

令和 4 年 6 月 21 日現在

機関番号：82723

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K15241

研究課題名（和文）相互作用性を考慮した変動的多目的ネットワークの評価手法

研究課題名（英文）Multi-objective network evaluation considering interaction and variation

研究代表者

高橋 奈津美（Takahashi, Natsumi）

防衛大学校（総合教育学群、人文社会科学群、応用科学群、電気情報学群及びシステム工学群）・電気情報学群
・講師

研究者番号：60780319

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、ネットワーク構造を有するシステムを対象に、コンポーネントの評価指標やネットワーク規模が変化する多目的ネットワークに対して適用可能であるパレート解の効率的な探索手法を検討した。その成果として、信頼度を考慮した多目的ネットワークに対し、遺伝的アルゴリズムによる解探索法の構築、故障・修理過程を考慮したシステム状態の変動を有するネットワークの性能評価手法の提案を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、解探索が困難であるとされる多目的最適化問題において、パレート解の分布領域やパレート解となりうる構成要素を導出し、その最適解の持つ特性を遺伝的アルゴリズムに反映した点が特徴的である。研究成果は、変動的ネットワークにおける最適解探索の土台となるものであり、モデルを拡張することで、状況の変化を考慮した配送計画などの指針の提示や、故障等の影響を考慮したネットワーク設計が可能になると考えられる。

研究成果の概要（英文）：For some systems with network structure, this study considers the search process of Pareto solutions, which is applied to multi-objective networks which verifies values of objectives and the network size. As a result, we construct search solution process based on genetic algorithm for multi-objective network with reliability. In addition, we also consider evaluation methods of variable networks with model including failure and repair process.

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 最適設計 アルゴリズム

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

電力供給システムや、通信ルーティング探索システム、生産・物流管理計画システムをはじめ、我々の社会基盤を支えるシステムは、年々大規模化し、利用者の価値観の多様化により複雑化している。これらのシステムの多くはネットワーク構造を有する。本研究では、ノードとエッジ(以後、コンポーネント)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。ネットワークの評価指標に基づき意思決定する当事者にとって、価値観の多様化により、特定の評価指標に注目した単一の設計案より、複数の評価指標を考慮した最適設計案の重要性が増している。例えば電力や通信ネットワークにおいて、送電・通信容量のほか、安全性、構築コストなどを評価指標として考慮する場合が考えられる。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。

さらに、現実社会において、状況は刻々と変化しており、その変化に柔軟に対応することが求められる。電力・通信ネットワークであれば、機器や設備に故障が生じると、送電・通信負荷は周辺の迂回路へ回り、それにより送電・通信量の変動する。さらにネットワークの構造によっては、一部の機器や設備の故障の影響が波及し他の機器や設備の故障を引き起こす可能性がある。このような波及効果を回避するため、故障や負荷増加の影響の波及効果を考慮したネットワークの設計が求められる。従って本研究では、多目的ネットワークを前述のようなネットワークの波及効果を考慮した問題に展開するため、コンポーネントの状態が、他のコンポーネントに付与する評価指標やネットワーク規模に影響する相互作用性を考慮した、変動的多目的ネットワークの効率的な解法を検討する。

多目的ネットワークの設計問題は多目的最適化問題の一つであり、探索する最適解は一般的にパレート解となる。多目的最適化問題の研究は、国内外の雑誌に古くから多くの研究結果が報告されてきた。しかし、パレート解の探索は、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、多目的ネットワークのパレート解の探索方法と最適設計問題に関する研究は報告が少ない。さらにコンポーネント間の相互作用を考慮する場合、コンポーネントの評価指標が静的である場合と比べ、解探索は非常に複雑化する。従って、状態の変動を考慮した多目的ネットワークに拡張可能な効率的な解の探索方法の検討が必要である。

2. 研究の目的

上記の背景の下で、効率的な解探索法を構築するため、評価指標が変動する場合においても適用可能なパレート解の分布やパレート解となりうるネットワークの構成要素について分析し、特徴を抽出する。そして本研究課題では、これらの結果を発展させ、実社会における状況の変動や、その波及効果を考慮した変動的多目的ネットワークにおける評価法構築につながる手法の導出を目的とする。

