

**АЛФА БК УНИВЕРЗИТЕТ**  
**ФАКУЛТЕТ ИНФОРМАЦИОНИХ ТЕХНОЛОГИЈА**



**ПРИЛОГ АНАЛИЗИ И ЗАШТИТИ СИСТЕМА  
ЗА ДИГИТАЛНО ПРОЦЕСИРАЊЕ СЛИКА**

докторска дисертација

Кандидат: **Борис Гара дипл. инг. 1/2013**      Ментор: **проф. др Зоран Миливојевић**

**Београд, 2017.**

**ALFA BK UNIVERSITY**  
**FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY**



**CONTRIBUTION TO THE ANALYSIS AND  
PROTECTION OF SYSTEMS FOR DIGITAL  
IMAGE PROCESSING**

**PhD thesis**

**Candidate:**  
**Boris Gara, dipl. ing. 1/2013**

**Mentor:**  
**prof. Zoran Milivojević, PhD**

**Belgrade, 2017**



Алфа БК Универзитет

**ИЗЈАВА МЕНТОРА О ПРОЦЕНИ ОРИГИНАЛНОСТИ И САГЛАСНОСТИ ЗА  
ПРЕДАЈУ  
УРАЂЕНЕ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**

Овим изјављујем да сам након прегледаног рукописа докторске дисертације сагласан/на да кандидат дипл.инг. Борис Гара. може да преда Служби за последипломске студије Универзитета урађену докторску дисертацију под називом:

**ПРИЛОГ АНАЛИЗИ И ЗАШТИТИ СИСТЕМА ЗА ДИГИТАЛНО  
ПРОЦЕСИРАЊЕ СЛИКА**

ради организације њене оцене и одбране, и да иста сарджи оригиналан научни допринос који се састоји од низа развијених оригиналних софтверских решења помоћу којих се постиже изузетан напредак у филтрирању и побољшању квалитета дигиталне слике, као и њеном безбедном и сигурном преносу до крајњег корисника. Посебан допринос представља реализовано оригинално хардверско решење.

Београд 05.05.2017. године.

др Зоран Милојевић

ред.проф. Алфа универзитета

.....  
(потпис ментора)

## **Комисија**

### **за преглед, оцену и јавну одбрану докторске дисертације**

1. др Миле Петровић, ред. проф. ФТН Косовска Митровица - председник  
комисије

(Област: Електротехничко и рачунарско инжењерство)

2. др Зоран Миливојевић, ред. проф. Алфа БК Универзитета,

(Област: Информациони системи и технологије) - ментор

3. др Небојша Денић, ван. проф. Алфа БК Универзитета,

(Област: Информациони системи и технологије) - члан

4. др Лазар Копања, доцент Алфа БК Универзитета - члан

(Област: Информациони системи и технологије) - члан

Датум усмене одбране:

.....

## *Захвалница*

*Захваљујем поштованој и цењеној господи професорима на професионалној и стручној сарадњи током мојих докторских студија и израде докторске дисертације.*

*Посебно се захваљујем ментору проф. др Зорану Миливојевићу на правовременим, конкретним и квалитетним саветима и упутствима која су ми у великој мери помогла да на најбољи начин сагледам и реализујем поједина поглавља у раду.*

*Такође са захваљујем МУП Републике Србије на подршци и разумевању током докторских студија.*

## ПРИЛОГ АНАЛИЗИ И ЗАШТИТИ СИСТЕМА ЗА ДИГИТАЛНО ПРОЦЕСИРАЊЕ СЛИКЕ

### Резиме

Истраживања која садржи докторска дисертација „ПРИЛОГ АНАЛИЗИ И ЗАШТИТИ СИСТЕМА ЗА ДИГИТАЛНО ПРОЦЕСИРАЊЕ СЛИКЕ“ односе се на анализу различитих метода за дигиталну обраду слике, њено побољшање, као и њен сигуран, односно заштићен пренос до крајњег корисника. Показано је како и на који начин одређени алгоритми и математичке функције могу да се искористе у системима за дигиталну обраду слике, како за њену заштиту током преноса, тако и за побољшање њеног квалитета у постобради.

У првом делу рада приказан је преглед актуелних истраживања, а затим је описана потребна теоретска подлога која ће се користити приликом истраживања. Ради што детаљније анализе реализован је хардверски склоп који генерише бели шум и урађена је софтверска апликација која олакшава и поједностављује анализу података. Помоћу ње је анализирана примена функције XOR над базама случајних бројева и дигиталним сликама, а добијени резултати су се користили за заштиту података током преноса и побољшање квалитета добијене слике.

Одабир формата дигиталних слика зависио је од потребе, али је у највећем броју анализа коришћен TIFF формат записа, јер он представља некомпресовани формат слике, па су и добијени резултати објективни и мерљиви са резултатима других аутора. Све оригиналне слике, њих око две хиљаде, налазиле су се у овом формату, а онда су уз помоћ Дискретне косинусне трансформације или Вавелет трансформације оцењиване компресије као што су JPEG, JPEG2000, EZW и SPIHT.

За упоређивање и анализу добијених резултата коришћени су следећи параметри: средње квадратна грешка (MSE), однос сигнал/шум (SNR), вршни однос сигнал/шум (PSNR) и индекса структурне сличности.

Показано је како различите вредности линеарног осветљења утичу на вршни однос сигнал/шум (PSNR), средњу квадратну грешку (MSE), индекс структуралне сличности (SSIM) и разлику структуралне сичности (DSSIM). Анализиран је и утицај позитивног и негативног осветљења на квалитет слике кроз RGB хистограме.

Анализирано је како различити алгоритми компресије утичу на квалитет слике коришћењем Лапласиан, Превит и Собел оператора. Квалитет компресованих слика оцењиван је бројем битова по пикселу (bpp) и параметрима PSNR, MSE и SNR.

Анализом шест најзначајнијих оператора за детекцију ивица слике показано је како помоћу разних алгоритама и филтера може да се поправи квалитет дигиталне слике. Предложен је метод за елиминације различитих врста шума, у реалном времену, уз помоћ Медиан филтера, Филтера средње вредности и Филтера оптерећења.

Анализирана је практична примена ексклузивне дисјункције XOR код заштите, преноса и филтрирања дигиталне слике. За ту намену урађена је посебна софтверска апликација. Описан је утицај функције XOR на практично генерисање базе случајних бројева. Одређен је карактеристичан модел у коме су дефинисани најподеснији алгоритми за елиминацију шума, детекцију ивица, заштиту сигнала и пренос таквог сигнала ка пријемној страни где би се вршила реконструкција полазног сигнала.

За све наведене анализе дата су одговарајућа математичка образложења и њихова презентација преко посебних софтверских апликација.

***Кључне речи:*** *Дигитална Обрада Слике, Филтери, Детекција ивица, Бели шум, TIFF формат, XOR, JPEG и SPIHT методе*

**Научна област:** Електротехничко и рачунарско инжењерство

**Ужа научна област:** Информационе и комуникационе технологије

**УДК:**

# CONTRIBUTION TO THE ANALYSIS AND PROTECTION OF SYSTEMS FOR DIGITAL IMAGE PROCESSING

## Abstract

Research containing doctoral thesis "CONTRIBUTION TO THE ANALYSIS AND PROTECTION OF SYSTEMS FOR DIGITAL IMAGE PROCESSING" refer to the analysis of various methods for digital image processing, its improvement, and its safe, namely protected transfer to the user. It has been shown how, and in which way, certain algorithms and mathematical functions may be used in the systems for digital image processing, both for its protection during transfer and for improving its quality during postprocessing.

In the first part of the paper, an overview of current research is presented, and then is described the necessary theoretical background which will be used during the research. Because of a more detailed analysis, it has been implemented a hardware circuit which generates white noise and was performed an software application which facilitates and simplify data analysis. With it was analyzed the application of the XOR tool on the bases of random numbers and digital images, where the results obtained using to protect data during transfer and improve the quality of the obtained image.

Choosing the format of digital images depends on the use of, but in most analysis it was used the TIFF format, because it presents the uncompressed image format, so the obtained results are objective and measurable with other authors. All original images, about two thousands, were in this format, and then, with the use of Discrete Cosine Transform, or Wavelet Transform, were grading compressions like JPEG, JPEG2000, EZW and SPIHT.

For comparison and analysis of the results the following parameters were used: Mean square error (MSE), signal / noise ratio (SNR), peak signal / noise ratio (PSNR) and index of structural similarity.

It is shown that different values of the linear light affects on peak signal / noise ratio (PSNR), Mean square error (MSE), index of structural similarity (SSIM) and difference of structural similarities (DSSIM). It has been analyzed the influence of positive and negative light to image quality through RGB histograms.

It was analyzed how different compression algorithms affect on image quality by using Laplacian, Prewitt and Sobel operators. The quality of compressed images has been evaluated with a different number of bits per pixel (BPP) and PSNR, MSE and SNR parameters.



With the analysis of six major operators for detecting an image edges, it has been shown how, with use of different algorithms and filters, can be improved the quality of digital images. A method for eliminating various types of noise in real time is proposed by Median filter, Medium value filter, and Load filter.

The practical application of exclusive disjunction (XOR), has been analyzed in protection, transfer and filtering of digital images. For this purpose, a special software application has been made. The effect of XOR function is described in generating random numbers base and its practical application . A characteristic model is determined by, in which are defined the most appropriate algorithms for noise elimination, edge detection, protection of signals and transfer of such signals to the receivers where it would be carried out reconstruction of the starting signal.

For all of these analysis are given adequate mathematical explanations and their presentation through special software applications.

***Key words:*** *Digital Image Processing, Filters, edge detection, White Noise, TIFF format, XOR, JPEG and SPIHT methods*

**Scientific area:** Electrical and Computer Engineering

**Specific scientific area:** IT and communication technologies

**UDK:**

## САДРЖАЈ :

|      |  |    |
|------|--|----|
| 1.   | Увод .....   | 1  |
| 1.1. | Развој анализе дигиталног процесирања.....   | 4  |
| 1.1. | Дигитално процесирање слике.....   | 6  |
| 1.2. | Историјски аспект и преглед актуелних истраживања.....   | 7  |
| 2.   | Предмет истраживања.....   | 11 |
| 2.1. | Циљ истраживања .....  | 12 |
| 2.2. | Хипотезе истраживања .....   | 13 |
| 2.3. | Научни метод истраживања .....   | 13 |
| 2.4. | Структура и садржај рада .....   | 14 |
| 3.   | Теоријски оквир.....   | 17 |
| 3.1. | Теорија расподеле вероватноћа у телекомуникацијама .....   | 17 |
| 3.2. | Начин генерисања белог шума преко зенер диоде .....  | 20 |
| 3.3. | Софтверске апликације за генерисање база података случајних бројева.....                               | 25 |
| 3.4. | Поређење и анализа база случајних бројева, појам ентропије.....  | 28 |
| 3.5. | Ентропија у дигиталној обради слике .....  | 40 |
| 4.   | Практична примена филтера у анализи дигиталне слике .....  | 42 |
| 4.1. | Филтрирање и анализа слика са различитим операторима за детекцију ивица.....                           | 42 |
| 4.2. | Алгоритам за детекцију ивица слике са постфилтром .....  | 51 |
| 4.3. | Утицај осветљења на квалитет слика компресованих са JPEG и SPIHT методом компресије .....              | 59 |
| 4.4. | Експериментална анализа дигиталних слика са линеарном променом позитивног и негативног осветљења ..... | 67 |
| 4.5. | Уклањање Salt & Pepper шума са нелинеарним филтерима.....  | 73 |
| 4.6. | Анализа видљивог спектра кроз слике таласних дужина.....   | 78 |

|  |     |
|--|-----|
| 4.7. Утицај различитих алгоритама компресије над сликама .....   | 83  |
| филтрираним Лапласиан, Превит и Собел оператором.....  | 83  |
| 5.    Практична примена ексклузивне дисјункције (XOR) код заштите, преноса и<br>филтрирања дигиталне слике ..... | 92  |
| 5.1. Утицај функције XOR на генерисање случајних бројева.....  | 113 |
| 6.    Закључак, научни и практични допринос дисертације.....   | 125 |
| Литература.....  | 131 |
| Биографски подаци о кандидату .....  | 140 |

## Попис слика

|   |     |
|---|-----|
| Слика 1.2.1. Временски приказ развоја дигиталних видео формата .....  | 7   |
| Слика 3.2.1. Шематски приказ генератора белог шума .....  | 20  |
| Слика 4.1.1. Структура пирамидалне структуре слике .....  | 47  |
| Слика 4.1.2. Изглед оригиналне некомпресоване дентал слике .....  | 47  |
| Слика 4.1.3. Сlike са извршеном детекцијом ивица: а) Frei-chen operatorom<br>б) Kirsch operatorom в) Pyramid operatorom д) Roberts operatorom е) Robinson operatorom<br>ф) Sobel operatorom ..... | 48  |
| Слика 4.2.1. “Лена” након извршене детекције ивица, без филтрирања .....  | 53  |
| Слика 4.2.2. Неке од слика коришћене у анализи а)“Airplane“, б) „House“,<br>в) „Lena“, г) „Vegetable“ .....   | 55  |
| Слика 4.2.3. Примери анализираних слика са прагом 10 и 17 .....   | 56  |
| Слика 4.3.1. Пример анализиране слике: а) оригинална, б) осветљена 15%,<br>в) осветљена 30%, г) осветљена 45%, д) осветљена 60%, њ) осветљена 70% .....   | 62  |
| Слика 4.4.1. Позитивно осветљење: а) $VP=25$ , б) $VP=100$ , в) $VP=175$ .....  | 67  |
| Слика 4.4.2. Негативно осветљење: а) $VP=-25$ , б) $VP=-100$ , в) $VP=-175$ .....   | 68  |
| Слика 4.4.3. Хистограм RGB канала: а) оригиналне слике, б) слике са позитивним<br>осветљењем, в) слике са негативним осветљењем .....   | 69  |
| Слика 4.5.1. а) Оригинална слика, Salt and pepper шум густине б) 0.01, в) 0.02, г) 0.03,<br>д) 0.04, њ) 0.05 .....  | 74  |
| Слика 4.6.1. а) Пуни видљиви спектар, слика филтрирана на б) 446nm, в) 550nm,<br>г) 649nm, д) 657nm, њ) 710 nm ж) 721nm, з) 750nm, и) 765nm .....   | 78  |
| Слика 4.7.1. а) Оригинална слика, б) Слика филтрирана Лапласовим оператором,<br>ц) Слика филтрирана Превит оператором, е) Слика филтрирана<br>Собеловим оператором .....                          | 84  |
| Слика 4.7.2. Хистограми: а) Оригинална слика, б) Слика филтрирана Лапласовим<br>оператором, ц) Слика филтрирана Превитовим оператором, е) Слика филтрирана<br>Собеловим оператором .....          | 84  |
| Слика 5.1. Места примене ексклузивне дисјункције XOR .....  | 92  |
| Слика 5.2. Десна фотографија = лева фотографија XOR 4 .....   | 108 |
| Слика 5.3. Десна фотографија = лева фотографија XOR 127, са апликацијом .....   | 109 |
| Слика 5.4. Десна фотографија = лева фотографија XOR 220 .....   | 110 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Слика 5.5.</b> Десна фотографија = лева фотографија XOR 220, са апликацијом .....        | 111 |
| <b>Слика 5.1.1.</b> Део садржаја базе приказане на графикону 5.1.2, са траженим низом....   | 115 |
| <b>Слика 5.1.2.</b> Приказ комплетног садржаја базе са графикона 5.1.1.....                 | 116 |
| <b>Слика 5.1.3.</b> Низ узастопних истих бројева из базе приказане на графикону 5.1.1 ..... | 117 |
| <b>Слика 5.1.4.</b> Низ узастопних истих бројева из базе приказане на графикону 5.1.1 ..... | 118 |
| <b>Слика 5.2.1.</b> Аналогна камера, предајни интерфејс .....                               | 118 |
| <b>Слика 5.2.2.</b> Дигитална камера, паралелни излаз, предајни интерфејс.....              | 119 |
| <b>Слика 5.2.3.</b> Дигитална камера, серијски излаз, предајни интерфејс .....              | 119 |
| <b>Слика 5.2.4.</b> IP камера, предајни интерфејс .....                                     | 119 |
| <b>Слика 5.2.5.</b> Паралелни интерфејс .....   | 120 |
| <b>Слика 5.2.6.</b> Пријемни интерфејс .....  | 123 |

## Попис табела

|   |     |
|---|-----|
| Табела 3.4.1. Статистика учесталости бројева .....  | 39  |
| Табела 4.1.1. Маска Робертове функције за X осу (лево), за Y осу (десно) .....                          | 45  |
| Табела 4.1.2. JPEG компресија са различитим степеном bpp за MSE за све операторе детекције ивица .....  | 48  |
| Табела 4.1.3. JPEG компресија са различитим степеном bpp за SNR за све операторе детекције ивица .....  | 49  |
| Табела 4.1.4. JPEG компресија са различитим степеном bpp за PSNR за све операторе детекције ивица ..... | 50  |
| Табела 4.3.1. Вредности MSE при компресији JPEG методом .....   | 63  |
| Табела 4.3.2. Вредности SNR при компресији JPEG методом .....   | 63  |
| Табела 4.3.3. Вредности PSNR при компресији JPEG методом .....  | 63  |
| Табела 4.3.4. Вредности MSE при компресији SPIHT методом .....  | 64  |
| Табела 4.3.5. Вредности SNR при компресији SPIHT методом .....  | 65  |
| Табела 4.3.6. Вредности PSNR при компресији SPIHT методом .....   | 65  |
| Табела 4.4.1. Вредности PSNR, MSE, SSIM и DSSIM за позитивно осветљење .....                            | 69  |
| Табела 4.4.2. Вредности PSNR, MSE, SSIM и DSSIM за негативно осветљење .....                            | 70  |
| Табела 4.7.1. Промена MSE при компресији JPEG алгоритмом .....  | 85  |
| Табела 4.7.2. Промена MSE при компресији JPEG2000 алгоритмом .....                                      | 85  |
| Табела 4.7.3. Промена MSE при компресији EZW алгоритмом .....   | 85  |
| Табела 4.7.4. Промена MSE при компресији SPIHT алгоритмом .....   | 85  |
| Табела 4.7.5. Промена SNR при компресији JPEG алгоритмом .....  | 86  |
| Табела 4.7.6. Промена SNR при компресији JPEG2000 алгоритмом .....                                      | 86  |
| Табела 4.7.7. Промена SNR при компресији EZW алгоритмом .....   | 86  |
| Табела 4.7.8. Промена SNR при компресији SPIHT алгоритмом .....   | 86  |
| Табела 5.1. Ексклузивна дисјункција .....   | 93  |
| Табела 5.2. Прираштај учесталости и узастопних истих бројева .....                                      | 95  |
| Табела 5.3. Функција XOR са истим резултатом .....  | 99  |
| Табела 5.4. Кординате пиксела и њихове RGB вредности .....  | 112 |
| Табела 5.1.1. Шест различитих примера коришћених у овом поглављу .....                                  | 113 |
| Табела 5.2.1. Избор сегмената меморије .....  | 121 |
| Табела 5.2.2. Садржај дела меморије предајног EPROM-а 27512 .....                                       | 121 |

