

ファジィ演算子による神経培養細胞の活動電位解析

Analysis of Action Potentials of Cultured Neuronal Network Using Fuzzy Operator

林 勲 清時 愛 清原 藍 田口 隆久 工藤 卓
 I.Hayashi M.Kiyotoki A.Kiyohara T.Taguchi S.N.Kudoh
 関西大学 関西大学 産総研・大阪大学 産総研 関西学院大学
 Kansai Univ. Kansai Univ. AIST / Osaka Univ. AIST Kwansei Gakuin Univ.

Abstract Recently, BCI(Brain computer interface) has been come into the research limelight. We have been investigating action potentials of rat hippocampal neurons cultured on a dish with 64 micro planer electrodes. However, we don't exactly comprehend logicity in micro planer electrodes yet. In this paper, we analyze logicity in three electrodes using fuzzy operator consisting of t-norm operator and t-conorm operator, and discuss logicity in cultured neuronal network.

1. はじめに

近年、脳で外部機器を制御する Brain Machine Interface(BMI)の研究が行われている。脳の活動の理解には脳神経細胞の外的刺激に対する応答が不可欠であり、この解析には、シングルニューロン計測法や多点電極計測システムが活用されている [1, 2]。一方、神経培養細胞の多点電極間の関係性を獲得する Bettencourt らの研究 [3] がある。しかし、各点電極間の論理性までを十分に獲得できているとは限らない。

本研究では、 t -norm 演算子と t -conorm 演算子のファジィ演算子 [4] を用いて、培養神経細胞の多点電極間の論理性を議論する。ファジィ演算子は AND 演算と OR 演算の一般形演算子であり、その中でも、Schweizer 演算子は、パラメータにより t -norm 演算子の論理積から激烈積まで、及び t -conorm 演算子の論理和から激烈和までを変更できるので、有用である。ここでは、Schweizer のファジィ演算子を用いて、分散培養神経細胞の多点電極間の 2 入力 1 出力の論理性を獲得して、神経細胞の関係性について議論する。

2. ファジィ結合演算子

t -norm T とは、 $(x, y) : [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ なる関数で、境界条件、短調性、交換性、結合性を満たすものをいう。 t -conorm S は、 t -norm の双対な演算である。Schweizer 演算子を以下に示す。ここで、 t -norm 演算子の p_n はパラメータであり、激烈積 ($p \rightarrow 0$) から論理積 ($p \rightarrow \infty$) までを表現する。 t -conorm 演算子においても同様である。

$$T(x, y) = 1 - ((1-x)^{p_n} + (1-y)^{p_n} - (1-x)^{p_n}(1-y)^{p_n})^{1/p_n} \quad (1)$$

