

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18K11470

研究課題名（和文）進化計算研究のための知識獲得手法の確立

研究課題名（英文）On establishing methods of acquiring knowledge for evolutionary computation

研究代表者

高木 英行（TAKAGI, Hideyuki）

九州大学・芸術工学研究院・名誉教授

研究者番号：50274543

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）：進化計算研究の多様性を広げるために、「人間要素」を基盤にした知識に関する4サブテーマ（(1) 進化計算アルゴリズム改善・新規開発に利用可能な知識、(2) 設計者に探索解の妥当性を説明できる知識、(3) 対話型進化計算（IEC）ユーザの評価特性を説明する知識、(4) IECユーザ自身の評価特性を気づかせる知識）に取り組んだ。

その結果、既存進化計算法の各種改善法、新進化計算法の提案と解析、新ニッチ手法の提案、sparse近似を導入した独自性の高い大規模最適化法の提案、多目的最適化の目的空間と設計変数空間を橋渡しする取り組み、提案手法の気づき支援効果の評価、その他の成果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

第1の学術的意義は、進化計算研究コミュニティでは稀な「人間要素を絡ませた知識」というキーワードの研究を行うことで、進化計算研究の多様性を示した点である。第2の学術的意義は、新進化計算アルゴリズムの提案と解析、新ニッチ手法の提案、sparse近似や球面集中現象にヒントを得た進化計算の戦略など、独自性が高い手法・アプローチを示した点である。

本研究は進化計算の基礎的位置付けであるが、ハイブリットロケットエンジンの設計や賃貸住宅データベースの検索という実社会の具体的なタスクも取り扱っており、実用イメージを社会に与える点で意義がある。

研究成果の概要（英文）：We tackled four subthemes on knowledge based on human factors in evolutionary computation (EC) to increase the diversity of EC research: (1) knowledge on improving/developing EC algorithms, (2) knowledge to explain the validity of a searched out optimum solution to engineers, (3) knowledge to explain evaluation characteristics of an interactive EC user, and (4) knowledge to make an interactive EC user aware his/her own evaluation characteristics. As its results, we obtained outcomes of: several devices for improving existing EC algorithms. a new EC algorithm and its analysis, a new niche method, new method of large-scale optimization adopting sparse modeling, a tool bridging an objective space and an design parameter space in multi-objective optimization, evaluation of proposed awareness support system, and others.

研究分野：計算知能

キーワード：進化計算 知識獲得 大規模最適化 統合受容度 多目的最適化

1. 研究開始当初の背景

進化計算研究者の主要研究方向はいかに速く大局的最適解を探し出すかであり、そのために既存の進化計算アルゴリズムをいかに改良するか、あるいは、新しいアルゴリズムを創り出すかに研究のしを削っている。生物や自然にヒントを得たとする名前の進化計算アルゴリズムが目白押しで、改良も含めてアルゴリズム競争の様相を呈している。これはこれで重要な方向であるが、進化計算の可能性を拓げるには、研究方向の多様性を高め、研究の幅を拓げ、研究の質的な変革をもたらすことが期待されている。

2. 研究の目的

「人間要素を取り込む計算知能」に取り組んできた研究代表者は、これまでの研究基盤の上に新たに「知識」をキーワードとする以下の四つの研究目的を掲げて本申請課題に取り組むことで、進化計算研究のコミュニティに新しい進化計算研究方向を提示する。

- (1) 進化計算アルゴリズム改善・新規開発に利用可能な知識の獲得
- (2) 設計者に探索解の妥当性を説明できる知識の獲得
- (3) 対話型進化計算ユーザの評価特性を説明する知識の獲得
- (4) 対話型進化計算ユーザ自身の評価特性を気づかせる知識の獲得

3. 研究の方法

上記四つの研究目的に対して、各々以下の取り組みを行った。

- (1) 進化計算アルゴリズム改善・新規開発に利用可能な知識の獲得

以下のように多角的に既存進化計算の性能向上と新規進化計算の提案を行った。

- 花火アルゴリズムの性能向上
- 植物進化アルゴリズムの提案と性能向上
- 新ニッチ手法の提案
- 大規模最適化への新アプローチ
- 制約付最適化取り組み開始
- 初期個体生成法

