

ラット海馬の培養神経細胞による小型ロボットとの生体表現システム

A Biomodeling System by Cultured Neuronal Network of Rat Hippocampus Connected to Moving Robot

林 勲
Isao Hayashi
関西大学
Kansai University

田口 隆久
Takahisa Taguchi
産業技術総合研究所
AIST

工藤 卓
Suguru N. Kudoh
産業技術総合研究所
AIST

Abstract The patterns of spontaneous action potentials are analyzed using the multi-site recording system for the living neuronal networks cultured on a 2-dimensional electrode arrays. In this paper, we constructed "biomodeling system" for Khepera II robot and living neuronal network through fuzzy logic. Our goal is reconstruction of the neuronal network, which can process "thinking" in the dissociated culture system.

1. はじめに

脳は外界と相互作用することで情報を取り込み、知性を自律的に獲得する [1]。この情報処理システムは工学的に有用であるが、例えば、ラットの脳海馬を摘出して培養した神経回路網は外界との入出力機能がないので、反応行動が明確に分析できない。培養細胞をロボットに接続する研究には、S.M.Potter らの Neurally-Controlled Animat [2] がある。しかし、単純に神経回路網と外界とを接続するのみであり、衝突回避のような合目的な行動は生成されない。

本研究では、培養神経細胞と外界認識手段としてのロボットとを相互結合し、合目的な知識獲得および行動表現が可能な“生体表現システム”を構築する。実験では、2種類ファジィシステム [3] により培養細胞を反応学習させ、ロボットに衝突回避行動をとらせる。具体的には、ボトムアップ性ファジィ推論を用いて KheperaII ロボットの行動結果から培養神経細胞への生体刺激を推論し、トップダウン性ファジィ推論を用いて培養細胞の学習活動反応からロボットアクチュエータの行動判断を推論する。この双方向処理は生体細胞と外界ロボット間でのボトムアップとトップダウン処理を構成し、合目的な行動を実現する。

2. 生体表現システム

図 1 に本システムの概要を示す。生体細胞としては胚令 17~18 日のラット胎児脳から海馬領域を摘出し、トリプシン処理により解離する。8×8 個の微小平面電極を備えた培養皿に内径 7mm のクローニングリングを配置し、この内部へ解離した 50 万個の細胞を播種する。血清を含む D-MEM / F12 培地で炭酸ガス培養装置中に 14~20 日培養したものを実験に用いた。

計算負荷を 2 台のコンピュータに分散させるため、処理を複数のユニットに分割し、ボトムアップ処理とトップダウン処理を構成した。ボトムアップ処理では、KheperaII のセンサ情報を Client が読み取り、データソケット DS1 を経由して、ファジィ推論ユニット (FLBU) を用いて電流刺激の回数を推論し、Input Com と DAQ を介して神経回路網を電気刺激する。トップダウン処理では、BrainServer が検出時間幅に出現した海馬培養細胞の活動電位の頻度を DAQ を介して DS3 に書き込み、ファジィ推論ユニット (FLTD) が活動頻度からロボット KheperaII の左右アクチュエータ速度を推論して、KheperaII を制御する。なお、ファジィ推論には簡易型ファジィ推論を用い、8 入力 2 出力で 2 種類ファジィラベルによる 256 個のルールを構成した (図 2 参照)。

