

**Yuliya Duniak, Kompiuterinis modeliavimas, I k**  
**1 uždutis, 2 variantas "Rekurentinės diagramos"**  
**Atlikimo data: 2020-05-05**

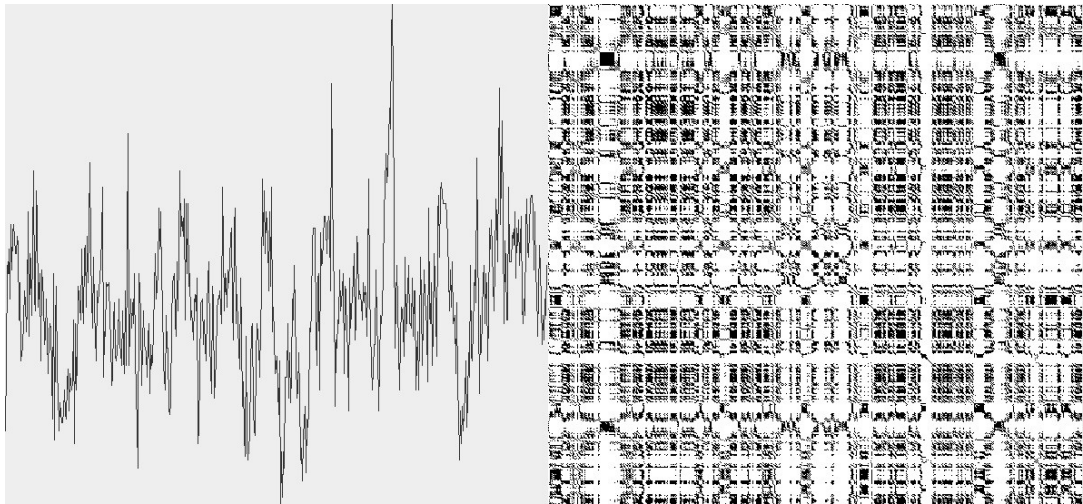
Užduočiai įgyvendinti buvo panaudoti 7 skirtingi signalai. Signalai buvo išsaugoti į failus, kurių pavadinimai atitinka žemiau esančia numeracija:

1. El nino index 1866-1997, papildomo paruošimo nereikėjo.  
Nuoroda: [https://archive.uea.ac.uk/gj/book/data/el\\_nino.dat](https://archive.uea.ac.uk/gj/book/data/el_nino.dat)
2. Sunspots 1700-1979, papildomo paruošimo nereikėjo.  
Nuoroda: <https://archive.uea.ac.uk/gj/book/data/lspot.dat>
3. RR intervalų duomenys, papildomo paruošimo nereikėjo.  
Nuoroda: <https://www.cpp.edu/pbsiegel/javascript/rrintervals/data1.txt>,  
<https://www.cpp.edu/pbsiegel/javascript/rrintervals/rrindex.html>
4. RR intervalų duomenys, papildomo paruošimo nereikėjo.  
Nuoroda: <https://www.cpp.edu/pbsiegel/javascript/rrintervals/data2.txt>
5. USD keitimo kurso į CHF duomenys, papildomai paruoštas. Kadangi duomenys buvo parsisiųsti .csv faile ir turėjo kelis stulpelius, duomenys buvo ištraukti tik iš aktualaus stulpelio nuo 2007-05-15 iki 2005-6-26 dienos.  
Nuoroda: <https://www.investing.com/currencies/usd-chf-historical-data>
6. USD valiutos kursas, papildomai paruoštas. Kadangi duomenys buvo parsisiųsti .csv faile ir turėjo kelis stulpelius, duomenys buvo ištraukti tik iš aktualaus stulpelio nuo 2020-04-30 iki 2018-5-18 dienos.  
Nuoroda: [https://www.ecb.europa.eu/stats/policy\\_and\\_exchange\\_rates/euro\\_reference\\_exchange\\_rates/html/index.en.html](https://www.ecb.europa.eu/stats/policy_and_exchange_rates/euro_reference_exchange_rates/html/index.en.html)
7. CHF valiutos kursas, papildomai paruoštas. Kadangi duomenys buvo parsisiųsti .csv faile ir turėjo kelis stulpelius, duomenys buvo ištraukti tik iš aktualaus stulpelio nuo iki datos.  
Nuoroda: [https://www.ecb.europa.eu/stats/policy\\_and\\_exchange\\_rates/euro\\_reference\\_exchange\\_rates/html/index.en.html](https://www.ecb.europa.eu/stats/policy_and_exchange_rates/euro_reference_exchange_rates/html/index.en.html)

