საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

სოფიო ოქრომჭედლიშვილი

დინამიკურ მონაცემთა (სისტემების) კვლევა კომპიუტერული ტექნოლოგიების გამოყენებით

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

თბილისი

2013 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში

ინფორმატიკის და მართვის სისტემების ფაკულტეტი

საინჟინრო კიბერნეტიკისა და ხელსაწყოთმშენებლობის დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: ***ტ.მ.დ., სრული პროფესორი ირინა ჩხეიძე***

რეცენზენტები: ***ოთარ ლაბაძე,***

ნინო მჭედლიშვილი

დაცვა შედგება *2013* წლის "____" "*აგვისტოს*", _____ საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის *ინფორმატიკის და მართვის სისტემების* ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე, VI კორპუსი, აუდიტორია

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატისა – ფაკულტეტის ვერბგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი ***სრული პროფ. თინათინ კაიშაური***

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

კვლევის აქტუალობა. დისერტაციის დასახელებიდან გამომდინარე სამეცნიერო კვლევა ეხება დინამიკური სისტემების ანუ დინამიკური მონაცემების დამუშავებას თანამედროვე უახლესი კომპიუტერული ტექნოლოგიების გამოყენებით. აქ იგულისხმება არაწრფივი სისტემები, ვინაიდან მხოლოდ ამ სისტემებისათვისაა დამახასიათებელი საინტერესო და საკვლევი თვისებები, რომლებიც კლასიკური მიდგომების ფარგლებში აწყდებიან გადაულახავ პრობლემებს და მოითხოვენ ახალი ანალიტიკური და გამოთვლითი მიდგომების შექმნის აუცილებლობას.

უკანასკნელი ათწლეულების ნამუშევრებმა აჩვენა, რომ არსებობს მრავალი საკითხები არაწრფივი დინამიკური სისტემების ყოფაქცევაში, რომლებიც მოითხოვენ დამატებით შესწავლას და დამუშავებას. ასეთ საკითხებს მიეკუთვნება უამრავი რეალური პროცესების "გრძელვადიანი არაპროგნოზირებადობა". შეიძლება დავრწმუნდეთ, რომ პროგნოზირებადობა მცირე და არა–პროგნოზირებადობა დროის დიდ პერიოდებზე, დამახასიათებელია უამრავი ობიექტებისთვის, რომლებიც არსებობენ ჩვენს გარშემო და ძალიან დიდ როლს თამაშობენ ეკონომიკაში, მედიცინაში, ფსიქოლოგიაში და სოციოლოგიაში.

თუ ადრეულად გამოყოფდნენ ობიექტების ორ კლასს: 1) დეტერმინირებულს, რომლისთვისაც ყოველთვის შესაძლებელია მათი ყოფაქცევის პროგნოზირების გაკეთება ნებისმიერი სასურველი მომავალი დროისათვის და 2) სტოქასტიკურს – რომლისთვისაც წინასწარმეტყველება შეუძლებელია. ბოლო ოცწლეულის გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ არსებობს ობიექტთა მნიშვნელოვანი მესამე კლასი, რომლებსაც გააჩნიათ როგორც დეტერმინირებული პროცესების თვისებები, ასევე სტატისტიკური თვისებების გარკვეული დონე. ამ დროს სისტემა იქცევა ქაოტურად. ეს თვისება და მასთან დაკავშირებული თავისეურებანი დამახასიათებელია მხოლოდ არაწრფივ დინამიკურ სისტემებისთვის.

დეტერმინირებული ქაოსის მოვლენა არის მრავალი დინამიკური სისტემის ტიპიური თვისება. ასეთი ყოფაქცევა აღინიშნება გულის უჯრედის პერიოდულ მოძრაობაში, ელექტრულ წრედებში, აირის და სითხის ტურბულენტურ სტადიაში, ქიმიურ რეაქციებში, ლაზერებში, ბიოლოგიურ, მეტერეოლოგიურ და ეკონომიკურ პროცესებში, რომლებშიც ყოფაქცევის წინასწარმოქმედების დროის დიდი ინტერვალებისათვის ხდება შეუძლებელი.

ამასთან დაკავშირებით დროის უკანასკნელ პერიოდში ინტენსიურად ვითარდება მიდგომა არასწრფივობის ანალიზისადმი. ამ მიდგომას ეწოდება დეტერმინირებული ქაოსის თეორია. ეს თეორია გულისხმობს, სისტემის ანომალური ყოფაქცევის ახსნას. ქაოსის თეორია წარმოადგენს სულ ახალ კონცეფციებს და დროითი მწკრივების ანალიზისათვის ახალი ალგორითმების შექმნას და რეალიზაციას.

ცხადია, რომ დეტერმინირებული ქაოსის თეორიის გამოყენება ტექნიკურ და პრაქტიკულ ამოცანების გადასაწყვეტად შესაძლებელი, უმნიშვნელოვანესი და რეალიზებადი გახდა მხოლოდ თანამედროვე კომპიუტერული ტექნოლოგიების განვითარებასთან და საინჟინრო დარგებში დანერგვასთან ერთად. ზემოდ აღწერილი გარემოებების გათვალისწინებით შეიძლება დამაჯერებლად მივიჩნიოთ დასამუშავებელი თემის აქტუალობა, საჭიროება და დანერგვის შესაძლებლობა სხვადასხვა პრაქტიკულ სფეროში.

სადოქტორო ნაშრომის ძირითადი მიზანი. დისერტაციის კვლევათა ძირითად მიზანს წარმოადგენს დეტერმინირებული ქაოსის თეორიის ღრმა შესწავლის და დაუფლების საფუძველზე მისი ძირითადი მეთოდების მისადაგება გამოსაკვლევი რეალური ობიექტების და პროცესების (მსვლელობის) რაოდენობრივი შეფასებისათვის და პრაქტიკული შედეგების მიღებისათვის. დეტერმინირებული ქაოსის თეორიის მეთოდები დაფუძნებულია თანამედროვე კომპიუტერული ტექნოლოგიების გამოყენებაზე. კვლევა გულისხმობს ახალი, უფრო მარტივი ხერხებით, პროცესების მოდელირებას, ალგორითმების შექმნას

და რეალიზაციას MathCad პროგრამულ გარემოში. ეს პროგრამა მოიცავს მზა ფუნქციებს, მოდულებს, რაც ძალიან გაამარტივებს მათ პრაქტიკულ რეალიზაციას და დანერგვას.

კვლევის ობიექტი. კვლევის ობიექტს წარმოადგენს დინამიკური სისტემების და დროითი მწკრივებით წარმოდგენილი ინფორმაცია: არაწრფივი დინამიკური სისტემები; ლორენცის სისტემა, როგორც დეტერმინირებული ქაოსის სისტემის კლასიკური მაგალითი; ბუნებრივი პროცესები: კარდირითმის სიხშირის ცვლილება (24 საათის განმავლობაში), სეისმოგრამა (გარკვეული მონაკვეთის), ამინდის ტემპერატურის ცვლილები და სხვადასხვა მოპოვებული დინამიკური მონაცემები.

კვლევის მეთოდები. სადისერტაციო ნაშრომში გამოყენებულია არაწრფივი დიფერენციალური განტოლებათა ამოხსნის ერთ-ერთი მეთოდი, დაკავშირებული ფაზური დიაგრამის აგებაზე, დეტერმინირებული ქაოსის თეორია და მასთან დაკავშირებული ჰერსტის ემპირიული კანონი, ფრაქტალური თეორიისა და ფრაქტალური განზომილების მეთოდი და ვეივლეტ–გარდაქმნის ტექნოლოგიები.

ძირითადი ამოცანები. დასმული მიზნის მისაღწევად საჭიროა კვლევის ძირითადი ამოცანების ჩამოყალიბება და შესრულება. ეს ამოცანები შემდეგია: პირველ რიგში უნდა მოხდეს დეტერმინირებული ქაოსის თეორიის, როგორც არაწრფივი დინამიკური სისტემის ყოფაქცევის, შედეგიანი შესწავლა ახალი ანალიტიკური და გამოთვლითი მიდგომით და კომპიუტერული ტექნოლოგიების გამოყენებით.

დისერტაცია შეიცავს ქაოსის თეორიის ზოგად მიმოხილვას არსებული ლიტერატურის ანალიზის საფუძველზე.

ვინაიდან უფრო ხშირად, პრაქტიკაში დინამიკური სისტემების და პროცესების შესწავლა ხორციელდება დროითი მწკრივების ანალიზის საფუძველზე, უნდა განიხილებოდეს დროითი მწკრივების დამუშავების თანამედროვე ახალი მეთოდები. ამ მეთოდებს მიეკუთვნებიან ჰერსტის ემპირიული მეთოდი, ფრაქტალური განზომილების გამოყენების და

განსაზღვრის მეთოდი, განზოგადოებული ბროუნის მოძრაობის მოდელირების მეთოდი, ვეივლეტ-გარდაქმნის გამოყენების მეთოდი. ყველა ეს მეთოდები მიეკუთვნება კომპიუტერულ ტექნოლოგიებს და ამავე დროს მჭიდროდ არის დაკავშირებული ქაოსის თეორიასთან. ამ მეთოდების საშუალებით ხდება უშუალო დაკავშირება თეორიული ხასიათის ინფორმაციისა პრაქტიკულ და რეალურ პროცესებთან. სწორედ კომპიუტერული ტექნიკის შესაძლებლობათა განვითარებამ განაპირობა დეტერმინირებული ქაოსის თეორიის მრავალ შეკითხვებზე დადებითი პასუხის გაცემა, მნიშვნელობა და აღიარება პრაქტიკული ამოცანების გადაწყვეტისას.

შემდეგ ეტაპზე უნდა განიხილებოდეს ყველა ზემოდ ჩამოთვლილი მეთოდი, ამ მეთოდების კავშირი დეტერმინირებული ქაოსის თეორიასთან და მათ რეალიზაციასთან კომპიუტერული ტექნოლოგიების გამოყენებაზე.

