

# Neuroninių tinklų desinchronizavimas stabilizuojant nežinomas pusiausvyros būsenas

## Desynchronization of neural networks by stabilizing unknown equilibrium states

Tatjana Pyragienė, Kęstutis Pyragas

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

[tatjana.pyragiene@ftmc.lt](mailto:tatjana.pyragiene@ftmc.lt)

Sinchronizacijos tyrimai didelėse susietų netiesinių osciliatorių populiacijose yra svarbūs įvairiose mokslo srityse, pradedant fizika ir baigiant neuromokslu. Sinchronizacijos vaidmuo neuroninėse sistemose gali būti dvejopas. Sveikoje būsenoje sinchronizacija atsakinga už mokymąsi ir pažinimą [1], tačiau perteklinė sinchronizacija gali sukelti įvairias neurologines ligas, tokias kaip Parkinsono liga [2], epilepsija ir kt.

Aukšto dažnio gilioji smegenų stimuliacija (GSS) yra standartinė neurologinių sutrikimų gydymo procedūra, tačiau ji gali sukelti šalutinį poveikį, o jos gydomasis poveikis laikui bėgant gali sumažėti, todėl yra didelis mažiau invazinių ir veiksmingesnių stimuliavimo metodų poreikis [3].

Nemažai teorinių darbų rodo, kad koherentinių virpesių desinchronizavimas yra ypač efektyvus grįžtamojo ryšio valdymo algoritmų pagalba. Didelio masto neuroniniuose tinkluose koherentiniai ribinio ciklo virpesiai paprastai egzistuoja kartu su nestabiliomis nekoherentinėmis pusiausvyros būsenomis, kurios nėra stebimos eksperimentiškai. Siekdami stabilizuoti nežinomas nestabilias pusiausvyros būsenas ir nuslopinti koherentinius virpesius, įdiegėme pirmos eilės grįžtamojo ryšio valdiklį, kurio idėja buvo pasiūlyta mūsų ankstesnėje publikacijoje [4].

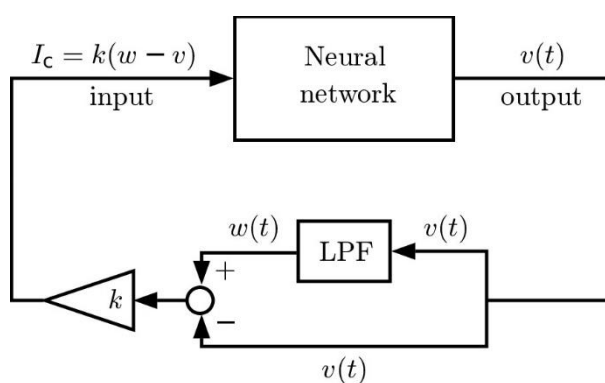
Mes pritaikėme šį algoritmą neuroniniams tinklams, sudarytiems iš QIF (*quadratic integrate-and-fire*) neuronų [5]. Termodinaminėje (be galo didelio tinklo) riboje QIF neuroninio tinklo mikroskopinės lygtys buvo redukuotos iki paprastos, mažos dimensijos vidutinio lauko (*mean-field*) lygčių sistemos, kuri leido analitiškai iširti valdymo problemą. Stabilizavome dviejų tipų nekoherentines būsenas, susijusias su nestabiliu židiniu ir balno pusiausvyros taškais. Balno stabilizavimui panaudojome nestabilų valdiklį.

Valdiklis sukonstruotas naudojant žemųjų dažnių filtrą LPF (*low-pass filter*). Valdiklio, pritaikyto neuroniniams tinklams, simbolinė schema parodyta 1 pav. Darome prielaidą, kad tinklo išvestyje (*output of the network*) galima išmatuoti visos arba dalies neuronų populiacijos vidutinį membranų potencialą  $v(t)$  (*mean membrane potential*). Be to, tariame, kad visa neuronų populiacija arba jos dalis gali būti stimuliuojama įvesties srove (*input current*)  $I_c(t)$ . Tinklo įvestis ir išvestis (*input and output*) yra sujungti grįžtamojo ryšio kilpa, aprašyta tokiomis lygtimis:

$$w' = w_c (v - w), \quad (1a)$$

$$I_c = k(w - v), \quad (1b)$$

kur  $w$  yra valdiklio LPF dinaminis kintamasis. Valdymo algoritmas turi du reguliuojamus parametrus: LPF ribinį dažnį  $w_c$  ir grįžtamojo ryšio stiprį  $k$ . Stabilizuojant balną,  $w_c$  yra neigiamas, kas atitinka nestabilų valdiklį. Valdiklis sukonstruotas taip, kad stabilizuotoje nekoherentinėje būsenoje stimuliacijos srovė  $I_c(t)$  asimptotiškai artėja prie nulio.



1 pav. Nežinomų nestabilių būsenų stabilizavimo neuroniniuose tinkluose simbolinis vaizdavimas.

Siūlomo valdiklio idėja yra patraukli projektuojant naujos kartos neurostimulatorius, nes nereikia žinoti tikslaus tinklo modelio, o neuronų desinchronizacija pasiekama minimalios invazijos būdu.

### Padėka

Darbas parengtas pagal Lietuvos Mokslo Tarybos projektą Nr. S-MIP-21-2.

*Reikšminiai žodžiai:* neuroniniai tinklai, vidutinio lauko (*mean-field*) lygtys, *sinchronizacijos valdymas*.

### Literatūra

- [1] J. Fell, N. Axmacher, Nat Rev Neurosci **12** (2), 105 (2011).
- [2] C. Hammond, H. Bergman, P. Brown, Trends Neurosci. **30** (7), 357 (2007).
- [3] J. K. Krauss, N. Lipsman, T. Aziz, A. Boutet, P. Brown, J. W. Chang, B. Davidson, W. M. Grill, M. I. Hariz, A. Horn, M. Schulder, A. Mammis, P. A. Tass, J. Volkmann, A. M. Lozano, Nat Rev Neurol **17** (2), 75 (2021).
- [4] K. Pyragas, V. Pyragas, I. Z. Kiss, J. L. Hudson, Phys. Rev. Lett. **89**, 244103 (2002).
- [5] T. Pyragienė, K. Pyragas, Phys. Lett. A (2023) submitted.