

Košy triukšmo poveikis kvadratiškai integruojančių ir spaikuojančių neuronų tinklui esant ne-Košy heterogeniškumams

Effect of Cauchy noise on a network of quadratic integrate-and-fire neurons with non-Cauchy heterogeneities

Viktoras Pyragas¹, Kęstutis Pyragas¹

¹Fizinių ir technologijos mokslų centras, Saulėtekio al. 3, 10257 Vilnius

viktoras.pyragas@ftmc.lt

Daugelis biologinių sistemų, tokios, kaip smegenys, yra sudarytos iš milžiniško skaičiaus dinamiinių vienetų. Tokių sistemų modeliavimas mikroskopiniame lygyje reikalauja didelių skaičiavimo išteklių. Alternatyvus tyrimo metodas būtų supaprastintų euristinių modelių taikymas grubiam mastelyje. Neuromoksle tokie modeliai žinomi kaip neuroniniai masės modeliai. Jie sėkmingai paaiškina tam tikros klasės reiškinius, tačiau negali teisingai aprašyti sinchronizacijos procesų neuroniniuose tinkluose. Neseniai buvo pasiekti žymūs rezultatai, plėtojant žemos dimensijos modelius, galinčius tinkamai aprašyti kolektyvinę didelio masto neuroninių tinklų dinamiką. Nauja teorija yra grindžiama sinchronizuotų sistemų tyrimu taikant statistinės fizikos metodus. Begalinės dimensijos tinklo termodinaminėje riboje, ši teorija leidžia išvesti tikslią žemos dimensijos suvidurkinto lauko lygčių sistemą iš atskirų neuronų mikroskopinės dinamikos. Šitai išvestos suvidurkinto lauko lygtys buvo pavadintos naujos kartos neuroniniai masės modeliais.

Bendra matematinė idėja naujos kartos modeliams buvo išplėta Otto ir Antonseno (OA) [1]. Jie nustatė, kad be galo didelės neuronų populiacijos globaliai susietų heterogeninių fazinių osciliatorių dinamika konverguoja prie invariantinės žemos dimensijos daugdaros (*angl.* manifold) – OA daugdaros. Buvo gauta redukuota antros eilės paprastųjų diferencialinių lygčių sistema, kuri tiksliai aprašo neuronų populiacijos dinamiką ant šios daugdaros. Vėliau OA metodas buvo pritaikytas Teta neuronų tinklui. [2] darbe buvo išvesta redukuota suvidurkinto lauko lygčių sistema heterogeniniam tarpusavyje sujungtų kvadratiškai integruojančių ir spaikuojančių (*angl.* QIF) neuronų tinklui. QIF ir Teta neuronų modeliai gali būti vienas į kitą suvesti, atliekant kintamųjų pakeitimą [2]. Šie modeliai atstovauja I-os klasės neuronų kanoninėms formoms. QIF neuronams OA daugdara transformuojasi į Lorenco formą [2]. Pastaruoju metu, redukuotos suvidurkinto lauko lygtys buvo gautos daugeliui modifikuotų QIF neuroninių tinklų modelių. Redukcijai supaprastinti, paprastai yra daroma prielaida, kad heterogeniškumas yra pasiskirstęs pagal Košy skirstinį, nors kai kuriose publikacijose suvidurkinto lauko lygtys yra gautos ir ne-Košy heterogeniškumams.

Kadangi triukšmas yra svarbus veiksnys neuroninėse sistemose, OA teorijos praplėtimas triukšmo veikiamiems QIF neuronų tinklams yra aktualus

uždavinys. Deja, šiuo metu nėra tikslios žemos dimensijos redukcijos teorijos QIF neuronų populiacijoms, trikdomoms Gausinio triukšmo, ir kol kas pavyko išplėtoti tikrai apytiksles suvidurkinto lauko teorijas. Tačiau situacija pasikeičia, kai triukšmas yra ne Gausinis, o Košy. Pastarose publikacijose buvo parodyta, kad tiksli žemos dimensijos redukcija gali būti pritaikyta Kuramoto osciliatoriams, trikdomiems baltojo Košy triukšmo. Tuomet gautos tikslios suvidurkinto lauko lygtys QIF neuronų tinklui, veikiamam heterogeninių pagal Košy pasiskirsčiusiems srovėms, ir baltajam Košy triukšmui. Šiose publikacijose parodyta, kad baltas Košy triukšmas ir pagal Košy pasiskirsčiusios heterogeninės srovės turi vienodą poveikį neuronų tinklo makroskopiniam elgesiui. Makroskopiniame lygyje kokybiškai panašūs reiškiniai tarp triukšmo ir heterogeniškumo buvo stebimi, kai triukšmas buvo Gausinis, o heterogeniškumo skirstinys - Košy. Kyla natūralus klausimas: ar yra heterogeniškumo bei triukšmo poveikiai kokybiškai panašūs, nepaisant jų statistikos?

Čia mes tiriamo QIF neuronų tinklo dinamiką, kai triukšmas yra baltas ir pasiskirstęs pagal Košy skirstinį, o heterogeninės srovės yra pasiskirsčiusios pagal ne-Košy skirstinius [3]. Nagrinėjame du neheterogeniškumo tipus, kuriuos aprašo dvi skirstinių šeimos: q-Gauso [4] ir plokštieji skirstiniai. Abiem atvejams išvedame tiksliai suvidurkinto lauko lygtis, ir parodome, kad triukšmas ir heterogeniškumas gali sąlygoti skirtingus poveikius kolektyvinei tinklo dinamikai.

Reikšminiai žodžiai: triukšmo veikiami neuroniniai tinklai, suvidurkinto lauko redukcija, OA pakeitimas, kvadratiškai integruojantys ir spaikuojuantys neuronai, bifurkacinė analizė.

Literatūra

- [1] E. Ott, T.M. Antonsen, Chaos, Interdiscip. J. Nonlinear Sci. **18**(3), 037113 (2008).
- [2] E. Montbrió, D. Pazó, A. Roxin, Phys. Rev. X **5**, 021028 (2015).
- [3] V. Pyragas and K. Pyragas, Phys. Lett. A **480C**, 128972 (2023).
- [4] V. Pyragas, K. Pyragas, Phys. Rev. E **105**, 044402 (2022).