

# 対話型遺伝的アルゴリズムにおける 嗜好の多峰性および依存関係を考慮した個体生成方法の検討

## Offspring Generation Method for interactive Genetic Algorithms considering Multimodal Preferences and Dependencies

非 伊藤 冬子 (同志社大学大学院工学研究科)  
非 田中 美里 (同志社大学大学院工学研究科)  
正 廣安 知之 (同志社大学生命医科学部)  
正 三木 光範 (同志社大学理工学部)  
非 横内 久猛 (同志社大学生命医科学部)

Fuyuko ITO, Graduate Student of Engineering, Doshisha University  
Misato TANAKA, Graduate Student of Engineering, Doshisha University  
Tomoyuki HIROYASU, Department of Life and Medical Sciences, Doshisha University  
Mitsunori MIKI, Department of Science and Engineering, Doshisha University  
Hisatake YOKOUCHI, Department of Life and Medical Sciences, Doshisha University

Interactive genetic algorithms (iGAs) are methods that acquire and analyse user preference based on user's subjective evaluation. iGA has been applied to various unimodal problems, such as parameter setting of a hearing aid and fashion design. On the other hand, the goal of this study is achieving iGA which also corresponds to multimodal preferences with equivalent fitness at the peaks. For example, when users select products on shopping sites, they have several types of preference trends at the same time. In this case, reflecting all the trends in product presentation leads to increased sales and consumer satisfaction. The dependency among design variables should be also considered toward each trend of preference. In this study, a new offspring generation method that enables efficient search even if user preference is multimodal and there are dependencies among design variables is proposed. The proposed method is capable to detect a multimodal preference using clustering, and spawn offspring based on probabilistic model eliminating the dependencies among design variables by principal component analysis. The results of experiments indicate that the proposed method can generate offspring corresponding to multimodal preferences with equivalent fitness at the peaks and dependencies among design variables. However, there are few subjects who have dependencies within their preferences.

*Key word:* interactive genetic algorithms, offspring generation, multimodality, dependency

## 1 はじめに

近年、嗜好情報に基づいてユーザに対する挙動を変化させるシステムが増加している。ショッピングサイトにおける商品推薦はその1つである。これらのシステムを実現する推薦手法としては協調フィルタリング (collaborative filtering)<sup>1, 2)</sup> とコンテンツに基づいたフィルタリング (contents-based filtering) の2つに大別できる<sup>3)</sup>。コンテンツに基づいたフィルタリングでは、ユーザの行動履歴から獲得した嗜好情報をモデル化するフェーズが必要となる。嗜好をモデル化するアプローチには、ユーザの行動履歴や対象となる情報の特徴量をベクトルで表現するベクトル空間モデルや、嗜好を適合度関数でモデル化するアプローチが存在する。後者の嗜好の適合度関数は、入力を対象となる情報、出力を嗜好への適合度とする関数であり、適合度の最大化を行うことでユーザに提示する情報を最適化することが可能である。しかし、ユーザの嗜好を表現する適合度関数を予め把握することは難しい。そのため、ユーザとのインタラクションによって適合度関数を推定し、対象の最適化を行う手法として対話型遺伝的アルゴリズム (interactive Genetic Algorithms: iGAs)<sup>4)</sup> が提案されている。

iGAは、ユーザの主観的評価に基づいて感性情報の獲得とその解析を行う手法として知られており、数値化が難しい補聴器のパラメータ調整など、嗜好が単峰性である問題に多く適用されている。本研究ではこれに対して嗜好が多

