



Artificial evolution on fitness landscapes with neutral networks

Katada, Yoshiaki

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2004-09-30

(Date of Publication)

2013-03-26

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲3202

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1003202>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



【 263 】

氏 名・(本 籍)	片田 喜章	(大阪府)
博士の専攻分野の名称	博士(工学)	
学 位 記 番 号	博い第344号	
学位授与の 要 件	学位規則第5条第1項該当	
学位授与の 日 付	平成16年9月30日	

【 学位論文題目 】

Artificial Evolution on Fitness Landscapes with Neutral
Networks
(Neutral Networksを含む適応度景観における人工進化)

審 査 委 員

主 査	教 授	田 浦	俊 春
	教 授	小 島	史 男
	教 授	澤 井	秀 文
	教 授	上 田	完 次
	助 教 授	大 倉	和 博

Neutral networks, which occur in fitness landscapes containing neighboring points of equal fitness, have attracted much research interest in the evolutionary computation community in recent years. Although around ten years have passed since the importance of neutral networks was pointed out, the progress in this research field is stagnating due to the difficulties of applying the traditional theories of artificial evolution. Therefore, several researchers have been attempting to develop new theories of artificial evolution on fitness landscapes with neutral networks. Following these research trends, this thesis has established some theoretical guidelines of artificial evolution on fitness landscapes with neutral networks.

Chapter 1 introduced the theoretical background of neutral networks and pointed out the intrinsic problems arising from them. Then, the approaches in this thesis to these problems were shown. Finally, the outline of this thesis was described.

Chapter 2 investigated the evolutionary dynamics of GAs in the simple test function and complex test functions, where their fitness landscapes includes neutral networks. Two types of GA were used. One is the standard GA, which employs a constant mutation rate strategy and the other is the operon-GA, which employs a variable mutation rate strategy. A simple test function, called the Balance Beam Function was defined for examining the effect of selection pressure and the variable mutation rate strategy on the evolutionary dynamics in it. The results demonstrate that speed has an optimal mutation rate and an error threshold since plotting speed against mutation rate results in a concave curve. The variable mutation rate strategy of the operon-GA improved the efficiency of the search. In order to investigate whether the results in the simple test function generalize to more complex functions, the terraced NK landscape incorporating both neutrality and ruggedness was introduced. In this function, the standard GA prefers low selection pressure while the operon-GA prefers high selection pressure. It is found that the variable mutation rate strategy is also beneficial with this more complex test function, and that these benefits increase as the fitness landscape becomes more rugged.

Chapter 3 introduced the second main direction of this thesis, describing the fitness landscape with neutral networks. The Nei's standard genetic distance, which originates from population genetics, was proposed after minor modifications and then the characteristics of it were investigated in tunably neutral landscapes. The results suggest that the genetic distance can provide a guideline for estimating the degree of neutrality in fitness landscapes combined with the measure of ruggedness. It was also

confirmed that the results were consistent with the neutral theory and the nearly neutral theory in population genetics.

Chapter 4 explored how well the results obtained in the previous chapters apply to the real-world problems: a discrimination problem, a pursuit problem and a goal reach problem. The Nei's genetic distance was used to estimate and compare the degree of neutrality in the fitness landscapes. By using the features of the fitness landscape of a test function as baselines, the proposed method can estimate and compare indirectly the features of the fitness landscape of the EANNs. According to the obtained features of the fitness landscapes, the standard GA and the operon-GA were applied to these problems. They do show phases of neutral evolution for each run, which are consistent with the description of the fitness landscapes. The standard GA with low selection pressure and the operon-GA were able to continually find better regions of the search space. But the standard GA can easily get trapped on local optima under conditions of high selection pressure and a low mutation rate. The benefits of the variable mutation rate strategy used by the operon-GA were more pronounced as the ruggedness of the landscapes increases or with a larger genotypic search space. These results are consistent with the results obtained using simple neutral networks and terraced NK landscapes. The best evolved controllers of the neural networks by the operon-GA showed more efficient behavior for each problem than the ones by the standard GA. In the goal reach problem, the best evolved controllers of the neural networks in the simulation were evaluated in the real environment, then successfully accomplished their task.

From these results, it can be concluded that this thesis has established the theoretical guidelines of artificial evolution on the fitness landscapes with neutral networks and they can be successfully applied to real-world problems.

氏名	片田 喜章		
論文 題目	Artificial Evolution on Fitness Landscapes with Neutral Networks (Neutral Networks を含む適応度景観における人工進化)		
審査 委員	区分	職名	氏名
	主査	教授	田浦 俊春
	副査	教授	小島 史男
	副査	教授	澤井 秀文
	副査	教授	上田 完次
	副査	助教授	大倉 和博

要旨

進化ロボティクスにおけるニューラルコントローラや進化型ハードウェアなどに代表されるように、伝統的な遺伝的アルゴリズム(GA)の考え方に基づくとGAが有効に働きにくい問題領域が存在する。一般に、これらの問題では、遺伝子型-表現型写像または表現型-適応度写像が冗長になり、適応度景観では台地状のneutral networksが非常に多く含まれるようになるという共通の特徴を持つ。このような問題では、従来型のスキーマ定理を源とする理論体系は適用しにくくなるため、新しい理論体系を構築する流れが出て来ている。

これを背景に、本論文は、(1) neutral networksを含む適応度景観におけるGAの進化ダイナミクスの解析手法の構築、(2) 適応度景観の特徴量であるneutralityを推定する手法の提案、という二本の柱から、(3) テスト問題を用いた考察・工学的実問題における検証を行って、新しい人工進合理論体系の構築を目的としている。