Kadangi 5, 6 ir 7 signalų duomenys buvo parsisiųsti .csv faile ir turėjo kelis stulpelius, duomenys buvo ištraukti tik iš aktualaus stulpelio ir išsaugoti į atskirą failą. Dėl duomenų kiekio ir programos greیتaveikos šių signalų imtys buvo sumažintos. Originalus .csv failai taip pat yra /resources aplankale.

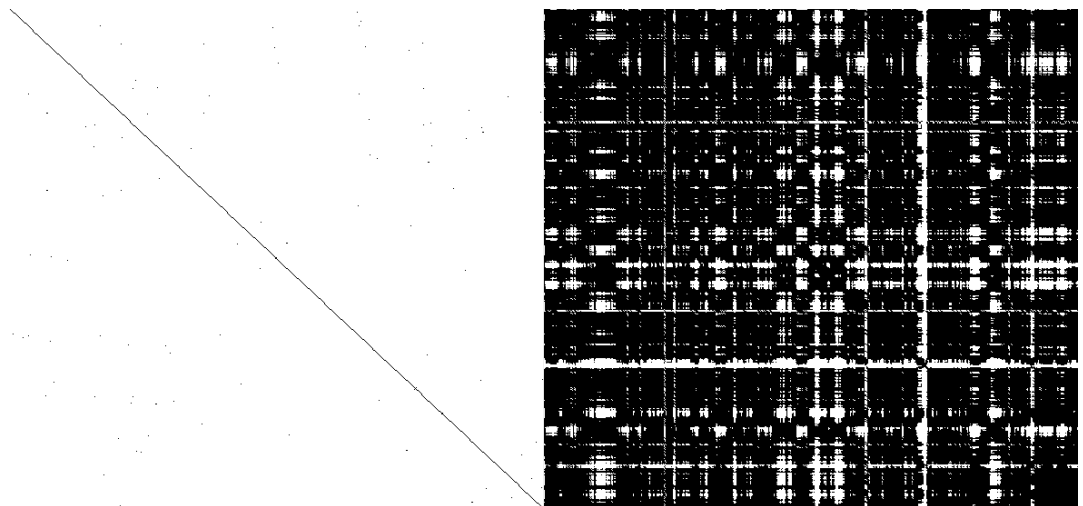
Gauti signalo rekurentinei diagramai svarbu pasirinkti signalo numerį (nuo 1 iki 7), įrašyti juodų taškų procentą ir paklaidą. D ir d reikšmės pagal nutylėjimą atitinkamai yra 2 ir 1, tačiau jos irgi gali būti pakeistos. Signalai išvardinti iš eilės, tokia pat tvarka, kaip ir minėta aukščiau.

Iš pradžių buvo patikrintos kai kurios rekurentinių diagramų savybės. Pirmas naudojamas signalas yra El nino index. Matome, kad šio signalo rekurentinė diagrama yra simetrinė pagrindinės įstrižainės atžvilgiu (pav.1).



