

永続的人工進化に基づく協調マルチロボットシステムの開発
- Developing Cooperative Multi-Robot Systems based on Open-Ended Artificial
Evolution -
1081005

研究代表者 広島大学大学院工学研究科・教授 大倉和博
共同研究者 広島大学大学院工学研究科・助教 保田俊行

〔研究の目的〕

「エージェント」と抽象化して呼ばれる人工物の知能化を目指して、様々なアプローチがなされている。その中でも、1987年にLangtonによって提唱された人工生命に基づくアプローチは、1990年代に盛んに脚光を浴びたが、現在、やっと本来の学術的落ち着きを取り戻してきたと言える。この状況で、着実に浮かび上がってきた領域の一つに進化ロボティクスがある。これは、身体を持つエージェント＝ロボットの制御器を人工神経回路網で表現して人工進化によって学習させ、実際の自律ロボットシステムの行動制御を行う、というものである。これは、自然生物によって有効性が実証されている究極のアプローチであるとも言えるが、生物学への深い理解を示すことと人工物工学へ慎重に適用することが重要である。

この進化ロボティクス分野において、次の二つの本質的課題が存在する。

- (1) 永続的な人工進化論の重要性は認識されているものの、十分に発達していない
- (2) 十分高速に進化可能な進化型人工神経回路網の手法が、いまだ開発されてない

このように、進化ロボティクスは、学術分野と

して創成期にあると言える。人工生命アプローチによる人工物の知能化のためには進化ロボティクスは必須の関門であるから、これらの基礎研究が非常に重要かつ急務である。

本研究で取り扱うタスクは、単独ロボットでは押せない重さの小包み形状の荷物（複数個）を協力・分担して目的地まで押し運ぶ問題とする。これは、マルチロボットシステムに自律的機能分化機構が不可欠となるため、これまで、世界のどの研究グループも成功していない(図1)。ゆえに、本研究ではこの世界初の成功を目指した。

〔研究の内容、成果〕

上記の二つの課題に対して、以下のような独創的アプローチを取った。

(1) 永続的人工進化論の展開と実問題への適用

研究代表者は、これまでに、永続的人工進化の流れにそった進化アルゴリズムを提案するとともに、主にテスト関数の最適化問題やベンチマークの制御問題を通して優れた最適化能力や高い頑健性が得られること実証してきた。本研究では、マルチロボットシステム問題という、大規模かつ複雑な実問題に対して実験をすることにより、永続的人工進化論を発展させた。

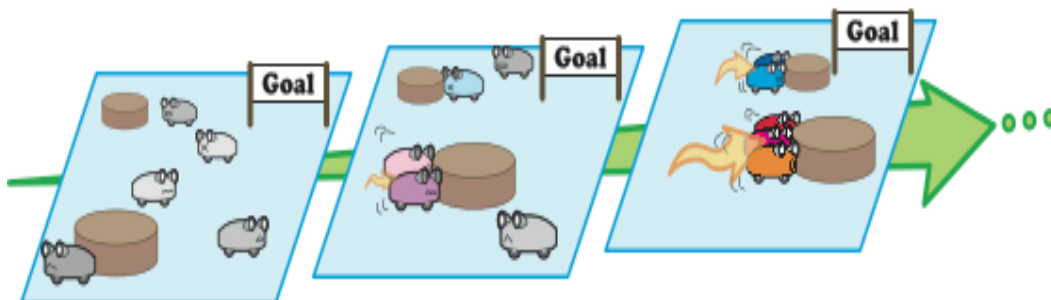


図1 自律的機能分化機構を持つマルチロボットシステム

(2)進化型人工神経回路網 MBEANN の実問題への適用

研究代表者は、進化型人工神経回路網分野においては、MBEANN と呼ぶ新しい手法を提案している。MBEANN の基礎的な能力は、いわゆるベンチマークである二重倒立振子問題において、これまで進化型人工神経回路網分野で卓越した能力を示している手法である NEAT (Stanley and Miikkulainen 2002) よりも、小集団で頑健な探索を高速に行うことを確認している。本研究では、ベンチマークよりも更に大規模な人工神経回路網が必要になるマルチロボットシステムの協調行動生成問題を通して、MBEANN と NEAT の性能比較を行った。図 2 のようにサブグループに分かれ、フィールド内の特定の位置にある円形の荷物を押し運ぶ行動がロボットに与えられたタスクである。

