

博士論文審査結果報告書

論 文 題 目

Study on Probabilistic Model Building
Genetic Network Programming

申 請 者

Xianneng LI

情報生産システム工学専攻
ニューロコンピューティング研究

2013 年 1 月

有向グラフ構造をもつ GNP は、最近日本で提案された進化論的アルゴリズムであり、①部分観測マルコフプロセスを容易に実現できる、②判定ノードおよび処理ノードの重複利用が可能のためコンパクトな解を生成できる、③ノード遷移を活用するためメモリ機構を有しているなどの特徴をもっている。そのため、アルゴリズムとしては進化と学習との融合、ファジィ論理の導入など、また、応用としてはデータマイニング、株式売買のタイミングの決定、エレベータ群管理、道路交通流の予測、オークションモデルの構築などに展開されている。

本論文は、GNP のモデルの拡張に関するものである。進化論的アルゴリズムは、有効な部分解の集合 (**Building Blocks, BBs**) を進化により発見し再結合することによって最適化が実現できるという **Building Blocks Hypothesis(BBH)**に基づいている。このため通常の進化論的アルゴリズムでは、最適化を選択と交叉および突然変異で行う手法を採用している。ところが、この手法では有効な BBs を破壊する可能性があり、他の優れたアルゴリズムの開発が求められていた。

一つの手法は、選択は行うが交叉と突然変異は行わず、次世代の個体の生成を確率モデルを使用して行う手法である。確率モデルを遺伝的アルゴリズム (GA) や遺伝的プログラミング (GP) に展開する研究はすでに行われているが、確率モデルの構築が不十分であり、また、応用も簡単なベンチマーク問題に限られていた。

本論文では、確率モデルを使用した GNP の新しい進化論的アルゴリズムを提案し評価している。具体的には、有向グラフ遺伝子を持つ GNP に適した基本確率モデル、**Diversity Loss(DL)**に関する理論解析とそれに基づく **Hybrid** 確率モデル、良い個体のみならず悪い個体を利用した **GoodBad** 確率モデル、強化学習を伴う **Reinforced** 確率モデル、連続パラメータの取り扱いが可能な **Continuous** 確率モデルを提案し、データマイニングによる交通流予測問題、**Khepera** ロボットの制御問題およびタイルワールドベンチマーク問題により、これらのモデルの有効性を検証している。

第 1 章では、古典的確率モデルを解説し、確率モデルが有向グラフ遺伝子を持つ GNP の性能向上にとって有効であるという着想に至った経緯および期待できる効果を従来方式と比較しながら述べ、本論文の内容を要約している。

第 2 章では、有向グラフ遺伝子を持つ GNP に適した基本確率モデルを提案し、これを GNP ベースのクラス相関ルールの抽出に利用し、分類問題により評価している。はじめに、ストリング構造遺伝子を持つ GA や木構造遺伝子を持つ GP とは異なり、有向グラフ遺伝子を持つ GNP では、ノードのブランチから他のノードへの接続確率を確率モデルとする新しい方式を提案している。また、GNP の接続確率は良い個体のノード間の接続状態のみならず、良い個体のノード間の遷移回数を考慮して計算できるため、遺伝子内部構造の利用率を使用した確率計算

が可能になることを示している。

シミュレーションでは、基本確率モデルを使用した GNP からクラス相関ルールを抽出し道路交通流を予測する問題および UCI 分類ベンチマーク問題に適用したところ、基本確率モデルを使用しない手法に比較し、基本確率モデルでは、ルール抽出効率が約 50%、分類精度が約 1%向上することを明らかにしている。

第 3 章では、進化の探索(Exploration)に重要な DL に関する理論的検討を行い、GA や GP に比較して GNP は進化のプロセスで Diversity が減少し局所解に陥りやすいことを明らかにしている。また、この検討結果を利用して、複数の確率モデルを構築しこれらの中で交叉と突然変異を行う Hybrid 確率モデルを提案し評価している。