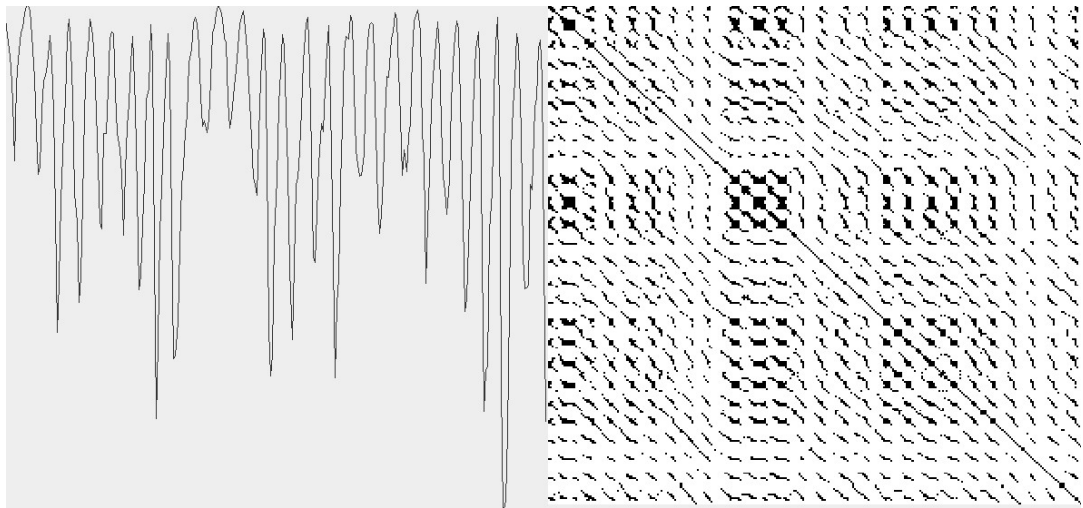
1 pav. El nino indekso 1866-1997 signalas (pačio signalo iliustracija kairėje), jo rekurentinė diagrama, kur  $D = 2$ ,  $d = 1$ , juodų taškų procentas - 30% ir paklaida - 10% (iliustracija dešinėje). Naudojama Euklidinė metrika. Signalui papildomo paruošimo nereikėjo. Signalo imčių skaičius  $N = 540$ . Eil. nr. 1.

Taip pat prilyginus juodu taškų procentą nuliui, matoma tik pagrindinė įstrižainė, nepriklausomai nuo kitų pasirinktų parametrų. O padidinus juodų taškų procento paklaidą iki 80% tuo metu, kai pats juodųjų taškų procentas yra 30%, matome tokius rezultatus, kaip pav. 2. Kuo didesnė paklaida, tuo daugiau juodų taškų atsiranda diagramoje. Taip pat padidinus juodu taškų procentą iki 100, visi diagramos taškai taps juodi.



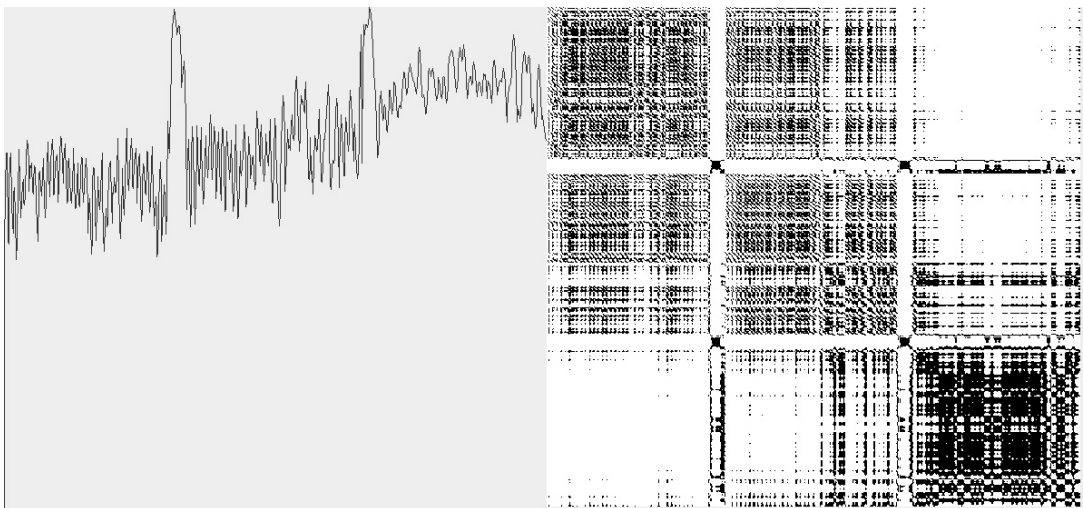
2 pav. El nino indekso 1866-1997 signalo rekurentinė diagrama, kur  $D = 2$ ,  $d = 1$ , juodų taškų procentas sumažintas iki 0% ir paklaida - 10% (iliustracija kairėje) ir rekurentinė diagrama, kur  $D = 2$ ,  $d = 1$ , juodų taškų procentas - 30% ir paklaida - 80% (iliustracija dešinėje). Naudojama Euklidinė metrika. Signalui papildomo paruošimo nereikėjo. Signalo imčių skaičius  $N = 540$ .

