

平成 30 年 6 月 15 日現在

機関番号：32601

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2016～2017

課題番号：16H07159

研究課題名(和文)変動性を有するネットワークの多目的最適化手法の研究

研究課題名(英文)Multi-objective optimization for network with variability

研究代表者

高橋 奈津美 (Takahashi, Natsumi)

青山学院大学・理工学部・助教

研究者番号：60780319

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,600,000円

研究成果の概要(和文)：コンポーネントに複数の評価指標を付与したネットワークを多目的ネットワークと呼ぶ。本研究では、コンポーネントの目的関数値及び目的関数の数、ネットワークの規模が変化するネットワークの多目的最適化問題に対して適用可能である、パレート最適解の効率的な探索手法を示した。成果として、信頼度を考慮した多目的ネットワーク設計問題における最適解探索手法、多目的ネットワークの経路探索問題における最適解探索手法の提案を行った。

研究成果の概要(英文)：Multi-objective network means components is given multiple criteria. In this study, we consider verifying values of objectives, the number of objectives and network structures. This study considered efficient algorithms for Pareto solutions, which was able to apply to such networks. As a result, the following two multi-objective optimization problems were considered. 1) We proposed search space reduction algorithms for Multi-objective network with reliability. 2) Based on this result, standard paths were proposed for optimal path problem. These paths restricted path search in multi-objective networks.

研究分野：組合せ最適化

キーワード：多目的ネットワーク パレート最適 信頼度

1. 研究開始当初の背景

最適な通信ルーティング探索システムや生産・物流管理計画システムといった、我々の生活基盤や社会基盤を支えるシステムは年々大規模化し、また利用者の価値観の多様化により複数の情報が付加され複雑化が進んでいる。これらのシステムの多くはネットワーク構造を有している。本研究では、ノードとエッジから構成されるグラフとして表現され、多様な価値観に対応した複数の評価指標を付加したネットワークを多目的ネットワークと呼ぶ。

一般的に、これらの評価指標を利用する意思決定者にとって、特定の評価指標による単一解より、同時に複数の評価指標を考慮した案を提示することが重要となる。例えば交通網における経路選択では、出発地から到着地までの移動時間の最小化とCO₂排出量のように社会的要求のある指標の最小化を目的とするなど、複数の評価指標に注目した案の提示が有効な場合がある。このような問題は、複数の目的関数を持つ多目的最適化問題として定式化される。

本研究課題では、この問題をより現実的なネットワーク設計・運用に適用するために、時間による変動性を有するネットワークに適用可能な最適解探索方法を検討する。近年のネットワークシステムでは、社会情勢に対応して、エッジ・ノードに付与されるコスト（流量など）やシステムを構成するノード・エッジが増減することが考えられる。しかし、時間による変動性を考慮しないネットワーク（以降“静的ネットワーク”と呼ぶ）を対象とする従来研究では、これらの状況は考えられていない。また、多目的最適化問題において探索される最適解は、一般的にパレート最適解となるが、パレート最適解の探索は、ノード数や目的関数の数の増加に伴い計算量が増大することが知られており、静的ネットワークにおいても計算が困難なものであった。そのため、ネットワークの各エッジ・ノードに付加する目的関数値に変動性を考慮した研究は非常に少ない。よって計算量の急増が予想されるため、計算の効率化を図る新たな手法が必要である。変動性を有するネットワークとしては、1) ネットワークの各ノード・エッジが持つ目的関数値が変化する場合、2) ノード・エッジ数が変わりネットワークの規模が変化する場合、3) そして1)と2)が同時に起こる場合の3通りが考えられる。例えば3)の場合は、無線通信ネットワークにおいて、ある通信中継ノードが追加された場合に、追加ノード周辺の通信経路の負荷が軽減される場合などが相当する。本研究課題では、これら3通りの変動性を考慮するネットワークを“動的ネットワーク”と呼ぶ。

これまで先行研究として、多目的ネットワークのパレート最適解探索問題に注目し、a) 全ノードを連結する信頼度とコストを同時に考慮したネットワーク設計問題に対し、パレ

ート最適解候補となるネットワークの解探索領域を制限する方法を提案した。また、b) 2点間を連結する多目的ネットワークの最適経路探索問題に対し、経路の探索空間を削減する方法を検討してきた。本研究課題では、各ノード・エッジに与えられる目的関数値が変化する場合、及び、ノード・エッジ数が変わりネットワークの規模が変化する場合について検討する。これらの変化の影響を受けるのは特定の領域であり、変化の前後で共通する部分ネットワークが存在すると考えられる。この類似性より、先行研究で得た知見を、変動性に対応可能なネットワークのパレート最適解探索手法へ展開することが可能であると考えた。

