

ციფრული სიგნალის დამუშავების წინასწარი მიწოდებისა და გადაწყვეტილებაზე რეაგირების ეკვალიზატორები

ჯულიეტა ტაბეშაძე¹, დარეჯან ვედიაკოვი¹, ვასილ ტაბატაძე²

1. სამცხე-ჯავახეთის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

2. სტამბულის ტექნიკური უნივერსიტეტი

რეზიუმე

განხილულია ციფრული სიგნალების გარდაქმნის საკითხები დაპროგრამების MATLAB პაკეტის გამოყენებით. ნაჩვენებია თუ როგორ გარდაიქმნება დისკრეტული სიგნალი დროით არეში. სტატიაში შესრულებულ მათემატიკურ გარდაქმნებს ეწოდება ეკვალიზაცია. გთავაზობთ წინასწარი მიწოდების და გადაწყვეტილებაზე რეაგირების ეკვალიზატორებს. მოცემულია აგრეთვე გადამცემი არხები უცნობი იმპულსური მახასიათებლებით. ჩვენი ეკვალიზატორების მიზანია მოახდინოს გამომავალი სიგნალის მაქსიმალურად დაახლოვება გადმოცემულ სგნალთან. ვიყენებთ თვალის დიაგრამის მეთოდს, რათა დავადგინოთ გადმოცემული სიგნალის ხარისხი ციფრულ არეში.

საკვანძო სიტყვები: MATLAB. ციფრული სიგნალი. სიმბოლოთაშორისი ინტერფერენცია. ეკვალიზაცია. ეკვალიზატორი. თვალის დიაგრამა.

1. შესავალი

ბოლო ათწლეულის განმავლობაში ციფრული სიგნალების დამუშავება DSP (Digital Signal Processing) გახდა მნიშვნელოვანი საკითხი და განვითარდა თეორიულადაც და ტექნოლოგიურად [2]. ციფრული სისტემები და შესაბამისად სიგნალები, სულ უფრო მეტად გამოიყენება. ეს განპირობებულია მიკროელექტრონიკის და ინტეგრალური სქემოტექნიკის მძლავრი განვითარებით და აგრეთვე დაბალი ღირებულების ტექნიკის და პროგრამული უზრუნველყოფის გამოყენებით საწარმოო ინდუსტრიაში. ახალი ტექნოლოგიები და აპლიკაციები სარგებლობენ სხვადასხვა DSP ალგორითმით [1].

2. მეთოდი

ციფრული სიგნალების დამუშავებას პროცესი ჩანს დიაგრამაზე (ნახ.1.)

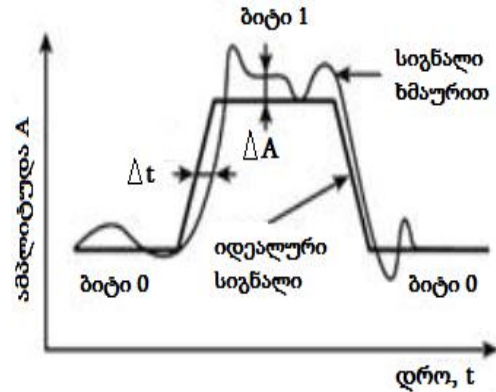


ნახ.1. ციფრული სიგნალის დამუშავება

სადაც **PrF** - წინასწარი მომზადების ფილტრია; **ADC** - ანალოგურ ციფრული კონვერტორი, რომელიც ქმნის ბინარული რიცხვების ნაკადს ანალოგური სიგნალიდან; **DSP** - ციფრული სიგნალის გარდაქმნელი, ეს შეიძლება იყოს ზოგადად კომპიუტერი, ან სპეციალური პროცესორი, ან ციფრული აპარატურა და ა.შ.; **DAC** - ADC-ის შებრუნებული ოპერაცია და უწოდებენ ციფრულ ანალოგურ კონვერტორს, რომელიც ქმნის კიბისებურ ტალღას ორობითი რიცხვების მიმდევრობიდან, ესაა პირველი ნაბიჯი წარმოიქმნას ანალოგური სიგნალი; **PoF**-პოსტფილტრია, რომელიც კიბისებურ ტალღას გარდაქმნის სასურველ ანალოგურ სიგნალად.

