

GA による NVP 設計問題の解法に関する研究

1 序論

近年の情報社会におけるソフトウェアシステムでは、非常に高い信頼度が要求されるものが増加している。

これらに対し、ソフトウェアフォールトトレランスの観点から高信頼システムの設計技術として研究されている NVP(N-Version Program) がある。NVP にコストの概念を導入し、システムの信頼度とコストの 2 点から最適化を行う問題を NVP 設計問題という。

NVP 設計問題に関する既存研究としては、Ashrafi らによる動的計画法に基づく 2 段階解法や、Levitin や山地らによる遺伝的アルゴリズムの有効性に関するものがある。

本論文では、遺伝的アルゴリズムのある 2 つの遺伝子表現において、同時に使用することで相互作用が発生し特徴的な探索が行われることを利用し、NVP 設計問題をより効率的に解く手法を提案する。

また実験として従来よりも大規模な問題数値例を作成し、本手法を適用することで、その特徴を検証する。

2 NVP 設計問題

NVP とは高信頼システムの設計技術として 1977 年に Avizenis と Chen によって提案された手法である。図 1 にその基本的な構造を示す。

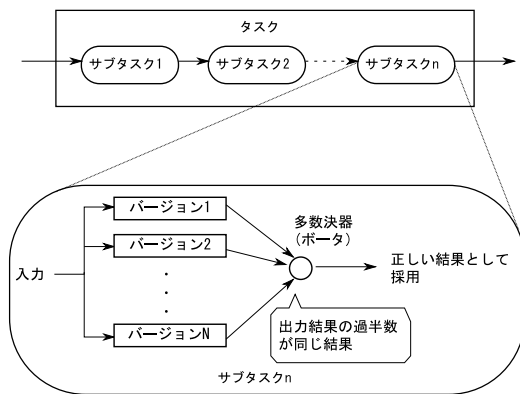


図 1: NVP の基本的な構造

通常、ソフトウェアにおけるタスクは複数のサブタスクにより構成されるが、NVP は各サブタスクごとに「同一の機能を持つが、異なる開発チームにより独立に開発された（同一仕様異実装）N 種類のソフトウェアバージョン」を持つ。これにある入力が行われると、N 種類のバージョンを同時に実行し、得られた複数の解の多数決により出力を決定する。このように、NVP はシステム設計の多様化に基づく冗長化手法であり、その出力は非常に高い信頼度を持つ。

ここで予備実験により、各バージョンに信頼度とコストを設定が設定された時、システムが許容するコストの範囲内でシステム全体の信頼度を最適化する問題を NVP 設計問題という。

3 遺伝的アルゴリズム

遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm:以下 GA) とは、Holland らにより提案された、自然界の生物の生殖、淘汰、変異などを工学的に取り入れた発見的学習手法であり、最適化問題などにおいて優れた効果を発揮するメタヒューリスティックアルゴリズムである。

実際の GA では、まず解の表現方法として遺伝子表現を決定する。これに沿ってランダムに作成された解候補に対し評価関数による評価を行い、選択、交叉、突然変異などといった遺伝的操作を繰り返し行うことによって、次第に解候補の集団を評価値の高い方向へと導くことができる。

GA は様々な問題に対し適用可能であるが、よりよい探索を行うためには、問題に合ったパラメータ、遺伝的操作を選択することが重要である。この分野は広く研究されており、今日までに様々な手法が提案されている。

異文化型島モデル

GA の持つ並列性を利用した手法に島モデルがある。島モデルは図 2 に示すように、まず解候補の集団をいくつかの部分集団に分割し、これらに独立して解の探索を行わせる。また一定条件により移住 (Migration) と呼ばれる操作を行い、部分集団間で個体の交換を行うというもので、その解は通常の GA よりも高い精度を持つことが報告されている。

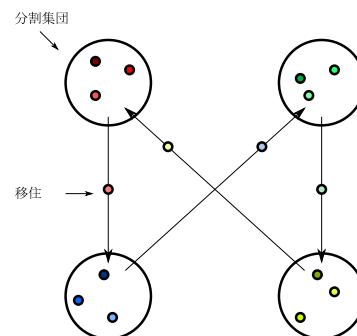


図 2: 島モデルの基本的な構造

異文化型島モデルはこの島モデルの拡張手法である。これは島モデルにおける部分集団を「成績重視の島」と「個性尊重の島」に分け、島ごとに異なる遺伝的操作を適用するというもので、単純な島モデルよりもより多様性が維持しやすくなっている。

4 NVP 設計問題への GA の適用

山地ら [1] は、NVP 設計問題への GA の適用が有効であることを示しており、例としてバイナリ表現とランダムキー表現を用いて実験を行なっている。実験の結果、バイナリ表現はランダムキー表現よりも広範囲を探索するが、問題の規模の増加やコスト制限の上昇

に伴い、コスト上限付近への未到達量が増えるので、信頼度の高い解が発生しにくいことがわかった。

またランダムキー表現では、コスト上限近傍の解が探索されるため、信頼度の高い解が発生しやすいが、逆にコスト上限から離れた区間では探索が行われなため、仮に低コスト区間にコスト上限付近の解とほぼ同じ信頼度もつ解があったとしても、探索されないことがわかった。