ცნობილია, რომ დროითი მწკრივების ანალიზისათვის შეიძლება გამოყენებულ იქნას დისკრეტული სიგნალის დროით სიხშირული წარმოდგენა კომპიუტერული ტექნოლოგიების საფუძველზე. უნდა გამოკვლეული იყოს ფრაქტალური ტექნოლოგიები, როგორც დეტერმინირებული ქაოსის სისტემის კვლევის უმნიშვნელოვანესი ნაწილი.

რაც მთავარია დისერტაცია მოიცავს ექსპერიმენტულ კვლევას, ჩატარებულს რეალურად მოპოვებულ მონაცემებზე და რეალიზებულს MathCad პროგრამულ გარემოში.

ყველა ზემოდ ჩამოთვლილი კვლევის ძირითადი ამოცანების შესრულებას ეძღვნება დისერტაციის ოთხი თავი და დასკვნები.

მეცნიერული სიახლე. არსებული თეორიული მასალის საფუძველზე წარმოდგენილია ახალი ალგორითმები, რომელიც ეხება: დინამიკური სისტემის მიერ შექმნილი დროითი მწკრივების ქაოსოგრამის დამუშავების მარტივ მეთოდს, დაფუძნებულს მიღებული ქაოსოგრამის გამოსახულების ჰისტოგრამის აგებაზე და ენტროპიის გამოთვლაზე; ფრაქტალური განზომილების პრაქტიკულ გამოთვლას

კორელაციური ფუნქციის განსაზღვრის ბაზაზე; განზოგადოებული ბროუნის მოძრაობის მოდელირების ამოცანის მარტივი გადაწყვეტა ვეივლეტ-გარდაქმნის გამოყენებაზე; ჰერსტის ემპირიული კანონის საფუძველზე რეალური სიგნალების კლასიფიკაციის განხორციელებას მათი შემთხვევითობის დონის მიხედვით.

ყველა ალგორითმი რეალიზებულია MathCad პროგრამულ გარემოში, სადაც მზა ფუნქციებისა და მოდულების არსებობა საშუალებას იძლევა ძალიან მარტივად გადაწყდეს მეტად მნიშვნელოვანი ამოცანები.

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი შედეგები. სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი ნაშრომის ძირითადი შედეგები მოცემულია საბოლოო დასკვნებში.

სადისერატაციო ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულება. სადისერტაციო ნაშრომი შეიცავს ყველა საჭირო მონაცემებს, მეთოდიკას და რეკომენდაციებს დინამიკურ მონაცემთა (სისტემების) კვლევისას კომპიუტერული ტექნოლოგიების გამოყენების თვალსაზრისით.

დისერტაციაში მოცემულია შედეგების აღწერა, რომელიც მიღებულია კარდირითმის სიხშირის ცვლილების (24 საათის განმავლობაში), სეისმოგრამის (გარკვეული მონაკვეთის) და ამინდის ტემპერატურის ცვლილების მონაცემების დამუშავების შედეგად.

გამოქვეყნებული სტატიების და კონფერენციების ჩამონათვალი. თეორიული და პრაქტიკული შედეგები, რომელიც მიღებული იყო ავტორის მიერ და ეძღვნებოდა დინამიკურ მონაცემთა (სისტემების) კვლევას კომპიუტერული ტექნოლოგიების გამოყენებით მოხსენებულია კონფერენციებზე და სემინარებზე, გამოქვეყნებულია სხვადასხვა სამეცნიერო ჟურნალებში და კრებულებში, კერძოდ:

სტატიები: 1. ს. ოქრომჭედლიშვილი. “დეტერმინირებული ქაოსის საფუძველზე დინამიკური პროცესის კვლევის საკითხები”. სტუდენტთა

79 ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თეზისების კრებული. 2011წ. 201გვ.

2. ს. ოქრომჭედლიშვილი. “ბუნებრივ პროცესებში შემთხვევითობის წილის განსაზღვრა ემპირიული კანონის საფუძველზე”. სტუდენტთა 80 ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თეზისების კრებული. 2012წ. 177გვ.

3. ი. ჩხეიძე, ს. ოქრომჭედლიშვილი. “ბროუნის მოძრაობის დროით-სიხშირული ანალიზი კომპიუტერული ტექნოლოგიების საფუძველზე”. მე-2 საერთაშორისო კონფერენცია “ნანოტექნოლოგიები” ნანო–2012. შინაარსები. 2012წ. 46გვ.

4. И.М. Чхеидзе, Л.Ш. Токадзе, С.Н. Окромчедлишвили. “*Фрактальная размерность применительно к анализу временных рядов и моделированию топологических сетей*”. ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ И ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ, PACO’2012. ТРУДЫ ШЕСТОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ. Москва, 2012 г. ТОМ 2. 209-214сс.

5. I. Chkheidze, L. Tokadze, S. Okromtchedlishvili. “Modeling of a Generalized Brownian Motion Based on Wavelet – Computer Technology”. IV International Conference “Problems of Cybernetics and Informatics”, (PCI’2012). IEEE, 52P.

6. ი. ჩხეიძე, ს. ოქრომჭედლიშვილი. “ჰერსტის მაჩვენებლის მეთოდის მიხედვით დროითი პროცესების სტოქასტიურობის დონის შეფასება”. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. შრომები, მართვის ავტომატიზირებული სისტემები, №2(13). თბილისი-2012წ. გვ.32.

კონფერენციები: 1. ს. ოქრომჭედლიშვილი. “დეტერმინირებული ქაოსის საფუძველზე დინამიკური პროცესის კვლევის საკითხები”. სტუდენტთა 79 ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი.

2. ს. ოქრომჭედლიშვილი. “ბუნებრივ პროცესებში შემთხვევითობის წილის განსაზღვრა ემპირიული კანონის საფუძველზე”. სტუდენტთა 80 ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი.

3. ი. ჩხეიძე, ს. ოქრომჭედლიშვილი. “ბროუნის მოძრაობის დროით-სიხშირული ანალიზი კომპიუტერული ტექნოლოგიების საფუძველზე”. მე-2 საერთაშორისო კონფერენცია “ნანოტექნოლოგიები” ნანო–2012.

4. И.М. Чхеидзе, Л.Ш. Токадзе, С.Н. Окромчедлишвили. “*Фрактальная размерность применительно к анализу временных рядов и моделированию топологических сетей*”. ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ И ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ, PACO’2012. ТРУДЫ ШЕСТОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ. Москва, 2012 г.

5. I. Chkheidze, L. Tokadze, S. Okromtchedlishvili. “Modeling of a Generalized Brownian Motion Based on Wavelet – Computer Technology”. IV International Conference “Problems of Cybernetics and Informatics”, (PCI’2012).

ავტორის პირადი წვლილი: ყველა ის ძირითადი შედეგები, რომლებიც ეხება ჰერსტის ემპირიულ მეთოდს, ფრაქტალური განზომილების გამოყენების და განსაზღვრის მეთოდს, განზოგადოებული ბროუნის მოძრაობის მოდელირების მეთოდს, ვეივლეტ-გარდაქმნის გამოყენების მეთოდს და დინამიკურ მონაცემთა (სისტემების) კვლევას: კარდირითმის სიხშირის ცვლილება (24 საათის განმავლობაში), სეისმოგრამა (გარკვეული მონაკვეთის) და ამინდის ტემპერატურის ცვლილებების მონაცემების დამუშავებას კომპიუტერული ტექნოლოგიების გამოყენებით MathCad პროგრამულ გარემოში მიღებულია ავტორის მიერ.

ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა. ნაშრომი შეიცავს შესავალს, ოთხ თავს, საბოლოო დასკვნებს და გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხას. სადოქტორო ნაშრომის საერთო მოცულობა შეადგენს 148 გვერდს, მათ შორის 54 ნახაზს და 1 ცხრილს.

სადოქტორო ნაშრომის შინაარსი

შესავალი. შესავალში განხილულია წარმოდგენილი ნაშრომის თემის დამუშავების მნიშვნელობა და აქტუალობა. ნათქვამია, რომ დინამიკური სისტემა, რომელიც კლასიფიცირდება როგორც ქაოსური, უნდა იყოს პირველ რიგში მგრძნობიარე საწყისი პირობებისადმი.

პირველი თავი ეძღვნება დეტერმინირებული ქაოსის თეორიის ზოგად მიმოხილვას არსებული ლიტერატურის ანალიზის საფუძველზე. დეტერმინირებული ქაოსის თეორია წარმოადგენს თანამედროვე კომპიუტერული ტექნოლოგიების უახლესი მეთოდების გამოყენების მნიშვნელოვან მაგალითს.

დეტერმნირებული ქაოსის თეორიის ზოგადმა განხილვამ აჩვენა, რომ დინამიკურ არაწრფივ სისტემებში ხშირად შეინიშნება ქაოტური ყოფაქცევა, რომელიც წარმოიშვება არა გარეთ არსებული ხმაურის მოქმედების გამო, არამედ არაწრფივი დეტერმინირებული სისტემის დინამიკით.

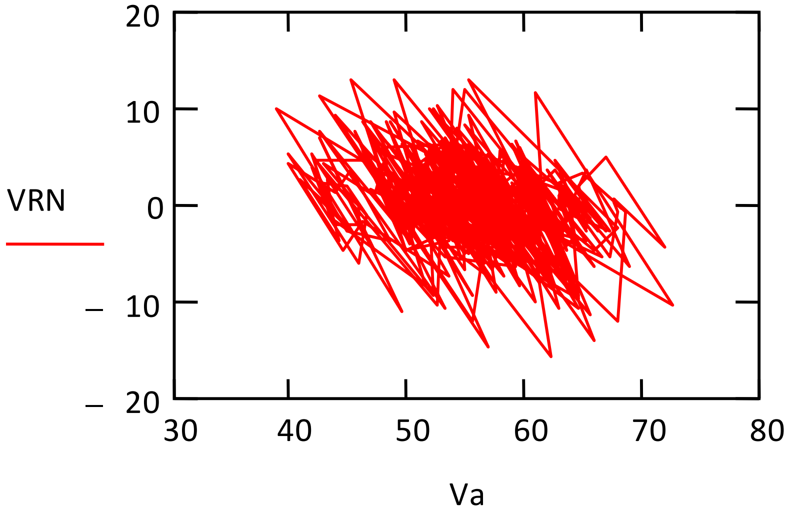
ამავე თავში განხილულია რელური დინამიკური სისტემების აღწერის ძირითადი მოდელები.