3. სიგნალის მთლიანობის დარღვევა

სიგნალის მთლიანობის დარღვევა ზოგად შემთხვევაში განისაზღვრება სიგნალის იდეალური ფორმიდან ნებისმიერი გადახრით (ნახ.2), ანუ ბიტური შეცდომების წარმოქმნის მექანიზმი დაკავშირებულია მრავალ ფაქტორთან, ერთ-ერთია ხმაური. თუმცა არსებობს სხვა დამახინჯებლებიც: რხევა, ჯვარედინი დაბრკოლებები და ინტერსიმბოლური ინტერფერენცია.

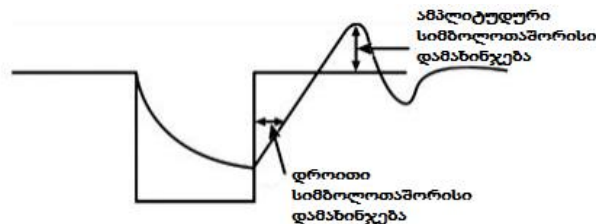


ნახ. 2. იდეალური და რეალური ციფრული სიგნალი

4. ISI -სიმბოლოთაშორისი ინტერფერენცია

არხებში მონაცემთა გადაცემის სისწრაფე შეზღუდულია არხის დამახინჯების გამო, რომელიც იწვევს ინტერსიმბოლორ ჩარევას (ISI). ესაა სიგნალის დამახინჯების ფორმა, რომელშიც ერთი სიმბოლო ხელს უშლის მომდენო სიმბოლოებს [3].

თუ სიგნალის მანიპულაცია (ერთი მდგომარეობიდან მეორეში გადასვლა) ხდება ისე, რომ შემდგომი მანიპულაცია მოხდება მანამდე, ვიდრე წინამ მიაღწია მოთხოვნილ დონეს, მაშინ დროის და ამპლიტუდის გადახრა ხდება მიმდინარე ბიტში. სიმბოლოთაშორისი ინტერფერენციის ეფექტი წარმოდგენილია მე-3 ნახაზზე.



ნახ. 3. სიმბოლოთაშორისი ინტერფერენციის დროითი და ამპლიტუდური ეფექტი

5. თვალის დიაგრამების გამოყენება ციფრული სიგნალების გამოსაკვლევად

ციფრული სიგნალების კვლევისა და ანალიზის მნიშვნელოვან მეთოდს თვალის დიაგრამების მეთოდი წარმოადგენს [2]. თვალის დიაგრამით შესაძლებელია დაწვრილებით იქნას აღწერილი ციფრული სიგნალების ძირითადი პარამეტრები.

თვალის დიაგრამის ასაგებად პროგრამას მიეწოდება ბიტების ნაკადი (ნახ.4.). სიგნალის წყაროს გამოსასლელზე წარმოიქმნება დიაგრამა მართკუთხედის სახით. ფილტრს, რომელიც ზღუდავს გადასაცემ სიგნალს, თვისობრივი ცვლილებები შეაქვს იმპულსის ფორმაში, ხოლო შედეგად წარმოიქმნება დიაგრამა „სტანდარტული თვალის“ სახით. თვალის დიაგრამები იყენებენ ციფრული სიგნალის პერიოდულ სტრუქტურას. დაგროვებით ჩატარებული გაზომვების შედეგად მიიღება თვალის დიაგრამა.

ბიტების მიმდევრობა	თვალის დიაგრამის ნაჭრები წყაროს გამოსასვლელზე	სტანდარტული თვალის ნაჭრები
111		
100		
101		
110		
011		
001		
010		
000		
ნაჭრების ზედღებვა		

ნახ.4. თვალის დიაგრამის აგების პრინციპი

სიგნალის რეალური ფუნქცია სიმბოლურად „გაიჭრება“ ტაქტური იმპულსების შესაბამისად, ხოლო შემდეგ თვალის დიაგრამა „დალაგდება“ მიღებული ნაჭრებისგან. იდეალურ შემთხვევაში დალაგების შედეგად მიიღება კვადრატული (კვადრატული თვალი). მართკუთხა იმპულსს ხაზის ბოლოში ექნება გაუსის ნორმალური განაწილების (ზარის) ფორმა, შედეგად მიიღება თვალის მაგვარი დიაგრამა.

6. დისკრეტული გადამცემი ფუნქცია

დისკრეტული ფილტრი განისაზღვრება გადაცემის კომპლექსური ფუნქციით $H(z)$, სადაც $z = e^{j\omega T}$. z შეიძლება ჩაიწეროს როგორც სიხშირის (ω) ან ნორმირებული სახის (ωT) ფუნქცია, თუ z სიხშირის ფუნქციაა, $H(z)$ აგრეთვე სიხშირის ფუნქცია იქნება [2].

