

Rezervuarinio skaičiavimo taikymas ekstremaliųjų įvykių prognozei ir slopinimui

Using reservoir computing to predict and prevent extreme events

Viktoras Pyragas¹, Kęstutis Pyragas¹

¹Fizinių ir technologijos mokslų centras, Saulėtekio al. 3, LT-10257 Vilnius
viktoras.pyragas@fmcc.lt

Įvairių gamtinių bei inžinerinių sistemų dinamikoje gali pasireikšti reti, pasikartojantys, dideli nuokrypiai nuo reguliaraus elgesio. Tokie ekstremalūs įvykiai yra įdomūs įvairioms mokslo disciplinoms [1]. Šių reiškinų pavyzdžiai yra vandeninių milžiniškos bangos, žemės drebėjimai, staigūs įtampos šuoliai elektriniuose tinkluose, akcijų rinkų žlugimai, bei epilepsijos priepuoliai. Todėl ekstremaliųjų įvykių prognozavimas bei slopinimas yra ypač pageidautini. Ekstremalieji įvykiai dažnai atsitinka spontaniškai, be akivaizdžių įspėjamųjų ženklų. Jie yra reti ta prasme, kad jų dažnis yra žymiai mažesnis už charakteringąjį sistemos dažnį, ir jie yra ekstremalūs ta prasme, kad jų amplitudė yra kelis kartus didesnė nei standartinis stebimojo dydžio nuokrypis. Ekstremalieji įvykiai yra tiriami tiek stochastinių, tiek deterministinių modelių rėmuose. Stochastiniuose modeliuose ekstremalieji įvykiai gali būti prognozuojami tik statistiškai. Deterministiniuose modeliuose ekstremalieji įvykiai yra dinaminės sistemos vidinių procesų rezultatas. Netgi paprastos dinaminės sistemos gali generuoti labai sudėtingus chaotinius signalus, ir ekstremaliųjų įvykių atsiradimo mechanizmo nustatymas yra labai sudėtingas uždavinys. Ekstremaliųjų įvykių deterministinėse sistemose prognozė gali remtis tuo faktu, kad esama sistemos būseną vienareikšmiškai nusako jos ateitį, bet šią prognozę riboja jautri priklausomybė nuo pradinių sąlygų. Prognozavimo strategijos paprastai remiasi prekursorių (indikatorių) paieška; jie duoda išankstinį įspėjamąjį ženklą apie artėjantį ekstremalių įvykių. Žemos dimensijos sistemoms prekursorius gali būti nustatytas iš vienintelio skaliarinio stebimojo dydžio, taikant uždelstųjų koordinacijų metodus, tuo tarpu kai aukštos dimensijos sistemų atveju reikia žinoti sistemą aprašančias lygtis.

Šiame darbe [2] mes taikome rezervuarinio skaičiavimo metodą [3] ekstremaliųjų įvykių prognozavimui bei slopinimui. Šis metodas naudoja netiesinį įvesties-išvesties dirbtinį neuroninį tinklą su atsitiktinai sugeneruotom parametru reikšmėm, ir taiko tiesinę regresiją „išvesties svorinių koeficientų“ nustatymui. Šie koeficientai padaro tinklo išvestį geriausiai atitinkančią „apmokymo stadijos duomenis“. Tokia metodika yra skaitiškai paprastesnė, lyginant su kitais dirbtinių neuronų metodais, nes čia apmokymo procese yra parenkami tik išvesties koeficientai, tuo tarpu kai tinklo parametrai lieka nepakeisti. Kolkas rezervuarinis skaičiavimas buvo sėkmingai pritaikytas žemos dimensijos bei erdvinės-laikinės dinamikos sistemų, neturinčių ekstremalių įvykių, prognozei [3].

Ekstremaliųjų įvykių prognozė yra sudėtinga dėl to, kad lokalinis Liapunovo rodiklis, arti ekstremaliojo įvykio, gali būti daug didesnis už globalinį (suvidurkintą) Liapunovo rodiklį, būdingą chaotiniam atraktoriui. Nepaisant to, mes parodėme [2], kad ekstremalieji įvykiai gali būti sėkmingai prognozuojami taikant rezervuarinį skaičiavimą. Mes tai pademonstravome dviem sistemom, generuojančioms ekstremaliuosius įvykius. Viena jų – tai globaliai sujungtų FitzHugh Nagumo (FHN) neuronų modelis, kuris buvo pateiktas ir analizuojamas [4,5] darbuose. Mes tirėme du šio modelio variantus, sudarytus iš mažo (2) ir didelio (101) neuronų skaičiaus. Čia mes pasirinkome valdomąjį kintamąjį, ir parodėme, kad išprognozuoti ekstremalūs įvykiai gali būti nuslopinti, taikant nykstamai mažus valdymo trikdžius, pritaikytus iki išprognozuoto įvykio. Antras modelis yra viena kryptimi sukabinti chaotiniai oscilatoriai, kuriuose ekstremalieji įvykiai, vadinami „Dragon Kings“, atsiranda kaip atraktoriaus „burbuliavimo“ (attractor bubbling) pasekmė. Šiai sistemai yra žinomas prekursorius, ir mes pademonstravome efektyvų ekstremaliųjų įvykių slopinimą, prognozuodami prekursoriaus elgesį.

Reikšminiai žodžiai: ekstremalus įvykis, rezervuarinis skaičiavimas, nuo modelio nepriklausoma prognozė, chaotinė sistema, grįžtamasis ryšys.

Literatūra

- [1] S.Albeverio, V. Jentch, H. Kantz (Eds), *Extreme Events in Nature and Society* (Springer, Berlin, 2006)
- [2] V. Pyragas, K. Pyragas, *Phys. Lett. A* **384**, 126591 (2020).
- [3] H. Jaeger, H. Haas, *Science* **304**, 78 (2004).
- [4] G. Ansmann, R. Karnatak, K. Lehnertz, U. Feudel, *Phys Rev. E* **88**, 052911 (2013).
- [5] R. Karnatak, G. Ansmann, U. Feudel, K. Lehnertz, *Phys. Rev. E* **90**, 022917 (2014).