

対話型遺伝的アルゴリズムにおける嗜好の多峰性 に対応可能な個体生成方法の検討

Discussion of Offspring Generation Method for interactive Genetic Algorithm considering Multi-modal Preference

伊藤 冬子

Fuyuko Ito

同志社大学 大学院 工学研究科

Graduate School of Engineering, Doshisha University

fuyuko@mikilab.doshisha.ac.jp

廣安 知之

Tomoyuki Hiroyasu

同志社大学 生命医科学部

Department of Life and Medical Sciences, Doshisha University

tomo@is.doshisha.ac.jp

三木 光範

Mitsunori Miki

同志社大学 理工学部

Department of Science and Engineering, Doshisha University

mmiki@mail.doshisha.ac.jp

横内 久猛

Hisatake Yokouchi

同志社大学 生命医科学部

Department of Life and Medical Sciences, Doshisha University

yoko@mis.doshisha.ac.jp

keywords: interactive genetic algorithms, offspring generation, clustering, preference, multi-modality

Summary

Interactive genetic algorithm (iGA) is a method to predict a user's preference based on subjective evaluation of users and it has been applied to many single modal problems. On the other hand, we are trying to apply iGA to user's preference, which can be described as a multi-modal problem with equivalent fitness values at the peaks. Product recommendation in shopping sites is pointed to as an example of such problems. When users select products in shopping sites, there are several types of preference trends. Thus, reflecting all the trends in product presentation leads the increase of sales and consumer satisfaction. In this paper, we discussed about the offspring generation method that enables efficient search even in such a case. We also proposed a new offspring generation method considering multi-modal preferences that introduces clustering of selected individuals and generates offspring from each cluster. Moreover, we conducted a subjective experiment using an experimental iGA system with t-shirts as the target product to verify the efficiency of proposed method. As a result of subjective experiment, we confirmed that the proposed method enabled offspring generation with consideration for multi-modal preferences, and also no negative influences were seen on the performance of preference prediction by iGA.

1. はじめに

対話型遺伝的アルゴリズム (interactive Genetic Algorithm: iGA)[Takagi 01] は遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm: GA)[Goldberg 89] の適合度関数を人間の嗜好に置き換えた最適化手法であり、ユーザへの個体の提示、ユーザによる個体の評価、選択、交叉、突然変異のステップを繰り返すことで人間の感性などに関連した問題の最適化を行うことが可能である。iGA は適合度関数を人間の嗜好に置き換えているため、そのランドスケープは iGA を適用する対象によって大きく異なることが考えられる。単一解を求めれば良い場合は嗜好のランドスケープが単峰性であるがユーザの嗜好が複数存在するような場合にはランドスケープは多峰性であると考えられる。しかし、従来の iGA では複数の嗜好のうちの 1 つ

への最適化が行われることが多く、探索終盤には提示個体が単一の最適解領域に収束してしまい、他の最適解に類似した解はほとんど表示されなくなる。特にランドスケープが多峰性で、各峰のピーク値の差がそれほど大きくないような場合には、できるだけこれらの峰をユーザに提示しながら探索を行う戦略が好ましいと考えられる。

近年、ショッピングサイトなどにおける商品推薦において、ユーザの嗜好を反映させる研究が行われている。その多くは Amazon^{*1} のように、協調フィルタリング (Collaborative Filtering: CF)[Konstan 97, Sarwar 01] やサポートベクターマシン (Support Vector Machine: SVM) などによる商品推薦 [Joachims 98] を用いることでユーザが注目する商品と類似した商品と一緒に購入された商

*1 <http://amazon.com>

品へとユーザを誘導し、商品購入の促進を図っている。これに対して、iGA をこれらの商品推薦の仕組みに導入することができれば、人間の評価に基づいて嗜好を学習し提示へ反映する新しい商品推薦システムの構築が行えると考えられる。しかしながら、このような商品選択を対象とした場合、ユーザの嗜好は、多峰性でかつそれぞれの峰のピーク値の差がそれほど大きくない場合が想定される。

そこで本研究では、嗜好が多峰性でかつ、それぞれの峰のピーク値の差がそれほど大きくない場合においても、効果的に探索を進めることができるような iGA のための個体生成方法について検討する。提案する手法では、通常の iGA の手法に加えてクラスタリングを利用する。提案手法の有効性を検討する数値実験では、T シャツを対象商品とする擬似的な商品選択システムを構築し、実験を行った。