$H(z)$ გადაცემის ფუნქციის ზოგადი სახეა:

$$H(z) = \frac{B(z)}{A(z)} = \frac{b_0 + b_1z^{-1} + b_2z^{-2} + \dots + b_nz^{-n}}{a_1 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2} + \dots + a_nz^{-n}}$$

ეს ფუნქცია შეესაბამება n რიგის ციფრულ ფილტრს.

თუ ფუნქცია ჩაწერილია როგორც z -ის დადებითი ხარისხების ფუნქცია, მრიცხველი და მნიშვნელი უნდა გავყოთ z -ის სათანადო ხარისხზე, რომ მივიღოთ ზემოთ მოყვანილის ანალოგიური გამოსახულება.

7. FFE-წინასწარი მიწოდების ეკვალიზატორი.

ციფრული ფილტრი ხორციელდება პროგრამულად [1]. ქვემოთ განვიხილავთ ორ ეკვალიზატორს, ორ ალგორითმს, რომელიც დაგვეხმარება აღვადგინოთ მიმღებში გადმოცემული სიგნალი. FFE - *feed-forward equalizer* ეკვალიზატორი გამოსავალი სიგნალის მიმდინარე მნიშვნელობის განსაზღვრისთვის იყენებს შემავალის სიგნალის მხოლოდ მიმდინარე და წინა მნიშვნელობებს და არ იყენებს ფილტრის გამოსავალ მნიშვნელობებს. FFE ალგორითმი, რომელსაც ჩვენ ქვემოთ ვიყენებთ არის 3 რიგიანი:

მოცემული ეკვალიზატორის მათემატიკური ფორმულირება შემდეგია:

$$y(n) = \sum_{k=-T}^T b(k) \times x(n - k \times T)$$

$$y(n) = b_0 \times x(n - (0 \times T)) + b_1 \times x(n - (1 \times T)) + b_2 \times x(n - (2 \times T))$$

სადაც y_n არის ეკვალიზირებული სიგნალი, მიმღების მხარეს მიღებული ანათვლები; T - ეკვალიზატორის რიგის რაოდენობა; $x(n - (k \times T))$ - დაუკორექტირებელი შემავალი სიგნალი, სადაც k რიგის ნომერია, n რიგების საერთო რაოდენობა; b_n -გადაცემის ფუნქციის კოეფიციენტი.

ფორმულა წარმოდგენილია დროით არეში.

8. DFE- გადაწყვეტილებაზე რეაგირების ეკვალიზატორი.

DFE Decision feedback equalizer ეკვალიზატორი იღებს მიმღებში გადაწყვეტილებას, მიღებული ბიტი ლოგიკური 0-ია, თუ 1. გამოიყენება იმისთვის, რომ მიმდინარე ბიტმა გავლენა არ მოახდინოს მომავალ ბიტზე. მისი რეალიზაციისთვისაც საჭროა სამო ტიპის ოპერაცია: დაყოვნება (დამახსოვრება), აჯამვა და გამრავლება.

მათემატიკური წარმოდგენა DFE ეკვალიზატორისა ასეთია:

$$y_n = \sum_{k=-N_1}^{N_2} b_k x_{n-k} - \sum_{k=1}^{N_3} a_k y_{n-k}$$

ხოლო აქედან ორ რიგიანი ეკვალიზატორისა შემდგენილია:

$$y(n) = b_1 x(k-1) + b_2 x(k-2)$$

სადაც:

$y(n)$ - მიღებული სგნალია; $x(k-n)$ - ლოგიკური მნიშვნელობა n ბიტისა, რომელიც k ბიტის წინ მდებარეობს; n -რიგის ნომერი; b_n -გადაცემის ფუნქციის კოეფიციენტი, კორექტირების კოეფიციენტი.