峰性であり、その適合度値の優劣が顕著でない問題にも対応したiGAの実現を目指す。このような多峰性の問題としては、ショッピングサイトにおける商品提示にiGAを利用する場合などが考えられる。例えば、商品を選択する場合には複数の好みと同時に存在する可能性があり、そのような状況ではすべての好みを反映した提示を行うことが売上の向上やユーザの満足に繋がる。また、それぞれの好みにおいて設計変数間に依存関係が存在する場合は、それらの依存関係を考慮した探索を行う必要がある。

iGAでは人間が評価を行うため、探索世代数が通常の遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithms: GAs)<sup>5)</sup> と比較して少なく、個体生成を行う交叉のフェーズが探索に大きな影響を与える。そこで本研究では、商品推薦のように嗜好が多峰性でかつ、それぞれの峰のピーク値の差が有意に認められない場合や、設計変数間に依存関係がある場合でも、iGAの探索が有効に働くような個体生成方法について検討する。提案手法では、ユーザが評価した個体に対してクラスタリングを適用し、各クラスタ内で構築した確率モデルに基づいて個体生成を行う。提案手法の有効性は、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、被験者実験を行い検証する。

## 2 対話型遺伝的アルゴリズム

iGAはGA<sup>5)</sup>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の評価を行い、対象の

最適化を行う手法である。このため、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<sup>4, 6, 7, 8, 9, 10)</sup>。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、測定した主観的評価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<sup>11)</sup>。また、青木ら<sup>12, 13, 14)</sup>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Fig. 1に、その詳細を以下の1.~7.に示した。

1. 予め決められた数の個体を生成して母集団とする(初期個体生成)
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を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)

### 3 嗜好の多峰性と依存関係

#### 3.1 嗜好の多峰性

iGAを用いる際には、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つだけ求めればよいので、Fig. 2に示した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は全ての個体を最適解領域に収束させていけばよい。一方、ショッピングサイトにおいて洋服などの商品を選択する過程においては、一般にユーザの嗜好は複数存在する場合は想定される。即ち、それぞれの嗜好の適合度値の差が有意に認められない程度に小さい場合が考えられる。この場合は、Fig. 2に示したように嗜好が多峰性であると捉えること

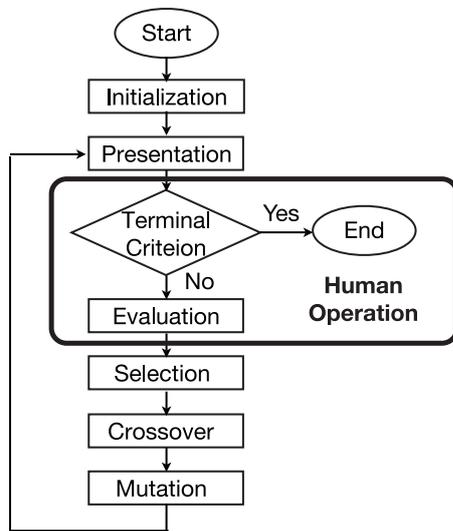


Fig. 1 Flowchart of iGA

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、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有意に認められ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、ユーザが評価した個体にクラスタリングを適用することで1つ以上の最適解領域を把握し、個体生成を行う方法を提案する。

#### 3.2 嗜好の依存関係

iGAは人間が評価を行うことから、通常のGAと比較して評価回数は少なく、交叉や突然変異による個体生成が探索に大きな影響を及ぼす。本研究では3.1節で述べたように、クラスタリングにより嗜好の適合度関数の最適解領域を把握し、各最適解領域において個体生成を行う。各最適解領域における個体生成においては、個体の分布が重要となる。Fig. 3はユーザが選択した個体の設計変数空間における分布の一例である。Fig. 3に示すように、ユーザが選択した個体、つまりユーザの嗜好が設計変数空間において依存関係を持つ場合が想定される。このような場合においては、この依存関係を考慮して個体生成を行うことで有効な探索が可能になると考えられる。本研究では、ユーザが選択した個体によって構築した確率モデル<sup>15)</sup>を用いて個体生成を行う。このとき、依存関係を考慮して確率モデルを構築するために、主成分分析(Principal Component Analysis: PCA)を適用する。