**Табела 5.2.3.** Садржај дела меморије предајног EPROM-а 27512..... 122

**Табела 5.2.4.** Садржај дела меморије пријемног EProm-а 27512..... 123

## Попис графикона

|   |    |
|---|----|
| Графикон 3.1.1. Пример генерисања 1000 случајних бројева који поседују Гаусову расподелу .....            | 17 |
| Графикон 3.1.2. Хистограм примера генерисања 1000 случајних бројева са Гаусовом расподелом .....          | 18 |
| Графикон 3.1.3. Гаусова функција густине вероватноће за $Dev=2$ , $xSred=-5$ .....                        | 19 |
| Графикон 3.1.4. Гаусова функција густине вероватноће за $Dev:[1, \dots, 8]$ , $xSred=-5$ .....            | 19 |
| Графикон 3.1.5. Гаусова функција густине вероватноће за $Dev: [1,\dots,8]$ , $xSred:[-10,\dots,10]$ ..... | 20 |
| Графикон 3.2.1. Вредност сигнала на $tr1$ (x оса –временска, y оса - напонска) .....                      | 21 |
| Графикон 3.2.2. Вредност сигнала на $tr2$ .....   | 22 |
| Графикон 3.2.3. Вредност сигнала на $tr2$ (пренос података) са узорцима .....                             | 23 |
| Графикон 3.2.4. Вредност сигнала на $tr2$ (пренос података) са узорцима од по 1024 ..                     | 24 |
| Графикон 3.2.5. Изглед пакета за један генерисани узорак ( $ADC=1023$ ).....                              | 24 |
| Графикон 3.3.1. Хистограм 65536 прикупљених узорака .....   | 25 |
| Графикон 3.3.2. Сигнал на $tr2$ приказан односом напона и 8-битног записа .....                           | 25 |
| Графикон 3.3.3. Сигнал на $tr2$ посматран кроз вредност ентропије .....                                   | 26 |
| Графикон 3.3.4. Сигнал белог шума .....   | 26 |
| Графикон 3.3.5. База настала од хардверског RND генератора.....   | 27 |
| Графикон 3.3.6. База настала из интерног (PC) RND генератора.....   | 27 |
| Графикон 3.3.7. База настала од хардверског RND генератора.....   | 28 |
| Графикон 3.4.1. Софтверски генерисана база случајних бројева .....  | 29 |
| Графикон 3.4.2. Хардверски генерисана база случајних бројева (бели шум) .....                             | 29 |
| Графикон 3.4.3. Хардверски генерисана база случајних бројева (бели шум) .....                             | 30 |
| Графикон 3.4.4. Динамика појављивања два иста броја из две базе (графикони 3.4.1 и 3.4.2) .....           | 30 |
| Графикон 3.4.5. Динамика појављивања два иста броја из две базе (график. 3.4.1 и 3.4.2) .....             | 31 |
| Графикон 3.4.6. Динамика појављивања два иста броја из две базе (график. 3.4.1 и 3.4.2) .....             | 32 |
| Графикон 3.4.7. Софтверски генерисана база случајних бројева .....  | 32 |
| Графикон 3.4.8. Динамика појављивања два различита броја из исте базе .....                               | 33 |



|   |    |
|---|----|
| <b>Графикон 3.4.9.</b> Динамика појављивања два различита броја из исте базе .....  | 33 |
| <b>Графикон 3.4.10.</b> Динамика појављивања два различита броја из исте базе .....   | 33 |
| <b>Графикон 3.4.11.</b> Динамика појављивања два различита броја из исте базе .....   | 34 |
| <b>Графикон 3.4.12.</b> Хардверски генерисана база случајних бројева .....  | 34 |
| <b>Графикон 3.4.13.</b> Динамика појављивања два различита броја из исте базе .....   | 35 |
| <b>Графикон 3.4.14.</b> Динамика појављивања два различита броја из исте.....   | 35 |
| <b>Графикон 3.4.15.</b> Динамика појављивања два различита броја из исте базе .....   | 35 |
| <b>Графикон 3.4.16.</b> Динамика појављивања два различита броја из исте базе .....   | 36 |
| <b>Графикон 4.1.1.</b> JPEG компресија са различитим степеном bpp за MSE за све<br>операторе детекције ивица.....   | 48 |
| <b>Графикон 4.1.2.</b> JPEG компресија са различитим степеном bpp за SNR за све операторе<br>детекције ивица.....   | 49 |
| <b>Графикон 4.1.3.</b> JPEG компресија са различитим степеном bpp за PSNR за све<br>операторе детекције ивица.....  | 50 |
| <b>Графикон 4.1.4.</b> Однос Ентропија оригиналне слике и слика добијених операторима за<br>детекцију ивица.....  | 51 |
| <b>Графикон 4.2.1.</b> Однос ентропије и прага детекције за обрађене слике.....   | 57 |
| <b>Графикон 4.2.2.</b> Приказ 2D Дискретна косинусне трансформације за обрађене слике   | 57 |
| <b>Графикон 4.2.3.</b> Приказ Вавелет трансформације за обрађене слике .....  | 58 |
| <b>Графикон 4.3.1.</b> Хистограм анализираних слике: а) оригинална, б) осветљена 15%,<br>в) осветљена 30%, г) осветљена 45%, д) осветљена 60%, ђ) осветљена 70% ..... | 62 |
| <b>Графикон 4.3.2.</b> Графичка зависност вршног односа сигнал/шум (PSNR) за JPEG<br>методу компресије .....  | 64 |
| <b>Графикон 4.3.3.</b> Графичка зависност вршног односа сигнал/шум (PSNR) за SPIHT<br>методу компресије .....   | 65 |
| <b>Графикон 4.3.4.</b> Графичка зависност вршног односа сигнал/шум (PSNR) за JPEG и<br>SPIHT методу компресије при различитим степеном осветљења .....                | 66 |
| <b>Графикон 4.4.1.</b> Вредности PSNR параметра за различите вредности позитивног и<br>негативног осветљења .....   | 70 |
| <b>Графикон 4.4.2.</b> Вредности MSE параметра за различите вредности позитивног и<br>негативног осветљења .....  | 71 |
| <b>Графикон 4.4.3.</b> Вредности SSIM параметра за различите вредности позитивног и<br>негативног осветљења .....   | 72 |
| <b>Графикон 4.5.1.</b> Вероватноћа расподеле функције за Salt & Pepper шум.....   | 73 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Графикон 4.5.2.</b> Промена PSNR параметра за филтриране слике .....  | 75  |
| <b>Графикон 4.5.3.</b> Промена MSE параметра за филтриране слике .....   | 75  |
| <b>Графикон 4.5.4.</b> Промена SSIM параметра за посматране слике .....  | 76  |
| <b>Графикон 4.5.5.</b> Промена Ентропије за посматране добијене слике.....   | 77  |
| <b>Графикон 4.6.1.</b> Промена PSNR при компресији а) JPEG алгоритмом, б) SPIHT алгоритмом .....                   | 79  |
| <b>Графикон 4.6.2.</b> Промена MSE при компресији а) JPEG алгоритмом, б) SPIHT алгоритмом .....                    | 80  |
| <b>Графикон 4.6.3.</b> Промена SNR при компресији а) JPEG алгоритмом, б) SPIHT алгоритмом .....                    | 81  |
| <b>Графикон 4.6.4.</b> Вредности ентропије анализираних слика.....   | 82  |
| <b>Графикон 4.6.5.</b> Вредности SSIM анализираних слика .....   | 82  |
| <b>Графикон 4.7.1.</b> Промена PSNR при компресији JPEG алгоритмом.....  | 87  |
| <b>Графикон 4.7.2.</b> Промена PSNR при компресији JPEG2000 алгоритмом.....  | 87  |
| <b>Графикон 4.7.3.</b> Промена PSNR при компресији EZW алгоритмом .....  | 88  |
| <b>Графикон 4.7.4.</b> Промена PSNR при компресији SPIHT алгоритмом.....   | 88  |
| <b>Графикон 4.7.5.</b> Промена PSNR при различитим облицима компресије оригиналне слике .....                      | 89  |
| <b>Графикон 4.7.6.</b> Промена PSNR при различитим облицима компресије слике филтриране Лапласијан оператором..... | 89  |
| <b>Графикон 4.7.7.</b> Промена PSNR при различитим облицима компресије слике филтриране Превит оператором.....     | 90  |
| <b>Графикон 4.7.8.</b> Промена PSNR при различитим облицима компресије слике филтриране Собеловим оператором ..... | 90  |
| <b>Графикон 5.1.</b> (Хардверски генератор) XOR (софтверски РС).....   | 93  |
| <b>Графикон 5.2.</b> Бројеви (100) и (4) из табеле 3.4.1 (поглавље 3) , односно пре XOR .....                      | 96  |
| <b>Графикон 5.3.</b> Бројеви (100) и (4) из табеле 5.1.2, односно после XOR .....                                  | 96  |
| <b>Графикон 5.4.</b> Функција $Y = 4 \text{ хор } X$ .....   | 100 |
| <b>Графикон 5.5.</b> Сегмент из фајла сачуваних случајних бројева.....   | 100 |
| <b>Графикон 5.6.</b> Функција $Y = 127 \text{ хор } X$ .....   | 101 |
| <b>Графикон 5.7.</b> Сегмент меморије из фајла сачуваних случајних бројева.....                                    | 101 |
| <b>Графикон 5.8.</b> Функција $Y = 220 \text{ хор } X$ .....   | 102 |
| <b>Графикон 5.9.</b> Сегмент из фајла сачуваних случајних бројева.....   | 102 |
| <b>Графикон 5.10.</b> Функција $Y = \{n+n*\sin[x*\pi/(n+1)]\} \text{ хор } 4$ .....                                | 103 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Графикон 5.11.</b> Функција $Y = \{n+n*\sin[x*\pi/(n+1)]\}$ хор 127.....              | 104 |
| <b>Графикон 5.12.</b> Инвертовани аналогни сигнал.....                                   | 104 |
| <b>Графикон 5.13.</b> Функција $Y = \{n+n*\sin[x*\pi/(n+1)]\}$ хор 220.....              | 105 |
| <b>Графикон 5.14.</b> Дигитални модул графика 5.13 .....                                 | 105 |
| <b>Графикон 5.15.</b> Функција $Y = [n/\ln(n)*\ln(x+1)]$ хор 4.....                      | 106 |
| <b>Графикон 5.16.</b> Функција $Y = [n/\ln(n)*\ln(x+1)]$ хор 127.....                    | 107 |
| <b>Графикон 5.17.</b> Функција $Y = [n/\ln(n)*\ln(x+1)]$ хор 220.....                    | 107 |
| <b>Графикон 5.18.</b> Десна фотографија = лева фотографија XOR 220, сегмент [0, 30]..... | 111 |
| <b>Графикон 5.1.1.</b> Низ узастопних истих бројева из базе .....                        | 114 |
| <b>Графикон 5.1.2.</b> Низ узастопних истих бројева из базе .....                        | 115 |

## 1. УВОД

У овом раду разматране су различите методе контроле, анализе и обраде дигиталне слике, као и њен сигуран, односно заштићен пренос до крајњег корисника. Приказано је на који начин одређени алгоритми и математичке функције могу да се искористе у системима за дигиталну обраду слике, како за њену заштиту током преноса, тако и за побољшање њеног квалитета у постобради. Показана је и практична примена резултата који су добијени пропуштањем дигиталних података (слика) кроз одређене склопове и апликације. Изузетна пажња је посвећена различитим алгоритмима за заштиту, обраду и побољшање квалитета дигитализованих слика, што представља својеврсну интелектуалну својину аутора.

Различити приступи анализе дигиталне слике развијали су се од 1970 тих, па до данашњих дана. Тако група научника предвођена проф. John Tukey, у раду [1], представила је прве теоријске анализе везане за дигиталну анализу и обраду слике.

Године 1975 појавио се рад [3] који је објашњавао начин имплементације и реализације одређених алгоритама за обраду дигиталне слике. Идеја је била да се слика хардверски подели у подматрице  $3 \times 3$  пиксела чија би средња вредност затим била додељена новој резултујућој матрици, мањег садржаја. Главни проблем овог алгоритма је била велика хардверска захтевност.

Исте и следеће године објављени су и радови [2], [3] и [4] који се баве корекцијом грешака у преносу дигиталне слике, као и побољшањем њеног квалитета. Године 1979 публикује се рад [5] који обједињује радове [2], [3] и [4], доносећи уједно и ново идејно решење које доводи до смањења броја грешака у приказаним алгоритмима. Ово решење је међутим било још комплексније за реализацију јер се матрица третира као хистограм где се одређивала средња вредност сваке колоне и на основу тога формирао низ нових елемената. Коначно се 1980. године појављује рад [7] који представља методу брзе компресије, у реалном времену, идентичних узастопних бајтова. Овом методом је смањена како хардверска тако и софтверска захтевност представљених решења.

Године 1981. у раду [8], који је објављен у часопису IEEE/Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (IEEE представља скраћеницу за највећу светску

асоцијацију за унапређење технике), аутори су представили начин посматрања слике кроз просторни домен, где се обрада вршила посебно по  $X$ , а посебно по  $Y$  оси, за сваку слику, што је давало прилично добре резултате.

Године 1984. на катедри за статистику и компјутерске науке, универзитета Rochester године започиње се експеримент који, три године касније, као резултат даје једно од основних решења за накнадно ублажавање степена шума у дигиталној слици [9]. Основа овог рада је била формирање подматрице од више једнодимензионалних низова. Из данашње перспективе се види да је велики недостатак овог алгорита у квадратној резолуцији подматрице, јер он важи само за слике формата  $4 \times 3$ , а код слика које немају квадратну резолуцију ( $16 \times 9$ ,  $16 \times 10$ ) прави грешке. Међутим, овај алгоритам је унео и једну новину, а то је употреба различите врсте подматрица, нпр.  $3 \times 3$ ,  $5 \times 5$ ,  $7 \times 7$ ,  $11 \times 11$ ,  $13 \times 13$ , итд. Овај алгоритам је био приступачнији за већи број примена, обзиром да је за његово функционисање било потребно мање процесорског времена. Захтевност је линеарно опадала са порастом степена примењене подматрице. Исте године се у раду [10] представља идејно решење за компресију и пренос слике, под називом *the weighted median filter* у којем би вредности подматрица имале унапред предефинисану вредност, са којом би се на предајној страни матрица делила, а на пријемној множила.

Почетком 1988. компанија Polaroid Corporation, иницирана појавом CCD сензора, региструје патент под називом *Median filter for reconstructing missing color samples* [11]. Камере са CCD сензорима су на излазу имале висок степен шума, а ниво сигнала је одговарао јачини светлости на коју је реаговао сензор. Сензор није био идентично осетљив за све таласне дужине. У циљу делимичног исправљања овог проблема уведен је линеарни интерполатор за сва три одвојена сигнала. Разлика нивоа сигнала је одговарала разлици осветљења између улазних сигнала, а затим се сваки од сигнала посебно пропуштао кроз алгоритме за дигиталну обраду слике. Још један патент је обележио 1988. годину, а радило се о алгоритму предикције за Медијан филтер [12]. Крајем 80 тих прошлог века, захваљујући дигиталној обради слике и развијањем различитих алгоритама, почео је убрзани развој комерцијалних дигиталних фотоапарата и камера, који су се појавили на тржишту десетак година касније. Polaroid Corporation је у том периоду регистровао неколико патената.

У периоду од 1994. године до 1999. године објављени су радови [15], [16], [17], [18], [19] и [20] који се, углавном, баве статистичком анализом резултата при обради

специфичних делова слике (нарочито оних где се јављају ивице), затим дефиницијом различитих врста шума код дигиталних слика, елиминацијом salt & pepper шума, али и предлагањем нових алгоритама за детекцију ивица слике.

Крајем 1999 објављени су радови [21] и [22] који објашњавају, патентирано, решење пројектовано за елиминацију позитивног и негативног импулсног шума. Идеја овог решења се састојала у дељењу посматраног сигнала по групама, где би селектовани део сигнала био приказан на кружници. На овај начин би вредности импулсног шума биле дефинисане на основу највећег угла које би маркиране тачке заклапале са  $X$  осом. Тако би се за позитиван импулсни шум највеће вредности налазиле у првом квадранту, а за негативан импулсни шум, у четвртном квадранту.

Године 2002. у раду [23] аутори су предложили решење које се базирало на анализи делова дигиталне слике, на основу предикције шума у слици, а алгоритам је одлучивао шта ће се подвргнути Лапласијан филтру, а шта Медијан филтру.

Мада је често математички тешко издвојити висок ниво детаља и висок ниво шума, у истом делу слике, рад [24], из 2005. године понудио је веома практично решење овог проблема, дељењем комплетног поступка у две фазе, где би се у првој фази вршила детекција пиксела који су потенцијални носиоци шума, док би се у другој фази вршила елиминација посебно изабраних пиксела. У неким условима оваква реконструкција давала је завидне резултате и на 70% оштећеној слици. Алгоритми који нуде висок степен оптимизације приказани су у радовима [31] и [32], који су објављени у 2014 и 2015 години, а у којима се слика посматра кроз три потпуно одвојена сигнала. Применом различитих метода вршила се реконструкција слике.

## 1.1. Развој анализе дигиталног процесирања

Као што се види из уводног дела различити су приступи начину анализе дигиталног процесирања слике. У докторској дисертацији коришћена су најновија теоријска сазнања из области: телекомуникација, мултимедијалних система, заштите дигиталних података и примене разних софтверских алата и апликација за дигиталну обраду слике, као и коришћењем до сада објављених и верификованих научних и стручних резултата самог аутора.

Мере за објективну процену квалитета слике могу се класификовати према различитим критеријумима, као што су: домен у коме је мера имплементирана (просторни или трансформациони), тип дисторзије код кога се примењује и количина информација потребна за процену квалитета (рад [110]).

Према количини информација изворне (оригиналне, референтне) слике која је коришћена у поступку процене квалитета на пријемној страни (страни посматрача), објективне мере за процену квалитета слике могу се поделити у три главне категорије, без референцирања (*NR* – no-reference), са потпуним референцирањем (*FR* – fluid-reference) и са делимичним референцирањем (*RR* – reduced-reference). Све три категорије имају предности и мана, о чему говоре радови [107], [109] и [111].

*NR* мере не захтевају познавање изворне слике и процена у потпуности зависи од људске перцепције тест слике (слике на пријемној страни). За сада су *NR* мере процене квалитета могуће уколико су позната априорна знања о типу дисторзије (JPEG компресија, JPEG2000 компресија, блуринг), у вези чега нас подучавају радови [112] и [113]. За разлику од посматрача који на основу искуства веома лако може из садржаја слике одредити тип дисторзије - деградације, код *NR* техника постоји ризик да се садржај слике прогласи дисторзијом (нпр. шаховска табла би могла да се интерпретира као блоковски ефекат).

*FR* мере захтевају потпуно познавање информација изворне слике. У овом случају се систем за процену квалитета може посматрати као комуникациони систем, у коме се изворна слика налази на предајној страни, а тест слика (слика са деградацијом) на пријемној страни. Основу *FR* метрика чини поређење двају слика (изворне и тест слике) на нивоу пиксела, региона и/или фреквенцијских карактеристика (радови [64] и [110]). Међутим, у неким реалним апликацијама, препознавање оригиналне слике на пријемној страни није могуће.

**RR** технике се налазе између претходне две и оне су дизајниране да дају практична решења у процени квалитета, са задржавањем процењене тачности. Код ових техника само се најбитније информације шаљу од предајне ка пријемној страни, па самим тим преношена количина информација није велика, тако да се захтеви по питању пропусног опсега канала значајно не мењају. Императив је дакле детекција битних, а довољних обележја како би се идентификовале разлике између слика (радови [109] и [114]).

Најчешће коришћене објективне мере за процену квалитета/дисторзије су средња квадратна грешка (MSE), однос сигнал/шум (SNR) и вршни однос сигнал/шум (PSNR), али су ове мере често биле подложне критикама јер не дају резултате који су у потпуности у складу са субјективним проценама (рад [73]). Ипак се поменуте мере и даље користе јер су једноставне за имплементацију (хардверску и софтверску), не зависе од услова под којима се процена спроводи, не зависе од посматрача, имају јасно физичко тумачење и често дају оптимизована решења проблема у затвореној форми. Осим ових једноставних мера било је и пуно покушаја да се развију објективније мере за процену квалитета слике/видеа, које узимају у обзир карактеристике људског визуелног система (HVC – human visual system). Међутим, овакви модели су углавном усложњавали систем, а до данас није предложена адекватна метрика процене, која узима у обзир све особености HVC.

Последњих година индекс структурне сличности (SSIM – Structural Similarity Index) постао је веома популаран алгоритам за процену квалитета слике/видеа. Основна идеја која стоји иза SSIM методе је да су слике природних сцена веома структуриране (highly structured) тј. да је људско око у стању да прати структурне дисторзије (рад [64]). Ово подразумева да су узорци сигнала слике међусобно веома зависни, нарочито уколико су просторно блиски.

У тренутно доступној литератури могу се наћи бројне модификације и побољшања индекса структурне сличности, као што су модификације дате у радовима [115], [116] и [117]. У раду [115] се користи побољшана верзија SSIM индекса названа GSSIM (Gradient-based Structural Similarity Index). Код ове модификације пореде се информације о ивицама између оригиналне слике и слике са дисторзијом, а уместо поређења контраста и структуре нивоа сивог, уводи се поређење контраста градијента и његове структуре. Аутори у раду [115] сматрају да је основни разлог побољшања процене, придавање већег значаја ивицама и детаљима слике који претстављају најбитније структурне информације.

У раду [116] су предложене три нове метричне методе за процену квалитета. Метрике су настале побољшањем индекса структурне сличности. Уместо да се слике пореде директно, извршено је поређење обележја издвојених из слика. Код обележја се користе углови, ивице и мапе симетрије.



Предложене метрике имају боље перформансе од SSIM, а код њих је најбоље резултате дала метрика заснована на детекцији ивица. У раду [117] је побољшање процене SSIM остварено тако што се уместо трећег члана SSIM (укрштена корелација) користи аутоковаријанса првог реда хоризонталних и вертикалних оријентација. Могућност разликовања детаља на слици зависи од учестаности одабирања сигнала слике, даљине од слике до посматрача, резолуције монитора и способности визуелног система посматрача.

