

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：24403

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23650119

研究課題名(和文) 利用者による明示的な評価を必要としない対話型進化計算アルゴリズムの提案

研究課題名(英文) Proposal of an Interactive Evolutionary Algorithm with No Explicit Numerical Evaluation of Solutions by a Human User

研究代表者

石淵 久生 (ISHIBUCHI, Hisao)

大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：60193356

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円、(間接経費) 810,000円

研究成果の概要(和文)：利用者の選好に応じて最適化を行う対話型進化計算において、解を評価する利用者の負担を最小化したアルゴリズムを提案した。提案したアルゴリズムでは、利用者に1個の解が提示され、直前の解との比較が行われる。利用者は、現在の解が直前の解と比較して良いかどうかを判断する。この判断に基づき、最終的な最良解の候補となる候補解集合の更新を行うと共に、次に提示する解の生成を行うアルゴリズムを提案した。このアルゴリズムは、利用者により事前に設定された繰り返し回数を経過した後、1個の最良解を示すことができる。

研究成果の概要(英文)：We proposed an interactive evolutionary computation algorithm with the minimum workload of a human user in solution evaluation. In the proposed algorithm, a single solution is presented to the user at a time. The user is supposed to evaluate the presented solution in order to decide whether the presented solution is better than the previous one or not. After the evaluation of each solution, the proposed algorithm updates a set of candidate solutions and generates a new solution to be presented to the user. The proposed algorithm is able to show a single candidate solution after a pre-specified number of iterations of solution evaluation by the user. That is, the set of candidate solutions can be decreased to a single solution after an arbitrarily specified number of iterations of solution evaluation.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学、感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：進化計算 対話型進化計算 多目的最適化 利用者 選好情報

## 1. 研究開始当初の背景

(1)対話型進化計算は、人間による個体評価に基づく進化計算である。実世界の人工物や組織、計画等は全て最終的には人間により評価されるため、対話型進化計算は無限の応用可能性を持っている。また、利用者ごとに異なる選好解の探索を行うという意味で究極のパーソナル最適化手法である。実際、その応用範囲は広く、モンタージュ写真の生成から作詞作曲、補聴器の調整、住宅や工場のレイアウト作成、バスや電車の時刻表作成、看護師やパイロットの勤務表作成、自動車や航空機の設計、衣服のデザインなど様々な分野に及んでいる。このような対話型進化計算は以下のような特徴を持っている。

(2)進化計算の利点: 利用者の多様な要求に対応可能な柔軟性

通常の最適化では、利用者の多様な選好に応じた解探索は簡単ではない。しかし、対話型進化計算では、個体評価を利用者が行うため、個々の利用者の選好に応じた解探索が可能である。さらに、探索の進展と共に利用者の選好が動的に変化するような状況での効率的な探索も可能となる。

(3)進化計算の欠点: 個体評価の繰り返しに伴う大きな利用者負担

対話型進化計算では、生物進化における環境の役割を人間が担うことになる。すなわち、進化計算における個体評価を利用者が行う。例えば、10個程度の個体から構成される個体群を50世代だけ進化させるという小規模な進化計算でも、500個の個体に対する評価が必要となり、利用者の負担が大きい。

(4)進化計算の課題: 個体評価を行う利用者の負担軽減

対話型進化計算の現実問題への応用では、利用者による個体評価の負担が大きな問題となる。この負担を軽減することができれば、対話型進化計算の応用分野が飛躍的に広がることが期待できる。

## 2. 研究の目的

(1)対話型進化計算は、利用者の選好に基づく探索を行うことで個々の利用者に適した選好解を発見できる最適化手法であり、様々な分野への応用が試みられている。しかし、進化計算における個体評価を利用者が行うため、利用者の負担も大きい。近年、BMI (Brain Machine Interface) と呼ばれる研究分野では、考えるだけでロボットの制御などが可能になっている。そのような事例から、対話型進化計算において、『候補解に対する利用者の単純な反応だけに基づく対話型進化計算を開発す

れば、個体評価の繰り返しに伴う利用者負担の大幅な軽減が可能である』という着想を得た。このような着想を具体化するために、直前に提示された個体との相対的な評価だけに基づく対話型進化計算として、(1+1)ES 型のアルゴリズムの提案と実装を行う。

(2)提案した(1+1)ES型アルゴリズムの性能評価を行うため、単一目的最適化のテスト問題を用いた数値実験を行う。テスト問題では、解の評価値が計算可能であるが、本研究では、直前に示された解よりも良いか悪いかだけが評価結果として利用可能であるという前提で数値実験を行う。数値実験により、直前の解との比較だけに基づく最適解の探索が可能であることを明らかにする。さらに、候補解の数を常に1個に限定するための解の再提示方法の効率性の検討も行う。

(3)突然変異操作に加えて交叉操作を用いた探索を可能にするために、提案した(1+1)ES型アルゴリズムを( $\mu+1$ )ES型アルゴリズムに拡張する。ここで、 $\mu$ は最良解の候補として保持しておく解の数の上限である。ただし、最終的に1個の最良解を利用者に提示するためには、アルゴリズムの終了時点までに候補解の数を1個に減らす必要がある。

