

თვითორგანიზებული კრიტიკულობა სეისმურ პროცესებში, მოდელირება და მონაცემთა ანალიზი

ამილახვარი დ., ვარამაშვილი ნ., ხარშილაძე ო.

მიხეილ ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი, თსუ, თბილისი, საქართველო
ldvarama@gmail.com

ანოტაცია. თვითორგანიზირებული კრიტიკულობამ აღმოჩენის დროიდანვე დიდი პოპულარულობა მოიპოვა მსოფლიოში. მას იყენებენ ისეთი პროცესების აღსაწერად როგორცაა: ბუნებრივ თუ სოციალურ მოვლენები, თოვლის ზვავი, მეწყრები მთებში, ფინანსური კოლაფსი, მიწისძვრები, დემოგრაფიული აფეთქებები და ა.შ. მოცემულ ნაშრომში განხილულია ამ მოვლენის გამოვლინება ისეთ ბუნებრივ პროცესებში, როგორცაა სეისმური პროცესები. შემუშავებულია კომპიუტერული, ლაბორატორიული მოდელები, რომლებშიც სხვადასხვა ანალიზის მეთოდების კომპლექსური გამოყენებით დავაფიქსირეთ პროცესების მდგომარეობების ცვლილებები.

საკვანძო სიტყვები: სეისმურ პროცესებში, მოდელირება, მონაცემთა ანალიზი.

შესავალი

წარმოდგენილი ნაშრომის მიზანია თვითორგანიზირებული კრიტიკულობის მდგომარეობის ლაბორატორიული და კომპიუტერული მოდელირება და ასევე ანალიზი. თვითორგანიზირებული კრიტიკულობის ექსპერიმენტალური შესწავლისთვის გამოყენებულია ბურიჯ-კნოპოვის მოდელი, რომელიც განხორციელდა თსუ მ.ნოდის გეოფიზიკის ინსტიტუტის ბუნებრივი კატასტროფების კვლევის ლაბორატორიაში. ხელმძღვანელები აკადემიკოსი თამაზ ჭელიძე და დოქტორი ნოდარ ვარამაშვილი.

კომპიუტერული მოდელირება ჩატარდა: პ. ბაკის ქვიშის, ფრიქციული ავტორხვევის და დიტრიხ-რუინას მოდელზე. მონაცემების ანალიზისთვის გამოვიყენეთ კომპლექსური მიდგომა: სპექტრის ვეივ-ლეტ ანალიზის მეთოდი, ფრაქტალური თვისებების ანალიზი-კორელაციური ფრაქტალური განზომილებების შეფასება. არასტანდარტული მეთოდები: R/S ანალიზი, ჰარსტის პარამეტრის შეფასება, რეკურენტული დიაგრამების მეთოდი (RP), რეკურენტული რაოდენობრივი ანალიზი (RQA).

თვითორგანიზებული კრიტიკულობა და მისი კომპიუტერული მოდელირება

რა შეიძლება ქონდეთ საერთო ისეთ ბუნებრივ თუ სოციალურ მოვლენებს როგორცაა: თოვლის ზვავი, მეწყრები მთებში, ფინანსური კოლაფსი, მიწისძვრები, ცუნამები? მათ გააჩნიათ განსხვავებული ინტენსივობა, დროის და ფართობის დაფარვის არეალი, არ გააჩნიათ დამახასიათებელი დროითი და სივრცითი მასშტაბები. ასეთ პროცესებს ახასიათებს ფრაქტალურობა. გააჩნიათ მეხსიერების ეფექტი, კატასტროფული ეფექტი დამოკიდებულია წინამორბედ მოვლენებზე და არა მხოლოდ ბოლო სტიმულირებაზე. ასე გამოჩნდა განსაზღვრება თვითორგანიზირებული კრიტიკულობის შესახებ, რომელიც პირველად შემოგვთავაზა პ.ბაკმა (Self organized criticality, SOC), მისი მოსაზრებით იგი არის ერთ-ერთი მექანიზმი, რომლითაც ბუნებაში ყალიბდებიან რთული პროცესები, რომლებიც გვამლევენ რთულ არასტაციონალურ სიგნალებს.