## 1.1. Дигитално процесирање слике

Дигитална слика може да се посматра као сигнал кроз временско амплитудну анализу, или као тродимензионална матрица у којој сваки елемент представља један пиксел. У овом раду дигитална слика је посматрана и анализирана кроз призму матрица и хистаграма. У циљу описивања матричне димензије дигиталне слике коришћена је квантитативна анализа са преко две хиљаде слика дефинисаних по карактеристикама различитих формата, резолуције, нивоа детаља и др. Након тога над свим добијеним сликама је извршена квалитативна анализа са адекватним параметрима оцене квалитета слике за ту намену. Сви добијени резултати су описани и потврђени релевантним теоријама и објављеним научним радовима. Над сваком сликом, зависно од намене, извршена је квалитативна и квантитативна анализа са адекватним параметрима за оцену квалитета слике. Слике коришћене у раду су стандардне слике које се користе у теоријској анализи дигиталне обраде слике, или слике добијене анализом кроз програме за обраду слике као што су: CVIPtools, Matlab, SofAS, Blender, Photoshop, Image Quality Measurment.

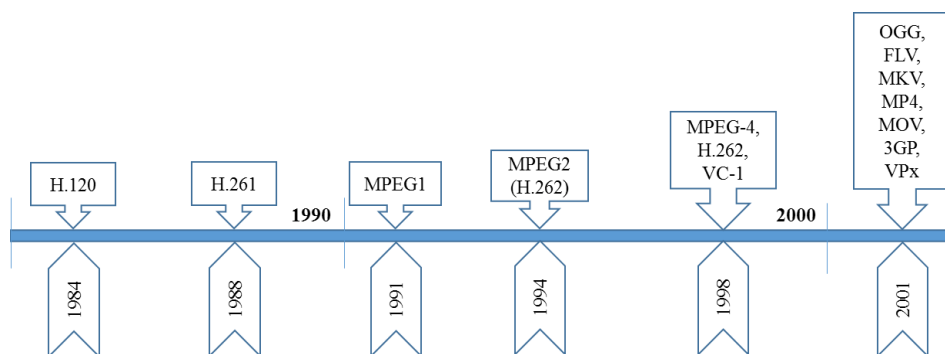
Одабир формата дигиталних слика зависио је од потребе, али је у највећем броју анализа коришћен TIFF формат записа, јер он представља некомпресовани формат слике, па су и добијени резултати објективни и мерљиви са резултатима других аутора. Све оригиналне слике, за потребе анализе, налазиле су се у овом формату, а онда су уз помоћ Дискретне косинусне трансформације или Вавелет трансформације оцењиване компресије као што су JPEG, JPEG2000, EZW и SPIHT.

Ради што реалније анализе добијених резултата, реализован је хардверски склоп који генерише бели шум. Помоћу њега и посебно урађених апликација симулирани су и практично проверавани добијени резултати за побољшање квалитета слике и заштиту података током њиховог преноса.

Разматране су различите методе за контролу, анализу и обраду дигиталне слике, као и њен сигуран, односно заштићен пренос до крајњег корисника. Показано је како и на који начин одређени алгоритми и математичке функције могу да се искористе у системима за дигиталну обраду слике, као и за њену заштиту током преноса, али и за побољшање њеног квалитета у постобради.

## 1.2. Историјски аспект и преглед актуелних истраживања

Почеци дигиталног видео записа везују се за 1984. годину када је International Telecommunication Union (ITU) - Telecommunication Standardization Sector стандардизовала видео кодек (склоп за кодирање и декодирање дигиталне слике) под ознаком H.120. Иако је овај видео кодек представљао револуцију у свету технике, ипак није био доступан за широку употребу. Главни разлог за то је количина протока (bitrate) од 2 Mbit/s, са резолуцијом од 176x144 пиксела (25/30 фрејмова у секунди, за црно-беле снимке). Упркос тим недостацима, овај кодек је, са данашњег становишта, темељ свих видео стандарда, јер се у њему први пут вршило кодирање групе пиксела. Ова чињеница је веома битна јер је суштина свих компресија управо груписање, специфично одабраних, пиксела на различите начине о чему сведоче и раније помињани радови [1], [2] и [3]. Наредних година, после стандардизације, пажња је била посвећена детаљном тестирању и отклањању недостатака видео кодека H.120. Сви добијени резултати су сублимирани, обрађени и 1988. године уграђени у стандард новог видео кодека под ознаком H.261. Овај кодек је поседовао дупло већу резолуцију слике, док је са друге стране давао далеко боље карактеристике при преносу, у коме се **bitrate** кретао од 2 Mbit/s – 40 Mbit/s, што је детаљно и објашњено у радовима [4], [5] и [6].



Слика 1.2.1. Временски приказ развоја дигиталних видео формата

На слици 1.2.1 приказан је временски развој дигиталних видео формата. Масовна дигитализација која је почела крајем 80 тих и почетком 90 тих се одразила и на област мултимедија, па су почели да се траже начини и модели преласка са аналогних система на дигиталне. Ово је проузроковало настајање нових видео формата и кодека, који су били синхронизовани са аналогним видео техникама. На том пољу се истакла Movie Picture Experts Grupa која је 1991. поставила стандард за компресију VHS платформе на дигитални стандард кроз кодек MPEG-1, који је једним делом био базиран и на радовима [7], [8] и [9]. Овај видео кодек је поставио нове стандарде у области компресије, нарочито у бит стримингу и оптимизацији у реалном времену. Идејна решења стандардизована у MPEG-1 видео кодеку су коришћена у наредних 15-так година. Међутим, управо тих година је компанија Microsoft на тржишту пласирала персонални компјутер (PC) па је, у складу са пратећим пакетом програма, 1992. године развијена Audio Video Interleave (AVI) платформа која је понуђена корисницима кроз WMV кодек, као део ASF формата. Основу ове платформе представљали су радови [11] и [12]. AVI видео платформа је постала основа DIVX видео формата, пар година касније, који своју популарност дугује имплементираним BitRate калкулатору.

Појавом неколико компанија које су паралелно развијале дигиталне видео формате јавила се и тржишна конкуренција, која је резултирала бржим развојем и јефтинијим производима. Тако је већ почетком 1994. године ITU развио MPEG-2 видео кодек са радним називом H.262 (радови [15] и [16]). Овај видео кодек је био основа, у то време, новог DVD медија, који је дуплирао резолуцију свог претходника H.261 (720x480), о чему сведочи рад [17]. Три године после стандардизације H.262 кодека основана је фирма Real Networks која је исте године стандардизовала Real Media (RM) кодек, који је обједињавао Real Audio (RA) и Real Video (RV). Године 1998. појављује се нова верзија MPEG-4, H.264 видео кодека стандардизована од стране ITU, док је Microsoft стандардизовао VC-1 који ће касније постати основа Blu-Ray и HDTV платформе (радови [19], [20], [21] и [22]). Ови формати повећавају резолуцију и до 4096x2048 пиксела. Наредне две године су донеле стандардизацију DVD Video Object (VOB) формата, који се базирао на MPEG платформи (радови [23], [24] и [25]).

Главна експанзија на пољу мултимедија почела је 2001. године, када се појавио велики број компанија које су тржиште преплавиле лепезом уређаја и софтвера везаних за мултимедије. Међутим, највећи број компанија, које су нудиле производе на бази мултимедије, имале су и своје видео кодеке. Разлог за то је углавном била редукција

трошкова, јер у оваквим случајевима компанија није плаћала лиценцу за коришћење кодека, па је заступљеност видео кодека на тржишту увелико зависила од успешности продаје производа. Ипак, развојем осталих грана компјутерске технике почело је прилагођавање видео кодека одређеној сврси. Тако на пример OGG и VOB кодекси своју примену налазе у видео играма, за потребе анимације, а настали су из GIF формата слике. За потребе мобилних телефона, који су тих година у своју понуду уврстили и камеру, појавио се Third Generation Partnership (3GP) видео формат, а касније и MP4 који је суштински оптимизована верзија MPEG-4 формата за „паметне телефоне“ и компанија NERO која је нудила своју групу кодека, итд. Суштински гледано тих година настао је велики проблем, када је оптимизација видео кодека у питању, јер на тржишту није постојао видео плејер који све то обједињује и пружа кориснику могућност да под једним системом репродукује све видео кодексе, без посебног инсталирања сваког кодека понаособ. Ситуацију су додатно компликовали слаба компатибилност појединих аудио и видео кодека, као и компатибилност кодека са хардвером и софтверима за репродукцију. Управо је ова ситуација један од разлога због чега је привремено стопиран развој 3D технологије.

Велики напредак и уређеност ове области доносе напредне SSE инструкције на микропроцесорима, али и оперативни систем Windows 7 (појавио се на тржишту крајем 2009. године) који је у себи обједињавао преко 95% постојећих кодека. Обзиром да су остале гране мултимедијалне технологије добиле подршку за стандарде високих резолуција, а да са друге стране велики број видео кодека није имао потенцијал да то испрати на адекватан начин, видео сцена је постала значајно јаснија. Тако се данашња проблематика своди на што ефикасније методе компресије (пример H.265, VP9 и Theora видео кодека), ефикаснију оптимизацију, компатибилност са осталим деловима мултимедије, као и разноврсније начине потписивања свих мултимедијалних сигнала, укључујући и видео сигнал. У складу са тим данас велики број актуелних радова обрађује специфичности различитих видео кодека у тачно дефинисаним условима. Наведено, такође, подразумева и што квалитетнију анализу сваког сегмента видео кодека, од поступку настанка, преноса, па до обраде примљеног сигнала. Као сегмент видео сигнала подразумевамо један фрејм (слика), или тачно дефинисан низ фрејмова који су синхронизовани са осталим мултимедијалним сигналимa. Проблеми који се јављају код дигиталне обраде мултимедијалних сигнала једним делом обухватају област дигиталне обраде слике, област дигиталног потписивања тј. ауторизације, али и

---

област која се бави заштитом садржаја. Зато ове три области мултимедије тренутно имају заједничке задатке, са једне стране опис слике као сегмента видео фајла, и са друге стране што детаљније дефинисање слике као фундаменталног објекта. Узимајући све ово у обзир, овај рад у потпуности доприноси решавању тренутне проблематике из области дигиталног видео сигнала, кроз елиминацију шума на самом фрејму, одређивању потенцијала фрејмова при различитим условима, одабиру формата и компресије за пренос, заштите фрејма приликом његовог преноса, дефинисања оптимума за детекцију ивица у постобради и отклањање евентуалних аномалија, насталих приликом преноса.

## 2. ПРЕДМЕТ ИСТРАЖИВАЊА

Предмет и циљ истраживања докторске дисертације односи се на анализу, пренос и заштиту система за дигиталну обраду слике. Област, а посебно тема је изузетно актуелна и савремена, о чему сведочи у последње време велики број објављених научних и стручних радова из ове области. Истраживање је подржано сазнањима из научне и стручне литературе, сазнањима других аутора који су у својим радовима и књигама истраживали ову област, као и коришћењем до сада објављених и верификованих научних и стручних резултата самог аутора. Истраживање ће се базирати на коришћењу метода теоријске анализе, разним симулацијама, а где год је то могуће и хардверском реализацијом одређених склопова. Користиће се најновија теоријска сазнања из области: телекомуникација, мултимедијалних система, заштите дигиталних података и примене разних софтверских алата и апликација за дигиталну обраду слике.

Дигитална слика може да се посматра као сигнал кроз временско амплитудну анализу, или као тродимензионална матрица у којој сваки елемент представља један пиксел. У овом раду дигитална слика је посматрана и анализирана кроз призму матрица и хистаграма. У циљу описивања матричне димензије дигиталне слике коришћена је квантитативна анализа са преко две хиљаде слика дефинисаних по карактеристикама различитих формата, резолуције, нивоа детаља и др. Над сваком сликом, зависно од намене, извршена је квалитативна и квантитативна анализа са адекватним параметрима за оцену квалитета слике. Сlike коришћене у раду су стандардне слике које се користе у теоријској анализи дигиталне обраде слике, или слике добијене анализом кроз програме за обраду слике као што су: CVIPtools, Matlab, SofAS, Blender, Photoshop, Image Quality Measurement.

Одабир формата дигиталних слика зависио је од потребе, али је у највећем броју анализа коришћен TIFF формат записа, јер он представља некомпресовани формат слике, па су и добијени резултати објективни и мерљиви са резултатима других аутора. Све оригиналне слике за потребе анализе налазиле су се у овом формату, а онда су уз помоћ Дискретне косинусне трансформације или Вавелет трансформације оцењиване компресије као што су JPEG, JPEG2000, EZW и SPIHT.

Ради што реалније анализе добијених резултата, реализован је хардверски склоп који генерише бели шум. Помоћу њега и посебно урађених апликација симулирани су и практично проверавани добијени резултати за побољшање квалитета слике и заштиту података током њиховог преноса.

Разматране су различите методе за контролу, анализу и обраду дигиталне слике, као и њен сигуран, односно заштићен пренос до крајњег корисника. Показано је како и на који начин одређени алгоритми и математичке функције могу да се искористе у системима за дигиталну обраду слике, као и за њену заштиту током преноса, али и за побољшање њеног квалитета у постобради.

Сви добијени резултати су описани и потврђени релевантним теоријама и резултатима у објављеним научним радовима. Резултати су међусобно повезани, што је потврдила регресиона анализа добијених података, а сваки резултат је подвргнут и корелационој анализи свих расположивих података, као анализи са највећим степеном захтевности.

## 2.1. Циљ истраживања

Циљеви истраживања односиће се на историјски аспект, тренутне проблеме посматране области, значај области и допринос рада. На основу поменутог дефинисаће се следећи циљеви истраживања:

- Систематизовање дефиниција и основних појмова из области дигиталне обраде слике, теорије шума у сигналима и њиховом генерисању, затим у алгоритмима за филтрирање шума и сегментације слике, са посебним освртом на алгоритме за детекцију ивица, као и врсте компресија које су данас највише у употреби.
- Свеобухватни преглед постојећих метода и алгоритама за оцењивање квалитета слике, како током настајања тако и током преноса и обраде. Овај сегмент рада је значајан да би се добијени резултати могли упоређивати са резултатима који су већ објављени.
- Анализа хардверских и софтверских могућности имплементације свих коришћених модела и алгоритама.
- Дефиниција и опис критеријума по којима ће се вредновати добијени резултати.
- Јединствени приказ свих добијених резултата.

## 2.2. Хипотезе истраживања

На основу извршених, свеобухватних, тестирања предложених модела и упоредних анализа добијених резултата са резултатима других аутора могу да се предпоставе следеће хипотезе.

### Главна хипотеза

- Модели за детекцију и елиминацију шума из сигнала слике, као и алгоритми за заштиту података не нарушавају структуру сигнала и његову изворну форму.

### Подхипотезе

- Тестирање модела је применљиво како над сваком сликом посебно, тако и над видео сигналом, као системом фрејмова.
- Апликације и електронски склопови за заштиту података не мењају битно дужину емитовања дигитализованих видео сигнала.
- Хардверско генерисање случајних бројева, као саставни део заштите података, даје боље резултате од софтверског генерисања случајних бројева.
- Алгоритми и филтери могу да поправе квалитет примљене дигиталне слике, уколико је било грешака током преноса те слике.
- Спектар таласних дужина видног спектра близак инфра црвеном подручју носи највећи потенцијал за смештање информације дигиталног потписа.
- SPIHT компресија даје боље карактеристике записа статичне слике што имплицира висок ниво квалитета приликом преноса и обраде.

## 2.3. Научни метод истраживања

Научни метод истраживања подржан је сазнањима из научне и стручне литературе, односно сазнањима других аутора који су у својим радовима и књигама истраживали ову област. Базиране су на коришћењу метода теоријске анализе, разним симулацијама, а где год је то било могуће и хардверском реализацијом одређених склопова. На основу тога, примењене су следеће научне методе истраживања:

- Методе синтезе и дедукције у циљу што квалитетнијег објашњења теоријског оквира истраживања.



- Методе поређења, које ће имати за циљ утврђивање карактеристичних теоријских поставки за креирање модела истраживања.
- Методе симулације, које подразумевају посебне софтверске симулације над највећим делом прикупљених података

За испитивање развијених модела и алгоритама извршено је тестирање, на основу креираних програмских кодова, у програмском пакету Matlab. За вредновање добијених резултата коришћене су методе статистичке и нумеричке обраде података.

## 2.4. Структура и садржај рада

**Поглавље број 1** представља и уводни део рада, приказује преглед и анализу најзначајнијих радова који се баве овом проблематиком.

**Поглавље број 2** приказује историјски аспект и преглед актуелних истраживања.

**Поглавље број 3** обрађује теоријски оквир рада у оквиру кога је укратко дата потребна теоретска подлога која ће се користити у наредним поглављима. У оквиру овог поглавља описана је расподела вероватноће и основне карактеристике густине вероватноће. Описан је начин генерисања белог шума, преко зенер диоде, као и израђене софтверске апликације које подржавају и олакшавају анализу података. Ради што детаљније анализе практично је реализован хардверски склоп који генерише бели шум. У другом делу овог поглавља анализирана је примена функције XOR над базама случајних бројева и дигиталним сликама, а добијени резултати коришћени су у наредним поглављима, за заштиту података током преноса и побољшање квалитета добијене слике.

**Поглавље број 4** описује практичну примену добијених резултата за побољшање квалитета дигиталне слике. У оквиру овог поглавља приказано је шест најзначајних оператора за детекцију ивица, кроз анализу денталних слика. Описани су и анализирани најважнији филтри који се користе за детекцију ивица. Анализа модела извршена је кроз конверзију примарних слика у слике са различитим обликом ивица, а добијене слике оцењиване су адекватним бројем битова по пикселу. Треба истаћи да су резултати из овог поглавља објављени у руском часопису ранга M23 Journal of Communications Technology and Electronics, под називом Dental image analysis with different edge detection operators.

Приказан је и алгоритам за детекцију ивица слике са, постфилтром, који је имплементиран у софтверском пакету Матлаб. Дат је и листинг алгоритма, који је коришћен над сликама са различитим бројем детаља. Помоћу овог алгоритма добијене су вредности ентропије и вредности детаља реконструисаних слика за 2D дискретну косинусну трансформацију и Вавелет трансформацију, за различите вредности прага детекције. Добијене вредности приказане су графички, а на основу њих је извршена анализа квалитета алгоритма за детекцију ивица.

Вршена је анализа слике над којом је примењена линеарна промена осветљености. За упоређивање и анализу резултата коришћени су параметри средње квадратне грешке, вршног односа сигнал/шум и индекса структурне сличности. Утврђено је како различите вредности линеарног осветљења утичу на вршни однос сигнал/шум (PSNR), средњу квадратну грешку (MSE), индекс структуралне сличности (SSIM) и разлику структуралне сичности (DSSIM). Анализиран је и утицај позитивног и негативног осветљења на квалитет слике кроз RGB хистограме.

Помоћу софтверског пакета Матлаб извршена је анализа над сликама са различитим линеарним осветљењем. Добијене слике анализирани су на основу алгоритама за одређивање нивоа детаља 2D дискретне косинусне трансформације, Вавелет трансформације и ентропије. Добијени резултати омогућиће увид у промену ентропије и ниво детаља, у зависности од пораста линеарног осветљења.

Посебна пажња поклоњена је анализи разлике у квалитету између Медиан филтра, Филтера средње вредности и степена оптерећења нелинеарних филтера. Уз помоћ софтверског пакета Матлаб и CVIPtools израчунати су вршни односи сигнал-шум (PSNR), средња квадратна грешка (MSE), индекс структуралне сличности (SSIM) и ентропија. Помоћу ових параметара одређен је квалитет филтрирања наведених филтера, за различите густине salt & pepper шума.

Вршена је и анализа слике видљивог спектра (400 nm – 800 nm), као и анализа њене трансформације у слике са једном таласном дужином. Анализа је вршена уз помоћ софтверског пакета Матлаб, а анализирана је и ентропија свих слика понаособ, са циљем да се утврди у ком делу спектра се налази највећи потенцијал слике. Коришћењем SSIM алгоритма добијен је однос између слика са пуним видљивим спектром (400 nm – 800 nm) и слика са једном таласном дужином.

На крају овог поглавља представљена је анализа објективног квалитета слике помоћу алгоритама компресије JPEG, JPEG2000, EZW и SPIHT користећи Лапласијан,

Превит и Собел алгоритме. Квалитет компресованих слика оцењиван је различитим бројем битова по пикселу (bpp) и параметрима PSNR, MSE и SNR.

**Поглавље број 5** обрађује анализу и практичну примену ексклузивне дисјункције XOR код заштите, преноса и филтрирања дигиталне слике. Анализа је вршена уз помоћ наменски израђених софтверских апликација.

У оквиру овог поглавља описан је утицај функције XOR на генерисање базе случајних бројева и њена практична примена. Базу случајних бројева генерисао је наменски урађен хардверски генератор случајних бројева, а анализе је вршена уз помоћ наменски израђених софтверских апликација.

