

博士論文概要

論文題目

多目的遺伝的アルゴリズムによるシステム信頼性の最適化設計に関する研究

Study on Optimal Design for System Reliability by Multiobjective Genetic Algorithms

申請者

氏名

棕田

實

MUKUDA

Minoru

専攻・研究指導
(課程内のみ)

情報生産システム工学専攻

ソフトコンピューティング研究

2005年 4月

現代社会ではインターネットを基盤とした各種業務システムが多数稼働している。例えば、株式の売買を行うネット証券会社、個人の決済を対象としたネット銀行、商店や企業が運営するネット通信販売、相互信頼で運用されている電子メールシステム(E-mail)など、インターネットを基盤とした情報システムである。これらは、従来の業務システムとの置き換え、あるいは共存しながら、急速に発展している。このようなインターネットを支えているのが、通信基盤となる各種の情報通信システムである。特に、都市間を結ぶ通信システムはライフラインの一つとして重要であり、これらの情報システムは高速かつ大容量の通信回線で、高信頼性が要求されている。一般に、情報システムに機器故障、人的障害、自然災害による回線障害が発生した場合、企業や個人は多大な損失を受ける。例えば、E-mailの基盤となっている情報通信システムが停止すると、E-mailに依存した業務が中断となり、単なる停止ではなく、情報の遅延や欠落のために大きな損失を受ける可能性がある。さらに、証券や銀行の業務システムはリアルタイム性の高い情報、すなわち株の売買情報、為替決済情報、預金払戻し停止情報やクレジットの信用情報などを取り扱っている。これらの情報がもし遅延した場合の社会的影響は大きい。このように、情報通信システムは現代社会の基盤であり、システムの高信頼化設計問題は重要な研究課題のひとつである。

一般に、システムは処理機能により複数のサブシステムから構成され、さらに、サブシステムは複数のユニットから構成されている。サブシステムには、ハードウェア及びソフトウェアが含まれる。一般に、システムの高信頼化設計を行う方法には、大きく分けて2つのアプローチがある。ひとつは、信頼性の高い部品やユニットを使用することで、“装置の設計や製造において構成要素にフォールトが発生しないようにする方法”に基づくアプローチであり、フォールトアボイダンス(Fault Avoidance)と呼ばれている。しかし、ユニットやサブシステムの高信頼化は製造コストに関する予算制約などのため、信頼度の高い部品やユニットの選択にも限界があるため、フォールトの発生は避けられないと言う前提に基づくもうひとつのアプローチがあり、フォールトトレランス(Fault Tolerance)と呼ばれている。フォールトトレランスとは、付加装置や付加機能の影響を自動的に防ぎ、フォールトが起きてもシステムとしては正しい機能を保持させようとするアプローチである。このアプローチはシステムの一部が故障しても、他の部分はその不具合を補い、全体として正常に機能するような仕組みである。この考え方は非常に基本的なもので、大規模な通信システムに古くから用いられている。フォールトトレランスは、サブシステムやユニットを並列に配置し、システムに冗長性を与えることによって信頼性を向上させる。並列にサブシステムやユニットを配置する場合、①予備のサブシステムやユニットとして故障時に切り替えるタイプのものを待機冗長構成と呼び、②並列化したサブシステムやユニットにも同時に異な

る仕事をさせるものを並列冗長構成と呼ぶ。

本研究では、高信頼化システムを実現させる手法として、並列冗長構成および待機冗長構成を想定している。システムの高信頼化設計には、サブシステムの容量や重量など資源の制約下において、各サブシステムのユニットを待機冗長構成や並列冗長構成とすることで、システム信頼度や稼働率を最大化する信頼性最適化設計問題として扱える。このように信頼度や稼働率を最大化する問題は他の資源を制約条件とすることで単一目的の非線形整数計画 (**nonlinear integer programming: nIP**) モデルとして定式化される。さらに、信頼度と総コスト、稼働率と総コストなど、複数の資源が競合関係にあるシステムの設計問題は多目的な信頼性最適化問題となる。このような多目的信頼性設計問題は多目的非線形整数計画 (**multiobjective nIP**) モデルとして定式化される。

