

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 4 月 23 日現在

機関番号：13201

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009 ～ 2011

課題番号：21700220

研究課題名（和文） 知能ロボットのための生物学的ニューラルコントローラ：BMI アプローチ

研究課題名（英文） Towards Biologically Inspired Neural Controllers for Intelligent Robots: A BMI Approach

研究代表者 チャピ ゲンツィ（Genci Capi）

富山大学・大学院理工学研究部（工学）・教授

研究者番号：20389399

研究成果の概要（和文）：

人間の脳からの信号により、ロボットを制御する研究は非常に重要だ。この研究の目標は、ラットの脳細胞の神経活動から機械的要素と生物的要素を含むロボットを造ることである。具体的には、ラットの脳活動の信号を読み取ることで、ラットの思考を予想し動くシステムを持つロボットである。ここでは、予備段階として、ラットが餌を得るために左右のレバーでロボットを動かす学習をさせた実験の結果を発表する。

研究成果の概要（英文）：

Recent works on Brain Machine Interface (BMI) has given promising results for developing prosthetic devices aimed at restoring motor functions in paralyzed patients. The goal of this work is to create a part mechanical, part biological robot that operates on the basis of the neural activity of rat brain cells. In our method, first the rat learns to move the robot by pressing the right and left lever in order to get food. Then, we utilize the data of multi-electrode recordings to train artificial neural controllers, which are later employed to control the robot motion based on the brain activity of rats. The results show a good performance of artificial neural network controlling the real robot.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

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

BMI は脳と機械を直接つないで相互に作用させるシステムである。例えばBMI で脳とコンピュータが接続できればコンピュータに字入力する場合も頭の中で文章をイメージするだけで文字入力が可能になり、マウスやキーボードがいらなくなる。また、介護・福祉方面では、筋萎縮性側索硬化症患者や事故などで脊椎の損傷による部分・全身麻痺となった人の生活を支えるアプリケーションとして期待されている。

2. 研究の目的

生物型の知的アルゴリズムを利用したロボットに関して、すでに多くの成功例が報告されているが、生物から学ぶべき知見は多く残されている。ニューラル発信子を用いた脚ロボットの CPG 制御に見られるように、これまでの多くの研究で生物を形態レベルで模倣したシステム開発が行われてきた。

本研究は従来研究と異なり、BMI システムを利用して、知能ロボットの生物学的ニューラルコントローラを開発し、生物の思考により環境に適応してロボットを制御できるシステムを構築する。そして、開発したシステムを多脚ロボットへ応用し、脳信号による脚駆動を検証する。

3. 研究の方法

3. 1 ラットのレバー押し学習

富山大学で物質生命工学科の川原先生と共同研究として、ラットを用いた実験を通して新しいBMIシステムの開発を始めた。左右のレバーの信号を認識して、ロボットの動きを変換させるシステムを作成した(Fig.1)。このシステムはPCに接続し、Matlabによりレバーの入力データを処理する。E-puckロボットの動きは入力データに基づいて決定され、ブルートゥースにより制御する。E-puckロボットにはラットの餌がのせられている。ラット (Wistar/ST, male, 10 weeks old) を用いて行った実験の手順:

- 1) ラットを保定された状態に慣れさせる実験
 - i) 左または右のレバーを押した際にラットに直接餌を与えた (Fig. 2(a)).
 - ii) 頭を固定した状態で a). と同じ実験を行った (Fig. 2(b)).

餌を得るために左右のレバーを押し分けロボットを操作する訓練ロボットの動き:

- i) 直線軌道(Fig. 3(a)).
- ii) 右半分又は左半分のU字軌道(図 3(b)).
- iii) U字軌道(Fig. 3(c)).

3. 2 ニューラルネットワーク

皮質ニューロンの記録に基づくレバー位置の予測は人工のニューラルネットワークを適用して求められた。我々は、分類の目的に有用な多層パーセプトロンニューラルネットワーク (MPLNN) を用いた。これは、入出力間のほとんど全ての規定を近似できる。我々のモデルで $P(t)$ は、各列が脳記録データに対応する入力パターンの行列である。 $T(t)$ はレバー位置のサンプルを含む目的出力の行列である。MPLNN の重みは教師付き学習によりオフラインで調整される。

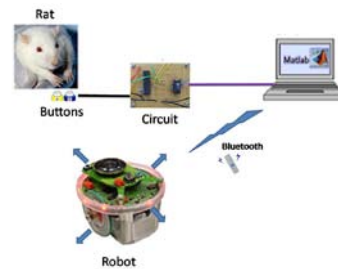


Fig. 1. Developed system.