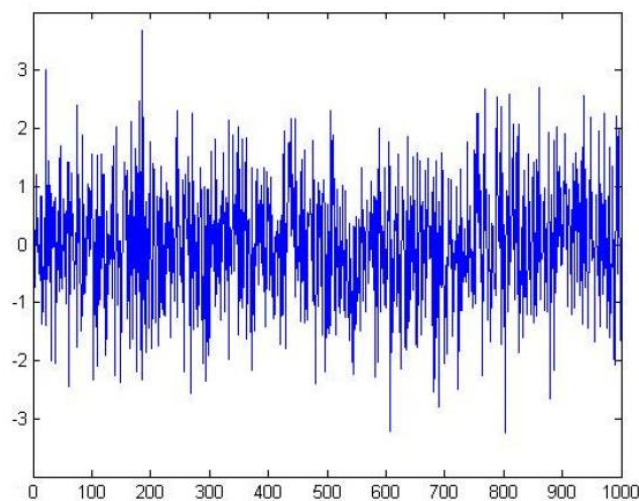
Приказана је и практична примена базе случајних бројева приликом хардверског кодирања тј. заштите дигиталне слике током њеног преноса у реалним условима.

Основни закључци до којих се дошло у овом раду дати су у поглављу број 7. На крају рада дат је преглед коришћене и цитиране литературе.

### 3. ТЕОРИЈСКИ ОКВИР

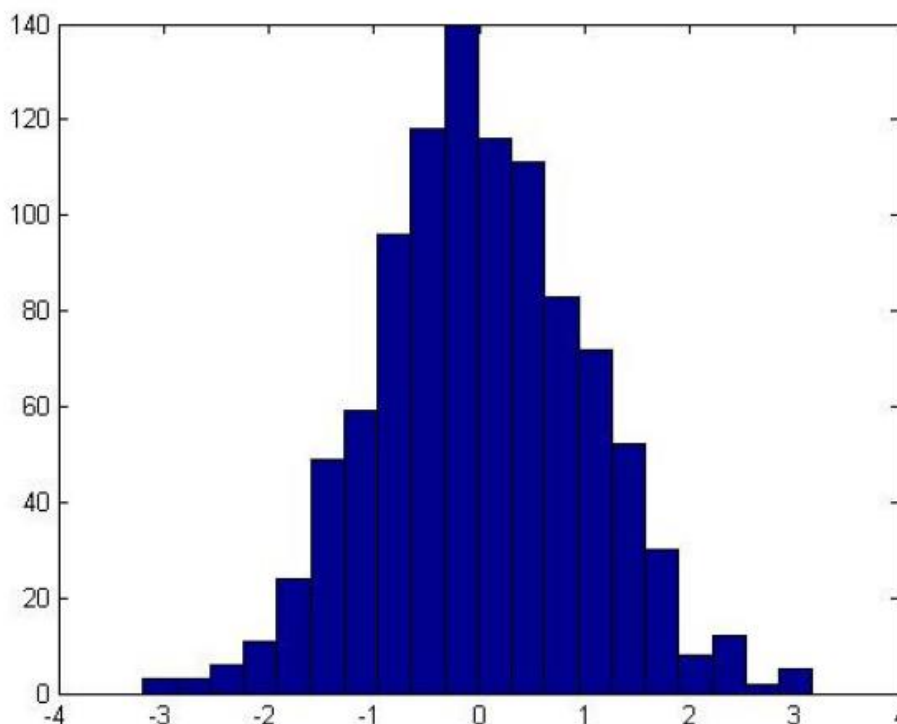
#### 3.1. Теорија расподеле вероватноћа у телекомуникацијама

Дигитални телекомуникациони системи данас се интензивно развијају и имају све већу примену у телекомуникацијама, што се види по великом броју радова који се задњих година појављују у овој области. Брзи развој бежичних телекомуникационих система доводи до потребе за проучавањем и унапређењем њихових перформанси. Основни захтеви који се постављају пред бежичне телекомуникационе системе су: што већи домет везе са што мањом вероватноћом грешке, што веће брзине преноса и капацитет канала. Пренос информација је праћен разним нежељеним сметњама због којих долази до губитка квалитета у сигналу. Због тога је расподеле вероватноће веома важна у телекомуникацијама. За симулацију ефекта шума често се користе генератори случајних бројева. Ови генератори су уграђени у софтверске пакете, као што је то случај и са MathLab софтверским пакетом. За генерисање случајних бројева који имају Гаусову расподелу користи се функција `randn(n,m)`. Ова функција генерише матрицу димензија  $n \times m$ , чији елементи имају Гаусову расподелу средње вредности 0 и стандардне девијације 1. Рачунање средње вредности и стандардне девијације овакво дефинисаног низа случајних бројева се обавља функцијама `mean(x)` и `var(x)`, где је  $x$  вектор у коме су случајни бројеви смештени.



*Графикон 3.1.1. Пример генерисања 1000 случајних бројева који поседују Гаусову расподелу*

На графикону 3.1.1 приказан је пример генерисања 1000 случајних бројева који поседују Гаусову расподелу. На X-оси приказано је 1000 узорака, док су на Y-оси приказани генерисани случајни бројеви у распону од  $[-4*k, \dots, 4*k]$ , где “ $k$ ” представља коефицијент који дефинише опсег бројева са којима треба да се генерише база случајних бројева.



*Графикон 3.1.2. Хистограм примера генерисања 1000 случајних бројева са Гаусовом расподелом*

Графикон 3.1.2 приказује учестаност појављивања одређених бројева у односу на максималан број узорака. Дакле ради појашњења, уколико би сабрали све вредности по Y-оси тј. на ординати требало би да се добије вредност 1000.

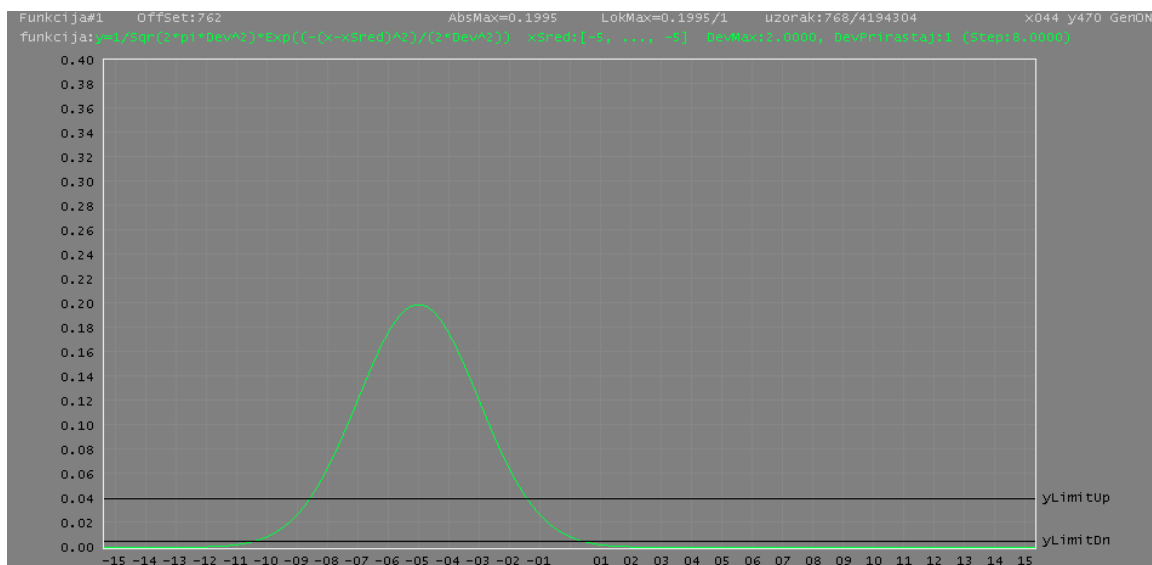
Функција густине вероватноће случајно генерисаних елемената се рачуна по формули:

$$f_x = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(g-m)^2}{2\sigma^2}}.$$

Променљива  $\sigma$  је стандардна девијација, док  $m$  претставља средњу вредност, а  $g = \sigma * \text{rand}(1.1000) + m$ .

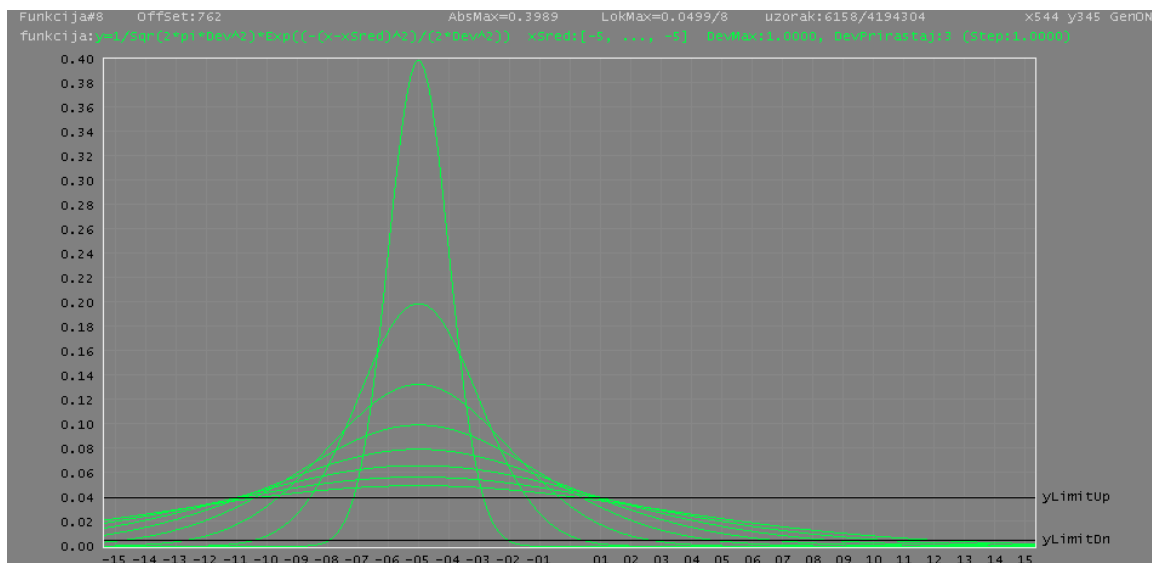
На графиконима 3.1.3, 3.1.4 и 3.1.5 приказана је Гаусова функција густине вероватноће, за више случајева средњих вредности и девијација. Треба истаћи да су

графикони рађени преко апликације која је посебно написана за ову намену. На Гаусовим функцијама које ће бити приказане  $\sigma$  је замењена са „Dev”, а  $m$  са „xSred ”. Ово је урађено ради лакших асоцијација на терминологију.



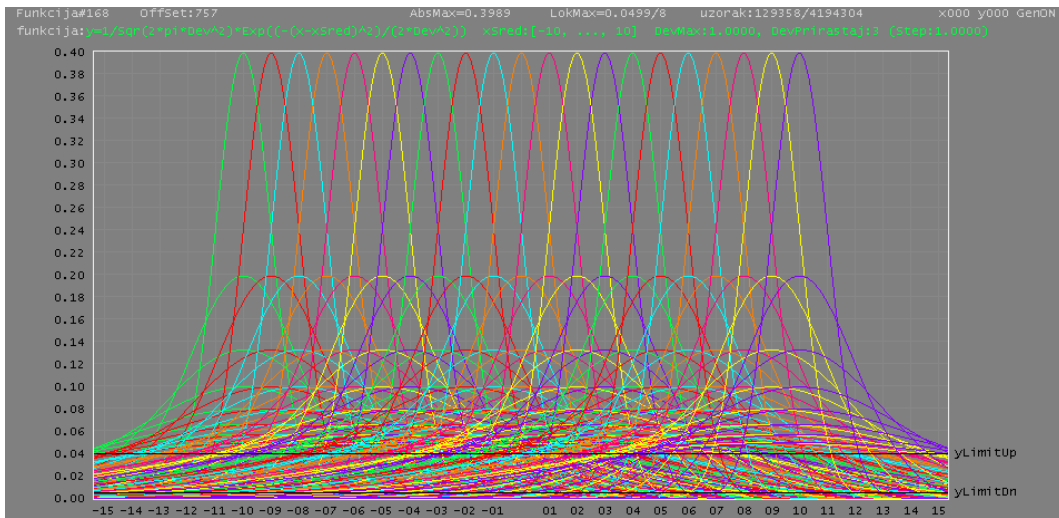
*Графикон 3.1.3. Гаусова функција густине вероватноће за Dev=2, xSred=-5*

Промена облика Гаусове функције је потпуно идентична са променом девијације. Почетна вредност девијације ће бити “1.0”, да би се она даље увећавала за изабрану вредност, у овом случају “1.0”, следеће вредности девијације би биле 2.0, 3.0, итд. до 8.0.



*Графикон 3.1.4. Гаусова функција густине вероватноће за Dev:[1, ..., 8], xSred=-5*

Са графикана 3.1.4 се може констатовати да са порастом девијације опада максимална вредност Гаусове функције, што узрокује и промену облика функције. Графикон 3.1.5 показује како би се заједно мењале вредности „Dev”, „xSred”.

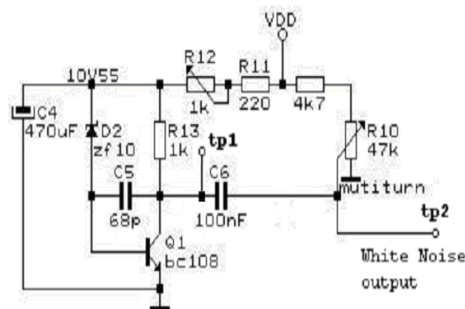


Графикон 3.1.5. Гаусова функција густине вероватноће за Dev:  $[1, \dots, 8]$ , xSred:  $[-10, \dots, 10]$

Може се захлучити да је највећа густина вероватноће управо у изабраном опсегу за вредности амплитуде од:  $[0.005, \dots, 0.04]$ . Овај опсег је означен двема хоризонталним црним линијама. Иначе ова апликација поред графика генерише и два излазна фајла. У првом се налази комплетан садржај вредности Гаусових функција, са пратећим подацима, а у другом само онај део који је обележен хоризонталним црним линијама.

### 3.2. Начин генерисања белог шума преко зенер диоде

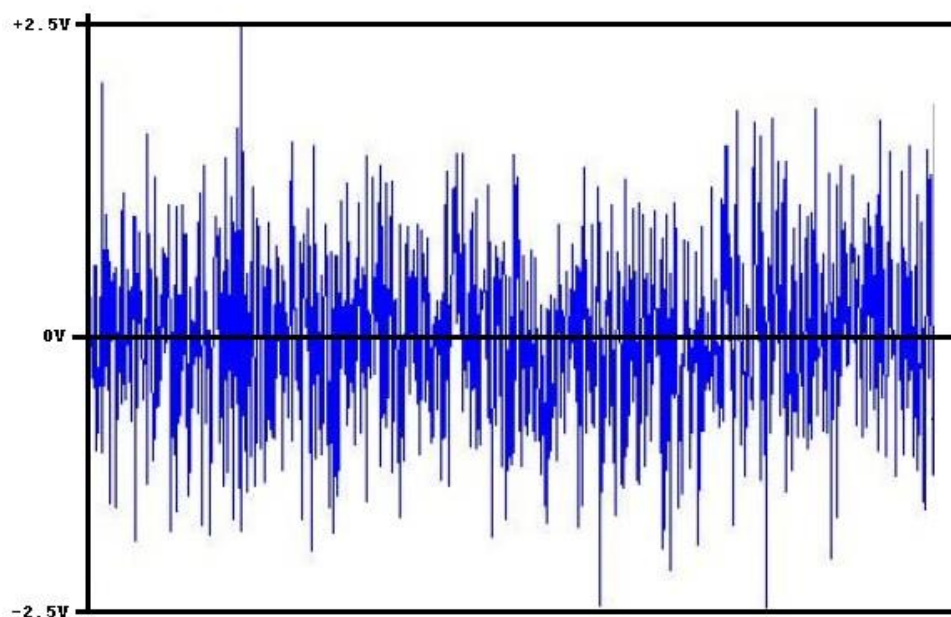
За даљу анализу и потребе овога рада, на основу шеме која је приказана на слици 3.2.1, хардверски је реализован генератор белог шума.



Слика 3.2.1. Шематски приказ генератора белог шума

Бели шум је користан за тестирање филтерских секција и других телекомуникационих електронских склопова, али су комерцијални генератори белог шума скупи и компликовани за реализацију. У овом раду бели шум ће бити коришћен за генерисање случајних бројева. Овај генератор је базиран на лавинском шуму који се јавља на доњем прагу појаве зенеровог напона код инверзно поларизованог PN споја. Овај шум је интензиван и има равну амплитудно-фреквенцијску карактеристику (White) по целом опсегу. Зенер диоде се стандардно користе у области инверзне поларизације, тј. Зенеровог пробоја. Производе се за различите вредности  $V_Z$  (литература: Z. Prijić, Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet, Katedra za mikroelektroniku, predavanja "Elektronske komponente - Diode", 2014).

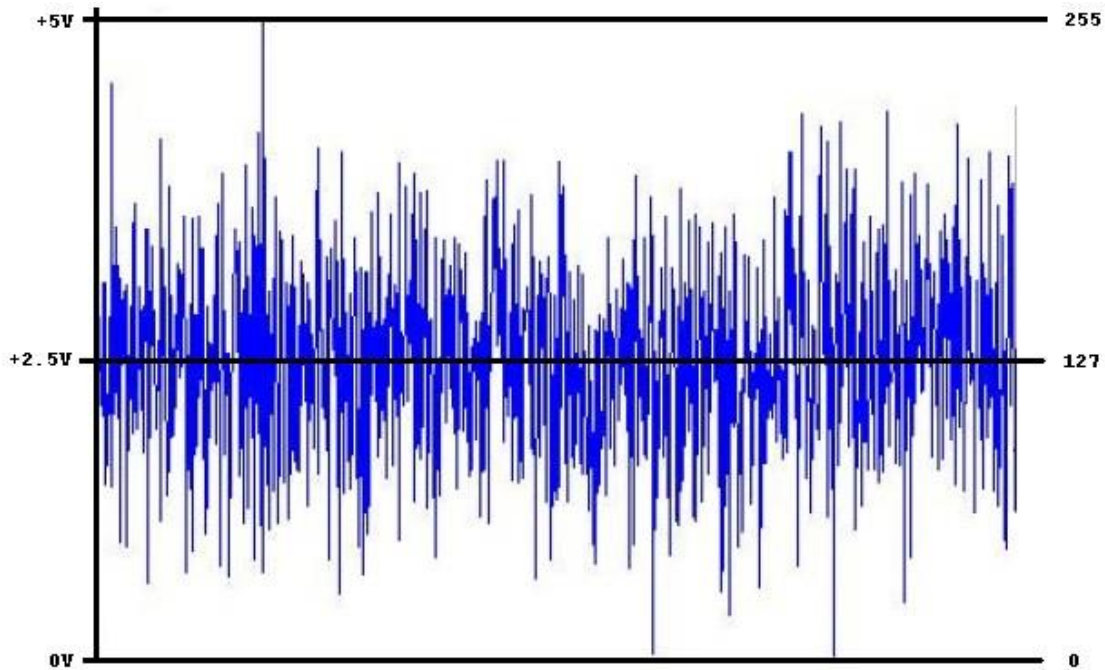
Са слике 3.2.1 се види да је VDD основни једносмерни напон напајања комплетног уређаја и он износи 12V. Тример потенциометром R12 се подешава вршна амплитуда ( $V_{pp}$ ) излазног сигнала на контролном мерном месту tp1, односно максимални напон белог шума. Овај напон се креће у границама од -2.5V до +2.5V, што је приказано на графикону 3.2.1.



**Графикон 3.2.1.** Вредност сигнала на tp1 (*x* оса –временска, *y* оса - напонска)

Обзиром да је опсег аналого-дигиталног конвертора, који ће узимати узорке из овог сигнала, 0V-5V горњи сигнал је потребно конвертовати у поменути опсег, за шта је задужен тример потенциометар R12 који практично додаје DC носилац од 2.5V на горњи сигнал, што се може и видети на контролној тачки tp2, графикон 3.2.2.





