◆目的

本稿は、小嶋君の原稿構想をサポートする目的で執筆したものである。

◆スケジュール

8月31日～9月3日：発表

6月15日：原稿投稿締切

6月5日：実験結果まとめ・構想まとめ

◆タイトル

有制約最適化のためのMOEA/Dに基づく制約対処法の検討

◆構成案

1章　はじめに

2章　有制約最適化

　2.1節　有制約最適化問題の定式化

　2.2節　制約対処法

3章　問題分割に基づく制約対処法の解析

　3.1節　MOEA/Dに基づく制約対処法

　3.2節　有制約最適化のためのMOEA/Dの課題

4章　有制約最適化のための正規化法

　4.1節　正規化法の先行研究

　4.2節　有制約最適化のための正規化法

5章　数値実験検証

6章　おわりに

◆構想案

●1章　はじめに

・多目的最適化のための問題分割は、異なる重みベクトルとスカラ化関数によって、複数のサブ単一目的問題に分割して解く方法で、MOEA/D[1]が代表的である。

・問題分割ベースのCHTは、問題分割を有制約最適化へ拡張し、実行可能な大域的最適解を探索する。

・Wangら[2]や安田ら[3]は、MOEA/Dを有制約最適化に拡張した方法を提案している。

・しかしながら、多目的最適化のためのMOEA/Dは、各軸のスケールや難易度が異なる場合、パレートフロンティアを一様に近似できず、探索性能が劣化することが知られている[4]。

・本稿では、MOEA/Dを用いた問題分割ベースのCHTの課題について数値実験を通じて明らかにし、より有用性の高い方法の検討を行う。

●2.1節　有制約最適化問題の定式化

・有制約最適化問題を記述し、notationを示す。

●2.2節　制約対処法

・CHTのアプローチは、ペナルティ、分離、多目的の3種類に大別できる。

・多目的最適化アプローチは、最も制約違反解の活用度合いが高いため、有制約最適化に最も期待できる。

・さらに、多目的最適化アプローチは、パレートランキングと問題分割の方法に分類される。

・パレートランキングベースのCHTは、(f,v)空間上の優越関係や混雑距離に基づくランクで適合度を与える方法で、IDEA[4]が代表的である。

・単にパレートランキングだけを利用する場合、弱パレート解である実行可能解は探索過程で淘汰されやすいため、パレートランキングベースのCHTでは、実行可能解を一定数保持する工夫がなされている。

・一方、問題分割ベースのCHTは、DeCODE[2]やAdaptive Weighted MOEA/D[3]がある。

・単に問題分割を利用する場合、パレートフロンティア全体を広く一様に近似するが、問題分割ベースのCHTでは、唯一の実行可能な大域的最適解を獲得するために、探索過程で重みを調整する工夫がなされている。

・パレートランキングベースのCHTは(f,v)空間の軸のスケールやパレートフロンティアの形状の影響を受けない点が長所だが、実行可能領域領域が広い場合、パレートフロンティア全体も広くなり、実行可能解の獲得が難しくなる。

・一方、問題分割ベースのCHTは、(f,v)空間の軸のスケールやパレートフロンティアの形状の影響を受けるものの、基本的に重みとパレート解の対応が多少崩れても、実行可能解の獲得能力を発揮する点で、パレートランキングベースのCHTよりも有利だと考えられる。

・実際に、安田ら[3]は、パレートランキングベースのCHTであるIDEAよりも、問題分割ベースのCHTであるAdaptive Weighted MOEA/Dのほうが優れていることを数値実験的に示している。

●3.1節　MOEA/Dに基づく制約対処法

・MOEA/Dを有制約最適化に拡張した場合の数式を説明する。（とりあえず重み固定のまま）

●3.2節　有制約最適化のためのMOEA/Dの課題

・MOEA/Dの課題として、(1)目的関数空間の各軸のスケールが異なる場合、あるいは(2)スカラ化関数とパレートフロンティアの形状が合致しない場合、重みとパレート解の対応関係が崩れ、パレートフロンティアを一様に近似できないため、解の収束性が落ちることが指摘されている。

