

# ユーザの主観的な心で制御する遺伝的アルゴリズムを用いた画像検索手法

## *An Image Retrieval Method Based on A Genetic Algorithm Controlled by User's Mind*

加藤宗子  
Syuko KATO

### 要旨

個々のユーザの所望の画像を検索するために、ユーザの主観的な心で制御する画像検索手法を提案する。提案手法は、遺伝的アルゴリズムに導入したインタラクティブ性を向上し、インタラクションからの情報を積極的に活用することで、従来提案の手法より主観反映状況と検索効率を改善する。具体的には、検索開始時に過去の画像検索からの履歴情報、論理積のみならず論理和の検索条件を入力可能とし、検索途中でも提示画像数の許容値及び提示画像に対するユーザ判定を随時ユーザ主導で変更可能とすることでインタラクティブ性を向上する。また、ユーザ判定を出現遺伝子に反映する特徴基準量を新たに定義し、交叉、突然変異操作に活用することで、ユーザの主観的な心を反映した特徴選択結果を取得し、ユーザの所望に合ったマッチング画像を取得、提示するための判断基準に利用する。提案手法により、ユーザの所望が、あいまいで、断片的で、多様であっても、それをあえて厳密に表現することなく、画像に対するユーザ判定を手がかりとして画像検索を制御することにより、所望に合った画像を従来より効率的に取得することができる。

This paper describes an image retrieval method based on an interactive Genetic Algorithm controlled by the minds of individual users. The method dynamically enhances the ability to reflect the mind of the user in the retrieval process and improves the retrieval efficiency. By using this method, without explicit representation of the desired image, the image is nevertheless induced through feature selection based on the diverse, fragmentary, and ambiguous subjective intent of the user. This points the way to a powerful system that is capable of guessing the mind of the user and is not dependent on overt representation of images.

### [キーワード]

画像検索, 遺伝的アルゴリズム, インタラクション, 主観, 特徴選択,  
Image retrieval, Genetic Algorithm, Interaction, Subjectivity, Feature selection

## 1 はじめに

今後更に深刻化するであろう情報洪水社会において、ユーザの所望の情報を人にやさしくかつ効率的に検索する情報検索技術はますます重要となる。特に、検索対象が画像である場合、ユーザは画像に対して多様な意味を見いだすことができるため、システムで取り扱う画像が大量で多様になるほど、個々のユーザの主観的な心を深く推測する画像検索手法が必要となる。

これまで、ユーザの主観を扱う画像検索手法の研究では、統計的手法や線形代数的手法が多く用いられてきており、印象語による絵画の検索 [1] のように言語キーを入力する方法や、商標図形や蝶のパターン図形の類似画像検索 [2] [3] のように画像キーを入力する方法がある。しかし、これらの方法では、ユーザの主観的な心を反映するために言語キーと画像特徴の関係や画像特徴への重み付けを、事前に学習用画像を用いて計算しなければならず、検索前に所望が明

確でない場合や検索途中で主観的な心に変化する場合には対応していない。一方、近年では、画像検索に限らずユーザの主観的評価が重要となる場面において、ユーザとシステムがインタラクティブに影響し合う手法が注目され、ユーザが評価系として直接評価を行うことの有効性が報告されている[4]~[7]。特にインタラクティブ性を備えた進化的手法である遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm:GA) は、適応度をユーザ評価に従って割り当てることにより、複雑な評価関数を定義しなくてもユーザ評価の高い解を自然に得ることができるため、画像検索においても、犯罪者のモンタージュ作成[8]、自然画像の検索[9]、線画で構成される好みの顔画像の検索[10]等が研究されており、どのような画像が欲しいのかの所望を検索前にキーとして直接表現することはできないが、提示された画像の評価はできるというユーザにも有効な手法とされている。

しかし、これら従来の画像検索手法は、大量で多様な画像データベースへの適用を考えると、画像特徴の表現とその扱い方に少なくとも二つの問題点がある。

第一の問題は、応用対象領域によって画像特徴を限定している点である。具体的には、色や形状、位置等、画像から直接計算可能な物理、図形レベル[11]での特徴表現のみを用いるか、または意味レベル[11]での特徴表現を用いても感性語と称した形容詞による表現のみであることがほとんどである。しかし、所望画像に対する個々のユーザの心を、限定された特徴表現だけで語られないことは明らかである。例えば、ユーザは画像の色彩だけではなく「ねそべった犬」からも「のどかさ」を感じたり、感性語ばかりではなく「落下するりんご」から「台風」や「ひらめき」をイメージすることもある。このように画像内容から間接的に連想され派生される意味を示すことができる意味レベルの特徴表現の役割を見逃すことはできない。意味レベルの特徴表現を自動的に獲得するための技術的課題はあるが、複雑なユーザの心を深く推測する画像検索手法を実現するためには、物理、図形、意味レベルの様々な特徴を扱うことができる検索の枠組みが必要である。

第二の問題は、画像特徴を複雑な心を映す断片的表現としては扱っていない点である。画像と画像特徴の対応は、一様な特徴表現の上で一意的に決定されていることがほとんどであり、明示された画像特徴をすべて列挙し、主観量を反映した特徴空間での距離を算出することで主観的な心に近い画像の推定を行っている。しかし、大量で多様な画像データベースでは、意味レベルの特徴も含んだ一様な特徴表現を画像ごとにもつことの方が自然であり、大規模な特徴空間での距離を算出することは、無意味に効率の低下を招くことにもなる。また、明示的な特徴表現のみで距離を求めることは、表現されなかった画像の意味を見捨てることになり、心の推測範囲を限定し狭める結果となる。画像検索におけるユーザの心は、イメージが固まっていなかったり、片言でしか表現できなかったり、同じ表現でもシステムと異なる感性であったり、所望の解が一つではなかったりとあいまい性、断片性、多様性、多峰性を持ち合わせて複雑である。また、システムで表現する画像特徴は常に心を映す断片にしかすぎない。筆者らは、画像検索をユーザの主観的な心で制御することは可能であるが、複雑な心を量として静的に限定できるものでも、厳密に表現するものでもないと考える。しかも心は変動する。複雑なユーザの心を扱うために、あいまいな心はあいまいなままに、ユーザとシステムとの間のインタラクティブな過程の中で誘発される情報を手がかりとして動的に心を推測し続けるアプローチが必要である。その意味で本論文では「心で制御する画像検索手法」とする。

これまで筆者らはこれらの問題点を考慮して、物理、図形、意味レベルの画像特徴を扱うことができ、特徴表現の断片性を考慮した画像検索手法をインタラクティブなGAを用いて提案し[12]~[15]、システムからの提示画像に対するユーザ判定のみでも、ユーザの暗黙の期待に応じて特徴選択結果が柔軟に変化することを示してきた[12]。様々なレベルの特徴表現を視野に入れた研究としては、意味的な観点からの階層モデルの提案[16]があるが、筆者らのアプローチは、特徴表現の各レベルごとに独立なマッチング処理を行うのではなく、各レベルを複合し