図 3 は、この問題における適応度（ロボットの評価値）の推移を示している。最終世代において、MBEANN の最良個体が高い適応度を獲得しているだけでなく、適応度の平均値も NEAT と比べて高くなって

いる。また、最大適応度近くの評価値を得るまでの探索世代数が小さい。このことから、MBEANN は NEAT に比べて高い探索性能を持っており、マルチロボットシステム問題においても有効な手法であることが示された。図 4 は、MBEANN を用いて獲得した人工神経回路網の最良構造である。結合荷重値の修正に加えて、問題の難易度に応じてリンクやノードを効率的に追加されていくことが、永続的な人工進化を実現するための一指針になると言える。

上記の実験の後、獲得した人工神経回路網の汎化性能の検証実験を行った。この実験では、ロボットはランダムに配置された荷物を押し運ばなければならない。ロボットが押し運ぶことのできた荷物の数をカウントすることで汎化性能を評価した。図 5 に、100 パターンの各試行において、ロボットが目的地まで運んだ荷物の数の分布を示す。MBEANN は、全ての荷物を目的地へ運ぶ割合が NEAT と比較して著しく高く、汎化性に優れていると言える。

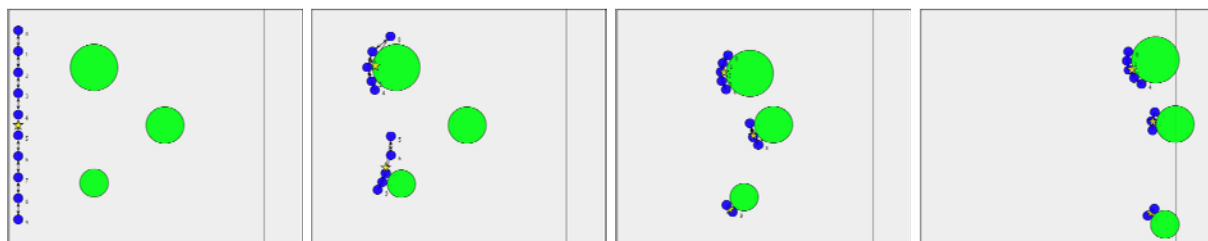


図 2 マルチロボットシステム問題のシミュレータにおけるロボットの挙動

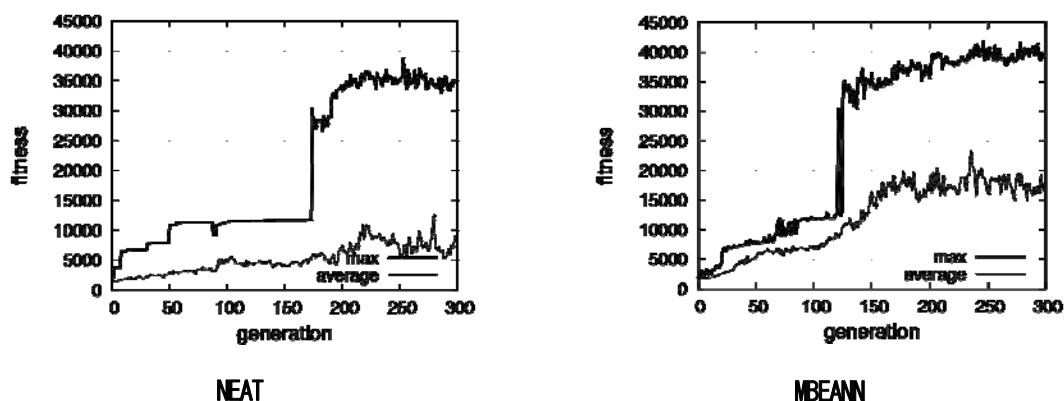


図 3 マルチロボットシステム問題における適応度の推移

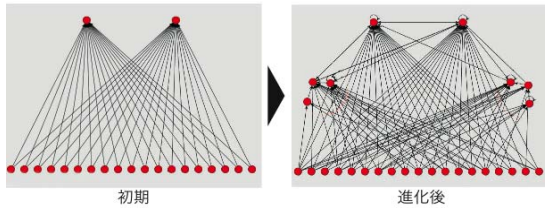


図 4 人工神経回路網の初期・進化後の構造

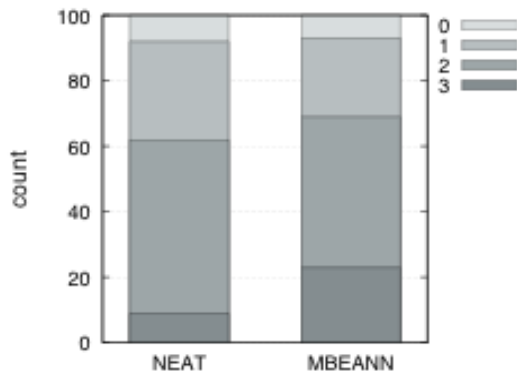


図 5 マルチロボット問題における進化型人工神経回路網の汎化性能の比較

このような MBEANN の性能検証と並行して、研究代表者は、既に、他大学との共同研究により、グローバル環境における進化型計算専用の計算グリッド・システムを開発している。本研究では、この計算グリッドを利用して、マルチロボットシステムの人工進化に必要な非常に大きな計算資源を得ることを可能にし、計算実行時間の大幅な短縮化に成功した。

さらに、小型の自律移動ロボットを製作し、マルチロボット実験を行った (図 6)。タスクは、連結された自律ロボットが黄色の目標物を囲う行動であり、これを獲得させようとした。計算機上でのシミュレーションでは高い確率で成功したが、実機実験では成功には至らなかった。

