



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	インタラクティブGAに基づく画像検索システムの評価
Author(s)	長尾, 光悦; 山本, 雅人; 鈴木, 恵二 他
Citation	人工知能学会誌, 13(5), 720-727
Issue Date	1998-09-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/64530
Type	journal article
File Information	110002808097[Japanese Society for Artificial Intelligence].pdf



インタラクティブ GA に基づく画像検索システムの評価

Evaluation of the Image Retrieval System Using Interactive Genetic Algorithm

長尾 光悦*
Mitsuyoshi Nagao

山本 雅人*
Masahito Yamamoto

鈴木 恵二*
Keiji Suzuki

大内 東*
Azuma Ohuchi

* 北海道大学工学研究科複雑系工学講座

Research Group of Complex Systems Engineering, Graduate School of Engineering, Hokkaido University, Sapporo 060-8628, Japan.

1998年2月3日 受理

Keywords: image retrieval system, interactive genetic algorithm, subjectivity, retrieval history.

Summary

In the conventional image retrieval, the user has performed the retrieval by using linguistic keywords. However, it is difficult to use this method in the image retrieval treating the user's subjectivity like the impression received from images. Recently, as one of the method treating the user's subjectivity, the interactive genetic algorithms is researched. In this paper, we propose the image retrieval system using the interactive genetic algorithms in the retrieval treating the personal subjectivity. Using the combination of the artificial selection used in the conventional interactive genetic algorithms and natural selection, the number of the branch from a certain generation could be increased. Moreover, the use of the retrieval history can give the user the effective retrieval without performing the complex evaluation of the presented images. We evaluate the system through the experiment using the subjects. In addition, we compare the proposed system with the system using the conventional interactive genetic algorithms which decides the parents by using artificial selection.

1. ま え が き

近年の情報の多様化に伴い情報検索において画像を検索対象として扱うことの必要が高まってきている。本論文は画像検索にインタラクティブ GA の概念を利用する方法に関して述べる。従来、画像検索手法として用いられてきたのは画像に対してラベル付けを行い、検索者が入力した言語キーとのマッチングによって画像検索を行う方法であった[イングベンゼン 95]。この場合、ラベルは画像内の特徴を考慮して決められる必要がある。このような研究例としては形容詞等の感性語を用いて画像を検索する方法等が報告されている[柳生 96]。しかし、ラベル付けを行うのは索引者であり、ラベル付けの際に索引者の主観が入り込み利用者の主観を歪めてしまう可能性がある。また画像に付けられ

たラベルが完全に画像の特徴を記述しているという前提のために記述されなかった特徴に関しては考慮がなされない。これらの理由により画像から受ける印象といった主観性が重要視される場合にはこの方法では限界が生じてくる。

検索者の主観性に重きをおいた検索の実現方法として、示された画像に対して要求に合っているか否かの評価を行わせる方法がある。すなわち画像を直接キーとして用い検索者との対話機能によって検索者の主観的意味を捉えた検索を行う方法が研究されている[栗田 90, 尾田 94]。画像を直接キーとして用いる方法は、画像そのものの情報を利用した検索を実現することが可能であり検索者自身が検索の過程において主観的な特徴を定義することが可能であることから、今後ますます複雑化するであろう画像における主観的な意味を扱う上で非常に有効な検索方法の1つである。

一方、インタラクティブ GA や模擬育種法は従来の遺伝的アルゴリズムにおける自然選択に変え人為選択により次世代の親を決定する操作を繰り返し、人間の好みや主観を反映した個体を発生させようというものである [畠見 94]。

インタラクティブ GA を画像検索へ適用した研究としては、犯人のモンタージュ作成にインタラクティブ GA を用いる研究が報告されており、GA の創発性を利用することで、ユーザが細かな特徴を思いつかなくても発見的に画像検索を行うことが可能である [Caldwell 91]。この方法では画像の適切性を検索者が数値として入力し、その値を淘汰に用いている。しかし、主観を重視した検索においては適切性を数値的に変換することは困難ではないかと考えられる。