た場でマッチング処理を行う点でこれとは異なる。しかしながら、これまでの筆者らの手法は、多くを画像ブラウジングによるユーザ判定に依存しているにもかかわらず、ユーザ判定を仰ぐためのマッチング画像がなかなか得られないことから検索時間を要し、またユーザ判定を適応度に反映するだけで、主観反映効果をGAの創発的探索能力に託すのみの手法であった。

本論文は、文献[12]の手法を改善し、画像検索をユーザの主観的な心で制御するために、提示画像数の許容値及び提示画像に対するユーザ判定を検索途中でも随時ユーザ主導で変更可能とすることでインタラクティブ性を向上させ、インタラクションからの情報を交叉方法に活用することで主観反映状況を高めることを提案する。また、マッチング画像の取得方法及び提示方法に、過去の検索の履歴情報やインタラクションからの情報を活用することで検索効率を高めることを提案する。

以下、**2**でこれまで筆者らが提案してきた画像検索手法の概要を述べ、**3**でその手法の主観反映状況と検索効率を改善する方法を提案し、**4**でこれまで行った計算機実験及びその結果について考察する。なお、本論文では、これまで筆者らが提案してきた手法を基本手法と呼び、今回これを改善した手法を提案手法、特に両者を区別する必要のないときは本手法と呼ぶ。

## 2 遺伝的アルゴリズムを用いた画像検索手法

本手法は、特徴選択を行いながら画像検索を進行させる手法であり、ユーザの主観的な心で画像検索を制御するためにインタラクティブなGAを用いる。すなわち、個々のユーザの主観的な心をインタラクティブに「環境」としてシステムに取り込み、GAによって、「個体」である特徴選択結果をユーザの心の手がかりを示すように世代を通して制御することで、結局はユーザの所望に合った画像を検索させる。具体的には、本手法でのユーザは検索過程で適宜システムから提示される画像に対してユーザ判定(YES、NO、UNDECIDED)を行うのみであり、提示された画像がそのまま検索結果となるブラ

ウジング型の画像検索手法である。したがって、検索目的は最適な画像を一枚検索することではなく、適当な画像を複数枚検索することにある。ユーザが検索開始時に検索条件を入力したい場合は、システムで定義された画像特徴の中から任意に特徴又は特徴の組合せ(論理積)を初期キーとして入力することができる。もし、ユーザが検索開始時に検索条件を思いつかなければ無理に検索条件を入力する必要はない。本手法は、**1**で述べたように二つの点を重視している。一つは、扱える特徴が、物理、図形、意味レベルの全特徴である点であり、もう一つは、特徴選択結果と画像とのマッチング操作を、距離ではなく集合関係で対応づけた点である。この集合関係で対応づけることが、表現の断片性を考慮し言外の意味を限定しない一つのアプローチとなっている。以下、本手法の設計概要[12]について簡単に述べる。

### ①コード化

GAで出現する各染色体が特徴選択された結果を表現するように、GAでの最小操作単位である遺伝子の特徴、すなわち特徴軸と特徴値の組として定義する。遺伝子が $n$ 個( $n \geq 1$ )集まることで一つの染色体を構成し、これが特徴選択結果となる。染色体長 $n$ は、ユーザが初期キーの入力処理を行った段階で決定する。一世代は、 $m$ 個( $m \geq 1$ )の染色体で構成し、集団サイズ $m$ は変動することも許される。

本手法では、特徴をそれぞれ整数値でラベリングされた特徴軸と特徴値の組として定義することで、物理、図形、意味レベルの全特徴を遺伝子として同等に取り扱うことができる。したがって、新たな特徴も整数値でラベリングして特徴定義に追加することによって、計算機資源の制約はあるものの多様な特徴を扱うことが容易となる。しかも、特徴定義の内容はかなり自由であり、システム設計者や索引者らの意図とそれぞれの特徴のもつ性質との兼ね合いで、一つの特徴軸に対して一つの特徴値しか許さない場合もあれば、複数の特徴値を許す場合もある。また、ある特徴の特徴値として定義されているものが別の特徴の特徴軸として定義されてもいっように構わない。染色体長は物理的には固定長としたが、定義された全特徴を一つの染色体



上にすべて列挙する必要はなく、しかも一つの染色体上に重複した遺伝子を許すため論理的には可変長となる。

### ②初期集団

GAにおける初期集団で検索条件が表現できるように、ユーザが検索開始時に入力することができる初期キーに基づいて初期集団を構成する。すなわち、ユーザが初期キーを入力しない場合は、 $m$ 個の染色体をランダムに生成し初期集団とする。また、ユーザが初期キーを入力する場合は、入力された任意の数の特徴(特徴軸と特徴値の組)を反映した染色体とランダムに生成した染色体を合わせた $m$ 個の染色体で初期集団とする。

### ③遺伝子型と表現型

GAにおける遺伝子型と表現型の関係は、画像検索における特徴表現と画像の関係として対応できる。画像は物理的には画素の集まりとして一意に特徴表現できる対象ではあるが、本手法では、画像はユーザの複雑な心によって無限の意味を包含するという観点に立ち、特徴表現と画像の関係を集合関係で対応づける。すなわち、遺伝子型である染色体は特徴の論理積と解釈し、ユーザの心の手がかりを与える特徴選択結果とする。そして、その特徴選択結果を包含する特徴をもつ画像をすべて表現型として対応させ、ユーザの所望を予測したマッチング画像とする。

### ④適応度

適応度は各染色体に対して割り当てられる。GAは適応度の高い染色体を確率的に優先して生存させながら集団を形成し、世代を更新する。ユーザの主観的な心を予測するための手がかりを与える特徴選択を実現するためには、適応度がユーザの心を反映したものである必要がある。このため適応度の割り当ては、検索過程のシステム出力に対して、ユーザに直接判断を委ねるインタラクティブな方法を主に取る。このとき、システムからは画像(表現型)で提示することが重要である。すなわち、ユーザには染色体にマッチングする(染色体に現われた特徴をすべて包含する特徴をもつ)画像を提示し、それに判定を下させ、これを画像適応度とする。ここで、一つの染色体に対して、複数の画像が

マッチングする場合の染色体の適応度を定義する必要があり、便宜上、マッチングした各画像に割り当てられた画像適応度の平均値を対応する染色体の適応度とする。適応度はユーザ判定の有無に関わらず、所望を満たす可能性のあるものほど高い値が得られるように便宜的に設定した。状況に応じた六つの適応度タイプを表1に示す。画像適応度を導入したことで中間値を示す適応度も自然に得ることができ、ユーザ判定がNOのときの画像適応度を25%としたことで、判定差が表面化しないバイアス適応度[17]と同じ効果が得られる。

表1 適応度タイプ

| 適応度タイプNo | 適応度タイプ | ユーザ判定 | 状況                 | 値(%) |
|----------|--------|-------|--------------------|------|
| 1        | 画像適応度  | 有     | ユーザ判定がYESの画像       | 100  |
| 2        | 画像適応度  | 有     | ユーザ判定がNOの画像        | 25   |
| 3        | 画像適応度  | 有     | ユーザ判定がUNDECIDEDの画像 | 75   |
| 4        | 画像適応度  | 無     | ユーザ判定を問引いたときの画像    | 50   |
| 5        | 適応度    | 無     | 適合する画像がないときの染色体    | 50   |
| 6        | 適応度    | 無     | 矛盾した染色体            | 0    |

