

平成22年4月6日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18500175
 研究課題名（和文） 環境の時間的空間的分節化に基づく強化学習の高度化と移動ロボットへの応用
 研究課題名（英文） Advancement of reinforcement learning and its applications to mobile robots based on spatio-temporal segmentation of the environment
 研究代表者 石川 真澄（ISHIKAWA MASUMI）
 九州工業大学・大学院生命体工学研究科・教授
 研究者番号：60222973

研究成果の概要：追跡・逃避ゲームを対象とし、モジュール型ネットワーク自己組織化マップを用いたダイナミクス学習層により追跡逃避者間の距離の時間変化を学習し、追跡者・逃避者の最適制御をモジュール化した強化学習層により学習するという、統合的アーキテクチャを提案しその有効性を実証した。また環境が変化した場合、地図の各グリッドが占有されている、あるいは空であるという仮説の下での、センサー系列のそれぞれの尤度を求めることにより、環境変化を検出する方法を提案し、その有効性を実証した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,300,000	0	1,300,000
2007年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	690,000	4,290,000

研究分野：神経回路網工学

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：自己組織化、強化学習、知能ロボティクス、分節化

1. 研究開始当初の背景

(1) 環境から時間的空間的に連続的なセンサー信号を取り入れ、これを有限個に分節化する能力は、知能の基本的能力の一つと言われている。この分節化は外界認識および思考・推論の中核をなすものであり、その実現が神経情報処理、とりわけ競合学習および自己組織化学習に期待されている。すなわちモジュール群に対する競合学習や自己組織化学習において、外部から入力を与えると勝者が定まるといった特性を利用し、環境を時間的空間的に分節化する。競合学習では各モジュールが独立の存在である。これとは対照的に、

自己組織化学習では近傍学習により近くのモジュールが類似性を持つという特性を利用し、未学習の入力データに対して内挿による予測が可能になるという利点がある。

(2) 脳に学ぶという立場から考えると、ATRの川人光男らは、新しい道具の使い方を学習している時、初期には小脳の広い範囲が活動するが、道具が上手に使えるようになるにつれて小脳の狭い範囲に活動が限定されることを発見した。小脳には数千個から数万個のマイクロゾーンがあるとされている。これらのマイクロゾーンが小脳の中でランダムに配置されていると考えるよりは、特性

が類似したマイクロゾーンが空間的に近く配置されていると考える方が生物的にはもっともらしいと考えられる。このことは競合学習ではなく、自己組織化に基づくモジュラーネットワーク自己組織化マップ(mnSOM)を支持する。

2. 研究の目的

(1) 図1に示すように、ダイナミクス学習層と強化学習層からなる階層的な学習と制御の方法論を確立する。

(2) この方法論を移動ロボットに適用し、たとえば図2のような環境を分節化することによりロボットのダイナミクス予測をより高精度に行い、これに基づいて障害物を避けながらゴールに到達するナビゲーションの学習性能および計算効率の向上を図る。

本研究は移動ロボットへの応用を念頭に置き、分節化能力、内挿能力、類似モジュールの空間的近接性を兼ね備えているという理由で、競合学習ではなく自己組織化マップの拡張であるモジュラーネットワーク自己組織化マップ(mnSOM)を採用し、これと強化学習を組み合わせた点に学術的な独創性がある。また類似モジュールの空間的近接性という生物学的にもっともらしさから競合学習ではなく自己組織化学習を採用した点に特色がある。

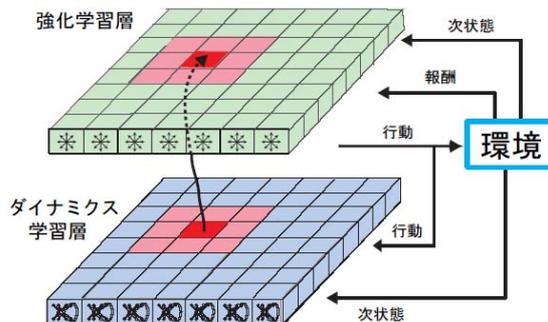


図1. ダイナミクス学習層と強化学習層からなる提案手法の基本構成図。ダイナミクス学習層の各モジュールはリカレントネットワークであり、強化学習層の各モジュールは報酬を外界から得て行動を生成する強化学習モデルである。赤のモジュールは勝者を、薄い赤モジュールはその近傍を表わす。

3. 研究の方法

(1) ダイナミクス学習層では、mnSOMを用いて移動ロボットのダイナミクスの学習及び分節化を行う。自己組織化マップ(SOM)がベクトルを対象とするのに対し、mnSOMは関数を対象とする。ダイナミックな対象を扱うので各モジュールのリカレントネットワークによる予測誤差に基づいて勝者モジュールを決定する。