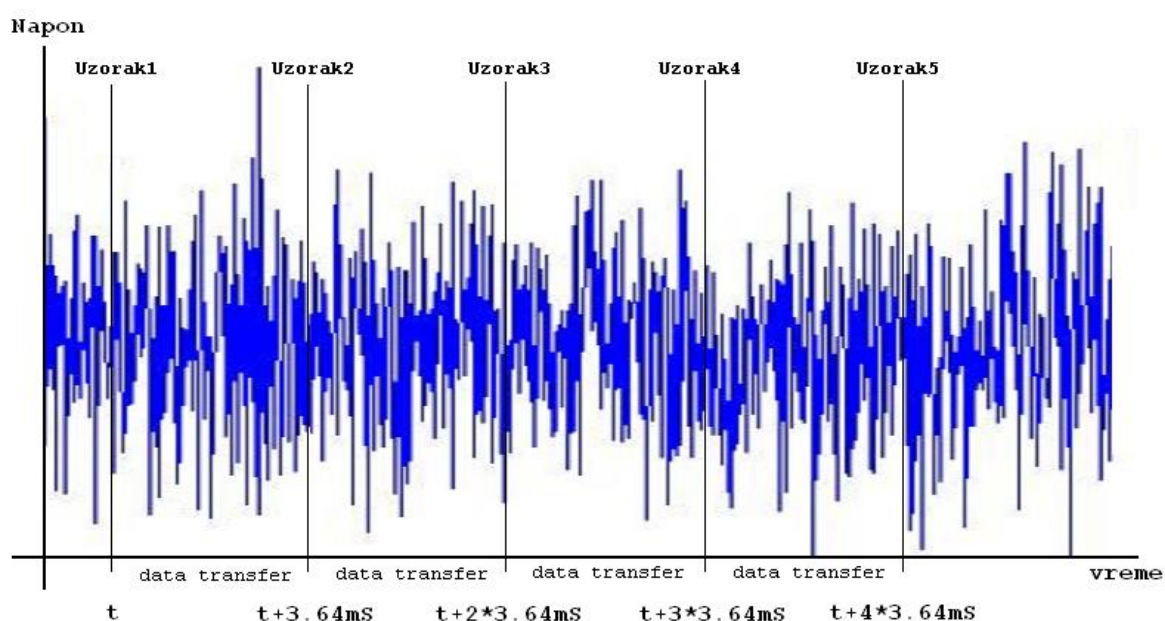
Графикон 3.2.2. Вредност сигнала на  $tp2$

АД конвертор употребљеног микроконтролера је 10-битни, а теоретска брзина узорковања је  $2.4\mu S$  по узорку. Због велике улазне осетљивости АД конвертора, за изабрани опсег од 5V, у неким случајевима ћемо 10-битну вредност шифтовати два пута у десно, тј. поделићемо је са четири. Дакле излазна вредност АД конвертора ће се кретати у опсегу од 0 до 255. Треба напоменути да програмирани микроконтролер у своју радну меморију смешта 1024 узорка, па их тек онда шаље ка рачунару. Оваква концепција је усвојена да би се избегао синхрони размак, између узорака, који је последица преноса података ка рачунару, што ће даље бити приказано и објашњено детаљније. Следећа слика приказује један начин рада уређаја, где видимо да се прво узима узорак са АД конвертора, а затим се његова напонска вредност шаље ка рачунару. Учесталост узимања узорака диктира брзина преноса података ка рачунару. Конкретно, после узимања једног узорка његова напонска вредност се претвара у стринг дужине четири бајта, на ово се даље додају по један старт и стоп бајт, као и један контролни бајт, значи укупно седам бајтова за пренос (по једном узорку). Дакле ако је брзина преноса 19200bps, односно  $52\mu S$ , тада изводимо временску рачуницу, за дужину трансфера података, на следећи начин:

- Бајт има осам битова, али када се додају по један старт и стоп бит, може се сматрати да је у трансферу сваки бајт дугачак десет битова.
- за пренос  $7 \cdot 10 = 70$  битова,  $70 \text{ битова} \cdot 52\mu S = 3.64mS$

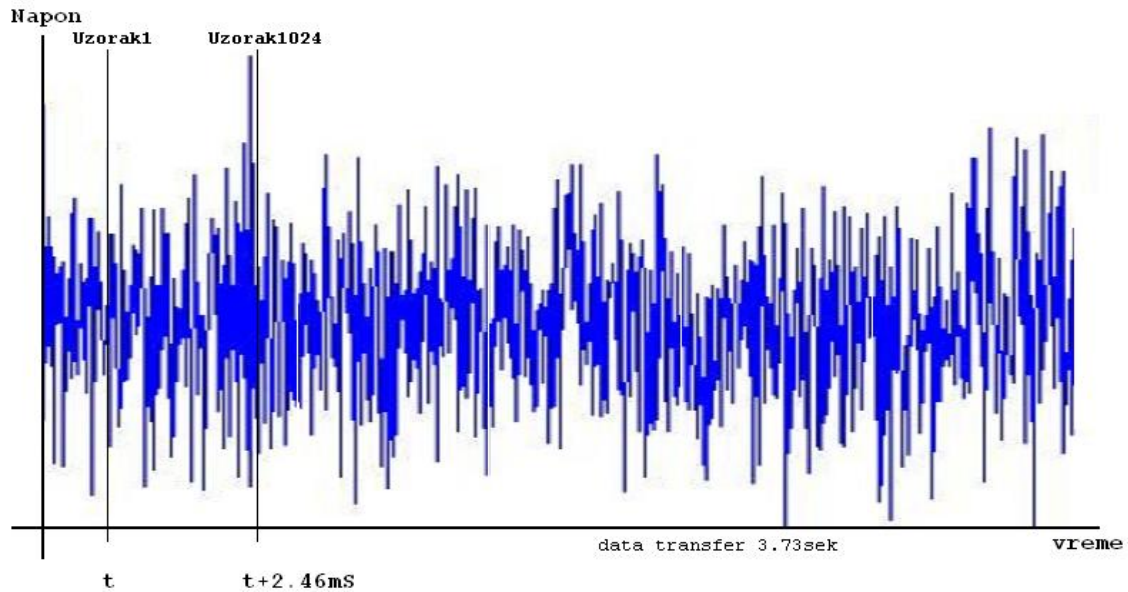
Потребно је напоменути да вредност од  $52\mu S$  није обрачуната са децималним делом, јер је овде циљ да се покаже до чега би евентуално могао да доведе овакав начин узимања узорака и њиховог преноса, за шта није потребна претерана прецизност.

Значи узорковање ће се радити на сваких  $3.64mS$ . Анализирајући графикон 3.2.3 уочава се да сва четири узорка имају малу вредност по амплитуди, чак су те вредности и сличне међу собом. Ово наравно не мора да претставља правило, али ће касније бити врло интересантно упоредити и прокоментарисати наредне две слике јер су настале на основу истог облика сигнала.



**Графикон 3.2.3.** Вредност сигнала на  $tp2$  (пренос података) са узорцима

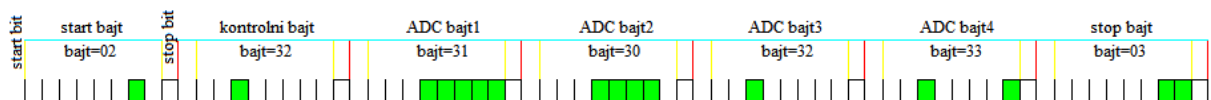
На основу сигнала са графика 3.2.4 може се закључити да се ово не би десило да је прво узета одређена количина узорака у размацама од  $2,4\mu S$  (максимална брзина узорковања за употребљени микроконтролер), а да је трансфер те групе података обављен тек после тога.



**Графикон 3.2.4.** Вредност сигнала на  $tp2$  (пренос података) са узорцима од по 1024

У овом случају узима се група од 1024 узорака са размаком од  $2.4\mu S$ , па множењем ове две вредности долазимо до потребног времена за 1024 узорака и оно износи  $1024 * 2.4\mu S = 2.46mS$ . Сада следи пренос меморисаних података, а рачуница за дужину преноса износи  $1024 * 3.64mS = 3.73sek$ . Потребно је напоменути да је за пренос једног узорка са ADC конвертора потребно  $3.64mS$ , а да је минимално време за аналогно-дигиталну конверзију  $2.4\mu S$ . Посматрајући графички приказ између првог и последњег узорка, можемо да закључимо да се амплитуде тих узорака веома разликују, што је и био циљ избора оваквог начина прикупљања узорака, у односу на претходни. Графикон 3.2.5 приказује метод паковања и слања једног узорка.

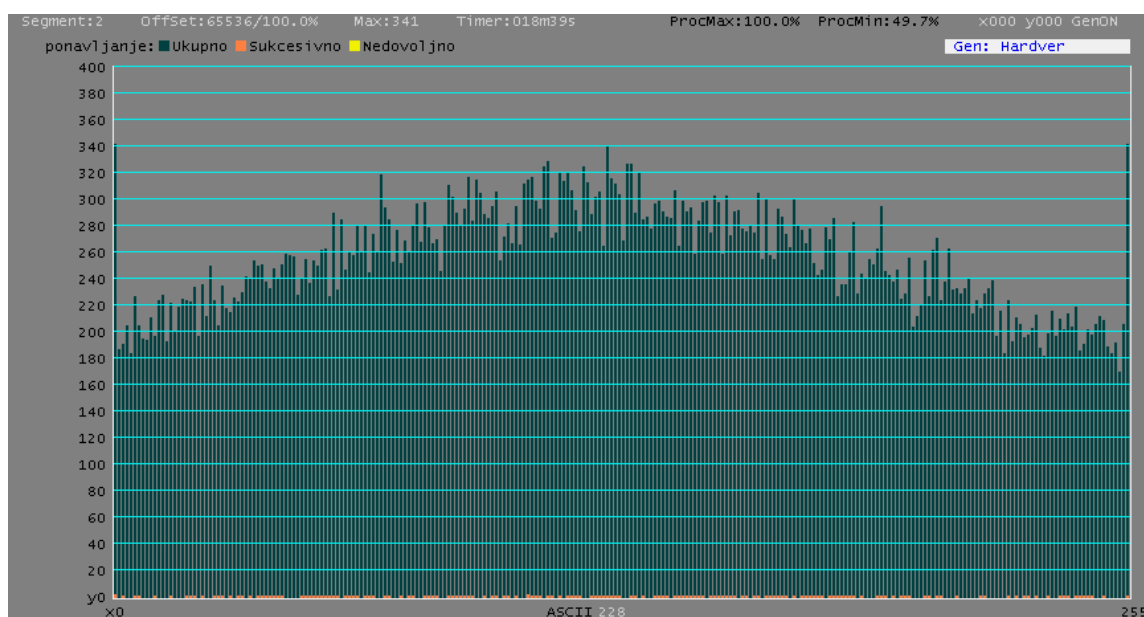
Format podataka za jednu Analogno-Digitalnu konverziju (7 bajtova)



**Графикон 3.2.5.** Изглед пакета за један генерисани узорак ( $ADC=1023$ )

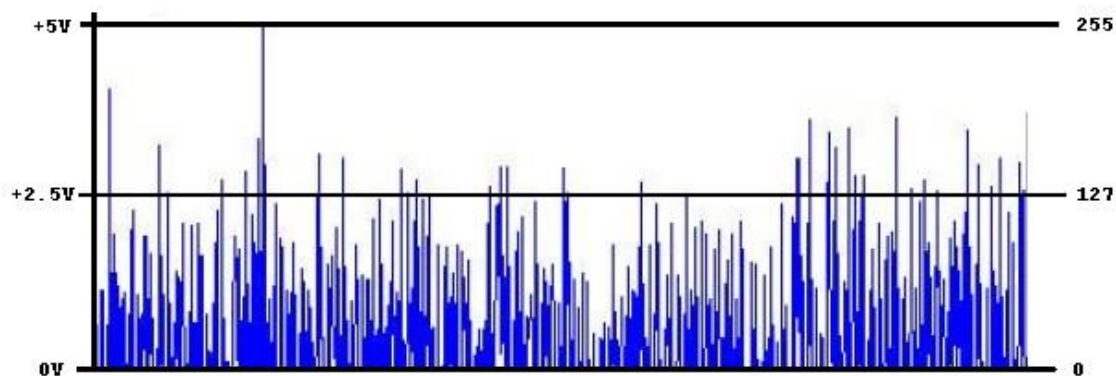
### 3.3. Софтверске апликације за генерисање база података случајних бројева

Анализирањем графикана 3.2.2. може се уочити да бројеви груписани око средине опсега имају најучесталије појављивање. На истом графкону се налази приказ прикупљених 65536 узорака. Ови подаци се такође смештају у посебан фајл у одговарајућем фолдеру.



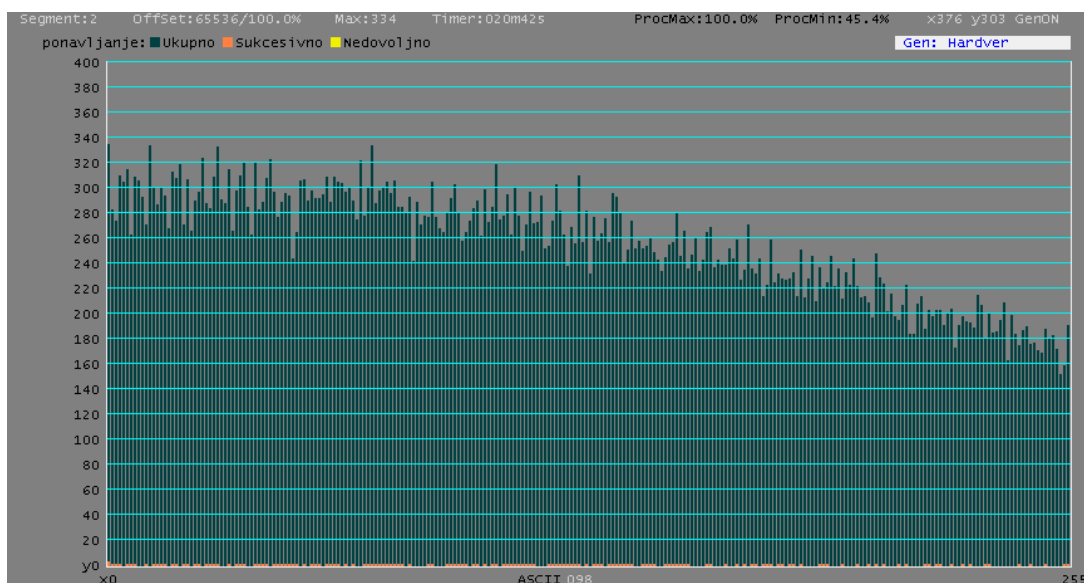
Графикон 3.3.1. Хистограм 65536 прикупљених узорака

Код графика оваквог типа вредности на Y-оси представљају колико се пута неки број са X-осе појавио у бази од 65536 узорака. Па у овом случају пример потенциометрима подешавамо да сигнал шума на tr2 изгледа као на графикону 3.3.2.



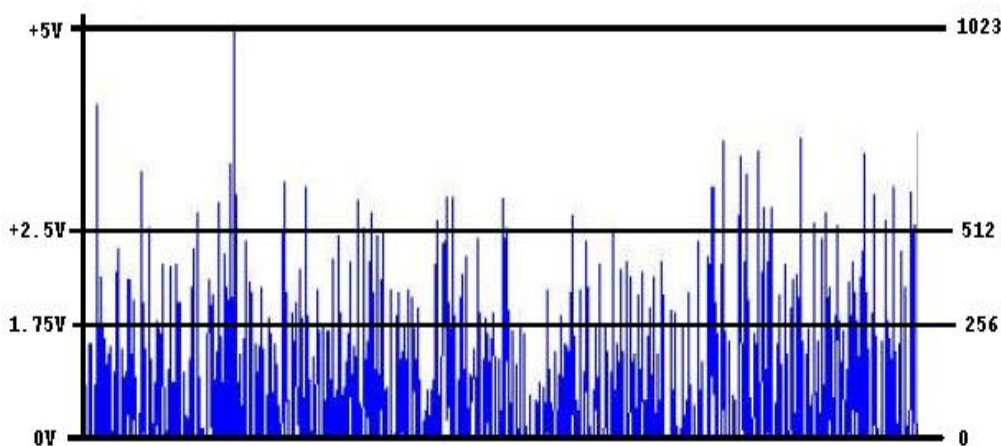
Графикон 3.3.2. Сигнал на tr2 приказан односом напона и 8-битног записа

Може се уочити да је највећи део концентрације прикупљених узорака у доњем делу опсега.



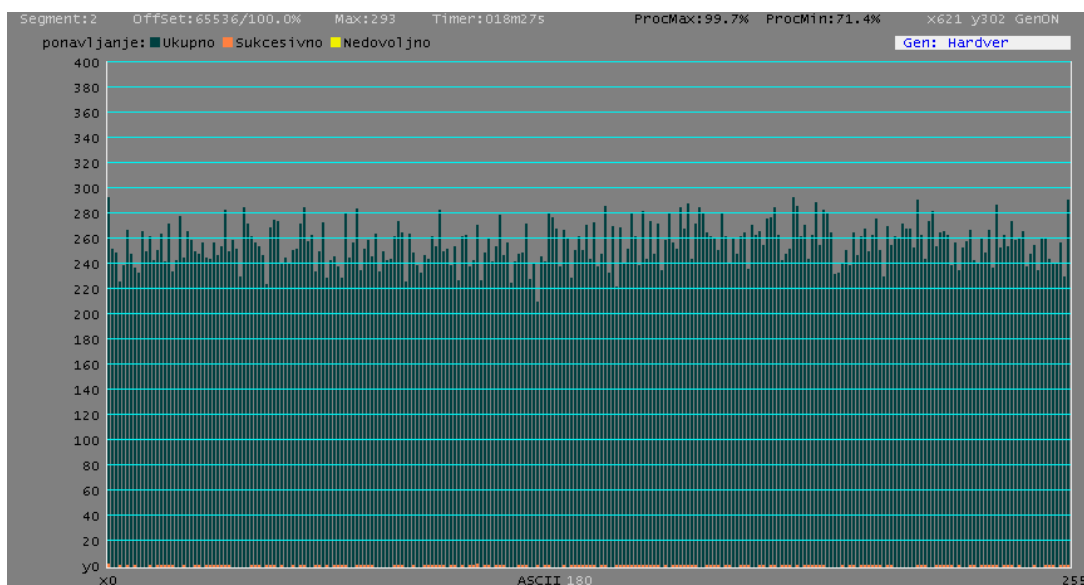
Графикон 3.3.3. Сигнал на  $tr_2$  посматран кроз вредност ентропије

На графикону 3.3.3 је приказан сигнал добијен на  $tr_2$ , посматран кроз вредност ентропије. Сада не мењамо вредност тример потенциометра, али на апликацији за пријем, приказивање и анализу случајних узорака активирамо опцију Write&255, а AD конвертор подешавамо на 10 бита. Сигнал белог шума ће се изгледати као на графикону 3.3.4.



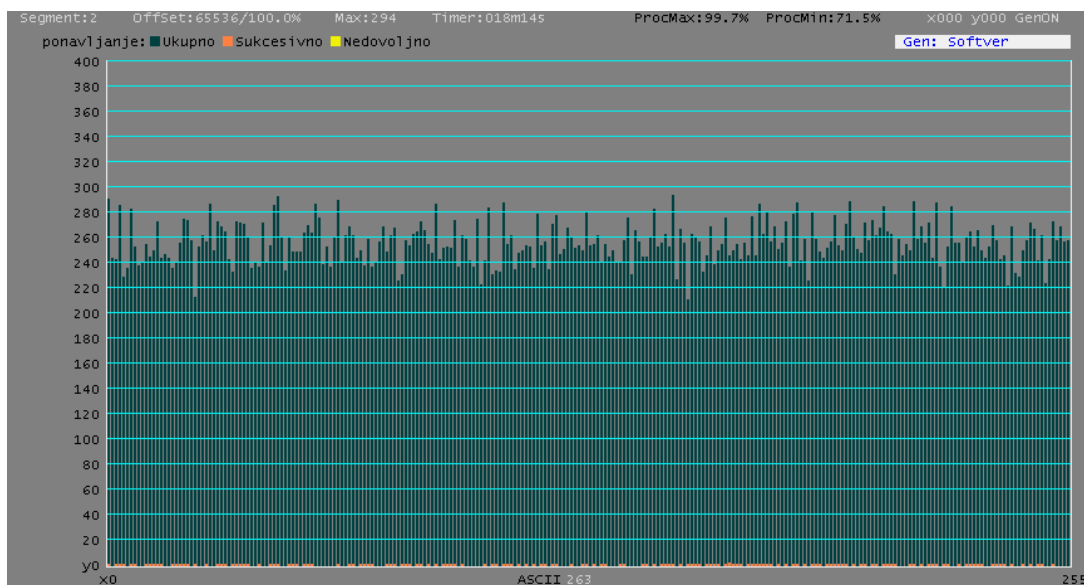
Графикон 3.3.4. Сигнал белог шума

Графикон 3.3.5 показује базу када је над сваким узорком извршена операција конјункције односно AND255, тако да су све вредности изнад 255 тј. 1,75V сведене на вредност првих осам бита (нпр.  $1000 \text{ AND } 255=232$ ).



