

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19500192
 研究課題名（和文） 構造進化型人工神経回路網による進化ロボティクスのための人工脳の構築に関する研究
 研究課題名（英文） Building artificial brains for evolutionary robotics based on topology and weight evolving artificial neural networks
 研究代表者
 大倉 和博（KAZUHIRO OHKURA）
 広島大学・大学院工学研究科・教授
 研究者番号：40252788

研究成果の概要：

本研究では、進化ロボティクス・アプローチに基づいて知的人工物に搭載すべき人工脳を構築するための基盤技術を構築する。すなわち、進化型人工神経回路網の理論を大きく飛躍させ、その実現へ向けたマイルストーンを発見するために、(1) 人工神経回路網の大規模構造進化のための方法論の構築、および、(2) 人工進化に十分な計算機資源を供給可能にするための進化ロボティクス用計算グリッドの広域化・大規模化を行った。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2008 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：進化ロボティクス，人工脳，進化型人工神経回路網，計算グリッド

1. 研究開始当初の背景

生物のような環境適応行動を人工物にもさせようとするパラダイムは、1948 年ウィナーのサイバネティクスに始まったとも言える。これを継承してきた分野は1990年代に“人工生命”と呼ばれ盛んに脚光を浴びたが、21世紀を待たずして衰退した。いまだに人工生命は何であったのかという問題に議論は止まないが、研究代表者は、当時、人工生命を支える自律化技術が未熟で、人工生命を提唱した Langton(1987) の言う“あり得る生命”が期待したホメオスタシスをシステム内に創発させるにいたらなかったためでは

ないかと分析している。それゆえ、今、取り組むべき最重要課題はこの“自律化”技術であり、人工物に搭載される人工脳の構築に必須であると認識している。

2. 研究の目的

研究代表者は、この進化型人工神経回路網分野を人工物に搭載される人工脳を構築するための基盤技術として大きく飛躍させるために、主として次の二つの論点に対する技術開拓が必要であると考えている。

(1) 永続的人工進化論の確立

自然生物のように、人工物も常に環境適応能力を持ち続けることができる機能を実現する必要がある。そのためには、自然進化が永続的であるように人工進化も永続的である理論が欲しい。ところが、これまで人工進化分野では、最後には探索点集団がほぼ一点に収束して進化的探索を終了すると説明され理論が構築されてきた。端的には、この支柱であるスキーマ定理 (Holland 1975) や積木仮説 (Goldberg 1989) に見ることができる。しかし、これでは人工物の自律化に必須の永続的人工進化は望めないため、新しい人工進化理論を構築する必要がある。

(2) 進化ロボティクス用計算グリッド・インフラの基盤技術の確立

進化ロボティクス (ER) では、人工神経回路網の進化をコンピュータ・シミュレーションで行い、その実行結果をロボット実機に搭載するサセックス・アプローチを取るのが一般であるが、これには非常に大きな計算量が必要になる。これまでよく行われている対処法は、計算量の削減をはかるために、問題設定から得られる知識をできるだけ埋め込み、必要となる進化的探索の問題規模を小さく抑えることが行われて来た。しかし、これでは進化可能性を低下させてしまうことを同義であり、本来の目的に対し逆行している。そのため、自律適応能力を十分発揮できるように問題規模は大きいままとし、そのかわり、できるだけ潤沢な計算資源を提供するアプローチを取る。そのため、ER専用の大規模な計算グリッド・インフラを構築する必要がある。

3. 研究の方法

これらの背景と目的に基づき、本研究では、以下に示すような展開を図る。

(1) 人工神経回路網の大規模構造進化

構造進化型人工神経回路網の手法の代表的なものに NEAT がある。これと研究代表者が提案している MBEANN と比較すると、NEAT ほど極端ではないものの、MBEANN でも複雑な構造進化が得られない傾向を示している。この状況を乗り越えるために、MBEANN に更に生物学的知見を盛り込む。第一に、分子進化の中立説における第 4 の主張“新しい機能を持つ遺伝子の出現には、常に遺伝子の重複が先行する”の導入を容易にするために自然淘汰に中立的な新しい構造進化機構を導入する、これにより効果的に大規模人工神経回路網