2. 研究の目的

上記の背景の下で、パレート最適解の探索の効率化を図るため、1) 部分ネットワークと全体ネットワークの最適解の分布の特性や、ネットワークの連結構造を精査する。この結果を拡張することで、2) コンポーネントの目的関数値や目的関数の数、ネットワークの規模が変化する場合の多目的最適化問題における、効率的な解探索手法の提案を行う。そして、変動性を有する動的な多目的ネットワークに対し、総合的な最適解探索法の提案の一助となる手法を確立することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究課題では、まず、(1) 変動性を考慮しない静的ネットワークにおいて再検証を行う。ネットワーク構成と評価指標の変化がパレート最適解の分布にもたらす影響を分析し、ネットワーク間の連結関係と評価指標の関係について明らかにする。これらに基づき、(2) ネットワークの目的関数値や目的関数の数の変化、ネットワークの規模の変化に対して柔軟に対応可能な解法を提案する。また、多点間の連結を考慮するネットワークについて、有効な探索方法を検討する。

4. 研究成果

(1) 国内外の文献調査

研究遂行の準備として、1) パレート最適解の分布特性を考慮した有効な探索空間削減方法と、2) 部分ネットワークと全体ネットワークの連結関係を調査し、パレート最適解の探索方法の効率化について検討する。また、3) 動的なネットワークの評価方法や、4) 多点間（2点間・ k 点間・全点間）のネットワークの評価方法について調査し、変動性を有するネットワークの最適解探索手法を提案するための準備を行った。

(2) パレート最適解の分布特性の分析

信頼度及び経路の問題において、ノード・エッジに与える目的関数値やネットワークの

規模、構成要素が異なるネットワークに対して実験を行い、目的関数値に応じたパレート最適解の分布範囲やパレート最適解の特性について分析した。そして、ネットワーク規模や目的関数値が変化した場合にも適用可能なパレート最適解の存在範囲の制限や、パレート最適解を構成しうる要素や部分ネットワークについて考察した。

(3) ネットワークトポロジーと評価指標の関係性の再考察

特に信頼度を考慮する場合、ネットワーク全体の評価値は、コンポーネントの信頼度の他に、その配置にも影響されることが知られている。従って、信頼度が最大となりうるネットワークの分類基準について考察し、一定のエッジ数にて信頼度が最大となるネットワーク構成を導出した。ここから、信頼度が最大となるネットワークが満たす条件について検討した。

これらの成果に基づき、以下の問題に対する解法を提案した。

(4) 信頼度を考慮した多目的ネットワークの最適解探索方法の提案

ネットワークのエッジに信頼度が与えられている場合に、ネットワークの全点間信頼度を評価する問題を取り上げた。また、別の評価指標としてコストも考慮し、全点間信頼度とコストを考慮したパレート最適解探索問題と全点間信頼度制約付きコスト最小化問題の2つの問題を検討した。

① パレート最適解探索問題における解法の提案

パレート最適解探索問題では、従来研究において、非連結でない全部分ネットワークに対して全点間信頼度及びコストの計算を行っているという問題点があった。そこで、本研究では、ネットワークを構成するエッジ数で問題を分割し、研究成果(2)より各部分問題におけるパレート最適解の分布や部分問題のパレート最適解間の関係、パレート最適解となる部分ネットワークが持つ要素を導出した。その結果、ネットワークを構成するエッジの選択指標や、パレート最適解となるネットワークの部分ネットワークの存在領域を特定し、構成・計算対象となるネットワークの数を制限したパレート最適解探索法を提案した。

図1に、パレート最適解の候補とする部分ネットワークに関して、異なる存在範囲を実装した解法の比較結果を示す。ARはパレート最適解のランクの概念を用いた解法であり、ASは、パレート最適解の目的関数値の変化率を用いた解法である。数値実験の結果、目的関数値の変化率でパレート最適解の候補を制限した解法が、近似解集合ではあるがパレート最適解の探索をより正確に、効率的に行なえることがわかった(雑誌論文:①, 学会発表:⑥)。

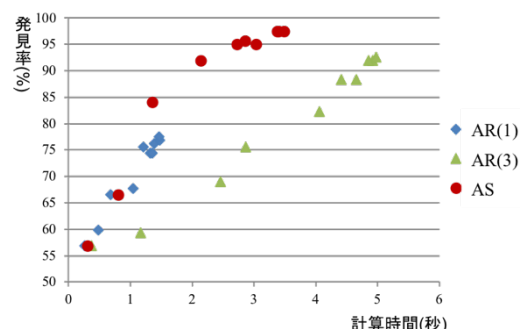


図1 発見率と計算時間の比較

② 信頼度制約付きコスト最小化問題への適用

信頼度制約付きコスト最小化問題においては、従来研究では、ネットワークのエッジ数で問題を分割し、各部分問題において全点間信頼度最大化問題を考え、分枝限定にて最適解の探索を行っている。

この過程において、同一エッジ本数のネットワークにおいて、タイトな信頼度の上界が判明していれば、効率的に分枝限定を適用することが可能となる。そこで、エッジ本数固定のもとでネットワークを分類し、各グループに属するネットワークの全点間信頼度を比較し信頼度最大ネットワーク構成の特徴について考察を行った。そして、研究成果(3)より信頼度最大ネットワークの構成に必要な条件を示し、よりエッジ数の多いネットワークに対して信頼度最大となる構成の導出を図った(学会発表:⑦)。