### ⑤遺伝的操作

適応度を割り当てられた集団中の各染色体( $m$ 個)に対して選択、交叉、突然変異の遺伝的操作を行う。選択は、適応度の大きい順にエリート選択率分( $e$ 個)だけ、染色体を残し(エリート染色体)、他( $m-e$ 個)は、エリート染色体以外の染色体を対象としてルーレット方式(適応度に比例した確率で選択し、重複を許す方式)で、選択する。交叉は、エリート染色体以外の染色体を対象として、選択時に選択した順序でペアを取り出し、交叉率に従った交叉の判断をする。交叉は基本的に一様交叉を採用することで、各染色体に出現した遺伝子同士の扱いを対等とする。基本手法では、突然変異は、現実には起こり得ない矛盾した特徴の組合せとなった染色体(矛盾した染色体)のみを対象として行う。矛盾した染色体について、染色体長分のマスクを生

成し突然変異率に従った突然変異の判断をする。そして、突然変異を行う判断を得た遺伝子座で、特徴軸と特徴値をランダムに生成させることにより突然変異を行う。突然変異は、染色体に現われた特徴の組合せが矛盾しなくなるまで繰り返す。

本手法での遺伝的操作は、それぞれ画像検索手法として、選択はユーザの所望にあった特徴選択を行うため、交叉は新たな特徴の組合せを得るため、突然変異は矛盾のない特徴の組合せを維持するための役割を担う。

### 3 基本手法改善の提案

#### 3.1 概要

ユーザの心で制御する画像検索を実現するために、2で述べた基本手法の主観反映状況と検索効率を改善する方法を提案する。提案手法は、インタラクティブ性を柔軟にし、ユーザとのインタラクションによって得た情報をより積極的

に活用する。提案手法のアルゴリズムの概要をその枠組みとともに図1に示す。画像検索システムは大まかに四つの部分、すなわち、画像データベース部、ユーザインタフェース部、初期入力処理部、画像検索部からなる。

画像データベース部は、画像データを蓄積・管理し、また特徴定義も含めた画像データについての情報(画像情報)を抽出・管理する。そして初期入力処理部、画像検索部と互いに必要な情報交換を行う。大容量画像データベースを実現するためには、ネットワークを通じて画像データを調達・制御できることが必要となり、画像データベース部の拡張によって今後それに対処することになる。

ユーザインタフェース部は、システムがユーザと直接インタラクションする場である。提案手法は、検索開始時にユーザが入力する初期キーや3.3.1で述べる履歴情報を検索条件として受け入れ、検索途中に随時、システムからの提示画像に対するユーザ判定及び提示画像数の許

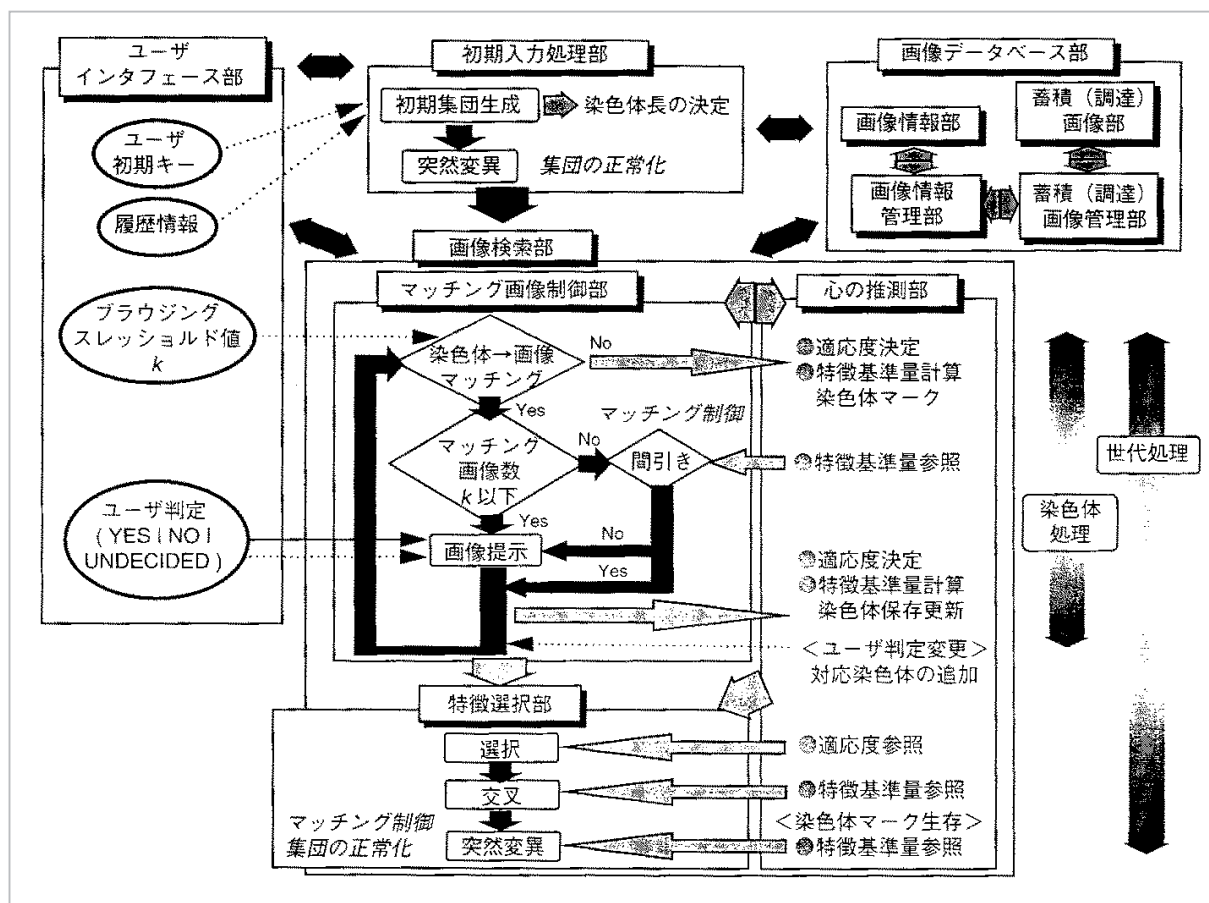


図1 提案手法の概要

容値(ブラウジングスレッショルド値)を受け入れることで、柔軟なインタラクティブ操作を実現する。今後、類似画像や未登録語はもとより、ユーザの着眼点や表情のノンバーバル情報等、様々な様式のユーザ入力を受け付け、インタラクションできるようになると、ユーザ入力の柔軟性が高められ、ユーザの心で制御するために不可欠な主観的な心の情報をシステムが更に多く獲得できるようになる。ユーザインタフェース部を充実させることは、知識ベースの扱い方も含めて今後の課題である。

