模擬育種法を用いた顔の同定支援システムの改善

Improvement of the Support System to Identify Face Using Simulated Breeding

阿部 武彦
Takehiko Abe

金沢工業大学人間系
Division of Human Information Science, Kanazawa Institute of Technology
abet@neptune.kanazawa-it.ac.jp

上田 芳弘
Yoshihiro Ueda

石川県工業試験場
Industrial Research Institute of Ishikawa
ueda@iriii.go.jp

木村 春彦
Haruhiko Kimura

金沢大学工学部情報システム工学科
Department of Information and Systems Engineering, Faculty of Engineering, Kanazawa University
kimura@ec.t.kanazawa-u.ac.jp

keywords: facial retrieval, subjectivity, simulated breeding, impressive adjective, euclidean distance

Summary

In the process of searching for suspected person, there is a case where an eyewitness looks through some photographs of criminal's face, or mug shots, to identify witnessed suspect's face or a searcher examines some mug shots in order to find some photographs that seem similar to a montage. However the eyewitness or the searcher has a heavy load to look through many photographs. It is widely known that this load causes a marked decline in human's ability to identify photographs. Therefore there is a need for a facial image retrieval system that can help humans to identify the facial images. An interactive facial image retrieval system combined the retrieval using linguistic keywords and the simulated breeding was proposed in order to reduce the user's load. The system performs the retrieval by using the impressive adjective first, and then retrieves the facial images by using simulated breeding that can treat the user's subjectivity. However, this method still requires the user to do heavy work. In order to improve the system, we add a retrieval method using Euclidean distance to the system for retrieving the facial images that are displayed for the user's first selection. In our experiment, firstly displayed facial images in the proposed system are similar to the target, which leads to the reduction of user's load.

1. ま え が き

犯罪容疑者の捜索に、目撃者が見た顔（ターゲット）を顔写真のリストから探し出す過程がある。この過程は、目撃者自身がターゲットの再認を行う場合や、目撃者から証言を得てターゲットのモンタージュを作成し、第3者が顔写真のリストからそれと似ているものを検索する場合など、その状況に応じたものとなる。しかしいずれにしてもリストの顔写真の数が膨大となる場合に、目撃者や検索者の負担が大きくなり再認成績が低下することが知られている [Laughery 72]。こうしたことにより顔画像に対して再認成績が向上するシステムの必要性が高まっている。

従来、画像検索手法として用いられてきたものは、言語的な検索キーを用いる方法と画像を直接キーとして用いる方法に分類できる。しかし、どちらの方法も検索上の問題があり、そのため顔に対する人間のすぐれた認識力を利用した対話的な画像検索を行うシステムがいくつか考

案されている [Caldwell 91, 尾田 94, 杉本 98, 長尾 98]。こうした対話的なシステムは、システムが示す顔画像が検索者の要求に合っているか否かを検索者自身に評価させることで、検索者の主観を重視した検索を実現させる方法であるが、従来の手法と比較すると検索者の負担が非常に大きくなることが課題である。

この負担を軽減させるために「模擬育種法を用いた顔の同定支援システム」[平山 01] が提案された。これはインタラクティブ GA の一種である模擬育種法と言語キーによる検索の技術を融合させた顔画像検索システムである。具体的には、まず印象語と特徴語の言語キーにより初期集団の検索を行い、その後は検索手法を模擬育種法に切り替え、検索者が提示された顔画像に対して要求に合っているか否かを評価することで検索者の主観を取り入れ、対話的に検索対象の絞り込みを早めるものである。模擬育種法を利用する前に言語キーによって検索することで、ある特徴を共通にもつ顔画像を初期集団として検索するこ

とができ、初期集団をランダムに検索していた従来のインタラクティブ GA や模擬育種法だけを用いる手法に比べて検索者の負担を軽減し、かつ精度の高い検索を可能としている。しかし、それでもまだ多くの顔画像に対して評価を下しているため、検索者のストレスが完全になくなったわけではない。

そこで本研究では、模擬育種法を用いた顔の同定支援システム（以降、既存システムとよぶ）の改善を目指す。具体的には、目標画像に大まかに類似している画像を最初の例示画として提示さえすれば、後は簡単な操作で画像データベースを簡便にブラウジングできる [北本 98] という例にもあるとおり、初期集団として提示される画像がターゲットに類似していれば、その後の検索での検索者の負担を軽減させられることに着目し、既存システムよりも初期提示顔画像をターゲットに近似させることにより、検索回数の削減や検索時間の短縮の実現を目的とする。