დინამიკური პროცესების კვლევა ითვალისწინებდა დინამიკური დეტერმინირებული სისტემის ანალიზს "მტაცებელი-მსხვერპლის" სისტემის მაგალითზე (კონკურენციის გათვალისწინების გარეშე და კონკურენციის არსებობის პირობებში). უნდა ავღნიშნოთ, რომ განტოლების ამოხსნას ყველგან ერთვის მისი წარმოდგენა ფაზურ სიბრტყეზე ან სივრცეში მიღებული შედეგების თვალსაჩინოებისათვის. დეტერმინირებული სისტემების მოდელირებამ MathCad პროგრამის გარემოში და ფაზურ სიბრტყეში გეომეტრიულმა წარმოდგენამ ცხადყო, რომ სისტემის გართულება შესაბამისად აისახება ფაზურ სიბრტყეზე მიღებული ტრაექტორიის სახეზე, რამაც მიგვიყვანა დასკვნამდე, რომ ფაზური სიბრტყის მეთოდი კარგად მიესადაგება დეტერმინირებული ქაოსის მქონე სისტემების (პროცესების) აღსაწერად. ფაზურ სივრცეში განტოლებათა სისტემის ამონახსნის წარმოდგენა გამოყენებულ იქნა ლორენცის სისტემის, როგორც დეტერმინირებული ქაოსის სისტემის კლასიკური მაგალითისთვის, რომელიც განხორციელდა MathCad პროგრამის მეშვეობით. მიღებული სურათის სახე ცხადად ადასტურებს ცნობილ "პეპელას" ეფექტს.

დისერტაციის პირველი თავი მოიცავს დეტერმინირებული ქაოსის თეორიის ექსპერიმენტულ კვლევას. ქაოსოგრამის აგება ხდებოდა

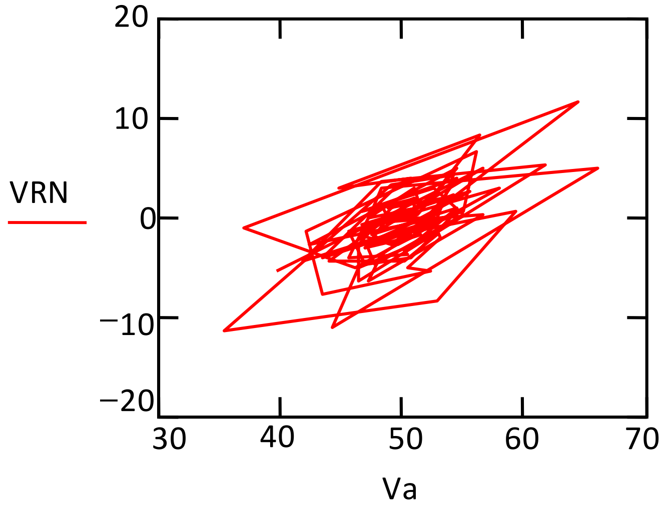
რეალური მონაცემებისთვის, რომლებიც მოპოვებული იყო კარდიორითმის სიხშირის ცვლილებების (მონაცემები მოგვაწოდა მეცხრე საავადმყოფოსთან არსებულმა გულის კარდიოლოგიურმა კლინიკამ), სეისმოგრამის მონაკვეთის (მონაცემები მოგვაწოდა გეოფიზიკის ინსტიტუტმა) და ამინდის ტემპერატურის ცვლილებისთვის ერთი წლის პერიოდში (ანათვლები მოვიპოვეთ ინტერნეტ საიტის მეშვეობით www.gismeteo.ru). მონაცემები პირველ შემთხვევაში წარმოდგენილია ცხრილის სახით, რომელიც ნაჩვენებია 24 საათის განმავლობაში, ყოველ ერთ საათში მიღებულ მონაცემებს, ხოლო საათის განმავლობაში მონაცემები ავიღეთ დამატებითი გრაფიკებიდან. სამუშაოში ასახულია მიღებული ქაოსგრამები ჯანმრთელი და ავადმყოფობის ზღვარზე მყოფი პაციენტისათვის.

ნახ.1-ზე მოცემულია ჯანმრთელი ადამიანისათვის მიღებული კარდიორითმის ცვლილების გრაფიკული წარმოდგენა ფაზურ სიბრტყეში (ქაოსგრამა). აბსცისათა ღერძზე გადაზომილია რითმოგრამის სიხშირის ცვლილება დროის მიხედვით (Va), ორდინატათა ღერძზე კი გადაზომილია რითმოგრამის სიხშირის ცვლილების სიჩქარე (VRN).



ნახ.1. ჯანმრთელი ადამიანის მდგომარეობისათვის დამახასიათებელი ქაოსგრამის მაგალითი.

ნახ.2-ზე მოცემულია ქაოსგრამა იმ შემთხვევაში, როცა ადგილი აქვს სისტემის დისბალანსს.



ნახ.2. ავადმყოფობის ზღვარზე მყოფი პაციენტის მდგომარეობისათვის დამახასიათებელი ქაოსგრამის მაგალითი.

მიღებული ქაოსოგრამების სახე ჯანმრთელი და ავადმყოფი ადამიანების კარდიორითმის სიხშირის ცვლილებისთვის განსხვავებულია. სისტემის დისბალანსის დროს, რაც ახასიათებს ავადმყოფ პაციენტს, ჩნდება კარდიორითმის დინამიკის "ქაოტირების" დარღვევა. ქაოსოგრამის ანალიზი იძლევა საშუალებას გაკეთდეს დასკვნა არა მხოლოდ პაციენტის მდგომარეობის შესახებ მოცემულ მომენტში, არამედ ნაწინასწარმეტყველები იქნეს მოსალოდნელი დარღვევები.

ქაოსოგრამის მიღებისას სასურველია ჩატარდეს ქაოსოგრამის რაოდენობრივი შეფასება. ამ მიზნით იყენებენ ფაქტობრივ, სპექტრულ ანალიზს და სიგნალის დროით–სიხშირულ წარმოდგენას. ჩვენ ვთავაზობთ განსხვავებულ მარტივ მეთოდიკას, რომელიც დაფუძნებულია ქაოსოგრამისთვის ჰისტოგრამის აგებაზე და შემდგომ კი ენტროპიის გამოთვლაზე.

იმისათვის, რომ ენტროპიის მნიშვნელობა დაუკავშიროთ ქაოსოგრამას, უნდა ჩატარდეს შემდეგი ოპერაციების თანმიმდევრობა:

1. ქაოსოგრამა წარმოადგენს ფაზურ სიბრტყეზე მონაცემების Y ვექტორის შესაბამის ასახვას ამ მონაცემების ცვლილებათა (წარმოებულის დისკრეტული ვარიანტის) X ვექტორის მიხედვით.

დავუშვათ, რომ Y ვექტორად გამოვიყენოთ სისტემის გამოსასვლელზე მიღებული თანმიმდევრული მნიშვნელობები. X – ვექტორად მივიჩნიოთ მონაცემები, რომლებიც ასახავენ ($Y_{i+1} - Y_i$) სხვაობას. i=0 . . . n-1-მდე.

2. ქაოსოგრამის მიხედვით შევქმნათ მატრიცა $M=Y*X^T$, განვსაზღვროთ მიღებული მატრიცის მინიმალური და მაქსიმალური მნიშვნელობები: $X_{max}-X_{min}$.

3. წინასწარ დავთქვათ რამდენ ჯგუფად დავყოთ მიღებული ინტერვალი $X_{max}-X_{min}$.

4. დავუშვათ, რომ ეს რიცხვი იყოს 20-ის ტოლი: $\frac{\mathrm{Xmax-Xmin.}}{20}$

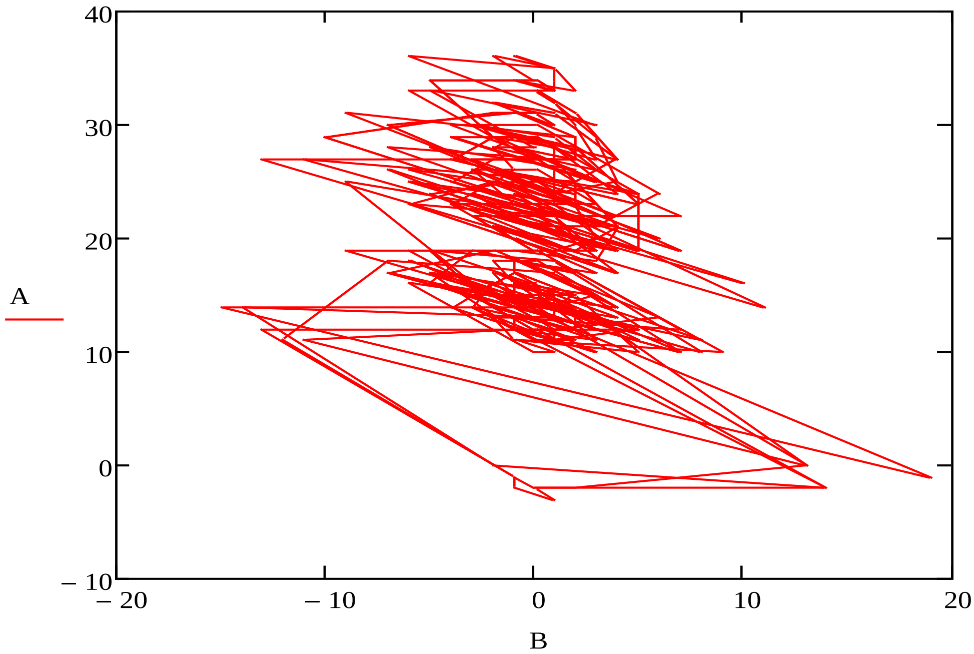
5. მზა ფუნქციების ჩამონათვალიდან ავირჩიოთ hist (n,M), სადაც პირველი არგუმენტი უნდა იყოს მთელი რიცხვი. იმიტომ, რომ ის ასახავს ჰისტოგრამაში რამდენი მნიშვნელობა უნდა მივიღოთ. ამიტომ, ავირჩიოთ ფუნქცია floor ($\frac{\mathrm{Xmax-Xmin.}}{20}$) და ბოლოს მივიღებთ hist (floor, M) ჰისტოგრამას, სადაც ორდინატთა ღერძზე გადაზომილი იქნება იმ ელემენტების რაოდენობა, რომელიც შეესაბამება მის შესაბამის $X_{i+1}-X_i$ ინტერვალს.