(5) 多目的経路問題に対する最適解探索法の提案

本研究では、エッジに複数のコストが与えられている場合において、多目的ネットワーク設計問題の最適経路探索について考察した。パレート最適解の探索法について、従来研究ではダイクストラ法を拡張した探索法が提案されていた。本探索法は一般的な多目的ネットワークに対して適用可能であるが、目的関数の数及びノード数の増加に伴い、途中ノードまでの経路のコストを保存するラベル数が急増し、計算負荷が増大になる問題があった。そこで、最適経路が満たす性質から、探索空間の制限に有効であり、かつ探索が容易である経路を探索し、拡張ダイクストラ法による生成ラベル数を制限する方法を検討した。

ラベル生成の制限効率の向上のため、研究成果(2)(4)を踏まえ、ネットワーク規模や目的関数値の変化に対して柔軟に対応できる、生成ラベルを有効に制限するための経路を探索する方法を検討した。そして、目的関数の加重和をとり、単目的化した最適化問題において求められる最適解を制限基準の経路として提案した。さらに、各目的関数に対する係数を変化させることで、複数の基準経路を得ることを可能とした。また目的関数の数に応じた数の基準経路を探索するための係数算出

方法の提案を行った。そして、3目的と4目的の場合において多様なネットワーク規模にて数値実験を行い提案アルゴリズムの評価を行った。その結果、拡張ダイクストラ法と比べ、大幅な計算時間の短縮効果が見られた。さらに、探索過程において生成されたコストラベル数においても同様の削減効果が得られた。以下の表1には、目的関数の数を M とし、 $K \cdot M + 1$ 個の基準経路を用いた場合と拡張ダイクストラ法による計算時間の比較結果を示した。また、目的関数の数が多く、ノード数が大きいときに、より多くの基準経路を適用した場合に効率性が高くなる傾向が見られた。(学会発表:①②③④⑤⑧⑨⑩)

表1. 計算時間の比較 ($M=4$) 単位: 秒

ノード数	100	300	500
拡張ダイクストラ	3.007	185.011	1293.603
$K=1$	0.964	88.320	489.551
$K=2$	0.942	74.199	451.722
$K=3$	0.975	72.503	392.212

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① 高橋奈津美, 山本久志, 秋葉知昭, 肖霄, ネットワーク特性を考慮した効率的なパレート最適解探索過程; 日本経営工学会論文誌, Vol.68, No.4, pp.232-243, 2018. DOI:<https://doi.org/10.11221/jima.68.232>

[学会発表] (計 10 件)

- ① 高橋奈津美, 秋葉知昭, 山本久志, 肖霄, 複数コストを有するネットワークにおける有効な経路探索アルゴリズム, 平成 28 年度 日本経営工学会春季研究発表大会, 2016
- ② N. Takahashi, T. Akiba, H. Yamamoto, X. Xiao and K. Shingyochi, Proposal for Obtaining Method of Pareto Solutions in A Multi-objective Network, The 7th Asia-Pacific International Symposium on Advanced Reliability and Maintenance Modeling (APARM 2016), 2016
- ③ N. Takahashi, H. Yamamoto, T. Akiba, X. Xiao, K. Shingyochi, Algorithm for optimal paths in multi-objective network, The 26th European Safety and Reliability Conference (ESREL2016), 2016
- ④ 高橋奈津美, 秋葉知昭, 山本久志, 肖霄, 多目的を考慮したネットワークにおける経路探索アルゴリズムの効率性評価, 平成 28 年度 日本経営工学会秋季研究発表

大会, 2016

- ⑤ N. Takahashi, T. Akiba, H. Yamamoto, X. Xiao and K. Shingyochi, Evaluation of Multi-objective Networks based on Topological Analysis, The 17th Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems Conference (APIEMS2016), 2016
- ⑥ 高橋奈津美, 秋葉知昭, 山本久志, 肖霄, 多目的を有する経路探索問題における探索空間削減基準の有効性評価, 平成 29 年度 日本経営工学会春季研究発表大会, 2017
- ⑦ 榎本大地, 肖霄, 高橋奈津美, 山本久志, 信頼度最大ネットワーク構成に関する分析的推論, 電子情報通信学会信頼性(R)研究会, 2017
- ⑧ N. Takahashi, T. Akiba, H. Yamamoto and X. Xiao, Efficiency of Reducing Search Space by Standard Paths in Multi-objective Network, The 10th International Conference on Mathematical Methods in Reliability (MMR 2017), 2017
- ⑨ 高橋奈津美, 秋葉知昭, 山本久志, 宋少秋, 多目的を有する最適構成ネットワークの探索手法, 電子情報通信学会信頼性(R)研究会, 2017
- ⑩ N. Takahashi, H. Yamamoto, T. Akiba and S. C. Sung, Standard Path Reduction based Algorithm for Optimal Paths in Multi-Objective Networks, The 20th Czech-Japan Seminars on Data Analysis and Decision Making under Uncertainty (CJS2017), 2017

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 奈津美 (TAKAHASHI, Natsumi)
青山学院大学・理工学部・助教
研究者番号: 60780319