### 4 嗜好の多峰性および依存関係を考慮した個体生成方法

#### 4.1 提案手法の概要

本研究では、嗜好の多峰性および依存関係を考慮した個体生成を実現するため、クラスタリングおよび確率モデルを利用した個体生成方法を提案する。提案手法はFig. 4に示したように、以下の2つのステップからなる。なお、提

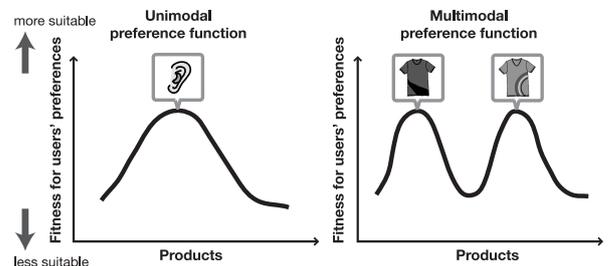


Fig. 2 Examples of fitness function of user preference

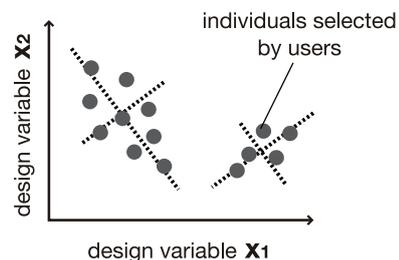


Fig. 3 Dependency among design variables

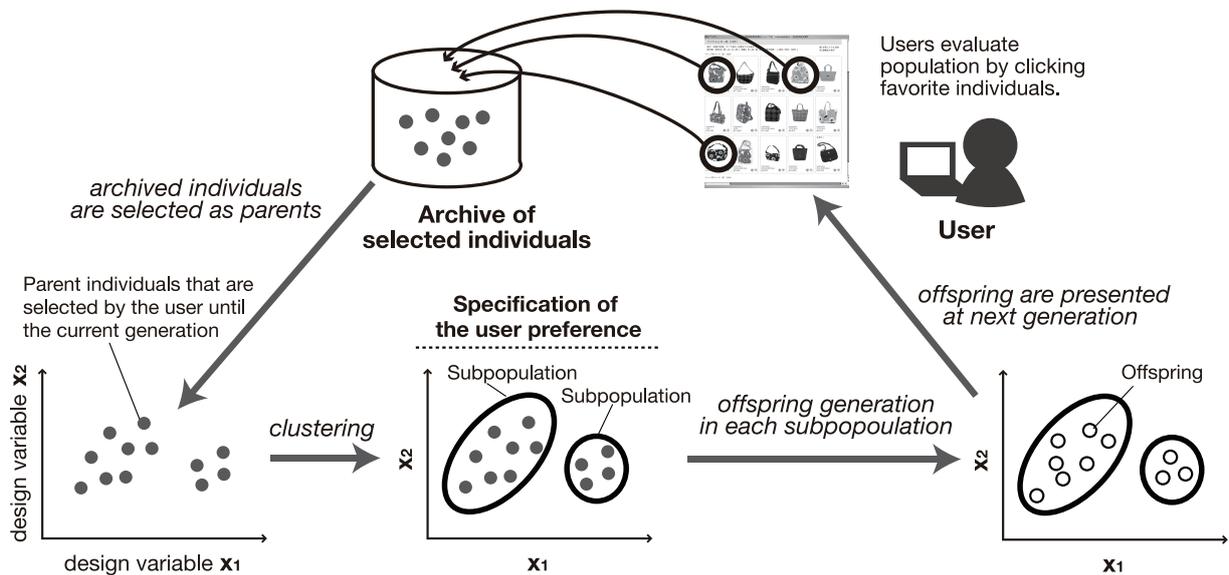


Fig. 4 Overview of the proposed method

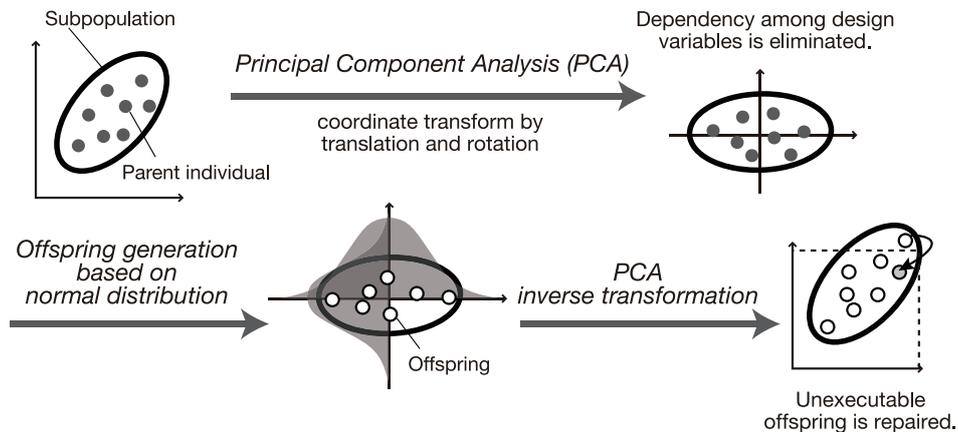


Fig. 5 Offspring generation procedure in the proposed method

案手法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してアーカイブに保存するものとする。

- 嗜好の適合度関数の最適解領域の把握  
アーカイブに保存されている全ての個体に対してクラスタリングを行い、サブ母集団に分割することで、複数存在する可能性のある最適解領域を把握する。
- 設計変数間の依存関係を考慮した個体生成  
各サブ母集団において、設計変数間の依存関係を考慮した確率モデルを構築し、子個体を生成する。