初期入力処理部は、ユーザインタフェース部で入力された検索条件をGAでの表現に変換する。提案手法では、検索条件により初期集団を生成、染色体長を決定し、矛盾のない特徴の組合せからなる正常な集団を画像検索部に提供する。

画像検索部は、マッチング画像制御部、特徴選択部、心の推測部からなり、GAを用いて画像検索を行うと同時にユーザの心を反映した特徴選択を世代処理の繰り返しにより進行させる。提案手法では、ユーザの主観反映状況を改善するために**3.2.1**で述べる特徴基準量を定義し、それをマッチング画像制御部におけるマッチング画像の間引き処理及び特徴選択部における交叉、突然変異操作で活用する。マッチング画像制御部は、染色体と画像の対応、マッチング画像の間引き処理と画像提示という一連の染色体処理を集団サイズ分繰り返し行う。また、随時ユーザからインタラクティブに得た情報をユーザの心を反映する制御情報として処理し、算出した適応度及び特徴基準量の管理を心の推測部に任せる。心の推測部は、適応度と特徴基準量を管理し提供するのみで、提案手法では特別な心のモデルを必要としない。特徴選択部は、一世代分の染色体処理の後に、心の推測部で管理された適応度及び特徴基準量を参照しながら選択、交叉、突然変異を施すことで、主観反映状況と検索効率を改善するように次世代の集団を生成する。

以下、本章では具体的に、**3.2**で主観反映状況の改善方法、**3.3**で検索効率の改善方法について述べる。

## 3.2 主観反映状況の改善

### 3.2.1 特徴基準量の定義

基本手法での主観反映状況を改善し、ユーザの心で画像検索を制御するために、ユーザの主観的な心を反映する量として特徴基準量を新しく定義する。特徴基準量は、システムからの提示画像に対するユーザ判定を、出現した染色体への適応度として反映するばかりではなく、その染色体を構成する各遺伝子にも積極的に反映するために導入した統計量である。具体的には、特徴基準量は、特徴空間で定義された各特徴に対して、世代を通して遺伝子としての出現をもとに付加する量であり、初期値はそれぞれ0である。そして、各特徴が遺伝子として出現したときに、出現時の染色体に割り当てられた適応度をもとに特徴基準量が更新される。本論文では特徴基準量の算出のために、次の二つの算出方法を検討する。一つは、その特徴が遺伝子として出現した時点までの平均の適応度をその特徴の特徴基準量とする(以下、Fa値)方法であり、もう一つはその最大の適応度をその特徴の特徴基準量とする(以下、Fm値)方法である。

ユーザの主観的な心を反映するためには、単独の特徴よりも特徴の組合せが大きな意味をもつことが多い。なぜなら、特徴の組合せによって、各特徴に対するユーザの心の重みが変わり、支持される特徴、支持されない特徴、無関心な特徴としての役割を各特徴が担うようになるからである。ここで、特徴の組合せとは、表現された特徴の組合せのみに限らず、表現されなかった特徴も含んだ特徴の組合せであり、そこに心を厳密に把握することができない難しさがある。適応度は、画像データベースの個性に依存した特徴の組合せのもとで得られるユーザの心の総合的な情報であり、特徴基準量は、特徴の組合せと各特徴の出現に依存したユーザの心の統計的な情報である。提案手法では、心で画像検索を制御するための簡易なパラメータとして、適応度及び特徴基準量を積極的に活用する。

### 3.2.2 優性条件付一様交叉

世代を通して生成される特徴選択結果の主観反映状況を改善するために、特徴基準量を活用した優性条件付一様交叉を提案する。一般に、交叉は交叉率に従って交叉を行う判断を得た染



色体ペア(親1、親2)について行われる。一様交叉は、染色体長分の2値のランダムマスクを生成し、交叉位置をマスク値により決定(マスク値が1のときに交叉)する交叉方法である。これは基本手法で使用していた交叉方法であり、以後、本論文では単純一様交叉と呼ぶ。本論文で提案する優性条件付一様交叉は、この交叉位置の決定に更に条件を課した方法で、マスク値が1のとき、その遺伝子座にあるペアの遺伝子に出現したそれぞれの特徴に付加されている特徴基準量同士を比較し、親1の特徴基準量が親2よりも小さいか等しいときに交叉を行うものとする。これは、特徴基準量の大きい特徴として出現した遺伝子を優性遺伝子、その反対を劣性遺伝子と呼ぶと、各染色体を優性遺伝子を多く含む染色体と劣性遺伝子を多く含む染色体に分散させる働きがある。

### 3.2.3 状況依存性強化法

本手法はGAにインタラクティブ性を導入したことで、ユーザの主観的な心を反映した特徴選択が画像検索と同時に進行する。したがって、もともと検索途中であっても、ユーザの心の変化を徐々にではあるが受け入れる状況依存性を有しており、このことが心で制御する画像検索手法を実現するためにGAを用いる魅力の一つとなっている。しかし、基本手法においては、一度ユーザ判定した画像に対してその判定を翻す術がなく、心の変化を迅速に受け入れることができなかった。ここでは手法の柔軟性を高めて、心の変化という主観反映状況を改善するために状況依存性を強化する方法を提案する。

図2の中央は、実際にインプリメントした提案手法のユーザ判定のためのウィンドウ画面である。システムからの提示画像が判定待ちウィンドウ(ウィンドウ右部)に表示されると、ユーザはマウス操作によって順次ユーザ判定を下す。既にユーザ判定された画像は、スクロールを許した適当な数だけ最新のYES、UNDECIDED、NOの判定状況が分かるように判定済みウィンドウ(ウィンドウ左部)に表示されていく。ユーザ判定の変更は、ユーザの心の赴くままに随時受け付けられ、表示されている画像の中から判定を変更したい画像をマウスのドラッグ操作で判定済みウィンドウ間を移動することによ

り実現する。このときシステム側では、判定変更された画像を出現させた適当な特徴選択結果すなわち染色体を次世代のGAの集団決定時に反映する。具体的には、図1に示すように染色体にマッチングした各画像に対して、次の条件を満足する染色体のペアを検索過程の間中、常に保存し更新する。そのペアとは、それぞれこれまで出現したうちで最大の適応度を示す染色体(以下、Cfmax)と最小の適応度を示す染色体(以下、Cfmin)であり、それぞれ、マッチング画像数が最小で出現時点が最新のものである。そして、ユーザ判定の変更が生じた場合に、次のように変更の向きに応じてCfmax又はCfminの染色体を次世代の集団の染色体候補として暫定的に追加し、染色体と画像のマッチング処理を行って各染色体の適応度を決定した後、選択によってあらかじめの集団サイズに修復する。ここで、変更の向きは次の四つが許され、ユーザ判定がYESからNO又はUNDECIDEDからNOに変更されたときは、Cfmaxの染色体を、NOからYES又はUNDECIDEDからYESに変更されたときは、Cfminの染色体を追加する。これは、ユーザ判定の変更によって、適応度が最も大きく変動するように考慮して定義したものである。

