

学 位 論 文 要 旨

(Summary of the Doctoral Dissertation)

学位論文題目

(Dissertation Title)

Optimization by Metaheuristic Methods: Spy Algorithm and B-VNS
(メタヒューリスティック手法による最適化 : Spy アルゴリズムと B-VNS)

氏 名 (Name)

DHIDHI PAMBUDI

The role of optimization can be found in almost all aspects of human life. Optimization is common in but not limited to the fields of engineering, economics, design, and planning. Although the optimization problems to be solved change, the optimization goal never changes. That is to find effective solutions efficiently. In modern optimization studies, the metaheuristic algorithm has been one of the most interesting methods, considering the demands of a reasonable computational time.

Many metaheuristic algorithms have been introduced. However, based on the number of tentative solutions used in the search process, metaheuristic algorithms can be categorized into (1) population-based or (2) single-trajectory-based algorithms. The searching with single-trajectory-based metaheuristic algorithms manipulates and modifies a single solution point in every iteration. In contrast, the population-based metaheuristic algorithms combine a set of solution points to create new solutions in every iteration.

A metaheuristic algorithm usually consists of two components, i.e., exploration and exploitation. Exploration means searching for solutions in the global space. In contrast, exploitation means searching for a solution by focusing on a small area or an area near an already known solution. The single-trajectory-based metaheuristic algorithm is exploitation-oriented. On the other side, the population-based metaheuristic algorithm is exploration-oriented because of searching by many points distributed on all search spaces. Balance settings between exploration and exploitation are needed to produce good solutions. In fact, most population-based algorithms will encounter decreasing in exploration and become too exploitation-oriented as the iteration increase. Any metaheuristic algorithm applies parameters to control the behavior. However, the parameters usually do not provide a good intuition of the rate of exploration and exploitation. Hence, reaching a balance between them is hard to predict just by the algorithm parameters.

This dissertation proposes a conceptual design combining the spy algorithm and B-VNS. The spy algorithm is a population-based metaheuristic algorithm that mimics the strategy of a group of spies, the spy ring. The spy algorithm is a new concept with the main idea to ensure the benefit of exploration and exploitation, and cooperative and non-cooperative searches always exist. This goal is implemented by utilizing three kinds of dedicated search operators and regulating them in a fixed portion. The occurrences of exploration and exploitation are controlled by algorithm parameters. Thus, the spy algorithm parameters provide good before-running intuition to easier reach the balance between exploration and exploitation. The spy algorithm is first designed to be used in the continuous optimization model.

The spy algorithm was compared to the genetic algorithm, improved harmony search, and particle swarm optimization on a set of non-convex functions by aiming at accuracy, the ability to detect

many global optimum points, and computation time. The Kruskal-Wallis tests, followed by Games-Howell post hoc comparison tests, were conducted using $\alpha=0.05$ for the comparison. The statistical analysis results show that the spy algorithm outperformed the other algorithms by providing the best accuracy and detecting more global optimum points within less computation time. Furthermore, those results indicate that the spy algorithm is more robust and faster than other algorithms tested.

On the other hand, the B-VNS algorithm is a modification of the variable neighborhood search (VNS) algorithm. The benefit of VNS comes from its thorough search while avoiding the local optimum trap by moving to the neighboring point called shaking. The local search after shaking is another benefit of VNS that makes VNS a prominent algorithm. However, the thorough search has the drawback of long computation time. This dissertation introduces a modified neighborhood structure to reduce the computation times. The main idea is to apply the binomial distribution to create the neighboring point. As a result, the neighborhood distance has a random pattern. However, it follows a binomial distribution instead of a strictly monotonic increase like in VNS. The B-VNS is a modification of VNS and is classified as a single solution-based algorithm. The B-VNS is intended to solve combinatorial optimization problems, particularly the quadratic unconstrained binary optimization (QUBO) problems categorized as NP-hard problems.

The B-VNS and VNS algorithms were tested on standard QUBO problems from Glover and Beasley, on standard max-cut problems from Helmberg-Rendl, and those proposed by Burer, Monteiro, and Zhang. Finally, Mann-Whitney tests were conducted using $\alpha=0.05$ to compare the performance of the two algorithms statistically. It was shown that the B-VNS and VNS algorithms are able to provide good solutions, but the B-VNS algorithm runs substantially faster. Furthermore, the B-VNS algorithm performed better in all of the max-cut problems regardless of problem size and in QUBO problems with sizes less than 500.

The spy algorithms and B-VNS have different designs in the process and the domain of the solved problems. However, considering the benefit of the spy algorithm and B-VNS, their combination has the potential to provide good results. Conceptually, the spy algorithm can be seen as the first step of B-VNS. Conversely, B-VNS can be considered an additional refinement for the spy algorithm.

