

リアルタイム fMRI による対話型最適化システムの検討

Discussion of interactive optimization system in Real-time fMRI

田中美里^{*1}
Misato Tanaka山本詩子^{*2}
Utako Yamamoto三木光範^{*3}
Mitsunori Miki廣安知之^{*2}
Tomoyuki Hiroyasu^{*1}同志社大学大学院 工学研究科
Graduate School of Engineering, Doshisha University^{*2}同志社大学 生命医科学部
Faculty of Life and Medical Sciences, Doshisha University^{*3}同志社大学 理工学部
Faculty of Science and Engineering, Doshisha University

In this research it is discussed that how to employ human biological signals, especially functional information of brain, as evaluation values of candidate solutions and what kind of system should be developed in interactive genetic algorithms. To perform this goal, in this paper, an experiment was performed in order to examine relationship between experimental participants' brain activation measured by fMRI (functional Magnetic Resonance Imaging) and evaluation values based on their preferences when picture images of foods were shown. The brain activation patterns were extracted from brain regions where we observed highly significant activations at the time of presentation. Then, they were classified into preference or unpreference patterns. The accuracy rates were higher than a chance level in all the participants.

1. はじめに

嗜好や印象といった人間の曖昧な感性情報を、設計や推薦に反映する技術の一つに対話型遺伝的アルゴリズム (iGA: interactive Genetic Algorithm)[Takagi 01, Takagi 09] がある. iGA は確率的な最適化手法である遺伝的アルゴリズム (GA: Genetic Algorithm)[Goldberg 89] をベースとしている. GA では目的関数による解候補の評価値計算と、次世代の解候補の生成を繰り返すことで、解候補群全体の評価値を向上させていく. iGA では、この目的関数を人間の主観的、直感的な評価によって代替しており、ユーザの曖昧な嗜好や印象に沿った解候補の最適化が可能であるとされている. このために、iGA では解候補に対する評価をユーザから正しく獲得する必要があるが、ユーザの評価の揺らぎや繰り返しの評価による疲労が従来より課題として指摘されている [Takagi 96]. 評価揺らぎとは、例えば別の解候補に対する直前の評価や、1 回の評価に費やす時間の影響などによって、同じ解候補に対する評価値が一律ではなくなるというものである. また、この揺らぎは複数の解候補に対する評価を繰り返してユーザが疲労することにより、集中力や関心の低下が生じ、さらに大きくなると考えられる. 本研究ではこのような評価の揺らぎを排除するために、ユーザに解候補を呈示している時の生体情報を評価に用いることを検討している. ユーザに能動的に評価させるのではなく、ユーザの生体情報に表出した対象への心理的な反応をダイレクトに取得し、それを評価に利用した最適化システムの構築を目指す.

生体情報を用いた対話型遺伝的アルゴリズムの先行研究として、Fukumoto らのユーザの安静状態を指標とした音楽生成 iGA システムがある [Fukumoto 10, Fukumoto 08]. Fukumoto らはユーザの脈拍を計測して得心拍数や心拍変動成分から、ユーザがよりリラックスできる音楽の生成を行った. しかし、本研究では安静状態だけではなく、ユーザの嗜好や印象、意欲などにに基づく汎用的な対話型最適化システムの構築を意図している. そこで、より表現力の高い生体信号を獲得す

るために、脳機能情報に着目した. 特に嗜好や購買意欲に関する活性部位やパターン認識が先行研究として行われている fMRI(functional Magnetic Resonance Imaging)[Huettel 09] を計測装置として用いる. 本稿では、fMRI を用いた脳機能情報に基づく対話型最適化システムの構築を提案し、本システムの要件について検討した. また、要件の一つである脳機能情報からの評価値の算出について調査する実験を行った.

