

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 12 日現在

機関番号：32675

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26330296

研究課題名(和文)ラットから何を学び得るか：知能ロボットの動作生成とナビゲーション

研究課題名(英文) Robot motion generation and navigation: What we can learn from rats

研究代表者

Capi Genci (CAPI, Genci)

法政大学・理工学部・教授

研究者番号：20389399

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：実環境で自律的に移動する移動ロボットの能力は非常に重要である。技術の進歩にも関わらず、複雑な環境でのロボットの自己推定、目標位置への移動は依然として途上の課題である。ラットは、周囲の環境の情報を手がかりに自分自身をローカライズすることによって、複雑な空間で正確かつ迅速に移動することがよく知られている。我々は、これらに基づき、ラットの脳信号をそれ自身の行動にマッピングすることによってラットの意思決定を模倣することをロボットが学習するアルゴリズムを開発した。アルゴリズムを実装されたロボットは、複雑な環境で位置推定し移動するために、内部状態と外部センサ情報を統合することを学習できることを確認した。

研究成果の概要(英文)：The mobile robot ability to navigate autonomously in its environment is very important. Even though the advances in technology, robot self-localization and goal directed navigation in complex environments are still challenging tasks. It has been well known that rats accurately and rapidly navigate in a complex space by localizing themselves about the surrounding environmental cues. We developed an algorithm by which the robot learned to imitate the rat's decision-making by mapping the rat's brain signals into its own actions. Finally, the robot learned to integrate the internal states as well as external sensors to localize and navigate in the complex environment.

研究分野：知能ロボット

キーワード：BMI 知能ロボット ニューラルネット

1. 研究開始当初の背景

実環境でロボットが自律的に移動する能力は非常に重要であるが、複雑な環境での自己推定、目標位置への経路計画は依然として発展途上の課題である。その中で、生物の行動様式を模倣するアプローチが注目されている。特にラットは周囲の環境の情報を手がかりに自己位置を把握することによって、複雑な環境で正確かつ迅速に移動することがよく知られている。

2. 研究の目的

実環境におけるロボットの自己位置推定と目標位置への自律移動は、依然として多くの課題が残るタスクである。本申請研究の目的は、生物的要素を内包するロボットの、実環境における自己位置推定と目標位置への自律移動アルゴリズムの構築である。本課題では広く用いられているラットを用いて、行動中のラットの脳波を解析し、ラットの未来行動を推定する強化学習アルゴリズムの構築を行う。これによりロボットはラットの脳波を行動へ写像することで、ラットの行動を模倣できるようになる。最後に、ロボットは環境内の自己位置推定と目標位置への自律移動を、内部状態と外部センサの情報を統合することで行う。本申請研究の最終目標は、多種多様な環境と様々なロボットに適用することのできるアルゴリズムの構築である。

3. 研究の方法

(1) 調査法・実験環境

多重 Y 迷路を用いて、ラットの学習実験を行う。ラットの経路学習終了後、実験環境を変化させ、学習時と同様の実験を行う。その後、ラットの脳波を計測するため、脳に電極を埋め込む。ラットに多重 Y 迷路を探索させ、その時の脳波を計測する。計測した脳波を解析することにより調査が完了する。実験環境である多重 Y 迷路を図 1 に示す。迷路には合計 5 つのルートがあり、それぞれの終点には、餌が置いてある。ルート 3 以外の終点では、餌の入ったカップに蓋がしてあり、餌を獲得することができない。これにより、ルート 3 を正解ルート、それ以外を不正解ルートとしている。目印として、四方に異なる記号が書かれたマークを設置している。ラットに Y 迷路を探索させる。ラットが報酬の餌を獲得するまでを 1 回とし、1 日 20 回探索させる。これにより、ラットに正解ルートを学習させる。ラットの経路学習終了後、空間的挙動の変化を観察するため、実験環境を変化させ、学習時と同様の実験を行う。環境変化のパターンは大きく分けて 3 通りある。次に示す通りである。