2. 嗜好モデルが多峰性である場合の対話型遺伝的アルゴリズム

2.1 対話型遺伝的アルゴリズム (iGA)

iGA は遺伝的アルゴリズム (GA)[Goldberg 89] における遺伝的操作をベースとして、人間の主観に基づいて提示された個体に評価を行い、対象の最適化を行う手法である。iGA は GA の適合度関数を人間の主観に置き換えて解の探索を行うため、人間の感性という複雑な構造を解析する方法として、定量的な評価が困難な楽曲やデザインなどの生成に多く適用されている [Takagi 01, 高木 98, 高木 00, 西野 02, 西野 06, 安藤 05]。iGA では人間が評価値を与えるため、心理空間上の好みと評価値の対応が揺らぐ可能性がある。しかし、人間の評価の揺らぎについてはいくつかの実験がなされており、測定した主観的评价値の揺らぎに基づいたシミュレーションで解の収束性を調べた結果でもほぼ影響がないと報告されている [Osaki 98]。また、青木ら [青木 97, 青木 98, Takagi 96] により、対象とする問題に関して経験のないユーザに対し、iGA が有効に機能することが報告されている。iGA の動作の流れを図 1 に、その詳細を (1)~(7) に示す。

- (1) 予め決められた数の個体を生成して母集団とする (初期化)
- (2) 評価を行うユーザに対して個体群を提示する (提示)
- (3) ユーザが主観に基づいて個体の評価を行う (評価)
- (4) 評価を基に次世代に残す個体を決定する (選択)
- (5) 選択個体間で染色体情報を交換し、子個体を生成する (交叉)
- (6) 個体群の多様性を維持するため、遺伝子をランダムに変更する (突然変異)
- (7) ユーザが求める個体が得られれば操作を終了する。そうでなければ (2) から (6) までを繰り返す (終了判定)

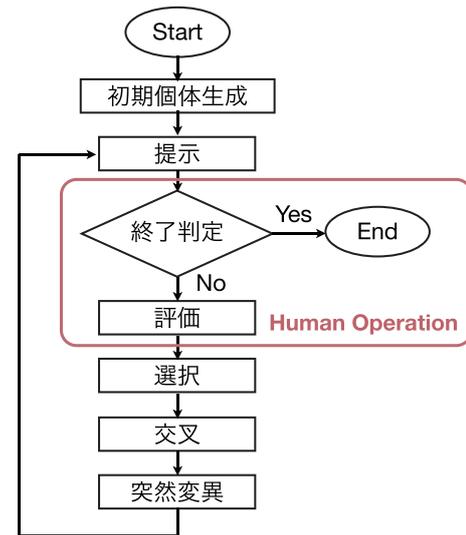


図 1 iGA の処理の流れ

2.2 iGA による商品推薦と嗜好の多峰性

iGA を用いてユーザの嗜好を反映した商品提示の一例を考えてみる。この例での商品提示の流れを図 2 に示す。まず、iGA は個体である商品の一覧画面をユーザに提示する。ユーザは提示された商品に対して嗜好に合っているかどうか評価を行う。実際には商品の選択や、商品への点数付けなどが評価操作となる。iGA はユーザの評価を基に、母集団に対して交叉、突然変異などの遺伝的操作を行い、よりユーザの嗜好に合った個体群を提示していく。これらの操作を繰り返すことによりユーザの嗜好に合った商品を効率よく提示することが可能になる。

iGA を商品推薦に利用することで、嗜好情報に基づいた商品提示を実現できる可能性がある。しかし、iGA を商品推薦に用いる場合は、商品選択時のユーザの嗜好の傾向、つまり適合度関数である嗜好のランドスケープについて考慮する必要がある。

例えば、補聴器のパラメータ設定の問題では、そのユーザにとって最も聞こえやすいパラメータセットを 1 つ求めればよいので、図 3 に示すように単峰性の問題と捉えることができる。そのため、この問題に対して iGA は全ての提示個体を最適解領域に収束させていく。一方、洋服などの商品選択などにおいては、一般にユーザの嗜好は複数存在する場合が想定される。さらに、これらのよ



図 2 iGA による商品提示の流れ

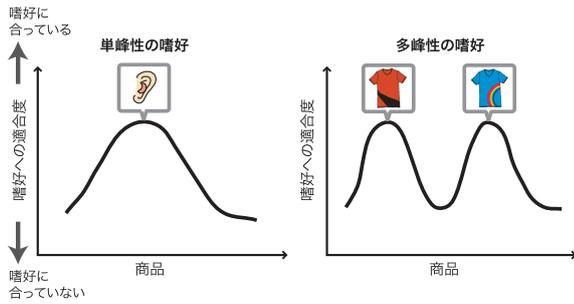


図 3 嗜好のランドスケープ

うに複数存在する嗜好に対して優劣をつけることはユーザにとっては困難である，すなわち，それぞれの嗜好の適合度値の差が非常に小さい場合が考えられる．この場合は，図 3 に示すように嗜好が多峰性であると捉えることができ，複数の嗜好に合った個体を提示する必要がある．