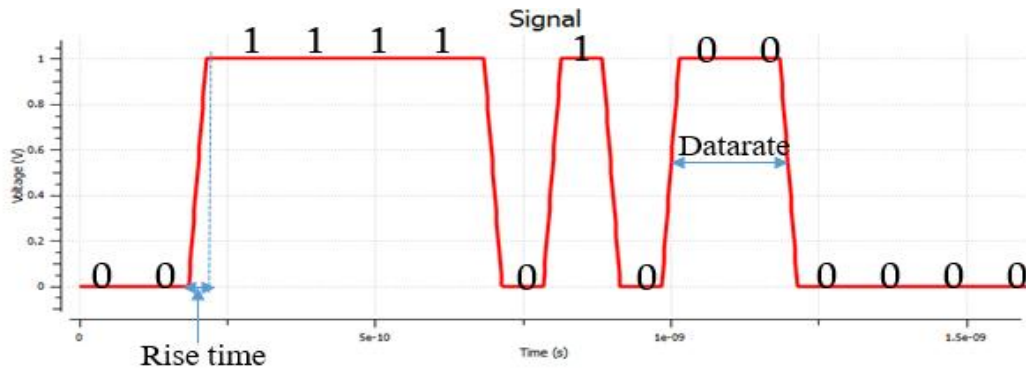
აქ გამოთვლების დროს გამოიყენება სიგნალის წინა გამოსავალი მნიშვნელობები, ამიტომაც ფილტრის სტრუქტურულ სქემაში გათვალისწინებულია ფილტრის უკუკავშირი.

9. შედეგები

თავდაპირველად ვკითხულობთ ქსელურ პარამეტრებს ფაილებიდან. გვაქვს ორი ფაილი, ანუ ორი სისტემა (I-ბეჭდური პლატა, II-ვიწროზოლოვანი კაბელი), სხვადასხვა იმპულსური მახასიათებლებით და ექსპერიმენტს ვატარებთ ორივე სისტემაზე. მიღებულ შედეგებს თავალსაჩინოებისთვის და ადვილად შესადარებლად ვათვსებთ გვერდიგვერდ.

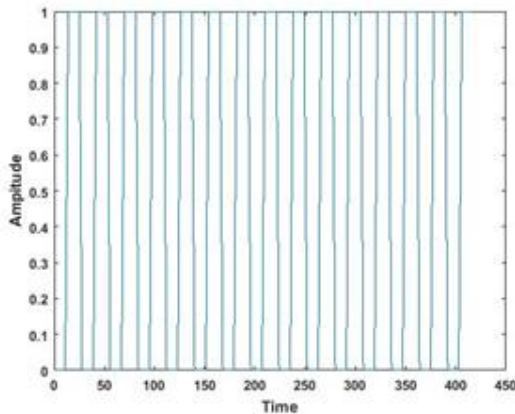
ამოვიღეთ S21 კომპონენტი - ესაა Transfer Function, რომელიც განსაზღვრავს თუ როგორია გატარება პორტი 1-დან პორტ 2-ში.

გადავიყვანთ S21 კომპონენტი სიხშირული არიდან დროით არეში ფურიეს გარდაქმნის საშუალებით. გამოვიყენეთ ფურიეს სწრაფი უკუგარდაქმნა [4] (ვიყენებთ IFFT ფუნქციას, რომელიც MATLAB-ში არის ჩაშენებული). შევქმენით შემავალი სიგნალი: დავწერეთ ფუნქცია, რომელსაც გადავეცით ბიტების მიმდევრობის [0,0,1,1,1,0,1,0, ...] ვექტორი, datarate(მონაცემთა გადაცემის სიჩქარე), rise time (აღმავლობის დრო), fall time(დაშვების დრო) და მოგვცა სიგნალი (ნახ. 5.1):

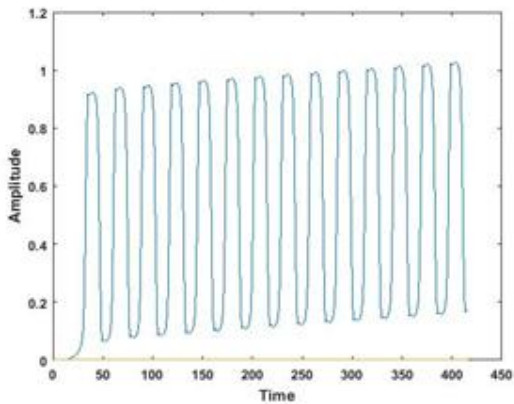


ნახ. 5.1. ციფრული სიგნალი

გადაკეთეთ ამ სიგნალის კონვოლუცია (კონვოლუცია აღიწერება ფორმულით $y(n) = H(n) \otimes x(n - m)$ და წარმოადგენს პროცესს, როცა ხდება ორი დისკრეტული თანმიმდევრობიდან ახალი თანმიმდევრობის მიღება. პირველი დისკრეტული თანმიმდევრობა იმპულსური მახასიათებლებია, ხოლო მეორე შემავალი სიგნალი, ვლბულობთ გამომავალ თანმიმდევრობას) იმპულსურ მახასიათებელთან. გრაფიკულად გამოსახულია ორივე შემავალი სიგნალიც (ნახ. 5.2) და გამომავალი სიგნალიც (ნახ. 5.3).