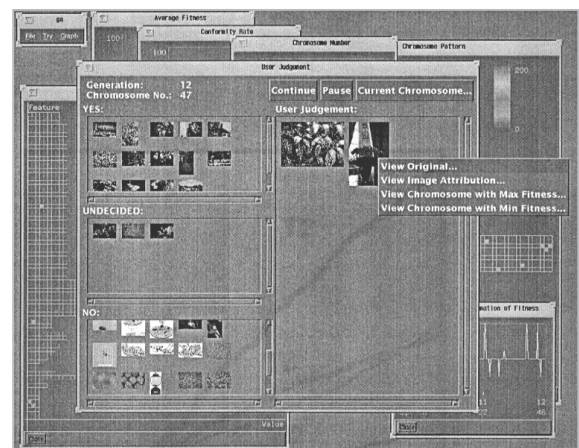


図2 ユーザ判定画面

提案手法によりインタラクティブ性が向上し、ユーザは検索途中でいつでも過去の判定を変更することができるため、ユーザがシステムに対して構えることのないユーザフレンドリな画像検索が実現できる。更にユーザ判定の変更結果を特徴選択に迅速に反映させることができ

るため、その後のシステムからの提示画像の傾向に影響を与えることができ、ユーザの心の変化に対しての主観反映状況を改善する。

### 3.3 検索効率の改善

#### 3.3.1 履歴情報活用法

本手法では、世代が進むにつれて、適応度の高い染色体、すなわちユーザの主観的な心を反映した特徴選択結果が次第に多く得られるようになる。そこで、検索効率を高めるために、過去の画像検索によって取得した特徴選択結果を履歴情報として活用する方法を提案する。これは、適応度の高い染色体を履歴情報として、それらにマッチングする適切な画像例及びその判定例とともに保存しておき、ユーザからの履歴情報の使用指定を受けたとき初期集団にそのままその履歴情報を追加する方法である。ここで、履歴情報は一回の検索につき一セット得られるものとし、便宜上、重複しない染色体の出現順のもとで、最終世代からさかのぼって適応度の高い順に選択した適当な集団サイズ分の染色体を一セットとする。具体的には、検索開始時において、システムに保存されている過去数セット分の履歴情報から、それぞれの履歴情報とともに保存された画像及びその判定例の表示が適当になされ、それをユーザが判断材料とすることで、履歴情報を使用しないか、使用するかの指定を行い、その指定結果を初期集団に反映する。このとき履歴情報を複数セット指定しても構わない。

提案手法のために、ユーザの初期入力として初期キー(特徴)の他に履歴情報も入力できるように初期集団の構成方法を拡張する。これまでの基本手法では、検索開始時に可能な初期入力は、検索条件である初期キーのみであり、初期キーを反映した集団サイズ分の染色体をそのまま初期集団と定義していた。これを、初期入力履歴情報を扱えるようにするために、サブ集団の概念を新たに導入する。すなわち、これまでの初期キーに対応した集団をサブ集団としてそのまま移項し、履歴情報を反映するサブ集団は、履歴情報として保存された一セットからなるサブ集団サイズ分の染色体で一つのサブ集団を構成する。したがって、 $s$ セット( $s \geq 0$ )の履

履歴情報を使用する指定があった場合は $s$ 個の履歴情報のサブ集団を構成することになる。集団サイズはそれぞれのサブ集団サイズの合計とし、これを初期集団とする。そして、次世代からは特にサブ集団を意識することなく、集団サイズごとに世代処理を行う。なお、履歴情報を扱うに当たり、サブ集団同士で染色体長が異なる場合が考えられ、便宜上、最長の染色体長をもつサブ集団の染色体長を集団の染色体長として統一する。そして、統一された染色体長に満たない履歴情報をもつサブ集団の処理は、各染色体に現われた特徴の中からランダムに特徴を選択することで、不足分の遺伝子を補うこととする。

サブ集団概念の導入により、ユーザが入力する初期キーとして $s$ 個の論理和の検索条件も、論理積単位にサブ集団を $s$ 個生成することで、自然に扱うことができる。この初期集団の定義は、論理積の検索条件の初期入力の多いときは、染色体長が長くなることで、よりマッチング画像の限定ができ、論理和の検索条件の初期入力の多いときは、集団サイズが大きくなることで探索範囲が広がる、というようにごく自然な定義になっている。

#### 3.3.2 マッチング画像制御法

基本手法では、マッチング画像すなわち染色体と対応する画像に関して検索効率を妨げる二つの問題点があった。その一つは、マッチング画像の取得問題であり、もう一つは、マッチング画像の間引き問題である。以下、それぞれの問題について概説し、その改善方法を提案する。どちらの問題も、特徴基準量とその分散というユーザの主観的な心を反映した統計量を用いてマッチング画像の制御を行うことで改善する。

##### ① マッチング画像の取得問題とその改善法

本手法においては、世代を通して生成される各染色体が、ユーザの主観的な心で制御された特徴選択結果を表わしている。しかし、その出現する染色体の多くが、データベース中の画像とマッチングしない特徴選択結果となるため、これまでユーザへの提示画像を迅速に得ることができなかった。もちろんこのことは、データベースの個性に依存する問題であり、マッチン



がしなかった特徴選択結果は、たまたまその対象データベース中では有意ではなかったということで、他のデータベースでは有意な特徴選択結果となる可能性はある。したがって、データベースの個性に合わせて、マッチング画像の得られない染色体の出現を抑えることが検索効率の改善につながる。

そこで、有意でない特徴選択結果の制御法を提案する。具体的には、図1に示すように、まず、画像とマッチングしなかった染色体(特徴選択結果)をマークする。次に、そのマークされた染色体が選択、交叉の後、次世代にそのまま残る場合は、特徴基準量を活用して以下の突然変異操作を適用する。

- ・対象染色体中で、特徴基準量が小さくその分散が小さい特徴である遺伝子を、特徴基準量が大きく分散の大きい特徴である遺伝子で置き換える(ただし、特徴が単一である場合は、その特徴以外の特徴を染色体長分ランダムに生成する)。

これは、ユーザの主観的な心を反映しながら論理的な染色体長を縮めることになり、画像とマッチングする有意な特徴選択結果の出現頻度の向上が期待できる。また、分散の大きい遺伝子で置き換えることで、不確定要素の強い遺伝子を次世代以降へばらまくことになり、ユーザの主観的な心の手がかりを与える多様な特徴選択結果を生成することに貢献する。

#### ② マッチング画像の間引き問題とその改善法

基本手法では、大容量画像データベースを想定しているため、マッチング画像のすべてをユーザに提示することはせず、適当な間引き率のもとで、ランダムにマッチング画像の間引くことによって、ユーザ判定の負担を減らしてきた(このとき、間引かれた画像はユーザに画像提示せず表1に従った画像適応度を割り当てる)。しかし、単にランダムな間引きを行うことは、染色体に応じて変動するマッチング画像数のもとでは非効率であり、多くのユーザの所望画像の提示機会を逃すおそれもある。したがって、データベースの容量とユーザの判定の許容値に依存しつつ、よりユーザの主観的な心を反映した間引きを行うことが検索効率の改善につながる。

そこで、画像ブラウジングの制御法を提案する。具体的には、図1に示すようにユーザは自分が一回のブラウジングに許せる提示画像数であるブラウジングスレッシュホールド値 $k$ を入力する。 $k$ は、検索途中で随時変更可能とする。そして、染色体処理において染色体とマッチングするマッチング画像数が $k$ を超える場合に限り、その超える画像数分だけ間引きを行い、残りをユーザに画像提示する。このときの画像提示の順序は、特徴基準量を活用して以下に従う。

- ・マッチング画像について、対象染色体中に出現した特徴以外に定義された特徴に着目し、特徴基準量が大きくその分散の小さい特徴をもつ画像から順次( $k$ を超える場合はその条件下でランダムに)提示する。

これは、ユーザとのインタラクティブ性を保ちつつユーザの主観的な心を反映した画像ブラウジング負担の低減となる。

## 4. 計算機実験

### 4.1 実験概要

提案手法の主観反映状況と検索効率の改善効果を見るために計算機実験を行った。ユーザインタフェース部での柔軟性の定性的評価には、イラスト、写真、約2300枚からなるカラー画像を用いたが、その他の定量的実験では、基本手法との比較のために、文献[12]と同様の2値画像(ただし、 $32 \times 32$ 画素)100枚を蓄積画像として用いた。本章で示す定量的実験の結果は、すべて初期キーを入力せず、暗黙のユーザの期待のみを心に秘めてユーザ判定を下していった結果であり、簡単のためにUNDECIDED判定は行わなかった。ここで、暗黙のユーザの期待は「横線」とした。実験で使用した特徴定義には「横線」という明示的な特徴はない。ただし、関連した特徴として、意味レベルにおいては、「形状名称」特徴軸での特徴値「線」があり、図形レベルにおいては、「黒画素領域」特徴軸で画像を64分割した各領域の特徴値「黒画素がある」により、連続した横並びの黒画素の領域表現が可能である。また、ユーザの期待に合う画像として、手描き風の線画像を、「形状名称」特徴軸での特徴値「その他」として定義し、特

徴値「線」で定義した画像には、ユーザの期待に合わない画像である「縦線」の画像もあえて含ませている。実験で使用した蓄積画像の特徴定義におけるこれらの細工は、ユーザの期待に合う画像の特徴表現に多峰性をもたせるためと、同じ特徴表現でもシステムとユーザの意味するところが異なる場合もあれば、逆に異なる特徴表現でも両者の意味するところが一致又は交わる場合があるという多様な状況を模擬するために行った。大容量画像データベースを想定してマッチング画像の間引き率を90% (文献<sup>[12]</sup>~<sup>[15]</sup>中の実験で用いた適合画像の間引き率も10%は誤りで90%が正しい)としたが、定量的実験に用いた蓄積画像数が100枚と少ないため**3.3.2**で述べたマッチング画像制御法についてはインプリメントせず、間引きはランダムなままとした。

## 4.2 実験結果と考察

### 4.2.1 主観反映状況

主観反映状況は主観反映するために必要な五つの性質、すなわち、個人性、状況依存性、発見性、多様性、再現性の観点から見ることができる。

個人性と状況依存性は、主観的な心を反映するためには当然必要な性質である。提案手法ではユーザとのインタラクションによって、個人の主観的な心を表明する検索条件や提示画像へのユーザ判定を、直接検索の最中にリアルタイムに入力でき、GAの適応度及び特徴基準量にユーザ判定を反映することで、その時々々のユーザの所望に従った検索結果が得られることから個人性と状況依存性を満足する。実験では、過去の検索画像を見ながら履歴情報の指定を行い、初期キーとして、論理積の検索条件に加えて論理和の検索条件を入力することで、ユーザインタフェースが柔軟となり個人性、状況依存性が改善されたことを確認した。また、ユーザの主観的な心の変化が随時インタラクティブに反映できることから、ユーザ判定を随時変更することで、新たなマッチング画像を生じない硬直した特徴選択状況時に揺さぶりをかける効果も認められた。

発見性とは、ユーザの入力する初期キーのみ

にとらわれずにユーザの主観的な心にマッチングする画像を見つけ出す性質である。提案手法では、主にGAの創発性と適応度の高い染色体を高い確率で次世代へ残すというGA本来のメカニズムにより発見性をもつ。実験では、ユーザが初期キーの入力を行わなかったにも関わらず、ユーザの所望の検索結果が出現し、検索過程時のユーザの心の手がかりを与える特徴選択結果が高い適応度で得られることから発見性を確認した。また、ユーザが明言しない暗黙の期待の違い(「横線」を期待したときと「縦線」を期待したとき)によっても、その主観的な心の違いを反映した特徴選択結果(黒画素の連続領域)が高い適応度をもってそれぞれに出現することを確認した。ユーザが初期キーを入力した場合でも、特徴定義上はその初期キーとは一見矛盾した特徴を含んだ特徴選択結果も高い適応度をもって出現し、それによってもユーザの主観的な心にマッチングした画像が出現したことから、ユーザとシステムとの間の「感性」の違いも吸収できる手法であることを確認した。

多様性とは、様々なユーザが様々な状況でも主観的な心をシステムに反映するために、手法がもつ度量の広さを示す潜在能力である。本手法がユーザの主観的な心を特徴選択という形でシステムに反映している点を踏まえると、特徴選択結果に見られる特徴の組合せの「多様性」の大きいことが、主観的な心の反映のしやすさと相関があると考えられる。そして、それは主にGAの多点探索性によるところであり、交叉方法がその能力を決定する重要な要因であると期待できる。筆者らは、適応度最大特徴パターンの出現数(適応度が100%で特徴の組合せが互いに異なる染色体の出現数)を見ることによって、提案手法での多様性を確認した。図3は、全世代を通して出現した染色体の通番(染色体通番)のもとでの適応度最大特徴パターンの出現数の累積度数であり、以下の四つのタイプT0~T3の交叉方法で比較した結果を示す。

- T0：選択、交叉をせず、全世代を通して常にランダムに遺伝子を発生させた場合。
- T1：各特徴について特徴基準量は設定せず、単純一様交叉を行った場合。(基本手法)
- T2：特徴基準量にFa値を用い、優性条件付

一様交叉を行った場合。(提案手法)

T3：特徴基準量にFm値を用い、優性条件付一様交叉を行った場合。(提案手法)

ただし、すべてのタイプにおいて表現の断片性を考慮し、染色体と画像との対応は包含関係で定義している。また、実験条件は、集団サイズ50、染色体長10、エリート選択率50%、交叉率100%、突然変異率100%である。世代が進むに従ってどのタイプも累積度数は増す。しかしその傾きを比べると、世代の初期においてはT3がわずかに他のタイプよりも高い値を示しており、また特に染色体通番50000(1000世代)付近からのT2の増加が著しい。そして、多様性という観点からは、T1はランダムに遺伝子を出現させるT0にも劣った結果となっている。したがって、提案した優性条件付一様交叉のT2タイプは、立ち上がりの時間を許せば多様性を大きく改善することがわかる。