学位論文審査の結果及び最終試験の結果報告書

山口大学大学院創成科学研究科

氏 名	Dhidhi Pambudi
審査委員	主 査: 川村 正樹
	副 査: 西井 淳
	副 査: 末竹 規哲
	副 査: 浦上 直人
	副 査: 韓 先花
論文題目	Optimization by Metaheuristic Methods: Spy Algorithm and B-VNS (メタヒューリスティック手法による最適化: Spy アルゴリズムと B-VNS)
<p>【論文審査の結果及び最終試験の結果】</p> <p>最適化はあらゆる分野で見られる問題であり、効率よく解を求めることが必要である。少ないリソースで、合理的な時間内に解を求めるには、メタヒューリスティクスの方法が有望である。メタヒューリスティクスには、2つのアプローチがある。(1)集団ベースの方法は、複数の解候補から新しい解を求める方法である。(2)単体ベースの方法は、1つの解をより良くする方法である。また、メタヒューリスティクスには2つの概念がある。探索 (exploration)と開拓 (exploitation)である。探索とは、解空間を広く探すことであり、集団ベースの方法で用いられる。開拓とは、既知の解の周辺を重点的に調べることを指す。単体ベースの方法は開拓指向である。</p> <p>本論文では、スパイアルゴリズムと B-VNS(可変近傍探索)の新しい2つのアルゴリズムを提案した。スパイアルゴリズムは、協調的と非協調的探索と同様に、探索と開拓の良いところを持ち合わせた集団ベースの手法である。具体的には、解探索するエージェントを3種類に分け、それぞれ異なる解の探索法を行うことである。最も目的関数の値が小さい(良い)エージェントは、その解の近傍のみを探索する。次に良いエージェントは、探索領域内の他のエージェントに向かって移動する。最も悪いエージェントはランダムに探索を行う。このように分割することで、解空間を効率よく探索し、高速化を図ることができる。本手法の有効性を検証するために、ベンチマークとして使われる非凸関数の最適化問題に対して、既存の最適化手法(GA, IHS, PSO)と性能を比較した。その結果、スパイアルゴリズムが最も効率よく、高速に解を得ることができることが示された。これより、有用性があると言える。</p> <p>次に、最も良いエージェントの探索で用いる近傍探索のアルゴリズムの改良を行った。従来の近傍探索では、VNS(可変近傍探索)がよく用いられている。これは現在の解から徐々に探索範囲を広げていく探索方法である。そのため、探索半径を大きくすると、探索範囲がべき乗に比例して大きくなってしまい、十分に探索できなくなる。本論文では、単体ベースの B-VNS 法を提案している。従来の VNS を改良し、二項分布に従う近傍構造を持った探索手法である。二項分布に従って、一定距離の範囲を集中的に探索することによって、解探索の速さを上げている。本手法の有効性を検証するため、二次の制</p>	

(様式 9 号)

ができた。また、簡単なアルゴリズムであり、実用性が高いと言える。さらに、B-VNS をスパイアルゴリズムに組み合わせたアルゴリズムも可能である。このように、最適化問題に対して、有効性および実用性の高い新規のアルゴリズムを提案できている。

公聴会には 20 名以上の聴講者が参加した。最適化問題を聴衆にも分かりやすく説明できていた。質疑応答では 遺伝的アルゴリズムとの類似性や本手法の適用範囲、アルゴリズムをどのように考案したかなどの質問があったが、いずれの質問に対しても十分な回答が発表者からなされた。

以上より、本研究は独創性、信頼性、有効性、実用性ともに優れ、博士(学術)の論文に十分値するものと判断した。

論文内容及び審査会、公聴会における質問に対する応答などから、最終試験は合格とした。

なお、主要な関連論文の発表状況は下記のとおりである。(関連論文 計 2 編)

査読付き論文 2 件

[1] Dhidhi Pambudi, Masaki Kawamura, "Novel Metaheuristic: Spy Algorithm," IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.E105-D, No.2, pp.309-319 (2022)

[2] Dhidhi Pambudi, Masaki Kawamura, "Constructing the Neighborhood Structure of VNS Based on Binomial Distribution for Solving QUBO Problems," Algorithms, Vol.15, No.6, 192 (2022)

口頭発表 3 件

[1] Dhidhi Pambudi, Masaki Kawamura, "A New Spy-Inspired Metaheuristic Algorithm," 電子情報通信学会総合大会, D-21-4 (2020)

[2] Dhidhi Pambudi, Masaki Kawamura, "Spy Algorithm for Solving Continuous Optimization Problem," 電子情報通信学会 技術報告, 非線形問題研究会(NLP)研究会, Vol.120, No.26, pp.23-28 (2020)

[3] Dhidhi Pambudi, Masaki Kawamura, "Modified VNS for Solving QUBO Problem," 電子情報通信学会 総合大会, D-1-10 (2022)