3. 研究の方法

本研究課題では、静的ネットワークにおいてパレート解の分布範囲の分析実験を行い、1) コンポーネントの評価指標の変化に対応した効率的なパレート解探索法を検討する。さらに、2) ネットワークの評価指標に対して優位なネットワーク構造を導出し、その優位性の指標化を試みる。この優位性の評価指標を利用し、構成し評価対象となるネットワークを制限する。そして、規模の大きなネットワークでの探索を可能とするため、1)、2)の成果を遺伝的アルゴリズムの解探索過程に組み込んだ探索方法を提案する。また、故障・修理過程を考慮しネットワーク状態が変動するモデルにおける評価方法についても検討する。

4. 研究成果

(1) 国内外の文献調査

研究を実施する準備として、パレート解の分布範囲を考慮した有効な探索順序、グラフ理論におけるネットワークの連結構造の表現、評価値が変動するネットワークの評価方法に関する文献調査を行い、多目的ネットワーク問題の解探索方法の拡張に有効な方法を検討するための準備を行った。

(2) 多目的ネットワークのパレート解の分布範囲の分析

ネットワーク設計問題では、使用するコンポーネントの組合せにより、無数の解が存在する。その中で、パレート解になる可能性の高い解の分布範囲を特定するため、エッジの評価指標を変化させて実験を行い分析した。その結果、パレート解に近い領域の解はパレート解を構成しうる可能性が高い傾向が見られた。これより、あるパレート解を基準とした領域制限の方法として、

パレート解との距離を重視した領域およびパレート解の必要条件に着目した領域設定法を導出した。

(3) ネットワーク評価指標に対するエッジの影響分析

従来研究において、ネットワークの評価指標に対し、影響度の高いエッジがあることが判明している。そこで、エッジの評価指標およびネットワークの構造の影響を分析し、パレート解を構成しうる効率的な要素について考察した。そしてこの効率性を評価尺度として利用したネットワーク構成方法を検討した。

(4) 遺伝的アルゴリズムにおける有効な解探索方法の構築

ネットワークのエッジに信頼度とコストの2目的ネットワークにおける最適化問題に対し、研究成果(2)(3)の結果を、遺伝的アルゴリズムの各過程に反映した探索方法を検討した。親個体の選択過程にパレート解の分布領域を反映させ、また、個体の交叉過程には、エッジの効率性を評価尺度とした方法を組み込んだ解探索法を検討した。

図1は、異なる選択・交叉方法を実装したアルゴリズムで探索された最適解を比較したものである。PreviousGAはパレート解により近い領域を親個体の選択範囲とし、効率性の高いエッジを含ませる交叉を行う方法で、ProposedGAは、パレート解に近く、パレート解が満たす必要条件を選択範囲とし、エッジの効率性と生成個体のエッジ数の偏りを考慮した交叉を行う方法である。数値実験の結果、ProposedGAではもう一方と比べ生成する個体数は約3割削減、計算時間は約6割削減された。また、選択と交叉の効果的分析により、パレート解の必要条件による選択方法は特に計算時間に対して、生成個体のエッジ数の偏りを考慮した交叉方法は解の探索精度に対して有効であるという結果を得た。

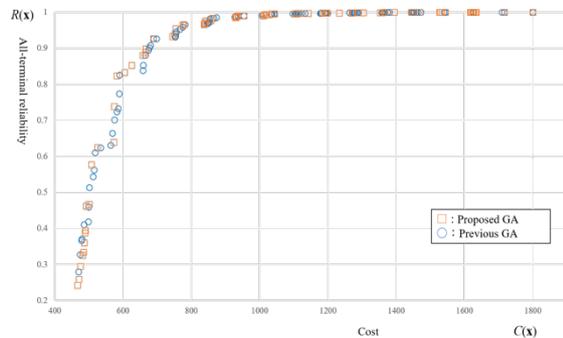


図1 探索されたパレート解の比較

(5) 信頼度計算の並列化の検討

本研究において、計算負荷に対する大きな要因の1つが信頼度の評価であり、エッジ数の増加に伴う計算負荷の急増が課題であるため、並列計算を検討する。本研究課題では主に全点間信頼度を対象としており、factoring法によるエッジの状態場合分けにより信頼度計算を行なっている。この点に着目し、効果的な信頼度計算の分割の検討を進め、約5割程度の算出時間削減効果を得た。この方法を多目的ネットワークに拡張することで、解の評価指標算出および解探索の高速化につながるものと考えられる。