再現性とは、ユーザの主観的な心に適合する

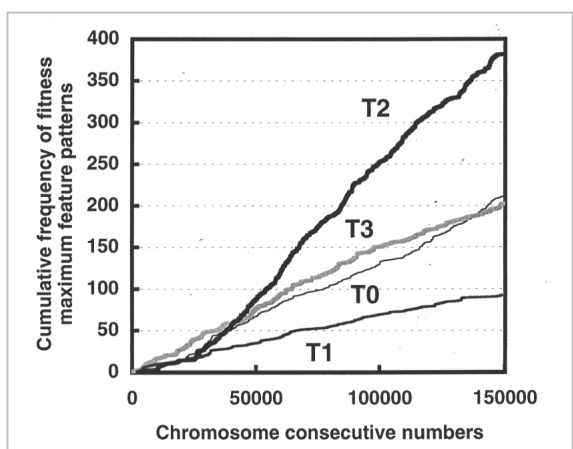


図3 多様性 (交叉方法比較)

画像を出力できるという性質である。本手法では、GAの表現型と遺伝子型という互いに表現された存在ではあるが情報の不足により厳密には一対一の因果関係では確定できない対応と、画像と画像特徴の間の明言することのできないユーザの心に依存した対応関係との類似性に着目している。したがって、遺伝子型と表現型の対応は、染色体の示す特徴選択結果と画像特徴との包含関係というあいまいさを残した関係で定義づけ、表現型である画像に対してユーザの主観的な心から画像適応度を割り当てることで、ユーザの心で制御する本手法の再現性を確

保している。図4は再現率(ユーザが望む画像のうち実際に検索されたその画像の割合)の推移である。実験条件は図3の場合と同じである。限られた世代のうちに再現率が100%となるかどうかは、多分に偶然に左右されるが、タイプによらず、世代が進むと再現率は高くなる。世代の初期での再現率は、T3、T1が立ち上がりが大きくT2は出遅れるが、世代が進むと、逆にT2、T0は比較的小まめな動きをしながら高い再現率を示すようになり、T1やT3は局所的な解に陥りやすい傾向を示す。このことは、適応度最大特徴パターンの平均の重複度合を調べた結果、多い順にT1>T3>T2>T0となっていることから分かる。T1やT3が、世代の初期において再現率の立ち上がり大きい理由は、この重複した特徴選択結果を多く生成することが原因で、間引かれてユーザ判定されなかった画像についての再マッチングが頻繁に行われるためと考えられる。また、T0での再現性は実験ごとの変動幅が大きく性能として安定しない。これは、T0のランダム性がマッチング画像のない特徴選択結果を多く出現させているためであり、それは各世代の平均適応度が全世代を通して常にほぼ47%であることから分かる。そしてこのことは、T0が蓄積画像で定義されている特徴とユーザの主観的な心との間の傾向を、インタラクティブな状況によっても学習することのない手法であることを裏付ける。

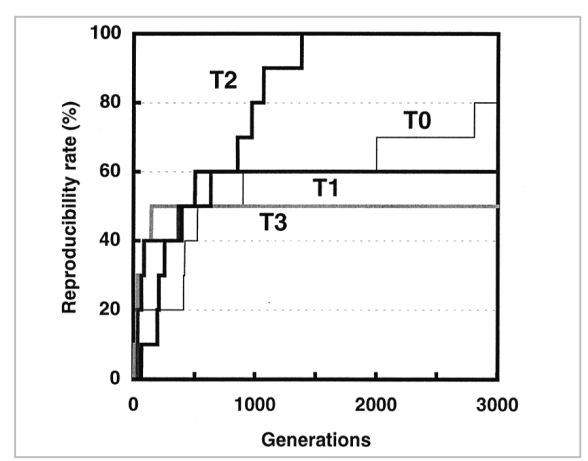


図4 再現率 (交叉方法比較)

以上のことから、提案手法が主観反映状況から判断して基本手法を改善した手法であることを確認した。そして、短時間で取りあえずの画



像検索結果を得るためには、T3の交叉方法を適用し、時間は要してもユーザの主観的な心に応じた多様な画像検索結果を得るためには、T2の交叉方法を適用することが効果的であることが分かった。提案手法では、世代の途中でT3からT2へ交叉方法を変更することも容易に実現可能であり、それによって更に主観反映状況が高まることが予想される。

#### 4.2.2 検索効率

検索効率を高めるためには、世代の概念を排除したパイプライン型処理[18]のようにGAそれ自体の処理の効率化の課題もあるが、本論文ではあえてユーザの主観を反映することによる検索効率の改善を目指し、意味的に効率化する方法を提案している。

実験では履歴情報活用法の効果を見た。図5は、世代を通しての適応度最大特徴パターンの出現数の累積度数を履歴情報使用と不使用の場合及び集団サイズで比較している。交叉方法はT2を適用し、横軸は世代で換算している。また、履歴情報使用の場合のサブ集団サイズ(SUB-SIZE)は初期キーと履歴情報分で同一とした。同じ集団サイズ(SIZE)100でも、世代の初期で蓄えた分だけ適応度最大特徴パターンの出現数は履歴情報を使用した場合の方が多い。また、初期キー分のサブ集団サイズ50で等しい実験に対しても、履歴情報使用の効果が認められる。図6はこのときの再現率の推移であり、図7は重複を許さない適合率(実際に検索された画像のうちユーザが望む画像である割合で、既に検索過程で出現した画像であるためユーザ判定を

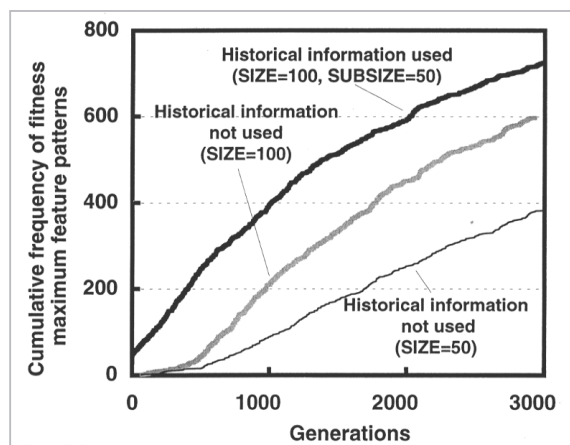


図5 多様性 (履歴情報と集団サイズ比較)

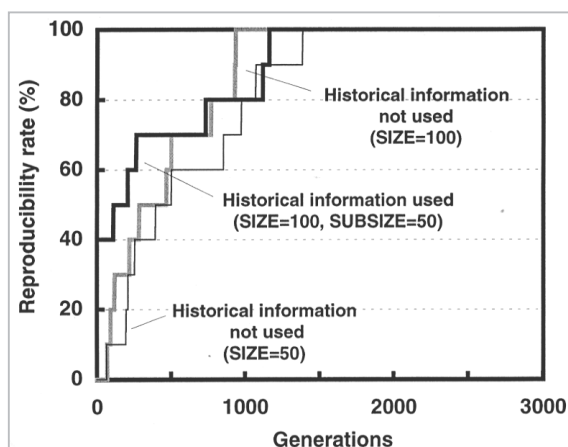


図6 再現率 (履歴情報と集団サイズ比較)