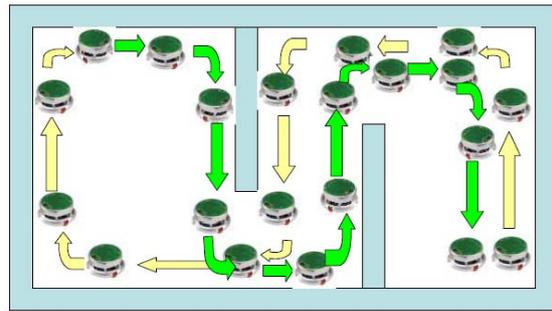


図2. KheperaIIを用いた実験のイメージ図。白い発泡スチロールで移動ロボットのフィールドを作成し、8個の赤外線センサーを用いる。

(2) 強化学習層では、環境から与えられる報酬と次時点での移動ロボットの状態に基づいて、ダイナミクス層での勝者モジュールに対応する強化学習モジュールの近傍で各モジュールの学習率に従って強化学習を行う。良好な学習結果を得るには、種々のパラメータ調整も含め試行錯誤が必要である。

(3) ダイナミクス学習層と強化学習層を統合し、移動ロボットのダイナミクスを学習しつつ、強化学習を行うという統合的実験を遂行する。強化学習という観点から見てダイナミクス学習層での分節化が適切になされているかどうかの確認を行いつつ、試行錯誤によりダイナミクス学習層および強化学習層のパラメータ調整を行う。

(4) 環境がゆるやかに変化した場合への対処を検討する。まずは尤度に基づく環境変化検出法を提案する。内挿的な環境変化の場合にはモジュールの内挿により対処し、外挿的な環境変化の場合には新たなモジュールを生成することにより対処する手法を提案する。

4. 研究成果

(1) 追跡・逃避ゲームをテストベッドとし、モジュール型ネットワーク自己組織化マップ(mnSOM)を用いたダイナミクス学習層により追跡逃避者間の距離の時間変化を学習し、追跡者・逃避者の最適制御を相互距離の時間変化の違いに基づいてモジュール化した強化学習層により学習するという、統合的アーキテクチャの有効性を実証した。

(2) 近傍学習を用いたダイナミクス学習層による相互距離の時間変化の学習により、モジュールの位相保存的マップの形成、および適切な内挿モジュールの生成に成功した。なお、近傍学習により強化学習が加速化すると考えていたが、個別に学習する場合と比較して有意な差は見られなかった。

(3) 与えられた相互距離の時間変化に最も近いモジュールが発火し、これに対応する強

化学習モジュールの制御則を用いることにより、捕獲回数に関する性能が高いことを実証した。

(4) 環境が変化した場合に、この変化を検出し、変化した環境に適応することが重要である。占有グリッドによる地図形成を想定し、各グリッドが占有されている、あるいは空であるという仮説の下での、センサー系列のそれぞれの尤度をベイズの考え方を用いて求めることにより、環境変化を検出する方法を提案し、その有効性を実証した。これに基づき、効率的に地図を修正することが可能となる。

(5) 勝者以外の貢献も可能とする softmax 切替付き多モジュール系 Modular Selection And Identification for Control (MOSAIC) と強化学習モジュールを組み合わせた銅谷らの研究と比較して、計算が安定的であること、モジュール数を事前に厳密に決める必要が無いこと、内挿モジュールが生成されることなど種々の利点があり、研究の意義は大きい。

(6) 本研究により、多様な環境下での移動ロボットの自律的な移動がより小さな計算コストで可能となる。これは将来様々な種類のロボットが家庭にまで普及するのに必要な基盤技術であり、これにより今後移動ロボットの利用可能範囲が拡大することが期待される。

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18件)

1. Naoyuki Yamamoto and Masumi Ishikawa, Curiosity and Boredom Based on Prediction Error as Novel Internal Rewards, Brain-Inspired Information Technology, Vol. 266, pp. 51-55, 2009. (査読有)
2. Fumiko Kiriake and Masumi Ishikawa, Classification and Novelty Detection of Omni-view Images Taken from a Mobile Robot, Brain-Inspired Information Technology, Vol. 266, pp. 45-49, 2009. (査読有)
3. Takao Hagiwara and Masumi Ishikawa, Emergence of Behaviors by Reinforcement Learning Based on the Desire for Existence, Brain-Inspired Information Technology, Vol. 266, pp. 39-44, 2009. (査読有)
4. Masumi Ishikawa, 他 9 名, Brain-Inspired Emergence of Behaviors Based on Values and Curiosity in Mobile Robots, Brain-Inspired Information Technology, Vol. 266, pp. 33-38, 2009. (査読有)
5. Muhammad Aziz Muslim, Masumi Ishikawa, Tetsuo Furukawa, Task segmentation in a mobile robot by mnSOM and clustering

with spatio-temporal contiguity, International Journal of Innovative Computing, Information & Control, Vol. 5, No. 4, pp. 865-875, 2009. (査読有)