2. 対話型遺伝的アルゴリズム

2.1 概要

対話型遺伝的アルゴリズム (iGA) とは、ユーザの主観的な評価に基づいて対象の最適化を行う対話型最適化手法 (IEC: Interactive Evolutionary Computation) の一つである. 遺伝的アルゴリズムの目的関数をユーザの主観的な評価によって置きかえることで、解候補群全体をユーザの印象や嗜好に沿ったものに進化させることができる. 嗜好や印象といった数値化の難しい感性を、設計や選択に取り込むことができることから、服飾デザイン [Sugahara 08, Kim 00] やオフィスデザイン [Nakajima 06], 感性検索・推薦 [Cho 02, Tanaka 11, Ito 08], 補聴器フィッティング [Takagi 07] などへの応用が研究されている.

対話型遺伝的アルゴリズムによるアイスクリームの推薦システムのイメージを図 1 に示す. ユーザは自身の好みに基づいて、呈示されたアイスクリームに対して評価値をつける. その評価値を基に、システムは評価の高いアイスクリームを親解候補として選出し、それらのアイスクリームが持つ特徴量から、より評価が高くなると予測されるアイスクリームを子解候補として選択する. この操作は遺伝的操作と呼ばれる. 選出されたアイスクリームは次世代の解候補としてユーザに呈示され、再び評価される. このような評価と遺伝的操作の繰り返しによって、呈示されるアイスクリームはよりユーザの好みに従ったものとなる. このように、iGA ではユーザが対象問題に対する知識を持たない場合、また最適解のイメージがない場合でも、主観的な評価を繰り返していくことにより、対象の設計や推薦



図 1: アイスクリーム推薦 iGA システム

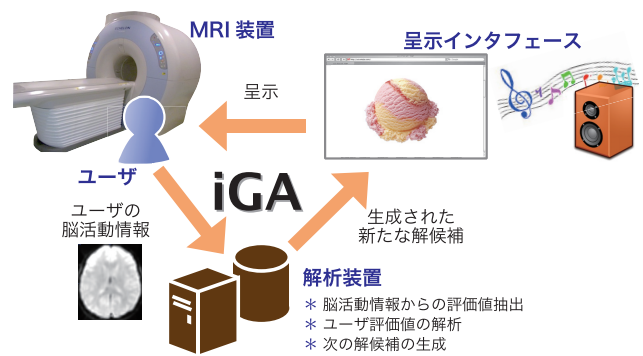


図 2: 提案システムの概要

を最適化することができる。また、ユーザ毎に評価の判断基準が異なる場合においても、それぞれのユーザの評価基準に従って最適な解候補を呈示することができ、解候補のパーソナライズが可能である。

2.2 課題

2.1 節に述べられるように、iGA では解候補に対する評価値を基に、最適化を進める。従って、ユーザの評価値が揺らぐ場合、ユーザの評価基準とは異なる方向に最適化が進むことがある。このような評価値の揺らぎの原因としては、評価行動におけるユーザの疲労、直前の評価や類似解候補に対する以前の評価などが影響すると考えられる。例えば、同じ解候補であっても、直前に評価した個体の評価値が高かった場合にはその評価が相対的に低くなる。もしくはその逆など、評価の際に前後の文脈が影響して、絶対的な評価値が正しく得られないことがある。また、iGA の場合、対象を設計する際にドメインの知識を必ずしも必要としないというメリットがあるが、そのためにユーザの中の評価基準が定まらず、評価の点数付けに迷いが生じるといったケースも考えられる。

このようなユーザの評価揺らぎの問題を解決する方法として、対話型差分進化など 2 つの個体のみを呈示し、のどちらが良いかを比較するような手法が検討されている。本稿ではそれとは異なるアプローチとして、評価値をユーザの生体反応からダイレクトに取得する方法について検討を行っている。