・例えば、原著論文[1]では、MOEA/Dのスケール性への対応性の課題が指摘されている。

・また、Ishibuchi[5]らは、MOEA/Dのスケール性の影響を数値実験的に検証している。

・しかしながら、これらの先行研究では、多目的最適化におけるスケール差が大きい場合の影響を指摘することに留まっており、有制約最適化へ応用した場合の影響は不明である。

・そこで、本稿では、MOEA/Dの一つ目の課題であるスケール差が大きいとき、有制約最適化における影響を明らかにする。

・スケール差が無い場合とスケール差が大きい場合で適用し、探索効率や探索の挙動を考察する。

・スケール差が大きいことが有制約最適化においても多大な影響を与えることを確認し、正規化法によってこの影響を緩和することが必要であることを述べる。

●4.1節　正規化法の先行研究

・MOEA/Dに関する正規化法の先行研究について述べる。

・原著論文[1]では、簡潔な正規化法を示している。

・また、Heら[6]は、正規化法の先行研究について体系的に整理し、それらの影響を数値実験的に検証し、正規化法の影響が大きいことを指摘している。

・しかしながら、これらの先行研究は、多目的最適化における正規化法の影響に関する考察や数値実験検証に留まっている。

・さらに、Wangら[2]は、MOEA/Dを有制約最適化に応用した方法を提案しており、簡潔な正規化法を使用しているが、有制約最適化における正規化の影響については詳細に述べられていない。

・一方、本稿は、有制約最適化における正規化法の影響について明らかにする点で、先行研究と異なる。

●4.2節　有制約最適化のための正規化法

・目的関数値と制約違反量のWeighted Sumのスカラ化関数は式(1)で表される。

・正規化は、スカラ化関数におけるとを下記のとで置換することである。

ただし、とは正規化の基準点であり、多目的最適化では理想点（ideal point）・最悪点（nadir point）に対応している。

・しかしながら、実問題では真の基準点を入手することは困難であるため、探索過程で基準点を逐次的に求め、使用する必要がある。

・図1は、先行研究の、正規化における基準点の設定方法を示している[6]。

・方法1　理想点：最小点 in 探索履歴

最悪点：最大点 in 現在の探索点群

・方法2　理想点：最小点 in 現在の探索点群

最悪点：最大点in 現在の探索点群

・方法3　理想点：最小点 in 探索履歴

最悪点：最大点 in 現在の探索点群の非優越解

・方法4　理想点：最小点 in 現在の探索点群

最悪点：最大点 in 現在の探索点群の非優越解

・Heら[6]は、これらの基準点を利用した正規化方法を多目的最適化問題に適用・比較し、方法3が平均的に優れていることを確認した。



図1：正規化における基準点の設定方法[6]

◆参考文献

[1] Q. Zhang, H. Li: “MOEA/D: A Multiobjective Evolutionary Algorithm Based on Decomposition,” IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol. 11, No. 6, pp. 712-731 (2007)

[2] B. Wang, H. Li, Q. Zhang, Y. Wang: “Decomposition-Based Multiobjective Optimization for Constrained Evolutionary Optimization,” IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, Vol. 51, No. 1, pp. 574-587 (2021)

[3]安田・熊谷・田村・安田：「MOEA/Dの有制約最適化への拡張と適応的重み調整に関する基礎検討」、電気学会論文誌C、Vol. 142、No. 1、pp.108-109（2022）

[4] T. Ray, H.K. Singh, A. A. Isaacs, W. Smith: “Infeasibility Driven Evolutionary Algorithm for Constrained Optimization,” Constraint-Handling in Evolutionary Optimization, pp. 145-165 (2009)

[5] H. Ishibuchi, K. Doi, Y. Nojima: “On the Effect of Normalization in MOEA/D for Multi-Objective and Many-Objective Optimization,” Complex & Intelligence Systems, Vol. 3, No. 4, pp. 279-294 (2017)

[6] L. He, Y. Nan, K. Shang, H. Ishibuchi: “A Study of the Naive Objective Space Normalization Method in MOEA/D,” Proceedings of the IEEE Symposium Series on Computational Intelligence, pp. 1834-1840 (2019)