



単目的問題への分割に基づく多目的分枝限定法の提案とその応用

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2025-06-11 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 下保, 知輝 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.15118/0002000336

氏 名 下保 知輝

学位論文題目 単目的問題への分割に基づく多目的分枝限定法の提案とその応用

論文審査委員 主査 教授 渡邊 真也

教授 岡田 吉史

教授 工藤 康生

論文内容の要旨

現代社会において、多目的最適化はコスト・品質や効率・環境負荷など、複数の競合する評価基準のバランスを取る上で不可欠な手法となっている。特に、意思決定に整数制約が含まれる多目的混合整数線形計画問題（MOMILP）は、幅広い領域で応用可能である一方、解探索空間が膨大であるため、効率的かつ厳密な解法の開発が重要な課題である。

従来の進化計算手法は多目的問題に対して計算効率が高いものの、厳密解を保証できないという欠点がある。一方、多目的分枝限定法は厳密解を求められるが、計算コストが大きくなり、実問題への適用が容易ではなかった。

本論文では、これらの課題を克服するために、分解ベースのアプローチと多目的分枝限定法を統合した新しい厳密解法「Multi-Objective Branch-and-Bound based on Decomposition (MOBB/D)」を提案する。本手法では、MOMILP を複数の単目的部分問題に分割し、重みベクトルに基づく単目的最適化を繰り返すことでパレート最適解集合を構築する。特に、シンプレックス表や切除平面などの探索情報を部分問題間で再利用する戦略を導入し、計算コストを削減しながら高品質なパレートフロントの厳密解を得ることを実現した。

提案手法の有効性を検証するため、数値実験では既存の多目的分枝限定法との比較を行い、計算効率と解の質の両面で優位性を示した。さらに、室蘭市のごみ収集問題を対象とした実問題への適用例においても、従来手法と比較して走行距離と住民負担のトレードオフを高い精度で探索できることを確認した。これは、行政や住民など複数の利害関係者が協議の上で政策立案を行う場面にも有用であり、EBPM (Evidence-Based Policy Making) の観点からも大きな意義を持つ。また、本研究で開発したフレームワークは、重みベクトルの動的な設計や探索空間の部分的再定式化など、さらなる機能拡張によって汎用性を高められる可能性がある。これにより、より複雑な制約や大規模な実用問題にも対応でき、多目的最適化の現場への普及を促進することが期待される。

以上の成果により、MOBB/D は厳密解法としての妥当性と、多目的最適化に求められる実用的な計算効率を両立する新たな手法として位置づけられる。将来的には、探索情報の取捨選択や列生成法などのさらなる活用、ならびに非線形計画問題への拡張など、多面的な発展が期待される。本研究の知見は、多目的最適化分野全般において、新たな方向性を示すとともに、実問題に対する高度な意思決定支援の可能性を大きく広げるものである。

ABSTRACT

In modern society, multi-objective optimization plays an indispensable role in balancing multiple competing objectives, such as cost, quality, efficiency, and environmental impact. Among these problems, multi-objective mixed-integer linear programming (MOMILP) is particularly relevant due to its applicability across various domains, although it poses formidable computational challenges. Evolutionary computation methods, while effective in handling large-scale and high-dimensional problems, cannot guarantee exact solutions. Conversely, multi-objective branch-and-bound methods can offer exact Pareto-optimal solutions but often suffer from high computational cost, making them difficult to apply to real-world problems.

In this dissertation, we propose a novel approach called Multi-Objective Branch-and-Bound based on Decomposition (MOBB/D), which integrates a decomposition-based strategy with multi-objective branch-and-bound. Specifically, we decompose an MOMILP into multiple single-objective subproblems, each parameterized by a weight vector. By repeatedly solving these subproblems with exact optimization techniques, we collectively construct the Pareto-optimal solution set. Furthermore, we introduce a key innovation of reusing exploration information, such as simplex tables and cutting planes, across the subproblems to significantly reduce overall computational effort without compromising precision.

To validate the effectiveness of MOBB/D, we conducted a series of numerical experiments that compared it with existing multi-objective branch-and-bound methods. Our results demonstrate that MOBB/D not only achieves higher computational efficiency but also ensures the quality of its solutions. Additionally, we applied the proposed framework to a real-world case study involving waste collection in the city of Muroran, where we aimed to balance operational efficiency (e.g., total vehicle distance) and resident burden (e.g., walking distance to collection points). In this practical setting, MOBB/D successfully identified high-quality Pareto-optimal solutions, outperforming conventional methods while remaining feasible for policymakers. This highlights its potential for supporting evidence-based policy making (EBPM), where multiple stakeholders need to collaboratively explore trade-offs.

In conclusion, MOBB/D offers a new path toward reconciling the computational costs and precision requirements inherent in MOMILP problems, representing a substantial advancement in multi-objective optimization methodology. Future work includes incorporating additional enhancements such as selective pruning of

exploration data, column generation techniques, and extending the scope to non-linear or more complex problems. Through these developments, MOBB/D can be expected to further broaden its applicability, thereby contributing to more sophisticated decision-making processes in both academic and practical realms. It stands to serve as a valuable tool in a wide range of applications, from urban planning and supply chain management to healthcare and environmental policy. MOBB/D underscores the potential for innovative, decomposition-based exact methods to reshape the landscape of multi-objective optimization.

論文審査結果の要旨

現代社会において、多目的最適化はコスト・品質や効率・環境負荷など、複数の競合する評価基準のバランスを取る上で不可欠な手法となっている。特に、意思決定に整数制約が含まれる多目的混合整数線形計画問題（MOMILP）は、幅広い領域で応用可能である一方、解探索空間が膨大であるため、効率的かつ厳密な解法の開発が重要な課題である。従来の進化計算手法は多目的問題に対して計算効率が高いものの、厳密解を保証できないという欠点がある。一方、多目的分枝限定法は厳密解を求められるが、計算コストが大きく、実問題への適用が容易ではなかった。

提出論文では、これらの課題を克服するために、分解ベースのアプローチと多目的分枝限定法を統合した新しい厳密解法「Multi-Objective Branch-and-Bound based on Decomposition (MOBB/D)」を提案している。本手法は、MOMILPを複数の単目的部分問題に分割し、重みベクトルに基づく単目的最適化を繰り返すことでパレート最適解集合の探索を実現している。特に、シンプレックス表や切除平面などの探索情報を部分問題間で再利用する戦略を導入することで、計算コストを削減しながら高品質なパレートフロントの厳密解を得ることを実現している。

提案手法の有効性検証のため、既存の多目的分枝限定法との比較実験が行われ、計算効率と解の質の両面での優位性が示されている。さらに、室蘭市のごみ収集問題を対象とした実問題への適用例においても、従来手法と比較して走行距離と住民負担のトレードオフを高い精度で探索できることが確認されている。これは、行政や住民など複数の利害関係者が協議の上で政策立案を行う場面にも有用であり、EBPM (Evidence-Based Policy Making) の観点からも大きな意義を持つ。また、本研究で開発したフレームワークは、重みベクトルの動的な設計や探索空間の部分的再定式化など、さらなる機能拡張によって汎用性を高められる可能性があり、より複雑な制約や大規模な実用問題にも対応でき、多目的最適化の現場への普及を促進することが期待される。

以上のように、提出論文は新規性、有用性ともに評価することができ、また、提出論文の応用事例である室蘭市のごみ収集に関する内容が査読付き論文に採録さ

れていることから，その信頼性も保証されている．よって，本論文は博士（工学）の学位を授与される資格があると認められる．