3. 脳機能情報を用いた対話型最適化システムの提案

3.1 提案システム

本稿では、解候補に対する評価値を生体情報から獲得する対話型遺伝的アルゴリズムを提案する。本研究では生体情報として脳機能情報を用いる。これは脈拍や発汗、体温といった他の生体情報と比較して、ユーザの感じた嗜好や印象などの感性情報を反映した信号が得やすいと考えられるためである。また、同様の理由から非侵襲な脳機能計測装置の中でも fMRI を用いるものとする。fNIRS や EEG といった他の装置と比較して空間分解能が高く、嗜好や印象に関する先行研究が複数存在するためである。Knuston らは、被験者に商品画像を見せた後に購入するか否かを決定させるという購買活動をモデル化したタスクを作成し、購入を決定する前の選好時に活性する部位として、側坐核が有意であったことを報告している [Knuston 07]。また、関口らは実験参加者らに複数の時計を呈示し、好みの時計を見せた時と、それ以外における脳

活動を SLR(Sparse Logistic Regression) によって識別した [Sekiguchi 11]。これらの先行研究から、解候補に対する嗜好などの評価を fMRI によって行うことが可能であると考えられる。

図 2 に提案システムのイメージを示す。ユーザは MRI 装置に入り、解候補の呈示を受ける。このときのユーザの脳活動を MRI 装置はスキャンし、撮像された脳機能画像のスライスを解析装置に送信する。解析装置では受信した脳機能画像に対して処理を行い、評価に関連する情報を抽出する。これを基に遺伝的操作に基づく探索を行い、ユーザへの呈示にフィードバックする。これらの繰り返しにより、脳活動からインタラクティブに対象の最適化を行う。

3.2 要件

以下に提案システムの要件を列挙する。

要件 1 脳機能画像をリアルタイムに取得し解析する

要件 2 ユーザの解候補に対する評価値を脳機能画像から算出する

要件 3 抽出した評価値に基づく探索アルゴリズムを開発する

要件 1 については、まず前提として MRI 装置にスキャン途中での脳機能画像の転送機能があることが必要である。本研究において使用する MRI 装置は Echelon Vega 1.5T (日立メディコ) であり、該当する機能を有する。その他のリアルタイムでの演算に必要な機器の性能、システム構成については今回は扱わないものとする。

本稿では、要件 2 についての検証を行う。前節で述べたように、ユーザの嗜好情報の獲得については嗜好に応じて活性する部位の特定とパターン分類による購買意欲の有無の識別といった先行研究が存在する。そこで本稿では下記の 2 つの方法によって評価値の算出が可能であるかを検討する。

1. 側坐核など嗜好に関連する部位での賦活に基づく識別
2. 脳の賦活パターンに基づく嗜好の識別

次章からは、これらの手法を検証する被験者実験について述べる。ユーザの嗜好の度合と脳活動の関係性について調査するために、呈示された解候補に対する被験者の脳活動を計測し、分析を行った。要件 3 については、今後の課題とする。

4. 実験

4.1 実験概要

本実験では、iGA に必要なユーザの嗜好に基づく評価値を、脳活動から取得できるかを検証する。4 人の被験者 (男性 2 名、

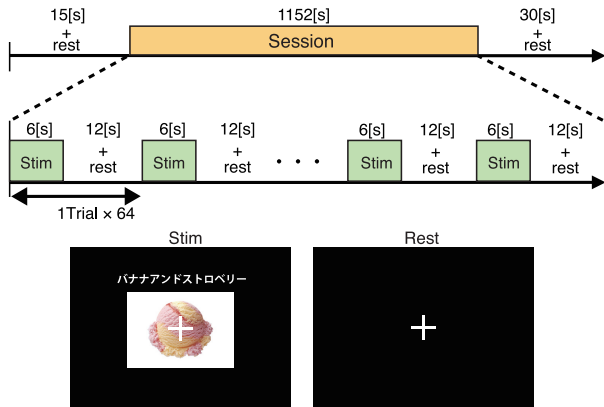


図 3: 実験設計

女性 2 名、年齢： 21.75 ± 0.25) に解候補を呈示し、そのときの被験者の脳活動を MRI 装置で計測した。また、計測の前後に評価用インタフェースを用いて、被験者に解候補を評価させた。このようにして MRI 装置から得られた脳機能情報と、評価用インタフェースから得られた評価値を基に、両データの関係性が確認される特徴量について検討を行った。