6. ალბათობა შეესაბამება $\frac{n_i}{N^2}$; სადაც N^2 არის აგებული მატრიცის სვეტების და სტრიქონების ნამრავლი.

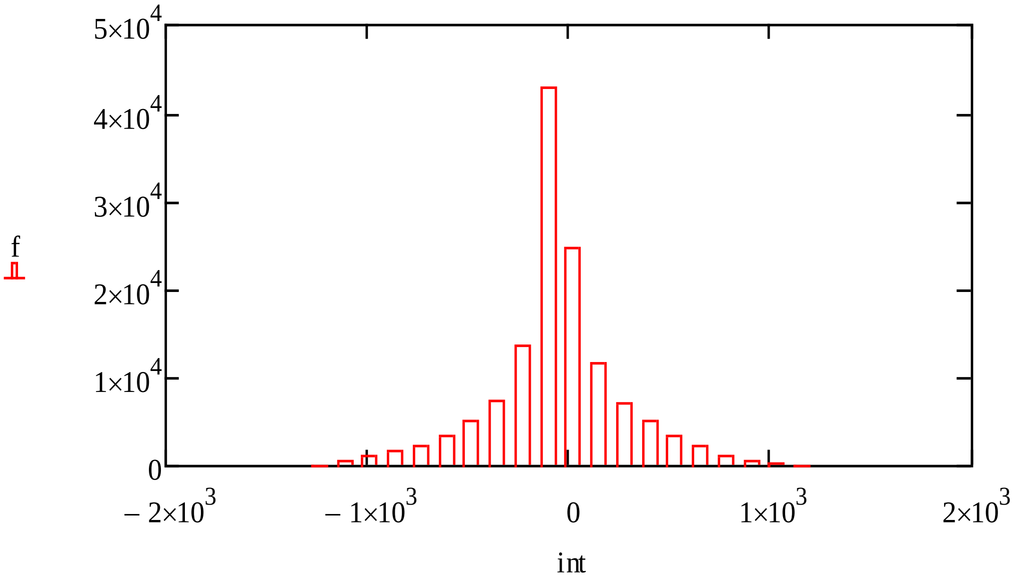
7. მაშინ ენტროპიას განვსაზღვრავთ $HE = -\sum_{i=1}^{n} p_i log p_i$ გამოსახულების მიხედვით.

ამ მეთოდის ექსპერიმენტული შემოწმება და ასახვა მივიღეთ ამინდის ცვლილების ანათვლებისთვის, რომელიც მოვიპოვეთ ინტერნეტ საიტის მეშვეობით www.gismeteo.ru.

ქაოსოგრამას აქვს შემდეგი სახე:



ნახ.3. ამინდის რეალური ანათვლების ქაოსოგრამა



ნახ.4. ამინდის რეალური ანათვლების ჰისტოგრამა

შემდეგ ავაგეთ ჰისტოგრამა და დავითვალეთ ენტროპია HE=0.735bit.

ზემოდ წარმოდგენილი ალგორითმის მსგავსად დავამუშავეთ ამინდის ცვლილების ანომალური მონაცემები და მივიღეთ ქაოსოგრამა. ზემოდ აღწერილი მეთოდის საფუძველზე მივიღეთ ენტროპია HE=1.97bit.

ენტროპიების შედარებამ აჩვენა: როდესაც ტემპერატურა ანომალურად იცვლება, შესაბამისი ჰისტოგრამაც იცვლის სახეს. ეს თავისთავად აისახება ენტროპიის გაზრდაზე მაგ: ენტროპია 0.735 bit ერთეულიდან მნიშვნელობიდან გაიზარდა 1.97 bit ერთეულამდე. რაც უფრო მეტია შემთხვევითობა, მით უფრო დიდია ენტროპია.

აქედან შეიძლება დავასკვნათ, რომ ენტროპიის რაოდენობით შეიძლება შევადაროთ რაოდენობრივადაც ქაოსოგრამები ძალიან მარტივად.

ჩატარებული კვლევის შედეგად შეიძლება დავადგინოთ შემდეგი: დეტერმინირებული ქაოსის თეორია სრულყოფილად აღწერს დინამიკური არაწრფივი სისტემების ყოფაქცევას. ამ დროს დინამიკური ქაოსის თერიის მეთოდებად მივიჩნევთ დროითი მწკრივების კვლევის კლასიკურ მეთოდებს ჰერსტის ემპირიული კანონისა და ფრაქტალების განზომილების გამოყენების სახით.

მეორე თავი მიძღვნილია დინამიკური სისტემების დროითი მწკრივების კვლევას, ორიენტირებულს კომპიუტერული ტექნოლოგიების გამოყენებაზე. დისერტაციის მეორე თავში განხილულია დროითი მწკრივების დამუშავების საკითხები, რომლებიც პირველ რიგში ეფუძნებიან ჰერსტის ემპირიული კანონს და მას უწოდებენ ნორმირებული გაქანების მეთოდს. ამ თავის ერთ-ერთი პარაგრაფი მიძღვნილია ბუნებრივი და საკვლევი პროცესების კლასიფიკაციას და ანალიზის პრობლემის გადაწყვეტას მათი სტოქასტიურობის დონის შეფასების მიხედვით. მას უდიდესი პრაქტიკული მნიშვნელობა გააჩნია რეალური პროცესების მიმდინარეობის პროგნოზირებისათვის.

კლასიფიკაციის ქვეშ ამ შემთხვევაში ვგულისხმობთ პროცესების დაყოფას დეტერმინირებულ, შემთხვევით და დეტერმინირებულ ქაოსურ ან (ფრაქტალურ) სიგნალებად. ქაოსურად დეტერმინირებულ სიგნალებს უკავიათ შუალედური ადგილმდებარეობა დეტერმინირებულ და შემთხვევით სიგნალებს შორის.

ჰერსტის მაჩვენებლის მნიშვნელობა ახასიათებს ტრენდის სიმძლავრის (დეტერმინირებულ ფაქტორს) ფარდობას ხმაურის დონესთან (შემთხვევითი ფაქტორი). ჰერსტის მეთოდს უწოდებენ ნორმირებული გაქანების მეთოდს. ხოლო ჰერსტის მაჩვენებელი კი, H, აჩვენებს, რამდენად განსხვავდება საკვლევი დროითი მწკრივი ჰერსტის მაჩვენებელი კლასიკური ბროუნის მაჩვენებლისაგან. როუნის კლასიკური მოძრაობა ითვლება, როგორც შემთხვევითობის მაჩვენებელი. მისთვის ჰერსტის მუდმივა უდრის 0.5-ს. თუ H=0.5 მაშინ გვაქვს კლასიკური ბროუნის მოძრაობა. თუ **0<H<**0.5 პროცესი არის ანტიპერსისტენტული, როცა პროცესის გაზრდის ტენდენცია შეიცვლება შემცირების ტენდენციით (ალბათურად). თუ 0.5< H≤1 – პროცესი არის პერსისტენტული, როცა გაზრდის ტენდენცია მომავალშიც არ შეიცვლის მიმართულებას (ალბათურად). ამ შემთხვევაში ზოგჯერ ამბობენ, რომ იგი მოიცავს დეტერმინირებულ მდგენელსაც ანუ „ტრენდს". დეტერმინირებული პროცესებისათვის ჰერსტის მუდმივა აღემატება 1, რაც ადასტურებს მართვის კანონის არსებობას.

ჰერსტის მაჩვენებლის გამოთვლა წარმოებს შემდეგი სქემის მიხედვით:

აღვნიშნოთ { e_1, e_2, e_3,…} დროითი პროცესის მიღებული მნიშვნელობები.

1. დასაწყისში გამოითვლება მიღებული მონაცემების საშუალო მნიშვნელობა $\bar{e}$

$$\bar{e} = \frac{1}{\tau}\sum_{u=1}^{\tau} e_u$$

სადაც e_u- არის მონაცემთა ვექტორის u - რი ანათვალი; τ - დრო, რომელიც შეესაბამება დროის მწკრივის სიგრძეს, ეს იგივეა, რაც ანათვალთა რაოდენობა.