Antras ir vienas įdomesnių signalų buvo saulės dėmių duomenų už 1700-1979 metus signalas. Jis pavaizduotas pav. 3. Galima pastebėti, kad signalo juodų taškų išdėstymas visoje rekurentinėje diagramoje yra tolygūs, kitaip sakant homogeniškas, reiškia galima padaryti išvada, kad tiriamas signalas yra stacionarus, kaip ir signalas pavaizduotas 1 ir 2 paveikslėliuose.



3 pav. Sunspots 1700-1979 signalo rekurentinė diagrama, kur  $D = 2$ ,  $d = 1$ , juodų taškų procentas - 15% ir paklaida - 5% (ilustracija dešinėje) ir pats signalas (ilustracija kairėje). Naudojama Euklidinė metrika. Signalui papildomo paruošimo nereikėjo. Imčių skaičius  $N = 280$ . Eil. nr. 2.

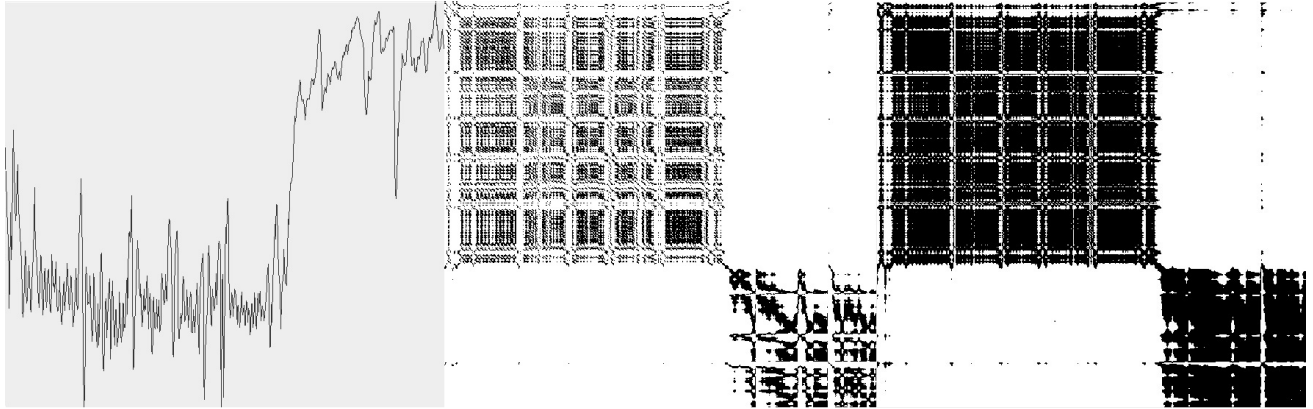
Kitas tiriamas signalas buvo RR intervalų signalas. RR intervalas yra tiesiog laikas tarp vieno po kito einančių širdies plakimų. Šiuo atveju kvėpavimas buvo kontroliuojamas ir buvo stengiamasi daryti 12 įkvėpių per minutę, kas parodė, jog gulint širdies ritmas buvo 63 k/min ir RSA amplitudė apie 108 msek, o atsistojant širdies ritmas išaugdavo iki 78 k/min ir RSA amplitudė sumažėjo iki 44 msek. Pokyčiai matosi ir signalo atvaizdavime. Signalo rekurentinėje diagramoje (pav. 4) galima matyti, kad juodųjų taškų pasiskirstymas jau yra kitoks, nehomogeniškas arba netolygus. Tai pasako apie tiriamo signalo nestacionarumą. Taip pat du signalo rekurentinės diagramos kampai yra išbalę, kas pasako apie trendo egzistavimą. Tai reiškia, kad signalas turi tendenciją bėgant laikui keistis.



4 pav. RR intervalų signalo rekurentinė diagrama laikant 12 k/min kvėpavimą, kur  $D = 2$ ,  $d = 1$ , juodų taškų procentas - 30% ir paklaida - 5% (ilustracija dešinėje) ir pats signalas (ilustracija kairėje). Naudojama Euklidinė metrika. Signalui papildomo paruošimo nereikėjo. Signalų imčių skaičius  $N = 708$ . Eil. nr. 3.