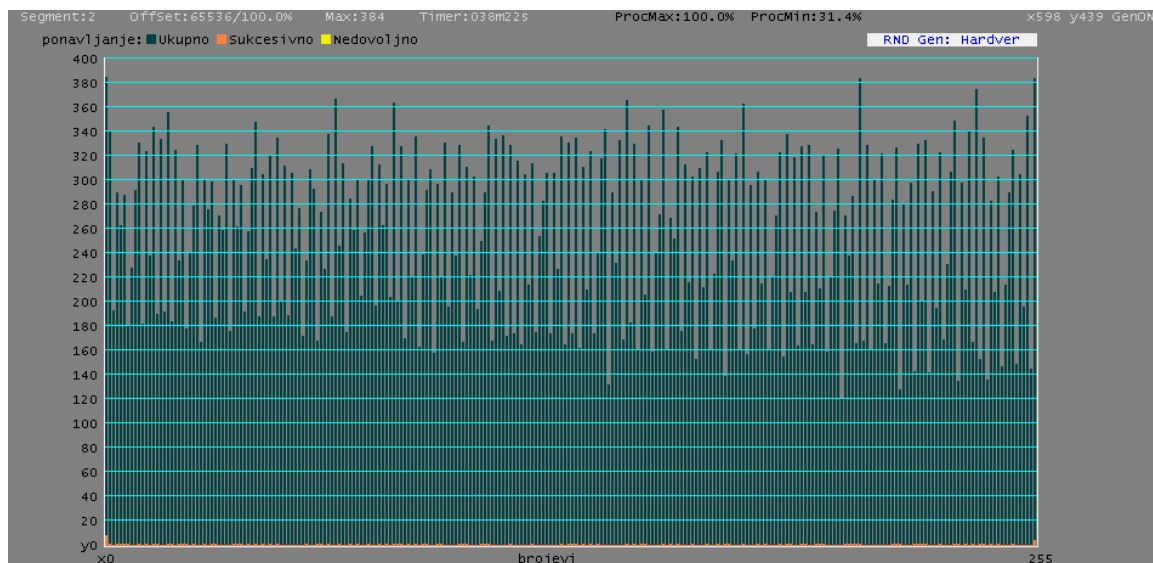
Графикон 3.3.5. База настала од хардверског RND генератора

Графикон 3.3.6 показује учесталост појаве бројева релативно равномерно распоређених, подсећа на “Random” функцију која се генерише у неким програмским језицима или софтверским пакетима.



Графикон 3.3.6. База настала из интерног (PC) RND генератора

На графикону 3.3.7 приказан је још један интересантан пример, генерисања учесталости случајних бројева.



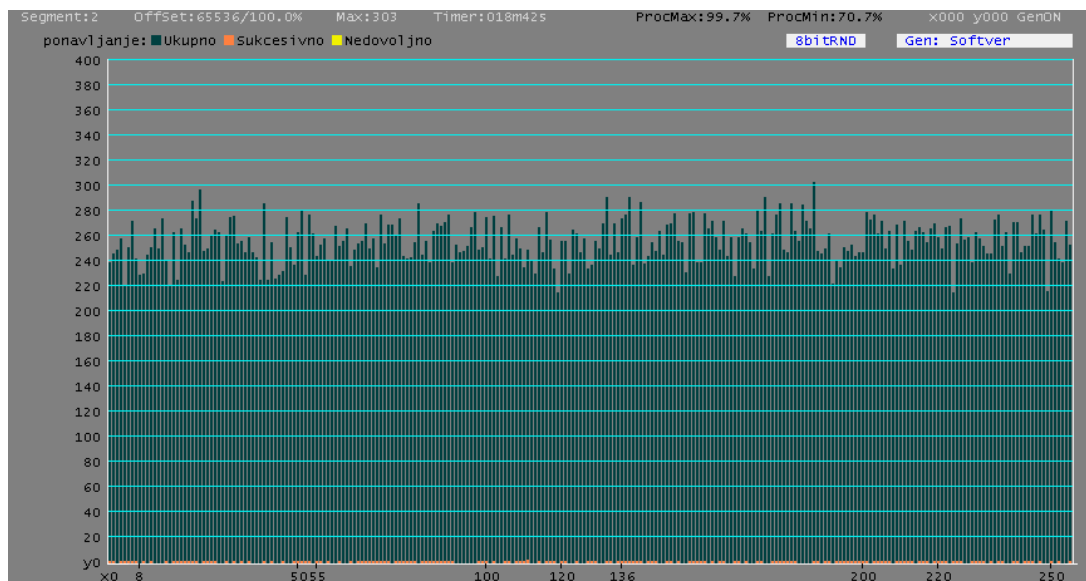
**Графикон 3.3.7.** База настала од хардверског RND генератора

Као што се види из претходних примера и графикона, можемо делимично (индиректно) да утичемо на учесталост појаве случајних бројева, односно узорака, што се другачије назива Ентропија. Појам “индиректно” значи да физички не мењамо садржај већ формиране базе случајних бројева, односно нема накнадне обраде те базе бројева. Дакле утицај се остварује приликом самог генерисања случајних бројева.

### 3.4. Поређење и анализа база случајних бројева, појам ентропије

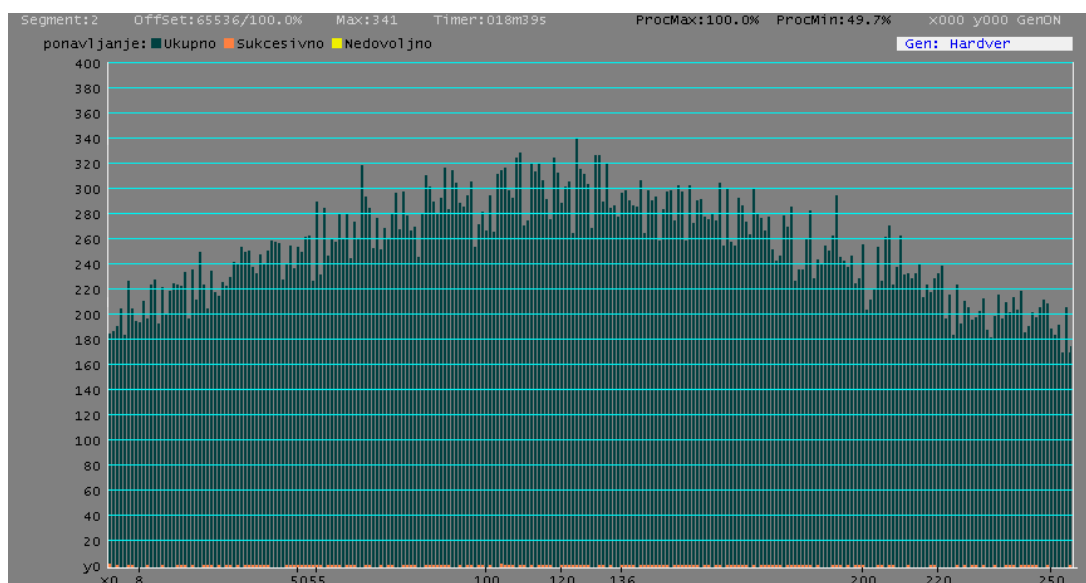
Појам ентропије најбоље се може објаснити помоћу графикона који приказују учесталост појављивања случајних бројева са софтверским и хардверским генератором. У наредном делу приказани су графикони садржаја три, већ формиране, базе података. На X- осци, у доњем делу, сваког графикона су обележени одређени бројеви чија ће учесталост и динамика појављивања бити накнадно детаљно анализирани.





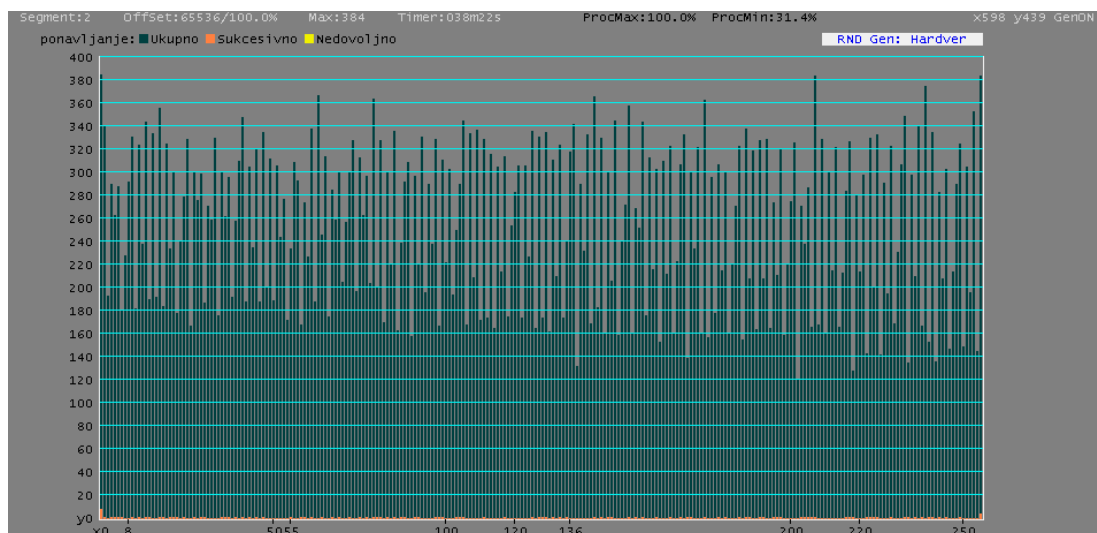
Графикон 3.4.1. Софтверски генерисана база случајних бројева

Треба напоменути да већина софтверских генератора случајне бројеве генерише на основу низа псеудо-случајних бројева.



Графикон 3.4.2. Хардверски генерисана база случајних бројева (бели шум)

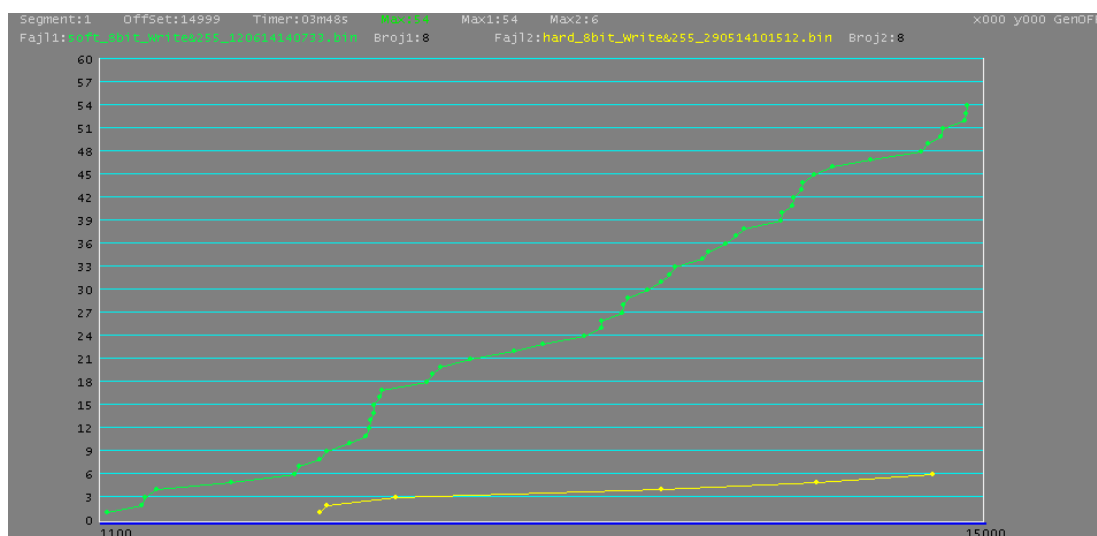




Графикон 3.4.3. Хардверски генерисана база случајних бројева (бели шум)

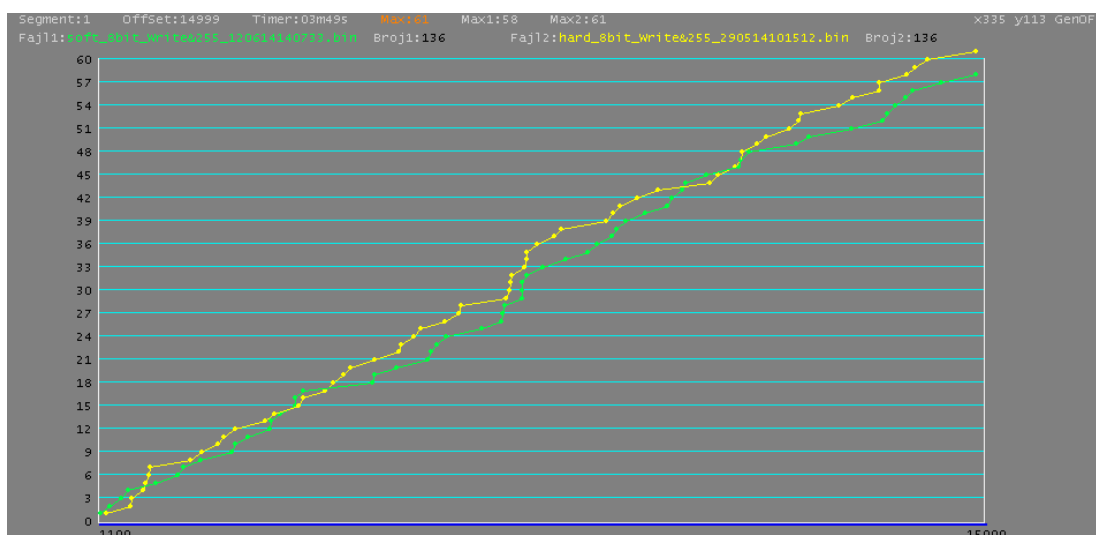
Ентропија је појам који је уско везан за област случајних бројева. Ентропија би најприближније могла да се дефинише као мера, односно степен, уређености неког хаотичног стања, у овом случају базе случајних бројева. Тачније што је нешто мање предвидиво тада је ентропија већа.

Веома је значајно издвојити одређене случајне бројеве из све три базе и пропратити њихову динамику појављивања. Дакле, оно што је на први поглед уочљиво је то, да је учесталост појављивања бројева на графикону 3.4.1 релативно равномерна у односу на учесталост појављивања бројева на графиконима 3.4.2 и 3.4.3. Ово такође значи да је и ентропија на графиконима 3.4.2 и 3.4.3 израженија него на графикону 3.4.1.



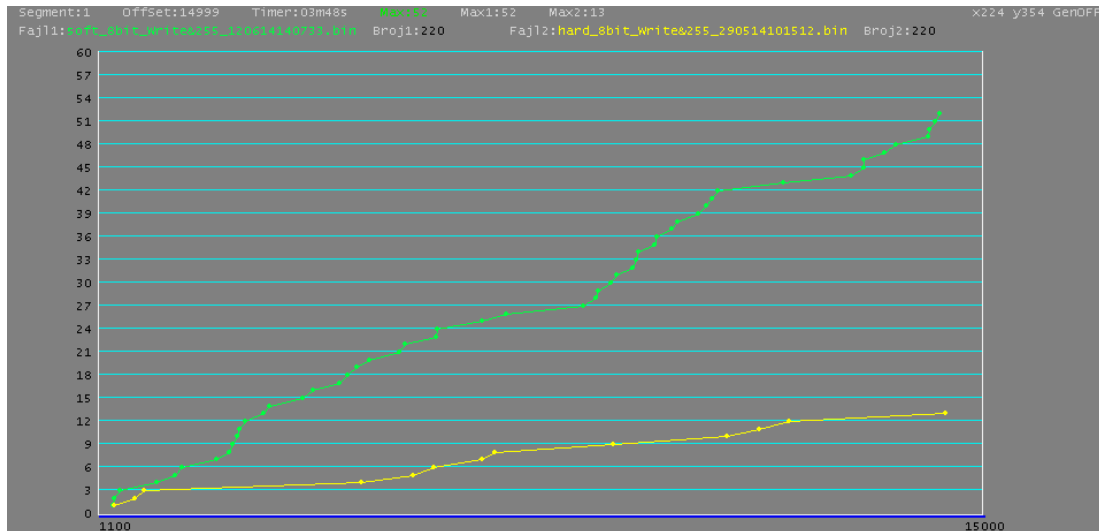
Графикон 3.4.4. Динамика појављивања два иста броја из две базе (графикони 3.4.1 и 3.4.2)

На хоризонталној оси је приказан меморијски опсег базе у коме ће одређени број-узорак бити приказан, то је на неки начин и временска оса која је у дирекној пропорцији са дужином генерисане базе случајних бројева. Вертикална оса представља количину понављања узорака у бази. Дакле, две приказане криве представљају динамику појављивања броја (8) из базе са слике 3.4.1 и базе са слике 3.4.2 и то од у опсегу од 1100-ог бајта до 15000-ог бајта обе базе. Зелена крива представља динамику појављивања броја (8), из базе псеудо-случајних бројева, коју је генерисао рачунар, док жута крива приказује динамику истог броја из базе случајних бројева формиране на основу белог шума. Закључујемо да је рачунар за изабрани опсег тј. период генерисао број 54 пута, док је интерфејс, на основу белог шума, исти број генерисао само шест пута. Због бољег разумевања треба објаснити још пар примера да би могли да направимо ваљану анализу ентропије.



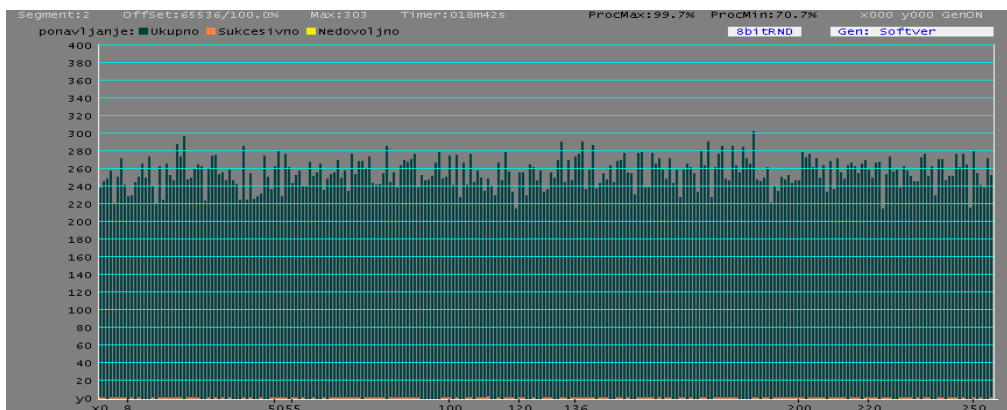
**Графикон 3.4.5.** Динамика појављивања два иста броја из две базе (график. 3.4.1 и 3.4.2)

Графикон 3.4.5 потврђује оно што је очигледно са графикона 3.4.1 и 3.4.2, односно да је количина генерисаних узорака броја (136), у обе базе, у сегменту око средине, врло слична, па због тога и криве подсећају једна на другу.

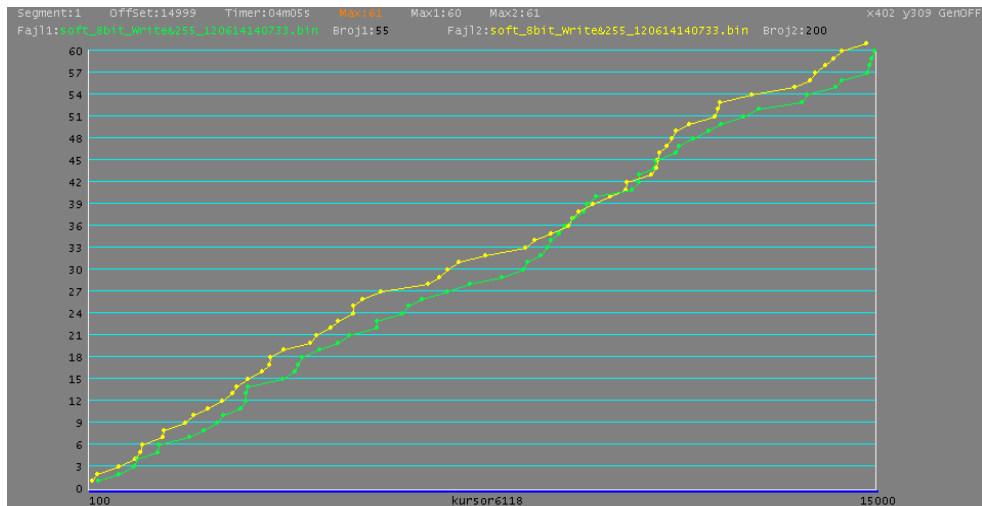


**Графикон 3.4.6.** Динамика појављивања два иста броја из две базе (график. 3.4.1 и 3.4.2)

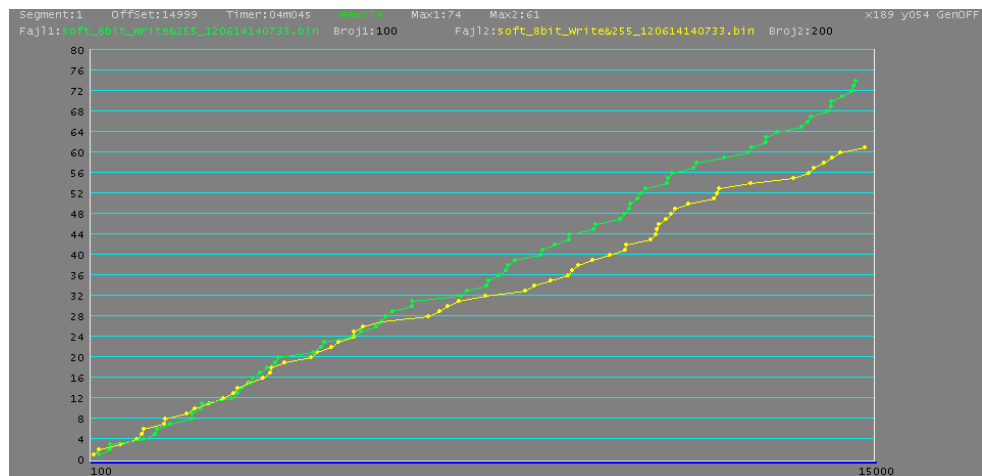
Поново очекивана ситуација у односу на графиконе 3.4.1 и 3.4.2, због чега је и овај графикон веома сличан са графиконом 3.4.4. Са друге стране веома је индикативно, на графикону 3.4.4 генератор псеудо-случајних бројева из рачунара генерисао је 54 пута број (8), на слици 3.4.5 генерисао је 58 пута број (136), а на слици 3.4.6 генерисао је 52 пута број (220). Оваква расподела доводи до тога да криве подсећају једна на другу, и то наводи на закључак да је рачунарски генератор псеудо-случајних бројева, у конкретном случају, уравнотежен, што значи низак ниво ентропије. Ово би могло код неких практичних алгоритама да доведе у питање квалитет кодирања података, или неких сличних примена које у току свог рада користе неку базу случајних бројева. Као прилог овог закључка приказаћемо и неколико графикона који су настали из исте базе случајних бројева, али оне коју је формирао рачунар. Из разлога боље прегледности потребно је поново приказати ту базу.