提案手法では、アーカイブに保存された全ての個体に対してクラスタリングを行うことで、個体群をサブ母集団に分割する。これにより、1つ以上の最適解領域を特定し、単峰性と多峰性の双方の嗜好を扱うことが可能になる。次に、各サブ母集団において個体群に主成分分析を適用し、設計変数間の依存関係を解消して確率モデルを構築する。子個体は構築した確率モデルに基づいて生成する。提案手法により個体を生成する具体的な手順は以下の通りである。

1. 現在の世代において、ユーザがクリックして評価した

個体をアーカイブに保存する。

2. アーカイブに保存されている全ての個体を親個体として選択する。クラスタリングを適用することで、親個体をサブ母集団に分割する。ただし、アーカイブに保存されている個体数が規定の親個体数に満たない場合は、提示個体からユーザが評価した個体とユークリッド距離が近い個体を親個体として選択する。なお、クラスタリングにおいては、クラスタ数を自動的に決定可能な手法を用いることで、単峰性が多峰性を判別し、どちらの場合にも対応した個体生成を可能にする。
3. 各サブ母集団において、親個体に主成分分析を適用する。具体的にはFig. 5に示すように、平行移動と回転による座標変換を行うことで設計変数間の依存関係を無効化する。
4. 親個体の分布から確率モデルを構築し、構築した確率モデルに基づいて正規乱数により子個体を生成する。なお、生成する子個体の数は、各サブ母集団が含む親個体の数の割合に基づいて決定する。
5. 生成した子個体に対して主成分分析の逆変換を適用する。逆変換後に、実行可能領域外に存在する子個体に対して引き戻しの操作を行う。
6. 全てのサブ母集団に対して、3.~5.の操作を行う。

このように提案手法では、現在の世代までにユーザが選択した個体の分布している範囲から、嗜好に合った領域を特定し、設計変数間の依存関係を考慮した個体生成を行う。また、クラスタ数を自動的に決定可能なクラスタリング手法を適用することで、ユーザの嗜好を適切にグループ化し、単峰性と多峰性の双方に対応した個体生成を可能にする。

