

学 位 論 文 題 名

ハイブリッド型遺伝的アルゴリズムによるシステムにおける
ファジィ信頼性の最適設計とその応用に関する研究

学位論文内容の要旨

近年、半導体技術の急速な進歩により、電子計算機をベースとした情報処理システムの機能は、ますます巨大化、統合化、また複雑化している。それに伴い、社会における情報処理システムの役割は重要度を増しており、万が一故障が発生した場合に及ぼす社会的・経済的影響は計り知れないほど大きく、時に人命にかかわるほど重大な役割を担っている。現代の情報処理システムのおかれたこのような社会的環境のもとでは、システムを長時間故障なく、その処理機能を満足に稼働させるためのシステム信頼性の最適設計は、今後ますます重要な課題になると考えられる。

最近、遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithms:GA) がさまざまな分野において組合せ問題の有効な解法として注目され、数多くの研究成果が報告されている。この GA は、非線形整数計画問題として定式化されるシステム信頼性の最適設計問題に対しても有効な解法の一つとなる。ところが、この GA には、一般に最適解周辺には早く近づくが局所探索能力が低いという問題が指摘されている。この問題を解決する手段の 1 つとしてハイブリッド GA が提案されている。ハイブリッド GA は、GA とヒューリスティック手法を組み合わせたものである。これによりハイブリッド GA は、優れた解をより高速に探索することが可能となる。

他方、1940 年代に線形計画法が実用的な手法として認められて以来、急速に発展した数理計画法は近年、電子計算機の高速度化、大容量化に伴い大規模な問題も扱うことができるようになり、その応用分野も広がっている。特に、多目的数理計画法は、社会的要求の多様化に伴い、複数の競合する目的関数を同時に考慮できる現実的な最適化手法として注目されている。現実の意思決定においては、意思決定者 (Decision Maker:DM) は自己の選好に基づき、パレート最適解の集合の中から最良と考えられる解を選択する。ところが、DM の選好構造は一般に同定が困難なため、対話により得られる局所的な選好情報に基づいて DM の選好解を導出する対話型手法が数多く提案されてきた。しかし、人間の主観的判断に基づくあいまいさから、DM は複数の目的関数それぞれに対してファジィ目標をもつものと考えられる。このような観点から、ファジィ数理計画法が急速に発展した。

本研究の目的は、システム信頼性の最適設計問題について、ファジィ目標とファジィ制約を伴う会話型多目的意思決定問題の解法と、ハイブリッド型 GA による解法を提案することにある。提案する解法は、従来解法と比較してファジィ目標を導入することによって DM の主観的判断に起因するあいまいさを考慮することができるほか、ファジィ制約の導入によりシステムの使用環境や経済情勢などの変化に対応でき、より現実的で柔軟な意思決定やシステム設計が可能となっている。また、GUB (generalized upper bounding) と呼ばれる大

規模なシステム特有の構造を考慮した遺伝子表現と探索過程をハイブリッド型 GA により、GUB 構造を伴うシステム信頼性の最適設計問題を効率的に解くことが可能となった。また、これらの解法の応用として、現実的なシステム信頼性の最適設計問題である故障検出切換え装置の故障を考慮に入れたシステムに対する解法、さらに De Novo 計画問題やナップサック問題として定式化される意思決定問題の解法を提案している。以下に本論文の各章の内容を要約して述べる。

第 2 章においては、システム信頼性の最適設計技法として、大規模なシステム信頼性の最適設計、不完全な故障検出切換え装置 (FDS) を伴うシステム信頼性の最適設計、および数種類の故障モードを伴うシステム信頼性の最適設計について紹介する。

第 3 章では、GA の基本的な概念および計算法について紹介する。遺伝子表現、評価関数、基本的な遺伝的操作のほか、GA の工学問題への応用として、非線形最適化問題への応用例等について取り上げる。さらに、本論文で提案する GUB 制約の構造化を生かしたハイブリッド型 GA について説明する。