シミュレーションでは、壁伝い制御を行う Khepera ロボットの人工脳を Hybrid 確率モデル、基本確率モデルおよび GNP を使用して実現し比較評価を行っている。ロボットが壁伝いに移動した正規化距離を適合度として評価を行った結果、確率モデルでは適合度の改善が困難な比較的個体数が小さい(300 個)場合、Hybrid 確率モデル、基本確率モデルおよび GNP の適合度は、それぞれ、0.68, 0.34, 0.66 であった。これにより、Hybrid 確率モデルは、比較的個体数が小さい場合に基本確率モデルを約 100%改善できることを明らかにしている。

第 4 章では、確率モデルを構築する際に良い個体のみならず悪い個体を利用する GoodBad 確率モデルを提案し評価している。基本的考え方は、GNP のノードのブランチを状態およびその接続ノードを行動とする Q 値を Sarsa 学習により GNP の進化と同時に求め、悪い個体であっても Q 値が高い{状態・行動}対は確率計算に利用する方式である。換言すると、確率計算に当たり GNP 個体全体の評価のみでなく GNP 個体の内部構造の評価をも行って、確率計算の精度を高めている点に特徴がある。

GoodBad 確率モデルの評価は、第 3 章と同じ壁伝い Khepera ロボットの制御問題を使用して行った。基本確率モデルが DL の点で不利とならぬように個体数を比較的大きな 2000 個とし、GoodBad 確率モデル、基本確率モデルおよび GNP の適合度の評価を行った結果、それぞれ、0.68, 0.68, 0.66 となり大きな差は見られなかった。しかし、適合度が収束するまでの適合度評価回数は、それぞれ、117,907 回, 158,800 回, 211,833 回であり GoodBad 確率モデルが解の収束性の点で基本確率モデルより約 26%優れていることを明らかにしている。

第 5 章では、第 4 章で求めた Q 値をボルツマン分布の変数として確率計算に利用する Reinforced 確率モデルを提案し評価している。この方式では、接続の良否を表す Q 値の伝搬が GNP のノード遷移により行われるため、第 2 章で提案した基本確率モデルでは不可能な複雑な現象を取り扱える多重確率モデルの計算が陰

に可能になることを示している。

シミュレーションでは、できるだけ多くのタイルをできるだけ短時間にホールに落とすタイルワールドベンチマーク問題を取り上げ、エージェントの人工脳を Reinforced 確率モデル、基本確率モデルおよび GNP を使用して実現し評価している。落としたタイル数やタイルをホールに近づけた距離などから構成される適合度により上記モデルを評価した結果、それぞれの適合度が、4820, 4384, 4171 となり、Reinforced 確率モデルが基本確率モデルより約 10%優れていることを明らかにしている。

第 6 章では、確率モデルの進化と同時にモデルの中に含まれる連続パラメータの最適化を学習により行う Continuous 確率モデルを提案し評価している。具体的には、連続パラメータをガウス分布で実現しガウス分布の平均と分散を Actor-Critic で学習する方式を提案し、第 3 章と同じ壁伝い Khepera ロボットの制御問題により評価している。なお、連続パラメータは GNP の判定ノードで使用される Khepera ロボットの環境認識センサの閾値と GNP の処理ノードで使用される車輪の速度である。個体数を比較的大きな 2000 個とし、Continuous 確率モデル、Reinforced 確率モデル、GNP の適合度および適合度が収束するまでの適合度評価回数を調べている。その結果、適合度がそれぞれ 0.79, 0.76, 0.66, また、適合度評価回数が 73,100 回, 98,500 回, 211,833 回となり Continuous 確率モデルが他のモデルより優れていることを明らかにしている。

第 7 章では、本論文で提案し評価を行った GNP ベースの確率モデルを使用した新しい進化論的アルゴリズムの研究成果を総括している。

以上、本論文では、交叉および突然変異を使用せずに GNP を進化させる各種の確率モデルを提案し、データマイニングによる交通流予測問題、Khepera ロボットの制御問題およびタイルワールドベンチマーク問題により確率モデルの有効性を検証している。従って、進化論的アルゴリズムの確率モデルの性能向上とその応用拡大に寄与するところが大きい。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。

2012 年 12 月 21 日

主査	早稲田大学	教授	博士(情報工学)	(九州工業大学)	古月敬之
	早稲田大学	教授	工学博士	(早稲田大学)	吉江修
	早稲田大学	教授	博士(工学)	(早稲田大学)	藤村茂
	早稲田大学	名誉教授	工学博士	(九州大学)	平澤宏太郎