- (2) 設計者に探索解の妥当性を説明できる知識の獲得

最適化で得られた解を理解するためには明示的な知識表現が必要である。そのため、タスクを解釈しやすくなるよう IF-THEN ルールの獲得を進化計算で行った。タスクには、金融時系列データ予測と DNA 塩基列生成の二つのタスクを扱った。

- (3) 対話型進化計算ユーザの評価特性を説明する知識の獲得

進化的多目的最適化の研究方向は意思決定前のパレート解を多く広く探し出すことを主目的にしているが、研究代表者らは意思決定者の評価モデルを最適解探索に活かすべきとの考えから「受容度」の概念を提案してきている。この手法はユーザ自身の評価特性を可視化できるためその評価特性を説明しやすくなる他、従来のパレート解探索では不可能であった探索解の順位付けが可能になるため多目的探索であっても探索解を大きく絞り込むことができる。そこで、この手法をハイブリッドロケットエンジンの設計と賃貸住宅検索に適用してその有効性を評価した。

- (4) 対話型進化計算ユーザ自身の評価特性を気づかせる知識の獲得

- 線画顔画像を用いた手動での動的変数変化による気づき支援
- 3-D CG 像へのライティングに拡張

これら 2 タスクの画像特徴量を砂時計型ニューラルネットワーク (NN) で構成した自己符号化器で画像特徴量の圧縮・次元削減を行う。学習後、この圧縮した変数 (NN の中間層出力) を「手動」で変化させることで同期して変化する NN 出力から生成した顔画像をリアルタイム表示でユーザに提示する。この手動変化に同期した画像変化を見ることで、顔画像の表情が何に起因するかをユーザに気づかせることができるかどうかを心理実験で確認した。

4. 研究成果

(1) 進化計算アルゴリズム改善・新規開発に利用可能な知識の獲得

花火アルゴリズムの性能向上

どのような知見利用が性能向上につながるかを調べるため、色々な角度から改良に取り組んだ。まず、花火アルゴリズムが fitness 景観勾配の良い方向に探索が進むように以下の改良提案を行った。

- i) 多段式炸裂を行う方式、
- ii) 研究代表者らが以前提案した推定法で個体群の収束点を推定してその方向に重み付けする方式、
- iii) 研究代表者らが以前提案した花火アルゴリズムに組み込む偵察戦略を更に改良し、炸裂範囲の中心位置と大きさを適応的に変化させる適応偵察戦略。

これらの性能改善効果から、fitness 景観情報を積極的にアルゴリズムへ組み込むことの有用性が確認できた。

また、各花火個体周辺の局所探索範囲が重なっている場合は、片方を削除して新規に離れた場所を探索するようにする距離ベースの排他戦略を導入し、花火アルゴリズムを局所最適解探索 (niche) にも使えるようにした。最適化では、大局的最適解探索を目的にする場合も、局所最適解探索を目的にする場合もあるが、局所探索を優先したり局所領域から脱出しやすくしたりするなどの制御のために花火個体数を適応的に変化させる方法も提案した。

花火アルゴリズムの性能改善研究は盛んであり、本研究で提案した各種の独自手法は、これらの研究の一環に位置付けられる。上記 ii) を国際会議 ICSI2018 で、上記 iii) を国際会議 ICSI2019 で発表した大学院生 2 名は Best Student Award を受賞した。

植物進化アルゴリズムの提案と性能向上

植物が種から成長し次世代の種を複数蒔くというサイクルにヒントを得た最適化手法を提案した。次に、この植物進化アルゴリズムの各構成要素とパラメータ設定が最適解探索性能に与える影響を解析するために複数の実験を行った結果、本アルゴリズムの成熟期フェーズが主に性能に影響を与えるが成長期フェーズはそれほどでもないこと、種個体数は性能に大きな変動を与えないこと、成長サイクルは性能に大きく影響すること、などの知見を得た。この知見に基づき、突然変異戦略、Gbest 成長戦略、多種生成戦略の改善手法を提案して植物進化アルゴリズムの性能向上を図った。