## 5 嗜好の多峰性への対応の評価

### 5.1 実験概要

ユーザが選択した個体にクラスタリングを適用することで、単峰性もしくは多峰性の嗜好の最適解領域を把握することが可能であるか被験者実験を行った。対象問題はショッピングサイトにおける商品提示、対象商品はTシャツとした。これは一般に商品を選択する過程においては、複数の好みと同時に存在する多峰性の嗜好を持つユーザが想定されるためである。Tシャツは色、襟の形、袖の長さ、模様、模様の色といった設計変数で表現するものとした。色はFig. 6に示すように、HSB(Hue Saturation Brightness)表色系の色相(Hue)、彩度(Saturation)、明度(Brightness)の3つの値で表現する。また、襟の形はFig. 6の襟の形とした。袖の長さは半袖もしくは長袖、模様は無地を含めて8種類、模様の色は9種類とした。

本実験では母集団サイズを20とし、母集団中の全てのTシャツ(個体)をインタフェースで被験者に提示した。被験者は20歳代の男女20名(男性14名、女性6名)であり、「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、各システムで評価を行った。なお本実験では、ユーザが選択した個体に対してクラスタリングを行うことで、単峰性もしくは多峰性の嗜好を特定可能かを検証することを目的としている。そのため、5世代目まで通常のiGAを行い、5世代目までに選択された個体にクラスタリングを適用するものとした。クラスタリング手法には、クラスタ数を自動的に決定可能な多目的クラスタリング(MultiObjective Clustering with automatic K-determination: MOCK)<sup>16)</sup>を用いた。クラスタリングの対象となる設計変数は色相および襟の形の2つとし、クラスタ数は1から3の中で自動的に決定した。なお、交叉率は1.0、突然変異率は0.2と設定した。

### 5.2 実験結果および考察

ユーザが選択した個体にクラスタリングを適用することで、多峰性の嗜好を特定可能かを検証する。クラスタリングによって多峰性の嗜好を特定できた例として、ある被験者Aの実験結果について述べる。

被験者Aが設計変数空間において各クラスタが占める領域を図7(a)に、選択した個体のクラスタリング結果を図7(b)に示した。

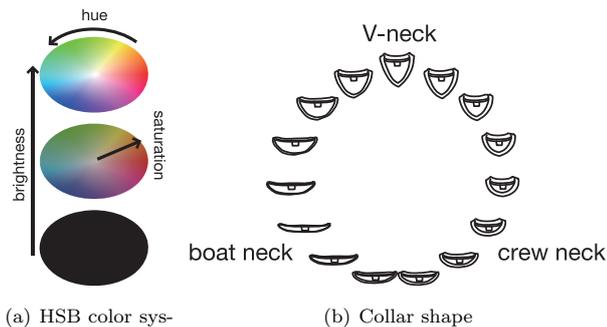


Fig. 6 Design variables of T-shirts

7(b)に示した。図7(a)の横軸は色相、縦軸は襟の形であり、被験者Aが5世代目までに選択した個体をプロットした。ただし、各軸は下限値を0、上限値を1とするように正規化している。なお、クラスタ(1)は上下に、クラスタ(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であるため、それぞれ1つの領域である。

被験者Aが選択した個体は、図7(a)の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、2つのクラスタに分かれた。また、図7(b)から、クラスタ(1)は寒色系、クラスタ(2)は暖色系である。これより、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ネックに近い形が、クラスタ(2)はボートネックに近い形が多いことが分かる。

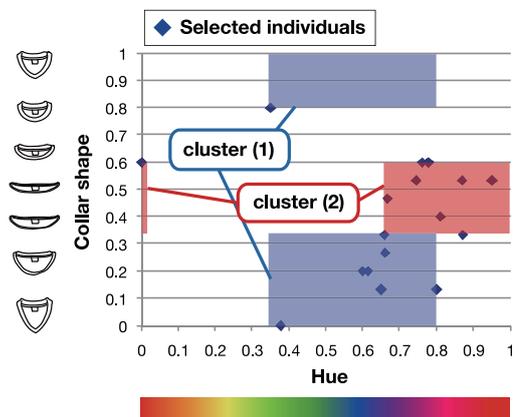
なお、被験者Aと同様に選択した個体が複数のクラスタに分割された被験者は、20名の被験者のうち12名の被験者であった。また、ユーザの嗜好は単峰性である場合も想定されるが、クラスタリングによって単峰性の嗜好も特定することができた。これらの実験結果より、ユーザが選択した個体に対してクラスタリングを行うことで、多峰性もしくは単峰性の嗜好を特定できる可能性が示唆された。