2. გამოითვლება დაგროვილ მნიშვნელობათა გადახრა საშუალო მნიშვნელობიდან.

$$X(t,\tau) = \sum_{u=1}^{t}(e_u - \bar{e})$$

3. განისაზღვრება $X(t,\tau)$ გაქანება

$$R = \max\big(X(t,\tau)\big) - \min(X(t,\tau))$$

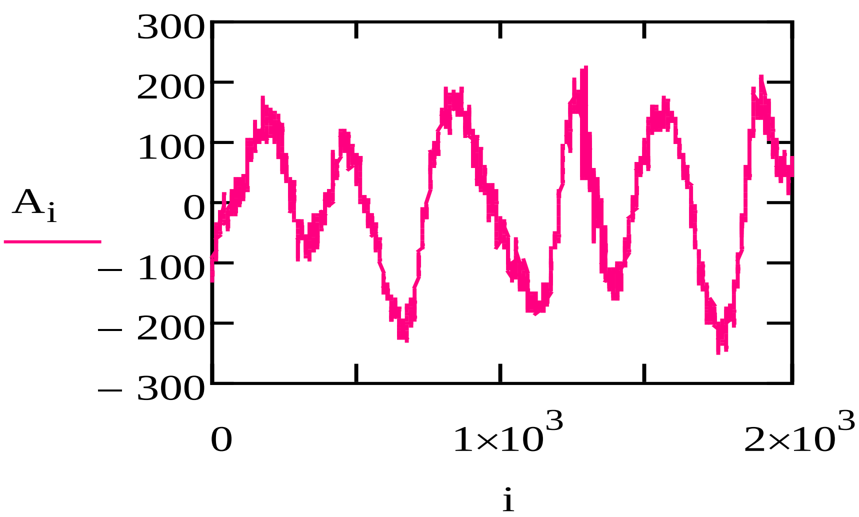
4. ხდება მიღებული გაქანების ნორმირება: $\frac{R}{S}$,

სადაც S არის პროცესის სტანდარტული გადხრა

5. აიგება $\log\frac{R}{S}$ დამოკიდებულება $\log(\tau)$-საგან. $\mathrm{H} = \frac{\log\frac{R}{S}}{\log\tau}$ ამით მივიღებთ ჰერსტის მუდმივას.

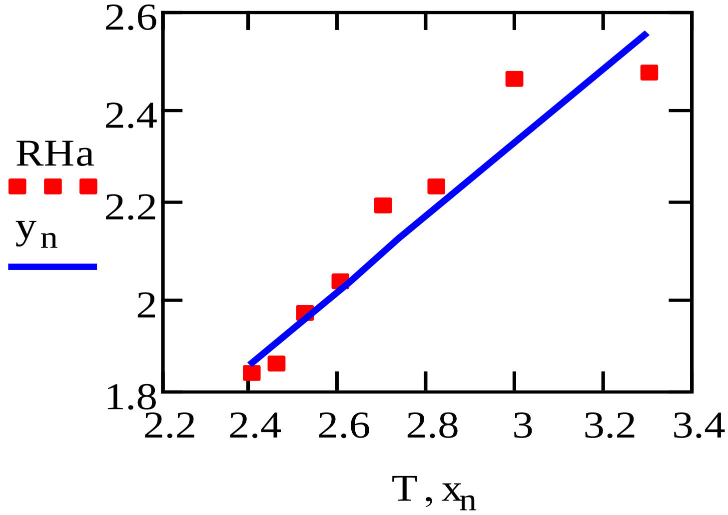
ჩვენ ჩავატარეთ ჰერსტის ემპირიული კანონის მაჩვენებლის განსაზღვრა სხვადასხვა პროცესებისთვის: სეისმოგრამისათვის, (გარკვეული მონაკვეთის), კარდირითმის სიხშირის ცვლილებისთვის (24 საათის განმავლობაში) და ამინდის ტემპერატურის ცვლილების ანათვლებისთვის.

აქ მოვიყვანთ მხოლოდ ერთი ექსპერიმენტის მონაცემებს, რომელიც ეხება გეოფიზიკის ინსტიტუტის მიერ მოცემულ სეისმოგრამის 2000 ანათვალს. შემდეგ ნახაზზე მოცემულია სიგნალის სახე დროის ცვლილების მიხედვით, სადაც ორდინატთა ღერძზე გადაზომილია მიღებული ანათვლები, ხოლო აბსცისათა ღერძზე დრო, რომელიც უდრის ანათვალთა რაოდენობას.



ნახ.5. სეისმოგრამით მიღებულ ანათვალთა დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი.

იმისათვის, რომ მიგვეღო უფრო დაზუსტებული დამოკიდებულება გაქანებასა და დაკვირვების დროის შორის გამოვიყენეთ უმცირეს კვადრატთა მეთოდი. შედეგები ასახულია გრაფიკზე.



ნახ.6 მაქსიმალური გაქანების ნორმირებული მნიშვნელობის log (ლოგარითმის) RHa ექსპერიმენტულად მიღებულ მნიშვნელობათა დამოკიდებულება შესაბამისი τ დროის ლოგარითმის მნიშვნელობებზე, მოცემული წერტილების სახით. y შეესაბამება წრფეს მიღებულს უმცირეს კვადრატთა მეთოდის საფუძველზე.

ჰესრტმა აღმოაჩინა და ექსპერიმენტულად დაამტკიცა, რომ “R/S ნორმირებული გაქანება” აღიწერება ემპირიული თანაფარდობით, რომელიც იზრდება დაკვირვების დაგროვილი დროის გაზრდასთან ერთად; კერძოდ

$$\frac{R}{S} = \left(\frac{\tau}{2}\right)^H$$

სადაც R/S – არის დაკვირვების შედეგად მირებული ნორმირებული გაქანება, τ - არის პროცესზე დაკვირვების დრო, რომელიც უნდა იყოს ძლიან დიდი მნიშვნელობის. ხოლო H ხარისხი – არის ჰერსტის პარამეტრი. ამ დროს, H პარამეტრი გამოითვლება ტანგენსის (tg) კუთხით, რომელიც შექმნილია $\log(\frac{R}{S})$ და $\log(\frac{\tau}{2})$ წრფეებს შორის. MathCad პროგრამაში შედგენილია ალგორითმი, რომლის მიხედვით ჩატარდა ჰერსტის ემპირიული კანონის გაანალიზება რიგი რეალური პროცესებისთვის.

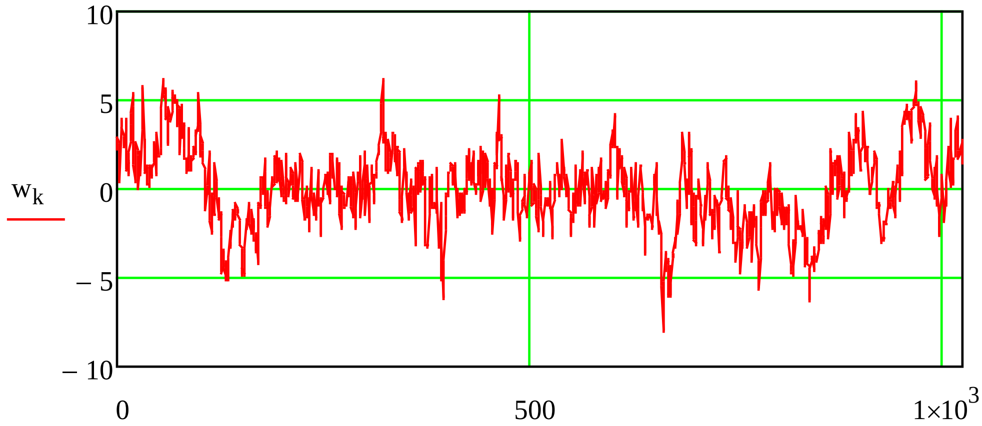
MathCad პროგრამის გარემოში ჩატარებულმა ექსპერიმენტებმა აჩვენა, რომ როგორც სეისმოგრამისათვის (გარკვეული მონაკვეთის) H=0.749, კარდირითმის სიხშირის ცვლილებისთვის (24 საათის განმავლობაში) H=0.795 და ასევე ამინდის ტემპერატურის ცვლილების ანათვლებისთვის H=0.844, საქმე გვაქვს პერსისტენტულ პროცესთან, ვინაიდან H>0,5. ეს მიგვითითებს იმაზე, რომ შეიძლება ვიწინასწარმეტყველოთ, რომ სიგნალი მომავალშიც შეინარჩუნებს მიღებულ ტენდენციას: იქ, სადაც სიგნალს ჰქონდა ზრდადობის ხასიათი, ის ახლო მომავალშიც შეინარჩუნებს ზრდადობას, ხოლო იქ, სადაც მცირდებოდა, მომავალშიც უნდა მოველოდოთ შემცირებას.

მესამე თავი მიძღვნილია დროებითი მწკრივების მოდელირებას სხვადასხვა დონის შემთხვევითობით და სიგნალების დროით-სიხშირულ წარმოდგენას (ანალიზს). დასაწყისში განხილულია მოდელირების ზოგადი საკითხები, განზოგადოებული ბროუნის მოძრაობის დანიშნულება და მისი მოდელირების საკითხი, გადაწყვეტილი მანდელბროტის მიერ.

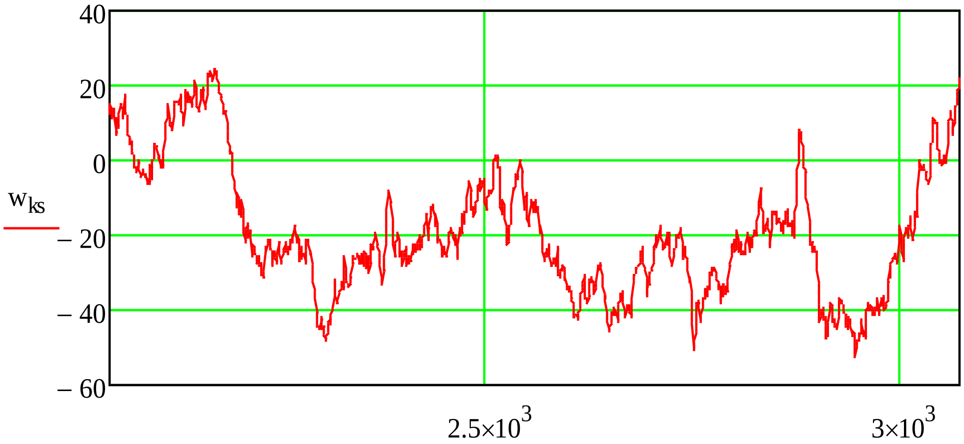
ჩვენ ვთავაზობთ განზოგადოებული ბროუნის მოძრაობის მოდელს, რომელიც დაფუნძვნებულია ვეივლეტ ორთოგონალური ფუნქციების გამოყენებაზე. შემოთავაზებული ალგორითმის მიხედვით ადვილად მიღებულია ბროუნის მოძრაობის განზოგადოებული მოდელი შემთხვევითობის ყველა დონისათვის H=0.1; H=0.5; H=0.99 MathCad პროგრამულ გარემოში.