SOC ვლინდება სისტემებში მაშინ, როდესაც რომელიმე პარამეტრის ფლუქტუაციის ამპლიტუდა აღწევს სისტემის სტაბილურობის ზღვარს. მოცემული SOC პროცესი ნელა ორგანიზდება და იგი ვლინდება არაწონასწორულ სისტემებში სადაც თავისუფლების ხარისხი დიდია. SOC სისტემას ახასიათებს

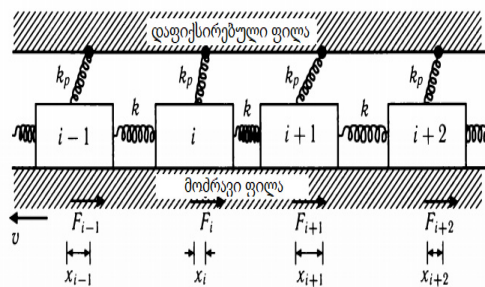
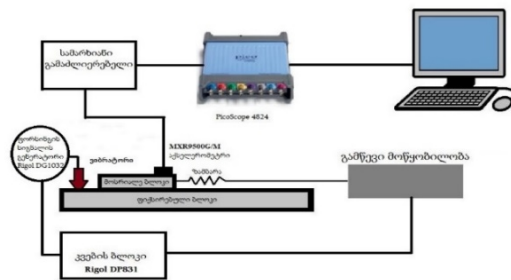
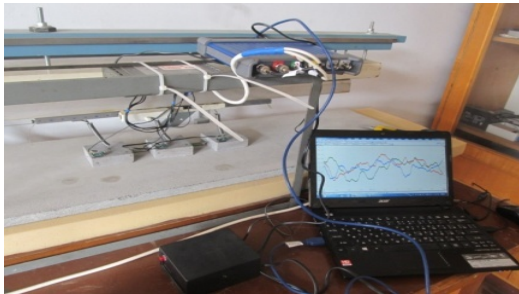
ზვავური პროცესი, რაც ნიშნავს, რომ ერთმა მოვლენამ შეიძლება გამოიწვიოს ჯაჭვური რეაქცია მცირე და დიდი ზომის ზვავების სახით, სისტემას ახასიათებს „სტაბილური“ კრიტიკულობა.

SOC-ის გამოვლინების მაგალითს წარმოადგენს გადაბმული ფილების მოდელი, რომელიც შემოთავაზებულ იქნა მიწისძვრების აღსაწერად (Burridge-Knopoff model). მოცემულ მოდელში გეოლოგიური წანაცვლება აღიწერება ერთგანზომილებიანი ერთმანეთთან დაკავშირებული ბლოკების მესრით, რომლებიც მდებარეობენ ორ ფილას შორის.

ბლოკების მოძრაობის განტოლება შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახით:

$$\dot{x}_i = k(x_{i+1} + x_{i-1} - 2x_i) - k_p x_i - F(v - \dot{x}_i)$$

m-ბლოკის მასა, k-ბლოკებს შორის ზამბარის სიხისტე, k_p - ზედა მოძრავ ფილასთან ზამბარის სიხისტე, x_i -ბლოკების წანაცვლება ფარდობითი წონასწორული მდგომარეობიდან.



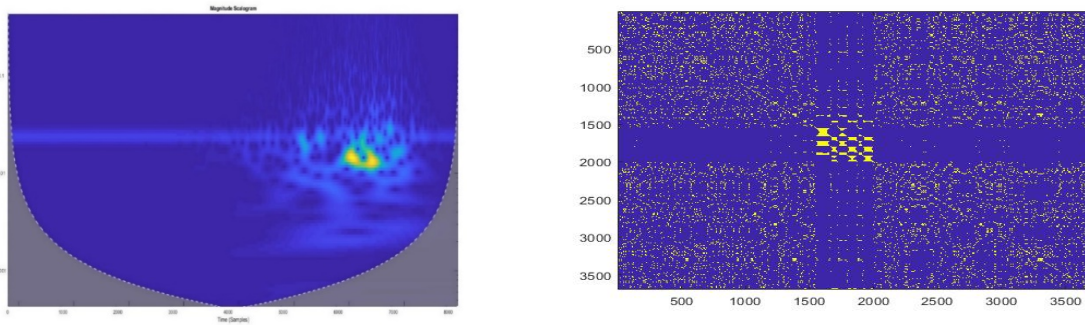
იმის გამო, რომ ისეთი მოვლენების სიგნალი როგორცაა მიწისძვრა არის ძალიან რთული, მათგან ინფორმაციის ამოსაღებად საჭიროა გამოვიყენოთ სტანდარტული მეთოდები, ასევე თანამედროვე მეთოდები რომლებიც ახასიათებენ სიგნალის ინფორმაციულ სირთულეს. ჩვენი მიზანია შევხედოთ მოსულ სიგნალს სხვადასხვა კუთხით და აღწეროთ ის არა ერთი არამედ მრავალი პარამეტრის კომპლექსით. დროითი მწკრივები შეიძლება დახასიათდეს შემდეგი მეთოდებით:

- სტანდარტული მეთოდები - დახასიათება სტატისტიკური მომენტებით, სიგნალის კორელაციური მახასიათებლები (ავტოკორელაცია, ავტოკორელაციური ფუნქცია, კოეფიციენტები), სპექტრალური მეთოდები (სიმძლავრის სპექტრი, ფურიეს სპექტრის შეფასება), ვეივლეტ ანალიზი.
- სიგნალების ფრაქტარული ანალიზი - ჰარსტის ანალიზი (R/S ანალიზი), ფრაქტარული განზომილება (ყველაზე პოპულარულია კორელაციური განზომილების გამოთვლა), მულტიფრაქტარული ანალიზი, განაწილების კუდის სიმძიმის ინდექსის გამოთვლა და ასე შემდეგ.
- ინფორმაციული სირთულე - რეკურენტული დიაგრამები, რეკურენტულობის ზომა, დეტერმინიზმის ზომა, ლამინარობის ზომა, ენტროპია, აპროქიმაციული ენტროპია, ვეივლეტ ენტროპია და ასე შემდეგ.

ლაბორატორიული ექსპერიმენტები

მ.ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტის ლაბორატორიაში ტარდება ექსპერიმენტები ბურიჯ-კნოპოვის მოდელის საფუძველზე. აქ წარმოდგენილია ექსპერიმენტები ერთი და სამი ბაზალტის ფილისათვის. ექსპერიმენტების რეგისტრაცია მიმდინარეობდა აქსელერომეტრების და პიეზოსენსორების საშუალებით. ერთი ფილის შემთხვევაში მასზე მიმაგრებული იყო სამი აქსელერომეტრი და ხდებოდა

აჩქარების x,y და z კომპონენტების ჩაწერა. ფილის გაწევის სიჩქარე იყო 1 მმ/წმ. (გაწევის სიჩქარე ჩვენს ექსპერიმენტში შეგვიძლია ვცვალოთ 01 მმ/წმ - დან 1 მმ/წმ - მდე).

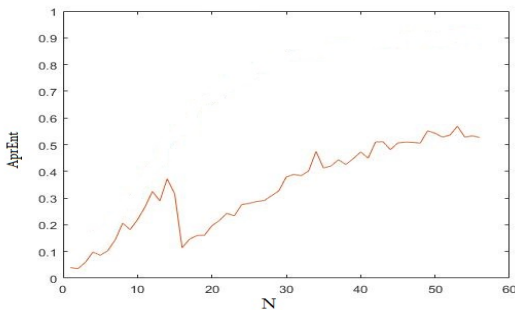


ექსპერიმენტები ჩატარდა სამი ფილის შემთხვევაშიც. თითოეულ ფილაზე მიმაგრებული იყო ერთი აქსელერომეტრი, რომელიც ზომავდა აჩქარების x კომპონენტას. აჩქარების რეგისტრაცია მიმდინარეობდა 8-არხიანი ოსცილოსკოპის (PicoScope4824) საშუალებით. ექსპერიმენტებში გამოიყენებოდა სამლერძიანი MXR9500G/M აქსელერომეტრები და პიეზოსენსორები. თითოეული მოსრიალე ფილის მასა ≈ 335 გ, ზამბარის სიხისტეები $k_x \approx 3606$ მ/მ და $k_y \approx 155$ მ/მ. გაწევის სიჩქარე $v \approx 1$ მმ /წმ.

მიღებული შედეგები და მათი ანალიზი

ქვემოთ მოყვანილია მიღებული შედეგები. განვიხილეთ როგორც კომპიუტერული, ასევე ლაბორატორიული მოდელები, შედარებისთვის და მოდელების შესამოწმებლად ასევე განვიხილეთ კობეს 1995 წლის მიწისძვრის ჩანაწერი.

წარმოგიდგენთ აპროქსიმაციული (მსგავსების) ენტროპიას, სპექტრის ვეივლეტ ანალიზს და რეკურენტულ დიაგრამს.



აპროქსიმაციულმა ენტროპიამ ქაოსურ მდგომარეობაში გადასვლამდე გვიჩვენა სისტემის მოწესრიგება.

