

Uždelsto grįžtamojo ryšio valdymo metodo teorijos plėtojimas

Progress in the theory of the time-delayed feedback control method

Viktoras Pyragas, Kęstutis Pyragas

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

viktoras.pyragas@ftmc.lt

Chaos valdymas, t.y. chaotinių sistemų nestabiliųjų būsenų stabilizavimas neinvaziniais metodais, yra viena įdomiausių netiesinės dinamikos sričių. Uždelsto grįžtamojo ryšio valdymo metodas (UGRV), kuris buvo pasiūlytas [1] darbe, yra paprasta, bet efektyvi priemonė Nestabiliųjų periodinių orbitų (NPO) stabilizavimui. UGRV yra panaudotas daugelyje eksperimentų, ir yra pasiūlyta daugybė jo modifikacijų, pagerinančių jo veiksmingumą (žr. pavyzdžiui apžvalgą [2]). Svarbiausia šio metodo modifikacija yra Išplėstinis UGRV (IUGRV) [3], kuris panaudoja begalinę delsų eilutę, ir padaro metodą veiksmingą stipriai nestabilių NPO atvejais. UGRV teorija yra sudėtinga, nes šių sistemų dinamika vyksta begalinio matavimo erdvėje. UGRV valdomų sistemų tiesinį stabilumą nusako begalinis Flokė rodiklių (FR) skaičius. Tai apsunkina šio metodo optimizavimą, nes sunku manipuluoti begaliniu FR spektru, turint baigtinį valdymo parametrų rinkinį.

Čia pateikiame du mūsų pastaruosius darbus [4,5], kurių tikslas yra tolimesnis UGRV teorijos plėtojimas.

Publikacijoje [4] mes nagrinėjome baigtinės dimensijos UGRV modifikaciją, panaudodami laukimo-veikimo koncepciją. Ši idėja iš pradžių buvo pasiūlyta tiesinei invariantinei laiko atžvilgio sistemai, veikiamai UGRV valdiklio. Idėjos esmė yra periodišką uždelsto valdymo trikščio išjunginėjimas (laukimas) ir įjunginėjimas (veikimas). Mes čia pritaikėme šią idėją UGRV veikiamoms NPO. Parodėme, kad, kai laukimo trukmė yra ilgesnė negu veikimo, tai dinaminė sistemų begalinio matavimo funkcinė erdvė redukuojasi iki baigtinio matavimo skaičiaus. Tuomet valdomos sistemos FR skaičius tampa lygus laisvos sistemos FR skaičiui. Todėl valdomos NPO tiesinis stabilumas gali būti žymiai pagerintas, tinkamai varijuojant valdymo parametrus. Mes čia apsiribojome neautonominių sistemų atveju, nes tuomet valdoma NPO ir periodinė junginėjimo funkcija yra sinchronizuotos.

Mes adaptavome *Gradient Sampling* (GS) metodą laukimo-veikimo UGRV metodo veikiamoms NPO. Šiuo atveju reikėjo rasti tokias valdymo parametrų vertes, kurioms esant FR realioji dalis virstų dideliu neigiamu skaičiumu, t.y. įvyktų *deadbeat* (tikras *deadbeat*'as atitiktų minus begalybę). Uždavinys buvo apsunkintas tuo, kad *deadbeat*'as yra smailus minimumas, t.y. minimizuojamos funkcijos išvestinė yra labai didelė. Šią problemą išsprendėme, adaptavę GS metodą, kuris yra taikomas laužtinių funkcijų minimumų paieškai.

Straipsnyje [5] mes atradome sąryšį tarp IUGRV ir neseniai Olyaei ir Wu [6] pasiūlyto chaoso valdymo metodo. Pastarajame metode norima NPO yra

aprosimuojama apkarpyta Furje eilute. Ši eilutė yra modeliuojama Harmoninių oscilatorių (HO) sistema, kuri yra prijungta prie valdomos sistemos taip, kad HO ir valdomos NPO sinchronizuota dinamika tampa stabili. Lyginant su UGRV valdymo schemomis, HO metodas (HOM) reikalauja daugiau pastangų eksperimentinėse realizacijose; tačiau HOM teorija yra daug paprastensė, nes yra pagrįsta paprastomis diferencialinėmis lygtimis.

Mes tyrėme HOM begalinio harmonikų skaičiaus riboje, ir nustatėme, kad, kai ryšio koeficientai yra vienodi visiems HO, tai tuomet HO valdiklio perdavimo funkcija sutampa su IUGRV valdiklio perdavimo funkcija. Šis rezultatas yra vertingas ne tik teoriniu požiūriu (jis padeda giliau suprasti HOM ir UGRV valdymo schemas). Jis taip pat leidžia aproksimuoti IUGRV sistemas paprastomis diferencialinėmis lygtimis. Taip pat parodėme, kad IUGRV metodo vedantysis FR gali būti įvertintas iš HOM tiesinės analizės, apsiribojant baigtiniu harmonikų skaičiumi.

Mes panaudojome patobulintą Spektrinių elementų metodą (SEM) IUGRV atvejui. Pavyzdžiui, [7] darbe SEM buvo pritaikytas IUGRV sistemų FR radimui, apkarplant begalinę delsų eilutę iki baigtinės, todėl metodas buvo iš esmės apytikslis. Tuo tarpu, mes SEM patobulinome, pritaikę jį begalinei delsų eilutei, pasinaudodami rekurentiniu sąryšiu, žr. [8] darbo apendiksą.

Reikšminiai žodžiai: chaoso valdymas, Nestabilios periodinės orbitos, uždelsto grįžtamojo ryšio valdymo metodas, harmoninių oscilatorių metodas, laukimo-veikimo valdymo strategija.

Literatūra

- [1] K. Pyragas, Phys. Lett. A **170**, 421 (1992).
- [2] K. Pyragas, Philos. Trans. R. Soc. A **364**, 2309 (2006).
- [3] J. E. S. Socolar, D.W. Sukow, and D. J. Ghauthier, Phys. Rev. E **50**, 3245 (1994).
- [4] V. Pyragas, K. Pyragas, Phys. Rev. E **94**, 012201 (2016).
- [5] V. Pyragas, K. Pyragas, Phys. Rev. E **92**, 022925 (2015).
- [6] A. A. Olyaei, Ch. Wu, Phys. Rev. E **91**, 012920 (2015).
- [7] D. J. Twetten, B. P. Mann, Phys. Rev. E **86**, 046214 (2012)
- [8] V. Pyragas, K. Pyragas, Eur. J. Phys. B **87**, 274 (2014)