最適化設計問題を解くためのメタヒューリスティックな手法として、遺伝的アルゴリズム (**Genetic Algorithm: GA**) が注目されている。本論文では、システムの高信頼化設計における信頼性最適化問題の手法として、ハイブリッド型多目的 **GA** を提案している。また、適応型ハイブリッド **GA** により、単目的信頼性最適化モデルによる信頼度の最適化設計法を提案している。さらに、多目的非線形整数計画モデルを解く手法として **GA** の持つ多点探索という特徴に注目し、直接にパレート最適解を求めることを目的としたハイブリッド型の多目的 **GA** (**Multiobjective Genetic Algorithm**) により、多目的信頼性設計問題の解法を提案し、その有効性を数値実験により検証している。

本論文の構成は、第1章では研究の背景、第2章では不稼働率によるシステム信頼性モデルを明らかにし、第3章では多目的 **GA** の一方法を提案する。第4章と第5章では、単目的信頼性最適化問題による単目的 **GA** 技法の提案、第6章では多目的信頼性最適化問題による多目的 **GA** 技法の検証、第7章では通信システムの信頼性最適化設計への適用と多目的 **GA** 技法の検証を行っている。最後に、第8章では提案した多目的 **GA** 技法の効果について結論を述べる。次に各章の概要を説明する。

第2章では、システムの信頼度と稼働率を使用した信頼性最適化のための信頼度によるモデル構築方法を説明する。次に、不稼働率による通信システムのモデル構築方法を示す。これは故障の木解析 (**Fault Tree Analysis**) で使われる最小カットセットを用いて、システム不稼働率の数学モデルを構築する。

第3章では、多目的最適化問題を取り扱うための多目的 **GA** の一技法を提案する。一般に **GA** は多点探索による大域探索には優れているが、局所探索の機能は劣っている。このため厳密解法に比べ最終的に得られる解の精度が劣る可能性の問題点がある。また、**GA** は解集団のサイズ、最大世代数、交叉率、突然変異率などのパラメータを事前あるいは状況に適応して調整することが必要である。さらに、多目的最適化問題では解がパレート最適解とな

ることから目的関数間でバランス（トレードオフ）の取れた多数の解が存在する。パレート最適解を効率よく求めるためには、多目的に適した GA 技法が必要である。本論文では、多目的 GA の技法として、選択手法は改良パレート解保存戦略、局所探索は適応型スキームによる近傍探索技法、均等なパレート最適解を求めるためのシェアリング技法を提案する。さらに、多目的 GA においてパレート最適解が不明な場合の評価方法として、弓形面積、被覆率、パレート解の数、正規化したパレート解の図示を採用する。

第 4 章では、単目的信頼性最適化モデルを用いて適応型スキームによる局所探索技法を提案し、その効果を具体例で検証する。この適応型スキームとはある解が最適解の近傍にあると判断した場合、局所探索を働らかせる制御を行うことで、これは広域探索で最適解の近傍解を求め、さらに局所探索で最適解を求めるためである。局所探索は広域探索を抑える働きがあるが、この抑制を制御して局所探索の効果を発揮させるのが適応型スキームである。

第 5 章では、適応型ハイブリッド GA を用いて単目的信頼性最適化モデルによる信頼度の最適化設計を行う。ハイブリッド型遺伝的アルゴリズムを実現する適応型スキームは交叉率と突然変異率を制御する方法を提案し、数値実験によって、その有効性を検証する。

第 6 章では、多目的 GA の技法のひとつであるパレート解保存戦略、局所探索、適応型スキームによる交叉率と突然変異率の制御法を提案する。適応型スキームにはファジィ論理制御（FLC）を用いて交叉率と突然変異率を制御する方法を提案する。また、局所探索は単目的化した評価値を用いた改訂シンプレックス探索法を提案する。これらの多目的 GA の技法を多目的な信頼性最適化問題の数値実験によって、その有効性を検証する。