- ラットの頭部の初期方向の変更
- マークの位置の入れ替え・マークの除去
- 光強度の低減

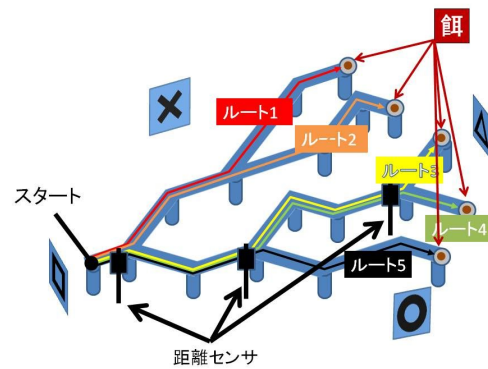


図 1 多重 Y 迷路

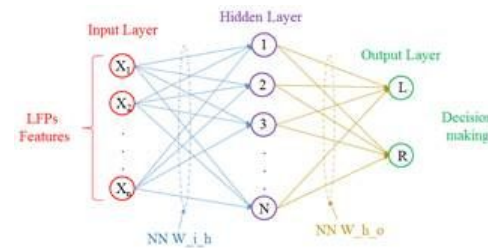


図 2 人工ニューラルネットワークの構成

(2) 脳波の計測

脳波を取得するため、ラットの脳に電極を埋め込む。電極は 3 つ用意し、それぞれ、左右の海馬、線条体に埋め込む。脳波を計測しながら、Y 迷路を探索させる。脳波はアンプにより増幅後、A/D 変換して PC のディスプレイに表示される。距離センサの位置を図 1 に示す。距離センサは迷路の分岐の手前に設置する。分岐は進行方向の意思決定の場である。この時の脳波に着目する。

(3) 人工ニューラルネットワーク

動物の LFP に基づく意思決定プロセスは、図 2 に示すように、フィードフォワードニューラルネットワーク (FFNN) を適用することによって行われる。ニューラルネットワークは 1 つの Y 接合部につき 1 つ使用し、合計 3 つ用いる。FFNN には 6 つの入力層、8 つの中間層、および 2 つの出力層を用いた。各 LFP から 2 つの特徴量を抽出し、合計 6 つをニューラルネットワークへの入力として使用した。ニューラルネットワークの 2 つの出力層の値は、2 進値「0」または「1」であり、
出力[0 1] - ロボットは右折する。
出力[1 0] - ロボットは左折する。
最良のロボットニューラルネットワークを生成するために GA を採用した。抽出された LFP の特徴量を入力として、オフラインで訓練された FFNN は、意思決定プロセス中にロボットを制御するために使用される。

4. 研究成果

(1) 学習実験及び環境変化時における結果

図3に学習実験の結果を示す。図3では各ラットの学習過程に差異がみられる。また、図4は暗闇環境における実験結果である。図4中のEnv.AおよびEnv.B期間に環境変化を行った。この期間では正解確率が低減している。また、正解確率への影響にも違いが見られた。これらの結果から、各ラットについて、目的地到達までのナビゲーション戦略(マーク等の空間的情報による到達法、或いは直感に基づく到達法)に違いがある可能性が示唆される。

(2) 脳波の計測、処理とその結果

図5は脳波を計測し、各分岐点における波形を切り出したものである。マークは分岐の通過時間を示す。脳波の特徴を周波数から見出すため、高速フーリエ変換(FFT)を行う。図6はFFTの結果である。図に示すように、ラットの脳活動は、各分岐で異なる。左右の海馬の活動にシータ波と低周波数のガンマ波が確認できる。右の海馬における低ガンマ波のパワースペクトルが増加している間、左の海馬の低ガンマ波のパワースペクトルは減少している。また、線条体の活動では最初の分岐にてデルタ波と一部のシータ波を確認することができた。デルタ波のパワースペクトルは、ラットが最後の分岐に進んだ時増加している。