(4)対話型進化計算を多目的進化に拡張するために、利用者による評価結果として、直前の解と比較できないという評価結果を追加する。すなわち、利用者による評価結果として、直前の解よりも良い、直前の解よりも悪い、直前の解と比較できないという3通りの結果を考えることにする。このような評価結果に基づき、お互いに比較できない非劣解の集合を求めることが多目的対話型進化計算の目的となる。なお、単一目的最適化においても、直前の解と同等であるという評価結果が可能である。しかし、この場合では、全く同じ評価であるため、どちらを選んでも何の違もない。そのため、一方の解だけを候補解とすることができる。しかし、多目的最適化では、直前の解と比較できないのは、直前の解と現在の解がトレードオフの関係にあるためである。そのため、両方の解を候補解として保持しておく必要がある。

## 3. 研究の方法

(1)原理的に最も単純な探索アルゴリズムは、現在の解よりも優れた解が生成された時、その解に移動するという Fast Move 型局所探索である。このような局所探索は、進化計算分野では(1+1)進化戦略として知られている。(1+1)進化戦略を対話型進化計算として実装した場合は、現在の解と新しく生成された

解との比較が行われ、利用者に好まれる解が次世代に残されることになる。

本研究でも(1+1)進化戦略と類似した状況を想定しているが、実際には全く異なる探索となる。例えば、現在の解に対して新しい解が提示されたとき、(1+1)進化戦略では、評価の高い方の解が次世代に残される。一方、本研究では、現在の解が優れている場合でも、常に新しい解が比較評価の対象として利用者の記憶に残ることになる。これは、車椅子や補聴器の評価など、複数の解を同時に比較することができない状況を想定しているためである。すなわち、解の良し悪しに関係なく、直前に評価された解が常に相対的な比較の基準となる。本研究では、このような状況での対話型進化計算を(1+1)ES型対話型進化計算と呼ぶことにする。

本研究では、直前の解との比較だけが可能であるという状況において、効率的に最適解の探索を行うような解の提示方法を提案した。

(2)提案する対話型進化計算では、直前に提示された解との相対的な比較が繰り返される。すなわち、直前に提示された解と比較された現在の解は、次に提示される解の比較対象となる。ここで、直前に提示された解をA、現在の解をB、次に提示される解をCとする。現在の解Bは、直前に提示された解Aと比較される。次のステップでは、現在の解Bが直前に提示された解となり、次に提示される解Cが解Bと比較される。

ここで、最大化問題を想定し、解Aが解Bよりも優れている状況を $A > B$ 、解Bが解Aよりも優れている状況を $A < B$ で表現することにする。また、解Aは、対話型進化計算において最初に提示された解であるとする。このような想定において、最良解の更新および解の提示について考えることにする。まず、解Aが提示された時点では、解Aが評価された解の中で最も良好である最良解となる。次に、解Bが提示され、解Aとの比較結果が $A < B$ であったとする。この場合では、現在の解Bが最良解となり、次の解Cと比較される。最良解は、解Bと解Cの比較結果に応じて更新される。一方、評価結果が $A > B$ の場合では、解Bが提示された後も最良解はAとなる。そのため、次の解Cは、最良解ではない解Bと比較されることになる。(1+1)進化戦略に最も近い実装を行うためには、評価結果が $A > B$ の場合では、解Aを再提示する必要がある。すなわち、解の提示順序がA B Aとなる。解Aを再提示することにより、解Cは最良解である解Aとの比較が可能になる。このように、『直前の解が現在の解よりも良好な解である場合では常に直前の解の再提示を行う』という解の再提示規則を用いることで、

新しく生成された解は常に最良解と比較されることになり、(1+1)進化戦略と同様の探索が可能になる。本研究では、まず、このような単純な解の再提示規則に基づく対話型進化計算アルゴリズムを開発した。

(3)直前の解が現在の解よりも良好な解である場合では常に直前の解の再提示を行うことで、(1+1)進化戦略を実現できるが、不必要な再提示が多く行われることになり、探索が非効率なものとなる。例えば、解Bに対する評価結果が $A > B$ の場合でも、解Aが最良解であることは明らかであるので、最良解の候補を1個に限定するという意味では、再提示は必要ない。ここで、 $A > B$ の場合に解Aの再提示を行わず、新しい解Cの評価を行った場合を想定してみよう。解Cの評価結果は、 $B > C$ または $B < C$ である。 $B > C$ の場合では、 $A > B > C$ であるため解Aが最良解であることは明らかであり、再提示の必要はない。一方、 $B < C$ の場合では、 $A > B < C$ となり、AとCが最良解の候補となり、最良解の候補を1個に限定するためには、解Cの次に解Aを再提示する必要がある。

このように、『最良解の候補が複数になった場合、最良解の候補を1個に限定するために、現在の解とは異なる最良解の候補を再提示する』という解の再提示規則により、最良解の候補を常に1個に限定することが可能になる。本研究では、この再提示規則に基づく対話型進化計算アルゴリズムを開発し、上記(2)の単純な再提示規則に基づくアルゴリズムとの比較を行った。