しかし，iGA は単一の最適解領域に存在する解を求めるアルゴリズムであり [Takagi 01]，嗜好が多峰性の場合に全提示個体を複数の最適解領域のうちの 1 つに収束させることは，ユーザにとって有益な個体提示とならない可能性が高い．そのため，ユーザの嗜好が多峰性であり，それぞれの峰の適合度値の差がそれほど大きくない場合にも対応可能な個体生成方法が必要となる．本研究では嗜好の多峰性に対応するため，クラスタリングを利用した個体生成方法を提案する．

3. 嗜好の多峰性に対応可能な個体生成方法

3.1 提案手法の概要

本研究では，嗜好の多峰性を考慮した個体生成を実現するため，クラスタリングを利用した個体生成方法を提案する．提案手法では，設計変数空間の中でユーザの嗜好に合う領域を特定し，その領域内でランダムに設計変数を決定して個体生成を行う．嗜好に合う領域は，設計変数空間において提案手法の適用前までにユーザが評価した個体が存在する範囲とする．なお，ここではユーザが好みの個体をクリックして選択する操作を評価操作とし，選択された個体をユーザが評価した個体とする．ここで， n 次元設計変数空間において， i 次元目にあたる設計変数を x_i ，個体を $I(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)$ と表す．ユーザが s 個の個体 I_1, I_2, \dots, I_s を選択したとき，図 4 に示すように次元 i において個体が存在する範囲は最小値 $\min(x_i) = \min(x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{si})$ から最大値 $\max(x_i) = \max(x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{si})$ までの範囲となる．しかし，嗜好が多峰性の場合には複数の領域に分散していることが想定される．図 4 に示すようにこれを 1 つの領域として見なしてしまうと，ユーザが選択しなかった個体が存在する範囲を含む場合があり，非効率な探索になる可能性が高い．そこで本研究では，ユーザの選択した個体をクラスタリングし，適切にグループ化することで，設計変数空間においてユーザの嗜好に合う領域を特定する．

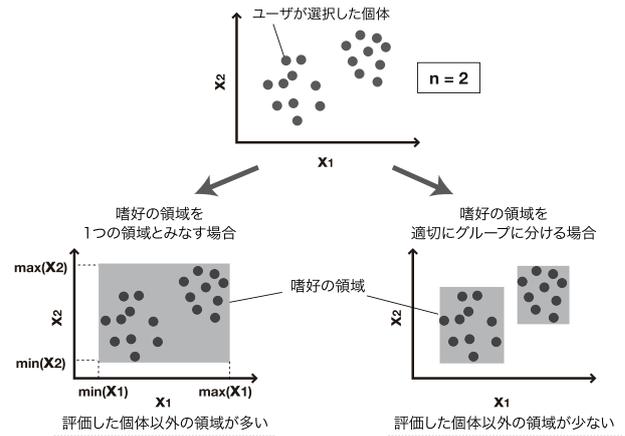


図 4 多峰性の嗜好に合う領域の特定

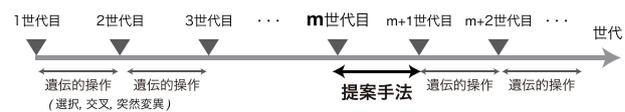


図 5 iGA への提案手法の適用のタイミング

なお，クラスタリング手法としては，クラスタ数自動決定アルゴリズムを有する多目的クラスタリング (Multi-Objective Clustering with automatic K-determination: MOCK)[Handl 04] を用いる．また図 5 に示すように，提案する個体生成方法は通常の iGA の中で定められた第 m 世代においてのみ，一度だけ適用するものとする．その他の世代では従来の交叉および突然変異を用いる．これにより，特定した領域以外に存在するかもしれないユーザの嗜好に合う個体を生成する．

3.2 クラスタリングを用いた個体生成の流れ

図 6 に提案手法の概要を示す． n 次元設計変数空間において，母集団サイズが N_{pop} のときに N_{off} 個の個体を提案手法で生成する手順を以下に示す．

- (1) 導入世代 m において，これまでにユーザが選択した全ての個体を設計変数空間でクラスタ $C_1, \dots, C_k, \dots, C_{N_{cluster}}$ に分割する．ただし，MOCK ではクラスタ数 $N_{cluster}$ は定められた範囲から自動的に決定される．
- (2) クラスタ C_k に対応する個体生成範囲 R_k は，設計変数空間において C_k が含む個体 $I_{k1}, I_{k2}, \dots, I_{kl}$ が分布している範囲として決定する．
- (3) 個体生成範囲 $R_1, \dots, R_{N_{cluster}}$ から，母集団サイズ N_{pop} と同じ N_{off} 個の個体をランダムに生成する．なお，各範囲は均等な数だけ個体を生成するものとする．
- (4) 生成した個体を $m+1$ 世代に提示し，以降は通常の iGA の操作を繰り返していく．