5 提案手法

先に述べたバイナリ表現とランダムキー表現の特徴より、両者が互いの長所を活かせるような手法を構築することで、短所を解消できる可能性があると考えた。本論文では異文化型島モデルを基に、NVP 設計問題に最適化した手法を提案する。

まず異文化型島モデルを参考に、集団を2つの島で構成することとし、「成績重視の島」をランダムキー表現によって、「個性尊重の島」をバイナリ表現によって作成する。これにより、移住操作によってランダムキー表現の島で得られた解の近傍をバイナリ表現の島に取り入れることができる。すなわち、バイナリ表現の島において高信頼度の部分空間付近を広域的に探索することができるようになるので、先に述べたランダムキー表現の問題点である、探索領域の狭さを改善することができる。またこのことは、バイナリ表現の島における個体をより高信頼度の方へと誘導し、進化の速度を促進させることにおいても有益である。

6 数値実験・検証

問題の作成

現在存在する NVP 設計問題の問題数値例として、最大規模である Levitin らによる数値例はサブタスク数7, 最大バージョン数8, 総組み合わせ数 2^{28} である。本研究ではこれを用いた数値実験を行い、提案手法が効果的に探索を行うことを示した [3]。またここでは提案手法が問題の規模の増加から受ける影響を調べるため、文献 [2] を参考にして新たに問題数値例を2つ作成した。次の表1にその設定を示す。

表 1: 実験で作成する問題例

	サブタスク数	バージョン数
問題例 1	8	7
問題例 2	3	10

実験結果

図3, 4にそれぞれ数値例1, 数値例2における既存手法と提案手法の世代ごとの信頼度の推移を示す。これらは20回の試行で現れた各手法における最大信頼度の平均であり、図の縦軸は信頼度、横軸は世代である。

図3, 4より提案手法のランダムキー表現の島が最も高い信頼度を得ていることがわかる。本来のランダムキー表現よりも個体数が少ないにも関わらず高い数値を得られているのは、移住により本来のランダムキー表現では探索できない近傍付近の解が得られるため、高信頼度かつ広範囲の探索を行うことができたためと考えられる。

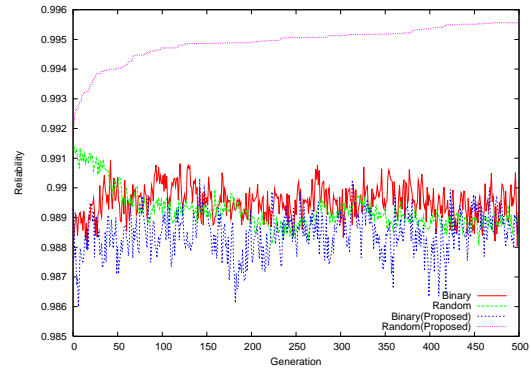


図 3: 最大信頼度の推移 1(コスト上限:134)

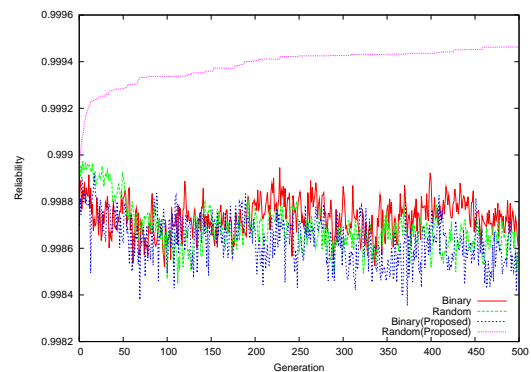


図 4: 最大信頼度の推移 2(コスト上限:99)

7 結論

本論文では異文化型島モデルを取り入れた手法を独自に作成した規模の大きい数値例に適用し、既存手法との比較実験を行った。実験ではいずれの数値例に対しても良好な結果が得られており、問題の規模が大きくなっても、提案手法が有効であることが確認できた。これは、重視する特性が異なる“文化”を、離れた“島”で進化させるというこの手法の特質が、バイナリ表現とランダムキー表現という二つの異なる側面を持つ NVP 設計問題の特質と、よく合致していた結果だと考えられる。今後の課題として、さらなる効率の向上と、計算時間の探索が挙げられる。

参考文献

- [1] 山地秀美, 山本久志, 辻村泰寛: “NVP システム設計に対する GA の適用の有効性の評価”, 日本経営工学会論文誌, Vol. 7, No. 2, pp.113–119, 2006.
- [2] 山地秀美, 山本久志, 辻村泰寛, 神林靖: “2 目的 NVP 設計問題の分岐限定法によるパレート解探索アルゴリズム”, 日本経営工学会論文誌, Vol. 58, No.1, pp45–53, 2007.
- [3] 荻野仁志, 山内 仁, 金川明弘: “NVP 設計問題への異文化型島モデルによる GA の適用”, 情報処理学会研究報告 MPS, Vol. 83, No. 15, pp.1–2, 2011.