## 6 嗜好の依存関係への対応の評価

### 6.1 実験概要

提案手法では、クラスタリングされた選択個体の分布に対して主成分分析を行い、設計変数間の依存関係を無効化して構築した確率モデルに基づいて個体を生成する。ここでは、被験者実験によって以下の項目を検証した。なお、依存関係のある嗜好を実装したエージェントによるシミュレーションの結果から、依存関係に対応した個体生成が可能であることは既に確認されている<sup>17)</sup>。

- 被験者の嗜好に依存関係が存在するか
- iGAの持つ嗜好の反映のメカニズムに対して、提案手法の導入による悪影響がないか



(a) Regions corresponding to clusters in design domain



(b) Clustering result

Fig. 7 Examples of clustering result of selected individuals based on multimodal preferences

対象問題は、シンボルの作成とした。シンボルは、Fig. 6(a)に示した色(色相, 彩度, 明度)とFig. 8(a)に示した形状の計4つの設計変数によって表現する。ユーザは各世代において、Fig. 8(b)に示したインターフェイスに提示されたシンボル群の中から、好みのシンボルを1つ以上をクリックすることで個体の評価を行う。

本実験では母集団サイズを16とし、母集団中の全てのシンボル(個体)をFig. 8(b)に示したインターフェイスで提示した。被験者は20歳代の男女8名(男性5名, 女性3名)であり、提案手法により個体生成を行うiGAシステム(以下, 提案システム)と従来の遺伝的操作により個体生成を行うiGAシステム(以下, 従来システム)の双方を利用した。提案手法におけるクラスタリング手法は第5章における実験同様にMOCKを利用し、クラスタ数は1から8の中から決定した。なお, 本実験では全ての設計変数をクラスタリングの対象とした。最小の親個体数は8, 交叉率は1.0, 突然変異率は0.3とした。突然変異は適用する個体を子個体の中から突然変異率に基づいて決定し, 該当する個体のいずれかの設計変数の値をランダムに変更した。従来システムにおける交叉には,  $\alpha$ を1としたBLX- $\alpha$ <sup>18)</sup>を用いた。提案システムと従来システムの実験順については, 被験者間でカウンタバランスをとり, 各システムによる実験終了後にアンケートを行った。

## 6.2 実験結果および考察

Fig. 9に示すように, 4次元のうち2つの設計変数を組み合わせた2次元設計変数空間において, 被験者が選択した個体の履歴の分布から嗜好に依存関係が認められるか検証した。実験結果より, 嗜好に依存関係が認められた被験者は8名のうち, 3名であった。提案手法では依存関係を抽出することが可能であるが, 本実験では多くの被験者において依存関係が認められなかった。これより本実験の対象問題では, 設計変数間に依存関係が存在しないと考えられる。なお, 嗜好の依存関係が認められた2つの設計変数の組合せのうち, 3名全ての結果において依存関係が表出した組合せは彩度と明度であった。彩度と明度の2次元空間において, 依存関係が認められた個体の選択履歴の例をFig. 9(a)に示した。Fig. 9(a)から分かるように, 依存関係が図中の楕円のように表出している。これはHSB表色系において, 彩度と明度は共に色の鮮やかさに影響を与えるため, これらの2つの設計変数間に依存関係が現れたと考えられる。依存関係は認められなかったが, Fig. 9(b)に示したように特定の色相と形状の組合せを特に好み, 該当するシンボルを選択し続ける被験者も存在した。

