

# 学位論文の要旨

氏名

前 菌 正 宜

学位論文題目

遺伝的プログラミングによる組合せ最適化問題の研究

本論文は、遺伝的プログラミングによる組合せ最適化問題の研究に関する結果をまとめたものである。本研究の最終的な目的は、汎用的かつ高性能な画像処理を自動的に生成するシステムの開発にある。

本研究では、遺伝的プログラミング (Genetic Programming: GP) を用いて画像フィルタを自動設計する手法を対象とし、画像フィルタの性能を向上させる手法について考察を行った。まずは、GP の基礎技術である遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm: GA) を用いて、目領域や道路標識を抽出する画像フィルタを設計する実験を行った。次に GP を用いて道路標識抽出フィルタを設計する実験を行うことによって、基本的なフィルタの組合せによる画像抽出の性能について考察した。

さらに、GP の探索性能を向上させる手法として、量子系の干渉効果を参考にした螺旋交叉に注目し、その性能に対する考察を行った。まず、巡回セールスマン問題 (Traveling Salesman Problem: TSP) を用いて GA における螺旋交叉の効果を検証し、つぎに、螺旋交叉の GP への適用手法を検討し、関数同定問題を用いて GP における螺旋交叉の効果を検証した。

第 1 章は、序論である。この章では本論文で述べる研究の背景と目的を述べた。また、本論文の構成についてもこの章で述べた。

第 2 章では、GA と GP の基本原理、および一般的な処理手順について述べた。

第 3 章では、GA を画像処理の分野に応用した手法である画像フィルタの自動設計を用いて、目領域の抽出と道路標識の抽出を行い、設計される画像フィルタの汎用性と最適なフィルタの探索性能を検証した。目領域の抽出実験では、GA によって得られた画像フィルタを未知の画像に適用し、抽出精度の汎用性を確認した。また、得られた画像フィルタの高速性を生かして動画像に対して適用し、画像フィルタの動画像に対する抽出性能が静止画像とほぼ同程度であることを確認した。道路標識の抽出実験では、抽出対象の形状・色の特徴を利用した手法を導入し、遺伝的局所探索にヒントを得た基本フィルタのパラメータ調整を用いて、さらに精度の高い画像処理設計を目指した。その結果、基本フィルタのパラメータ調整を用いることによって探索精度が向上したが、道路標識の形状を利用する円形抽出フィルタの導入による探索精度の向上は確認できなかった。

第4章では、第3章で述べたGAを用いた画像フィルタの自動設計をGPへ拡張し、道路標識を抽出する手法について述べた。個体の持つフィルタ数が多くなりやすいGPにおいてGAと同程度のフィルタ数に抑えるために、適応度へのペナルティ導入とイントロンの編集による染色体サイズの抑制を組み入れた。これに加えて、基本フィルタ内の数値パラメータの調整を行うことで、染色体サイズを抑えつつ、目的の画像処理を詳細に近似でき、処理時間も短縮できることが確認できた。

第5章では、古典的GAと量子風GAとの比較検討を行う。量子風GAは、量子系の干渉効果を模倣した干渉交叉と呼ばれる手法を従来のGA（古典的GA）の遺伝的オペレータに組み込んだものである。

ここでは、従来の研究よりも問題規模の大きいTSPを対象として、干渉交叉の対象となる親個体の選択法や局所探索を新たに導入し詳細に実験を行った。その結果、量子風GAは、最適解発見率および平均探索世代数の観点で、古典的GAに比べ優れた性能を有することを示した。さらに、局所的な探索改善を目的とする2-Opt法には、量子風GAの特徴である干渉交叉による探索世代数の削減効果をさらに向上させる効果があることを示した。

第6章では、GAにおいて量子系の干渉効果にヒントを得た交叉を螺旋交叉として、GPに導入する方式について検討した。木構造において根から1つの葉に至る主幹ノードを選択することによって木構造の染色体を一時的にリスト構造へ変換することで螺旋交叉の適用が可能となることを見出した。また、GPにおける螺旋交叉を実行するに当たって設定すべきパラメータとして、親個体の選択方法、親個体の配置方法、主幹ノードの決定方法、主幹ノードの深さを調節するダミーノードの挿入位置があることを示した。

第7章では、第6章で述べた螺旋交叉を用いたGPを関数同定問題に適用する手法について述べ、その実験結果から螺旋交叉の有効性について検討した。複数の関数について、交叉率を変更しながら実験を行った結果、一部の関数において、40%~60%の螺旋交叉率で螺旋交叉を用いることによって、関数同定の成功率を大きく改善できることを示した。また、関数同定成功までの世代数の点でも半数以上の関数で70%以下に短縮できており、探索性能が向上していることを示した。

第8章は、結論である。本論文で得た知見をまとめ、さらなる研究への指針を提起した。

以上を総じて、螺旋交叉を用いたGPの探索性能の向上、およびGAによる画像処理設計手法における各基本要素の検証を通して、GPによる画像処理設計手法の高速化、高性能化に寄与できたものと考えられる。

## 論文審査の要旨

報告番号	理工研 第 249 号	氏 名	前 藺 正 宜
審査委員	主 査	中山 茂	
	副 査	村島 定行	森 邦彦

学位論文題目            遺伝的プログラミングによる組合せ最適化問題の研究  
 (Studies on Combinatorial Optimization Problems by Genetic Programming)

### 審査要旨

提出された学位論文及び論文目録等を基に学位論文審査を実施した。本論文は遺伝的プログラミング (GP) による画像フィルタの自動設計手法の検討及び、新しい交叉方法として、螺旋交叉を用いたGPの探索性能の検討について述べたもので、全文8章より構成されている。