(5) ネットワーク状態が変動するモデルにおける評価法の導出

電力網ネットワークを念頭に、コンポーネントの故障・修理過程を考慮するネットワークを対象とする。共通原因故障により引き起こされる同時故障を大規模障害と見なし、障害の発生と修復をマルコフ過程としてとらえ、運用期間全体のシステムの能力を表す運用レジリエンスを算出する方法を導出した。しかし、この方法はシステムサイズが大きくなるとともに状態数が指数的に増加するため算出が困難となる。そのため、1次元マルコフ過程による近似解析法も提案した。数値実験による検証の結果、提案した近似解法は厳密解の誤差が小さく、エッジ数が増加するほど評価値算出時間の削減効果が見られた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 8件）

1. 発表者名 佐川安正, 高橋奈津美, 弓削哲史
2. 発表標題 ネットワークのレジリエンス性能評価近似解法
3. 学会等名 電子情報通信学会 信頼性研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuri Kanazawa, Natsumi Takahashi, Tomoaki Akiba
2. 発表標題 Search Space Restriction of Genetic Algorithm for Pareto Solutions of Bi-Objective Network
3. 学会等名 Reliability and Maintenance Engineering Summit 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Natsumi Takahashi, Shao-Chin Sung, Tomoaki Akiba, Tetsushi Yuge
2. 発表標題 Genetic Algorithm Approach with Network Configuration for Bi-objective Network Optimization
3. 学会等名 The 31st European Safety and Reliability Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金澤悠璃, 秋葉知昭, 高橋奈津美
2. 発表標題 全点間信頼性を考慮した二目的ネットワーク問題のパレート最適解の解探索空間削減法の検証
3. 学会等名 電子情報通信学会 信頼性研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐川安正, 高橋奈津美, 弓削哲史
2. 発表標題 ネットワークのレジリエンス性能評価近似解法
3. 学会等名 電子情報通信学会 信頼性研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuri Kanazawa, Natsumi Takahashi, Tomoaki Akiba
2. 発表標題 Search Space Restriction of Genetic Algorithm for Pareto Solutions of Bi-Objective Network
3. 学会等名 Reliability and Maintenance Engineering Summit 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Natsumi Takahashi, Shao-Chin Sung, Tomoaki Akiba, Tetsushi Yuge
2. 発表標題 Genetic Algorithm Approach with Network Configuration for Bi-objective Network Optimization
3. 学会等名 The 31st European Safety and Reliability Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金澤悠璃, 秋葉知昭, 高橋奈津美
2. 発表標題 全点間信頼性を考慮した二目的ネットワーク問題のパレート最適解の解探索空間削減法の検証
3. 学会等名 電子情報通信学会 信頼性研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Natsumi Takahashi, Tomoaki Akiba, Hisashi Yamamoto, Shao-Chin Sung
2. 発表標題 Bi-objective Optimization of Network Reliability by Genetic Algorithm
3. 学会等名 2020 Asia-Pacific International Symposium on Advanced Reliability and Maintenance Modeling (APARM2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Natsumi Takahashi, Tomoaki Akiba, Hisashi Yamamoto
2. 発表標題 Improvement Ideas of GA-Based Algorithm for Obtaining Quasi-Pareto Solution of Bi-Objective Networks
3. 学会等名 Proceedings of 25th ISSAT-Reliability & Quality in Design (ISSAT RQD2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Natsumi Takahashi, Shao-Chin Sung, Tomoaki Akiba, Hisashi Yamamoto
2. 発表標題 Optimal Design of Bi-objective Reliable Network Using Genetic Algorithm
3. 学会等名 Proceedings of the 22nd Czech-Japan Seminars on Data Analysis and Decision Making under Uncertainty (CJS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kosuke Kameda, Natsumi Takahashi, Shao-Chin Sung
2. 発表標題 On Exact Algorithm for Shortest Path Network Interdiction
3. 学会等名 Proceedings of the 22nd Czech-Japan Seminars on Data Analysis and Decision Making under Uncertainty (CJS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋奈津美, 秋葉知昭, 山本久志, 新里隆
2. 発表標題 遺伝的アルゴリズムによる信頼度を考慮した2目的ネットワークの設計法
3. 学会等名 電子情報通信学会 信頼性研究会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------