本論文では、インタラクティブ GA を用い対話的に画像検索を行うシステムを提案する。提案するシステムでは検索者が提示された画像に対して要求に合っているか否かの単純な評価のみによって画像検索を行うことが可能である。更に、本システムで用いるインタラクティブ GA は、従来のインタラクティブ GA や模擬育種法における人為選択によってのみ親が決定される方法ではなく、検索履歴を考慮し、また評価関数による自然選択を併用する。このように自然選択も用い大規模な選択を行い、更には検索履歴から過去に得られた情報も利用することによって、単純な評価によって満足のいく検索結果を得ることが可能となる。遺伝的アルゴリズムや遺伝的プログラミングにおいて履歴情報を初期集団の生成 [加藤 97]、インタラクティブ GA における生成された子孫の適応度の予測 [高木 98]、ロボットの長時間制御における次行動の予測評価 [Nordin 97] に用いている研究が報告されているが、本論文においては人間が選択した個体に基づき親となる個体を決定する際の適応度関数において検索履歴を考慮するという点でこれらとは異なる。

上記の検索履歴、人為選択、自然選択を組み合わせることによって画像検索においてユーザの主観を扱う場合に有効な検索を行うことが可能となる。また、提案した画像検索システムの性能を評価するために被験者を用いた実験において従来の人為選択のみによるインタラクティブ GA との比較を行い、その考察を行う。

以下、2, 3 章ではインタラクティブ GA に基づく画像検索システムを提案し、4, 5 章ではインタラクティブ GA に基づく画像検索システムの評価を実験を通して行う。最後に提案したシステムの特徴を明らかにし、今後の課題を議論する。

2. 画像検索

以下に、本論文において用いた画像及び画像検索方法について述べる。

2.1 画像

本研究では検索対象となる画像として、線画から構成される顔画像を用いるものとした。人間の顔の画像は人それぞれで印象が大きく異なるという点で非常に主観的な判断が入り込みやすい画像であると考えられる。「好みの顔はどのような顔ですか」と尋ねられた場合に思い描く顔が人それぞれであることからこれは明らかであろう。本研究におけるシステムの目的は個々のユーザの主観を反映した検索を行うことであり、その目的に適合した画像の一例として顔画像を扱うものとした。また、システム設計及び評価実験の簡単化を目的として線画による顔画像とした。

ここでの顔画像は顔の形状 (FS)、眉の形状 (BS)、眉の位置 (BP)、目の形状 (ES)、目の位置 (EP)、鼻の形状 (NS)、鼻の位置 (NP)、口の形状 (MS)、口の位置 (MP)、耳の位置 (RP) の計 10 個の顔画像特徴から構成され、各特徴は $\{-1, 0, 1\}$ のある一つの値を取る、つまり各特徴は 3 種類存在する。この特徴の全ての組合せから、検索対象となる顔画像がシステム上に約 6 万枚存在することと想定する。しかし、検索時において検索者は顔画像がこれらの特徴値の組合せによって生成されていることを認識していないものとする。図 1 に顔画像の例を示す [尾田 94]。

顔画像に関して行われている研究では、実画の顔を用いたものが多い。しかし実画を扱う場合においても抽出が困難な形状特徴ではなく、濃淡パターンから生成される情報圧縮表現を特徴として扱う方法が用いられ、要求された画像情報と完全に一致する画像が存在しない場合においてもその距離的類似によって提示す

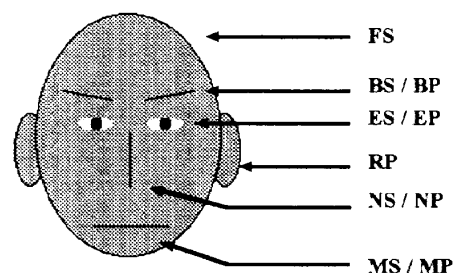


図 1 顔画像の一例

る画像を決定する方法が存在し、その有効性も報告されている[尾田 96]。よって、本システムは特徴を扱うという点において実画像への移行も可能である。

2.2 検索手順

以下に本システムにおける検索の手順及び検索過程におけるシステムの内部動作を示す。

- (1) ランダムに決定された n 枚の顔画像が検索者へ提示される。
- (2) 提示された顔画像の中から検索者が主観に基づいて望ましい顔画像を複数枚選択する。
- (3) 選択された顔画像に基づき検索者へ提示する顔画像を決定し、それらを提示する。
- (4) 終了条件を満たしていない場合、(2)へ戻る。

検索を開始するとランダムに決定された 10 枚の顔画像が検索者へ提示される。提示された顔画像から検索者が主観に基づき望ましい顔画像を選択する。選択は Yes/No の 2 種類によって行われ、実際の検索においては検索者は好ましいと思う顔画像に対して Yes の判定を指定する。検索者は提示された 10 枚の顔画像の中から希望する顔画像に適合している顔画像であれば複数枚の顔画像に対して Yes の判定を行うことが可能である。Yes の判定が行われた顔画像はシステムに用意されているバッファに蓄えられる。次に選択された顔画像に基づき次画面において検索者へ提示する顔画像を決定する。上記の操作を繰り返し、検索者は希望する画像を検索する。