6. Alireza Ahrary, Masumi Ishikawa, A Fast Stereo Matching Algorithm for Sewer Inspection Robots, IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, Vol. 3, Issue 4, pp. 441-448, 2008 (査読有)
7. K. Kamei and M. Ishikawa, Prediction of the optimal parameter values in reinforcement learning as a function of the environment, Brain-Inspired IT III, Vol. 1301, pp. 210-213, 2007 (査読有)
8. M. A. Muslim, M. Ishikawa and T. Furukawa, Training expert modules for a mobile robot using mnSOM, Brain-Inspired IT III, Vol. 1301, pp. 172-175, 2007 (査読有)
9. M. Ishikawa, K. Ishii, T. Yamakawa, M. Nagamatsu, H. Nakagawa, H. Zhang, T. Furukawa, Brain-inspired emergence of behaviors in mobile robots, Brain-Inspired IT III, Vol. 1301, pp. 48-51, 2007 (査読有)
10. T. Furukawa, K. Tokunaga, S. Yasui, H. Tamukoh, K. Ishii, M. Ishikawa, K. Horio, K. Natsume, Modular network self-organizing map: Can it be an artificial cortex?, Brain-Inspired IT III, Vol. 1301, pp. 43-47, 2007 (査読有)
11. M. Aziz Muslim, Masumi Ishikawa, Tetsuo Furukawa, Task Segmentation in a Mobile Robot by mnSOM: A New Approach To Training Expert Modules, Neural Computing and Applications, Vol. 16, Issue 6, pp. 571-580, 2007 (査読有)
12. Alireza Ahrary, Li Tian, Sei-Ichiro Kamata, Masumi Ishikawa, Navigation of an autonomous sewer inspection robots based on stereo camera images and laser scanner data, International Journal on Artificial Intelligence Tools (IJAIT), Vol. 16, Issue 4, pp. 611-625, 2007 (査読有)
13. Alireza Ahrary, Yoshinori Kawamura, Masumi Ishikawa, An automated intelligent fault detection system for inspection of sewer pipes, 電気学会論文誌C, Vol. 127, No. 6, pp. 943-950, 2007 (査読有)
14. A. Ahrary, A. A. F. Nassiraei, M. Ishikawa, A study on an autonomous mobile robot for sewer inspection system, Journal of Artificial Life and Robotics, Vol. 11, no. 1, pp. 23-27, 2007 (査読有)
15. A. Ahrary, A. Nassiraei, M. Ishikawa, A study of an autonomous mobile robot for sewer inspection system, Artificial Life

and Robotics, Vol. 11, No. 1, pp. 23-27, 2007 (査読有)

16. Keiji Kamei, Masumi Ishikawa, Dependency of values of parameters in reinforcement learning for navigation of a mobile robot on the environment, Neural Information Processing---Letters and Reviews, Vol.10, Nos.7-9, pp. 219-226, 2006 (査読有)

[学会発表] (計46件)

1. 石川眞澄, 知性獲得への自己組織的アプローチ, 第11回自己組織化マップ研究会2010 講演論文集, pp.1-2, 北九州, 2010. 3. 15. (特別講演) (査読無)

2. 甲斐孝史, 石川眞澄, 強化学習を用いた変動環境下の最短経路探索, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.109, No. 461, pp.119-124, 東京, 2010. 3. 9. (査読無)

3. 金源直幸, 石川眞澄, 進化型モジュールネットワークとモジュール型強化学習を用いた階層型アーキテクチャ, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.109, No. 461, pp.143-148, 東京, 2010. 3. 9. (査読無)

4. 大木万里子, 石川眞澄, 画像特徴抽出フィルタの学習に基づくロボットの位置推定, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.109, No. 461, pp.113-118, 東京, 2010. 3. 9. (査読無)

5. Youbo Cai, Masumi Ishikawa, Dual Map Building and Localization for Mobile Robots Based on Panoramic Images, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 109, No. 461, pp. 131-136, 東京, 2010. 3. 9. (査読無)

6. 石川眞澄, 蔡幼波, 知能の源 ---- 分節化および好奇心, Brain-ISワークショップ, p.10, 北九州, 2009. 2. 4. (招待講演) (査読無)

7. Masumi Ishikawa, Origins of Intelligence -- Segmentation and Curiosity, ICONIP2009, Bangkok, 2009. 12. 2. (招待講演) (査読無)

8. Masumi Ishikawa, Kosuke Ueno, Hierarchical architecture with modular network SOM and modular reinforcement learning, ICANN 2009, LNCS 5768, pp. 546-556, Limassol, Cyprus, 2009. 9. 15. (査読有)