4.2 実験設計

嗜好を評価する対象問題として、アイスクリームに対する選好を用いた。アイスクリームを選んだ理由は、味覚に関する好悪がデザインに対する好悪などと比較してはっきりしていると考えられるためである。本稿では、iGA の評価値を抽出するための基礎的な検討を行うために、嗜好時と非嗜好時における主観的な評価値、また脳の賦活状態にある程度の差がある方が望ましい。なお、アイスクリームの画像はインターネット上から取得したものを呈示用に加工した。

図 3 に実験設計を示す。被験者には 32 種類のアイスクリームを呈示した。6 秒間の呈示 (Stim) の間には、12 秒間のコントロール期間 (Rest) を挟んでいる。また、呈示の繰り返し期間 (Session) の前後に 30 秒間のコントロール期間を設置している。被験者の集中力の維持のために、画面中央の白十字は時折ランダムに赤くなるようにし、被験者にボタンを押して白十字に戻すように教示を行った。

また、撮像の前後に評価用インタフェースを用いて、32 種類のアイスクリームすべてに対して、7 段階で好き嫌いをそれぞれ 2 回、計 4 回評価させた。

4.3 実験環境

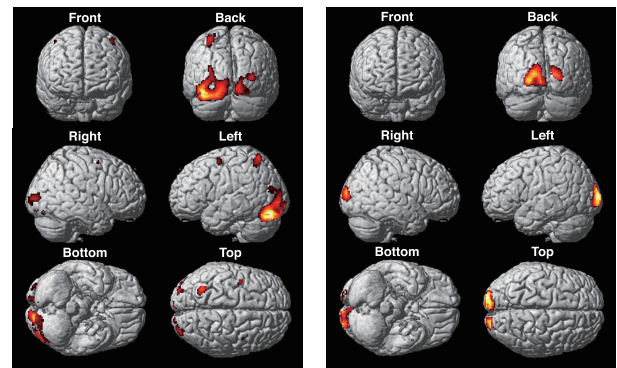
実験に使用した MRI 装置は、1.5T の MRI scanner(日立メディコ, Echelon vega) である。図 4 に、実験風景を示す。被験者に呈示されるアイスクリームの画像は、MRI 室の外のプロジェクタから投影され、MRI 装置内に横たわった被験者の頭部側に設置されたスクリーンに投影される。被験者は頭部計測用コイルを装着し、同コイルに設置された鏡を経由してスクリーン上の画像を見て、手元のボタンデバイスを操作する。

4.4 データ処理

実験では、Gradient-Echo EPI sequence($TR=3000$ [ms], $TE=40$ [ms]) により、脳全体を含むように 20 スライス (64×64 [voxel]) を軸断面により撮像した。また構造画像として T1 構造画像を取得した。得られた脳機能画像は、SPM8(Statistical Parametric Mapping 8, Wellcome Trust Centre for Neuroimaging)[Penny 06] により、体動除去、脳



図 4: 実験風景 (MRI 装置: Echelon Vega 1.5T)



(a) 被験者 B の賦活

(b) 被験者 C の賦活

図 5: 解候補呈示時の賦活

形態の個人差をなくするための正規化処理、雑音や形態差を埋めるための平滑化フィルタの適用を行っている。

4.5 結果と考察

4.5.1 活性部位に関する検討

図 5 に解候補を呈示した際に有意に活性した部位について、被験者 4 名中 2 名のものを示す ($p < .001$)。有意に活性した箇所に、黒から赤、黄、白で活性の度合いがマッピングされている。高く活性した場所ほど、輝度が高い。全被験者において、嗜好に基づく活性が期待された側坐核での賦活は見られなかった。また、撮像の前後に取得した評価値を平均し、上位 33% を嗜好解候補群、下位 33% を非嗜好解候補群として、両者の間で賦活の有意差がでるかを検証したところ、有意差は得られなかった。側坐核での賦活が得られなかった原因としては、測定機器の性能や被験者への教示の失敗などの原因が考えられるため、嗜好の差が撮像中に強調される実験設計への修正を行った上で、再度実験を行う必要がある。

