

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 7 日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25330287

研究課題名(和文) 扁桃体モデルを核とする脳情報処理模倣型自律行動モデル開発とその応用

研究課題名(英文) Development of a brain information processing imitation based autonomous behavior model with amygdala model

研究代表者

大林 正直 (OBAYASHI, Masanao)

山口大学・創成科学研究科・教授

研究者番号：60213849

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：外部からの刺激情報に基づき、怒り、悲しみ、喜び等の情動反応を作り出す、ヒトの扁桃体に似た機能を備えることで、ヒトの感情に基づく行動に似た行動を可能とするロボットの自律行動モデルの開発に関する研究を実施し、次の成果を得た。(1)高精度な匂い識別モデルを開発した。(2)複数のカオスニューラルネットワークを利用した、これまでにない時系列画像データの記憶・想起方式を実現した。(3)扁桃体を利用した複雑なシステム構成と扁桃体を利用しないシンプルなシステム構成の2ケースについて、ヒトの感情による行動に似たロボットの行動を可能とする情動制御及び環境識別モデルを利用したロボットの自律行動モデルを実現した。

研究成果の概要(英文)：We conducted research on development of an autonomous behavior model of a robot that enables behaviors resembling human behavior based on human emotions, by having a function similar to human amygdala which makes emotional reactions such as anger, sadness, joy based on external stimulus information, and obtained the following three results.

(1) A highly accurate odor identification model was developed. (2) We have proposed and realized the memory and recall method of time series image data which has never developed before, using multiple chaotic neural networks. (3) We realized an autonomous behavior model of robot using emotion control and environment discrimination model that enables behavior of robot resembling human emotional behavior for two cases of a complex system configuration using an amygdala and a simple system configuration that does not use an amygdala.

研究分野：脳型情報処理, 知的制御工学

キーワード：Autonomous robot, Behavior decision model, Amygdala model, Emotion model, Odor identification, KIll model, Reinforcement learning, memory and recall

1. 研究開始当初の背景

非侵襲脳計測技術(NIRS,CT,PET,fMRI など)の発展により,脳の高次機能に関する実験的な研究成果が飛躍的に上がってきており,その最新の研究成果は神経回路網理論や脳型情報処理システムなど,多くの分野に利用されてきている.しかしながら,脳の高次機能中,視覚系に関する研究が飛躍的に進んでいる中で,聴覚系,味覚系,嗅覚系の研究は未だ不十分であり,特に嗅覚系に至っては,非常に研究者が少なく,嗅覚系に関する研究はこれからという分野である([1],[2]).そして,これら感覚刺激と脳の中樞系とを統合して情動機構を統合制御すると考えられているのが扁桃体である([3]).この扁桃体のモデル化に関する研究もまた行われている([4]).このような機能的な研究の中で,脳情報処理模倣型モデルもいくつか提案されている([5][6]).しかしながら,これらの脳情報処理模倣型システムは,扁桃体に関する役割の明確な記述がなく,定量的解析もなされていない.ところで,ヒトは視覚や聴覚で個体を認知するため,嗅覚系は,あまり注目を浴びず,嗅覚系の数理モデルは少なく,FreemanらのKモデルが唯一知られている程度である([7]).更に,このモデルは意志決定などの脳の高次機能も考慮した脳情報処理型モデルではない.さらに,このFreemanらの嗅覚モデルは,モデルの出力を求める際,計算コストが大きく,オンライン計算に不向きで,工学的利用の観点からもFreemanらの提案モデルは改善の余地があった.そこで,我々の研究グループは科研費補助金による研究([8])にて,このK嗅覚モデルの問題点を解決するK嗅覚改善モデルを開発した.今回の研究では,先の研究成果をベースに更に推し進め,匂い刺激,視覚刺激を中心とする感覚刺激を高次脳中枢へ仲介し情動反応制御の統合的役割を演ずる扁桃体を核とする脳情報模倣型情報処理システム(自律型行

動モデル)を開発する.