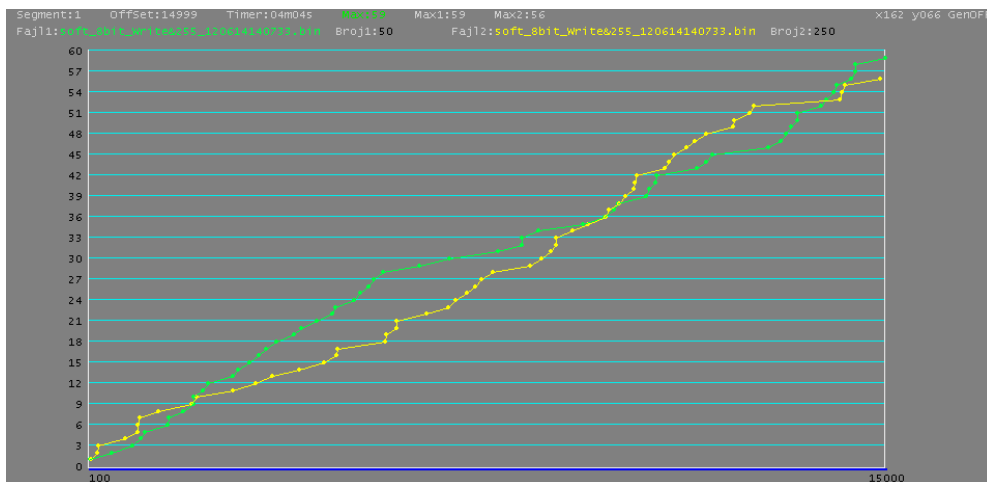
**Графикон 3.4.7.** Софтверски генерисана база случајних бројева



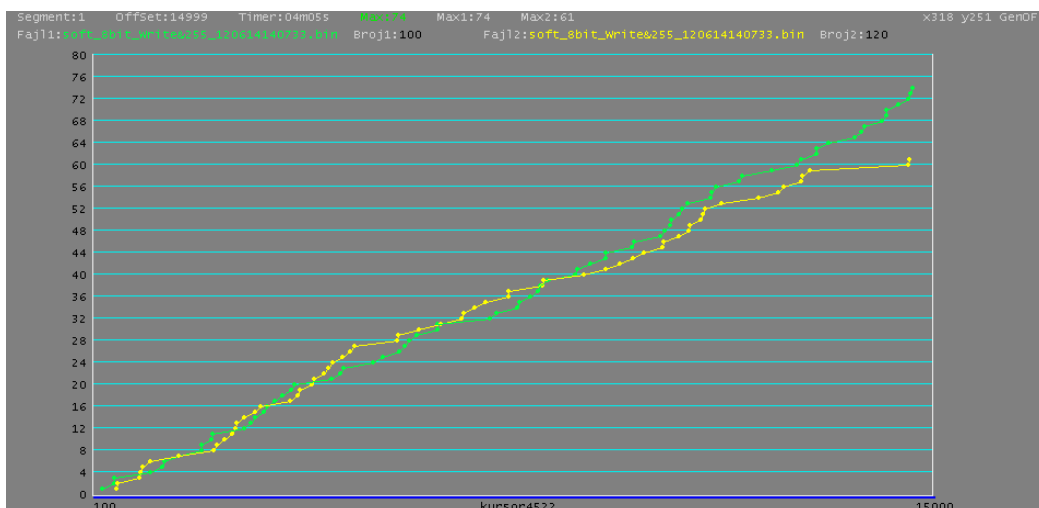
**Графикон 3.4.8.** Динамика појављивања два различита броја из исте базе



**Графикон 3.4.9.** Динамика појављивања два различита броја из исте базе

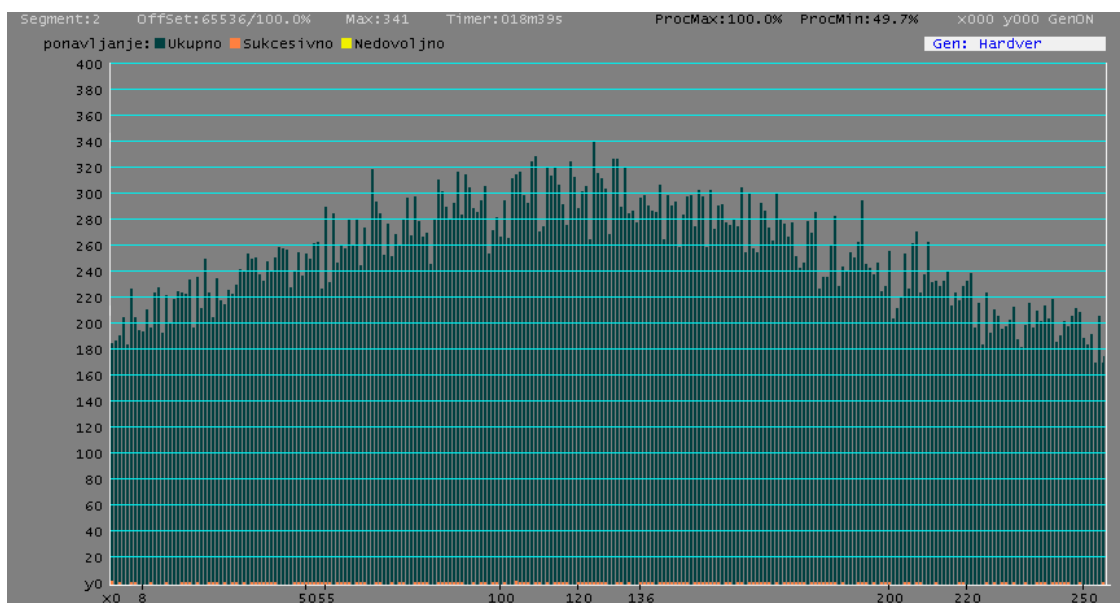


**Графикон 3.4.10.** Динамика појављивања два различита броја из исте базе

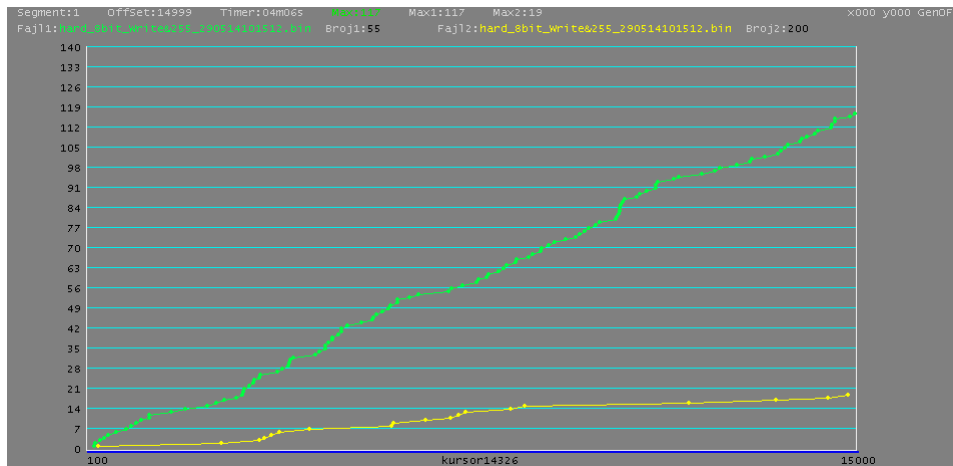


Графикон 3.4.11. Динамика појављивања два различита броја из исте базе

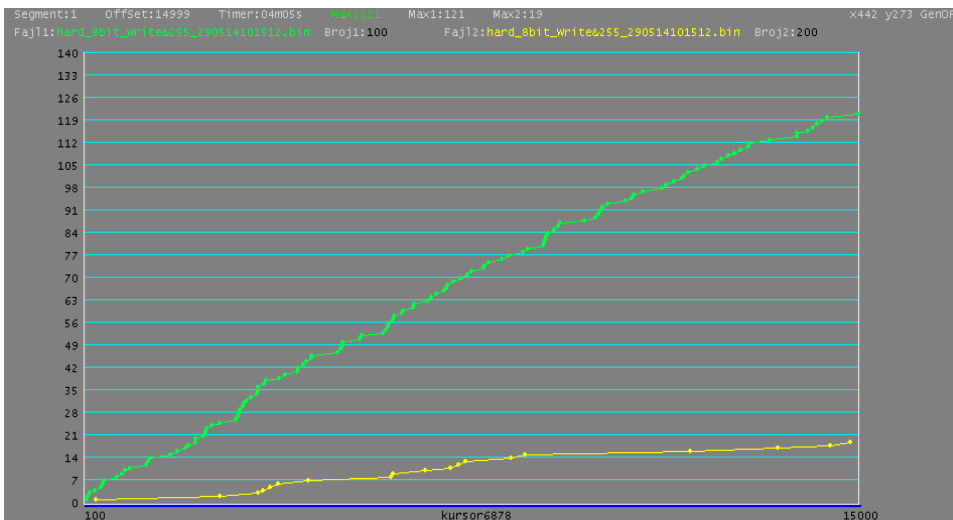
Дакле из претходних графикана (3.4.8, 3.4.9, 3.4.10 и 3.4.11) је очигледно да је динамика генерисања истих узорака-бројева веома слична у изабраном сегменту. Значи ентропија је ниска, односно постоји одређена уређеност у бази случајних бројева. Веома је интересно погледати како ово изгледа, под истим условима, али везано за прву базу случајних бројева које је генерисао хардверски интерфејс.



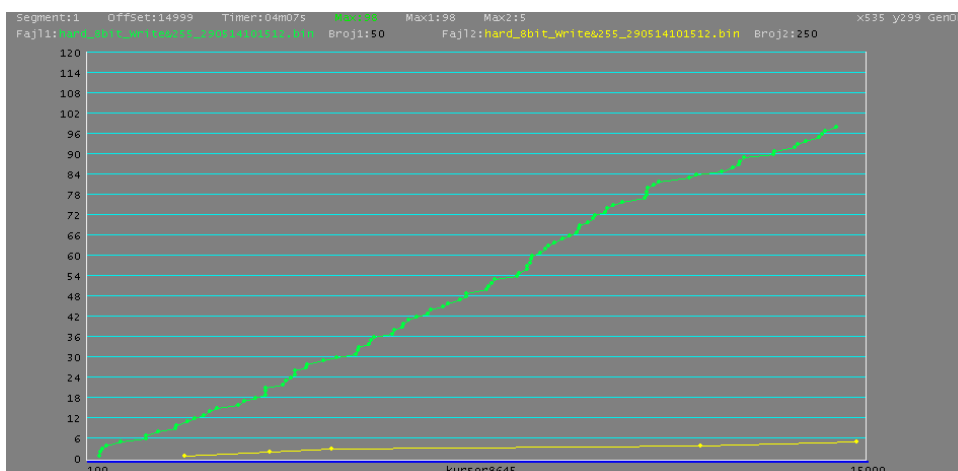
Графикон 3.4.12. Хардверски генерисана база случајних бројева



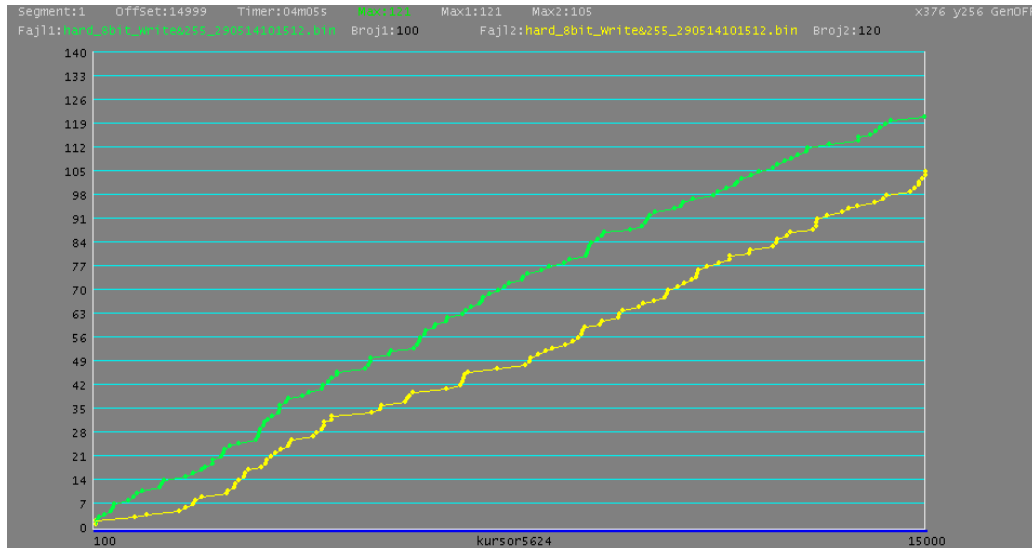
Графикон 3.4.13. Динамика појављивања два различита броја из исте базе



Графикон 3.4.14. Динамика појављивања два различита броја из исте



Графикон 3.4.15. Динамика појављивања два различита броја из исте базе



**Графикон 3.4.16.** Динамика појављивања два различита броја из исте базе

Претходна група графикона (3.4.13, 3.4.14, 3.4.15 и 3.4.16) је везана, као што је речено, за базу бројева коју је генерисао хардверски интерфејс. Ови графикони показују повећање ентропије у односу на софтверски генератор псеудо-случајних бројева. Такође се са поменутих графикона види да динамика бројева није уравнотежена константно кроз целу базу за све бројеве, што је и требало да се покаже. Група софтверских апликација за различите врсте анализа, прикупљених случајних бројева, је посебно израђена за ову намену и ауторско је дело. Ове апликације нуде низ аналитичких приказа и метода ради што лакшег и разноврснијег увида у генерисану базу случајних бројева. На пример апликација сама генерише фајл у коме се налази статистика учесталости сваког броја.

У табели 3.4.1. дат је приказ статистике учесталости појављивања случајних бројева у базама овог типа. Апликација аутоматски генерише ову статистику за сваку формирану базу.

000:385(8)/100.0%

003:290(1)/75.3%

006:180(1)/46.8%

001:341(1)/88.6%

004:263(1)/68.3%

007:228(0)/59.2%

002:193(0)/50.1%

005:288(1)/74.8%

008:292(0)/75.8%

---

|                  |                  |                  |
|------------------|------------------|------------------|
| 009:331(1)/86.0% | 042:188(0)/48.8% | 075:313(1)/81.3% |
| 010:182(0)/47.3% | 043:305(1)/79.2% | 076:263(0)/68.3% |
| 011:324(1)/84.2% | 044:235(0)/61.0% | 077:297(1)/77.1% |
| 012:238(0)/61.8% | 045:321(1)/83.4% | 078:204(0)/53.0% |
| 013:344(1)/89.4% | 046:188(0)/48.8% | 079:364(1)/94.5% |
| 014:190(1)/49.4% | 047:335(1)/87.0% | 080:200(1)/51.9% |
| 015:334(0)/86.8% | 048:201(0)/52.2% | 081:328(1)/85.2% |
| 016:192(0)/49.9% | 049:312(0)/81.0% | 082:170(0)/44.2% |
| 017:356(1)/92.5% | 050:189(0)/49.1% | 083:301(1)/78.2% |
| 018:184(1)/47.8% | 051:306(0)/79.5% | 084:221(0)/57.4% |
| 019:325(0)/84.4% | 052:244(0)/63.4% | 085:336(1)/87.3% |
| 020:234(1)/60.8% | 053:277(0)/71.9% | 086:163(0)/42.3% |
| 021:301(1)/78.2% | 054:172(0)/44.7% | 087:239(1)/62.1% |
| 022:178(1)/46.2% | 055:234(1)/60.8% | 088:292(1)/75.8% |
| 023:240(0)/62.3% | 056:309(0)/80.3% | 089:309(0)/80.3% |
| 024:279(1)/72.5% | 057:293(0)/76.1% | 090:158(0)/41.0% |
| 025:329(0)/85.5% | 058:168(1)/43.6% | 091:297(1)/77.1% |
| 026:167(0)/43.4% | 059:274(1)/71.2% | 092:221(1)/57.4% |
| 027:301(1)/78.2% | 060:227(0)/59.0% | 093:331(0)/86.0% |
| 028:276(0)/71.7% | 061:338(1)/87.8% | 094:196(0)/50.9% |
| 029:299(1)/77.7% | 062:188(0)/48.8% | 095:290(0)/75.3% |
| 030:187(1)/48.6% | 063:367(0)/95.3% | 096:238(0)/61.8% |
| 031:271(0)/70.4% | 064:246(1)/63.9% | 097:329(1)/85.5% |
| 032:259(0)/67.3% | 065:314(0)/81.6% | 098:167(1)/43.4% |
| 033:330(0)/85.7% | 066:175(0)/45.5% | 099:311(1)/80.8% |
| 034:176(0)/45.7% | 067:285(1)/74.0% | 100:222(0)/57.7% |
| 035:301(1)/78.2% | 068:259(0)/67.3% | 101:303(0)/78.7% |
| 036:262(1)/68.1% | 069:301(1)/78.2% | 102:194(0)/50.4% |
| 037:296(1)/76.9% | 070:205(0)/53.2% | 103:250(1)/64.9% |
| 038:192(0)/49.9% | 071:257(0)/66.8% | 104:290(1)/75.3% |
| 039:258(1)/67.0% | 072:301(1)/78.2% | 105:345(1)/89.6% |
| 040:310(0)/80.5% | 073:328(0)/85.2% | 106:168(0)/43.6% |
| 041:348(1)/90.4% | 074:197(0)/51.2% | 107:334(0)/86.8% |