植物進化アルゴリズムは研究代表者らが新規提案した比較的新しい手法のため、世界でもこのアルゴリズムを扱っている研究は研究代表者らのチームだけである。

新ニッチ手法の提案

多峰性タスクの複数局所最適解を探索する新ニッチ手法を提案した。ニッチ手法の一つに、第 1 段階で局所最適解領域 (ニッチ領域) を切り出し、第 2 段階でその領域毎に進化計算を適用して局所最適解を求める方法がある。Nearest-better Clustering (NBC) 法はその代表的なニッチ手法で、2013 年の進化計算国際会議のコンペティションで優勝する程の性能である。しかし、この手法は最適化変数の数 (次元数) が増えると第 1 段階のニッチ領域の切り出しが困難になるという問題を抱えていた。

この問題を解決するために新規提案ニッチ手法を提案した。評価を行った結果、高次元最適化問題で NBC 法よりも高い性能を示すが、反面、低次元最適化問題では NBC 法が勝るといってお互いに補完関係の性能を持つことが明らかになった。つまり、最適化次元数に応じて両者を切り替えることで次元に影響されないニッチ手法になることを示した。

大規模最適化の新アプローチ

例えば 1000 次元のような大規模最適化問題は、探索空間が指数的に拡大しているため力任せの最適化では解探索が困難である。この場合の基本は、変数間依存のある変数を見つけてグループ化し、少ない変数 (低次元化) のグループ毎に最適化を行うことである。極端な例では、1000 次元問題の全変数が独立であれば変数毎の 1 次元最適化を 1000 回行えばよいわけである。

本研究では二つの新アプローチを提案した。独自性 1 では、多少近似誤差を増えようとも、弱い変数間依存は無視して独立変数とすることで探索次元を大きく減らすという考えの基に sparse 近似を行い、より少ない変数 (より低次元) での最適化を行った。独自性 2 では、高次元最適化では球面集中現象によって探索空間の大部分が表面であるとの知見に着目し、その逆を考えて、各変数の探索範囲を極僅かに狭めることで全探索空間が極端に小さくなることを利用した探索戦略を提案した。これら二つの提案を 1000 次元の大規模最適化に適用しその評価を行った。

単純に 1000 次元のような高次元空間を sparse 近似すると項の数が数千万にもなるため計算コストがかかる。この対策として、

- i) 最初にある程度規模の変数グループ化を行い、
 - ii) sparse 近似で各変数グループを依存関係のある更に小変数グループ化を行い、
 - iii) 小変数グループ間の依存関係を計算することで、上記(1)の依存関係を無視した低次元化の補いを行い、
 - iv) 各変数グループの最適化を行って最適解を統合する、
- という計算コスト削減の工夫も行った。

この独自性ある二つの手法は、世界の大規模最適化研究でもユニークな取り組みであり、今後この分野に影響を与えると考えている。

制約付最適化取り組み開始

強い制約条件付最適化では、色々な提案がこれまでにされてきたが、制約条件や探索状況に応じてそれらの探索性能が異なる。そこで、ファジィルールで状況毎の戦略を記述し、動的に制約優先探索から fitness 性能優先探索に最適化戦略を切り替える提案を行い、評価実験を続けている。

まだこのサブテーマは進行中で、まだ対外発表に至っていない。

初期個体生成法

最適化では、大局的最適解が探索空間のどこにあるかわからないため、進化計算の初期個体は、乱数で決めた探索位置から最適化探索を行う。しかし探索空間の次元数に対して相対的に個体数が少ない場合は、生成乱数の偏りのために運良く最適解近傍に初期個体が生成される場合も、運悪くその逆の事態も生じる。

そこで、従来の乱数初期化法、数理的に乱数ではない初期個体生成（等間隔初期化、Chebyshev 初期化、Lévy Flight 初期化）と、新規に開発した加重平均勾配初期化法（決定した初期個体の fitness 値を考慮しながら逐次に初期個体を決定していく手法）の 5 初期個体生成手法で進化計算の探索性能を比較調査し、加重平均勾配初期化法の優位性を明らかにした。このことから、fitness 景観特性と関係なく探索空間情報のみで初期個体を生成する方法よりも、fitness 景観特性に応じて初期個体生成を行う方法が情報量の多さも相まって性能向上につながるという当然の知見が確認された。