Dar vienas tiriamas RR intervalų signalas pavaizduotas pav. 5. Šis signalas skiriasi nuo aukščiau išvardinto tuo, kad buvo stengiamasi kvėpuoti natūraliai. Tai parodė, jog gulint širdies ritmas

buvo 55 k/min ir RSA amplitudė - apie 90 msek (kvėpuojant 10 k/min), o atsistojant širdies ritmas išaugdavo iki 80 k/min ir RSA amplitudė keisdavosi iki 12 msek (kvėpuojant 13 k/min). Signalų rekurintinėje diagramoje matosi, kad juodųjų taškų pasiskirstymas jau yra labiau nehomogeniškas, nei praeitame pavyzdyje. Taip pat du signalų rekurintinės diagramos kampai yra išbalę, kas vėl gi pasako apie trendo egzistavimą.



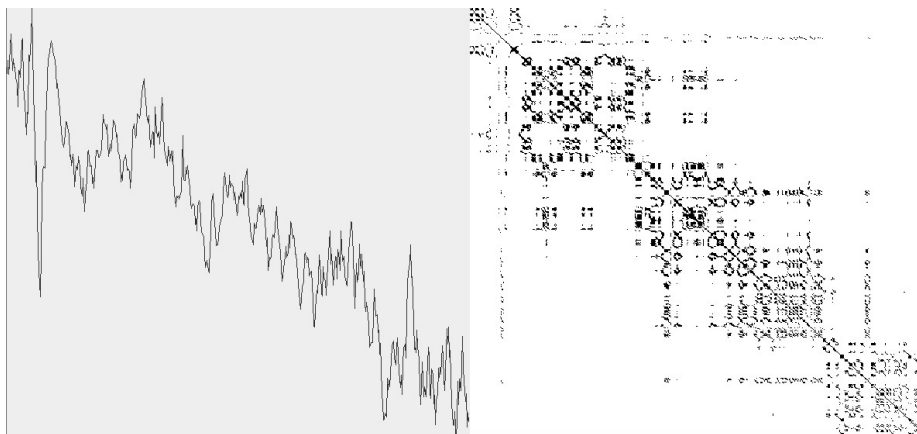
5 pav. RR intervalų signalas kvėpuojant normaliai (ilustracija kairėje), jo rekurintinė diagrama, kur  $D = 2$ ,  $d = 1$ , juodųjų taškų procentas - 40% ir paklaida - 5% (ilustracija dešinėje) ir rekurintinė diagrama, kur  $D = 2$ ,  $d = 1$ , juodųjų taškų procentas - 15% ir paklaida - 5% (ilustracija centre). Naudojama Manheteno metrika. Signalui papildomo paruošimo nereikėjo. Signalų imčių skaičius  $N = 702$ . Eil. nr. 4.

Penktas signalas - USD keitimo kurso į CHF duomenų signalas. Jis pavaizduotas pav. 6. Vėl matome kraštus, kuriuose nėra juodųjų taškų. Tai liudija tiek apie signalo trendą, tiek apie nestacionarumą (juodi taškai pasiskirstę nehomogeniškai).