წარმოდგენილი მასალა ეხება განზოგადოებული ბროუნის მოძრაობის მოდელირებას ვეივლეტ-გარდაქმნის გამეყენებით; რეალიზებული MAthCad პროგრამის გარემოში. მოდელირება ხდება ჰერსტის პარამეტრის საფუძველზე. პირველ შემთხვევაში დავუშვებთ, რომ ჰერსტის პარამეტრი უდრის H=0,1. როგორც ზემოდ იყო აღნიშნული ეს შემთხვევა შეესაბამება ანტიპერსისტენტული პრიცესის შექმნას. როცა პროცესი არის მთლიანად შემთხვევითი ყოველი პროგნოზირების გარეშე.

$$
\mathrm{fBmScale}(noise, H, sd) := \left|\begin{array}{l}
len \leftarrow \mathrm{rows}(noise) \\
numLev \leftarrow \log(len, 2) \\
v_0 \leftarrow 0 \\
\text{for } i \in numLev..1 \\
\quad v \leftarrow \mathrm{stack}\left[v, \mathrm{submatrix}\left(noise, \dfrac{len}{2^i}, \dfrac{len}{2^{i-1}} - 1, 0, 0\right) \cdot sd \cdot \left(2^i\right)^{H+\frac{1}{2}}\right] \\
v
\end{array}\right.
$$

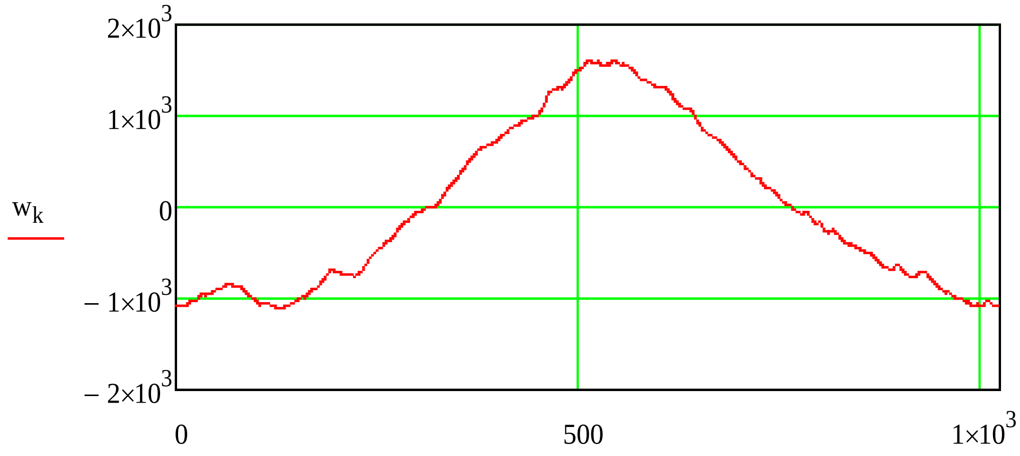


ნახ.7. ვეივლეტ-უკუგარდაქმნის შედეგად მიღებული სიგნალის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი როდესაც ჰერსტის პარამეტრი H=0.1



ნახ.8. ვეივლეტ-უკუგარდაქმნის შედეგად მიღებული სიგნალის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი როდესაც ჰერსტის პარამეტრი H=0.5

როდესაც H=0.99-ს მოდელირებისას გრაფიკმა მიიღო შემდეგი სახე.



ნახ.9. ვეივლეტ-უკუგარდაქმნის შედეგად მიღებული სიგნალის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი როდესაც ჰერსტის პარამეტრი H=0.99

შემოთავაზებულია განზოგადოებული ბროუნის მოძრაობის მოდელირება, დაფუძნებული ვეივლეტ–გარდაქმნის გამოყენებაზე და რეალიზებული MathCad პროგრამულ გარემოში.

განზოგადოებული ბროუნის მოძრაობის კონცეფცია საშუალებას იძლევა გამოვიკვლიოთ რეალური პროცესის ბუნება და მივაკუთვნოთ იგი ანტიპერსისტენტულ, პერსისტენტულ ან დეტერმინირებულად ქაოსურ პროცესს.

ჩატარებული კვლევის საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ:

დროითი მწკრივების შემთხვევითობის დონის შესაფასებლად მიზანშეწონილია გამოყენებული იქნას ბროუნის მოძრაობის ე.წ განზოგადოებული მოდელი, რომლის ქვაკუთხედს წარმოადგენს ბროუნის კლასიკური მოძრაობა, რომელიც შეესაბამება H=1/2 პარამეტრის მნიშვნელობას.

მეოთხე თავი მიძღვნილია ფრაქტალების ზოგად განხილვას. აღნიშნულია რამდენად მნიშვნელოვანია და მრავალმხრივი ფრაქტალური მეთოდების გამოყენება ტექნიკის, მეცნიერების და საყოფაცხოვრებო დარგებში. ფრაქტალები გამოიყენებიან სხვადასხვა

საინტერესო ობიექტების შესაქმნელად, გამოსახულებათა შეკუმშვის ეფექტური შედეგების მიღებისათვის და სხვა. ამ სამუშაოში ნაჩვენებია ფრაქტალების განზომილების გამოყენება ტოპოლოგიური ქსელების მოდელირებისათვის, მოყვანილია ფრაქტალური ობიექტების კონსტრუირების მაგალითები და განსაზღვრულია მათი ფრაქტალური განზომილება. აგრეთვე შემოთავაზებულია ფრაქტალური განზომილების “პრაქტიკული” განსაზღვრა კორელაციური ფუნქციის მეშვეობით.

დისერტაციის მე-4 თავში დიდი ყურადღება ეთმობა ფრაქტალური განზომილების ზოგად განსაზღვრას და ფრაქტალური ობიექტების კონსტრუირების მაგალითებს. მათ შორის MathCad პროგრამულ გარემოში კონსტრუირებულია “კოხის მრუდი”. ყველა მაგალითისთვის გამოთვლილია ფრაქტალური განზომილება. მეოთხე თავის ერთი პარაგრაფი ეთმობა ფრაქტალური განზომილების გამოყენებას ტოპოლოგიური ქსელების მოდელირებისათვის.

განაწილებული ქსელების განვითარების არსებული ტენდენციები ცხადყოფს უზარმაზარი ზომის ქსელების ოპტიმიზაციისა და მოდელირების აუცილებლობაზე. ამასთან დაკავშირებით ძალიან აქტუალური ხდება რთული საკომუნიკაციო ქსელების ანალიზის ამოცანათა გადაწყვეტა სისტემურ დონეზე დეტალური აღწერის გარეშე. ამავე დროს აუცილებელია მათი თავისებურებების შესწავლა, რომელიც განპირობებულია მათი რთული გეომეტრიით და ტოპოლოგიით. ამ დროს მათ ფუნდამენტურ მახასიათებელს წარმოადგენს მათი ტოპოლოგიური განზომილება D. ქსელების თვისებები კი წარმოადგენენ განზომილების ფუნქციას–f(D). თუ გამოვთვლით D-ს, შესაძლებელი გახდება რაოდენობრივად შევადაროთ ქსელების სისტემური თვისებები და ვიპოვოთ საერთო ინფორმაციული კანონზომიერებები. რთული ქსელები, მიუხედავად მათი არარეგულირებული გარე სტრუქტურისა, ხასიათდებიან გარკვეული წესრიგით, რომელიც განპირობებულია მათი ზრდის შეზღუდულობით. ეს იძლევა საშუალებას გამოყენებულ იქნას ამ ქსელების ტოპოლოგიის განზომილება, რომელიც დაკავშირებულია ფრაქტალურ განზომილებასთან. ამ დროს გლობალურ ინფორმაციულ

ქსელს შეესაბამება შემთხვევითი ფრაქტალი. ვინაიდან ქსელის მცირე ნაწილი მსგავსია მთლიანისა. ფიჭური კავშირის ქსელის ტოპოლოგია ქალაქის ცალკეული რაიონისა მსგავსია მთლიანი ქალაქის ქსელისა. როგორც მოგვიანებით განვიხილავთ, სამუშაოში შემოღებულია დიდი ქსელების მოდელირებისა და სინთეზის მეთოდიკა, რომელიც დაფუძნებულია კვანძების სიმკვრივის ფუნქციის გამოყენებაზე. ქსელური გრაფიკის ფრაქტალური ხასიათი აღწერილია და მიღებულია ფრაქტალური პროცესების მახასიათებლები უსადენო ქსელებში და მიღებული შედეგების გამოყენების შესახებ ამ პროცესების მართვის დროს.

ქალაქის საკომუნიკაციო ქსელებს გააჩნიათ ფრაქტალური ხასიათი. გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ ქსელების კვანძები თავმოყრილია საინფორმაციო ნაკადის არეებში (მომხმარებელთა მაღალი სიმკვრივით) და გაცილებით იშვიათია არეებში დაბალი ინტენსიობით (მომხმარებელთა დაბალი სიმკვრივით). საკომუნიკაციო ქსელები (სატრანსპორტო, მობილური ტელეფონების, მაღაზიების ქსელები) განაპირობებენ ქალაქების განვითარებას და ზრდას, ამავე დროს, ძლიერი უკუკავშირით. მაშასადამე ქალაქის საკომუნიკაციო ქსელები შეიძლება დავაკავშიროთ კორელაციური კავშირით ქალაქის ქუჩების და რაიონების გეოგრაფიულ გეომეტრიასთან.

ჩვენ მოვიყვანეთ მაგალითი ქ. კაზანისა და ქ. პარიზის სატრანსპორტო ქსელის კვანძების რიცხვის გამოთვლის, რომელიც დამოკიდებულია ქალაქის ცენტრიდან მისი გავრცელების რადიუსზე. ქ.კაზანისთვის სისტემის კვანძების ფრაქტალური გამზომილება Dc=1,32. სატელეკომუნიკაციო ქსელი დიდი გამტარობით ხელს უწყობს ინფორმაციის მიწოდებას ნებისმიერი მიმართულებით. ამის მიხედვით იცვლება მისი ფრაქტალური განზომილების მნიშვნელობა. და ეს მნიშვნელობა იცვლება $1<D_C<2$.