ნახ.5.2. შემავალი სიგნალი ორივე სისტემისთვის



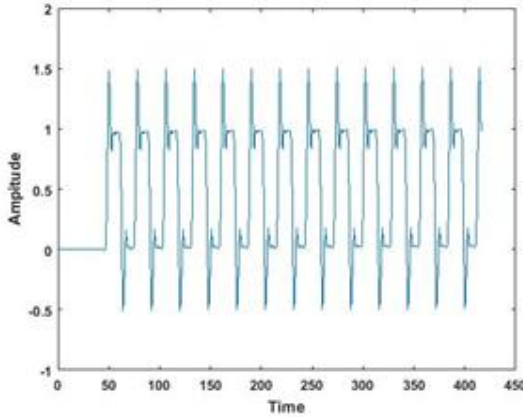
ნახ. 5.3. გამომავალი სიგნალი I-ისთვის

როგორც 5.3 ნახაზზე ჩანს, სიგნალის ფუნქცია წელნელა ზევით მიდის. ეს ნიშნავს იმას, რომ არასწორადაა აღებული გადაცემის ფუნქციის მნიშვნელობა 0 Hz-ზე (ანუ DC value-ის (მნიშვნელობა ნულოვან სიხშირეზე)), თავდაპირველად არსად არ გვექონდა მითითებული, რომ მონაცემები 0 Hz-ზე იწყება, შედეგში მნიშვნელობები ზუსტად წამდვილი უნდა იყოს და არანაირი წარმოსახვითი ნაწილი (რადგან მნიშვნელობა იდიალური 0 არ იყო, ე.ი. გვექონდა წარმოსახვითი ნაწილიც). ამ უზუსტობის თავიდან ასაცილებლად საჭირო იყო DC value-ის ექსტრაპოლაცია, რომლის შემდეგაც შედეგი გასწორდა (ნახ. 5.4. და 5.5).

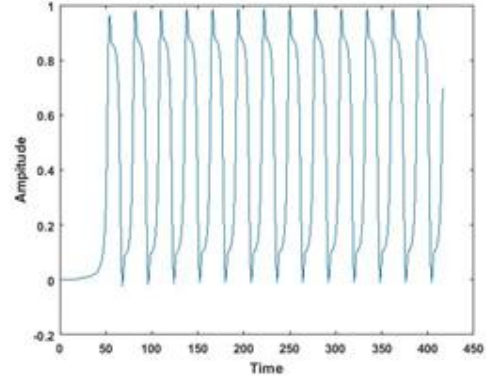
მიღებული დამახინჯებული სიგნალები იწვევს დამახინჯებულ თვალის დიაგრამას. მათ გასასწორებლად კი გამოვიყენეთ ორი სახის ეკვალიზატორი. ეკვალიზატორი დავაყენეთ წყაროს გამოსასვლელზე, როგორც ვთქვით მისი მიზანია შემავალი სიგნალის იმდაგვარი „დამახინჯება“, რომ სისტემის „დამახინჯებასთან“ ზედდების შემდეგ გამოსავალზე მარტივად მოხდეს მისი კონპესაცია.

დამახინჯებული სიგნალი დროით არეში ჩანს ნახ. 5.9.-ზე ორივე სისტემისთვის. სიგნალის აღსასგენად მიმღებში კი უკვე ვიყენებთ DFE ეკვალიზატორს.

მიმღებში აღგენილი სიგნალი ნახ. 5.10. და ნახ. 5.11. უნდა ჰგავდეს ნახ. 5.8. ზე აღბეჭდილ სიგნალს.