9. Masumi Ishikawa, Yoshifumi Tanaka, Reinforcement learning with internal rewards based on error in a grid-based map, IMS2009, pp. 316-320, Kunming, China, 2009. 7. 22. (査読有)

10. 田中芳典, 石川眞澄, グリッドベース地図誤差に基づく好奇心を内部報酬とする強化学習, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.108 No. 480, NC2008-151, pp. 285-290,

東京, 2009. 3. 13. (査読無)

11. 守田観輝夫, 石川眞澄, 強化学習を用いた生存欲に基づく行動の創発, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.108 No. 480, NC2008-150, pp. 279-283, 東京, 2009. 3. 13. (査読無)

12. 石川眞澄, 知能の根源としての分節化と好奇心, 日本知能情報フuzzy学会合同ワークショップ, 福岡, 2008. 12. 6. (特別講演) (査読無)

13. Masumi Ishikawa, Segmentation and curiosity as origins of intelligence, International Workshop on Hybrid and Adaptive Systems for Real-time Robotics Vision and Control, Auckland, New Zealand, 2008. 11. 28. (査読無) (Keynote Speech)

14. Masumi Ishikawa, Mikio Morita, Brain-inspired emergence of behaviors based on the desire for existence by reinforcement learning, ICONIP2008, 2008. 11. 25-28, Auckland, New Zealand, 2008. 11. 26. (査読有)

15. Masumi Ishikawa, Takao Hagiwara, Naoyuki Yamamoto, Fumiko Kiriake, Brain-inspired emergence of behaviors in mobile robots by reinforcement learning with internal rewards, 8th International Conference on Hybrid Intelligent Systems (HIS2008), pp. 138-143, Barcelona, Spain, 2008. 9. 10 (査読有)

16. 石川眞澄, 「忘却から好奇心へ」, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 108, No. 101, pp. 31-32, NC2008-16, 沖縄, 2008. 6. 26 (フェロー記念講演) (査読無)

17. M. Aziz Muslim, Masumi Ishikawa, Formation of Graph-based Maps for Mobile Robots using Hidden Markov Models, 2008 IEEE World Congress on Computational Intelligence (WCCI2008), pp. 3098-3104, Hong Kong, 2008. 6. 3 (査読有)

18. 石川眞澄, 永松正博, 萩原隆男, 山本尚幸, 桐明英三子, 西田武彦, 山川烈, 石井和男, 中川秀樹, 章宏, 価値および好奇心に基づく移動ロボットの脳型行動創発, 電子情報通信学会総合大会, TK-3-7, pp. SSS-24-25, 北九州, 2008. 3. 19 (査読無)

19. Muhammad Aziz Muslim, Masumi Ishikawa, Graph-based Maps Formation for Mobile Robots by Hidden Markov Models, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 107, No. 542, pp. 307-312, NC2007-164, 東京, 2008. 3. 13 (査読無)

20. 山本尚幸, 石川眞澄, 内発的動機付けを用いた移動ロボットの行動計画, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 107, No. 542, pp. 301-306, NC2007-163, 東京, 2008. 3. 13

(査読無)

21. Muhammad Aziz Muslim, Masumi Ishikawa, Tetsuko Furukawa, Task Segmentation in a Mobile Robot by mnSOM and Clustering with Spatio-temporal Contiguity, ICONIP2007, pp.1075-1084, 2007.11.16 (査読有)

22. M. Aziz Muslim, Masumi Ishikawa, and Tetsuo Furukawa, Task Segmentation in a Mobile Robot by mnSOM and Hierarchical Clustering, Proceedings of the 6th International Workshop on Self-Organizing Maps (WSOM2007), Bielefeld, Germany, 2007.9.5 (CD-ROM版につきページなし) (査読有)

23. Masumi Ishikawa, Takao Hagiwara, Emergence of Behaviors Based on the Desire for Existence, Proceedings of the 7th Postech-Kyutech Joint Workshop on Neuroinformatics, pp.21-22, 2007.8.27, Pohang, Korea (査読無)

24. Muhammad Aziz Muslim, Masumi Ishikawa, Tetsuo Furukawa, A New Approach to Task Segmentation in Mobile Robots by mnSOM, IEEE World Congress on Computational Intelligence, pp.6542-6549, Vancouver, Canada, 2006.7.19 (査読有)

[図書] (計 1 件)

1. Frederik Linaker, Masumi Ishikawa, Robot Localization Using Vision, Trends in Neural Computation, pp.483-512, Springer, 2007.

[その他]

ホームページ等

<http://www.brain.kyutech.ac.jp/~ishikawa>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石川 眞澄 (ISHIKAWA MASUMI)

九州工業大学・大学院生命体工学研究科・教授

研究者番号：60222973

(2) 研究分担者

章 宏 (Zhang Hong)

九州工業大学・大学院生命体工学研究科・助教

研究者番号：30235709