2. 提案手法

2.1 概要

本研究は犯罪捜査過程での容疑者の同定や絞り込みを支援することを目的とする。なかでも目撃者の証言から容疑者のモニタージュを作成し、顔写真リストからそれと似ているものを検索するケースを対象とする。そうした場合、検索者の負担は検索開始からの検索枚数の多さと検索時間の長さに影響される。

既存システムでは、1 つ 1 つの顔画像に対する吟味にかかる時間よりも、多くの顔画像を見ることが検索者の負担を大きくし正しい認識を妨げる [Laughery 72] ことから検索枚数を重要視し、模擬育種法を利用する前に言語キーを用いた初期集団の検索を行うことで準最適なものに収束させ、つまり初期検索段階で検索者の主観を取り込んでターゲットに類似した画像を絞り込み、検索枚数の削減に成功した。

そこで本研究でも、初期集団の検索を重要視する。そのため本研究では、人間が顔を認識する際の有効性という点では、上部にある要素（頭髪、目など）は下部にある要素（口、あごなど）に比べて顕著性が高く、個人を識別する手がかりとしてより有効である [乾 95] ことに着目し、目と眉毛に重点をおいたユークリッド距離に基づく検索機能を追加した。なお、頭髪については本来ならば重要視すべき要素であるものの、既存システムと同様に本研究においても扱っていない。

本手法では、印象語と特徴語の言語キーによってある程度絞り込まれた顔画像の中から、目と眉毛がよりターゲットに似た、つまりターゲットとの目と眉毛のユークリッド距離の小さい顔画像を検索することで更なる絞り込みを実現している。その時に用いる目と眉毛を重要視したユークリッド距離を、目・眉差分ユークリッド距離とよぶことにする。

2.2 目・眉差分ユークリッド距離

本システムで用いる顔画像は既存システムと同じもの、つまりシステム設計および評価実験の簡単化のために、顔の形状、眉毛の角度、目の丸さなど、表 1 に示される計 22 個のパラメータから構成される線画による顔画像を用いる。システム内部では、22 個のパラメータから構成される顔画像 F を以下のようにベクトルとみなし、22 次元空間の 1 つの点に対応づける。

$$x_f = (x_{f1}, x_{f2}, \dots, x_{fi}, \dots, x_{f22}) \quad (1)$$

式 (1) が染色体、右辺の各要素が遺伝子にあたる。

表 1 顔画像の構成に用いたパラメータ

顔	形状	四角 / 丸 / ホームベース
	長さ	長い / 普通 / 短い
	幅	広い / 普通 / 狭い
眉毛	角度	垂れ / 少し垂れ / 普通 / 少し吊り / 吊り
	太さ	太い / 普通 / 細い
	長さ	短い / 普通 / 長い
	間隔	広い / 普通 / 狭い
	位置	上 / 中 / 下
	位置	上 / 中 / 下
目	角度	垂れ / 普通 / 吊り
	丸さ	丸い / 少し丸い / 四角 / 少し細い / 細い
	大きさ	大きい / 普通 / 小さい
	間隔	広い / 普通 / 狭い
	位置	上 / 中 / 下
耳	耳たぶの形状	大きい / 普通 / 小さい
	大きさ	大きい / 普通 / 小さい
	位置	上 / 中 / 下
鼻	高さ	低い / 普通 / 高い
	大きさ	大きい / 普通 / 小さい
	位置	上 / 中 / 下
口	大きさ	大きい / 普通 / 小さい
	唇の厚さ	厚い / 普通 / 薄い
	位置	上 / 中 / 下

ここで、顔画像とターゲット画像間のユークリッド距離とは、顔画像とターゲット画像を表すそれぞれの染色体の 22 個の要素（遺伝子）から求まるユークリッド距離のことである。本システムで用いる目・眉差分ユークリッド距離は目と眉毛の計 10 個のパラメータを用いて次式で求めることができる。

$$distance = \sqrt{\sum_{i=1}^{10} (x_i - t_i)^2} \quad (2)$$

x_i : 顔画像の眉毛/目の遺伝子

t_i : ターゲット画像の眉毛/目の遺伝子

2.3 検索手順

検索は以下の手順で行われる。

(a) 検索者にターゲットに対する印象を、用意した印象語の中から 1 つ選択させる。

(b)選ばれた印象語に対して設定した特徴語を検索者に提示し、その中からターゲットの特徴を表すものを複数個選択させる。

(c)(a)(b)で選択された印象語・特徴語を考慮して絞り込まれた顔画像の中から、ターゲットとの目と眉毛の距離、つまり目・眉差分ユークリッド距離の近いものを10枚検索し初期顔画像として提示する。