このように提案手法では，嗜好に合った領域を導入世代までにユーザによって選択された個体の分布している

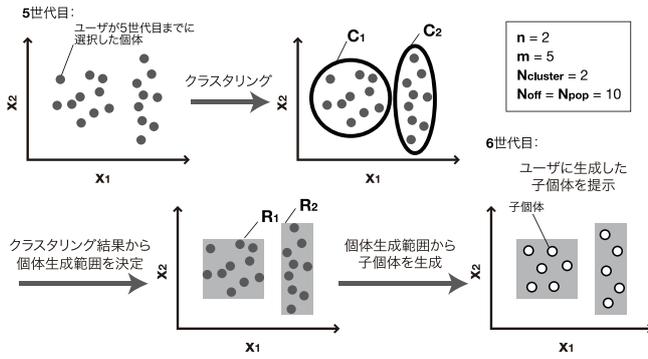


図 6 提案手法による個体生成の流れ

範囲から特定する．また，クラスタ数を自動的に決定可能な MOCK の適用によって，ユーザの嗜好を適切にグループ化することで，単峰性か多峰性を判別し，どちらの場合にも対応した個体生成を可能にする．

4. 嗜好の多峰性に対応可能な個体生成方法の評価実験

4.1 実験に利用する商品推薦システム

本研究では提案する個体生成方法の検証実験に用いるため，iGA を用いて対象商品を T シャツとした商品推薦システムを構築した．対象とした T シャツの設計変数の表現，および構築したシステムの流れを以下に示す．

§ 1 設計変数

設計変数は T シャツの色，形，模様とした．各設計変数の表現について図 7 に示した．色の表現には，人間の色彩感覚に類似した HSB 表色系を用いた．HSB 表色系は図 7(a) に示すように色を色相 (0° ~ 360°)，彩度 (0 ~ 100)，明度 (0 ~ 100) の 3 つの要素によって表現する．形は，襟の形と袖の長さで表現した．襟の形は図 7(b) に示すようにボートネック，V ネック，クルーネックの 3 種類を基本形として連続的に変化させた計 15 種類とした．また，袖の長さは半袖，長袖の 2 種類とした．模様は無地と図 7(c) に示す 7 種類の計 8 種類であり，柄の色は白，黄緑，水色，青，紫，ピンク，赤，黄，黒の 9 種類とした．

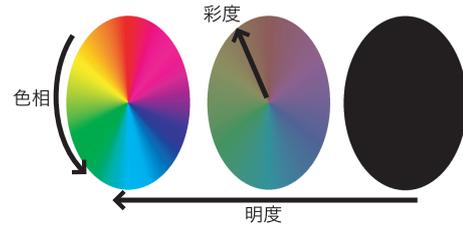
§ 2 実験に利用するシステムの処理

● 初期個体生成とその提示

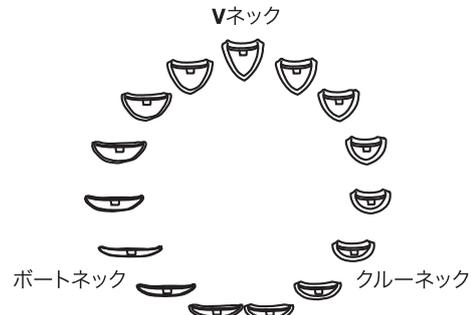
初期個体を予め定められた数だけ生成する．設計変数は各々ランダムに決定する．彩度，明度については初期個体にはっきりした鮮やかな色を提示させるために 75 ~ 100 の間でランダムに生成する．

● 評価と選択

ユーザは提示個体について評価を行う．具体的には，ユーザが提示個体を選択したか否かの 2 値での評価を行う．ユーザは提示個体一覧から嗜好に合った個体を親個体として選択できる．親個体数は母集団の



(a) HSB 表色系



(b) 襟の形



(c) T シャツの模様

図 7 T シャツの設計変数の表現

半数とする．それに伴い，ユーザが各世代で選択する個体数の上限は親個体数と同じとする．選択個体が親個体数に満たない場合は，選択されていない提示個体のうち，選択個体とのユークリッド距離の小さい個体から順に親個体として選択する．

● 交叉

交叉では親個体 2 個体から形質を引き継いだ子個体 2 個体を生成する．まず，色相と襟の形については，図 7 に示すように設計変数空間が環状で表現されていることから，図 8 のように親個体 2 個体のなす鋭角の範囲からランダムに子個体 2 個体を生成する．彩度と明度については 0 から 100 の整数で表現されているため，親個体 2 個体間の範囲からランダムに子個体 2 個体を生成する．なお，袖の長さ，模様の種類，模様の色については親個体の情報を子個体にそのまま反映させる．

