

イワイ リョウ

氏名	岩井 亮
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	博第1068号
学位授与の日付	平成29年3月23日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当・課程博士
学位論文題目	Differential Evolutionの性能向上と使用性向上への模索と評価 (A Study of Modification and Evaluation of the Improvement of Performance and Usability for Differential Evolution)

論文審査委員	主査	教授	加藤 昇平
		教授	犬塚 信博
		教授	伊藤 孝行

論文内容の要旨

本研究は、確率的最適化手法の性能向上あるいは実用の易化への貢献を大観的目標として設定している。確率的最適化手法は、目的関数を完全に静的な数式で表現できないような非線形計画問題においても、解の探索を試みることができるため、何らかのシステムを稼働させるパラメータ調整に類する問題に有用であると考えられる。このような確率的最適化手法の中で、Differential Evolution (DE) が手法として単純でありながら強力な手法として注目されている。しかしながら、DEには二つの問題がある。一つは大域的単峰性の乏しい問題に対して探索の停滞を起こしてしまうことであり、もう一つは手法設計者によって設定されるべきパラメータが非寛容なことである。本研究ではまず前者の問題に対し、突然変異個体の多様性をDEの演算そのものを改変せずに増強し、また現在の最悪解を持つ個体から一定数個体においては改悪を受理する改変を施したDifferential Evolution on Scattered Parents (DE-SP) を提案することで解決し得るか確認することとした。実験の結果、大域的単峰性の乏しい空間において、DE-SPの最適解発見率はDEの3倍程度となり、DE-SPの提案は前者の問題の解決であり得ることを確認した。また、四種の実問題を用いて最適化実験を行い、DE-SPは実問題においてもDEや他のDE改良手法よりも良い性能を持つことを確認した。続いて、後者の問題を解決するため、手法設計者がDE-SPのパラメータを少なくとも直接的に指定する必要が無いような改良を施すこととした。本研究にて有効な改良

を模索する過程として、Simple Self-Adaptive Differential Evolution on Scattered Parents (SSDE-SP), Self-Adaptive Differential Evolution on Scattered Parents with Random Jump (SDE-SP-RJ), Self-Adaptive Differential Evolution on Scattered Parents with Dynamic Restart (SDE-SP-DR) の三種の手法を提案したが、この内 SSDE-SP は研究を続ける内に後者の問題を解決する改良としては適切ではないことが判明したため、本稿ではこの問題を指摘し、既に述べられていた SSDE-SP の有効性の考察に関してはこれを撤回している。SDE-SP-RJ は、探索の停滞を一定間隔置きに確認し、停滞が確認される場合に DE-SP 内のパラメータを乱数で決定し、また DE-SP にて改悪を受理するようにされた最悪個体から一定数個体において、改悪を受理するだけでなく目的関数の定義域内を Random Jump するように改良された手法である。手法設計者は SDE-SP-RJ において DE-SP のパラメータを直接設計する必要は無く、探索の停滞を確認する間隔を設定すればよい。そして最適化実験により、この間隔を指定するパラメータは、DE-SP のパラメータよりも寛容であることが確認されたため、SDE-SP-RJ は後者の問題、即ち DE-SP の実用困難性を緩和する手法の一つとして有用であると示唆された。ただし、この問題に対する理想的な解決は、手法設計者によるパラメータ設定を完全に排除し、ただ特定のアルゴリズムを実装するだけで適用が可能であるようにすることである。この点から考えれば、SDE-SP-RJ は問題の緩和には成功したものの、解決には届いていないと捉えられる。そこで、本研究では引き続き試行錯誤を続けることとし、現在手法設計者によるパラメータ設定の工程を完全に排斥した手法である SDE-SP-DR を提案している。この手法は、探索の状態の内、探索が停滞していると捉えることとする状態と、局所解に収束してしまったと捉える状態を量的な調整を不要とした基準で判断し、探索が停滞していると捉えられるならばパラメータを乱数で再設定し、局所解に収束してしまったと捉えられるならば個体群を再初期化する改良を施した手法である。したがって、SDE-SP-DR において手法設計者はパラメータ調整の工程から完全に解放されることとなる。最適化実験により、SDE-SP-DR は、同条件で最良の調整が施された SDE-SP-RJ よりも良い最適化性能を示すことが確認された。SDE-SP-DR は手法設計者によるパラメータ設定は一切不要であることから、SDE-SP-DR は SDE-SP-RJ より使用性においても最適化性能においても良いことが示唆されることとなる。したがって、本稿においての後者の問題に対する最終的な提案手法を SDE-SP-DR とする。また、SDE-SP-DR は類似した理念により設計された他の DE 改良手法と比較しても、同等であるかより良い最適化性能を示すことも確認された。まとめとして、本稿では DE の性能向上手法として DE-SP を提案し、その DE-SP の使用性を向上させた手法として SDE-SP-DR を提案した。即ち、DE-SP と SDE-SP-DR は DE の二つの問題を解決する手法として有効なものであると本研究において示唆された。