$$S(x, y) = (x^{p_c} + y^{p_c} - x^{p_c}y^{p_c})^{1/p_c} \quad (2)$$

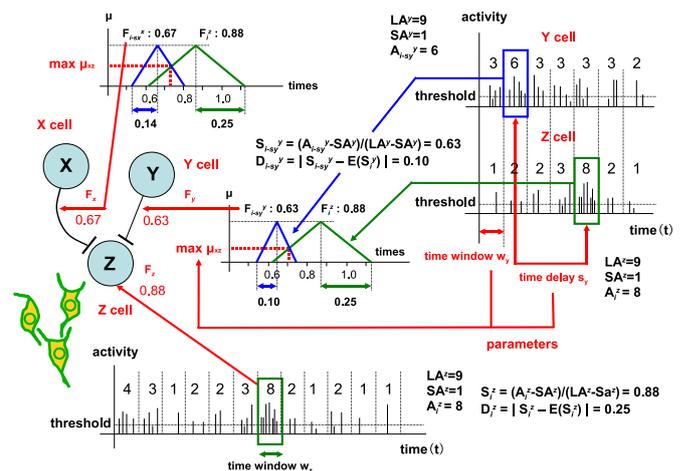


Fig. 1: Algorithm for Analysis of Action Potentials in Cultured Neuronal Network

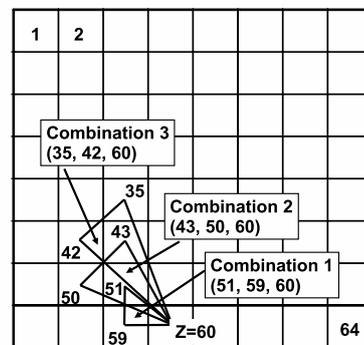


Fig. 2: Experiments

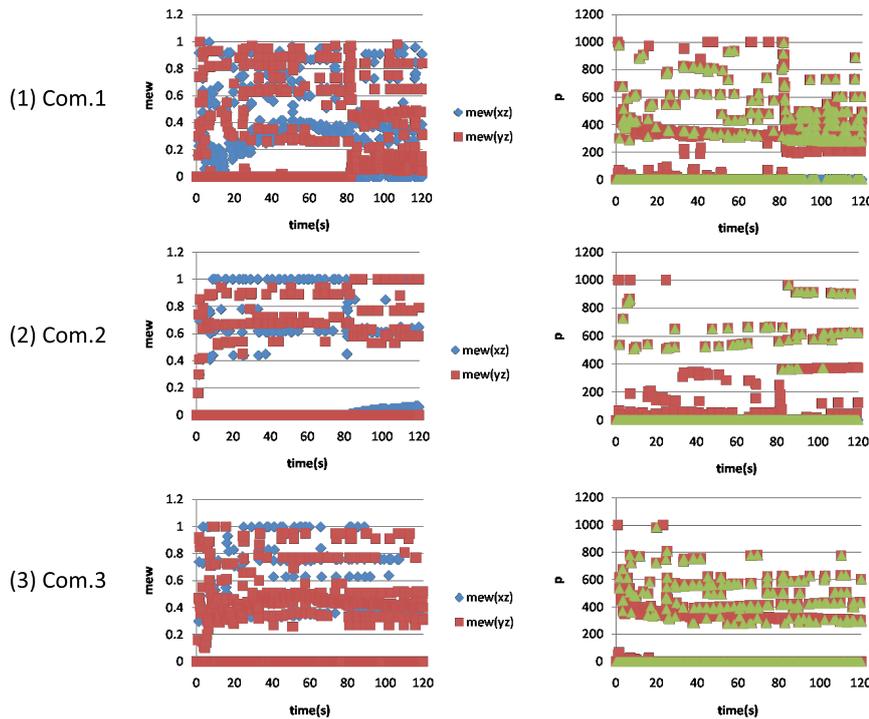


Fig. 3: Analysis of Action Potentials

3. ファジィ演算子による細胞の活動電位解析

多点電極計測システムでの64個の電極における発火の時刻データが得られている．任意の x, y, z の3電極を選択し論理性を獲得する．提案アルゴリズムを図1に示す．まず， x 電極と z 電極の関係において，タイムウィンド内の発火回数と偏差から x 電極と z 電極のファジィ数を計算して，一致度 μ_{xz} が高くなるようにタイムウィンドと時間幅のパラメータを調整する． y 電極と z 電極の場合も同様に調整する．次に， x 電極の正規化発火頻度 F_x と y 電極の F_y を入力とし， z 電極の F_z を出力として，Schweizer演算子のパラメータ p_n, p_c を調整して， $F_z = f(F_x, F_y)$ となる関係 $f = \{T, S\}$ を同定する．

活動電位解析では，60番目の電極($ch60$)を出力として，63個の電極から任意の2電極を入力とした．図2に入力と出力の一例を示す．発火頻度の解析から， $ch60$ の計測開始95s付近において発火頻度が6回程度と減少し，その後，102.4sに発火頻度の急激な増加の特徴が見られた．この102.4sの特徴的な発火が図2の各入力電極の組に対して，どのように影響したかを解析した．

各入力組の時間遷移に対するファジィ一致度とファジィ演算子のパラメータ値を図3に示す．(1)では，102.4sにおいて， $w_x = 11s$ ， $w_y = 10s$ でファジィ一致度が $\mu_{xz} = 0.85$ ， $\mu_{yz} = 0.75$ となり， $p^* = p_c = 730.5$ が得られた．また，(2)では， $w_x = 11s$ ， $w_y = 10s$ で $\mu_{xz} = 1.0$ ， $\mu_{yz} = 1.0$ となり， $p^* = p_c = 617.98$ が得られた．(3)では， $w_x = 11s$ ， $w_y = 10s$ で $\mu_{xz} = 0.76$ ， $\mu_{yz} = 0.91$ となり， $p^* = p_c = 630.23$ が得られた．これらの結果から， $ch60$ の102.4sの発火は，(1) $p^* = p_c = 730.5$ ，(2) $p^* = p_c = 617.98$ ，(3) $p^* = p_c = 630.23$ と影響し，

102.4s前後は $p^* = p_n = 0.0$ であるので，激烈積に近い論理性が得られている．したがって，出力電極は2つの入力電極に対して強いAND関係から弱いOR関係に変化したと考えられる．

4. おわりに

今後はスパイクの発火密度も考慮して，細胞間の論理関係についてさらに検討する必要がある．

参考文献

- [1] 林，徳田，清原，田口，工藤：生態表現システム：ファジィ推論を用いた培養神経細胞における適応学習の解析，第23回ファジィシステムシンポジウム講演論文集，pp.565-570 (2007)
- [2] 工藤，林，田口：神経細胞とシナプス可塑性，知能と情報，Vol.18, No.3, pp.352-368 (2006)
- [3] L.M.A.Bettencourt, G.J.Stephens, M.I.Ham, and G.W.Gross : Functional structure of cortical neuronal networks grown in vitro, *Physical Review*, Vol.75, p.02915 (2007).
- [4] 林，内藤，若見：最急降下法を用いた学習型ファジィ結合演算子の提案，日本ファジィ学会誌，Vol.5, No.5, pp.1132-1141 (1993)

[連絡先]

林 勲 関西大学 総合情報学部
e.mail ihaya@cpii.kut.ac.jp