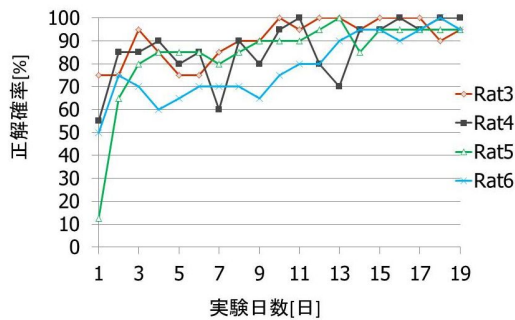


図3 学習実験結果

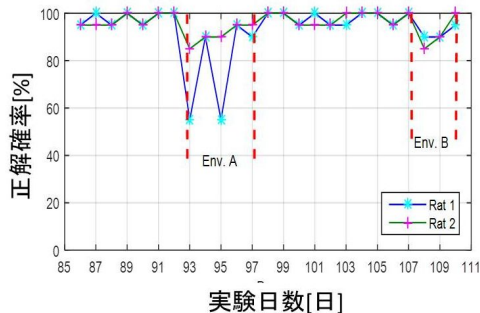


図4 暗闇環境における実験結果

(3) ロボットの動作

図7は実験時のロボットの動きを示しており、ロボットはY接合部で、ニューラルネットワークにより進路決定を3回正確に行い、報酬位置に到達した。図7.1ではロボットは開始位置にあり、前方に移動する準備ができている。図7.2に示すように、ロボットは第1のY接合部をセンサで検出し、移動を停止する。ニューラルネットワーク1は進路を右折に決定し、右折後、前方へ移動する。図7.3は迷路内にいるロボットの位置を示し、報酬位置に向かって進行する。ロボットは近接センサによって第2のY接合部を検出し、図7.4に示すように前進を停止する。ニューラルネットワーク2は、進路を左折に決定する。図7.5および図7.6に示すように、ロボットは左折し、次のY接合部に向かって前進する。ロボットが第3のY接合部に到達すると、ニューラルネットワーク3は進路を左折に決定する。ロボットは左折し、図7.7に示すように報酬位置に向かって前進する。図7.8にロボットが課題を完了した様子を示す。動物のLFPの特徴量とロボットの外部センサを使用して報酬位置に到達した。