(d)提示顔画像からターゲットに似た顔を複数枚選択させ、それらを親とする。

(e)親の染色体に対して遺伝的操作を適用し、新たに10個の染色体を生成する。それらを子孫と呼ぶ。

(f)それぞれの子孫の表現型(顔画像)を検索者に提示する。

(g)終了条件を満たせば終了。そうでなければ(d)に戻り、次の世代に移る(終了条件については後述する)。

(a)から(c)が言語キーと目・眉差分ユークリッド距離による初期提示顔画像の絞り込み検索、(d)から(g)が模擬育種法にあたる。本システムでは(a)(b)の初期世代の検索に用いる言語キーに、顔の全体像に対する印象を表す言葉(印象語)と顔の要素ごとの特徴を表す具体的な言葉(特徴語)を適用している。特徴語は表1の顔画像の構成に用いたパラメータと対応づけられており、例えば、顔の形状が四角、などが特徴語である。そしてこれらの特徴語は、印象調査アンケートにより顔全体の印象を表す印象語に対して一意に設定されている。例えば、「おとなしそう」という印象語に対して、輪郭が四角い、眉毛が垂れていて短い、などが得られている。本システムは既存システムと同様に検索者によって選択された顔画像を管理するためのバッファを備え、選択された顔画像を10枚まで蓄えられる。検索者がターゲットであると思う画像を10枚検索した時点で検索を終了するものとする。

3. 検索実験

提案システムの有効性を確認するために被験者を用いた評価実験を行った。ここでは実験方法と結果について述べ、特に既存システムとの比較を行う。

3.1 実験方法

実験は、大学生24名に対して、本手法の有効性を検証するために4種類のシステムを用いて行った。4種類のシステムとは、本論文で提案した目・眉差分ユークリッド距離による絞り込みを付加した提案システム(PS)、言語キーと模擬育種法を用いた既存システム(LS)、人為選択のみによって次世代の親が決定される模擬育種法システム(SB)、顔画像データベースからランダム検索を行い検索者に提示するシステム(RN)である。被験者はまず実験の目的とシステムの操作方法に関する説明を受け、操作の一例を観察した後、実験を開始する。実験の目的は「ターゲットによく類似した顔画像を検索していき、ターゲットであると思われる顔を最終的に10枚検索する」という

図1 検索実験に用いたターゲット顔画像

表2 各システムにおける初期提示顔画像とターゲット間のユークリッド距離

	平均	分散	最大	最小
PS	4.40	0.09	4.88	3.89
LS	6.03	0.29	7.01	5.17
SB	6.51	0.04	7.08	6.12
RN	6.44	0.04	6.72	5.95

表3 各システムにおける検索回数(世代)

	平均	分散	最大	最小
PS	15.00	121.67	53	6
LS	22.83	438.64	91	5
SB	27.75	331.69	85	5
RN	75.67	4000.39	233	11

表4 各システムにおける検索時間

	平均	分散	最大	最小
PS	4分41秒	16730	8分50秒	1分38秒
LS	5分53秒	34292	12分51秒	1分39秒
SB	7分08秒	38506	13分57秒	1分23秒
RN	11分28秒	224899	33分23秒	3分11秒

ものである。検索対象となるターゲット顔画像には、評価実験の分析の簡単化のため、データベースに存在する図1の顔画像を用いた。なお、ターゲットと同じ顔は約870億分の1の割合でデータベースに含まれている。それぞれのシステムを使用する順序は、その順序による影響が実験結果に及ばないように4種類のシステムの組み合わせによる24通りの実験順序とし各被験者に割り当てた。

3.2 実験結果

提案システムの有効性を、本研究で最も注目している初期世代に検索される個体の収束性を中心に、検索回数や検索時間などの検索の効率性、あるいは検索結果の精度の良さといった点から評価する。