(4)上記(3)の再提示規則を、『最良解の候補の数が $\mu$ 個を超えた場合、最良解の候補を $\mu$ 個に限定するために、現在の解とは異なる最良解の候補を再提示する』という再提示規則に一般化した対話型進化計算アルゴリズムを開発した。このアルゴリズムを、 $(\mu+1)$ ES型対話型進化計算と呼ぶことにする。なお、パラメータ $\mu$ の値は、最終的に1個の最良解を利用者に提示できるように、評価回数の関数として設定される。すなわち、探索の終了時点では、(1+1)ES型対話型進化計算と同様のアルゴリズムとなる。

このアルゴリズムでは、候補解の数が $\mu$ 個を超えていない場合では、新しい解が候補解から生成される。この場合、突然変異操作だけではなく、交叉操作を用いることができる。これが、(1+1)ES型対話型進化計算と比較した場合での大きな特徴である。

(5)上記(4)の $(\mu+1)$ ES型対話型進化計算を多目的最適化問題に適用可能にするために、直前に提示された解との評価結果として、直前

の解よりも現在の解が優れている，現在の解が劣っている，お互いに非劣であるという3通りを考えることにする．本研究では，この3種類の評価結果に基づく対話型進化計算の開発を試みた．

#### 4．研究成果

(1)『直前の解が現在の解よりも良好な解である場合には常に直前の解の再提示を行う』という単純な再提示規則および『最良解の候補が複数になった場合，最良解の候補を1個に限定するために，現在の解とは異なる最良解の候補を再提示する』という改良版を用いた(1+1)ES型対話型進化計算アルゴリズムの比較を行った．テスト問題を用いた数値実験により，単純な再提示規則を用いた場合でも解の探索が可能であることを示した．また，解の再提示規則の改良により，探索効率が向上することを示した．同時に，解の再提示規則の改良により，探索の序盤での探索効率が低下する可能性があることも示した．

(2)最終的に1個の最良解を利用者に提示するという条件を満たすために，『最良解の候補の数が $\mu$ 個を超えた場合，最良解の候補を $\mu$ 個に限定するために，現在の解とは異なる最良解の候補を再提示する』という一般化された解の再提示規則におけるパラメータ $\mu$ に対する制約条件を数学的に導出した．

(3)一般化された解の再提示規則を用いて， $(\mu+1)$ ES型対話型進化計算アルゴリズムの実装を行った．テスト問題を用いて， $\mu$ の値と探索性能の関係調べた．数値実験により，解の生成に突然変異操作だけを用いる場合には，一般化を行っていない(1+1)ES型対話型進化計算アルゴリズムにより，最も高い探索性能が得られた．一方，解の生成に交叉操作と突然変異操作を用いる場合には，一般化された解の再提示規則により，(1+1)ES型対話型進化計算アルゴリズムの探索性能を向上させる可能性があることを示した．

(4)多目的最適化問題への適用の準備として，個々の目的関数の離散化を行い，目的関数の小さな違いを利用者が認識できないような状況での多目的進化型アルゴリズムの探索挙動を調べた．数値実験により，目的数が少ない場合には，離散化により進化型多目的最適化アルゴリズムの探索性能が低下することを示した．一方，目的関数の数が多い場合には，離散化により探索性能が低下しない場合や探索性能が向上する場合もあることを示した．

#### 5．主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

H. Ishibuchi, T. Sudo, and Y. Nojima, "Archive management in interactive evolutionary

computation with minimum requirement for human user's fitness evaluation ability," *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 8467, pp. 360-371, Springer, Berlin, June 2014. 査読有

DOI: 10.1007/978-3-319-07173-2\_31

H. Ishibuchi, M. Yamane, and Y. Nojima, "Difficulty in evolutionary multiobjective optimization of discrete objective functions with different granularities," *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 7811, pp. 230-245, Springer, Berlin, March 2013. 査読有

DOI: 10.1007/978-3-642-37140-0\_20

〔学会発表〕(計3件)

T. Sudo, K. Ueba, Y. Nojima, and H. Ishibuchi, "Interactive (1+1) evolutionary strategy with one-fifth success rule," *Proc. of 2nd Asia-Pacific Conference on Computer Aided System Engineering*, pp. 294-300, Bali, Indonesia, February 10-12, 2014.

H. Ishibuchi, K. Hoshino, and Y. Nojima, "Problem formulation of interactive evolutionary computation with minimum requirement for human user's fitness evaluation ability," *Proc. of 16th Asia Pacific Symposium on Intelligent and Evolutionary Systems*, pp. 52-57, Kyoto, Japan, December 12-14, 2012.

③ H. Ishibuchi, M. Yamane, and Y. Nojima, "Effects of discrete objective functions with different granularities on the search behavior of EMO algorithms," *Proc. of 2012 Genetic and Evolutionary Computation Conference*, pp. 481-488, Philadelphia, USA, July 7-11, 2012.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕  
出願状況(計0件)  
取得状況(計0件)

〔その他〕  
ホームページ等

#### 6．研究組織

(1)研究代表者

石淵 久生 (ISHIBUCHI, Hisao)  
大阪府立大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号：60193356