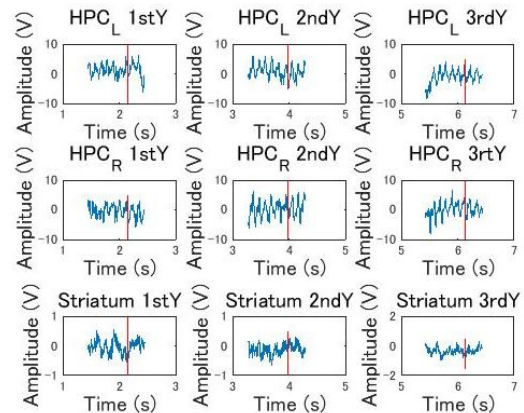


図5 脳波の切り取り

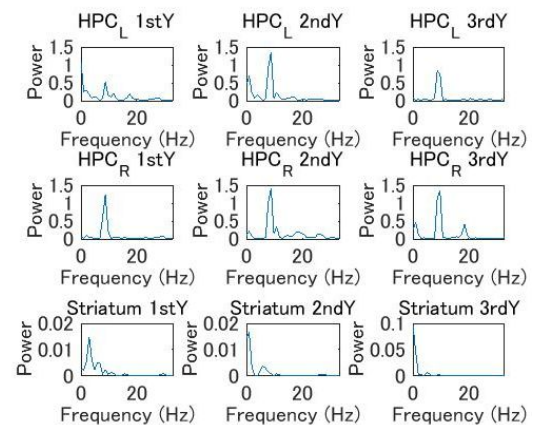


図6 脳波へのFFT結果

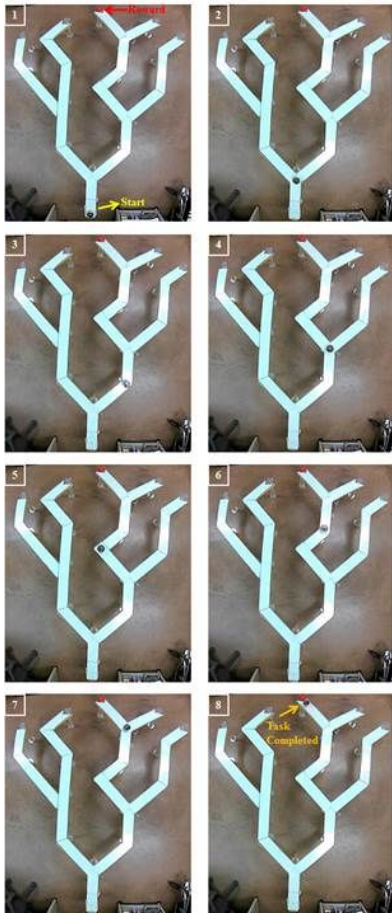


図 7 実験試行中におけるロボットの意思決定とその動作。

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 2件)

1. Endri Rama, Genci Capi, Yusuke Fujimura, Norifumi Tanaka, Shigenori Kawahara and Mitsuru Jindai, "A Novel Biological Based Method for Robot Navigation and Localization," Journal of Electronic Science and Technology, (in press) 査読有

2. Endri Rama, Genci Capi, Shun Mizusaki, Norifumi Tanaka, and Shigenori Kawahara, "Effects of Environment Changes on Rat's Learned Behavior in an Elevated Y-Maze," Journal of Medical and Bioengineering, Vol. 5, No. 2, pp. 113-118, April 2016. Doi: 10.18178/jomb.5.2.113-118 査読有

[学会発表](計 5件)

1. Endri Rama, Genci Capi, Shigenori Kawahara, "Robot Navigation and Localization Based on the Rat's Brain Signals," 19th International Conference on Robotics, Control and Intelligent Systems (ICRCIS 2017), 6 - 7 March 2017, Phuket, Thailand

2. Endri Rama, Yusuke Fujimura, Genci Capi, Mitsuru Jindai, and Shigenori Kawahara, "Decision-Making Decoding with Different Features of Local Field Potentials: A Brain Computer Interface Approach," 19th International Conference on Medical and Bioengineering (ICMB 2017), 23 - 24 February 2017, Paris, France.

3. Yusuke Fujimura, Endri Rama, Genci Capi, Norifumi Tanaka, Shigenori Kawahara, and Akio Ando, "Decision-making based robot navigation: A BMI Approach," ("意思決定に基づくロボットナビゲーション: BMI アプローチ"), 17th Winter Workshop on Mechanism of Brain and Mind, 11-13 January, 2017, Hokkaido, Japan.

4. Endri Rama, Genci Capi, Mitsuru Jindai, Yusuke Fujimura, Norifumi Tanaka, and Shigenori Kawahara, "Investigation of the relation between rat's navigation strategy and brain activity," LLL33 - 553.12, Neuroscience 2016, 12-16 November 2016, San Diego, California, United States of America.

5. Endri Rama, Yusuke Fujimura, Genci Capi, Mitsuru Jindai, Norifumi Tanaka, Shigenori Kawahara, "Understanding rats decision making during navigation by analyzing the brain activity," 4th APSIPA Workshop on the Frontier in Biomedical Signal Processing and Systems (BioSiPS 2016), 14 July, 2016, Tokyo, Japan.

[図書](計 0件)

[その他]

ホームページ等

<http://assistrobotics.ws.hosei.ac.jp/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

C a p i G e n c i (C A P I , G e n c i)

法政大学・理工学部・教授

研究者番号 : 20389399

(2)研究分担者

川原 茂敬 (KAWAHARA Shigenori)

富山大学・大学院理工学研究部(工学)・教授

研究者番号 : 10204752

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

なし