<引用文献>

- [1] 大瀧丈二:嗅覚系の分子神経生物学,フレグランスジャーナル社(2005)
- [2] 外池光雄:嗅覚の脳内情報処理と「におい感覚の持つ意味」,工業調査会(2008)
- [3] 小川園子:情動・動機づけ,脳神経科学イラストレイティド,6章(2006)
- [4] J.Moren, C.Balkenius, "A Computational Model of Emotional Learning in the Amygdala", Cybernetics and Systems 32(6), pp.611-636 (2001)
- [5] R. Kozma, W. J. Freeman, "The KIV model of intentional dynamics and decision making", Neural Networks, 22, pp. 277-285(2009)
- [6] T. Ziemke, R. Lowe, "On the role of emotion in embedded cognitive architectures: From organisms to Robots, Cognitive computation, Vol.1, No.1, pp.104-117(2009)
- [7] C. A. Skarda, W. J. Freeman. How brains make chaos in order to make sense of the world. Behavioral And Brain Sciences, Vol. 10, pp. 161-195 (1987)
- [8] 大林正直,呉本堯,小林邦和:文部科学省科学研究費補助金(基盤(C)-20500207)脳の記憶系及び学習理論との連携を考慮した嗅覚システム数理モデルとその応用(平成20年度~22年度)

2. 研究の目的

外部からの刺激情報を処理し,怒り,悲しみ,喜び等の情動反応を作り出す扁桃体を中心としたメカニズムは,ヒトの種々の行動に大きな影響を及ぼし,結果として複雑な行動を生み出している.本研究では,ロボット等の行動モデルの構築において,(1)扁桃体を考慮し,かつ過去の経験を利用しながら,ロボットの周囲環境のより高い識別能力を持ち,複雑な行動を可能とするロボットの自

律行動モデルの開発に加え、(2) 扁桃体を利用せずに情動反応モデルを構成し、シンプルな構造で同様な自律行動を実現可能なモデル開発(も工学的に意味あるものとし)、これら2つのモデルを開発することを目的とした。

3. 研究の方法

これまでに提案済みのモデル・知見を調査し、参考にすること、研究目的が明確なのでその実現のためのアイデアを出すことにより研究目的の実現を図った。方法は、個別のモデル開発、それらの組合せ、そして個別モデルの改善、という手順の繰り返しであり、開発概要は下記となる。

- (1) 各要素モデル(匂い識別モデル、環境状態識別モデル)の開発
- (2) ヒトの記憶機能を忠実に模倣した記憶モデルの開発
- (3) 扁桃体を用いた情動制御モデル、扁桃体を用いない情動制御モデル、扁桃体を用いない簡略化情動制御モデル、の各モデルと要素モデルとの統合による行動選択モデルの開発
- (4) 過去の経験を記憶・利用・考慮した情動制御モデルと要素モデルとを融合した自律行動制御モデルの開発

4. 研究成果

(1) 3. の(1) 各要素モデル(匂い識別モデル、環境状態識別モデル)の開発に関する成果

生体の匂い識別機能(KIII モデルを含む)の忠実な模倣では、(匂い識別に特化していない、一般的な識別方式として評価が高いSVM:サポートベクターマシンと比較し)異なる複数の匂いの識別精度はそれほど高くないことが明らかとなった。このことについ

て、雑誌論文「A Class Identification Method Using Freeman's Olfactory KIII Model」で示した。

(2) 3. の(2) ヒトの記憶機能を忠実に模倣した記憶モデルの開発に関する成果

人工神経回路網(ニューラルネットワーク)を用いて、ヒトの記憶機能のメカニズムを模倣したものは存在したが、殆ど、写真等の静的な画像データを記憶し、想起するものであった。本研究では、ある出来事に対応した、時間的に変化する画像情報を時系列に記憶し、これを元の順序で復元する機能を実現した。これは、複数の出来事を一緒に記憶し、思い出したい出来事のヒントを与えると対応した出来事を想起できる、より一般的・動的な記憶システムとなっている。本件については、雑誌論文「MCNN(マルチカオスニューラルネットワーク)とSOM(自己組織化マップ)を用いた動画像の記録と動的想起」にて示した。本提案は、これまでにない、画期的な成果と言える。