第 7 章では、システム不稼働率による数学モデルの構築方法を用いて通信システムの信頼性モデルを構築する。次に不稼働率と総コストを最適化の基準として、通信システムのパレート最適解を求める方法を提案し、数値実験によって多目的 GA の有効性を検証する。この多目的 GA の技法は第 3 章で提案した技法を具体化したものであり、改良パレート解保存戦略、適応型スキームを用いた局所探索技法、パレート解を均等に分散化させるシェアリング技法などである。なお、数値実験に使用する通信ネットワークモデルは、基本的な直並列接続の通信システム、ブリッジ接続の通信システム、複雑なネットワーク構成の通信システムの 3 モデルで、これらのモデルを用いて多目的 GA 技法の有効性を数値実験により検証する。

第 8 章では、多目的信頼性最適化問題に対する多目的 GA の有効性と今後の問題点について述べる。

本論文では、システムの高信頼化設計における信頼性最適化問題の解法としてハイブリッド型多目的 GA を提案した。このハイブリッド型多目的 GA を多目的信頼性最適化設計に適用し、その有効性を数値実験により検証した。

研 究 業 績

種 類 別	著者、 題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月日、 頁等
学 術 誌 原 著 論 文	<ol style="list-style-type: none"> 1. <u>Minoru Mukuda</u>, YoungSu Yun, Mitsuo Gen: Reliability Optimization Problems Using Adaptive Hybrid Genetic Algorithms, <i>Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics</i>, Vol.8, No.4, pp.437-441, 2004 2. <u>Minoru Mukuda</u>, YoungSu Yun, Mitsuo Gen: Adaptive Genetic Local Search Algorithms for Solving Reliability Optimization Problems, <i>IEEJ Trans. on Electronics, Information and Systems</i>, Vol.124, No.10, pp.1986-1990, 2004 3. 椋田實, 辻村泰寛, 玄光男: FLC 制御の遺伝的アルゴリズムによる多目的システム信頼性最適設計, <i>電気学会論文誌C</i>, Vol.125, No.4, pp.623-630, 2005
査 読 の あ る 国 際 会 議・シンポ ジウム論 文	<ol style="list-style-type: none"> 1. <u>Minoru Mukuda</u>, YoungSu Yun, Mitsuo Gen: Reliability Optimization Problems using Adaptive Hybrid Genetic Algorithms, <i>Proc. of The 4th International Symposium on Advanced Intelligent Systems</i>, pp. 183-186, Jeju, Korea, September 25-28, 2003 2. <u>Minoru Mukuda</u>, YoungSu Yun, Mitsuo Gen: Adaptive Genetic Local Search Algorithms for Solving Reliability Optimization Problems, <i>Proc. of 2003 Asia Pacific Symposium on Intelligent and Evolutionary Systems: Technology and Applications</i>, pp. 205-209, Kitakyushu, Japan, November 21-22, 2003 3. Mitsuo Gen, <u>Minoru Mukuda</u>, Masao Mukaidono: Soft Computing Approach for Reliability Design Problem: State-of-the-Art Survey, <i>Proc. of International Workshop on Reliability and its Applications</i>, pp. 3-18, Seoul, Korea, December 3-5, 2003 4. <u>Minoru Mukuda</u>, Yasuhiro Tsujimura, Mitsuo Gen: Local Search Algorithm for Multiobjective System Reliability Design, <i>Proc. of The 33rd International Conference on Computers and Industrial Engineering</i>, cie735 (6 pages), Jeju, Korea, March 25-27, 2004 5. <u>Minoru Mukuda</u>, Yasuhiro Tsujimura, Mitsuo Gen: Hybrid Genetic Algorithm for Multiobjective System Reliability Optimization Problem, <i>Proc. of The Third International Conference on Information and Management Sciences</i>, pp. 177-181, Dunhuang, China, June 5-10, 2004 6. <u>Minoru Mukuda</u>, Mitsuo Gen: Availability Optimization for Optical fiber Communication Network System by Genetic Algorithm, <i>Proc. of The Fifth Asia-Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference</i>, Papers on CD-ROM pp.32.11.1-32.11.8, Gold Coast, Australia, December 12-15, 2004