本検索システムには選択された顔画像を管理するためのバッファが備わっている。このバッファは、選択された顔画像を 10 枚まで蓄えることが可能である。10

枚以上の顔画像が検索された場合には選択順が古いものから自動的に捨てられる。検索者はこのバッファを検索過程でいつでも呼び出しバッファに蓄えられている顔画像を再評価できる。検索者はバッファに蓄えられている顔画像の中から好ましくないと判断した顔画像を削除することが可能である。図 2 に本画像検索システムのインタフェースを示す。

3. インタラクティブ GA に基づいた画像検索

以下、本論文において用いたインタラクティブ GA の詳細について述べる。

3.1 個体のコード化

各個体のコード化として、あらかじめ定められた画像の特徴量を個体が表現するものとする。すなわち、本論文で用いた顔画像では 10 個の特徴の組合せにより構成され、各特徴は 3 種類の値を取る。したがって、各個体は遺伝子長 10 の個体であり、各遺伝子座には顔画像の特徴値が入る。実画像を用いた場合には、存在する画像と完全に適合しない個体が存在することもあるが、本論文において用いているのは線画によって描かれる顔画像のために 1 つの個体はある顔画像と完全に一致するものと考えることができる。

3.2 インタラクティブ GA に基づく検索手法

以下は本システムで適用したインタラクティブ GA に基づく検索手法である。

- (1) 選択された顔画像に対応した各個体の適応度が計算される。
- (2) 算出された適応度に基づいた淘汰が行われ、親となる個体が決定される。
- (3) 決定された親に対して遺伝的操作が適用され、子孫を生成される。
- (4) 適応度関数により各子孫の適応度が計算される。
- (5) 高い適応度を持つ 10 個の子孫が選ばれ、それら子孫に適合する顔画像を検索し検索者へ提示する。この操作により順次、検索者へ提示される顔画像が検索される。

3.3 遺伝的操作

(1) 適応度の計算方法

本手法では新たな提示画像を決定する際に、直前の検索者による提示画像への取捨選択だけではなく、バッファ内に蓄積された履歴を用いて適応度関数を陽に定

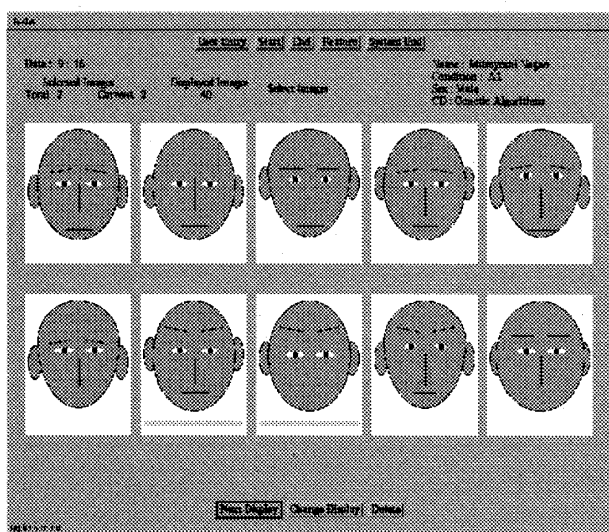


図 2 画像検索システムのインタフェース

めることにより、提示画像の妥当性がより高められると考える。すなわち、各個体 x_h の適応度は以下の適応度関数を用いて計算される。

$$Fitness(x_h) = \sum_{i \in B(k)} w_i \left(\beta - \sum_{j=1}^m |x_{ij} - x_{hj}| \right)$$

x_h : 適応度の計算対象となる顔画像 x_h

x_{hj} : 顔画像 x_h の特徴 j の特徴値

x_{ij} : 検索者によって選択されバッファに蓄えられている顔画像 x_i の特徴 j の特徴値

$w_i = \alpha^{(k-T_i)}$: x_i に対する重み

α : 減衰率 ($\alpha < 1$)

k : 現在の世代数

T_i : 検索者によって選択された顔画像 x_i が検索された世代

$B(k)$: 世代 k においてバッファ内に蓄えられている顔画像集合

m : 顔画像特徴数

β : 定数 ($\beta \geq 20$)