როგორც ცნობილია, ფრაქტალური განზომილება პრაქტიკულად გამოითვლება გამოსახულებით:

$$D_C = \lim_{\varepsilon \to 0} \frac{\ln C(\varepsilon)}{\ln \varepsilon},$$

სადაც $C(\varepsilon)$ არის კორელაციური ფუნქცია, რომელიც გამოითვლება როგორც ფარდობა n–ის (იმ წერტილების რაოდენობა რომელთა შორის მანძილი არ აღემატება ε-ს) N–საერთო წერტილების რაოდენობის კვადრატთან.

$$C(\varepsilon) = \frac{n}{N^2}$$

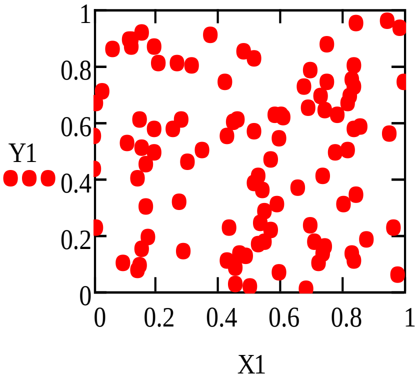
აქ მანძილში იგულისხმება ევკლიდეს მანძილი. როცა ε იცვლება, იცვლება $C(\varepsilon)$-ს მნიშვნელობა, ვინაიდან იცვლება n.

მანძილი d ორ $P_1(X_1,Y_1)$ და $P_2(X_2,Y_2)$ წერტილს შორის გამოითვლება შემდგი გამოსახულებით:

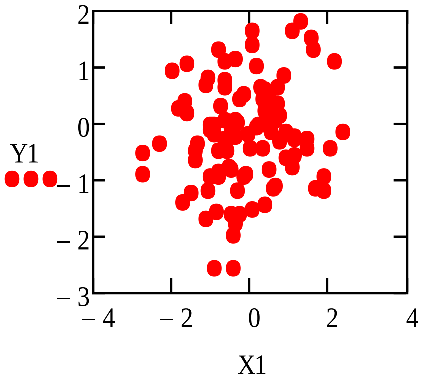
$$d = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2}$$

მაშასადამე: პირველად უნდა გამოვთვალოთ იმ წერტილების რაოდენობა, რომელთა შორის მანძილი არ აღემატება ε, $d \leq \varepsilon$.

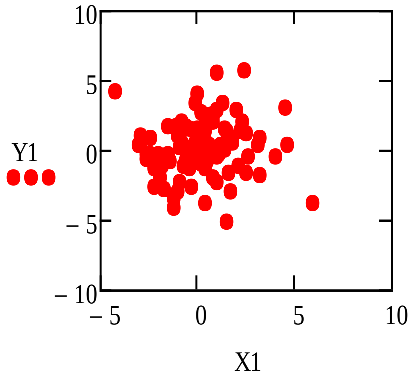
კვანძების სიმრავლის ერთობლიობისათვის ფრაქტალური განზომილების მოდელირებისთვის და შეფასებისთვის ჩვენს მიერ იყო გენერირებული თანაბრად, ნორმალურად და ლოგისტიკური განაწილებული სიდიდეების მიმდევრობა. ყველა ეს ოპერაციები სრულდება MathCad გარემოში, სადაც როგორც გენერირება, ასევე წერტილების რაოდენობის განსაზღვრა d ინტერვალში, არ შეადგენს სირთულეს. წერტილების (კვანძების) კოორდინატები ფორმირდებოდა შემთხვევით რიცხვთა გენერატორით და ლაგდებოდნენ კვადრატის ღერძებზე, რომლის გვერდის მაქსიმალური მნიშვნელობა უდრიდა გენერირებული შემთხვევითი რიცხვების მაქსიმალურ მნიშვნელობას. ნახ.10ა, ნახ.10ბ და ნახ.10გ-ზე მოყვანილია წერტილების ერთობლიობის ტოპოლოგია (განლაგება) თანაბრად, ნორმალურად და ლოგისტიკურად განაწილებული წერტილებისთვის. ხოლო ნახ.11ა, ნახ.11ბ და ნახ.11გ-ზე ასახულია ამ ტოპოლოგიის შესაბამისი კორელაციური განზომილების მიღებული დამოკიდებულება.



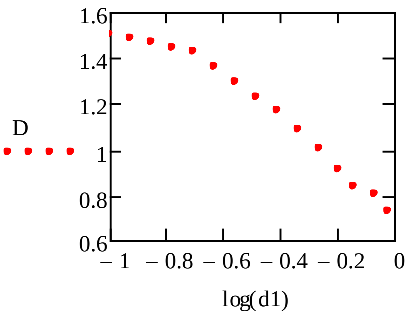
ნახ.10ა წერტილების ერთობლიობის ტოპოლოგია თანაბრად განაწილებული წერტილებისთვის



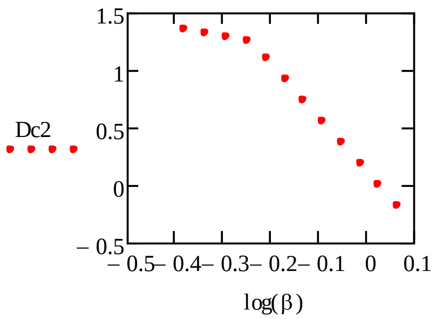
ნახ.10ბ წერტილების ერთობლიობის ტოპოლოგია ნორმალურად განაწილებული წერტილებისთვის



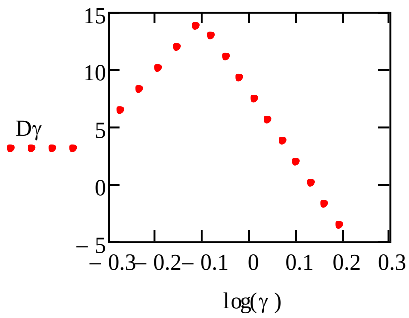
ნახ.10გ წერტილების ერთობლიობის ტოპოლოგია ლოგისტიკურად განაწილებული წერტილებისთვის



ნახ.11ა წერტილების კორელაციური განზომილების დამოკიდებულება სტრუქტურული ელემენტის ზომაზე. თანაბრად განაწილებული წერტილებისთვის



ნახ.11ბ წერტილების კორელაციური განზომილების დამოკიდებულება სტრუქტურული ელემენტის ზომაზე. ნორმალურად განაწილებული წერტილებისთვის



ნახ.11გ წერტილების კორელაციური განზომილების დამოკიდებულება სტრუქტურული ელემენტის ზომაზე. ლოგისტიკურად განაწილებული წერტილებისთვის

წერტილების (კვანძების) სიმრავლის ერთობლიობის ფრაქტალური განზომილების ანგარიშმა გვიჩვენა რომ:

1. ფრაქტალური განზომილება ნაკლებია ევკლიდეს განზომილებაზე $D_c<D_E$, სადაც D_E ევკლიდეს განზომილებაა, $D_E=2$.

2. D_c კორელაციური განზომილების განაწილების დამოკიდებულებამ ε-ზე, აჩვენა, რომ ε-ის გაზრდით ფრაქტალური განზომლება ($D_E \to 0$) მიისწრაფის ნულისაკენ. ε-ის შემცირებისას ($\varepsilon \to 0$) წერტილების განზომილება იზრდება (მიისწრაფის D_E-კენ).

გამოკვლევების შედეგად დავასკვენით, რომ შედგენილი ალგორითმების რეალიზაციით MathCad პროგრამამ გაცილებით გაადვილა დროითი მწკრივების ფრაქტალური განზომილების

გამოთვლა. ფრაქტალური განზომილების მნიშვნელობის D განსაზღვრა ცნობილი დამოკიდებულებით D=2-H სადაც D-არის პროცესის ფრაქტალური განზომილება, ხოლო H-ჰერსტის ემპირიული კანონის მაჩვენებელი. როგორც დავითვალეთ კარდიორითმის სიხშირისთვის და სეისმოგრამის მონაკვეთისთვის H=0.795 და 0.749. ამის მიხედვით შეგვიძლია ვიმსჯელოთ რომ ორივე პროცესი მიეკუთვნება პერსისტენტულ პროცესებს.

ნაშრომის საერთო დასკვნები

1. დეტერმინირებული ქაოსის თეორიის, არაწრფივი დინამიკური სისტემების მიმართებაში, განხილვამ აჩვენა, რომ დინამიკურ არაწრფივ სისტემებში ხშირად შეინიშნება ქაოსური ქცევა, რომლის მიზეზი მდგომარეობს არაწრფივი სისტემების უნარში ექსპონენციალურად გაზარდოს თავდაპირველად ახლო მდებარე ტრაექტორიები. ეს გარემოება განპირობებულია სისტემის საწყისი პირობების მიმართ ძალიან მაღალი მგრძნობიარობით. ასეთი სისტემის ტრაექტორიების ყოფაქცევის წინასწარმეტყველება შეუძლებელია დროის დიდი ინტერვალებისთვის. თვალსაჩინოებისათვის რეკომენდებულია ფაზურ სიბრტყეში დიაგრამის – ქაოსოსგრამის აგება. მიღებულია ლორენცის სისტემის დიაგრამა ფაზურ სიბრტყეში MathCad პროგრამულ გარემოში, როგორც დეტერმინირებული ქაოსის თეორიის კლასიკური მაგალითი.

2. ჩატარებულია დეტერმინირებული ქაოსის თეორიის ექსპერიმენტული კვლევა სეისმოგრამისათვის (გარკვეული მონაკვეთის), კარდირითმის სიხშირის ცვლილებისთვის (24 საათის განმავლობაში) და ამინდის ცვლილების ანათვლებისთვის, მიღებულია ქაოსოგრამების სახე.