が生成できる。第二に、Watts (1998) が線虫の神経回路はスモール・ワールドである指摘していることから、人工神経回路網の構造進化もスモール・ワールドになるように進化機構を準備する。

(2) ER 用計算グリッドの広域化

大規模に潤沢な計算機資源を得るために、広域にまたがる計算グリッド環境を想定し、分散進化計算モデルを効率的に行うスケジューリング・アルゴリズムを構築する。一般に、広域環境では、計算資源が大規模で魅力的だが粗悪、すなわち、一時的にネットから外れたり大幅な通信遅延が発生したりすることがしばしばある。そのため、このような状況下でも計算資源を有効に活用できる進化型計算モデルを構築する必要がある。本研究では、従来の分散進化計算の島モデルで確率的に島が浮き沈みして見え隠れする状況下で有効に働く新しい適応的自然淘汰スキームを開発する。

4. 研究成果

研究の実施成果として次に示す事柄を得た。

- (1) 十分な進化計算量を与えると、構造進化型人工神経回路網は、従来よく用いられてきた FF 型人工神経回路網よりも、明らかに高い汎化能力を示すことができることが分かった。特に、難易度を調整しやすいマルチロボットシステムによる協調荷押し問題では、進化可能性が増大した構造が獲得される結果、自律的機能分化の発現が容易になり、提案手法が人工脳構築モデルとして相応しいことを検証できた。また、実機ロボットによる実験にも成功した。
- (2) ER 用計算グリッド・システムを広域な大規模グリッドに対応可能なように改良した。そして、同期待ち時間が必ず生じる隔世代モデルに加え連続世代モデルも取り扱える新しいタスクスケジューリング法を導入した新システムを構築し、その有効性を検証した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 23 件)

1. 松村嘉之, 大倉和博, 藤本典幸, “進化計算のためのグリッドコンピューティング

- ”, システム制御情報学会論文集, Vol. 21, No. 10, pp. 382--389 (2008) (査読有)
2. 松村嘉之, 大倉和博, “インフォーマル・リーダーによる情報共有に基づく作業改善が集団業績向上に及ぼす影響”, 日本知能情報ファジイ学会論文誌知能と情報, Vol. 20, No. 6, pp. 972--980 (2008) (査読有)
 3. 保田俊行, 大倉和博, “実例に基づく強化学習法BRLにおける行動空間の分割法の改良 (第1報, 移動ロボットのナビゲーション問題による検証)”, 日本機械学会論文集C編, Vol. 74, No. 747, pp. 2747--2754 (2008) (査読有)
 4. Toshiyuki Yasuda, Tomoya Matsuda, Yuichi Kawamatsu, Yoshiyuki Matsumura and Kazuhiro Ohkura, “Autonomous Specialization in a Multi-Robot System based on Artificial Evolution”, Proceedings of the 5th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence, pp. 108--113 (2008) (査読有)
 5. Kazuhiro Ohkura, Yoshiyuki Matsumura, Toshiyuki Yasuda and Tomoya Matsuda, “Evolutionary Robotics Approach to Autonomous Task Allocation for a Multi-Robot System”, Proceedings of Artificial Neural Networks in Engineering 2008, Intelligent Engineering Systems Through Artificial Neural Networks, Vol. 18, pp. 121--128, ASME Press (2008) (査読有)
 6. Chunshi Feng, Yoshiyuki Matsumura, Takahiro Hamashima, Kazuhiro Ohkura and Shuang Cong, “Hybrid Optimization based on Fast Evolution Strategies and Particle Swarm Optimization”, Proceedings of the 3rd International Conference on Bioinspired Optimization Methods and their Applications, pp. 29--39 (2008) (査読有)