第 4 章では、ファジィ理論の基礎概念について説明するとともに、ファジィ目標およびファジィ制約を伴う多目的意思決定問題の会話型解法を提案する。また、DM の選好を反映させるための重み付けに、多評価意思決定の支援手段として評価されている手法 (AHP) を用いるとともに、意思決定の補助手段として、パレート最適解の中から最良な妥協解決定のための方法 (TOPSIS) を導入することにより、DM の意向をより反映した解を容易に得ることができる。

第 5 章では、システム信頼性の最適設計問題に対して、ファジィ目標およびファジィ制約を導入することによって、DM であるシステム設計者の意向を反映した設計を可能とした、現実的で柔軟な解法を提案する。この解法は、玄らの提案した GUB 構造を活用した効率的な解法を多目的計画問題に拡張して適用しているため、コンピュータの計算速度およびメモリの使用量の点で従来解法より優れている。さらに、ここで提案する解法の応用として、現実のシステム信頼性の最適設計問題における FDS の故障を考慮した解法を提案する。

第 6 章では、ファジィ目標とファジィ制約をもつシステム信頼性の最適設計問題を解くために GA を導入した解法を提案する。この解法では、一般に非線形整数計画問題として定式化される信頼性最適設計問題を、線形化することなくそのまま解くことができるため、変数の数を増やす必要がなく、コンピュータ上のメモリ制約や処理速度の点で有利である。さらに、提案する解法は、従来の方法では得ることができなかった解を得ることができる柔軟性をもつことを、数種類の故障モードを伴うシステム信頼性の最適設計問題を数値例として取りあげることにより示している。

第 7 章では、与えられた予算額の中で資源の最適配分を含む計画問題の最適な設計を行うことができる De Novo 計画問題として定式化されるシステム信頼性の最適設計問題を解くためのハイブリッド型 GA による解法を提案する。提案する解法は、GUB 構造を有効に表現する新しい遺伝子表現を導入することにより、各種の遺伝的操作に対して GUB 構造化が保持されるため、取扱いが容易である。また、バイナリ変数による表現の場合に比べ、必要となる遺伝子数をはるかに少なく済むため、計算効率および必要メモリ量の点で有利であることを示す。さらに、各 GUB 制約の決定変数を効率指標に基づいてランク付けし、それに基づいて解の改善をはかる過程を GA に組み込む、すなわちハイブリッド化により、GUB 構造化を利用した効率的な解の探索が可能になっていることを示す。

第 8 章では、第 7 章で提案した解法を発展させ、ナップサック問題として定式化される二目的のシステム信頼性の最適設計問題のためのハイブリッド型 GA による解法について提案する。

第 9 章では、結論として、本研究で得られた成果が要約されている。

学位論文審査の要旨

主査	教授	佐藤	義治
副査	教授	新保	勝
副査	教授	伊達	惇
副査	教授	大内	東

学位論文題名

ハイブリッド型遺伝的アルゴリズムによるシステムにおける ファジィ信頼性の最適設計とその応用に関する研究

本論文は、システム信頼性の最適設計問題に関して、ファジィ目標とファジィ制約を伴う会話型多目的意思決定問題の解法と、ハイブリッド型遺伝的アルゴリズム (genetic algorithms : GA) による解法を提案したものである。これらの解法は、従来解法と比較して、ファジィ目標の導入によって意思決定者 (decision maker : DM) の主観的判断に起因するあいまいさを考慮することができるほか、ファジィ制約の導入によってシステムの使用環境や経済情勢などの変化に対応できる。それによってより現実的で柔軟な意思決定やシステム設計が可能となっている。また、目標計画問題の会話型解法では、DM の選好構造をより反映させることを目的とした実用的な解法について、その定式化および計算法を提案している。また、GUB (generalized upper bounding) と呼ばれる大規模なシステム特有の構造を考慮した遺伝子表現と探索過程を GA に組み込んだハイブリッド型 GA により、GUB 構造を伴うシステム信頼性の最適設計問題を効率的に解くことを可能とした。