論文審査結果の要旨

本研究においては、確率的最適化手法の性能向上あるいは実用の易化への貢献を大観的目標として設定している。確率的最適化手法は、目的関数を完全に静的な数式で表現できないような非線形計画問題においても、解の探索を試みることができるため、何らかのシステムを稼働させるパラメータ調整に類する問題に有用であると考えられる。この目的へと邁進するため、本研究ではDifferential Evolution (DE) に注目し、その性能と使用性の向上を試みている。

第一章では、先ほど述べた研究目的、即ち最適化性能の向上と手法実装者にとっての使用性の向上についてより詳細に触れ、この重要性について解説している。

第二章では、第一歩としてDEの性能を向上させたDifferential Evolution on Scattered Parents (DE-SP) を提案している。この手法は、突然変異個体の多様性をDEの演算そのものを改変せずに増強し、また現在の最悪解を持つ個体から一定数個体においては改悪を受理する改変を施したものである。これにより、DEの問題であった突然変異個体の多様性の乏しさと、局所解から離脱することの困難さを低減している。複数のベンチマーク関数に対して最適化実験を行い、DE-SPは旧来手法DEや他の典型的な最適化手法よりも性能が高いことを確認した。

第三章では、第二章で用いた問題よりもより実問題に近い問題を扱い、DE-SPの性能をさらに評価している。最適化実験の結果、DE-SPは少なくともDEと同等の性能を持ち、複雑度の高い問題においてはDE-SPはDEよりも高い性能を持つことが示唆された。

第四章では、DE-SPの使用性を向上させたSelf-Adaptive Differential Evolution on Scattered Parents with Dynamic Restart (SDE-SP-DR) を提案している。本省においては、まずこの提案に至る過程において提案された、Simple Self-Adaptive Differential Evolution on Scattered ParentsとSelf-Adaptive Differential Evolution on Scattered Parents with Random Jumpの問題点について報告し、使用性向上という部分的目標に対してSDE-SP-DRは一つの妥協なき解決となり得ることを解説する。次にSDE-SP-DRについて述べている。この手法は、探索の状態の内、探索が停滞していると捉えることとする状態と、局所解に収束してしまったりと捉える状態を量的な調整を不要とした基準で判断し、探索が停滞していると捉えられるならばパラメータを乱数で再設定し、局所解に収束してしまったりと捉えられるならば個体群を再初期化する改良を施した手法である。最適化実験を行った結果、SDE-SP-DRはこれまでの過程で提案された手法よりも性能が良いことが確認され、他の目的を同じくする関連手法との比較においても、複雑度の高い問題において性能が高いことが確認された。

第五章では、SDE-SP-DRが本論文の最終的な提案手法であると同時に、この手法が本研究の一つの到達点といえることを述べ、この確率的最適化手法の分野を俯瞰した時にSDE-SP-DRでは未解決となる問題に触れ、今後行われていく研究への展望を述べてまとめとしている。

本論文は、DEの性能を向上させた改良と、それに対してさらに使用性を向上させた改良について提案しており、その有効性を示している。

本研究の成果は、二編の学術雑誌論文および二編の査読付き国際会議論文として発表されており、確率的最適化手法に関わる分野の発展に貢献できることが期待される。以上を総合して十分に審査した結果、本論文は博士(工学)の学位論文として十分な価値があるとの結論に至った。