 7. Yoshiyuki Matsumura, Masaki Matsuda, Masashi Oiso, Kazuhiro Ohkura and Noriyuki Fujimoto, “Application of Grid Task Scheduling Algorithm to Evolutionary Multi-robotics Problems”, Proceedings of World Automation Congress 2008, IFMIP-333 (2008) (査読有)
 8. Kazuhiro Ohkura, Tomoya Matsuda, Toshiyuki Yasuda and Yoshiyuki Matsumura, “Swarm Robot Control by Evolving Artificial Neural Networks with Small World Topologies”, Proceedings of Joint 4th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 9th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, pp. 1888--1893 (2008) (査読有)
 9. Chunshi Feng, Yoshiyuki Matsumura, Takahiro Hamashima, Kazuhiro Ohkura and Shuang Cong, “Hybrid Optimization Based on (μ , λ)-Evolution Strategies and Particle Swarm Intelligence”, Proceedings of Joint 4th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 9th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, pp. 849--854 (2008) (査読有)
 10. Takahiro Hamashima, Yoshiyuki Matsumura, Chunshi Feng, Kazuhiro Ohkura and Shuang Cong, “Hybrid Optimization based on Evolution Strategies and Particle Swarm Optimization”, Proceedings of China-Japan Joint Conference on Mechatronics, pp. 104--105 (2008) (査読有)
 11. Toshiyuki Yasuda and Kazuhiro Ohkura, “Reinforcement Learning Technique with an Adaptive Action Generator for a Multi-Robot System”, Proceedings of From Animals to Animats 10, the 10th International Conference on Simulation of Adaptive Behavior, LNCS5040, pp. 250--259 (2008) (査読有)
 12. Masashi Oiso, Yoshiyuki Matsumura, Kazuhiro Ohkura and Noriyuki Fujimoto, “Application of Grid Task Scheduling Algorithm R3Q to Evolutionary Multi-robotics Problem”, Proceedings of 2008 IEEE Congress on Evolutionary Computation, pp. 1520--1527 (2008) (査読有)
 13. 片田喜章, 大倉和博, “ニュートラルネットワークを含む適応度景観における遺伝的アルゴリズムの進化ダイナミクス -- 進化ロボティクスでの検証”, システム制御情報学会論文誌, Vol. 21, No. 2, pp. 31--39 (2008) (査読有)
 14. 保田俊行, 大倉和博, “確率ネットワークを用いた強化学習ロボットの獲得戦略の保存と利用”, 日本機械学会論文集C編,