この二本の柱は、以下のようにまとめられる。

(1) 適応度景観にneutral networksを含む問題では、適応度空間では探索集団は収束するようになるものの、遺伝子型空間では準種と呼ばれるクラスターを形成して移動し続け、より適応度の高いneutral networkを発見していくプロセスを永続的に繰り返す。この進化的探索の効率化のためには、集団の移動速度を上げること、すなわち、突然変異率を高く設定する必要があるが、それには上限値error thresholdがある。また、error thresholdはneutral network毎に異なるため、一定突然変異率を採用するGAでは、そのうちの最も低い突然変異率に設定する必要がある。また、実問題ではneutralityだけでなくruggednessを同時に含む。このような問題においては、低い一定突然変異率では個体集団は往々にして局所解に陥ってしまう。この問題に対する本論文のアプローチとして、可変突然変異率を採用するGAの適用を試みている。なお、neutral networksを含む問題におけるruggednessによる局所解収束の問題を指摘する研究はいくつか見られるが、本論文では、さらに踏み込んで、進化ダイナミクスを調べて効果的なGAの適用にまで言及している。

(2) GA研究分野では、neutralityを推定する方法として、全世代の探索集団における親と子の適応度の差を調べ、それが等しい割合をneutralityと定義する手法が提案されている。しかしながら、実数値で評価する場合や実問題でノイズが付加される場合など、等しいとして取り扱う適応度の差をどのように設定するかという問題が生じ、neutralityを適切に推定できてはいない。そこで、本論文では、適応度からではなく集団の遺伝距離からneutralityを推定する手法を提案している。さらに、ruggednessを推定する手法と併用することで、テスト問題・工学的実問題の両方においてneutralityを推定することができることを示している。

本論文の各章は以下のように要約される。

第1章では、本論文の背景と目的、および論文全体の構成を示している。

第2章では、neutral networksに関する二種類のテスト関数を用いて、GAの進化ダイナミクスに関して実験的考察を行っている。まず、neutralityを含むテスト関数において、二つのGAを用いて考察を行っている。一つは、従来、GA研究分野で提案され、広く使用されている一定突然変異率を採用するSimple GA(以下SGA)であり、もう一つは可変突然変異率を採用するOperon GA(以下OGA)である。neutral network上の個体集団の探索速度に関して最適突然変異率が存在し、かつ、error thresholdが存在すること、および、OGAの探索速度がSGAを上回っていることを計算機実験により確認している。また、個体集団の探索速度は選択圧と強い相関があることも確認している。次にneutralityだけでなくruggednessを同時に

氏名	片田 喜章		
氏名	片田 喜章		
含むテスト問題においてruggednessの大きさによって現れるGAの進化ダイナミクスの差について考察している。本実験でも、強い選択圧を用いたSGAでは局所解に収束することが確認している。また、SGAにおいて推奨されている弱い選択圧を用いた場合はある程度良いパフォーマンスを示すものの、OGAはさらに良いパフォーマンスを示し、ruggednessが大きくなるにつれ、その差は拡大していくことを確認している。			
第3章では、neutralityを推定する手法を提案している。この手法は、集団遺伝学で提案されている根井の標準遺伝距離を人工進化に適用できるように拡張したものである。第2章で用いたneutralityとruggednessを調整可能なテスト問題において、ruggednessを推定する他の手法と併用することで提案手法がneutralityを推定する手法として有効であることを示している。また、遺伝距離から計算された遺伝子置換率に見られるneutralityおよびruggednessの影響は、分子進化の中立説で記述されている遺伝子置換率に対する影響と整合性が取れたものであることが示されている。			
第4章では、第2章・第3章で得られた知見を、工学的実問題である進化ロボティクス問題、すなわち、自律エージェントのコントローラである人工神経回路網を進化アルゴリズムによって設計する問題において検証している。具体的問題例として、(1)運動パターン識別問題(コンピュータシミュレーション)、(2)追跡問題(コンピュータシミュレーション)、(3)目標物到達問題(実機実験)を行っている。問題例(1)に対して、第3章で提案した根井の標準遺伝距離を実問題に適用し、テスト問題で得られている特徴量を基準とすることで、実問題のneutralityを推定することが可能であることを示している。問題例(2)に対しては、問題例(1)に比較してruggednessが大きいくこと、また、人工神経回路網の中間ノード数によって、適応度景観の特徴量が大きく変化することなどを指摘している。また、根井の標準遺伝距離を適用することで得られた特徴量をもとに、SGAおよびOGAのパラメータチューニングを行い、パフォーマンスの変化を調べている。強い選択圧を用いたSGAでは局所解に収束してしまうことを指摘するとともに、OGAでは局所解に陥ることなく良い解を探索し続け、最終世代における適応度はSGAの適応度に比べ非常に高く、明らかに良いパフォーマンスを示すことを確認している。弱い選択圧を用いたSGAでは局所解に陥ることなく探索を続けることができるが、その効率はOGAの効率に対し明らかに劣ることも確認している。これらの進化ダイナミクスは第2章においてテスト問題で得られたダイナミクスと整合性の取れたものとなっており、本論文で提案する理論が実問題でも有効であることを確認している。問題例(3)においても、提案する理論に基づいて設計した人工神経回路網を搭載した自律移動ロボットが、実環境において与えられたタスクの達成をできることを確認している。			
以上のように、本研究は、適応度景観にneutral networksを含む問題において進化アルゴリズムを適用する際に進化的探索の振る舞い調整が大きな課題であることを指摘するとともに、適応度景観の推定手法とそれらをもとにした進化アルゴリズムの選定という流れを構築し、工学的実問題に適用して提案手法の有効性を検証したものであり、適応度景観にneutral networksを含む問題における進化アルゴリズムについて重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認める。よって学位申請者の片田喜章は博士(工学)の学位を得る資格があると認める。			