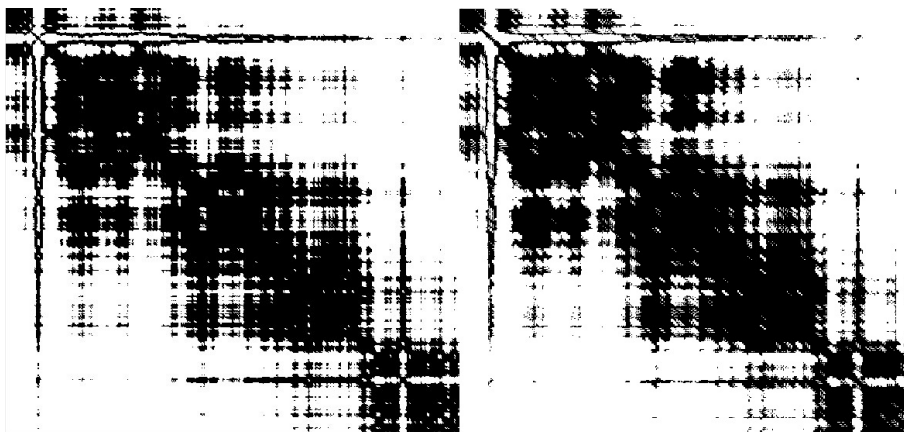


6 pav. USD keitimo kurso į CHF duomenų signalas (ilustracija kairėje), jo rekurintinė diagrama, kur  $D = 2$ ,  $d = 1$ , juodųjų taškų procentas - 10% ir paklaida - 10% (ilustracija centre) ir rekurintinė diagrama, kur  $D = 2$ ,  $d = 1$ , juodųjų taškų procentas - 40% ir paklaida - 10% (ilustracija dešinėje). Naudojama Euklidinė metrika. Signalų imčių skaičius buvo dirbtinai sumažintas iki  $N = 471$ . Eil. nr. 5.

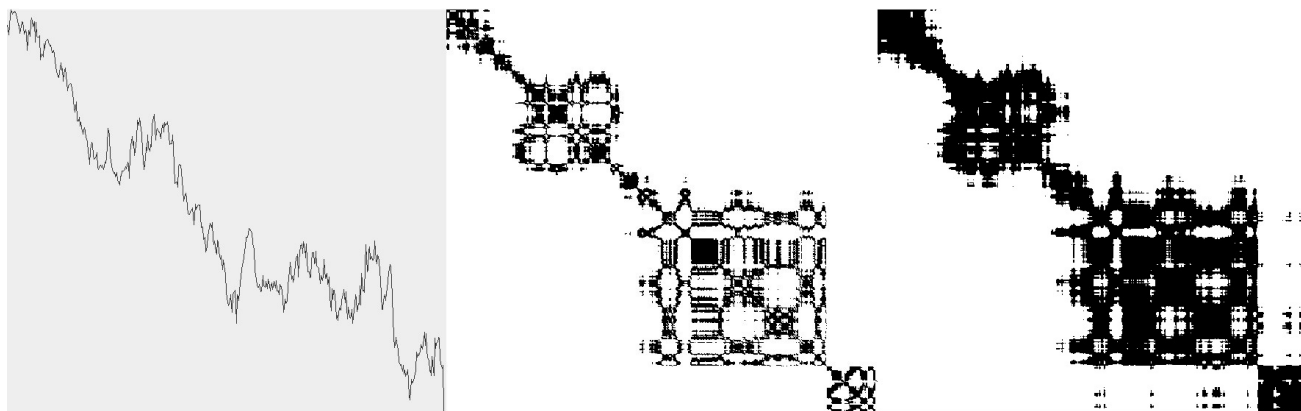
Buvo analizuojami ir patys USD ir CHF valiutos kurso signalai atskirai. Jie pavaizduoti atitinkamai pav. 7 ir 9. Čia, kaip ir signale prieš tai (pav. 6), matome kraštus, kuriuose nėra juodųjų taškų. Tai liudija tiek apie signalo trendą, tiek apie nestacionarumą (juodi taškai pasiskirstę nehomogeniškai).



7 pav. USD valiutos kurso signalas (ilustracija kairėje) ir jo rekurentinė diagrama, kur  $D = 2$ ,  $d = 1$ , juodų taškų procentas - 5% ir paklaida - 1% (ilustracija dešinėje). Naudojama Manheteno metrika. Signalo imčių skaičius buvo dirbtinai sumažintas iki  $N = 499$ . Eil. nr. 6.



8 pav. USD valiutos kurso signalo rekurentinė diagrama, kur  $D = 2$ ,  $d = 1$ , juodų taškų procentas - 40% ir paklaida - 1% (ilustracija kairėje) ir rekurentinė diagrama, kur  $D = 3$ ,  $d = 2$ , juodų taškų procentas - 40% ir paklaida - 1% (ilustracija dešinėje). Naudojama Maksimumo metrika. Signalo imčių skaičius buvo dirbtinai sumažintas iki  $N = 499$ . Eil. nr. 6.



