

氏名(本籍)	Marco Antonio Florenzano Mollinetti		
学位の種類	博士(工学)		
学位記番号	博甲第 9811 号		
学位授与年月日	令和 3 年 3 月 25 日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	システム情報工学研究科		
学位論文題目	Deterministic Procedures for Derivative-Free Algorithms on Multimodal Problems (多峰性問題を解く微分フリーアルゴリズムに対する確定的手続き)		
主査	筑波大学 教授	工学博士	久野 誉人
副査	筑波大学 准教授	博士(理学)	佐野 良夫
副査	筑波大学 教授	工学博士	工藤 博幸
副査	筑波大学 准教授	博士(工学)	秋本 洋平
副査	筑波大学 助教	博士(科学)	Aranha, Claus de Castro
副査	筑波大学 教授	工学博士	吉瀬 章子

論文の要旨

実社会の様々な問題を正確に最適化問題として定式化すると、多くの場合、大域的最適性の保証されない局所最適解が多数存在する非線形最適化問題となる。こうした多峰性最適化問題では、目的関数の勾配が得られたとしても、必ずしもそれが大域的な最適解への道標とはならないうえ、目的関数が微分不可能であることも稀でない、そのため、目的関数の導関数を利用しない微分フリーアルゴリズムを用いて解決の図られることが一般的である。この研究では、非線形多峰性最適化問題を解決するために、人工蜂コロニー法とネルダー-ミード法の2つの微分フリーアルゴリズムに対して確定的な手続きに基づくいくつかの改訂を行っている。

論文ではまず、研究の目的などを述べたのち、メタヒューリスティクスの1つである人工蜂コロニー法と、直接探索法の1つであるネルダー-ミード法の仕組みについて詳しく説明している。

次に、人工蜂コロニー法に対して、収穫蜂と追従蜂のステップに適応決定変数行列(A-DVM)と名付けた新たなメカニズムの導入を提案している。各探索点における更新成分は、カントールの対角線論法に従って確定的に選ばれるが、局所的探索と大域的探索のバランスに配慮し、反復ごとに調整しながら確率的な選択も行われる手続きとなっている。このA-DVMを人工蜂コロニー法に組込んで計算機上に実装し、多峰性関数のベンチマーク問題を用いて通常的人工蜂コロニー法や他のヒューリスティクスと比較する計算実験を行い、A-DVMの有用性を実証している。

続いて、制約付きの非線形最適化問題を解くため、ペナルティ関数を導入して無制約化したのち、ネルダー-ミード法による解決を試みている。このネルダー-ミード法には、大域的最適性のない局所解などへ収束した場合に再スタートさせるため、単体勾配と呼ばれる目的関数の近似勾配を用いた投

票ステップなどの導入による改訂を提案している。A-DVM を組込んだ人工蜂コロニー法にも制約付き問題向けに若干の修正を加え、改訂したネルダー-ミード法とともに計算機上へ実装し、多峰性のある制約付き非線形最適化問題を用いて他のヒューリスティクスとの比較実験を行っている。その結果、改訂したアルゴリズムはいずれも、実験に用いたアルゴリズムの中で上位にランクされるパフォーマンスを示したことを報告している。

最後に、改訂したアルゴリズムは、多峰性最適化問題への適用に限定されるものではなく、様々な非線形最適化問題にカスタマイズすることなく直ちに適用できると述べて締めくくっている。

審 査 の 要 旨

【批評】

線形計画問題を始めとする凸最適化が商用ソルバーによって極めて大規模な問題まで厳密に解決できるようになった現在、最適化分野における最大の課題は非凸最適化問題の効率的な解決にある。しかし、厳密な大域的最適解を現実的な計算時間で求めることは未だ難しく、人工蜂コロニー法を始めとするメタヒューリスティクスや、ネルダー-ミード法などの局所的な直接探索法を用いることが現実的であり、したがってこの研究の方向性は至って妥当なものである。

メタヒューリスティクスに共通する問題点は確率への極度の依存であり、そのために現在の探索点の近傍に大域的最適解が存在していても、それを見落とす危険性を孕んでいる。それを回避する手段として、カントールの対角線論法にヒントを得た A-DVM という網羅的な探索メカニズムを人工蜂コロニー法に導入した点に研究の新規性がある。この A-DVM の有用性は、理論的には証明されていないものの、15 ものアルゴリズムを実装して行われた比較実験によって実証している。

ネルダー-ミード法の改訂は、取り立てて新しいメカニズムが作り出されているわけではなく、別のアルゴリズムなどに使われている既存の概念や手続きを移植したものとなっている。しかし、アルゴリズムの収束後に初期単体を移動させて再スタートさせるなど、問題の多峰性を十分に意識した改訂となっている。また、再スタートの際には、単体勾配を用いた投票ステップによって初期単体を定めるなど、ネルダー-ミード法のメタヒューリスティック化とも言える工夫が加えられている。

提案されている手続きは、いずれも実験的にしか有用性が明らかにされていないが、その網羅性から大域的最適解の生成を保証する理論的な証明が今後の研究課題と言える。

【最終試験の結果】

令和3年2月10日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。