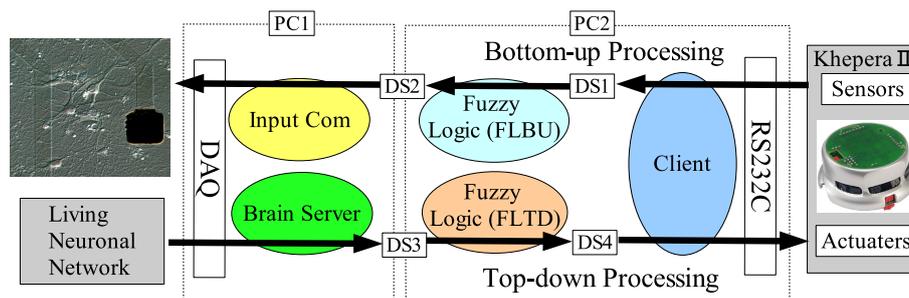


Fig. 1: Biomodeling System by Living Neuronal Network and Robot

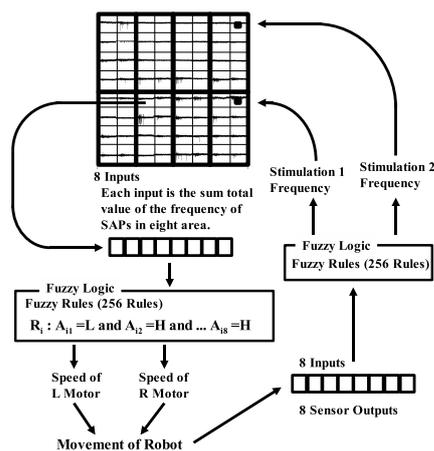


Fig. 2: Robot Control with Living Neuronal Network

3. 実験と考察

FLTD では、細胞外電位多点計測システムの 64 個の電極を 8 個ずつに分割統合し 8 入力とした。各入力において、検出時間幅を 50ms として 8 個の電極で検出された活動電位の出現回数を入力変数とし、KheperaII の左右のアクチュエータの -20 ~ +20 の速度を出力とした。ルール設定では、細胞外電位多点計測システムでの任意の 2 個の電極から細胞への電流刺激による誘導活動電位を測定して、これらの活動電位パターン回数と回避行動が線形的になるようにしてメンバシップ関数と出力速度を構成した。ファジールールの一例を以下に示す。

- R_1 : If I_1 is *High* and ... and I_8 is *High*
then $L_{speed} = 3$ and $R_{speed} = 3$
- R_2 : If I_1 is *High* and ... and I_8 is *Low*
then $L_{speed} = 7$ and $R_{speed} = 3$
- ⋮
- R_{256} : If I_1 is *Low* and ... and I_8 is *Low*
then $L_{speed} = 1$ and $R_{speed} = 1$

実験では、ファジールールは LabView により機械語に変換され、ファジィ推論により KheperaII ロボットが障害物を回避する。実験結果を以下に示す。

結果 1 KheperaII 周辺に障害物がない場合には、自発的神経活動パターンにより多様な行動パターンが出現した。走行軌跡を図 3 に示す。

結果 2 KheperaII 周辺に障害物がある場合には、FLBU により神経回路網への刺激頻度が入力され、KheperaII は障害物回避を発現できた。回避例を図 4 に示す。

結果 1 では、パターンは培養細胞回路網の定性的な内部状態を反映していると考えられるが、まだ明確に解析されていない。また、結果 2 では、FLBU によって、より増大な刺激が細胞に与えられ、細胞は電気活動の特定パターンを学習的に想起する。その結果、活動電位から FLTD によって KheperaII ロボットのアクチュエー

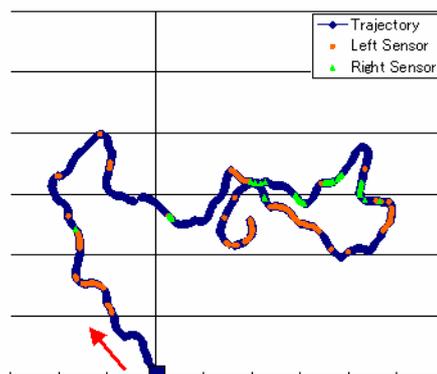


Fig. 3: An Example of Trajectory of Robot

タでの速度が推論され、より大きな回避行動をとっている。この結果は、生体細胞と外界ロボットによる生体表現システムの構築のための第一段階として興味深い。



Fig. 4: Collision Avoidance of Robot with Living Neuronal Network

4. おわりに

ここでは、培養細胞とロボットとの生体表現システムを構築した。今後、細胞の自律学習やファジィ推論との機能分担について研究する必要がある。なお、本研究は、文部科学省の科学研究費 (18500181, 18048043) の助成を得た。

参考文献

- [1] S.N. Kudoh and T. Taguchi: Operation of Spatiotemporal Patterns Stored in Living Neuronal Networks Cultured on a Microelectrode Array, *Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, Vol.8, No2, pp.100-107, (2003)
- [2] T.B. Demarse, D.A. Wagenaar, A.W. Blau, and S.M. Potter: The neurally controlled animat, biological brains acting with simulated bodies, *Autonomous Robots*, Vol.11, pp.305-310, (2001)
- [3] 林 勲, 古橋 武: ファジィ・ニューラルネットワーク, 朝倉書店 (1996)