本手法では適応度の計算方法は、検索者によって選択されかつバッファ内に蓄えられている顔画像 x_i と適応度の計算対象となる顔画像 x_h の間のユークリッド距離を用いる。適応度の計算対象としては検索者が過去に評価した顔画像とした。バッファに蓄えられている顔画像からのユークリッド距離の近い顔画像に大きな適応度を与えるために定数 β からの差を求める。これに x_i の履歴による重み w_i を掛ける。重み w_i は顔画像 x_i の選択された世代を T_i とし、 T_i を用いて重みを決定する。上記の計算をバッファ内に蓄えられている全ての顔画像に対して行い総和を求める。この方法により各個体の適応度を求める。

ここで適応度の計算方法はユークリッド距離を基準として計算を行ったが、顔画像間の類似性に関してユークリッド距離の近さに比例すると報告されている例があり [ブルース 90]、これに従うものとして採用した。またバッファ内に蓄積された顔画像の情報、つまり検索履歴を用いることに関しては、検索者の主観に関する情報がある一代を基準として獲得するのではなく、過去に得られた情報も利用することによってより有効な主観の推測が可能になると考えられる。本論文においては検索された世代が遅いほど、つまり最新に選択された顔画像の情報を多く利用し、選択された世代が古いほどその利用量を減少させている。これは検索者が最新に選択した顔画像が検索者の主観を最も良く反映している顔画像であろうという仮定に基づいたもの

である。

以上のように本システムにおいては人為選択だけでなく適応度による自然選択の両方を用いている。人為選択のみでは次世代の親となる個体に限られる。また、一個体のみが検索者に選択された場合には突然変異のみによって子孫が生成されるためにGAの利点の1つである多様性の維持の特性が失われる可能性があり、探索問題でいうところのローカルミニマムに陥る可能性が高い。このように両選択を用い大規模な集団における選択を行うことによりその特性を失うことなく有効な選択が可能になると考えられる。

(2) 淘汰

算出された各個体の適応度に基づき次世代の親となる個体を決定する。この淘汰には適応度比例戦略を用いた。親として選ばれる集団は p 個体とし、重複を許す。

(3) 交叉

交叉オペレータにより2個体の親の顔画像の特徴を組み合わせた2個の子孫を生成する。交叉には一様交叉を用いる。一様交叉を用いることにより特徴の並びに依存しない組合せを行う。一様交叉を用いると他の一点交叉等に比べ収束率及び探索効率自体は劣化すると考えられるが [Goldberg 89]、検索者に多様性を維持した顔画像を提示することができる。

(4) 突然変異

突然変異オペレータにより、個体の特徴の値を確率的に変更する。本論文では、 $1/m$ を用いる。

4. 実験方法

本システムの評価を行うため顔画像検索システムを構築し、被験者を用いた検索実験を行った。以下に、実験方法を示す。

実験は、大学生6名に対して行った。各被験者は実験に先立ちシステムの使用方法に関する説明を受け、検索練習をした後、実験を開始した。実験は比較のために検索者ヘランダムに提示を行うシステム(RN)、本論文において提案するインタラクティブGAに基づいたシステム(IGA)、従来のインタラクティブGAにおいて用いられてきた人為選択のみによって次世代の親が決定されるシステム(AS)の計3種類を用いて行った。ここでASによる次世代の提示画像の決定方法として、各世代での提示画像に対する検索者の選択画像からだけ、親が決定され子孫を発生させるものとした。

つまり、1 個体だけが選択された場合にはその親からの突然変異のみによって子孫が発生し、複数の選択が行われた場合には交叉を含めることとした。また、検索者に提示される顔画像を変更するため検索者に過去に提示された画像と異なるまで交叉、突然変異を繰り返すものとした。交叉には一様交叉を用いた。従来のインタラクティブ GA では一世代において 1 個体以上を選択することが前提となっているが、検索においては検索者の主観に適合しない画像のみが提示され、選択が得られない場合がある。このため AS では選択が行われない場合には、提示される画像をランダムに決定するものとした。

検索実験において用いた検索対象は「好みの顔」、「子供っぽい顔」、「真面目そうな顔」、「神経質そうな顔」、「ターゲット顔画像」の計 5 種類の検索対象を用いた。ターゲット顔画像を用いた実験では検索者に図 1 に示されるような 1 枚のターゲット画像を与え、「ターゲット画像であると思われる画像を検索して下さい」と指示し検索を行わせた。残りの検索対象においては「貴方にとって子供っぽい顔を検索して下さい」といったように指示し検索を行わせた。また、実験において順序の影響をなくすために 3 種類のシステムの組合せによる 6 通りの実験順序を各被験者に割り当て実験を行った。「好みの顔」、「子供っぽい顔」、「真面目そうな顔」、「神経質そうな顔」の検索対象は、システムの目的である主観性を重視した検索を想定した検索対象である。これら検索対象はある 1 つの特徴のみによって印象が決定されるのではなく画像全体からその印象が決定され、また個人が画像から受ける印象も異なることから採用した検索対象である。

画像検索システムの利用形態としては要求に適合した未知の画像を検索することが目的であるが、画像検索システムの現実的な利用形態として手元にある画像そのものもしくはその画像に類似した画像を検索したい場合もある。ターゲット顔画像を用いた実験は、そのような利用形態におけるシステムの評価のための実験である。

「好みの顔」、「子供っぽい顔」、「真面目そうな顔」、「神経質そうな顔」の検索対象における実験では検索はバッファに検索対象として満足いく顔画像が 10 枚蓄えられた時、検索を終了するものとした。また、ターゲット顔画像を用いた実験においては、ターゲット顔画像であると思われる画像を 10 枚検索した時点で検索を終了するものとした。画像から受ける印象といった主観性を扱う画像検索においては、複数の画像が検索者にとって望ましい検索結果となる場合がある、ま

た複数の望ましいと判断した画像の中から最終的な判断を行った方がより良い判断を行うことができる。更には、本論文で提案するシステムは検索履歴を用いるために検索者が望ましいと判断した画像の情報のみを使用する必要がある。このような理由により上記の検索終了条件を用いた。

以下に、インタラクティブ GA において用いたパラメータを示す。

- 集団数：200
- 交叉率：0.3
- 突然変異率：0.1
- α ：0.9
- β ：20

これらパラメータは、提示画像の多様性の維持と初期収束の防止を意図し決定した。

5. 実験結果

以下に、検索者の主観を扱う検索の実験結果とターゲット画像を用いた実験の結果をそれぞれ示す。

5・1 主観を扱う検索の実験結果

表 1、図 3 に実験結果を示す。表 1 における検索回数は検索開始から検索終了までに要した世代数であり、検索時間は検索開始から終了までの時間を示す。これらの結果は検索者の主観性を考慮した 4 つの検索対象での検索実験、計 24 回の実験の平均である。本論文における画像の検索方法では、少ない検索回数と時間で画像を検索することがシステムの有効性を示す重要な尺度となる。

表 1 において、検索回数は IGA が 27.5、AS が 30.5、RN が 34.0 となった。また、各手法における検索時間は IGA の場合 5 分 53 秒、AS の場合 7 分 37 秒、RN の場合には 5 分 35 秒という結果となった。検索回数に関しては IGA が最も短い結果を示した。しかしながら、検索時間に関しては IGA よりも RN において短い時間で検索が終了されている。この原因を調査するために検索時間を検索回数で割った 1 画面あたりの評価時間を求めた。その結果、RN は約 10 秒、IGA は約 13 秒、AS は約 15 秒であることから、RN の場合には検索者の主観に適合した顔画像が提示されづらいため、1 画面あたりの評価時間が多少短くなったためと考えられる。また、AS の場合には人為選択のみから親が決定される。よって非常に類似した顔画像集合が提示され、顔画像間の差異の判別に時間を要すると

場合には検索者の主観にあった顔画像が提示され、更に多様性が維持されるために RN と AS の中間に位置する結果が得られたと思われる。また、これら平均間の差の検定を分散分析を用いて行ったが、統計的な有意差が得られなかった。これは被験者の人数が少ないこと、検索課題が主観性を重視したものであるために各被験者における検索結果の分散が大きくなったこと等の原因が考えられる。

検索システムの有効性を検討する場合に検索作業において得られた画像の質もまたシステムの重要な評価である。そこで、「神経質そうに見える顔」の検索対象において各手法によって検索された顔画像の満足度の測定を行った。

この満足度の測定には AHP を用い、検索された画像に対しての順位付けを行った [刀根 86]。AHP は評価する対象をそれぞれ一対比較によって比較し最終的に各評価対象の重要度を決定する手法である。AHP による評価においては、評価対象の適切性を数値化しなければならない。このような印象といった主観性を重視した検索においては、検索過程において画像の適切性を数値化することは困難であると考えられるが、検索が終了した時点では検索者の画像に対する印象が明確になっていると考えられるために数値化も可能であると思われる。また、満足度の測定方法としては、各手法によって検索された全画像の中から最も検索対象として望ましい画像を検索者に決定させる方法等も考えられるが、AHP を用い一対比較を用いて画像を評価させることによってより正確な画像の満足度評価を行うことが可能であると考えられる。

表 1 主観を扱う検索実験における実験結果

	検索回数	検索時間
RN	34.0	5 分 35 秒
AS	30.5	7 分 37 秒
IGA	27.5	5 分 53 秒

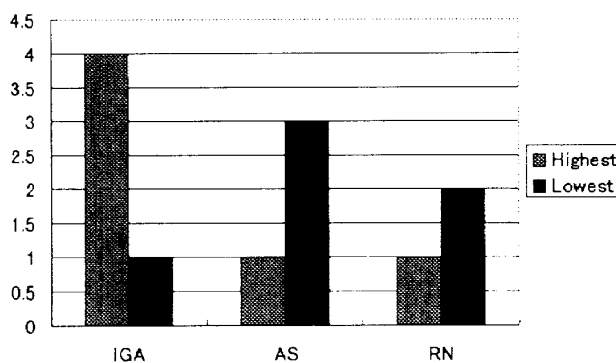


図 3 検索された画像の満足度

AHP による満足度測定方法は、第一に各手法において検索終了時にバッファの中に蓄えられている 10 枚の顔画像の中から検索結果として最も適切な顔画像を 2 枚選択させる。次にこれら 6 枚の顔画像を一対比較によって評価する。AHP においては一対比較の要素数が 7 を超えると一対比較が非常に難しくなると報告されているため [刀根 86]、本実験においては各手法において 2 枚の顔画像を抽出し、計 6 枚の顔画像を用いて AHP による評価を行うものとした。

一対比較による評価は「どちらでもない」を含める検索結果として適切か否かの 9 段階の評価を用いた。この評価を繰り返し各顔画像の重要度を決定する。

また、AHP においては一対比較による評価を用いるため検索者が行った評価において整合性があるかを調査する必要がある。この整合度の限度が 0.1 程度であるといわれており、目的によっては 0.15 程度まで許容される。このような印象を扱った比較においては必ずしも整合性が成り立たない場合が考えられることから今回は 0.15 までを許容した。整合度の結果が 0.15 を超えた場合には再度一対比較を行い評価を行うものとした。

図 3 は AHP による満足度評価の結果を示す。図 3 は計 6 回の検索実験において各手法によって検索された顔画像が AHP 評価によって重要度が最も高い、つまり検索結果として最も好ましいと評価された回数と最も好ましくないと評価された回数である。また、実験における整合度の平均値は 0.0869 であったため、信頼性のある実験結果といえる。

この結果から、IGA の場合には検索結果として満足できる顔画像が他手法に比べ多く、また満足度の低い画像が検索される可能性が低いことが確認された。

これらの結果から、本論文で提案するインタラクティブ GA に基づいたシステムが検索者の主観を重視した検索において従来法に比べ、検索回数、検索時間に関しては統計的な有意差が得られなかったものの、非常に満足度の高い画像を検索することが可能であるといえる。

5・2 ターゲット画像を用いた実験結果

ターゲット画像を用いた実験結果を表 2、図 4、図 5 に示す。実験結果は上述の結果と同様に表 2 における検

表 2 ターゲット顔画像を用いた検索実験における実験結果

	検索回数	検索時間	ターゲット顔画像までの距離
RN	77.1	8 分 9 秒	65.7
AS	63.3	8 分 49 秒	54.6
IGA	36.3	6 分 9 秒	62.6

索回数は検索終了までに掛かった世代数、検索時間は検索終了までの時間を示す。ここで、表2におけるターゲット顔画像までの距離とは、検索者によって検索された各顔画像とターゲット顔画像間のユークリッド距離を求め、その距離の総和を示したものである。また検索者へ提示された顔画像集合のターゲット画像までの距離の変移を図5に示す。これら結果は計6回の検索実験の平均である。

表2から検索回数はIGAが36.3, ASが63.3, RNが77.1という結果となった。また、検索時間はIGAが6分9秒, ASが8分49秒, RNが8分9秒という結果となった。ターゲットを用いた実験においてもこれら平均間の差の検定を分散分析を用いて行ったが、この実験においても統計的有意差が得られなかった。しかしながら、ターゲットを用いた実験の場合には実験結果の分散がそれほど大きくなかったために被験者の人数を増加させることにより統計的な有意差が確認できるものと考えられる。

また、ターゲット画像までの距離の結果においてはIGAが62.6, ASが54.6, RNが65.7という結果となった。RNの場合にはターゲットと類似した画像が提示されづらいために距離が大きくなると考えられる。図4は検索者に各世代において提示された顔画像集合の分散を示す。図4から、ASに関しては選択を行うと

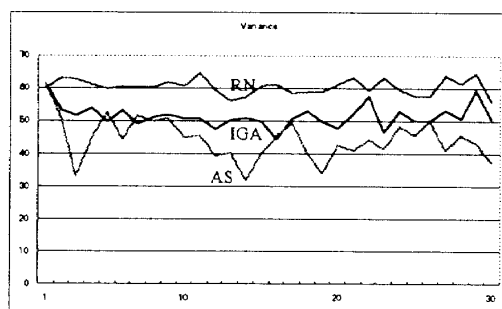


図4 提示顔画像の分散

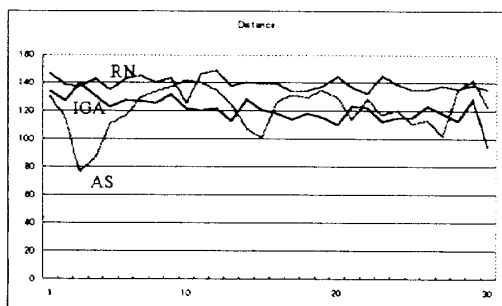


図5 提示画像集合のターゲット画像までの距離

その近傍周辺の画像のみが表示され、その近傍領域から脱出することが困難であり、探索問題として見た場合の局所解に陥ったためにターゲットまでの距離が大きくなったと考えられる。更に、図5は検索者に提示された顔画像集合のターゲット顔画像までの距離の変移であるが、この結果からIGAの場合には収束の速度が遅いために選択された顔画像集合のターゲット顔画像までの距離が大きくなったと考えられる。

6. 考 察

本論文では検索者の主観性を重視した画像検索に対するインタラクティブGAの有効性を被験者を用いた検索実験を通して検討した。本論文で提案するインタラクティブGAは検索者の主観を扱う画像検索において従来のインタラクティブGAと比較して質の高い画像を検索することが可能であることが示され、提案したシステムにおける検索履歴の利用等がうまく働いたと思われる。しかしながら、まだ検索回数、検索時間における統計的有意差が得られていない。これは、被験者数の問題もあると考えられるために今後多くの被験者実験を行う必要がある。

また、ターゲット画像を用いた場合の実験においてはターゲット画像もしくはそれに類似した画像を検索することが目的であるために、検索された画像のターゲット画像までの距離がシステムの有効性を示す尺度として重要となると考えられる。提案するシステムでは画像の多様性を維持するために交叉に一樣交叉を用い、突然変異率も高めに設定した。これにより収束率が低下したためにターゲット画像までの距離が大きくなったと思われる。この問題はパラメータの設定によって解決されることが考えられるが、収束性を上げることにより主観性を重視した場合の検索の効率が低下することもあると考えられる。主観性を重視した検索及びターゲット画像を用いた場合の両検索状況において有効となるようなパラメータの設定を行う必要があるであろう。また、近傍の探索においては従来の人為選択のみによるインタラクティブGAが有効であると考えられる。このため提案するインタラクティブGAと従来手法のハイブリット化も検索システムの有効性を高める手段の1つではないかと考えられる。

本システムにおいては適応度計算に検索履歴を利用している。主観を扱い人為選択のみで検索を行う場合には進化の方向が検索者の希望しない方向へと進む可能性がある。本論文における履歴の利用は検索者が最新に選択した顔画像に対して大きな重みを与えるよう

設計してある。また、検索された画像がバッファ内に蓄えられ検索者が再評価を行い取り除くことが可能である。これにより、検索者が進化の方向性を自ら変更することが可能となる可能性を残している。このターゲット画像の変更もしくは進化の方向性の変更可能性に関する検討は今後の課題である。

最後に本論文で用いた画像は線画による顔画像であり、特徴数が10特徴と少ない。このような特徴数が少ない場合には手法ごとの差異が出にくいと考えられる。よって、実画像を用いた場合の画像検索において提案手法を用いてシステムを構築し有効性の検討を行いたい。

7. む す び

本論文では、インタラクティブGAに基づいた画像検索システムを提案し、その性能評価を被験者を用いた検索実験を通して行った。実験結果においては検索者の人為選択と適応度関数を用いた選択を用い、更には検索の履歴を用いることが主観を扱うような検索において有効であることが示された。しかしながら、より適切な適応度関数及びパラメータ設定を用いることによって、更なる検索の効率化が計られると考えられる。また、本稿で用いた画像はシステム構築及び性能評価の簡単化の理由により線画による顔画像を用いたが現実的な検索システムを考えると実画像を扱うことができるシステムの構築を行う必要がある。これらは今後の課題である。