- Vol. 73, No. 736, pp. 3212--3219 (2007)
(査読有)
15. 伍賀正典, 大倉和博, "生態学的手法を用いたマルチエージェントシステムの解析に関する研究", システム制御情報学会論文誌, Vol. 20. No. 5, pp. 216--223 (2007) (査読有)
 16. Yoshiyuki Matsumura, Masashi Oiso, Kazuhiro Ohkura, Noriyuki Fujimoto, Kenichi Hagihara, Jeremy Wyatt and Xin Yao, "Grid Task Scheduling Algorithms R3Q for Evolving Artificial Neural Networks", Proceedings of 1st International Conference on Cognitive Neurodynamics (2007) (査読有)
 17. Masanori Goka, Kazuhiro Ohkura and Kanji Ueda, "Coordinating Collective Behavior in a Multi-Robot System using Evolving Artificial Neural Networks", Proceedings of the 11th Asia-Pacific Workshop on Intelligent and Evolutionary Systems, S6-2 (2007) (査読有)
 18. Yoshiyuki Matsumura, Kazuhiro Ohkura, Yoshiki Matsuura, Masashi Oiso, Noriyuki Fujimoto, Kenichi Hagihara, "Grid Task Scheduling Algorithm R3Q for Evolution Strategies", Proceedings of 2007 IEEE Congress on Evolutionary Computation, pp. 1756--1763 (2007) (査読有)
 19. Yoshiyuki Matsumura, Masashi Oiso, Masaki Matsuda, Noriyuki Fujimoto, Kenichi Hagihara, Kazuhiro Ohkura, Jeremy Wyatt and Xin Yao, "Application of Grid Task Scheduling Algorithms RR to Medium-grained Evolution Strategies", Proceedings of the 3rd International Conference on Natural Computation, pp. 223--227 (2007) (査読有)
 20. Kazuhiro Ohkura, Toshiyuki Yasuda, Yuichi Kawamatsu, Yoshiyuki Matsumura, Kanji Ueda, "MBEANN: Mutation-Based Evolving Artificial Neural Networks", F. A. e Costa, L. M. Rocha, E. Costa, I. Harvey, A. Colutinho (Eds.), Advances in Artificial Life, Proceedings of the 9th European Conference on Artificial Life, LNAI4648, pp. 936--945 (2007) (査読有)
 21. Toshiyuki Yasuda and Kazuhiro Ohkura, "Improving Search Efficiency in the Action Space of an Instance-Based Reinforcement Learning", F. A. e Costa, L. M. Rocha, E. Costa, I. Harvey, A. Colutinho (Eds.), Advances in Artificial Life, Proceedings of the 9th European Conference on Artificial Life, LNAI4648, pp. 325--334 (2007) (査読有)
 22. Masaki Matsuda, Yoshiyuki Matsumura, Kazuhiro Ohkura, Noriyuki Fujimoto and Kenichi Hagihara, "Evolution Strategies on Grid Computing using Task Scheduling RR", Proceedings of China-Japan Joint Conference on Mechatronics, pp. 57--58 (2007) (査読有)
 23. Masashi Oiso, Yoshiyuki Matsumura, Kazuhiro Ohkura, Noriyuki Fujimoto and Kenichi Hagihara, "Grid Scheduling for Evolutionary Multi-Robot Problems", Proceedings of China-Japan Joint Conference on Mechatronics, pp. 41--42 (2007) (査読有)
- [学会発表] (計 23 件)
1. 大倉和博, 保田俊行, 川松雄一, 松田智也, "マルチロボットシステムの自律的機能分化による協調荷物搬送に関する一考察", 第9回システムインテグレーション部門講演会 (SI2008), pp. 677-678 (2008. 12. 6. 長良川国際会議場)
 2. 瀧瀬佑太, 松田智也, 保田俊行, 大倉和博, "マルチロボットシステムのための物理シミュレーション環境の構築", 第17回計測自動制御学会中国支部学術講演会, pp. 88-89 (2008. 11. 15. 広島大学東広島キャンパス)
 3. 新壮一郎, 保田俊行, 大倉和博, "CUDAによるOpenCVを用いた物体追跡の高速化に関する一考察", 第17回計測自動制御学会中国支部学術講演会, pp. 38--39 (2008. 11. 15. 広島大学東広島キャンパス)
 4. 井本礼一郎, 崎本周平, 保田俊行, 大倉和博, "強化学習法BRLによる連続状態・行動空間の分割とその可視化に基づく群ロボットの行動解析", 第18回インテリジェント・システム・シンポジウム, pp. 403--408 (2008. 10. 24. 広島県情報プラザ) ベストプレゼンテーション賞受賞 (井本)
 5. 上田修, 保田俊行, 大倉和博, "大規模多峰性問題のための各個体の探索性能を