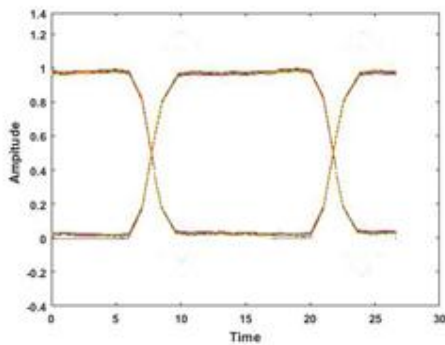


5.10. DFE ეკვალიზატორის გავლენა გამომავალ სიგნალზე, I სისტემა

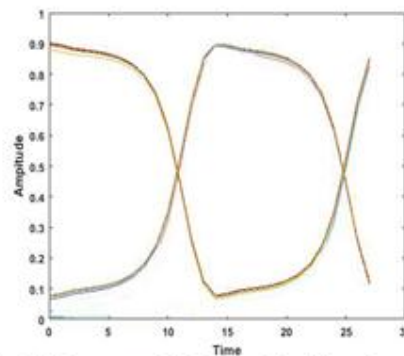


ნახ. 5.11. DFE ეკვალიზატორის გავლენა გამომავალ სიგნალზე, II სისტემა

ორივე ეკვალიზატორის გავლენით შეიცვალა თვალის დიაგრამებიც. „დამახინჯებები“ თითქმის გასწორდა. ანუ ეკვალიზატორმა იმუშავა და მიმღებში თითქმის აღდგა სიგნალი (ნახ 5,12. ნახ. 5.13)



ნახ 5.12. ეკვალიზებული სიგნალის თვალის დიაგრამა I სისტემა



ნახ. 5.13. ეკვალიზებული სიგნალის თვალის დიაგრამა II სისტემა

10. დასკვნა

მამასადამე, მოცემული გვექონდა ორი განსხვავებული სიტემა, სისტემაში გავატარეთ ერთი და იგივე სიგნალი, რომელიც დამახინჯდა გარკვეულწილად, მათ აღსადგენად კი გამოვიყენეთ ეკვალიზატორები, რომლებმაც შედეგი მოგვცა და მიმღებში ინფორმაცია აღდგა, ექსპერიმენტის შედეგი კარგად გამოჩნდა თვალის დიაგრამაზე, დამახინჯებები გასწორდა.

ლიტერატურა > References > Литература:

1. Dikhaminjia N., Tsiklauri M., Kiguradze Z., He J., Drewniak J., Chada A., Mutnury B. (2018). Combined Optimization of FFE and DFE Equalizations. EPEPS, IEEE 27th Conf. on *Electrical Performance of Electronic Packaging and Systems*, art. no.8534279, pp. 21-23.
2. Vijay K.M., Douglas B.W. (2013). Digital Signal processing, handbook. Chapman & Hall/CRCnetBase
3. Steven W.S. (1999) The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing. Second Edition, California Technical Publishing, San Diego, California.
4. ფაღვა ა. (2011) ბიოსიგნალების დამუშავების საფუძვლები, თბილისი: საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, http://gtu.ge/book/DSP_Analog.pdf

FEED-FORWARD AND DECISION FEEDBACK EQUALIZATIONS IN DIGITAL SIGNAL PROCESSING

Tabeshadze Julieta¹, VEDIKOV DAREJAN¹, TABATADZE VASIL²

1-Samtskhe-Javakheti State University

2- Istanbul Technical University

Summary

This paper presents the MATLAB simulation of digital signal and also discuss about of their mathematical operations and properties. This paper also explains time domain and frequency domain analysis of discrete time signal for frequency domain analysis one important transform technique like Fourier transform. We discuss how to generate in the time domain basic discrete-time signals in MATLAB and perform mathematical operations on them called equalization, which are the main objectives of this paper. We provide an overview of feed-forward and decision feedback equalization. The recent digital transmission systems impose the application of channel equalizers with short training time and high tracking information. Equalizers compensate resulting inter-symbol interference (ISI) effect. Given the channels of unknown impulse responses, the purpose of an equalizer is to operate on the channel output and provides an approximation to an ideal transmission signal. We use also an eye diagram to get a good idea of signal quality in the digital domain.

УРАВНЕНИЯ ПРЯМОЙ СВЯЗИ И ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ПРИ ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ В ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКЕ СИГНАЛОВ

Табешадзе Дж.¹, Ведякова Д.¹, Табатадзе В.²

1-Самцхе-Джавакхетский Государственный Университет

2- Стамбульский технический университет

Резюме

Рассматриваются вопросы преобразования цифровых сигналов с использованием программирования пакета MATLAB. В работе показывается, как преобразуется дискретный сигнал во времени. Выполненные математические преобразования называются эквализацией. Мы предлагаем эквалайзеры предварительной подачи и реагирования. В статье рассматриваются также передающие каналы с неизвестными импульсными характеристиками. Цель наших эквалайзеров – максимальное сближение выходных и передаваемых сигналов. Мы используем метод глазной диаграммы, чтобы определить качество переданного сигнала в цифровом поле.