第1章は序論で、第2章では遺伝的アルゴリズム (GA) とGPの基本原理、および一般的な処理手順について述べている。また、第3章ではGAによる画像フィルタの自動設計手法をもちいて、目領域の抽出と円形標識の抽出を行う手法について検討している。目領域の抽出では得られた画像フィルタを未知の動画像に対しても適用可能であることを明らかにし、円形標識の抽出では基本フィルタに対するパラメータ調整によって抽出精度を改善できることを確認している。

第4章ではGPによる画像フィルタの自動設計手法をもちいた円形標識の抽出を通して、基本フィルタに対するパラメータ調整と染色体サイズの制限手法を用いることによって、染色体サイズを抑えつつ目的の画像処理を詳細に近似できることを明らかにしている。サイズの小さい染色体によって得られる画像処理は容易に構造を把握でき、新たな知見の獲得、人手によるさらなる調整が可能となる。

さらに、第5章では量子系の干渉効果を利用した干渉交叉を用いたGAについて、巡回セールスマン問題を用いて、親個体の選別法や局所探索の影響など、詳細な有効性を検討している。第6章ではGAにおける干渉交叉を螺旋交叉としてGPに適用できるよう拡張する新しい手法を提案した。主幹ノードの決定による木構造染色体の一時的なリスト構造化手法を用いることによってGPでも螺旋交叉の適用が可能となる。第7章では第6章で述べたGPにおける螺旋交叉の有効性を、関数同定問題を用いて検討した。従来の交叉が有効でないいくつかの問題において螺旋交叉を用いた場合、関数同定の成功率の上昇を確認した。また、螺旋交叉によって探索世代が短縮されることも確認した。第8章は結論を述べている。

以上、本論文は遺伝的プログラミングによる組合せ最適化問題に関する研究で自動設計画像フィルタの性能向上と螺旋交叉によるGP探索性能の向上について検討を行い、画像フィルタの精度を保ったサイズ抑制を実現し、GPにおける螺旋交叉の有効性を明らかにした。これはGPによる画像フィルタ自動設計手法の高速化、高性能化に大きく寄与する。

よって、審査委員会は学位 (博士) の学位論文として合格と判定する。

## 最終試験結果の要旨

報告番号	理工研 第 249 号	氏 名	前菌 正宜
審査委員	主 査	中山 茂	
	副 査	村島 定行	森 邦彦
<p>主査及び副査2名で構成される審査委員会は、平成19年2月6日に学位申請者「前菌 正宜」に対して、論文の内容について説明を求めた。これに引き続き、参加者を含めて質疑応答を行うとともに、関連事項について諮問を以下に行った結果、いずれに対しても満足すべき回答が得られた。</p> <p>主な質疑応答は、以下の通りであった。</p> <p>質問1：目領域の抽出について、GAによって得られた画像フィルタに後処理を追加して抽出を行っているが、本来は後処理も含めたフィルタをGAによって設計させるべきではないか。</p> <p>回答1：目領域抽出を目的として実験を行ったが、得られたフィルタは目領域を特徴的に強調するものであった。強調された特徴を利用すれば後処理の追加によって容易に目領域が抽出可能となった。また、GAの染色体数を増やし、後処理に追加した各処理も基本フィルタとして加えれば、後処理を追加した抽出フィルタに近い物が得られると予想できる。</p> <p>質問2：GPにおける螺旋交叉の実験において、螺旋交叉率100%で探索性能が著しく低下するような性質を見てみると、螺旋交叉は交叉というより、むしろ突然変異に近いのではないか。</p> <p>回答2：螺旋交叉は複数の親からそれぞれの遺伝子座の遺伝子を受け継ぐため、処理手順の面からいえば交叉に近いといえる。螺旋交叉による探索性能への影響を見てみると、突然変異に近い影響の与え方をしている。</p> <p>質問3：GPによる画像フィルタ自動設計の実験において、個体の評価に染色体サイズに対するペナルティの重みについて比較検討しているが、比較基準として用いている適応度にはペナルティが含まれているのか。</p> <p>回答3：適応度は画像の一致度のみを用いたものでペナルティは含まれていない。</p> <p>質問4：GPにおける実験において非機能的部分解の除去とせず、編集とした理由は何か。また、非機能的部分解の編集はどの程度の頻度で行われているか。</p> <p>回答4：非機能的な部分解を除去する処理と、単調な入力画像に置き換える処理があるため、まとめて編集とした。200個体、1000世代の実験において、原画像の情報を完全に喪失する非機能的部分解1が3864。3回、入力画像と出力画像に違いが無い非機能的部分解2が19。8回編集されている。</p> <p>質問5：非機能的部分解はどのようにしてチェックしているか。</p> <p>回答5：非機能的部分解1は各ノードの出力画像をチェックし、原画像の情報を完全に喪失している出力をするノードのうち最上階層のノードを根とした部分木を編集対象とする。非機能的部分解2はまず、あるノード1をランダムに決定し、ノード1の出力画像と、ノード1を根とする部分木からランダムに選択したノード2の出力画像を比較することによって、入力・出力画像に変化のない部分木を発見する。この処理はノード1を10回選択し、各ノード1に対してノード2を1回選択する。</p> <p>質問6：非機能的部分解の探索は全探索を行った場合に比べてどれくらい有効に行われているか。</p> <p>回答6：非機能的部分解を全探索したデータがないのでわからないが、非機能的部分解の編集回数がある程度あることや、進化時間・進化後の染色体サイズが大幅に減少していることから、非機能的部分解の編集はある程度有効に行われている。</p> <p>など約17の質問に対して的確に答えた。</p> <p>以上の結果を受け、上記審査委員会は全員一致で、学位申請者は、大学院博士後期課程の修了者としての学力ならびに見識を十分に有するものと判断し、博士（工学）の学位を与えるに足る資格を持つと認めた。</p>			