

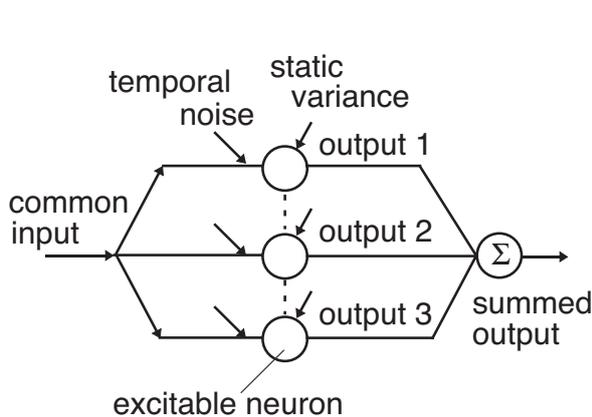
雑音を利用してパルス密度変調を行う神経模倣ハードウェア

北大院情報, 浅井 哲也, 宇田川 玲, 雨宮 好仁

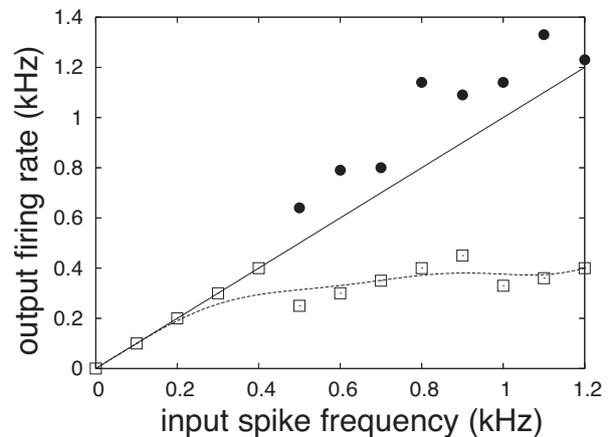
High-fidelity neuromorphic pulse-density modulator based on a model of vestibulo-ocular reflex

Hokkaido Univ., Tetsuya Asai, Akira Utagawa, Yoshihito Amemiya

前庭動眼反射 (vestibulo-ocular reflex: VOR) のモデル [1] に基づくパルス密度変調ハードウェアを提案する。モデルの概略を図 (a) に示す。このモデルは、入力値 (アナログ値) をパルス密度 (出力はパルス列) に変調する機能を持つ。複数の興奮性細胞に共通の入力が与えられ、それらの細胞のスパイク列の総和が出力となる。個々の細胞は、不応期を下回る周期の入力 (~高周波入力) に対して、正しいパルス密度変調を行うことができない。ここで、個々の細胞の固有発火率が異なり (ばらつきの導入)、またそれらの細胞が独立した雑音列を受けるとする (熱雑音等による位相摂動)。すると、個々の細胞の位相 (発火イベント) がばらつくため、共通の入力を与えた場合、ある時刻の入力に対して発火できる細胞集団と発火できない (不応期にある) 集団ができる。全細胞のスパイク列の総和を出力と考えれば、ネットワーク全体としては、入力がパルス密度に反映された出力が得られる。言い換えれば、低速な細胞を用いても、その集団にバラツキと雑音列を与えることで、単体の細胞では変調しきれない周波数のアナログ入力をパルス密度に変調できる [1]。この現象を応用して、極低消費電力化を目指した (ゆえに低速な) アナログパルス密度変調器のパフォーマンス向上を狙う。文献 [2] のパルス密度変調回路を四つ用いて図 1 のネットワークを構成した。簡単のため、入力はパルス波とした。単体のパルス密度変調回路と、ネットワーク回路の周波数追従特性を図 (b) に示す。単体 (図中の□) の場合は、0.4 kHz 以上の周波数の入力に対して正しいパルス密度変調ができなかった (出力のパルス周波数が入力のそれと一致しなくなった) が、ばらつきと雑音を与えたネットワーク回路 (図中の●) の場合は、1.2 kHz 程度まで追従した。つまり、変調可能な最大入力周波数が3倍程度増加した。このときの消費電力は100ナノワット程度であった。今後は正弦波入力に対する応答、およびニューロン数の変化による変調可能周波数の評価等を行う予定である。



(a) Model construction



(b) Circuit simulation results

[1] T.M. Hospedales et al., (2007). Implications of noise and neural heterogeneity for vestibulo-ocular reflex fidelity. *Neural Comput.*, 20(3), 756–778.

[2] T. Asai et al. (2005). Analog reaction-diffusion chip imitating the Belousov-Zhabotinsky reaction with hardware Oregonator model. *Int. J. Unconventional Comput.*, 1(2), 123-147.