



周期入力に対する Izhikevich ニューロンモデルの応答 —バースト発火するニューロンの場合—

Responses of the Izhikevich Neuron Model to Periodic Inputs
—In Case of Burst Firing—

塚本陽太 対馬帆南 池口徹
Yota Tsukamoto Honami Tsushima Tohru Ikeguchi

東京理科大学 大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Tokyo University of Science

1 はじめに

我々は既に, Izhikevich ニューロンモデルが Regular Spiking (RS) と Fast Spiking (FS) を呈する際の正弦波入力に対する応答を調査している [1–3]. その結果, 周期応答と準周期応答が発生することを報告した. Izhikevich ニューロンモデルの主要な発火パターンには, RS と FS に加え, Intrinsically Bursting (IB) や Chattering (CH) などがある. RS と FS はいずれも, スパイクが周期的に発生する発火パターンである. それに対し, IB はバーストの後に周期的なスパイク発火が続く発火パターンであり, CH はバーストが断続的に発生する発火パターンである. そこで本稿では, Izhikevich ニューロンモデルがバーストを含む発火パターンである IB と CH を呈する際の正弦波入力に対する応答を調査したので報告する.

2 数値実験

本稿では, Izhikevich ニューロンモデル [4] のパラメータを IB ($a = 0.02, b = 0.2, c = -55, d = 4$) と CH ($a = 0.02, b = 0.2, c = -50, d = 2$) に設定した. 数値計算にはオイラー法 (時間ステップ 0.01) を用いて, 発火時刻を線形内挿により推定した [5]. また, 周期入力を正弦波 $I(t) = I_{DC} + I_{AC} = I_{DC} + A \sin(2\pi/T)t$ とした. $I_{DC} = 10$ とし, I_{AC} の振幅 A , 周期 T を変化させ, Izhikevich ニューロンモデルの応答を定量的に調査した. 評価には, ISI (Interspike Interval) の多様性指数 $R = m/n$ [1–3, 6, 7] を用いた. ただし, ISI の総数を n , 異なる ISI の値の個数を m とする. 周期応答の場合, 異なる ISI の値の個数が ISI の総数より非常に少ない ($n \gg m$) ため, $R \approx 0$ となる. 一方, 非周期応答の場合, 両者が近い値となる ($n \approx m$) ため, $R \approx 1$ となる. 本稿では, ISI を小数第 10 位までの精度とし, 時刻 $0 \leq t < 5,000$ を過渡状態として排除し, $5,000 \leq t \leq 15,000$ の発火時系列から ISI の多様性指数を計算した. また, 正弦波の振幅は $0 \leq A \leq 10$, 周期は $1 \leq T \leq 1,000$ の範囲で変化させた. IB と CH の調査結果を図 1 と図 2 にそれぞれ示す. 横軸と縦軸は正弦波の周期 T と振幅 A , カラーバーは ISI の多様性指数 R である. 図 1 と図 2 より, IB と CH の両者において, 周期応答の領域と非周期応答の領域が $A = 6$ 付近に収束することがわかる. 相平面上において, Izhikevich ニューロンモデルの v スルクラインは放物線であり, 正弦波入力の変動によって u 軸方向に振動する. 正弦波入力 が最小値 ($I(t) = I_{DC} - A$) を

とるときに, v スルクラインが u スルクラインに接するときの振幅が $A = 6$ である.

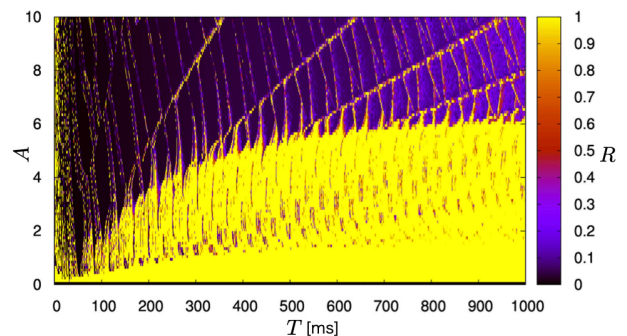


図 1: IB の多様性指数

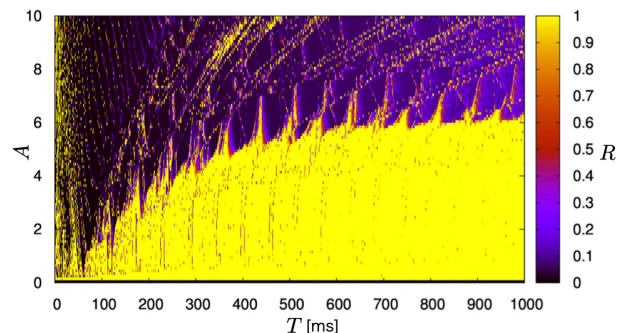


図 2: CH の多様性指数

3 まとめ

本稿では, Izhikevich ニューロンモデルが IB および CH ニューロンとなる場合の正弦波入力に対する応答を調査した. 正弦波入力の振幅に応じて周期応答または非周期応答が発生し, その境界はスルクラインの位置関係に対応することが分かった. なお, 本研究の一部は, JSPS 科研費 JP20H00596, JP21H03514 の助成を受けた.

参考文献

- [1] Tsukamoto et al., *NLSW2021*, NLSW-54, 2021.
- [2] Tsukamoto et al., *NOLTA, IEICE*, E13-N(2), 367–372, 2022.
- [3] 塚本 他, 電子情報通信学会総合大会, N-1-16, 2022.
- [4] Izhikevich, *IEEE TNN*, 14(6), 1569–1572, 2003.
- [5] Izhikevich, *Phil. Trans. R. Soc. A*, 368(1930), 5061–5070, 2010.
- [6] 杉浦 他, 信学技報, 113(116), 43–48, 2013.
- [7] 内木 他, 信学論 A, J100-A(5), 195–204, 2017.