(3) 3. (3) 扁桃体を用いた情動制御モデルの開発に関する成果

画像全体から彩度、色相、明度を抽出し、これより、喜び状態の程度を情動、及びロボット自身の活性を利用した2次元の情動状態を構成し、ロボットの周囲環境とを同時に考慮することで、ヒトに似たロボットの行動を実現した。本件については、学会発表「An Extended Q Learning System with Emotion State to Make Up an Agent with Individuality」、図書「An Emotional Robot」にまとめた。

(4) 3. (3) 扁桃体を用いない情動制御モデルの開発に関する成果

本研究では、マルコフ情動モデル(1時刻前の情動状態から、入力の内容に応じて情動状態が変化するモデル)を利用し、視覚から得られる環境情報を用いて、情動が変化するモデルを実現した。そして、情動状態に対

応した行動モデルを実現している．本研究については，雑誌論文「マルコフ情動モデルを備えたロボットの行動決定法」及び学会発表でまとめた．さらに本モデルをマルチエージェントシステムの行動への応用研究の成果を学会発表「A New Decision-Making System of an Agent Based on Emotional Models in Multi-Agent System」でまとめた．本研究は，情動のみで行動するシステムであり，目的を持った行動を考慮していない分，不完全なモデルである．行動目的を考慮した研究成果を次項で示す．

(5) 3.(3) 扁桃体を用いない簡略化情動制御モデルの開発に関する成果

本研究では情動モデルを自己組織化マップのみにより実現し，情動状態と環境状態の対応付けを行い，学習環境の違いによるロボットの個性化を実現した．また，情動のみにより行動決定するのではなく，情動を基本的な行動理念を補助するものとして扱い，これを実現するシステムを開発した．本研究成果を学会発表「簡略化情動モデルとそのロボットの行動決定システムへの応用」にて示した．

(6) 3.(4) 過去の経験を記憶・利用・考慮した情動制御モデルと要素モデルとを融合した自律行動制御モデルの開発

本研究については，非常に重要なテーマであるが，ニューラルネットワーク（例えば，MCNN と SOM を用いた動画像の記録と動的想起方式）で実応用可能な記憶容量を実現するのは困難と考えられる．本研究目的の完全なる実現を達成するには，外部メモリを用いたニューラルネット等を利用した研究（Alex Graves, Greg Wayne, et al., Hybrid Computing using a Neural Network with Dynamic External Memory, Nature, Vol. 538, 2016, pp. 471-476.）等を調査し，これらを利用した今後の更なる研究が必要と考える．

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 10 件)

主要な雑誌発表論文 3 編を下記に示す．

Masanao Obayashi, Ryohei Suda, Takashi Kuremoto, Shingo Mabu, A Class Identification Method Using Freeman's Olfactory KIII Model, Journal of Image and Graphics, Vol.4, No.2, pp.130-135, 2016 (査読有)

doi: [10.18178/joig.4.2.130-135](https://doi.org/10.18178/joig.4.2.130-135)

渡邊駿, 呉本堯, 小林邦和, 間普真吾, 大林正直: MCNN と SOM を用いた動画像の記録と動的想起, 電気学会論文誌 C, Vol.135, No.4, pp. 414-422, 2015 (査読有)

https://www.jstage.jst.go.jp/browse/ieejieiss/135/4/_contents/-char/ja/

綿田将悟, 大林正直, 呉本堯, 小林邦和, 間普真吾, マルコフ情動モデルを備えたロボットの行動決定法, 電気学会論文誌 C, Vol. 134, No. 1, pp. 85-93, 2014 (査読有)

https://www.jstage.jst.go.jp/browse/ieejieiss/134/1/_contents/-char/ja/

【学会発表】(計 25 件)