表2は各システムにおける10枚の初期提示顔画像とターゲット顔画像間のユークリッド距離の平均、分散、最大値、最小値を示す。表3は各システムにおける検索回数、表4は各システムにおける検索時間の平均、分散、最大値、最小値を各々示す。表3の検索回数は検索開始から検索終了までに要した世代数、表4の検索時間はSBとRNに関しては検索開始から検索終了までの時間、PSとLSに関しては特徴語選択の終了時点から模擬育種法による検索終了までの時間を示す。表5のバッファ内顔画像とターゲット間の距離は検索終了時にバッファに残った10枚の

図 2 PS による実験結果の一例

図 4 SB による実験結果の一例

図 3 LS による実験結果の一例

図 5 RN による実験結果の一例

各画像とターゲット顔画像間のユークリッド距離を示す。数値はすべて 24 人の被験者による実験結果を用いたものである。

表 2 の平均値では、本システムの一歩の狙いである初期世代に検索される個体の収束性、すなわち初期提示顔画像のターゲット画像への類似が確認できる。ちなみに PS と今回の改善の対象である LS 間の差の検定を行ったところ ($t=12.7$), 統計的有意差 (有意水準 5 %, $t=2.07$) が得られた。

表 3, 表 4 の平均値から検索回数, 検索時間ともに PS が最も良い結果を示していることがわかる。検索回数と検索時間それぞれの平均値の差の検定を行ったところ, PS と LS 間の検索回数 ($t=2.27$), PS と LS 間の検索時間 ($t=2.42$) と, LS との統計的有意差 (有意水準 5 %, $t=2.07$) が得られた。また表 3, 表 4 の検索回数と検索時間の分散は PS が最も小さく, したがって PS を用いることにより被験者の個人差を小さくできたといえる。なお, PS には目・眉差分ユークリッド距離に基づく検索が新たに付加されたわけだが, そのための所要時間, つまり特徴語選択の終了時点から 10 枚の初期顔画像を提示させるまでの時間は 1 秒 84 であり, これは LS の 1 秒 52, SB の 1 秒 40, RN の 1 秒 44 とほとんど差がなかった。

表 5 各システムにおける検索終了時のバッファ内顔画像とターゲット間のユークリッド距離

	平均	分散	最大	最小
PS	4.04	0.39	5.51	2.72
LS	4.80	0.60	6.33	3.45
SB	4.99	0.44	5.98	3.31
RN	5.76	0.15	6.50	5.01

次に表 5 の平均値から検索結果の精度は PS が最も良かった。これも PS と LS との平均値間の差の検定を行った結果 ($t=3.69$), 統計的有意差 (有意水準 5 %, $t=2.07$) が得られた。

ここで, ある 1 人の被験者が各システムにおいて検索した 10 枚の顔画像を実験結果として提示する。図 2 が PS, 図 3 が LS, 図 4 が SB, 図 5 が RN を用いて検索した 10 枚の顔画像を示す。これらの顔画像をターゲット顔画像である図 1 と比較すると, 本提案システムの検索結果の精度における有効性, つまり検索結果とターゲット顔画像との類似性の度合いを確認することができる。

4. 評価

今回の実験結果からは, 目・眉差分ユークリッド距離による初期提示顔画像の絞り込みにより, 検索回数と検索時

間ともに削減できることが確認できた。特に、本システム (PS) においては被験者は検索の終了までに平均して 150 枚 (= 検索回数 $\times$ 1 世代あたりの提示画像 10 枚) の顔画像に対して評価しているが、この数は既存システム (LS) の 220 枚と比較するとかなり少ない。たくさんのディストラクタ (妨害項目) があると顔の認識は干渉を受けやすくなるという事実 [Laughery 72] は目撃者や検索者に「人相写真」のファイルにある何百という顔を見せるのは望ましくないことを物語っており、そういったことから本手法により検索回数 (= 検索枚数) を減らすことができたという意義は大きい。これにより、多くの顔画像を見ることが原因となる疲労による誤認の防止、つまりは表 5 の実験結果にも表れたような検索精度の向上が大いに期待できる。

5. む す び

本研究では、初期集団として提示される画像がターゲットに類似していれば、その後の検索での検索者の負担を軽減させられること、また人間が顔を認識する手がかりとして有効性が高いのは顔の上部の要素であることに着目し、目・眉差分ユークリッド距離を用いた改善による検索者の負担軽減を実験により確認した。