(2) 設計者に探索解の妥当性を説明できる知識の獲得

現在の日次収益率と前日の日次収益率から収益率を予測する金融データ予測モデルは、自己回帰移動平均モデルから始まり、移動平均モデルとの組み合わせ、自己回帰分散不均一 (ARCH) モデル、一般化 ARCH (GARCH) モデル等を経て、現在では閾値 GARCH (TGARCH) モデルが広く使われている。予測モデルパラメータを最適化することで予測性能を向上させることはできるが、モデルの数式を見ているだけでは解釈が難しい。

そこで、日次収益率と前日の日次収益率の 2 入力を各々 3 ファジィ分割して 3×3 の IF-THEN ファジィルールで表し、各ルール領域のみを予測対象とする 9 個の TGARCH モデルを考え、全ルール出力を統合して最終予測値とするファジィ TGARCH モデルを提案した。2 入力の日次収益率の組み合わせに応じて 9 通りの予測モデルを切り替える知識組み込み型モデルと言える。設計では、ファジィ分割パラメータと TGARCH モデルパラメータを同時に最適化する。提案のファジィ TGARCH モデルの予測性能は従来の TGARCH モデルの予測性能によりも統計的に有意に上回ることを Mann-Whitney U 検定で確認した。

本手法を、第 2 のタスクの DNA 塩基列を生成する規則獲得に適用した。もし DNA 塩基列の A, C, G, T の並びを回帰的に決定する規則が存在し、かつ L-System で同じ DNA 塩基配列が生成できるのであれば L-System の生成規則が DNA 塩基列を決定する原理である可能性が高くなる。

そこで、基礎実験として、4 記号の並びが 8 文字の場合、512 文字の場合、1024 文字の場合として、これらの文字列を生成する L-System の文字変換ルールを進化計算で最適化した。8 文字と 512 文字のタスクは別の L-System で生成した文字列を使ったので答えが必ずある例であり、これらの記号列を生成する L-System 規則を発見することができた。一方、実際の DNA 配列を使った 1024 文字の場合は、110 文字程度を予測する L-System しか得られなかった。この結果は、実際の DNA 塩基列は L-System のように回帰的に生成されているわけではない、という当然の考えと、計算機パワーの問題で探し出せなかった、という解釈ができる。

数式やニューラルネットの入出力特性を明示的なルール表現であるファジィシステムにコンパイルする手法は昔からあり、手法自体は目新しいものではない。本研究はこの手法の具体的な応用という位置づけである。

(3) 対話型進化計算ユーザの評価特性を説明する知識の獲得

多目的最適化探索に意思決定者の多基準判断を反映させるために、研究代表者らは以前「受容度」概念を提案した。意思決定者の評価特性を受容度として可視化する手法をロケット設計と賃貸住宅検索の 2 タスクに適用して評価を行った。さらには、探索を行う設計変数空間と評価を行う目的空間とを如何に橋渡しするか、という多目的

最適化の長年の課題に対して、一つの可能性を示した。

第1 応用では、5 設計変数と2 目的(ロケット重量と打ち上げ高度) からなるハイブリッドロケットエンジンの多目的最適化設計者 2 名に、設計経験に基づいて各目的に対する受容度を描いてもらい、統合受容度に変換した後に解探索を行った。目的空間上に形成した統合受容度景観から、各探索解の統合受容度がわかるので、設計変数空間上にこれらの探索解の統合受容度を配置することで、目的空間上にも設計変数空間上にも統合受容度景観を生成できることになる。つまり、統合受容度という概念を導入することで意思決定者の知識・経験を反映した両空間の橋渡しツールになり得ることを示した。このように統合受容度は多目的最適化研究のブレークになり得ることを主張した。

第2 応用では、賃貸住宅検索を例に、受容度概念でデータベース検索解に順位を付けて提示できること、その結果、検索ユーザが早く求める解を探し出せることを示した。賃貸物件の場合、賃料、広さ、駅・バス停まで距離等のそれぞれに上限と下限を設定して検索をする。するとその条件に合う物件すべてが順位なしで提示されるため、求める最終解に辿り着くことためには時間を要する。オンラインショッピングでも同様である。ここで各規準(目的) 毎に受容度曲線を描いてもらい統合受容度特性に変換することで、統合受容度に基づいてすべての物件を順位付け、ユーザに提示できることになる。被験者 17 名で3 評価項目について主観評価実験を行い、特に労力軽減効果が著しいこと、ユーザが手作業で付けた順位と本提案手法が自動的に付けた順位には強い相関があることを示し、労力軽減効果の裏付けも得た。