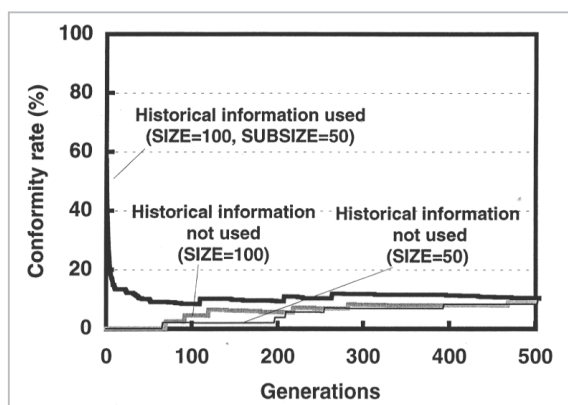


図7 適合率 (履歴情報と集団サイズ比較)

免除した画像は含まない)の推移を、検索初期の段階について示すものである。履歴情報を使用すると、検索初期の段階において再現率及び適合率が改善されることが分かる。

以上のことから、履歴情報活用法は、サブ集団の導入によってもユーザの主観の反映のしやすさと相関のある多様性を失うことがなく、検索初期の段階においての検索効率を高めることが分かった。これは、ユーザが履歴情報を活用する状況依存な場面においては、蓄積画像のすべてを検索する必要がなく差し当たりのもっともらしい画像を検索するために提案手法が有効であるということを示している。

## 5 むすび

本論文では、これまで筆者らが提案してきたGAを用いた画像検索手法を、個々のユーザの主観的な心で画像検索を制御する手法と位置付け、主観反映状況及び検索効率を改善するため

の方法を提案した。主観反映状況を改善するために、インタラクティブ性を向上させ、新たに定義した特徴基準量を用いてユーザの主観的な心に合った多様な特徴選択結果を出現させる優性条件付一様交叉及びユーザの心の変更を随時インタラクティブにシステムに伝えることができる状況依存性強化法を提案し、その改善効果を計算機実験により確認した。また、検索効率を改善するために、過去の検索の履歴情報を活用する履歴情報活用法を提案し、検索初期の段階での検索効率を高められることを確認した。さらに、ユーザの主観的な心を反映した特徴基準量を判断基準にマッチング画像の取得、提示の制御を行うことで検索効率を高めるマッチング画像制御法を提案した。

提案手法は、ユーザの主観的な心を厳密に表現することなく、ユーザの要望に合った画像検

索を行うために有効である。しかし、画像検索をユーザの主観的な心でのみ制御するため、ユーザとのインタラクションから得られる情報がユーザの心を知るすべてである。このためユーザ判定への依存度が大きく、ユーザ判定の複雑さが現状の問題である。ユーザ判定の複雑さを軽減するためのユーザの主観的な心の予測機能の強化及び大容量画像データベースへの適用と評価が当面の課題である。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、有益な御討論、御協力を頂いた株式会社エム研藤本克広氏、大越豊氏及び飯作俊一元情報通信部長、元高度映像情報研究室の皆様へ感謝いたします。

## 参考文献

- 1 栗田多喜夫, 加藤俊一, 福田郁美, 坂倉あゆみ, “印象語による絵画データベースの検索”, 情処学論, Vol.33, No.11, pp.1373-1383, Nov., 1992.
- 2 長嶋秀世, 土方洋一, “人間の主観を重視した類似商標図形の検索の基礎的検討”, 信学論 D-II, Vol.J74-D-II, No.3, pp.311-320, Mar., 1991.
- 3 田邊勝義, 大谷淳, 石井健一郎, “多次元心理空間を用いる類似画像検索法”, 信学論 D-II, Vol.J75-D-II, No.11, pp.1856-1865, Nov., 1992.
- 4 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”, 信学論 A, Vol.J79-A, No.2, pp.261-270, Feb., 1996.
- 5 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 K L 展開の適用性”, 信学論 A, Vol.J79-A, No.2, pp.288-297, Feb., 1996.
- 6 高木英行, 青木研, “インタラクティブ E C : 創造支援から工学応用へ”, 他, ワークショップ: インタラクティブ進化的計算論, Mar., 1998.
- 7 G. Venturini, M. Slimane, F. Morin, and J. -P. Asselin de Beauville, "On using interactive Genetic Algorithms for knowledge discovery in databases", Proc. of 7th Int. Conf. on Genetic Algorithms, pp.696-703, 1997.
- 8 C. Caldwell and V. S. Johnston, "Tracking a criminal suspect through "Face-Space" with a Genetic Algorithm", Proc. of 4th Int. Conf. on Genetic Algorithms, pp.416-421, 1991.
- 9 H. Shiraki and H. Saito, "An interactive image retrieval system using Genetic Algorithms", Int. Conf. on Virtual Systems and Multimedia '96 in Gifu, 1996.
- 10 長尾光悦, 山本雅人, 鈴木恵二, 大内東, “インタラクティブ G A に基づく画像検索システムの評価”, 人工知能誌, Vol.13, No.5, pp.720-727, Sep., 1998.
- 11 加藤宗子, “画像検索における画像情報表現空間と抽象度”, 信学'94 春大, D-499, pp.7-235, Mar., 1994.
- 12 加藤宗子, “柔らかい画像検索における特徴選択”, 信学論 D-II, Vol.J80-D-II, No.2, pp.598-606, Feb., 1997.
- 13 加藤宗子, 飯作俊一, “画像検索におけるユーザ主観反映法としての遺伝的アルゴリズム”, 第 2 回知能情報メデ

---

ィアシンポジウム予稿論文集, pp.91-98, Dec., 1996.

- 14 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”, 信学技報, AI97-10, pp.71-78, May, 1997.
- 15 S. Kato and S. Iisaku, " *An image retrieval method based on a genetic algorithm*", Proc. The 12th Int. Conf. on Information Networking, pp.333-336, 1998.
- 16 北本朝展, 高木幹雄, “類似画像検索システム構築のフレームワークとしての階層モデル”, 信学技報, IE97-27(PRMU97-58, MVE97-43), pp.25-32, Jul., 1997.
- 17 K. Nishino, M. Murakami, E. Mizutani, and N. Honda, " *Efficient fuzzy fitness assignment strategies in an interactive Genetic Algorithm for cartoon face search*", Proc. of 6th Int. Fuzzy Systems Association World Congress, pp.173-176, 1995.
- 18 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”, 人工知能誌, Vol.13, No.5, pp.728-738, Sep., 1998.



かとうしゅうこ  
**加藤宗子**  
研究員 (情報通信部門次世代インター  
ネットグループ)  
次世代メディア