

令和 3 年 6 月 4 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K11471

研究課題名（和文）人間ベース進化計算の汎用性の向上

研究課題名（英文）Enhancing the Generality of Human-based Evolutionary Computation

研究代表者

大西 圭（Ohnishi, Kei）

九州工業大学・大学院情報工学研究院・准教授

研究者番号：30419618

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：人間社会の問題の解決策は、人々が議論して模索する必要がある。空間的な制約のないインターネットは、その議論に適した場所である。人々が考えをまとめる方法は多々あるが、その中で生物の進化に学ぶ進化計算の方法は、解決策の改善と収束を同時に実現することができ、その議論に適した方法である。

本研究では、インターネットと進化計算を組み合わせた、人間社会の問題の解決策生成を支援する人間ベース進化計算システムの汎用性向上に取り組んだ。人間を主要素とする本システムの汎用性の向上には、解探索に参加している人々の貢献意欲を高めることが最重要だと考え、そのための仕組みを考案し、実験によりその有用性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人間社会の問題は複雑である。しかし人間には、人間社会の主役として問題解決の方向性を議論し決定する責任がある。このとき、そのような議論を支援する汎用的で信頼できる情報システムがあれば有用である。本研究では、その支援を目的とした進化計算システムの汎用性向上に取り組み、それを実現した。

本研究成果の学術的意義は、最適化手法である進化計算という方法論の適用範囲を人間社会の問題解決に広げる道筋を示せたことである。社会的な意義は、上述のように、人間社会の問題解決を支援する汎用的で信頼できるシステムを提供できたことである。

研究成果の概要（英文）：Solutions to problems in a human society should be discussed by people themselves. The Internet free from space limitation is an appropriate place for the discussion. Also, although there are many ways to shape people's ideas, evolutionary computation which is inspired by biological evolution is an appropriate way for the discussion because it can achieve improvement and convergence of solutions simultaneously. In this study, we worked on enhancing the generality of a human-based evolutionary computation system which combines the Internet and evolutionary computation. For enhancing the generality of systems whose main components are people, we thought it most important to surely motivate people who are participating in problem solving. Then, we devised a mechanism for that and showed its usefulness through experiments.

研究分野：計算知能

キーワード：進化計算 人間集団 問題解決 Webシステム

1. 研究開始当初の背景

- (1) インターネットの発達によって、物理的に離れた人々の力を集めて様々な問題を解決できるようになった。
- (2) 現在の間人社会の中で生まれる様々な問題（例えば高齢化の問題）の解決策も、インターネット上の人々の力によって確実に、かつ素早く得られることが期待される。

表 1 進化計算の分類

交叉・突然変異演算実行者			
選択演算実行者	計算機		人間
	計算機	通常の進化計算	CAD
	人間	インタラクティブ進化計算	人間ベース進化計算

- (3) 生物の進化に着想を得た最適化手法である進化計算（表1）の研究分野から、2000年代前半に、インターネット上の人々の力を集めて人間にしか解決できない人間社会の問題を解決するための人間ベース進化計算[1][2]という技術が登場した。
- (4) 人間ベース進化計算の研究は、進化計算の研究分野において未だ発展途上である。その理由は、与えられた任意の問題の解決性能を上げる、つまり汎用性を高めるための研究の方向性が未だ示されていないためと考えられる。人間ベース進化計算の汎用性を高めるための研究が必要である。

2. 研究の目的

- 人間ベース進化計算を汎用的な技術にする。

この目的を達成するためには、まず方向性を定める必要がある。そこで、汎用性が十分にこれまで示されている通常の進化計算と人間ベース進化計算の違いを分析し、違いを考慮した方向性を定めた。

通常の進化計算と人間ベース進化計算の特徴を表2に示す。表2から、人間ベース進化計算は、通常の進化計算と異なり、解探索に複数のエージェント（表2中の*）を用いており、それらは異なる性質を持つ（表2中の ）ことが分かる。

この特徴を持つ人間ベース進化計算は、与えられた問題の下で、参加した人間集団に、最高の性能を出させることを確約できない。具体的には、人々の解探索への貢献意欲が時間とともに低下し、それによって各人の解の評価や生成の質が下がることが起これば、その人間集団が持つ最高の性能が得られない。

表2 通常の進化計算と人間ベース進化計算の特徴

探索エージェント	通常	人間ベース
種類	計算機	複数の人間 *
性質の時間変化	なし	あり
解探索への貢献意欲	不要	必要
解の評価基準	同一	異なる
解の生成方法	同一	異なる
相互作用	なし	あり

つまり、解探索中に人々の解探索への貢献意欲をいかに高めるかが、人間ベース進化計算の汎用性を高めるために解決すべき問題だと考え、それを研究の方向性に定めた。

3. 研究の方法

上述の研究の方向性に沿って、人間ベース進化計算を汎用的な技術にするために、解探索中に参加する人々の解探索への貢献意欲を高める仕組みを考案し、その効果を示すことを行った。