また、これらの応用として、本論文はより現実的なシステム信頼性の最適設計問題である故障検出切換え装置 (fault detecting and switching: FDS) の故障を考慮に入れたシステムに対する解法、さらに De Novo 計画問題やナップサック問題として定式化される意思決定問題の解法を提案している。

さらに数値実験により本研究の有効性が検証され、これらの解法は現実の問題に適用できる実用性を備えていることを示している。以下に、主要な結果を要約する。

1. DM の主観的判断に基づくあいまいさについて、目標値に対する満足度をメンバシップ関数によって定量化し、また環境等によって変化するシステム資源の制約にゆとりをもたせた会話型の目標計画法の解法を考案している。本解法は、各目標に対する DM の重要度を反映させるために AHP (analytic hierarchy process) を導入し、多くの非優越解の中から最良の妥協解を決定するための補助手法の採用により、DM の判断を助けることができる特徴を持つ。
2. 信頼性最適化問題に関してより現実的な問題に即した解を得ることができる、新しいファジィ多目的 0-1 計画問題の一解法を示した。本解法は、GUB 構造を考慮した効率的な解

法をより一般的な多目的 0-1 計画問題に拡張し、さらにファジィ理論の導入により各目的関数に、あいまいさを考慮して目標値を与えるた。また本解法は各目的関数や制約条件に関して、AHP による重みを与えることが可能である他、システムの使用環境等によって変化するシステム制約にゆとりをもたせることができ、システム設計者の満足する最適設計を可能とするなど、多くの優れた特徴を備えている。

3. 不完全な FDS をもつシステムの冗長ユニット配分問題において、ファジィ目標およびファジィ制約を導入することによってシステム設計者のあいまいさを考慮することができるとともに、GUB の構造化を利用して目標値の達成度を最大にする解を効率的に選ぶことが可能となっている。また、システムの使用環境の変化等を表すことができるため、現実的な最適信頼性設計が可能である。
4. ファジィ目標とファジィ制約をもつ数種類の故障モードを伴うシステム信頼性最適設計問題の、GA による解法を示した。この解法は、数種類の故障モードの考慮によって、直列／並列のユニットが複雑に接続されて構成される現実のシステム信頼性の設計問題を系統的に解析できるため、現実の設計問題に対応可能である。また、システム設計段階において、要求されるシステム信頼度と、システム制約のトレードオフ関係、およびそれらのあいまいさを同時に考慮できるため、柔軟で満足度の高いシステム設計が可能となる。さらに、GA の導入により問題を非線形のまま扱えるため、取扱いが容易なうえ、コンピュータメモリの点でも有利である。
5. 限られた予算額で資源の最適配分を含む最適設計を行う De Novo 計画問題として定式化されるシステム信頼性の最適設計問題を解くためのハイブリッド型 GA による解法を考案している。本解法は、GUB 構造を有効に表現する新しい遺伝子表現の導入により、各種の遺伝的操作に対して GUB 構造化が保持されるため、取り扱いが容易である。また、0-1 変数による表現の場合に比べ、必要な遺伝子数が大幅に少ないため、計算効率および必要メモリ量の点で有利である。また、GUB の構造化を利用したハイブリッド化により効率的な解の探索が可能になった。さらに、二目的のシステム信頼性の最適設計問題に対する応用のための解法を提案した。

これを要するに、著者はシステムの信頼性の最適設計問題に関して、ファジィ目標およびファジィ制約等を導入することにより柔軟はシステムの設計を可能にするとともに、大規模なシステムの信頼性の最適設計問題を解くためにハイブリッド型 GA を適用した解法を考案したものであり、システム工学、情報管理工学の発展に寄与するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格があるものと認める。