嗜好の依存関係は設計変数に依存して現れる可能性があるため, 今後は他の対象問題や設計変数で検証を行う必要

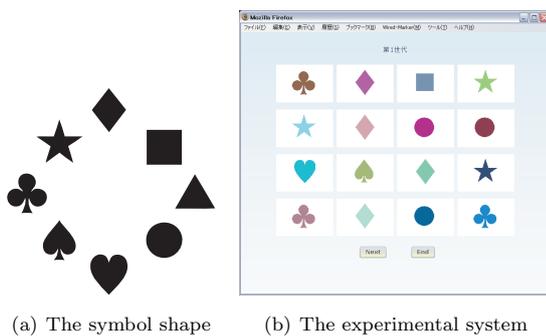
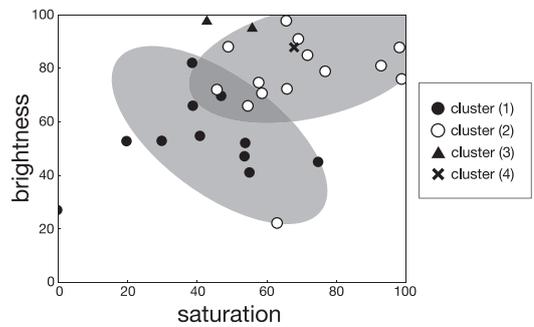


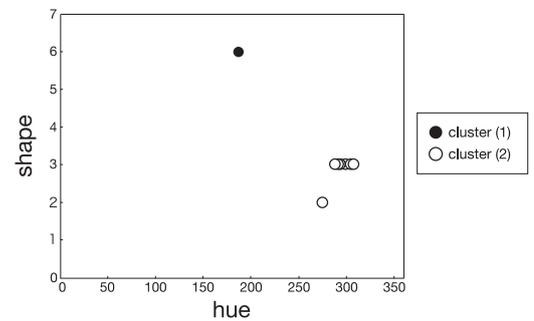
Fig. 8 The design variable and the experimental system

がある。また, 被験者数も少ないため, 十分な数の被験者で同様の検証を行う必要がある。

次に, 提案手法も用いたシステムが従来のiGAを用いたシステムと同じ程度にユーザの嗜好に合う個体を生成可能か主観の評価により確認した。各システムによる実験終了後に行ったアンケートでは, 各システムについて「好みのシンボルを見つけることができたか」という問いに5段階で評価させた。Fig. 10に示したアンケート結果より, 好みのシンボルを作成できたと回答した被験者の数は両システムでほぼ同じであることが分かった。これより, 提案システムは従来システムと同様にユーザの嗜好に合った個体を生成し, 提示できる可能性が示唆された。



(a) Example of dependency among design variables



(b) Example of specific combinations of the values of hue and shape

Fig. 9 The distributions of selected individuals

## Did the system present any symbols you like?

- Yes, it presented favorite symbols very well.
- Yes, it presented favorite symbols.
- So-so.
- No, it didn't present favorite symbols very well.
- No, it didn't present any favorite symbols.

