

# Sinchronizacijos slopinimas dviejose sąveikaujančiose neuronų populiacijose

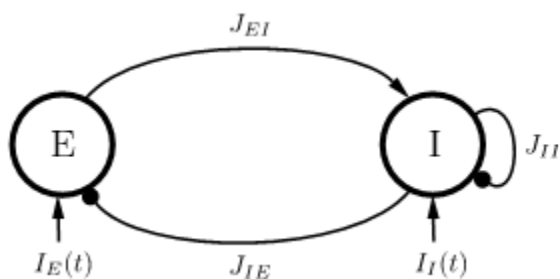
## Suppression of synchronization in two interacting neural populations

Tatjana Pyragienė, Kęstutis Pyragas, Augustinas P. Fedaravičius  
Fizinių ir technologijos mokslų centras, Savanorių pr. 231, 02300 Vilnius  
[tatjana.pyragiene@ftmc.lt](mailto:tatjana.pyragiene@ftmc.lt)

Sinchronizacijos procesai didelėse sąveikaujančių dinamiškos sistemų populiacijose yra intensyvių fizinių, technologinių ir biologinių sistemų tyrimų objektas [1]. Ypač stipri sinchronizacija gali pakenkti smegenų funkcijai ir sukelti įvairius neurologinius sutrikimus, tokius kaip Parkinsono liga, epilepsija ir kt. Dėl šios priežasties sinchronizacijos valdymo tyrimai yra aktualūs moksliniu ir medicininio požiūriu. Aukšto dažnio giliosios smegenų stimuliacijos (GSS) terapinė procedūra [2] yra patvirtinta klinikiniam Parkinsono ligos ir kt. gydymui.

Naujausi dinamiškos sistemų teorijos pasiekimai leido geriau suprasti sinchronizacijos poveikį didelio masto osciliatorių tinkluose. Ott ir Antonsen [3] parodė, kad sujungtų osciliatorių mikroskopinio modelio lygtys gali būti redukuotos iki mažų matmenų įprastų diferencialinių lygčių sistemos biofiziškai reikšmingiems makroskopiniams parametrams: spaikavimo dažniui (*firing rate*) ir vidutiniam membranos potencialui (*mean membrane potential*), kurie tiksliai apibūdina sistemos makroskopinę evoliuciją.

Mes parodėme [4], kad vidutinio lauko (*mean-field*) lygtys yra naudingos norint suprasti stimuliacijos poveikį sinchronizacijos procesams. Mes ištyrėme dviejų sąveikaujančių eksitatorinių ir inhibitorinių (*excitatory and inhibitory*) QIF (*quadratic integrate-and-fire*) neuronų populiacijų tinklą. Tinklo schema pateikta 1 pav.



1 pav. Simbolinis dviejų neuronų populiacijų tinklo vaizdavimas. Dideli apskritimai, pažymėti „E“ ir „I“, rodo eksitatorinių ir inhibitorinių neuronų populiacijas. Kreivė, besibaigianti rodykle, rodo eksitatorinį ryšį tarp E ir I populiacijų;  $J_{EI}$  yra sąveikos stipris. Kreivės, besibaigiančios juodais rutuliukais, rodo inhibitorines jungtis tarp I ir E populiacijų, taip pat viduje I populiacijos;  $J_{EI}$ ,  $J_{IE}$ , ir  $J_{II}$  yra atitinkamų sąveikų stipriai. Vertikalios rodyklės, pažymėtos  $I_E(t)$  ir  $I_I(t)$ , rodo išorines sroves, stimuliuojančias E ir I populiacijas.

Palyginus paprastos vidutinio lauko lygtys leidžia atlikti išsamią įvairių laisvo tinklo dinamiškos režimų bifurkacinę analizę ir atskleisti įvairių stimuliavimo algoritmų veikimo mechanizmus. Mes parodėme, kad inhibitorinės populiacijos aukšto dažnio stimuliacija yra labai veiksminga slopinant abiejų populiacijų kolektivinius sinchroninius virpesius. Slopinimo mechanizmą galima paaiškinti kaip nestabilios nekoherentinės tinklo būsenos stabilizaciją.

Redukuotos vidutinio lauko lygtys išvedamos, darant prielaidą, kad tinklas yra be galo didelis, bet realūs tinklai yra baigtinio dydžio. Algoritmui išbandyti buvo naudojamas skaitmeninis modeliavimas su 2000 eksitatorinių ir 2000 inhibitorinių QIF neuronų. Šio skaitmeninio modeliavimo rezultatai gerai dera su rezultatais, gautais iš vidutinio lauko lygčių.

Vidutinio lauko lygtys, išvestos iš sąveikaujančių QIF neuronų mikroskopinės dinamikos, yra veiksminga priemonė kuriant įvairius stimuliavimo algoritmus, skirtus valdyti sinchronizacijos procesus didelio masto neuroniniuose tinkluose.

### Padėka

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

*Reikšminiai žodžiai: neuroniniai tinklai, mikroskopinio modelio redukcija, bifurkacijų analizė, aukšto dažnio stimuliacija, sinchronizacijos slopinimas.*

### Literatūra

- [1] A. Arenas, A. Díaz-Guilera, J. Kurths, Y. Moreno, and C. Zhou, Synchronization in complex networks, *Physics Reports* 469, 93 (2008).
- [2] M. L. Kringelbach, N. Jenkinson, S. L. Owen, and T. Z. Aziz, Translational principles of deep brain stimulation, *Nat. Rev. Neurosci.* 8, 623 (2007).
- [3] E. Ott and T. M. Antonsen, Low-dimensional behavior of large systems of globally coupled oscillators, *Chaos* 18, 037113 (2008).
- [4] K. Pyragas, A. P. Fedaravičius, and T. Pyragienė, *Phys. Rev. E* 104, 014203 (2021).