研究代表者らの提案した統合受容度の概念提案とその応用は、研究代表者らのチームが世界に先駆けている。

(4) 対話型進化計算ユーザ自身の評価特性を気づかせる知識の獲得

線画顔画像と3次元CG照明顔画像の二つのタスクで気づき支援効果の確認を行った。

第1 実験の線画顔画像の場合、我々は眉や目や口の傾きで喜怒哀楽の表情が生成されることを知っているが、手動による動的変化を観察することでこのことに気づき易くなるかどうかを被験者21名による5段階評価で確認した。この手法が顔表情の要因気づきに有用と答えた被験者数(5段階の評価点4か5の被験者数)と、有用でないと答えた被験者数(5段階の評価点1か2の被験者数)をWilcoxonの符号順位検定で検定したところ、「喜び」、「怒り」、「悲しみ」の顔表情すべてに対して、手動で圧縮変数を変化させ動的に変化する顔の表情変化を提示する提案手法が気づき支援に有意に効果的であることを明らかにした。

第2 実験は、顔表情を直接構成する顔変数ではない照明変数(3灯の3次元位置座標と明るさ)を用いて第1 実験と同様の実験をした。照明変数は、顔の印象と顔パーツの角度のような一対一関係ではないので、照明変数が3次元CGの印象にどう影響するかを説明することが難しいタスクと言える。実験結果は、上述と同じ条件でWilcoxonの符号順位検定をしたところ、提案手法は有意にこの関係の気づきを助けることを確認した。

Awareness Computing 研究の大多数はデータから知識・規則を取り出して人間に提示する研究であり、データマイニング研究と言って差し支えない。それに対し本研究では、人間とコンピュータが協調し合うことで人間が自分自身で気付かせることを支援する研究であり、これまでにない位置付けのAwareness Computing 研究と言える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 能島 裕介、高木 英行、棟朝 雅晴、濱田 直希、西原 慧、高玉 圭樹、佐藤 寛之、桐淵 大貴、宮川 みなみ	4. 巻 13
2. 論文標題 オープンスペースディスカッション2021実施報告	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 進化計算学会論文誌	6. 最初と最後の頁 1~9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11394/tjpnsec.13.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 YU Jun, LI Yuhao, PEI Yan, and TAKAGI Hideyuki	4. 巻 6
2. 論文標題 Accelerating Evolutionary Computation Using a Convergence Point Estimated by Weighted Moving Vectors	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Complex and Intelligent Systems	6. 最初と最後の頁 55-65
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s40747-019-0111-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Pei Yan, Takagi Hideyuki	4. 巻 -
2. 論文標題 Research progress survey on interactive evolutionary computation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s12652-018-0861-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Yu Jun, Takagi Hideyuki, Tan Ying	4. 巻 7
2. 論文標題 Multi-layer Explosion Based Fireworks Algorithm	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Swarm Intelligence and Evolutionary Computation	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4172/2090-4908.1000173	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Pei Yan, Yu Jun, Takagi Hideyuki	4. 巻 7
2. 論文標題 Search Acceleration of Evolutionary Multi-Objective Optimization Using an Estimated Convergence Point	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Mathematics	6. 最初と最後の頁 129 ~ 129
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/math7020129	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計22件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 22件)