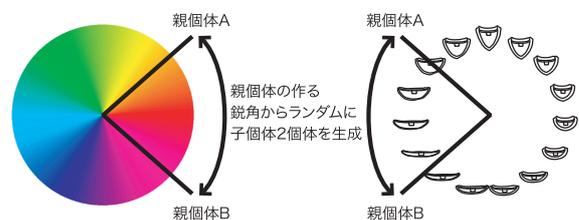


図 8 色相および襟の形の交叉

● 突然変異

各設計変数において、突然変異率に基づきランダムに子個体の設計変数値を変化させる。

4.2 実験概要

提案する個体生成方法を用いることで、多峰性の嗜好に対応した個体生成が可能かについて評価実験を行った。本実験では、4.1 節の T シャツを対象とした商品推薦システムを利用し、提案する個体生成方法を用いたシステム（以下、提案システム）と従来の遺伝的操作のみを用いたシステム（以下、従来システム）を被験者に利用させた。本実験では母集団サイズは 20 とし、図 9 に示すようなインターフェースで提示した。なお、初期個体は設計変数空間から均等に設計変数値を決定し、その組み合わせをランダムにして生成した。被験者は 20 歳代の男女 20 名（男性 14 名、女性 6 名）であり、各システムの実験順序は被験者間でカウンタバランスをとった。被験者には「ショッピングサイトで好きな T シャツを探す」というテーマで、各システムにおいて 10 世代の評価を行わせた。交叉率は 1.0、突然変異率は 0.2 とした。また、提案システムでは、5 世代目の評価が終了した後にクラスタリングによる個体生成を行い、6 世代目に生成した個体を提示した。クラスタリングの対象とする設計変数は色相および襟の形とし、クラスタ数は 1 から 3 の中から自動的に決定した。さらに、両システムでの実験終了後にアンケートを実施した。

4.3 実験結果と考察

§ 1 ランドスケープに対応した個体生成の確認

まず、提案手法により生成された個体が、嗜好の多峰性に対応していたかを確認した。

多峰性の嗜好に対応できた例

ある被験者 A について、提案手法により決定された個体生成範囲を図 10(a) に示す。図 10(a) の横軸は色相、縦軸は襟の形であり、被験者 A が 5 世代目（提案個体生成方法の導入前）までに選択した個体をプロットした。なお、個体生成範囲 (1) は上下に、個体生成範囲 (2) は左右に分かれているが、色相と襟の形の設計変数空間は環状

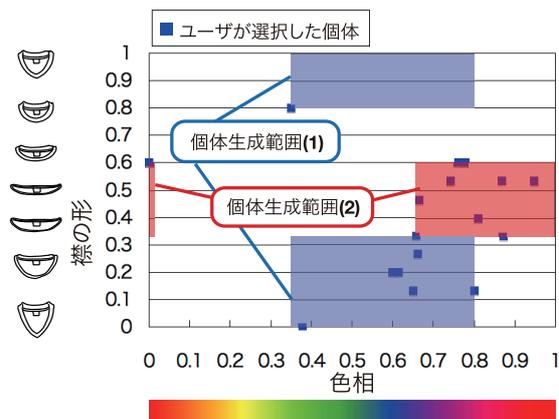


図 9 実験システムのインターフェース

であるため、1 つの個体生成範囲となっている。図 10(a) から分かるように、色相については紫色の部分で重なっているものの、選択個体は 2 つのクラスタに分かれた。

次に、実際の選択個体のクラスタリング結果を図 10(b) に示す。図 10(b) から、クラスタ (1) は寒色系、クラスタ (2) は暖色系であり、被験者 A の嗜好は多峰性であり、色相については寒色系と暖色系の双方を好むことが推測される。また、クラスタ (1) に含まれる T シャツの襟の形は V ネックに近いものが、クラスタ (2) はポートネックに近いものが多いことが分かる。黒の T シャツや同じ花柄の T シャツが両方のクラスタに分類されているが、これは本実験において明度や模様をクラスタリング時に考慮していなかったためである。今後、クラスタリングにおいて考慮する設計変数については検討を行っていく。

さらに、図 10(c) にこれらの個体生成範囲から生成して 6 世代目に提示した個体の一覧を示す。図 10(c) から、2 つの個体生成範囲が色相において重複した領域を占めていたために同じ紫色の T シャツが双方の個体生成範囲から生成されているが、ユーザの持つ複数の嗜好のうちの 1 つに収束することなく、嗜好の多峰性に対応した個体を生成できていると考えられる。20 名の被験者のうち、12 名の被験者に対して同様の傾向が見られた。