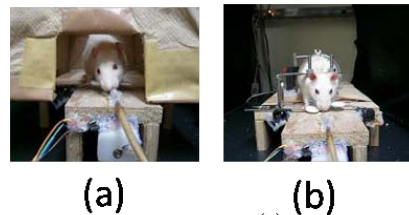


Fig. 2. Rat during training. (a) Head free; (b) Head restricted.

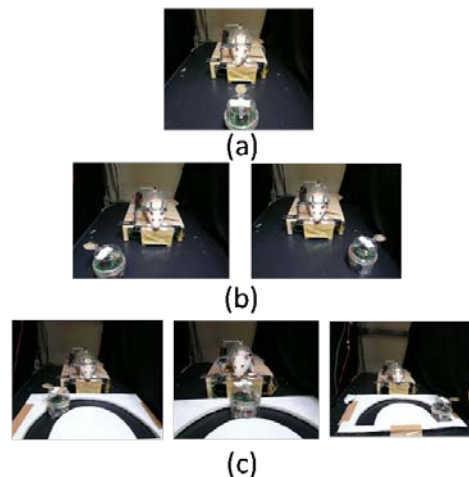


Fig. 3. Rat during training to control the robot. (a) Straight motion; (b) Half right and half left of a U-shape; (c) U shape.

MLPNN の学習の後、獲得したスキルを前もって見ていないサンプルにうまく適用することができた。そこでは良い外挿的、内挿的能力を示した。内部層ニューロンの活性化信号として双曲線正接関数を用い、出力ニュー

ロンにはシグモイド関数を用いた。実際には、出力ニューロンの値は①"0"または②"1"ではない。それは、[0; 1]の範囲で変化し、理想値への近づき方は MPLNN の信頼性に依存する。理想値への出力値を理想値へ近づけるには、NN のより高い信頼性が必要である。我々の実装では、出力が閾値(0.9)より大きい場合は1であり、それ以外の場合は0である。

4. 研究成果

4. 1 ラットのレバー押し学習結果

最初にラットは頭が固定された状態でレバーを押すことを学習した。ラットは右のレバー(Fig. 4(a))を押すこと、左(Fig. 4(b))を押すことを学んだ。ねずみは、最初に、ロボットが右側にあった場合は右レバーを押し、左の位置で左のレバーを押すことでロボットを自分が餌を得るために最適な位置まで動かすことを学んだ (Fig. 4(c))。この訓練でもラットは、餌を手に入れるために正しくレバーを押すことを学習した。

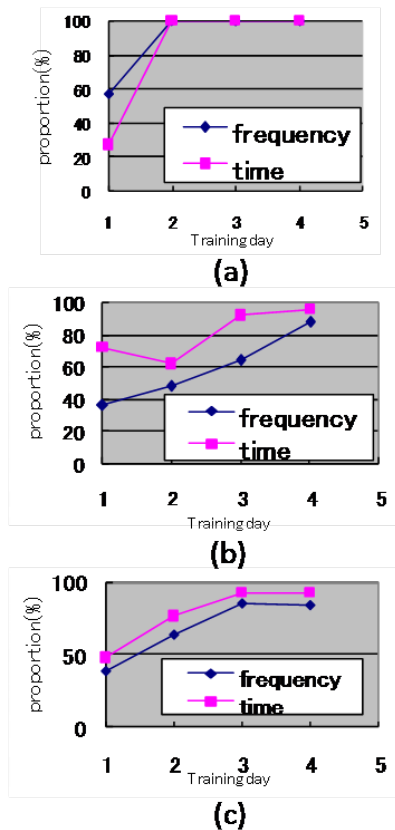


Fig. 4. Training results. (a) Pressing the right lever with the head restricted; (b) Pressing the left lever with the head restricted; (c) Pressing the left lever to control the e-pack robot placed in the left side.