解候補呈示時の活性場所はそのほとんどが後頭部の視覚野に集中していた。また、中心前回などの運動に関連する部位にも賦活が見られた。後者は解候補呈示時に、ボタンを押す動作を加えたことが賦活の原因として考えられる。

4.5.2 賦活パターンの識別に関する検討

前項の手続きによって得られた解候補呈示時の賦活部位を ROI (Region of Interest) とし、嗜好解候補群を呈示した際の賦活パターンと、非嗜好解候補群を呈示した際の賦活パターンの 2 クラスに対して、SVM (Support Vector Machine) による識別を行った。使用した特徴量は、該当する解候補の呈示開始時から 6 秒後と 9 秒後のスキャンから得た賦活パターンを

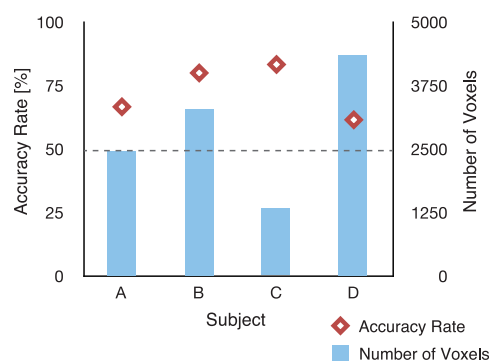


図 6: 賦活パターンを用いた嗜好解候補群と非嗜好解候補の識別率

平均したものである。同じ解候補を 2 回呈示しているため、1 つの解候補に対して、2 個の特徴量が存在する。

識別には libSVM[Chang 11] の SVC-C を用いた。ライブラリのパラメータ最適化を利用している。図 6 に、被験者毎に 42 個の特徴量に対して交差検定 (5-fold Cross validation) を行った際の識別率を示す。識別率は被験者によって異なり、被験者 C において最も高い識別率を得られた。その他の被験者においても 50% 以上の識別率を示した。先行研究では、全脳の活動に対して識別に有効な特徴量を選出しており [Sekiguchi 11]、今回、特徴量に用いた ROI が適切であったかについては、今後検討を行っていく必要がある。しかし、80% 以上の識別率を得られた被験者が複数いたことから、評価値の算出にパターン分類を用いるアプローチは、一定の有効性があると考えられる。

5. まとめ

本研究では、対話型遺伝的アルゴリズムにおける解候補の評価に、人間の生体情報を取り込むことを目指している。fMRI 装置を用いて、解候補呈示時の人間の脳活動を計測し、解候補に対する嗜好や印象の度合を算出し、次に呈示する解候補の生成、選出に利用する。本稿では、提案手法の基礎的な検討として、解候補呈示時の被験者の脳活動を取得し、撮像の前後に取得した評価値との相関について検証する実験を行った。実験では、解候補を呈示された被験者の脳活動において、視覚野の反応が強く得られた。有意に賦活した領域から得られた賦活パターンを用いた識別では、被験者によって識別率が異なっていた。しかし、半数の被験者において 80% を超える識別率を得られたことから、評価値の算出を行う手法として識別器の生成が有効な手段であることが示唆された。

今後の課題としては、識別器の性能向上を行う必要がある。加えて、一度獲得した識別器を、異なるセッションにおいても再利用できるかについても検証する。また、嗜好に関連する部位での賦活が本実験では得られなかった。そのため、より嗜好に基づく血流量変化が強調される実験設計を組み、本実験で使用する装置での計測が可能であるかについて検証を行う。