9 pav. CHF valiutos kurso signalas (ilustracija kairėje), signalo rekurentinė diagrama, kur  $D = 2$ ,  $d = 1$ , juodų taškų procentas - 10% ir paklaida - 5% (ilustracija centre) ir rekurentinė diagrama, kur  $D = 2$ ,  $d = 1$ , juodų taškų procentas - 10% ir paklaida - 35% (ilustracija dešinėje). Naudojama Maksimumo metrika. Signalo imčių skaičius buvo dirbtinai sumažintas iki  $N = 499$ . Eil. nr. 7.

## Išvados

Rekurentinės diagramos dažnai naudojamos perteikti signalo nestacionarumo pobūdį bei periodiškumo laipsnį. Jos gali būti naudojamos meteorologiniuose analizėse, akcijų, valiutų kursų, medicininiuose tyrimuose ir t.t. Jos puikiai padėda orientuotis ir paprastam žmogui, kuris žiūrint į diagramą galėtų suprasti ar signalas turi tendą, staigių arba ekstremalių pokyčių dinamikoje. Taip pat yra aišku, ar jis yra stacionarus ar ne, jei ne, tai ant kiek jis yra nestacionarus. Diagramos aiškiai parodo, ar signalas yra chaotiškas, ar jis yra periodiškas, ar užtriukšmintas. Visą tai mes galėjome stebėti pateiktuose diagramų pavyzdžiuose.

Buvo patikrintos pagrindinės rekurentinių diagramų savybės. Jas turi kiekviena pristatyta diagrama:

1. Bet kokio signalo rekurentinėje diagramoje visi jos pagrindinėje įstrižainėje esantys taškai yra juodi, koks bebūtų juodų taškų procentas  $> 0$ .
2. Kiekviena rekurentinė diagrama visada yra simetrinė pagrindinės įstrižainės atžvilgiu.
3. Jeigu mažiname juodų taškų procentą, tai juodų taškų rekurentinėje diagramoje kiekis mažėja. Jeigu juodų taškų procentas sumažintas iki 0, tai juodi taškai lieka tik pagrindinėje įstrižainėje.
4. Didinant juodų taškų procentą, juodų taškų rekurentinėje diagramoje kiekis didėja, o jei juodų taškų procentas viršis ar bus lygus 100, visi diagramos taškai bus juodi.

Formuojant signalų rekurentinės diagramas naudotojo buvo prašoma pasirinkti signalo numerį, juodų taškų procentą, paklaidą, metriką bei  $D$  ir  $d$  reikšmės, kurios pagal nutylėjimą atitinkamai buvo 2 ir 1. Atsižvelgiant į tai, kaip reagavo signalai ir formavosi diagramos, galima padaryti išvadą, kad mažiausiai įtakos signalo diagramai turėjo metrikos, kadangi perjunginėjant jas ir lyginant, nebuvo pastebėta didelio skirtumo. Taikant maksimumo metriką rekurentinėje diagramoje atsiradavo šiek tiek daugiau juodų taškų, palyginus su kitomis dviem metrikomis. Taikant Manheteno normą gausime mažiau juodų pikselių, tuo tarpu, kai buvo pasirinkta Euklidinė metriką – juodų taškų skaičius pasirodė tarpiniu variantu.

Vis gi reikšmingiausia įtaką turėjo juodųjų taškų procento ir jo paklaidos parametrai. Juodųjų taškų procento įtaką aiškiai galima pamatyti lyginant rekurentinės diagramas pav. 7 ir 8. Paklaidos didinimas arba mažinimas irgi gali turėti didelę įtaką diagramos atvaizdavime. Tai aiškiai matosi pav. 9. Taip pat šių reikšmių pakeitimai leidžia naudotojui suprasti, ar diagrama turi tam tikrų savybių. Pavyzdžiui, tam, kad patikrinti, ar pagrindinėje įstrižainėje esantys taškai yra juodi, reikia sumažinti juodų taškų procentą iki 0, kaip padaryta pav. 2. Ir aišku, šie du parametrai yra labai svarbus, norint suprasti, ar signalas vis gi yra tolygūs ar ne, ar jis turi tendą, ar jis yra užtriukšmintas.

Kartais esminiai pokyčiai gali būti paslėpti naudojant standartinius  $D$  ir  $d$  parametrus, tačiau labai žymių pokyčių esamuose signaluose pastebėta nebuvo (pvz. pav. 8).