人々の解探索への貢献意欲を高めるために考案する仕組みは以下の2つである。

- 参加する人々を差別化する仕組み
- 参加する人々を平等化する仕組み

また、考案する仕組みを実装した、あるいは実装しなかった人間ベース進化計算システムを用いる実験を実施し、これらの仕組みの効果を確認した。詳細は、研究成果のところ述べる。

4. 研究成果

- (1) 参加する人々を差別化する仕組みの提案と評価

問題解決に参加する人々による問題解決への貢献とは、問題の解を生成すること、および他者が生成した解を評価することである。提案した仕組みは、その貢献の度合いについての参加者の順位を参加者全員にリアルタイム周知する、つまり参加者を差別化するものであり、貢献度の高い人々の貢献意欲をさらに高めることを狙っている。

具体的には、解の生成と解の評価のそれぞれについて順位付けする。解の生成についての順位は解の生成回数の多さによって決定し、解の評価についての順位は解の評価回数の多さによって決定する。

図1に、この参加者を順位付けする仕組みを実装した人間ベース進化計算システムのメイン画面を示す。

提案した仕組みが、参加者の貢献意欲の向上に寄与するのかを検証するために、実験とアンケートを行った。

実験では、2つの人間グループが、提案した仕組みを実装したシステムと実装しなかったシステムの両方より問題解決を行った。順序効果を考慮して、1つ目のグループと2つ目のグループは、システムの使用順序が異なるようにした。さらに、システム使用実験後、以下の質問への回答を求めるアンケートを実施した。

- どちらのシステムがよりあなたの問題解決への貢献意欲を高めましたか？

アンケートの結果は表2に示す通りであった。各質問に対する回答について、有意水準5%の符号検定を適用したところ、統計的な有意差があった。つまり、統計的に有意に、提案した仕組みを実装したシステムの方が参加者の貢献意欲をより高めるといえることが言えた。これにより、提案した仕組みの有効性が示された。

表2 参加者順位の提示効果についてのアンケート結果

	仕組みなし	差なし	仕組みあり
質問に対する回答数	1	2	13

(2) 参加する人々を平等化する仕組みの提案と評価

提案した平等化する仕組みは、人々の貢献意欲を高めるというよりもむしろ貢献意欲を維持するために、参加者の間で、問題解決のためにとれる行動の回数を均等にするものである。問題解決のためにとる行動とは、解の生成および評価のことである。上述の参加する人々を差別化する仕組みはこれらの行動回数を制限しないことを活用するものであるが、それとは真逆の考え方である。対面での議論では発言が多い人の意見が発言内容の質を問わず場を支配してしまうこともある。そのようなことで貢献意欲が低下する人の出現を防ぐことが狙いである。

提案した仕組みが、参加者の貢献意欲の向上に寄与するのかを検証するために、提案した仕組みを実装したシステムと実装しなかったシステムを用いた実験とアンケートを行った。実験の手順およびアンケートの内容は、上述の参加する人々を差別化する仕組みの場合と同様である。そのアンケートの結果を表3に示す。

表3 参加者の解生成および評価の回数を均等にする効果についてのアンケート結果

	仕組みなし	差なし	仕組みあり
質問に対する回答数	3	4	7

また、別のアンケートとして、提案した仕組みを実装したシステムと実装しなかったシステムが生成した解について、どちらの方がより実用的か、および創造的か、を質問するアンケートを、実験に参加していなかった人々に対して実施した。回答は、-2から+2までの5段階で行ってもらった。表4にその結果を示す。

表4 実験に参加していない人々による生成された解の質についてのアンケート

	仕組みなしが良い			仕組みありが良い		
	-2	-1	0	+1	+2	
創造性	38	22	23	19	24	
実用性	32	17	26	24	27	



図1 参加者を順位付けする人間ベース進化計算システム

表 3 に示した結果に対して有意水準 5%の符号検定を適用したところ、統計的な有意差はなかった。また、表 4 に示した結果に対して有意水準 5%の Wilcoxon 検定を適用したところ、創造性、実用性のどちらについても有意差はなかった。

以上の結果より、解生成および評価の可能な回数を参加者間で均等にする仕組みを導入しても、参加者の貢献意欲は仕組みを導入しない場合と変わらず、また生成される解の質も、仕組みの導入なしの場合(より多くの解を生成および評価できる場合)と変わらないと言える。さらに、提案した仕組みは、参加者の行動回数を制限することでより問題解決にかかる時間を短くできることが確認された。したがって、本仕組みにより、より効率よく良質の解を得られることが期待できる。

