Chaotinių sistemų dinamikos prognozė taikant algoritmus be delsos elementų

Anticipating of chaotic dynamics via schemes without time-delay terms

Tatjana Pyragienė, Kęstutis Pyragas
Fizinių ir technologijos mokslų centras, Saulėtekio al. 3, LT-10257 Vilnius
tatjana.pyragiene@ftmc.lt

Vienas iš būdų prognozuoti chaotinių sistemų dinamiką yra prognozuojančios sinchronizacijos (*anticipating synchronization*, **AS**) taikymas [1]. Šis reiškinys atsiranda konfigūracijoje "valdančioji sistema - atsakas" ("*drive - reponse*" arba "*master - slave*"). Populiariausi **AS** algoritmai turi delsos elementus atsako sistemoje. Pastarieji didina visos sistemos laisvės laipsnių skaičių iki begalybės. Tai labai komplikuoja stabilaus **AS** režimo teorinį tyrimą bei eksperimentinį realizavimą. **AS** režimo analizės ir įdiegimo palengvinimui naudojami algoritmai be vėlinimo linijos [2]. Šiuo atveju, prognozė yra netiksli, bet pakankamai gera praktiniams taikymams.

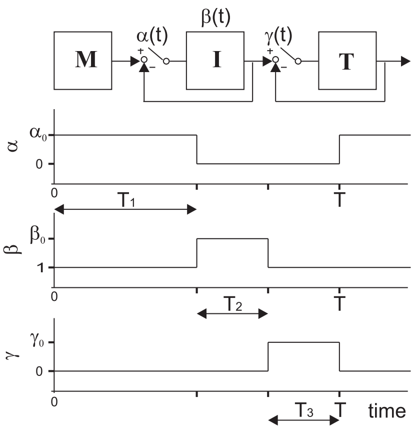
Mes realizavome prognozuojančią sinchronizaciją pasitelkdami du naujus ryšio konstravimo algoritmus be delsos elementų. Mūsų darbe [3], visa sistema,

$$\dot{\mathbf{r}}_0 = \mathbf{f}(\mathbf{r}_0), \tag{1a}$$

$$\dot{\mathbf{r}}_1 = \beta(t)\mathbf{f}(\mathbf{r}_1) + \alpha(t)\mathbf{K}_1(\mathbf{r}_0 - \mathbf{r}_1), \tag{1b}$$

$$\dot{\mathbf{r}}_2 = \mathbf{f}(\mathbf{r}_2) + \gamma(t)\mathbf{K}_2(\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2), \tag{1c}$$

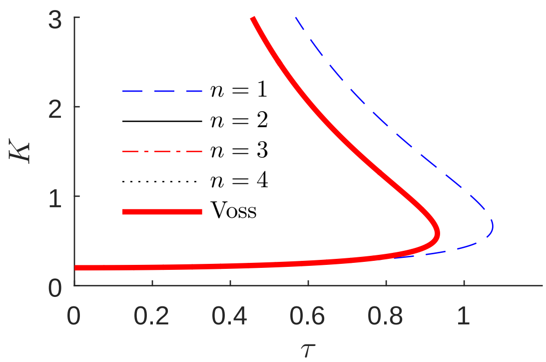
susideda iš trijų chaotinių sistemų, aprašomų vektoriniu lauku $\mathbf{f}(\mathbf{r})$. Vektoriai $\mathbf{r}_0$, $\mathbf{r}_1$ ir $\mathbf{r}_2$ yra valdančios sistemos (*master system*, **M**), tarpinės sistemos (*intermediate slave system*, **I**) ir atsako (terminal slave system, **T**) dinaminiai kintamieji. Ryšių stipriai pažymėti simboliais $\mathbf{K}_{1,2}$. Visa grandinė parodyta 1 pav. viršuje. Žemiau pavaizduota parametrų $\alpha(t)$, $\beta(t)$ ir $\gamma(t)$ dinamika per laiko periodą T .



1 pav. **AS** su parametrų perjungimu schema.

Algoritme periodiškai atliekama tokia procedūra. Periodas T padalintas į tris dalis. Laiko intervale T_1, valdančioji sistema **M** pilnai sinchronizuojasi su tarpine sistema **I**. Laiko intervale T_2, visos trys sistemos osciliuoja laisvai, o sistema **I** perjungiama į greitesnę laiko skalę. Laiko intervale T_3, tarpinė sistema **I** pilnai sinchronizuojasi su atsako sistema **T**. Analiziniais tyrimais mes nustatėme optimalias sistemos parametrų vertes ir gavome stabilų prognozuojančios sinchronizacijos režimą Rössler'io [4] ir Lorenz'o [5] sistemų chaotinėms osciliacijoms bei Hindmarsh-Rose neuronų sistemos [6] chaotinėms smailėms (*spikes*).

Mūsų darbe [7], mes pakeitėme delsos elementą klasikiniame Voss'o algoritme [1] mažos eilės visų dažnių filtru (*low-order all-pass filter*, **LOAOF**). Filtras yra sukonstruotas pasitelkiant Padé aproksimacijos ir Laplaso transformacijos metodus. Naujo algoritmo efektyvumas pademonstruotas analizškai paprastam spiralių modeliui ir skaitmeniškai chaotinei Rössler'io sistemai [4]. 2 pav. matome, kad **LOAPF** algoritmas skiriasi nuo klasikinio Voss'o algoritmo [1] tik esant pirmos eilės filtrui, ir abiejų algoritmų rezultatai sutampa aukštesnės eilės filtrams.



2 pav. **LOAPF** algoritmo stabilios **AS** ribos.
K - ryšio stipris, τ - prognozės trukmė, n - filtro eilė.

Reikšminiai žodžiai: chaotinės sistemos, prognozuojanti sinchronizacija, jungties dizainas, visų dažnių filtras.

Literatūra

[1] H. U. Voss, Phys. Rev. E **61**, 5115 (2000) .
[2] N. J. Corron, J. N. Blakely, S. D. Pethel, Chaos **15**(2), 023110 (2005).
[3] T. Pyragienė, and K. Pyragas, Phys. Lett. A **379**, 3084 (2015).
[4] E. Rössler, Phys. Lett. A **57**, 397 (1976).
[5] E. N. Lorenz, J. Atmos. Sci. **20**, 130 (1963).
[6] J. L. Hindmarsh, R. M. Rose, Proc. R. Soc. Lond. B, Biol. Sci. **221** (1222), 87 (1984).
[7] T. Pyragienė, and K. Pyragas, Phys. Lett. A **381**, 1893 (2017).