შემოთავაზებულია ქაოსოგრამის ანალიზის მეთოდიკა, რომელიც დაფუძნებულია მიღებული ქაოსოგრამის ჰისტოგრამით აღწერაზე და ენტროპიის გამოთვლაზე, განხილულია მაგალითი, რომელიც ეხება ამინდის ცვლილების რეალურ და ანომალურ ანათვლებს. ჩატარებული ექსპერიმენტების საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ ენტროპიის

გამოთვლით შეიძლება შევაფასოთ ქაოსოგრამაში შემთხვევითობის დონე.

3. დინამიკური სისტემის ყოფაქცევის ანალიზმა დაადასტურა, რომ დეტერმინირებული ქაოსის თეორია სრულყოფილად აღწერს დინამიკური არაწრფივი სისტემების ყოფაქცევას. ამ დროს დინამიკური ქაოსის თეორიის მეთოდებად მივიჩნევთ: ქაოსოგრამის დამუშავების მეთოდს, დროით მწკრივების კვლევის კლასიკურ მეთოდს ჰერსტის ემპირიული კანონის სახით, ფრაქტალების განზომილების გამოყენების და განზოგადოებული ბროუნის მოძრაობის მოდელირების მეთოდებს.

4. გაანალიზებულია ჰერსტის ნორმირებული გაქანების მეთოდი – ემპირიული კანონი დროითი მწკრივების დამუშავების და კვლევის კუთხით. მიღებულია, რომ ჰერსტის პარამეტრის რიცხვითი მნიშვნელობის მიხედვით შეიძლება განხორციელდეს კვლევის პროცესების კლასიფიკაცია: თუ $0<H<1/2$ – პროცესი არის ანტიპერსისტენტული. თუ $H>1$-ზე, მაშინ პროცესი ხდება დეტერმინირებული, ხოლო $H=1/2$-ს წარმოადგენს კლასიკური ბროუნის მოძრაობის მაგალითს.

5. ჰერსტის ემპირიული კანონის შემოწმება განხორციელებულია კარდიორითმის სიხშირის ცვლილებებისთვის, სეისმოგრამის მონაკვეთისთვის და ამინდის ტემპერატურის ცვლილებისათვის ერთი წლის განმავლობაში. პირველ შემთხვევაში $H=0.795$, მეორე შემთხვევაში $H=0.749$, მესამე შემთხვევაში კი $H=0.844$.

მიღებული შედეგები ცხადყოფს, რომ სამივე პროცესი ატარებს პერსისტენტულ ხასიათს, ვინაიდან $H>0.5$, მაშასადამე განხილული პროცესები არ მიეკუთვნებიან მთლიანად შემთხვევით პროცესებს. განხილული სიგნალები შეიძლება მივაკუთვნოთ ქაოსურად-დეტერმინირებულ ან ფრაქტალურ პროცესებს, რომლებსაც გააჩნიათ როგორც შემთხვევითი, ასევე დეტერმინირებული სიგნალების თვისებები.

6. ჩატარებულია დროითი მწკრივების მოდელირება სხვადასხვა დონის შემთხვევითობით. შემოთავაზებულია განზოგადოებული ბროუნის მოძრაობის მოდელი, დაფუძნებული ვეივლეტ-ორთოგონალური ფუნქციების გამოყენებაზე.

შემოთავაზებული ალგორითმის მიხედვით მიღებულია ბროუნის მოძრაობის განზოგადოებული მოდელი შემთხვევითობის ყველა დონისათვის MathCad პროგრამულ გარემოში.

7. შემოთავაზებულია მეთოდი დროის მწკრივების ანალიზისათვის: დროით-სიხშირული ანალიზი, რომელიც დაფუძვნებულია ვეივლეტ და კოსინუს გადაქმნების გამოყენებაზე. მიღებული შედეგების შედარებამ ცხადყო, რომ სიგნალის ენერგიის უკეთესი განაწილება შეესაბამება კოსინუს გარდაქმნის გამოყენებას. მაგრამ, თუ გავითვალისწინებთ, რომ კოსინუს გარდაქმნა მოითხოვს “ფანჯრის” შემოღებას და სხვა სირთულეებს, შეიძლება უპირატესობა მიენიჭოს ვეივლეტ-პაკეტის გამოყენებას.

8. გაანალიზებულია, განაწილებული ქსელის კვანძების სიმრავლის ერთობლიობისათვის ტოპოლოგიის მოდელირება და ფრაქტალური განზომილების რიცხობრივი შეფასება.

ჩატარებული ექსპერიმენტების და კვლევის შედეგად დადგინდა: ქსელის კვანძების (წერტილების სიმრავლის) ფრაქტალური განზომილება $D_F < D_E$, ანუ ფრაქტალური განზომილება D_F ნაკლებია ევკლიდურ განზომილებაზე D_E-ზე.

ქსელების თვისებების დამოკიდებულებამ ფრაქტალურ განზომილებაზე შეიძლება შეასრულოს მნიშვნელოვანი როლი ქსელების განვითარების და მათი გამოყენების ეფექტიანობის მიმართებით.

9. ჩატარებული ექსპერიმენტების და კვლევის შედეგად დადგინდა: რომ ფრაქტალური განზომილების (D) რიცხვითი შეფასება ცხადყოფს, რომ ყველა განხილული რეალური პროცესი: კარდიორითმის სიხშირის ცვლილება, სეისმოგრამის მონაცემების მონაკვეთი და ამინდის

ტემპერატურის ცვლილება მიეკუთვნება პერსისტენტულ პროცესებს, როცა პროცესის გაზრდის ტენდენცია შენარჩუნდება მომავალშიც გარკვეული დროის მონაკვეთით და ალბათობით.

10. არაწრფივი დინამიკური სისტემების და მათ მიერ წარმოქმნილი დროითი მწკრივების დეტერმინირებული ქაოსის მეთოდების მეშვეობით შესწავლამ და ანალიზმა აჩვენა, რომ პრაქტიკაში სარეალიზაციოდ სიმარტივის მხრივ უპირატესობა ენიჭება ჰერსტის ნორმირებული გაქანების ემპირიულ კანონს, ჰერსტის პარამეტრის რაოდენობრივი შეფასებით. თუმცა ფრაქტალური განზომილების და ქაოსოგრამის დამუშავების მეთოდებსაც თავისი მნიშვნელობა გააჩნიათ. ყოველივე ეს კიდევ ერთხელ ადასტურებს თანამედროვე კომპიუტერული ტექნოლოგიების გამოყენების მიზანშეწონილობას ჩვენს გარშემო მყოფი, პრაქტიკით მოთხოვნადი პროცესების შესწავლის დროს.

Abstract

Research actuality. Thesis theme refers to the scientific study of dynamical systems, or dynamic data using the latest computer technology. This means non-linear systems, because only the characteristic of interest and study of the properties of these systems are faced with insurmountable problems and the classical approaches require the creation of new analytical and computational approaches.

The main purpose of a doctoral dissertation. The main purpose of the dissertation represents the theory of deterministic chaos in-depth study and development of the basic methods employed on the basis of consideration of real-world objects and processes (process) and quantitative evaluation of the practical implications of decisions. Determinate chaos theory, methods based on the use of modern computer technology. The study will include a new much more simple process modeling methods, algorithms and software for the creation and sale of MathCad. This program contains predefined functions, modules, and simplify them in a very practical realization and implementation.

The practical value of a doctoral dissertation. The thesis contains all the necessary data, methods and recommendations for dynamic data (system) in the field of research, the use of computer technology.

The general conclusions:

1. Determinate chaos theory of nonlinear dynamical systems in relation to the review found that the nonlinear dynamical systems often chaotic behavior, the reason lies in the ability of nonlinear systems exponentially increase initially close trajectories.

2. We conducted a pilot reserch seismogram certain chaos theory (for a period), changes in the frequency of heart rate (24 hours), and changes in weather points, adopted chaos graph face.

chaos graph analysis technique is proposed, which is based on the description of entropy to calculate the histogram of chaos graph.

3. The analysis of the dynamic behavior of the system confirmed that the deterministic chaos theory completely describes the dynamic behavior of nonlinear systems.

4. Herst's normal fixed speed is analyzed - empirical time series in terms of treatment and research. It is believed that herst's numeric value may be carried out in accordance with the classification of the research process: if $0 < H < 1/2$ - the process antipersistent.

5. Herst's empirical rule is develop by cheking of the frequency of changes in heart rate, seismogramis stretching temperature and weather changes throughout the year. In the first case H= 0.795, in the second case H= 0,749, in the third case H= 0,844.

The results show that all three processes hard in nature, since H > 0,5, therefore, the processes are not fully random processes.

6. The proposed algorithm is based on a generalized model adopted Broun accidents every level programming of MathCad.

7. We propose a method for the analysis of time series: time - frequency analysis based on Wavelet transform and cosine. Comparison of the results shows that the energy distribution signal corresponds best using of cosine transform. But, if we consider that the cosine transformation requires a "window" of administration, and other difficulties, it may be preferable wavelet - use package.

8. It is analyzed, distributed topology network of nodes and fractal dimension of the numerical modeling of the relief galore set for evaluation.

Experiments and studies have shown that network nodes (points) of the fractal dimension $D_F < D_E$ or D_F fractal dimension of less than mathematical size of D_E

9. The experiments and studies have shown that the fractal dimension (D) Numerical estimates show that all of the real process: changing the frequency kardioritmis, seismogramis data segment, and the weather temperature changes are associated with the ever-processes when the process will tend to continue in the future for a period of time and probability.

10. Nonlinear dynamical systems and chaos are determined by methods of investigation and depletion time series analysis revealed that the practice of selling, simple, on the other hand, preferred to carry out a fixed speed herstis Quantify empirical law herstis. However, the fractal dimension and processing methods kaosogramis have their own importance. All this once again proves the ability to use modern computer technology around us who practice the processes required in the course of the study.