◇ 参 考 文 献 ◇

- [ブルース 90] V. ブルース, 吉川 左紀子 訳: 顔の認知と情報処理, サイエンス社 (1990)
- [Caldwell 91] Craig Caldwell, Victor S. Johnston: Tracking a Criminal Suspect through "Face-Space" with a Genetic Algorithm, Proceedings of International Conference on Genetic Algorithms, pp.416-421(1991)
- [Goldberg 89] David Goldberg: Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning, Addison-Wesley (1989)
- [イングベンゼン 95] P. イングベンゼン, 藤原鎮男 監訳: 情報検索研究, トッパン (1995)
- [加藤 97] 加藤宗子, 飯作俊一: 遺伝的アルゴリズムを用いた画像検索におけるユーザ主観を反映した履歴情報活用法の提案, 信学技法, AI97-10, pp.71-78 (1997)
- [栗田 90] 栗田多喜夫, 下垣弘行, 加藤俊一: 主観の類似度に適応した画像検索, 情報処理学会論文誌, Vol. 31, No. 2, pp.227-236 (1990)
- [Nordin 97] Peter Nordin, Wolfgang Banzhaf: Real Time Control of a Khepera Robot using Genetic Programming, Control and Sybernetics, Vol.26, No.3, pp.533-561 (1997)
- [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)
- [尾田 96] 尾田政臣, 赤松茂, 深町映夫: あいまい顔イメージの検索に対するKL展開の適用性, 電子情報通信学会論文誌(A), Vol. J79-A, No.2, pp.288-297 (1996)
- [高木 98] 高木英行, 大崎美穂, 印具毅雄: インタラクティブEC操作者の疲労軽減手法, 人工知能学会知識ベースシステム特別研究会資料, SIG-KBS-97S, pp.47-52 (1998)
- [刀根 86] 刀根薫: ゲーム感覚意思決定法, 日科技連 (1986)
- [畠見 94] 畠見達夫: 遺伝的アルゴリズムとコンピュータグラフィックスアート, 人工知能学会誌, Vol.9 No.4, pp.518-523 (1994)
- [柳生 96] 柳生智彦, 久森芳彦, 八木康史, 谷内田正彦: 配色支援システムにおける好みの獲得と迷いの解消, 電子情報通信学会(A), Vol. 79-A, pp.261-270 (1996)

(担当委員: 畠見達夫)

著 者 紹 介



長尾 光悦

1995年北海道工業大学電気工学科卒業。現在、北海道大学大学院工学研究科システム情報工学専攻複雑系工学講座、修士課程在学中。画像検索システム、対話型進化計算に関する研究に従事。電子情報通信学会、情報処理学会各学生会員。

<nagao@complex.eng.hokudai.ac.jp>



山本 雅人(正会員)

1991年北海道大学工学部情報工学科卒業。1993年同大学院工学研究科修士課程情報工学専攻修了。1996年同博士後期課程修了。博士(工学)。1996年日本学術振興会特別研究員(PD)。1997年北海道大学大学院工学研究科複雑系工学講座助手。自動推論、ゲノム情報処理などに関する研究に従事。情報処理学会、電子情報通信学会、計測自動制御学会、日本オペレーションズ・リサーチ学会各会員。

<masahito@complex.eng.hokudai.ac.jp>



鈴木 恵二(正会員)

1988年北海道大学工学部精密工学科卒業。1990年同大学院工学研究科修士課程精密工学専攻修了。1993年同博士後期課程修了。博士(工学)。同年、北海道大学工学部助手。1996年同大学院工学研究科複雑系工学講座助教授。ニューラルネットワーク、遺伝的アルゴリズム、マルチエージェントなどに関する研究に従事。情報処理学会、日本機械学会各会員。

<suzuki@complex.eng.hokudai.ac.jp>



大内 東(正会員)

1974年北海道大学大学院工学研究科博士課程修了。博士(工学)。北海道大学大学院工学研究科複雑系工学講座教授。システム情報工学、応用人工知能システム、医療システムの研究に従事。情報処理学会、電気学会、計測自動制御学会、日本オペレーションズ・リサーチ学会、医療情報学会、病院管理学会、IEEE-SMC各会員。

<ohuchi@complex.eng.hokudai.ac.jp>