სპექტრის ვეივლეტ ანალიზში ვხედავთ მაღალ ამპლიტუდური ფლუქტუაციების დაწყებამდე ხდება დაბალამპლიტუდური ფართო სპექტრის ფლუქტუაციების გენერირება (ჩვენ მას ჩაჩუმების ეფექტს ვუწოდებთ).

რეკურენტული დიაგრამები ყველაზე ცხადად გვიჩვენებენ სისტემის მოწესრიგებულობას და ქაოსურ სტრუქტურას. ნაჩვენებია გადასვლა დასაწყის უბანსა (სადაც ჯერ

კიდევ სიმშვიდეა) და შემდეგ უბანს შორის, სადაც უკვე დაიწყო მიწისძვრა.

შეჯამება

ჩვენ მიერ განხილული მოდელების ანალიზი გვაძლევს ექსპერიმენტალური მონაცემებში თვითორგანიზირებული კრიტიკულობის მდგომარეობის მახასიათებლებს. მსგავსობის ანუ აპროქსიმაციული ენტროპიის შეფასებამ გვიჩვენა თვითორგანიზებული კრიტიკულობის წინ სისტემის მოწესრიგება. სტრუქტურისა და ეფექტის განვიხილავთ როგორც კატასტროფული მოვლენის პროგნოზის საშუალებას. მოცემული ეფექტები დაფიქსირებულია როგორც ლაბორატორიულ, ასევე კომპიუტერულ მოდელებში.

ძლიერი მოვლენების წინ გარკვეული დროის ინტერვალში ვეივლეტ ამპლიტუდები მცირდება და იშლება გარკვეულ სიხშირულ დიაპაზონში, ანუ ხდება სიგნალის ენერჯის გადანაწილება სიხშირეების ფართო ზოლში, რაც იწვევს სისტემაში ფლიკერ ხმაურის გენერირებას. ამ ეფექტს შეიძლება ეწოდოს სისტემაში „ბუნების გარინდება“. ამრიგად, ვეივლეტ ანალიზმა გამოავლინა „გარინდების“ ეფექტი, რეკურენტულმა დიაგრამებმა და აპროქსიმაციულმა ენტროპიამ გვიჩვენეს, რომ ამ დროს ხდება პროცესის სტრუქტურისა.

მიღებული მოდელები ადეკვატურად ასახავენ ექსპერიმენტალურ და ბუნებრივი სისტემების სირთულეს, მაგრამ თვითორგანიზირებული კრიტიკულობის ფიზიკური მექანიზმის დასადგენად საჭირო ხდება დამატებით უახლესი ანალიზის მეთოდების გამოყენება, როგორცაა სიგნალის ემპირიულ მოდელად დეკომპოზიციის მეთოდი.

კვლევა განხორციელდა შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის გრანტის N FR/258/9-160 მხარდაჭერით

ლიტერატურა

- [1] Varamashvili N., Chelidze T., Devidze M., Chelidze Z., Chikhladze V., Surmava A., Chargazia Kh., Tefnadze D. Mass-movement and seismic processes study using Burridge-Knopoff laboratory and mathematical models. // Journal of Georgian Geophysical Society, v. 18, 2015.
- [2] Varamashvili N., Chelidze T., Amilakhvari D., Dvali L. Laboratory modeling of landslide and seismic processes triggering. // Journal of Georgian Geophysical Society, v. 19, 2016.
- [3] Varamashvili N., Devidze M., Chelidze T. Laboratory models of seismic and mass-movement process triggering. // IUGG General Assembly, 2015. <http://www.iugg2015prague.com/>.
- [4] Bak P., Tang C., Wiesenfeld K. Self-organized criticality: An explanation of 1/f noise. // Phys. Rev. Lett. 59, 1987, pp. 381-384.

SELF-ORGANIZED CRITICALITY IN SEISMIC PROCESSES, MODELING AND DATA ANALYSIS

Amilakhvari D., Varamashvili N., Kharshiladze O.

Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia ldvarama@gmail.com

Abstract: Self organized criticality has gained great popularity in the world since its inception. It is used to describe processes such as natural or social events, avalanches, landslides, financial ruin, earthquakes, demographic explosions, etc. This article will discuss the manifestation of this phenomenon in natural processes such as seismic processes. We have developed computer, laboratory models, where we used complex methods of analysis we observed changes in process states.

Key words: seismic processes, modeling, data analysis.