(a) 被験者 A の個体生成範囲



(b) 被験者 A が選択した個体群のクラスタリング結果



(c) 個体生成範囲から生成された個体群

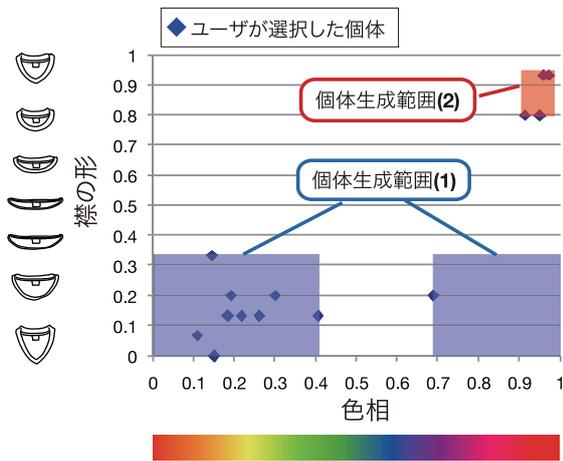
図 10 嗜好の多峰性に対応した個体生成の例

多峰性の嗜好に対応できなかった例

提案する個体生成方法が有効に働かなかった例として、被験者 B の実験結果を示す。図 11(a) に決定された個体生成範囲を、図 11(b) にそれらの個体生成範囲から生成された個体と、被験者 B が 5 世代目までに選択した個体を示す。被験者 B は図 11(a) に示すように、5 世代目までに緑色の T シャツをおり、その中には毎世代選択された T シャツも存在した。しかし、提案手法により生成された個体には図 11(b) から分かるように、緑色の T シャツが全く含まれていなかった。緑色の T シャツは個体生成範囲 (1) から生成される可能性があったが、ユーザによる選択回数などを考慮せずに個体生成範囲 (1) からランダムに個体生成を行ったために、生成できなかったと考えられる。そのため、決定した個体生成範囲から個体生成を行う際に、ユーザによる同一個体の選択回数を考慮したり、個体生成範囲のうち選択個体が多く存在している範囲から生成する確率を高くする必要があると考えられる。

単峰性の嗜好に対応できた例

ユーザの嗜好は単峰性である場合も想定されるため、提案する個体生成方法では、多峰性だけでなく単峰性にも



(a) 被験者 B の個体生成範囲



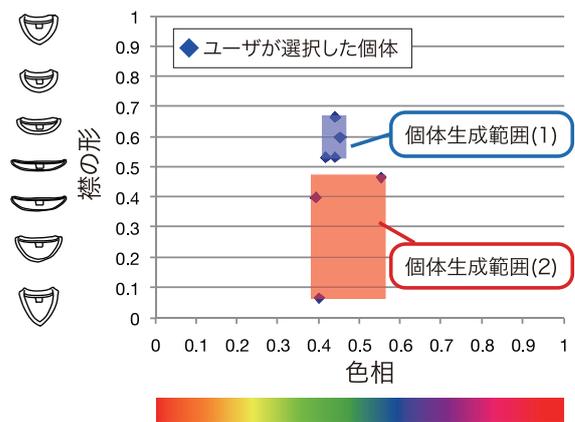
(b) 被験者 B が選択した個体群と生成された個体群

図 11 嗜好の多峰性に対応できなかった個体生成の例

対応できる必要がある。ここでは、単峰性の嗜好に対応した例として被験者 C の実験結果を示す。図 12(b) に示すように、被験者 C が 5 世代目までに選択した個体は全て緑系統の色である。つまり色に関する嗜好が単峰性であると考えられる。それに対して、図 12(b) に示すように提案手法によって生成され 6 世代目に提示された個体群も同様に緑系統の色で占められている。また、図 12(a) では 2 つの個体生成範囲に分かれているが、各個体生成範囲の色相の範囲は緑系統の部分で重なっているため、色に関する単峰性の嗜好に対応できていると考えられる。

§ 2 提案手法の導入による嗜好の反映への影響

アンケートにより、提案手法が iGA の嗜好の学習と反映のメカニズムに悪影響を与えていないかを被験者の主観的評価により確認した。被験者には「どちらのシステムの方が好きな T シャツを提示されたか」という質問を行い、図 13 に示す 5 つの選択肢から回答を選ばせた。図 13 から分かるように、両方のシステム、もしくは提案システムの方が嗜好に合った個体を提示していたと回答した被験者が合わせて 85% であり、クラスタリングを用いた個体生成が iGA の嗜好の学習と反映のメカニズムに悪影響を与えていないことが確認できた。