Realizuojant algoritmą daugiausiai laiko buvo sugaišta tam, kad suprasti kaip geriau parinkti slenkstinį atstumą. Buvo bandoma imti  $r$  atsitiktinai ir parinkinėti, tačiau vėliau paaiškėjo, kaip vis dėl to tai galėtų būti įgyvendinta naudojant tiesinę proporciją. Taip pat buvo problemų su pačio signalo atvaizdavimų, kadangi iš pradžių vietoje realių duomenų buvo naudojami testiniai, ir nuskaitymas buvo parinktas tiksliai toks, koks tinka jiems, o pakeitus signalus į realius, signalai nebuvo atvaizduojami. Ko pasėkoje, buvo perdaryta atvaizdavimo funkcija. Taip pat nebuvo atsižvelgta ir į paklaidą, kas vėliau irgi buvo papildyta.

## Svarbiausi kodo fragmentai

Žemiau pavaizduoti kodo esminiai fragmentai.

Pirmas fragmentas yra calcR funkcija, kuri apskaičiuoja slenkstinį atstumą, atsižvelgiant į užsakyto procento paklaidą ir tęsiant iteracijas iki tol, kol ta paklaida bus užtikrinta linejinės interpoliacijos pagalba. R apskaičiuoti funkcijai reikia naudotojo įvesto juodų taškų procento, paklaidos ir atstumą "kiekvienas su kiekvienu" signalo reikšmių kortežams.

```
1 public static Double calcR(Double[][] timeSeriesCortegesDifferences ,
    Double blackPointsPercent , Double blackPointsPercentEps) {
2     double fx0 = timeSeriesCortegesDifferences[0][0];
3     double fx1 = timeSeriesCortegesDifferences[0][0];
4     double fx;
5     for (Double[] timeSeriesCortegesDifference :
        timeSeriesCortegesDifferences) {
6         for (Double jDouble : timeSeriesCortegesDifference) {
7             fx0 = Math.min(jDouble , fx0);
8             fx1 = Math.max(jDouble , fx1);
9         }
10 }
11     double x0 = 0;
12     double x1 = 1;
13     double x;
14     do {
15         fx = linearInterpolation(x0, x1, fx0, fx1,
            blackPointsPercent);
16         double blackPointsCount = 0;
17         for (Double[] timeSeriesCortegesDifference :
            timeSeriesCortegesDifferences) {
18             for (Double jDouble :
                timeSeriesCortegesDifference) {
19                 blackPointsCount += jDouble <= fx ? 1 :
                    0;
20             }
21         }
22         x = blackPointsCount / (timeSeriesCortegesDifferences.
            length * timeSeriesCortegesDifferences.length);
23         if (x0 == x) {
24             JOptionPane.showMessageDialog(null , "Nerasta!");
25             return null;
26         }
27         fx1 = fx0;
28         x1 = x0;
29         fx0 = fx;
30         x0 = x;
31     } while (Math.abs(blackPointsPercent - x) >
        blackPointsPercentEps);
32     return fx;
33 }
```

Tačiau tam, kad apskaičiuoti r calR funkcijos pagalba, mums reikia žinoti ir atstumą "kiekvienas su kiekvienu" signalo reikšmių kortežams. Tą atlieką calcTimeSeriesCortegesDifferences funkcija, į kurią mes paduodame signalo reikšmių kortežų masyvą ir reikalinga skaičiavimo metriką.

```

1 public static Double[][] calcTimeSeriesCortegesDifferences(Double[][]
    timeSeriesVectors, LenCalculationMethod lenCalculationMethod) {
2     Double[][] timeSeriesDifferences = new Double[timeSeriesVectors.
        length][timeSeriesVectors.length];
3     for (int i = 0; i < timeSeriesDifferences.length; i++) {
4         for (int j = 0; j < timeSeriesDifferences[i].length; j++) {
5             double[] differences = new double[timeSeriesVectors[i].length];
6             for (int k = 0; k < differences.length; k++) {
7                 differences[k] = timeSeriesVectors[j][k] -
                    timeSeriesVectors[i][k];
8             }
9             timeSeriesDifferences[i][j] = lenCalculationMethod.calc(
                differences);
10        }
11    }
12    return timeSeriesDifferences;
13 }

```