- 考慮したPSOの拡張”, 第18回インテリジェント・システム・シンポジウム, pp. 373--376 (2008. 10. 24. 広島県情報プラザ)
6. 川松雄一, 松田智也, 保田俊行, 大倉和博, “モジュラリティによるクラスタリングに基づくマルチロボットシステムの群挙動解析”, 第18回インテリジェント・システム・シンポジウム, pp. 51--56 (2008. 10. 24. 広島県情報プラザ)
 7. 崎本周平, 保田俊行, 大倉和博, “強化学習を用いたアーム型ロボット群の機能分化過程の解析”, ロボティクス・メカトロニクス講演会’08, 2P2-G09 (2008. 6. 7. ビッグハット)
 8. 井本礼一郎, 保田俊行, 大倉和博, “強化学習法BRLによる自律移動ロボットの狭路通行行動の獲得”, ロボティクス・メカトロニクス講演会’08, 2P2-G07 (2008. 6. 7. ビッグハット)
 9. 三藤正博, 川松雄一, 保田俊行, 大倉和博, “進化ロボティクスのための物理シミュレーション分散計算環境の構築”, 第52回システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集, pp. 467--468 (2008. 5. 17. 京都情報大学院大学京都駅前校)
 10. 笈淳平, 保田俊行, 大倉和博, “マルチエージェント強化学習における台数の変化に対する追加学習能力の検証”, 第52回システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集, pp. 395--396 (2008. 5. 17. 京都情報大学院大学京都駅前校)
 11. 松澤雄平, 大磯正嗣, 松村嘉之, 大倉和博, “ネットワーク理論を用いた進化型人口神経回路網の解析”, 第52回システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集, pp. 471--472 (2008. 5. 17. 京都情報大学院大学京都駅前校)
 12. 松田智也, 川松雄一, 保田俊行, 大倉和博, “マルチロボットシステムにおける進化型人工神経回路網の適用と解析”, 第52回システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集, pp. 245--246 (2008. 5. 16. 京都情報大学院大学京都駅前校)
 13. 小平規裕, 保田俊行, 大倉和博, “進化ロボティクスにおける人工神経回路網の位相構造に関する研究 -- 協調荷押し問題における進化学習効率”, 2008年度精密工学会春季大会講演論文集 (2008. 3. 17. 明治大学生田キャンパス)
 14. 大磯正嗣, 松村嘉之, 大倉和博, 藤本典幸, 萩原兼一, “進化型マルチロボット問題のためのタスクスケジューリングR3Qを用いたグリッド計算”, 第8回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, pp. 847-848 (2007. 12. 21. 広島国際大学広島キャンパス)
 15. 末松和也, 保田俊行, 大倉和博, “マルチロボットシステムにおける協調群行動創発のためのPSOによる人工神経回路網設計”, 第16回計測自動制御学会中国支部学術講演会論文集, pp. 208--209 (2007. 11. 10. 山口大学常盤キャンパス)
 16. 井本礼一郎, 保田俊行, 大倉和博, “狭路に進入・通行する自律移動ロボットのための強化学習に関する一考察”, 第16回計測自動制御学会中国支部学術講演会論文集, pp. 84--85 (2007. 11. 10. 山口大学常盤キャンパス)
 17. 小平規裕, 保田俊行, 大倉和博, “進化ロボティクスにおける人工神経回路網の位相構造に関する研究 -- 協調荷押し問題における進化学習効率 --”, 第16回計測自動制御学会中国支部学術講演会論文集, pp. 72--73 (2007. 11. 10. 山口大学常盤キャンパス)
 18. 松田真樹, 松村嘉之, 大倉和博, 藤本典幸, 萩原兼一, “グリッドスケジューリングRRによる進化型マルチロボット問題”, 2007年度精密工学会秋季大会講演論文集, pp. 615-616 (2007. 9. 14. 旭川市ときわ市民ホール)
 19. 川松雄一, 大倉和博, “NEAT4Jライブラリを用いた進化型人工神経回路網MBEANNの進化挙動解析に関する一考察”, 平成19年電気学会 電子・情報・システム部門大会, MC8-5 (2007. 9. 4. 大阪府立大学中百舌鳥キャンパス)
 20. 伍賀正典, 大倉和博, “構造進化型人工神経回路網を用いた進化的マルチエージェントシステムの生態学的特徴の解析”, 第17回インテリジェント・システム・シンポジウム FAN’07 (2007. 8. 10. 愛知工業大学本山キャンパス)
 21. 末松和也, 大倉和博, “部分的初期化の導入によるPSOの頑健性向上に関する一考察”, 第51回システム制御情報学会研究発表講演会論文集, 5T2-4 (2007. 5. 17. 京都テルサ)
 22. 大磯正嗣, 大倉和博, 松村嘉之, 藤本典幸, 萩原兼一, “進化型マルチロボット問題におけるグリッドスケジューリング”, 第51回システム制御情報学会研究発

表講演会論文集, 5T1-4 (2007. 5. 17. 京都
テルサ)

23. 保田俊行, 笈淳平, 大倉和博, "実例に
基づく強化学習法BRLを用いたアーム型
自律ロボット群の追加学習能力に関する
検証実験", ロボティクス・メカトロニク
ス講演会'07, 2A1-M06 (2007. 5. 12. 秋田
拠点センターALVE)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大倉 和博 (KAZUHIRO OHKURA)
広島大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：40252788

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者