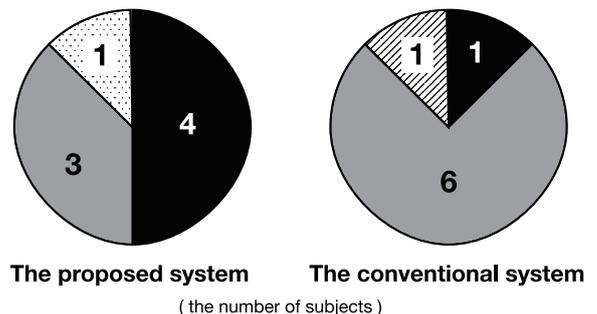


Fig. 10 Results of questionnaires

## 7 結論

iGAはユーザの主観的評価に基づいて感性情報の獲得とその解析を行う手法として知られており、数値化が難しい補聴器のパラメータ調整など嗜好が単峰性である問題に多く適用されている。本研究では、多峰性かつ設計変数間に依存関係がある嗜好に対して、iGAの探索が有効に機能するような個体生成方法を提案した。このような問題としては、ショッピングサイトにおける商品推薦にiGAを利用する場合などが考えられる。商品を選択する場合には複数の好みと同時に存在する可能性があり、そのような状況ではすべての好みを反映した提示を行うことが売上の向上やユーザの満足に繋がるためである。提案手法では、嗜好の適合度関数の峰に相当する最適解領域の把握を、ユーザが選択した個体へのクラスタリングにより実現した。また、特定した各最適解領域において設計変数間に依存関係が存在する場合であっても、主成分分析により依存関係を無効化したうえで確率モデルを構築することで、依存関係を考慮した個体生成を実現した。被験者実験の結果から、クラスタリングによって単峰性だけでなく、多峰性の嗜好の最適解領域を把握できていることを確認した。また、嗜好の依存関係については、本実験で用いた対象問題においては、設計変数間に依存関係が認められなかった。今後は被験者数および対象問題を増やして、どのような場合に嗜好に依存関係が生じるか検証する必要がある。

## 参考文献

- 1) Joseph A. Konstan, Bradley N. Miller, David Maltz, Jonathan L. Herlocker, Lee R. Gordon, and John Riedl. GroupLens: applying collaborative filtering to Usenet news. *Commun. ACM*, Vol. 40, No. 3, pp. 77–87, 1997.
- 2) Badrul Sarwar, George Karypis, Joseph Konstan, and John Reidl. 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.
- 3) 土方嘉徳. 嗜好抽出と情報推薦技術. *情報処理学会誌*, Vol. 48, No. 9, pp. 957–965, 2007.
- 4) Hideyuki Takagi. 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.
- 5) David E. Goldberg. *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*. Addison-Wesley Professional, January 1989.
- 6) 高木英行, 畷見達夫, 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.
- 7) 高木英之, 畷見達夫, 寺野隆雄. インタラクティブ進化計算. 2000.
- 8) 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次元モデル. *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.
- 9) 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uzzy学会誌: journal of Japan Society for Fuzzy Theory and Intelligent Informatics*, Vol. 18, No. 4, pp. 519–533, 2006.
- 10) 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.
- 11) Miho Osaki, Hideyuki Takagi, and Kimiko Oya. An Input Method Using Discrete Fitness Values for Interactive GA. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, Vol. 6, No. 1, pp. 131–145, 1998.
- 12) 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.
- 13) 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.
- 14) Hideyuki Takagi, Ken Aoki, and Naomi Fujimura. Interactive GA-based Design Support System for Lighting Design in Computer Graphics. *Proceedings of Int '1 Conf. on Soft Computing*, pp. 533–536, 1996.
- 15) David E. Goldberg Martin Pelikan and Fernando G. Lobo. A Survey of Optimization by Building and Using Probabilistic Models. *Computational Optimization and Applications*, Vol. 21, No. 1, pp. 5–20, 2002.
- 16) Julia Handl and Joshua Knowles. Improving the scalability of multiobjective clustering. In *Proceedings of the Congress on Evolutionary Computation (CEC 2005)*, Vol. 3, pp. 2372–2379, 2005.
- 17) Tomoyuki Hiroyasu, Misato Tanaka, Fuyuko Ito, Mitsunori Miki, and Hisatake Yokouchi. Discussion Probabilistic Model-Building for interactive Genetic Algorithm. In *Proceedings of Joint 4th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 9th International Symposium on advanced Intelligent Systems*, No. FR-A4-4, 2008.
- 18) L. J. Eshelman and J. D. Schaffer. Real-coded genetic algorithms and interval-schemata. *Foundations of Genetic Algorithms*, Vol. 2, pp. 187–202, 1993.