1. 発表者名 Jun Yu and Hideyuki Takagi
2. 発表標題 Multi-species Generation Strategy Based Vegetation Evolution
3. 学会等名 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Makoto Inoue, Hibiki Matsumoto, and Hideyuki Takagi
2. 発表標題 Acceptability of a Decision Maker to Handle Multi-objective Optimization on Design Space
3. 学会等名 Joint 11th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 21st International Symposium on Advanced Intelligent Systems (SCIS&ISIS2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Jun Yu and Hideyuki Takagi
2. 発表標題 Accelerating Fireworks Algorithm with Dynamic Population Size Strategy
3. 学会等名 Joint 11th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 21st International Symposium on Advanced Intelligent Systems (SCIS&ISIS2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 余俊, 高木英行
2. 発表標題 改良型偵察戦略: 花火アルゴリズムへの応用
3. 学会等名 第18回進化計算学会研究会 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Matthias HARVEY, 高木英行
2. 発表標題 進化計算の初期化手法の比較
3. 学会等名 第19回進化計算研究会 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鐘睿, 高木英行
2. 発表標題 大規模最適化問題へのスパースモデリング導入
3. 学会等名 第19回進化計算研究会 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 熊燕然, 高木英行
2. 発表標題 進化計算による知識獲得
3. 学会等名 第19回進化計算研究会 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Jun Yu, Hideyuki Takagi and Ying Tan
2. 発表標題 Fireworks Algorithm for Multimodal Optimization Using a Distance-based Exclusive Strategy
3. 学会等名 2019 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuhao Li, Jun Yu, Hideyuki Takagi and Ying Tan
2. 発表標題 Accelerating Fireworks Algorithm with Weight-based Guiding Sparks
3. 学会等名 10th International Conference on Swarm Intelligence (ICSI2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jun Yu and Hideyuki Takagi
2. 発表標題 Performance Analysis of Vegetation Evolution
3. 学会等名 2019 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jun Yu and Hideyuki Takagi
2. 発表標題 Accelerating Vegetation Evolution with Mutation Strategy and Gbased Growth Strategy
3. 学会等名 2019 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuhao Li, Jun Yu and Hideyuki Takagi
2. 発表標題 Niche Method Complementing the Nearest-better Clustering
3. 学会等名 2019 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 李宇豪, 余俊, 高木英行
2. 発表標題 Nearest-better Clustering法の補完ニッチ手法
3. 学会等名 進化計算シンポジウム2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 余俊, 高木英行
2. 発表標題 花火個体数の適応型花火アルゴリズム
3. 学会等名 進化計算シンポジウム2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 余俊, 高木英行
2. 発表標題 多種生成戦略を導入した植物進化アルゴリズム
3. 学会等名 第17回進化計算学会研究会 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 Jun Yu, Ying Tan, and Hideyuki Takagi
2 . 発表標題 Accelerating the Fireworks Algorithm with an Estimated Convergence Point
3 . 学会等名 9th International Conference on Swarm Intelligence (ICSI2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Jun Yu, Ying Tan, and Hideyuki Takagi
2 . 発表標題 Scouting Strategy for Biasing Fireworks Algorithm Search to Promising Directions
3 . 学会等名 The Genetic and Evolutionary Computation Conference Companion (GECCO2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Jun Yu and Hideyuki Takagi
2 . 発表標題 Vegetation Evolution for Numerical Optimization
3 . 学会等名 JPNSEC International Workshop on Evolutionary Computation (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Jun Yu, Yan Pei and Hideyuki Takagi
2 . 発表標題 Competitive Strategies for Differential Evolution
3 . 学会等名 2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 余俊, 高木英行
2. 発表標題 植物進化アルゴリズムの性能解析
3. 学会等名 進化計算シンポジウム 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 余俊, 高木英行
2. 発表標題 距離ベース排他戦略導入によるニッチ花火アルゴリズム
3. 学会等名 第15回進化計算学会研究会 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hideyuki Takagi, Keisuke Ikeda and Weiqiang Lai
2. 発表標題 Human Awareness Support by Changing Values of Hidden Factors of Input Stimuli Dynamically
3. 学会等名 9th IEEE International Conference on Awareness Science and Technology (iCAST 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Ying Tan and other 32 authors	4. 発行年 2020年
2. 出版社 IGI Global	5. 総ページ数 471
3. 書名 Handbook of Research on Fireworks Algorithms and Swarm Intelligence	

〔産業財産権〕

〔その他〕

本研究でのすべての発表論文は、九州大学リポジトリから公開されている。
https://catalog.lib.kyushu-u.ac.jp/opac_browse/papers/?lang=0

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
研究協力者	余 俊 (Yu JUn)		
研究協力者	裴 岩 (Pei Yan)		
研究協力者	李 宇豪 (Li Yuhao)		
研究協力者	熊 燕然 (Xiong Yanran)		
研究協力者	ハーヴィー マティアス (Harvey Matthias)		

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	鐘 睿 (Zhong Rui)		

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			
中国	北京大学			