

(論文内容の要旨)

本論文では、非常に多くの部品から構成される多階層システムの信頼性を最適に設計するための手法について論じている。機械製品を構成する部品の中に、信頼性の低い部品が存在する際に、機械製品のシステム全体としての信頼性を向上させたい場合、その部品を余分に設置して冗長性を持たせる方法がある。このとき、最も少ないコストで、最高のシステム全体の信頼性を得るためには、冗長性を持たせる部品を適切に選ぶという冗長ユニット配置問題を考える必要がある。しかしながら、多階層の機械システムにおいて、最適に冗長ユニットを配置することは、最適設計問題としての定式化、および、その求解の困難性の2点において、非常に困難な問題であるといえる。

本論文の第1章では、冗長ユニット配置設計問題に対する従来のアプローチと、それらの問題点が述べられている。従来のアプローチでは、意思決定者が冗長ユニット配置問題を単純化しなければならない。このとき、適切な単純化が行われないと、真の大域的な最適解を含まない問題になる可能性があることを指摘している。

第2章では、冗長ユニット配置問題における階層性の存在と、モジュール化設計との関連を指摘している。また、システムの階層性を考慮した冗長ユニット配置問題のモデル化を行っている。提案するモデル化法を用いれば、システムのすべての階層における冗長性を表現し、システムの信頼性を評価することが可能となる。

本論文の第3章では、システム全体の信頼性を考慮し、サブシステムレベルおよび詳細部品レベルのそれぞれにおける冗長ユニット配置を同時に最適化するための階層型遺伝的アルゴリズムが提案されている。まず、前章で構築したモデル化法に基づいて、冗長ユニット配置最適化問題の定式化を行っている。この最適化問題を解くために、階層的な遺伝子型の利用を提案し、多階層システムの一般的な冗長ユニット配置設計問題における解の表現型と遺伝子型を一対一に対応させることを可能にしている。さらに、この階層的な遺伝子型に対する新しい交叉オペレータおよび突然変異オペレータを導入することで、非常に効率の高い解探索を実現している。これらの遺伝的オペレータは、遺伝子の階層構造における各ノードの物理的な意味を維持するように適用されるよう設計されているところに特徴がある。つまり、交叉オペレータでは階層構造の特定のノード間のみの交換が許容され、突然変異オペレータはノード単位で適用され、新しい遺伝子の枝が構築される。

第3章の後半では、いくつかの数値例に対する従来法と提案法の最適化経過および結果の比較が示されている。一次元ベクトルの遺伝子型を用いた従来法では、階層的システムの代替案を一次元ベクトルで表現するために、単純化が行われており、大域的最適解を得ることができない場合が多い。これに対して、

階層的な遺伝子型を用いた提案法では、単純化を行う必要がないため、大域的最適解が実行可能領域の中に含まれるため、大域的最適解に到達することができる。このことから提案法に優位性があることが示されている。また、遺伝子型の階層性を考慮した交叉、および突然変異のオペレータが適切に機能していることが確かめられた。

第4章では、階層的システム設計におけるモジュール化の概念の有用性について議論を行っている。従来の冗長ユニット配置の考え方では、部品レベルで冗長性を持たせることが効率的であると考えられていた。しかしながら、メンテナンス性を考慮したコスト関数を用いた場合、モジュールレベルで冗長ユニットを付加することで、システム全体として、小さなコストで高い信頼性が得られる可能性がある。ここでは、モジュールレベルと部品レベルでの冗長ユニット配置の効率の違いについて検討を行っている。

また、第3章で構築した信頼性システムのモデル化と最適化法は、ユニット間の関係が直列の場合にのみ適用可能であったが、ここでは、さらに一般的な信頼性設計問題に対応するため、信頼性システムの直列と並列の関係が混在するような問題に対して、提案する階層型遺伝的アルゴリズムを拡張する方法を示している。第3章で提案された階層的遺伝子型を修正し、修正した遺伝子型により解を表現するための手順を構築している。数値例では、4つの階層をもつ信頼性システムの冗長ユニット最適配置問題を取り扱っている。この問題に対し、モジュールレベルの冗長ユニット配置を行う場合と、部品レベルでのみ冗長ユニットが配置可能な場合とを比較し、モジュールレベルの冗長ユニット配置の有効性を示している。

さらに第5章では、冗長ユニット配置問題において、システム信頼性とコストの二目的最適化問題を解くために多目的遺伝的アルゴリズムを導入し、効率よくパレート最適解集合を求める方法を提案している。目的関数空間上の混雑度の計算に基づいて個体集団の多様性を維持する機能を有する多目的個体選択法を利用することで、冗長ユニット配置の多目的最適化問題を効率的に解くことが可能であり、システムの階層の数が増えると、その解探索の効率向上の効果が非常に高くなることが示された。

そして、第6章では、本論文で得られた成果について要約し、さらに、本手法の今後の発展について言及している。

氏名	Ranjan Kumar
----	--------------

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、多数の部品から構成される多階層システムの信頼性に関する最適設計手法に関する研究成果についてまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 機械製品のシステム信頼性を向上させる方法として、信頼性の低い部品を余分に設置して冗長性を持たせるという手段がある。このとき、システム全体の信頼性を低いコストで効果的に向上させるためには、最適化手法を導入することが極めて重要であることを指摘している。

2. 機械製品は、システム・モジュール・部品という階層構造をもっており、システムの信頼性を効果的に向上させるためには、この階層構造を考慮する必要がある。しかしながら、従来までに提案されている信頼性最適化法は、この階層性を考慮していない。そこで、本論文では、システムの階層性を考慮した信頼性最適化法の開発を行うために、階層型遺伝的アルゴリズムが提案している。階層的な遺伝子型を用いることで、多階層システムの一般的な冗長ユニット配置設計問題の解を表現することを可能にし、さらに新しい交叉および突然変異パラメータを導入することで、非常に効率の高い解探索を実現している。

3. 信頼性システムの直列と並列の関係が混在するようなより一般的な問題に対しても、提案する階層型遺伝的アルゴリズムが適用可能にするための拡張方法を示している。

4. 冗長ユニット配置問題において、システム信頼性とコストの二目的最適化問題を解くために多目的遺伝的アルゴリズムを導入し、効率よくパレート最適解集合を求める方法を提案している。

以上のように、本論文では、これまで求解が非常に困難であった多階層システムにおける冗長ユニット最適配置問題を効率的に解くことが可能とする、非常に画期的な解法を提案しており、学術上、実際上の価値が非常に高い。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成20年12月25日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。