(3) (1)(2)の結果に基づく新たな仕組みの提案

上述の(1)の取り組みからは、人間ベース進化計算システムの参加者にリアルタイムに順位を周知することが参加者の問題解決への貢献意欲を高めることに有効と言える。また、上述の(2)の取り組みからは、人間ベース進化計算システムの参加者の行動回数を均等にすることが効率よく良質の解を得るために有効と言える。

これらの結果から、参加者の行動回数を均等にした状況で参加者のリアルタイムな順位付けと周知を行う仕組みを作ることができれば、その仕組みにより、参加者の貢献意欲を高め、かつ効率よく良質の解を得られることが期待できる。

そこで解の生成回数と解の評価回数のような量による順位付けではなく、生成した解の質および解の評価の質による順位付けを行う仕組みを考案した。質による順位付けであり、解の生成および評価回数が参加者間で均等である下で機能する。この取組みは当初の計画にはなく、(1)(2)の成果から生まれた新たな取組みである。

考案した新たな順位付けの方法は以下のようである。

a) 参加者が生成した解の質に基づく順位付け

参加者が生成した解は他者に評価される。1回の評価とは、解に1点を与えることである。参加者は評価できる回数が制限されるので、その回数内でより自分が良いと思う解に点数を与える。このとき、自分の生成した解に他者から与えられる点数の合計を、その参加者の解生成者としての点数として、その点数の大きさに順位付けする。つまり、他者から良い評価を得られている解の生成者の順位が高くなる。

b) 参加者が行った解の評価の質に基づく順位付け

参加者は他者が生成した解を評価する。前述のように、1回の評価とは解に1点を与えることであり、その回数が制限される。このとき、自分が点数を与えた他者の生成した解が獲得している点数の合計を、その参加者の解生成者としての点数として、その点数の大きさに順位付けする。つまり、他者から良い評価を得られている解を評価した人の順位が高くなる。

以上の新たな参加者の順位付けの仕組みは、予備実験によって、システム参加者の貢献意欲を高めるだけでなく、創造性を高めることが示唆されている。今後、この仕組みの本格的な評価を行い、その成果を発表する予定である。

< 引用文献 >

- [1] Alex Kosorukoff, "Human Based Genetic Algorithm", 2001 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, pp.3464-3469, 2001.
- [2] David. E. Goldberg, "The Design of Innovation: Lessons from and for Competent Genetic Algorithm", Kluwer Academic Publishers, 2002. 224ページに記述

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Tomotaka Watanabe, Yunhao Zhu, Tomohiro Yoshikawa, and Kei Ohnishi
2. 発表標題 Motivating Participants in Human-based Evolutionary Computation Systems
3. 学会等名 The 2020 IEEE Congress on Evolutionary Computation (IEEE CEC 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡邊 知隆, 大西 圭
2. 発表標題 人間ベース進化計算システムにおける量と質に基づく参加者ランキングの効果の比較
3. 学会等名 進化計算シンポジウム2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kei Ohnishi, Tomohiro Yoshikawa, and Tian-Li Yu
2. 発表標題 An Intuitive and Traceable Human-based Evolutionary Computation System for Solving Problems in Human Organizations
3. 学会等名 Workshop of Interactive Methods @ GECCO (iGECCO) in The Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO) 2019, Prague, the Czech Republic (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上田 諒太, 大西 圭
2. 発表標題 二人ゲーム形式の人間ベース進化計算による問題解決
3. 学会等名 第21回日本知能情報ファジィ学会九州支部学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡邊 知隆, 渡辺 龍, 大西 圭
2. 発表標題 質に基づく参加者ランキングと可変個体群サイズを用いる人間ベース進化計算システム
3. 学会等名 第17回進化計算学会研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kousuke Fujimoto, Kei Ohnishi, and Tomohiro Yoshikawa
2. 発表標題 The Human-based Evolutionary Computation System Enabling Us to Follow the Solution Evolution
3. 学会等名 The Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO) 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Soshi Kamitaki, Yunhao Zhu, and Kei Ohnishi
2. 発表標題 Real-time Ranking of Contribution of People to Human-based Evolutionary Search
3. 学会等名 2018 JPNSEC International Workshop on Evolutionary Computation
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryohei Matsumoto, Momoko Kanmura, Kei Ohnishi, and Shinya Watanabe
2. 発表標題 Evolutionary Problem Solving by People Being Aware of Others' Preferences
3. 学会等名 The 9th IEEE International Conference on Awareness Science and Technology (iCAST 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松本 涼平, 大西 圭, 渡邊 真也
2. 発表標題 人間組織の問題の進化的解決における人々の協調
3. 学会等名 進化計算シンポジウム 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡邊 知隆, 大西 圭
2. 発表標題 個人の解生成と評価の回数を制限する人間ベース進化計算
3. 学会等名 第15回進化計算学会研究会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関