主要な発表論文 7 編を下記に示す．

Shogo Watada (発表者), Masanao Obayashi, Takashi Kuremoto, Shingo Mabu, Efficient Reinforcement Learning Using an Adaptive Control of Meta-parameters Based on a Markov Emotional Model, Proceedings of 21th International Symposium on Artificial Life and Robotics (ISAROB 21st 2016), pp.14-19, Jan. 20-22, 2016 ビーチコンプラザ (大分県・別府市)

Masanao Obayashi (発表者), Daiki Yamane, Takashi Kuremoto, Shingo Mabu, Kunikazu Kobayashi, An Autonomous Mobile Robot with Functions of Action

Learning, Memorizing, Recall and Identifying the Environment Using Gaussian Mixture Model, Proceedings of the 22th Conference on Neural Information Processing (ICONIP2015), Nov. 9-12, 2015 (Istanbul, Turkey)

Masanao Obayashi (発表者), Shunsuke Uto, Takashi Kuremoto, Shingo Mabu, Kunikazu Kobayashi, An Extended Q Learning System with Emotion State to Make Up an Agent with Individuality, Proceedings of the 7th International Joint Conference on Computational Intelligence (IJCCI 2015) - Volume 3: NCTA 2015, pp. 70-78, Nov. 12-14, 2015 (Lisbon, Portugal)

清水翔太(発表者), 綿田将悟, 大林正直, 呉本堯, 間普真吾, 簡略化情動モデルとそのロボットの行動決定システムへの応用, 第66回電気・情報関連学会中国支部連合大会, 10月17日, 2015 山口大学(山口県・宇部市)

Wataru Hikino (発表者), Masanao Obayashi, Takashi Kuremoto, Shingo Mabu, An Odor Recognition System in Real Environments Using KIII Olfactory Function Model. In The Proceedings of The 2nd International Conference on Innovative Application Research and Education (ICIARE 2014), pp. 43-46, Dec. 1-3, 2014 (Chonbuk, Korea)

Shogo Watada (発表者), Masanao Obayashi, Takashi Kuremoto, Shingo Mabu, Decision Making System of Robots Introducing a Reconstruction of Emotions Based on Their Own Experiences, in Proceedings of International Conference on Artificial Life and Robotics (ICAROB

2014), CD_ROM, 4 pages, Jan. 11-13, 2014 コンパルホール(大分県・大分市)

Shogo Watada (発表者), Masanao Obayashi, Takashi Kuremoto, Shingo Mabu, A New Decision-Making System of an Agent Based on Emotional Models in Multi-Agent System, Proceedings of the 18th International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 18th '13), pp. 452-455, Jan. 30-Feb. 1, 2013 (Daejeon, Korea)

[図書](計 1 件)

Masanao Obayashi, Shunsuke Uto, Takashi Kuremoto, Shingo Mabu, Kunikazu Kobayashi, An Emotional Robot, In Computational Intelligence (Eds. Juan Julian Merelo, et al.) 479 (423-443), Springer, 2016

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大林 正直 (OBAYASHI Masanao)
山口大学・大学院創成科学研究科・教授
研究者番号: 60213849

(2) 研究分担者

小林 邦和 (KOBAYASHI Kunikazu)
愛知県立大学・情報科学部・准教授
研究者番号: 40263793

呉本 堯 (KUREMOTO Takashi)
山口大学・大学院創成科学研究科・助教
研究者番号: 40294657

間普 真吾 (MABU Shingo)
山口大学・大学院創成科学研究科・助教
研究者番号: 70434321

(3) 連携研究者

(4) 研究協力者