研 究 業 績

種 類 別	著者、 題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月日、 頁等
その他(国内学会・他)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 椋田實, 片山滋友, 新藤義昭, 樺澤康夫: 情報処理一斉教育システムの開発, 教育システム情報学会第 21 回全国大会予稿集, pp.119-122, 1996 2. 椋田實, 市川新: モデリングのための支援環境, 日本シミュレーション&ゲーミング学会第 8 回大会予稿集, 分冊, pp.35-38, 1996 3. 椋田實: これからの情報処理教育環境, 私立大学情報教育協会第 12 回情報センター部門研修会, 講演, 1996 4. 市川新, 椋田實, 丸茂眞一: 問題開発のためのゲーミング・システム・ダイナミックスの研究開発, 財団法人科学技術融合振興財団研究助成報告書, 全 66p, 1998 5. 椋田實, 市川新: Java による SD モデルのプログラム構造と仕組み, 日本シミュレーション&ゲーミング学会第 11 回大会予稿集, pp.68-71, 1999 6. 椋田實: プログラミング教育のための演習用プラットフォームIV, 教育工学関連学協会連合第 6 回全国大会予稿集, 第 2 分冊 pp.823-824, 2000 7. Yoshiaki Shindo, Hiroshi Matsuda, Minoru Mukuda, Masatoshi Abe: Programming Education Based on the Computer Graphics Animation Programming Training Kit: WinTK, Proc. of The 4th Global Chinese Conference on Computers in Education, Singapore, Vol.2, pp.592-597, May 29-31, 2000 8. 椋田實: 情報処理一斉教育システムの開発 (2), 教育システム情報学会第 26 回全国大会予稿集, pp.241-242, 2001 9. 片山滋友, 椋田實, 長田光平, 阿部正平, 郡千治, 宮崎卓弥, 中山克則: 視聴覚複合障害者のための指点字コミュニケーションシステム(1), 情報処理学会第 64 回全国大会予稿集, 第 4 分冊, pp.695-696, 2002 10. 阿部正平, 郡千治, 宮崎卓弥, 中山克則, 片山滋友, 椋田實, 長田光平: 視聴覚複合障害者のための指点字コミュニケーションシステム(2), 情報処理学会第 64 回全国大会予稿集, 第 4 分冊, pp.697-698, 2002 11. 柿戸英広, 椋田實: 指点字教材と学習支援装置の開発, 教育システム情報学会第 27 回全国大会予稿集, pp.63-64, 2002 12. 椋田實, 辻村泰寛, 玄光男: 多目的システム信頼性最適化のための指向性遺伝子による局所探索法, 日本経営工学会春季大会予稿集, pp.30-31, 2004
著書・他	<ol style="list-style-type: none"> 1. 椋田實, 市川新, 小島孝治: オフィスのコンピュータ教室, 槇書店, 全 216p, (1982) 2. 椋田實: はじめての C, 技術評論社, 全 263p, 1985 3. 椋田實, 佐古卓司: C プログラムテクニック, オーム社, 全 227p, 1986 4. 椋田實: C 言語 (上巻), 技術評論社, 全 294p, 1987 5. 椋田實: C 言語 (下巻), 技術評論社, 全 317p, 1988 6. 椋田實: 改訂 4 版 はじめての C, 技術評論社, 全 406p, 2001 7. 松田洋, 新藤義昭, 椋田實: プログラミング演習教材ソフトウェア WinTK, 情報教育方法研究, Vol.1, No.1, pp.31-36, 1998