システムが示す顔画像が検索者の要求に合っているか否かを検索者自身に評価させることで、検索者の主観性を重視した検索を実現させる方法は、他に勝るもののない人間のすぐれた顔の認識力を利用した最適化方法であるが、その分検索者の負担が非常に大きくなる。つまりこのようなインタラクティブなシステムにおいては、人間の主観を多く反映させることと人間の負荷を軽減させることは、ある程度トレードオフの関係にある [杉本 98] のだが、しかし本提案手法では、印象語や特徴語などの言語キーや模擬育種法の利用により人間の主観を取り込みながら、かつ目・眉差分ユークリッド距離による初期集団の絞り込みで人間の負荷を軽減することにより、この種のシステムにおける適切なトレードオフのバランスを実現できたのではないかと考える。

今後の課題としては、終了条件の検討が挙げられる。本システムでも既存システムと同様に、検索者自身がターゲットであると思われる画像をバッファに 10 枚蓄えられたと判断した時点で検索終了としたが、検索者の主観による終了条件では検索者のもつ資質、例えば多くの画像に評価を与えるという繰り返し作業への忍耐強さなどにより検索結果が影響されてしまう恐れがあるためである。

◇ 参 考 文 献 ◇

- [Caldwell 91] Caldwell, C. and Johnston, V.S.: Tracking a criminal suspect through "face-space" with a genetic algorithm, Proc. ICGA, pp. 416-421 (1991).
- [平山 01] 平山高嗣, 上田芳弘, 木村春彦, 阿部武彦: 模擬育種法を用いた顔の同定支援システムに関する研究, 人工知能学会論文誌, Vol. 16, No. 5, pp. 427-435 (2001).
- [乾 95] 乾敏郎 (編): 認知心理学 1 知覚と運動, 東京大学出版会 (1995).
- [北本 98] 北本朝展, 高木幹雄: 待ち行列型遺伝的アルゴリズムを用いた対話的な画像散策法, 人工知能学会誌, Vol. 13, No. 5, pp. 728-738 (1998).
- [Laughery 72] Laughery, K.R., Alexander, J.F. and Lane, A.B.: Recognition of human faces: Effects of target exposure time, target position, pose position, and type of photograph, Journal of Applied Psychology, 55, pp. 477-483 (1972).
- [長尾 98] 長尾光悦, 山本雅人, 鈴木恵二, 大内東: インタラクティブ GA に基づく画像検索システムの評価, 人工知能学会誌, Vol. 13, No. 5, pp. 720-727 (1998).
- [尾田 94] 尾田政臣: 人間のイメージ形成過程の特性を利用した画像検索システム, 情報処理学会論文誌, Vol. 35, No. 7, pp. 1449-1456 (1994).
- [杉本 98] 杉本富利, 西尾研一, 本多中二: IGA のための心理的尺度に基づいたファジィ推論による適合度割当て法, 人工知能学会誌, Vol. 13, No. 5, pp. 739-745 (1998).

〔担当委員：黄瀬浩一〕

2002 年 9 月 4 日 受理

—— 著 者 紹 介 ——

阿部武彦 (正会員)

1988 年金沢大学経済学部経済学科卒業。同年、大和コンピュータサービス (株) (現 (株) 大和総研) 入社。1993 年石川職業能力開発短期大学校講師。1997 年金沢大学大学院自然科学研究科博士後期課程修了。博士 (学術)。1997 年金沢工業大学講師。現在、助教授。人工知能の推論高速化の研究に従事。電子情報通信学会会員。

上田芳弘 (正会員)

1983 年慶応義塾大学工学部管理工学科卒。1985 年同大学院修士課程修了。同年松下電器産業 (株) 入社。1989 年石川県工業試験場入所。以降、グループウェア、知識共有、感性工学の研究開発に従事。2001 年金沢大学大学院自然科学研究科博士後期課程修了。博士 (工学)。電子情報通信学会、情報処理学会各会員。

木村春彦 (正会員)

1979 年東北大学工学研究科博士 (情報工学) 課程修了。同年富士通 (株) 勤務。1980 年金沢女子短期大学講師。1984 年金沢大学経済学部助教授を経て、現在、同大学工学部情報システム工学科教授。工学博士。その間、最適コード変換、プロダクションシステムの高速度の研究に従事。電子情報通信学会、情報処理学会各会員。