4.1 ニューラルネットワーク実験結果

レバー位置の異なる 10 種類の脳活動データを用いて、学習後のニューラルネットワークの性能を評価した。ラットによるデータと

人工ニューラルネットワークによるロボットの動きを Fig.5 に示す。

図では人工ニューラルコントローラーによるロボットの運動と実際のラットの動きがとても近いことを示している。レバーが押されなかった場合([0,0]) の脳の信号を入力として、ニューラルネットワークにより生成されたロボットの運動を Fig.5(a) に示す。10回のうち2回のロボットの動きは正しく動作していない。

ニューラルネットワークの出力は[0, 1]であり、ロボットの運動は右後方ではなく、左前方へ動いている。ラットが左のレバー([1, 0])を押した時のニューロン信号を用いた NN の結果を Fig.5(b) に示す。始めと最後のロボットの運動が異なっている。

はじめにロボットは右後方([0, 0])へ動き、最後はレバーの位置([1, 1])に対応する直進となる。適正でない NN 出力が最大数となるのは、ラットが右のレバーを押した時のニューロンの信号により動きを生成した時である。

Fig.5(c) は6回のニューラルコントローラー出力が適正[0, 1] (左前方への動き)であり、4回の出力が適正でない[0,0](右後方への動き)ことを示している。

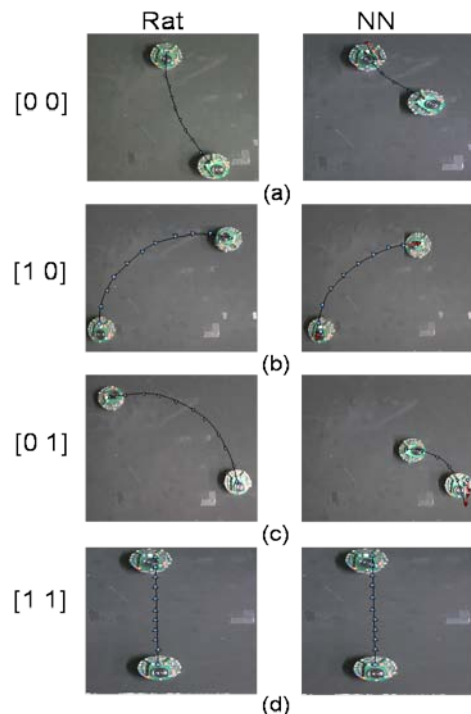


Fig. 5. Robot motion controlled by rats collected data and neural network.

この原因は脳活動を記録するのに用いられた 8 電極のうち、6 つが大腦の右半球にあり 2 つが左半球にあったためと考えられる。2 つの信号のみからニューラルネットワークは入力信号からレバー位置へのマップを学

習することができなかった。ラットが両方のレバーを押した場合の脳信号から生成したロボットの運動は 100%正しかった(Fig.5(d)).

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. G. Capi, Real robots controlled by brain signals – A BMI Approach, Int. Journal of Advanced Intelligence, Vol. 2, pp. 25-36, 2010. 査読有
2. G. Capi, Online robot policy adaptation by learning and evolution, Journal of Intelligent Systems, Vol. 19, pp. 1-16, 2010. 査読有

[学会発表] (計 7 件)

1. M. Mano, G. Capi, Adaptive shared navigation platform for BCI-based control of a simulated robotic wheelchair, 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2012), October 7-12, 2012
2. 塗師岡延寛, 戸田英樹, Genci Capi, “低域フィルタと事象関連電位 P300 を用いたリアルタイムデバイス制御”、平成 23 年 電気学会 電子・情報・システム部門大会、2011 年 9 月 6 日～8 日
3. G. Capi, H. Toda, and S. Kaneko, Real Time Robot Policy Adaptation Based on Intelligent Algorithms, Artificial Intelligence Applications and Innovations, 12th INNS EANN-SIG International Conference, EANN2011, and 7th IFIP WG 12.5 International Conference, AIAI 2011, Corfu, Greece, 2011.
4. 塗師岡 延寛, 戸田 英樹, チャピゲンツイ, 低域フィルタと事象関連電位 P300 を用いたリアルタイムデバイス制御, 第 28 回日本ロボット学会学術講演会, 2010/9/22
5. 塗師岡 延寛, 今枝 毅泰, 川原 茂敬, チャピゲンツイ, 脳波に連動したニューラルネットワークによるロボット制御, 第 27 回日本ロボット学会学術講演会, 2009/9/16
6. G. Capi, T. Takahashi, K. Urushiyama, and S. Kawahara “Controlling the Robot Using the Brain Signals”, 18th IEEE Int. Symposium on Robot and Human Interactive Communication(RoMan) 2009/9/27
7. G. Capi, T. Takahashi, K. Urushiyama and S. Kawahara, Robots Controlled by Neural Networks Trained based on Brain Signals, Proc. of the Machine Learning for Signal Processing, 2009/9/2

[図書] (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://www3.u-toyama.ac.jp/robot/capi.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

チャピ ゲンツイ (Genci Capi)

富山大学・大学院理工学研究部 (工学) ・
教授

研究者番号 : 20389399

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし