

Sinapsinio plastiškumo įtaka pirmo tipo neuronų sinchronizacijos režimams

Interplay of synchronization modes and synaptic plasticity in a system of class I neurons

Irmantas Ratas, Kęstutis Pyragas

Fizinių ir technologijos mokslų centras, Savanorių pr. 231, 02300 Vilnius

irmantas.ratas@ftmc.lt

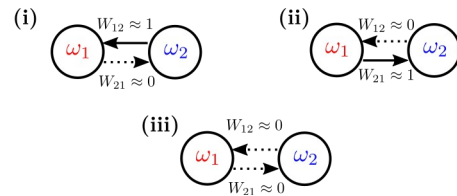
Sinchronizacija smegenyse gali atlikti tiek konstruktyvų tiek destruktivų vaidmenį, todėl svarbu suprasti šio reiškinio atsiradimo bei egzistavimo sąlygas. Neuronų galimybes sinchronizuotis nulemia individualios neuronų savybės, jų tinklo struktūra ir ryšio stiprumas. Neuronų tinklas nėra statiškas. Tinklo jungtys ir jungčių stiprumas keičiasi priklausomai nuo individualių neuronų veiklos. Ši jungčių savybė vadinama sinapsiniu plastiškumu. Taigi turime grįžtamąjį ryšį tarp individualių neuronų ir pačio tinklo dinamikos, kurį šiame darbe ir tirsime.

Neuronų dinamikai aprašyti pasirinkome pirmo tipo neuronų modelius: kvadratiškai integruojantį neuroną (angl. *quadratic integrate and fire* (QIF)), Wang–Buzsáki ir Morris–Lecar. Pirmo tipo neuronai, priklausomai nuo pridėtos pastovios išorinės jėgos, gali generuoti dažnius iš plataus spektro. Dažniausiai pridėjus teigiamo ženklo stimuliaciją tokie neuronai greitina savo dinamiką.

Laikas, kai neuroono potencialas viršija tam tikrą kritinę vertę ir gali perduoti signalą kitam neuronui, yra vadinamas aktyvavimo laiku. Neuronai mūsų modelyje tarpusavyje sąveikauja delta impulsais. Darbe ryšio dinamiką aprašėme nuo neuronų aktyvavimo laiko priklausomu sinapsiniu plastiškumu (angl. Spike-timing-dependent plasticity (STDP)). Tai reiškia, kad ryšio kitimas tarp dviejų neuronų priklauso nuo jų aktyvavimo laikų skirtumo. Kuo tas laikas yra trumpesnis, tuo labiau šis ryšys pakinta. Pokyčio ženklas priklauso nuo aktyvacijos eiliškumo. Plačiau apie STDP taisykles ir jas patvirtinančius eksperimentus galima paskaityti apžvalgoje [1,2].

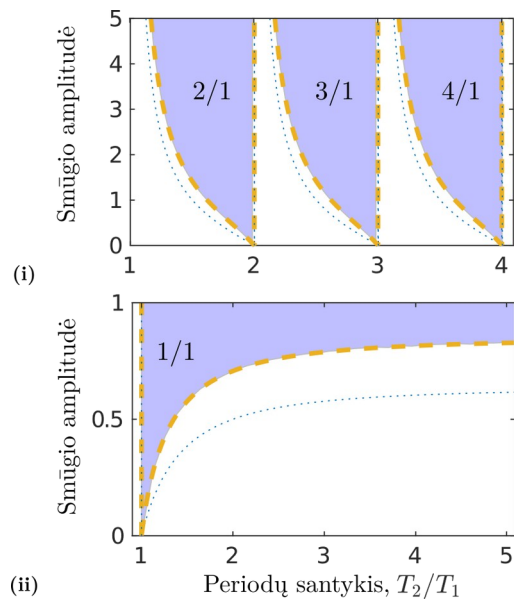
Tyrimą pradėjome nagrinėdami dviejų sujungtų neuronų atvejį. Išsiaiškinome, jog tarp dviejų neuronų gali egzistuoti trys tinklo konfigūracijos (žr. 1 pav.): (i) Ryšys iš greitesnio į lėtesnį neuroną nunyksta, o iš lėtesnio į greitesnį įgyja maksimalią vertę, sistema osciliuoja lėtojo dažniu; (ii) Ryšys iš lėtesnio į greitesnį nunyksta, o iš greitesnio į lėtesnį įgyja maksimalią vertę, sistema osciliuoja greitesnio neuroono dažniu; (iii) Abu ryšiai nunyksta, sistema desinchronizuota.

Pirmoms dviem konfigūracijoms išlikti stabilioms reikalingas tam tikras sąveikaujančių neuronų savųjų periodų santykis ir atitinkama delta impulso amplitudė. Ši priklausomybė vadinama Arnoldo liežuvio (AŽ), buvo rasta analitiškai. Palyginę AŽ statiškoms ir plastiškoms konfigūracijoms matome, jog plastiškumas sumažina galimybę dviem neuronams sinchronizuotis (žr. 2 pav.).



1 pav. Galimos dviejų neuronų $\omega_1 > \omega_2$ konfigūracijos.

Atlikę skaitmeninius modeliavimus su didesniais tinklais nustatėme, jog tokiuose tinkluose gali pasireikšti visos trys konfigūracijos, aptinkamos dviejų neuronų atveju. Iš šių rezultatų įdomu tai, jog lėtas neuronas gali priversti visą tinklą osciliuoti lėtu dažniu. Rezultatai publikuoti straipsnyje [3].



2 pav. Arnoldo liežuvio pavyzdžiai dviem QIF neuronams, esant (i) ir (ii) konfigūracijoms. Mėlyna taškuota kreivė statinis ryšys, geltona brūkšniuota kreivė plastiškas ryšys.

Reikšminiai žodžiai: Sinchronizacija, sinapsinis plastiškumas.

Literatūra

- [1] Daniel E. Feldman, *Neural Circuit and Cognitive Development (Second Edition)*, p.127-141, (Academic Press,2020).
- [2] Henry Markram, Wulfram Gerstner, Per Jesper Sjöström, Spike-Timing-Dependent Plasticity: A Comprehensive Overview, *Frontiers in Synaptic Neuroscience*, 4 (2012).
- [3] I. Ratas and K. Pyragas, Interplay of different synchronization modes and synaptic plasticity in a system of class I neurons, *Sci. Rep.* 12, 19631 (2022).