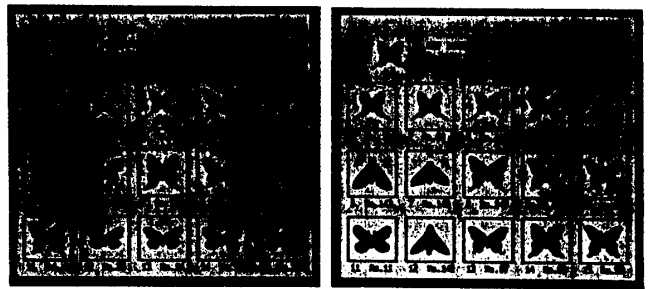


図3 検索ヒット率



(a) 本手法による類似検索 (b) 物理量のみによる検索
図4 検索結果例

最適次元について検討し、最適次元における検索性能評価を行った。今後は多次元心理空間の各次元の意味付けについて検討する予定である。

日頃ご指導いただくNTTヒューマンインタフェース研究所マルチメディア処理研究部の遠藤部長に感謝いたします。

文献 [1] 田邊, 大谷他: "多次元心理空間を用いる類似画像検索法の検討", 第43回情処全大, 1D-7, (1991)

[2] 高根: "多次元尺度法", 東大出版会, (1980)