(a) 被験者 C の個体生成範囲



(b) 被験者 C が選択した個体群と生成された個体群

図 12 提案個体生成方法による単峰性の嗜好に対応した個体生成の例

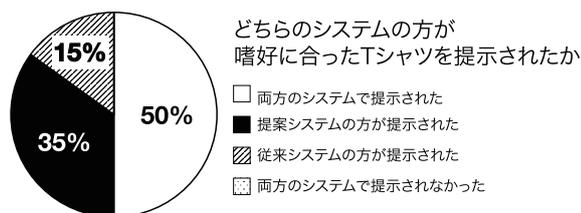


図 13 嗜好を反映した提示に関するアンケート結果

5. 今後の課題

提案する個体生成方法の有効性を被験者実験により検証した。今回提案した手法に対しては今後以下の検証を続ける必要がある。

- 個体生成範囲の嗜好の偏りを考慮した個体生成提案手法では選択個体へのクラスタリング結果に基づいて特定した設計変数空間内の嗜好の領域を個体生成範囲とし、そこからランダムに個体を生成している。その嗜好の領域内において、ユーザの選択個体の分布が均一であるとは限らない。そのため、決定された個体生成範囲の中においてもユーザの嗜好に何らかの偏りがあるといえる。また、特定した嗜好が設計変数間の依存関係に基づく場合も想定される。例えば T シャツを対象とした際に、「模様がボーダーのときは、襟の形はポートネックが良い」という嗜好を持っている場合、模様と襟の形に依存関係があることが分かる。そのため、今後は主成分分析を用いて依存関係を解消させた上で、ユーザが選択した個体の分布を用いて確率モデルを構築し、それに基づいた個体生成を行う方法を検討する。

- ユーザの嗜好が占める領域の特定方法の改善提案手法はクラスタリングによって嗜好に合う領域を特定しているが、実際にユーザの嗜好に合う個体が特定した領域以外にも存在する可能性は大いにある。そこで、クラスタリングによって特定した嗜好の領域の妥当性を検証する仕組みを取り入れることで嗜好の特定方法を改善する。実際には、特定した領域以外からも少数の個体を生成して提示し、ユーザがそれらの個体を選択するか否かでクラスタリングの妥当性を対話的に検証するメカニズムを組み込み、嗜好の特定方法の改善を行う。

また、クラスタリングを適用するタイミング、クラスタリングの対象とする設計変数の検討、本提案手法を将来適用するアプリケーションとして考えている商品推薦における他手法との比較なども今後の課題である。

6. 結論

対話型遺伝的アルゴリズムは人間の嗜好情報などをシステムに取り込むことなどができる非常に有効な手法の一つである。単峰性の嗜好については、従来の iGA を適用することで、1 つの最適解に絞り込んで行くことが可能であるが、多峰性の嗜好については、特にそれらの峰の値の差が顕著でない場合には、ユーザの持つ複数の嗜好を特定し、探索を進めるメカニズムが必要となる。そのため、本研究では嗜好の多峰性にも対応可能な個体生成方法を提案した。提案した個体生成方法は、ユーザが選択した個体の履歴に対してクラスタリングを行うことで適切に選択個体を分類し、嗜好の特定を行う。また、各クラスタに含まれる個体の存在している範囲から次世代の個体生成範囲を決定する。被験者実験では、提案手法が嗜好を適切に把握して個体生成範囲を決定し、多峰性の嗜好にも対応した個体を生成可能であることを確認した。また、提案手法の適用により、従来の iGA のように嗜好が単峰性である場合にも対応した個体生成が可能であることも確認した。提案手法は、Web 上でのショッピングサイトでの商品選択におけるユーザ支援などにおいて特に有効であると考えられる。そのような場合においては、購入したいものが 1 つに定まっている場合は単一の最適解を持つ単峰性の嗜好、好みに合う商品がいくつも存在する場合は複数の最適解を持つ多峰性の嗜好であると定義できるからである。今後は、クラスタリングの対象とする設計変数の検討、個体生成範囲の嗜好の偏りを考慮した確率モデルによる個体生成、ユーザの嗜好が占める領域の特定方法の改善などを行う予定である。

◇ 参考文献 ◇

- [Goldberg 89] Goldberg, D. E.: *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison-Wesley Professional (1989)
- [Handl 04] Handl, J. and Knowles, J.: Multiobjective clustering with automatic determination of the number of clusters, Technical Report TR-COMPSYSBIO-2004-02, UMIST, Department of Chemistry (2004)
- [Joachims 98] Joachims, T.: Text categorization with support vector machines: learning with many relevant features, in Nédellec, C. and Rouveirol, C. eds., *Proceedings of ECML-98, 10th European Conference on Machine Learning*, pp. 137–142, Heidelberg et al. (1998), Springer
- [Konstan 97] Konstan, J. A., Miller, B. N., Maltz, D., Herlocker, J. L., Gordon, L. R., and Riedl, J.: GroupLens: applying collaborative filtering to Usenet news, *Commun. ACM*, Vol. 40, No. 3, pp. 77–87 (1997)
- [Osaki 98] Osaki, M., Takagi, H., and Oya, K.: An Input Method Using Discrete Fitness Values for Interactive GA, *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, Vol. 6, No. 1, pp. 131–145 (1998)
- [Sarwar 01] Sarwar, B., Karypis, G., Konstan, J., and Reidl, J.: Item-based collaborative filtering recommendation algorithms, in *WWW '01: Proceedings of the 10th international conference on World Wide Web*, pp. 285–295, New York, NY, USA (2001), ACM
- [Takagi 96] Takagi, H., Aoki, K., and Fujimura, N.: Interac-