[今後の研究の方向、課題]

本研究では、マルチロボットシステムの自律的機能分化による協調行動を創発させることを目的とした。進化ロボティクスに必要な潤沢な

計算機資源を進化計算用のグローバル計算グリ

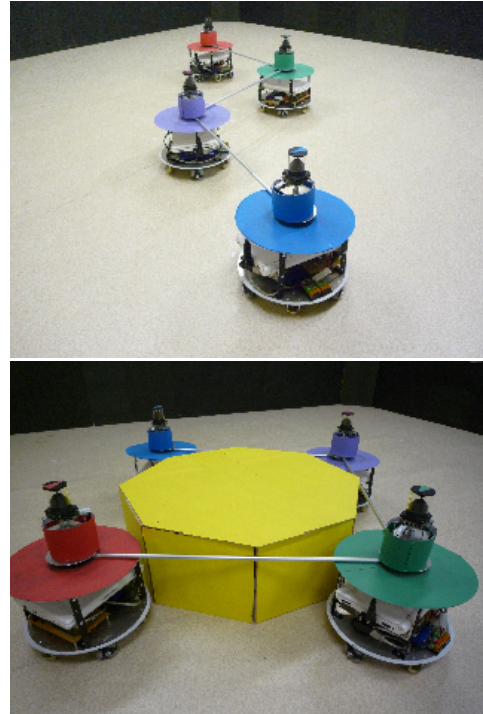


図 6 実機によるマルチロボット
囲い込み問題

ッドを構築することにより供給することができ、計算機シミュレーションでは、所望の協調行動を創発させることに成功した。しかし、実機では成功には至らなかった。この理由としては、シミュレーション環境は実環境に比較して、まだまだ理想的なようなので、推し量ることが困難な機械的要因をどのようにシミュレーション環境に反映させていくかが一つの課題として浮かび上がった。また、自律ロボットの 1 サイクルにかかる時間が 2 秒前後と遅いため、見た目のんびり動いているように見えてしまう。これは全方位画像を計算機側に転送する時間がボトルネックとなっていることもわかった。これも今後の課題として解消法を速やかに考えていきたい。

[成果の発表, 論文等]

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)
2. 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)
3. 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)
4. 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)
5. 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)
6. 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)
7. 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)
8. 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)
9. 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).
10. 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 (12, 2008)

ほか, 国内学術講演会 7 件