参考文献

- [Chang 11] Chang, C. C. and Lin, C. J.: LIBSVM, *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, Vol. 2, No. 3, pp. 1–27 (2011)
- [Cho 02] Cho, S. B.: Towards Creative Evolutionary Systems with Interactive Genetic Algorithm, *Applied Intelligence*, Vol. 16, No. 2, pp. 129–138 (2002)

- [Fukumoto 08] Fukumoto, M. and Imai, J.: Evolutionary computation system for musical composition using listener's heart-beat information, *IEEE Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, Vol. 3, No. 6, pp. 629–631 (2008)
- [Fukumoto 10] Fukumoto, M., Ogawa, S., Nakashima, S., and Imai, J.: Extended Interactive Evolutionary Computation using heart rate variability as fitness value for composing music chord progression, in *Nature and Biologically Inspired Computing, 2010 Second World Congress*, pp. 407–412, IEEE (2010)
- [Goldberg 89] Goldberg, D. E.: *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison-Wesley Professional (1989)
- [Huettel 09] Huettel, S. A., Song, A. W., and McCarthy, G.: *Functional Magnetic Resonance Imaging*, Sinauer Associates Inc, 2nd edition (2009)
- [Ito 08] Ito, F., Hiroyasu, T., Miki, M., and Yokouchi, H.: Discussion of Offspring Generation Method for interactive Genetic Algorithms with Consideration of Multimodal Preference, in *Proceedings of the 7th International Conference on Simulated Evolution and Learning*, Vol. 5361, pp. 349–359 (2008)
- [Kim 00] Kim, H. S. and Cho, S. B.: Application of interactive genetic algorithm to fashion design, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 13, No. 6, pp. 635–644 (2000)
- [Knutson 07] Knutson, B., Rick, S., Wimmer, G. E., Prelec, D., and Loewenstein, G.: Neural predictors of purchases., *Neuron*, Vol. 53, No. 1, pp. 147–156 (2007)
- [Nakajima 06] Nakajima, T., Hashimoto, S., Haruyama, K., Nakamura, T., and Osana, Y.: Office Layout Support System using Interactive Genetic Algorithm, in *2006 IEEE International Conference on Evolutionary Computation*, pp. 56–63 (2006)
- [Penny 06] Penny, W. D., And, K. J. F., Ashburner, J. T., Kiebel, S. J., and Nichols, T. E.: *Statistical Parametric Mapping: The Analysis of Functional Brain Images*, Academic Press, 1 edition (2006)
- [Sekiguchi 11] Sekiguchi, T. and Kawabata, H.: Evaluation of Watch Design Using Multivariate Pattern Analysis of Brain Activity (in Japanese), *IEICE TRANSACTIONS D*, Vol. J94-D, No. 6, pp. 1017–1024 (2011)
- [Sugahara 08] Sugahara, M.: Design of Japanese Kimono using Interactive Genetic Algorithm, in *2008 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, pp. 185–190, IEEE (2008)
- [Takagi 96] Takagi, H.: Interactive GA for System Optimization: Problems and Solution, in *4th European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing*, pp. 1440–1444, Aachen, Germany (1996)
- [Takagi 01] Takagi, H.: Interactive evolutionary computation: fusion of the capabilities of EC optimization and human evaluation, in *Proceedings of the IEEE*, Vol. 89, pp. 1275–1296 (2001)
- [Takagi 07] Takagi, H. and Ohsaki, M.: Interactive Evolutionary Computation-Based Hearing Aid Fitting, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, Vol. 11, No. 3, pp. 414–427 (2007)
- [Takagi 09] Takagi, H.: New Frameworks of Inetractive Evolutionary Computation, in *5th International Workshop on Computational Intelligence & Applications*, p. 2 (2009)
- [Tanaka 11] Tanaka, M., Hiroyasu, T., Miki, M., Sasaki, Y., Yoshimi, M., and Yokouchi, H.: Extraction and usage of Kansei meta-data in interactive Genetic Algorithm, in *Proceedings of WCSMO-9*, p. 505.1 (2011)