tive GA-based Design Support System for Lighting Design in Computer Graphics, Proceedings of Int'l Conf. on Soft Computing, pp. 533-536 (1996)

[Takagi 01] Takagi, H.: Interactive Evolutionary Computation: Fusion of the Capabilities of EC Optimization and Human Evaluation, *Proceedings of the IEEE*, Vol. 89, No. 9, pp. 1275-1296 (2001)

[安藤 05] 安藤大地: 対話型 GP を用いたクラシック音楽のための作曲支援システム, *芸術科学会論文誌*, Vol. 4, No. 2, pp. 77-86 (2005)

[高木 98] 高木 英行, 畝見 達夫, 寺野 隆雄: 対話型進化計算法の研究動向 (<論文特集> 対話型進化計算法), *人工知能学会誌*, Vol. 13, No. 5, pp. 692-703 (1998)

[高木 00] 高木 英之, 畝見 達夫, 寺野 隆雄: インタラクティブ進化計算 (2000)

[西野 02] 西野 浩明, 高木 英行, 宇津宮 孝一: 対話型進化計算を用いた創作支援型 3 次元モデラ, *電子情報通信学会論文誌. D-II, 情報・システム, II-パターン処理*, Vol. 85, No. 9, pp. 1473-1483 (2002)

[西野 06] 西野 浩明, 武方 一馬, 賀川 経夫, 宇津宮 孝一: 対話型進化計算に基づく 3 次元物体触感の生成法 (特集: 人間要素を取り込む計算知能), *知能と情報: 日本知能情報ファジィ学会誌: journal of Japan Society for Fuzzy Theory and Intelligent Informatics*, Vol. 18, No. 4, pp. 519-533 (2006)

[青木 97] 青木 研, 高木 英行: 対話型 GA による 3 次元 CG ライティング設計支援, *電子情報通信学会総合大会*, 第 364 巻, pp. 15-30, *電子情報通信学会* (1997)

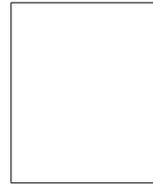
[青木 98] 青木 研, 高木 英行: 対話型 GA による 3 次元 CG ライティングデザイン支援, *電子情報通信学会論文誌. D-II, 情報・システム, II-情報処理*, Vol. 81, No. 7, pp. 1601-1608 (1998)

[担当委員: × ×]

19YY 年 MM 月 DD 日 受理

横内 久猛

著者 1 の略歴



著者紹介

伊藤 冬子(学生会員)

2005 年同志社大学工学部 3 年次修了, 中退. 2007 年同大学大学院工学研究科博士前期課程修了. 現在, 同大学大学院同研究科博士後期課程在籍中. Web 上のサービスにおける感性情報の獲得と利用に興味を持つ. 人工知能学会, 情報処理学会各学生会員.

廣安 知之

1997 年早稲田大学理工学研究科後期博士課程修了. 早稲田大学理工学部助手, 同志社大学工学部インテリジェント情報工学科准教授を経て 2008 年から生命医科学部医情報工学科教授. 進化的計算, 最適設計, 並列処理, 設計工学, 医療画像工学などの研究に従事. IEEE, 情報処理学会, 電子情報通信学会, 計測自動制御学会, 日本機械学会, 超並列計算研究会, 日本計算工学会各会員.

三木 光範(正会員)

1950 年生. 1978 年大阪市立大学大学院工学研究科博士課程修了, 工学博士. 大阪市立工業研究所研究員, 金沢工業大学助教授を経て 1987 年大阪府立大学工学部航空宇宙工学科助教授, 1994 年同志社大学理工学部教授. 進化的計算手法とその並列化, および知的なシステムの設計に関する研究に従事. IEEE, 米国航空宇宙学会, 情報処理学会, 人工知能学会, システム制御情報学会, 日本機械学会, 計算工学会, 日本航空宇宙学会等会員. 超並列計算研究会代表, 経済産業省産業技術審議会委員などを歴任. 知的オフィス環境コンソーシアム会長.