---

|                  |                  |                  |
|------------------|------------------|------------------|
| 108:209(0)/54.3% | 139:290(0)/75.3% | 170:139(1)/36.1% |
| 109:337(0)/87.5% | 140:232(0)/60.3% | 171:301(1)/78.2% |
| 110:172(0)/44.7% | 141:333(0)/86.5% | 172:234(0)/60.8% |
| 111:329(1)/85.5% | 142:169(0)/43.9% | 173:322(0)/83.6% |
| 112:174(0)/45.2% | 143:366(1)/95.1% | 174:160(0)/41.6% |
| 113:316(0)/82.1% | 144:183(0)/47.5% | 175:363(1)/94.3% |
| 114:165(0)/42.9% | 145:330(1)/85.7% | 176:157(0)/40.8% |
| 115:305(0)/79.2% | 146:161(0)/41.8% | 177:296(0)/76.9% |
| 116:214(0)/55.6% | 147:300(1)/77.9% | 178:178(0)/46.2% |
| 117:314(1)/81.6% | 148:206(1)/53.5% | 179:307(1)/79.7% |
| 118:175(0)/45.5% | 149:345(0)/89.6% | 180:215(0)/55.8% |
| 119:254(0)/66.0% | 150:159(0)/41.3% | 181:300(1)/77.9% |
| 120:283(0)/73.5% | 151:240(0)/62.3% | 182:161(0)/41.8% |
| 121:306(0)/79.5% | 152:272(0)/70.6% | 183:221(0)/57.4% |
| 122:174(0)/45.2% | 153:358(1)/93.0% | 184:271(0)/70.4% |
| 123:306(0)/79.5% | 154:160(0)/41.6% | 185:323(1)/83.9% |
| 124:227(0)/59.0% | 155:269(1)/69.9% | 186:155(0)/40.3% |
| 125:336(1)/87.3% | 156:252(0)/65.5% | 187:338(1)/87.8% |
| 126:165(0)/42.9% | 157:344(1)/89.4% | 188:208(1)/54.0% |
| 127:331(1)/86.0% | 158:176(0)/45.7% | 189:319(0)/82.9% |
| 128:174(1)/45.2% | 159:313(0)/81.3% | 190:164(0)/42.6% |
| 129:335(1)/87.0% | 160:216(0)/56.1% | 191:328(1)/85.2% |
| 130:162(0)/42.1% | 161:303(1)/78.7% | 192:208(1)/54.0% |
| 131:311(1)/80.8% | 162:153(0)/39.7% | 193:329(0)/85.5% |
| 132:210(0)/54.5% | 163:310(0)/80.5% | 194:165(0)/42.9% |
| 133:324(1)/84.2% | 164:212(0)/55.1% | 195:274(1)/71.2% |
| 134:174(0)/45.2% | 165:323(1)/83.9% | 196:211(1)/54.8% |
| 135:241(1)/62.6% | 166:161(0)/41.8% | 197:320(1)/83.1% |
| 136:318(0)/82.6% | 167:223(0)/57.9% | 198:159(0)/41.3% |
| 137:342(0)/88.8% | 168:307(1)/79.7% | 199:221(0)/57.4% |
| 138:132(0)/34.3% | 169:333(0)/86.5% | 200:275(0)/71.4% |

|                  |                  |                  |
|------------------|------------------|------------------|
| 201:326(0)/84.7% | 223:330(1)/85.7% | 245:303(1)/78.7% |
| 202:121(0)/31.4% | 224:200(1)/51.9% | 246:147(0)/38.2% |
| 203:271(1)/70.4% | 225:333(1)/86.5% | 247:214(0)/55.6% |
| 204:238(1)/61.8% | 226:142(0)/36.9% | 248:290(0)/75.3% |
| 205:287(1)/74.5% | 227:291(0)/75.6% | 249:325(1)/84.4% |
| 206:166(1)/43.1% | 228:195(0)/50.6% | 250:149(0)/38.7% |
| 207:384(1)/99.7% | 229:323(1)/83.9% | 251:305(0)/79.2% |
| 208:168(0)/43.6% | 230:169(0)/43.9% | 252:196(0)/50.9% |
| 209:329(0)/85.5% | 231:231(0)/60.0% | 253:353(0)/91.7% |
| 210:161(0)/41.8% | 232:307(0)/79.7% | 254:145(0)/37.7% |
| 211:301(0)/78.2% | 233:349(1)/90.6% | 255:384(4)/99.7% |
| 212:215(0)/55.8% | 234:135(1)/35.1% |                  |
| 213:322(0)/83.6% | 235:298(0)/77.4% |                  |
| 214:166(0)/43.1% | 236:210(1)/54.5% | Max=385          |
| 215:213(0)/55.3% | 237:340(0)/88.3% | Timer:038m22s    |
| 216:284(1)/73.8% | 238:167(1)/43.4% | ProcMax=100.0%   |
| 217:327(1)/84.9% | 239:375(0)/97.4% | ProcMin=31.4%    |
| 218:128(1)/33.2% | 240:153(1)/39.7% |                  |
| 219:280(0)/72.7% | 241:335(1)/87.0% |                  |
| 220:214(0)/55.6% | 242:136(0)/35.3% |                  |
| 221:298(0)/77.4% | 243:283(1)/73.5% |                  |
| 222:143(1)/37.1% | 244:208(0)/54.0% |                  |

Табела 3.4.1. Статистика учесталости бројева

Као што је већ речено, Табела 3.4.1 претставља статистику учесталости понављања бројева у бази не водећи том приликом рачуна о њиховој једнозначној позицији у бази. Сви осмобитни бројеви (0-255) су праћени, иза двотачке, податком колико се пута број поновио у бази, у загради се налази број сукцесивних понављања у бази (значи један иза другог) и коначно иза косе црте налази се процентуална вредност броја понављања, у односу на број који се највише пута поновио у бази. Табела такође садржи податак о времену које је било потребно да би се формирала база од 65536 бајтова (64к). Да се подсетимо да је већ речено да се  $X$  оса може апроксимирати са временском у директној пропорцији.

### 3.5. Ентропија у дигиталној обради слике

Из теорије вероватноће, а узевши моделе за математичке изворе које је дефинисао Шаннон, произилази третирање података произведених од неког извора као случајних променљивих. Такав информатички појам Шаннон-ове ентропије је дискретна случајна променљива  $X$  са својом вероватноћом простирања (дистрибуције)  $p_x=(p_1, p_2, \dots, p_n)$ . Променљива  $X$  је дефинисана као:

$$H(X) = H(p_x) = \sum_{i=1}^n p_i \log \left( \frac{1}{p_i} \right).$$

Самим тим комплетна посматрана слика се третира као случајна променљива, а величина слике (изражена у пикселима) представља вероватноћу простирања (дистрибуције). Израз  $\log 1/p_i$  изражава колико је неизвесности повезано са исходом одговарајућег сценарија. Осим тога, посматрајући поменути исход, може се проучавати износ пристиглих информација. Стога, може се рећи да је ентропија мера статистичке средине неизвесности, односно информације што је и показано у раду [26].

Тада се може извести следеће правило, утемељено на томе да функција  $p$  је непрекидна онда када се та функција повећава са  $n$ . Ентропија неке две случајне променљиве јесте збир тих појединачних ентропија. Узевши  $K_s$  за минималну вредност, рачунање ентропије се врши као  $H(X)$  и  $H(X)+1$ , о чему се говори у раду [27].

Максимум ентропије се достиже у случајевима када је вероватноћа узорака једнака, тј.  $H((p_1, p_2, \dots, p_n)) \leq \log n$ .

За запис слике од 8 бита по пикселу, односно 24 битска укупна дубина записа, при максималном сету боја од 255, максимална вредност ентропије је 8 бита. Практично говорећи ово представља потенцијал слике, у којој слика може имати свој дефинисани

---

максимум одређен битским записом. Слика са већим величином ентропије има већи потенцијал током могуће обраде. Треба узети у обзир да ни овај параметар не показује увек реалну ситуацију, као на пример слике са већим степеном шума ће показивати већи степен ентропије што потврђује рад [28].

## 4. ПРАКТИЧНА ПРИМЕНА ФИЛТЕРА У АНАЛИЗИ ДИГИТАЛНЕ СЛИКЕ

На основу теоријске анализе и изведених закључака, у наредна неколико поглавља биће описана практична примена добијених резултата за побољшање квалитета дигиталне слике. Анализираће се како различити оператори за детекцију ивица слике утичу на квалитет дигиталне слике, какав је утицај различитих филтра и постфилтара у комбинацији са различитим операторима за детекцију ивица на квалитет слике, како осветљење у комбинацијама са JPEG и SPIHT методом компресије утиче на квалитет слике и на који начин може да се отклони Salt & Pepper шум. Какав је утицај различитих алгоритама за компресију слике која је филтрирана Лапласиан, Превит и Собел оператором и какав утицај на квалитет слике има померање из видљивог спекта у спектар појединачних таласних дужина.

Сви резултати добијени су у софтверском пакету МАТЛАБ. За неке резултате урађене су и одређене симулације. За упоређивање квалитета добијених слика коришћени су стандардни параметри: Средња квадратна грешка (Mean Square Error, MSE), Вршни однос сигнал шум (Peak Signal to Noise Ratio, PSNR), Директан однос сигнал шум (Signal to noise ratio, SNR), Ентропија (En), Структурална сличност (SSIM), Разлика структуралне сичности (DSSIM).

Сви резултати у овом поглављу презентирани су и саопштени на више међународних конференција, а неки су штампани у одговарајућим међународним часописима

### 4.1 Филтрирање и анализа слика са различитим операторима за детекцију ивица

Анализираће се квалитет шест најзначајнијих оператора за детекцију ивица слике кроз параметре Peak Signal to Noise Ratio (PSNR), Signal to noise ratio (SNR), Mean Square Error (MSE) и Ентропију. Модел анализе ће бити изведен преко конверзије основне слике у слике са различитом детекцијом ивица, а затим анализом добијених слика преко наведених параметара и различитим степеном бита по пикселу (bpp).

За анализу слике користиће се оригинална некомпресована дентал слика у TIFF формату са резолуцијом 640x312, величином меморије од 585 kb и 24 битском дубином записа.

Нископропусни део фреквенцијског подручја слике носи значајан део енергије али је релативно мало употребљив са становишта визуелног квалитета слике. Са друге стране, високопропусни део спектра слике је мале енергије али носи значајан део информација. Основни проблем високофреквентног дела је мала енергија, тако да овај део спектра брзо „утоне“ у шум.

Најважнији део високофреквентног дела спектра су ивице. Објекат и слика су потпуно препознатљиви само на основу ивица, зато је веома важна дефиниција ивица о чему говори рад [1]. Ивице се могу записати у бинарној форми и као такве ефикасно обрађивати. На основу детектованих ивица може се подешавати величина локалних пиксела код алгоритама за филтрирање. Ивица се може дефинисати као зона слике у којој долази до нагле промене осветљења. Основна идеја код детектора ивица је да на основу поређења одзива детектора  $e(x, y)$  са неким прагом који може бити зависан од позиције  $T(x, y)$  донесе бинарна одлука јесте или није ивица. Стога је сама слика која представља ивице бинарна:

$$iv(x, y) = \begin{cases} 1 & e(x, y) \geq T(x, y) \\ 0 & e(x, y) < T(x, y) \end{cases}$$

Другим речима детекција ивица се заснива на алгоритму који ће проверавати разлику параметара суседних пиксела, и ако је та граница већа од дефинисане у алгоритму детектоваће се пиксел који сигнализира ивицу, о чему говоре и радови [2] и [3].

### The Sobel edge detector

Функција која се у овој области највише користи јер има најнижи праг детекције, а служила је и као узор за постављање стандарда детекције ивица. Представља дискретни диференцијални оператор који служи за апроксимацију збирног 2Д градијента дигиталне слике. Заснован на принципу матрице 3x3 одвојено за x и y осу слике. Ако је:

$$[m \ n] = \text{size}(\text{image})$$

дакле слика је у математичком смислу разложена, тада се градијенти по x и y осе рачунају као:

```

for i=1:size(m)-2
for j=1:size(n)-2
Gx =  $\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 1 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} * image$ 
Gy =  $\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} * image$ 
end
end

```

За дужину вредности m и n, сваки пиксел ће се „провући“ кроз маску Gx ако се ради о хоризонтали или Gy ако се ради о вертикали. На крају ће се рачунати збирни градијент 2Д слике као:

$$G(m, n) = \text{sqrt}(Gx.^2 + Gy.^2)$$

Треба узети у обзир да овај оператор даје могућност рачунања и n-то димензионог простора, па је то још један разлог његове популарности. Ову тему такође обрађује рад: В. R. Frieden, “A new restoring algorithm for the preferential enhancement of edge gradients,” J. Opt. SOC. Amer., vol. 66, pp. 280-283, 1976. [4].

### The Frei-Chen edge detector

Frei-Chen детектор ивица ради на принципу маске 3x3, али примењује укупно девет конволуционих маски на обради слике. Свака од тих маски је потпуно посебна и садржи потпуно све базичне векторе. Ово значи да је простор од 3x3 матрична представа слике представљена са сумом од девет Frei-Chen матрица, које су представљене:

$$\begin{aligned}
G_1 &= \frac{1}{2\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & \sqrt{2} & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -\sqrt{2} & -1 \end{bmatrix} & G_2 &= \frac{1}{2\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ \sqrt{2} & 0 & -\sqrt{2} \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} & G_3 &= \frac{1}{2\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & -1 & \sqrt{2} \\ 1 & 0 & -1 \\ -\sqrt{2} & 1 & 0 \end{bmatrix} \\
G_4 &= \frac{1}{2\sqrt{2}} \begin{bmatrix} \sqrt{2} & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & -\sqrt{2} \end{bmatrix} & G_5 &= \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} & G_6 &= \frac{1}{2} \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \\
G_7 &= \frac{1}{6} \begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 4 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{bmatrix} & G_8 &= \frac{1}{6} \begin{bmatrix} -2 & 1 & -2 \\ 1 & 4 & 1 \\ -2 & 1 & -2 \end{bmatrix} & G_9 &= \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

Прве четири маске се користи за дефиницију ивица, друге четири се користе за дефиницију линија, док се задња маска користи за израчунавање средње вредности. Маске за детекцију ивица су изабране тако да се комплетна слика пројектује на њих. Једначине пројекције су дате као:

$$\cos \theta = \sqrt{\frac{M}{S}} \quad M = \sum_{k \in \{e\}} (G_k * I)^2 \quad S = \sum_{k=1}^9 (G_k * I)^2$$

Оваква детекција ивица се користи за мулти-каналне слике, а начин функционисања је скоро идентичан као код Собел функције за детекцију ивице, која је обрађена у раду [5]

### Robertova funkcija za detekciju ivica

Ово је још једна функција која се користи за детекцију ивица, с тим што поседује мало мањи праг осетљивости од Лапласиан функције. Ова функција је зависна од правца простирања зато се одвојено рачуна градијент функције за  $x$  и посебно за  $y$ -осу. Укупни градијент је једнак збиру претходна два градијента, и као такав преставља коначну Робертову функцију за детекцију ивица.

Према матрицама за  $x$  и  $y$  осу, респективно, Робертова функција се рачуна као:

$$|I(r, c) - I(r - 1, c - 1)| + |I(r, c - 1) - I(r - 1, c)|;$$

У табели 4. 1.1 приказана је маска Робертове функције.

|   |    |
|---|----|
| 1 | 0  |
| 0 | -1 |

|    |   |
|----|---|
| 0  | 1 |
| -1 | 0 |

**Табела 4.1.1.** Маска Робертове функције за  $X$  осу (лево), за  $Y$  осу (десно)

Ова функција се састоји од  $2 \times 2$  конволуционе маске приказане у табели 2, при чему је једна маска ротирана другој, нешто слично Собеловој функцији. Маске су дизајниране тако да анулирају вредности пиксела ротираних за  $45^\circ$ .

Укупни градијент се рачуна као:

$$|G| = |G_x| + |G_y|$$

Ова функција означава ивицу само као тачку, не даје информације о оријентацији ивице и даје најбоље резултате са бинарним записом слике. Највеће мане овог оператора су велика осетљивост на нечистоће у слици и свега неколико пиксела се користе за дефиницију градијента, што је обрађено у раду [6].



### Robinson Edge Detector operator

Робинсонов оператор за детекцију ивица је веома сличан Собеловом оператору, матрице за детекцију ивица су дате као:

$$h_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & 1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad h_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ -1 & -2 & 1 \\ -1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \quad h_3 = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Овај оператор је симетричан по оси, а максимална вредност се налази на ивици магнитуде, док се правац ивице дефинише максималном вредношћу ивичне магнитуде. Принцип рада овог оператора је следећи, после учитавања слике она се конвертује на матрице величине 64x64, затим рачуна ивичне вредности слике користећи метод усредњавања (average method), ако је ниво сиве вредности већи или једнак нивоу ивице тада се добија светла вредност, супротно је вредност црна. У следећем кораку користе се 3x3 маске овог оператора помоћу којих као и код Собеловог оператора се добијају ивице о чему говори већ поменути рад [5].

### Kirsch edge operator

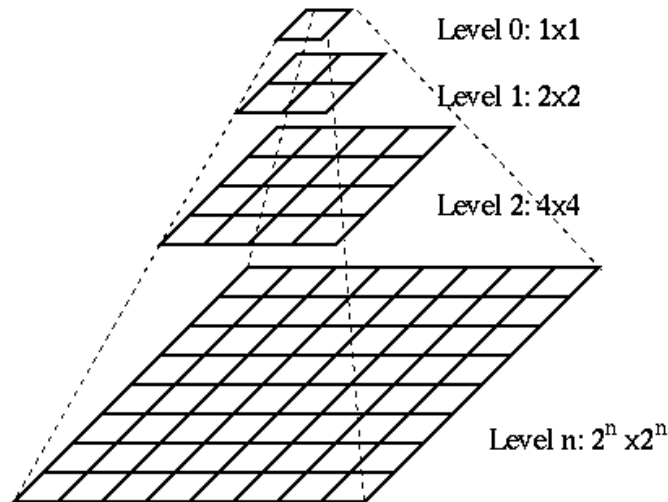
Оператор веома сличан Робинсоновом оператору за детекцију ивица, једина разлика је у изгледу маски које се користе за детекцију. Kirsch маске су дате као:

$$h_1 = \begin{bmatrix} 3 & 3 & 3 \\ 3 & 0 & 3 \\ -5 & -5 & -5 \end{bmatrix} \quad h_2 = \begin{bmatrix} 3 & 3 & 3 \\ -5 & 0 & 3 \\ -5 & -5 & 3 \end{bmatrix} \quad h_3 = \begin{bmatrix} -5 & 3 & 3 \\ -5 & 0 & 3 \\ -5 & 3 & 3 \end{bmatrix}$$

### Pyramid edge detection

Овај оператор је јединствен, јер користи комбинацију локалних и глобалних информација за детекцију ивица и елиминацију потенцијалних шума у слици. Добио је име по називу анализе ивица који личи на пирамиду, слика 4.1.1.

Он даје најбоље резултате за квадратне резолуције слике, јер анализу слике врши у  $N$  корака, где је  $N = 2^n$ . Пирамидална слика је хијерархијска структура сачињена од  $n$  нивоа слика различите резолуције. На самом дну пирамиде је слика пуне реузолуције, као и оригинална слика. Сваки сет од 2x2 суседна пиксела, је замењен са њиховим средњом вредношћу и та вредност је базична за следећи ниво пиксела. Овај поступак редукује величину слике за пола и понавља се  $n = \log_2 N$  пута док се не дође до нове нуле (1 пиксела) који се налази на врху пирамиде.



Слика 4.1.1. Структура пирамидалне структуре слике

На овај начин врши се редукција шума у слици, а при том и детекција ивица. Структура рада овог оператора се веома разликује од осталих оператора за детекцију ивица.

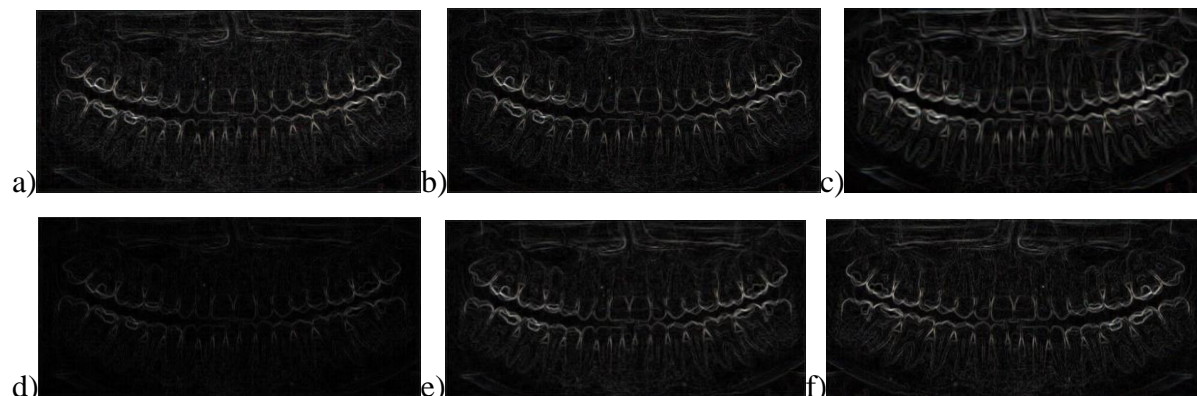
За анализу слике са различитим операторима за детекцију ивица коришћене су оригинална некомпресована X-ray дентал слика у TIFF формату са резолуцијом 640x312, величином меморије од 585 kb и 24 битском дубином записа.



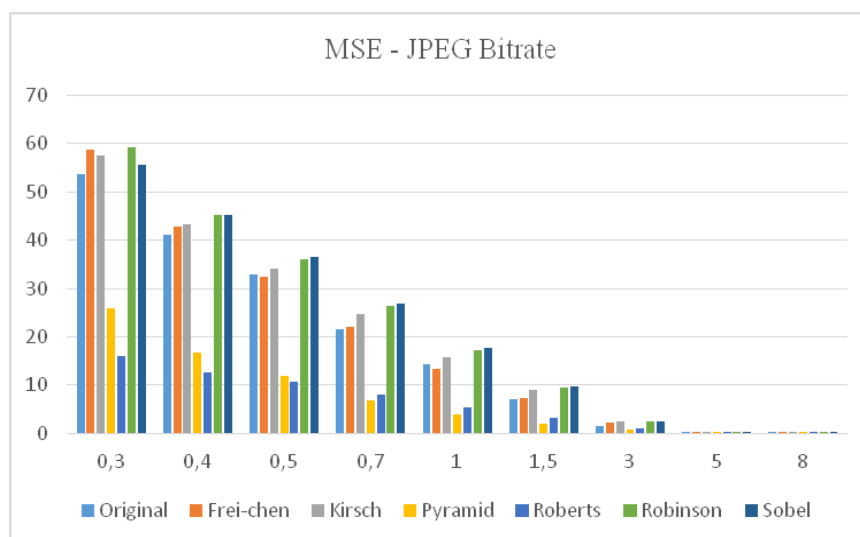
Слика 4.1.2. Изглед оригиналне некомпресоване дентал слике

Основна слика (4.1.2) коришћењем Матлаб софтверског пакета, CVIPtools апликације и оператора за детекцију ивица конвертована је у шест нових слика, које су приказане на слици 4.1.3 за сваку слику је израчунат параметар Peak Signal to Noise Ratio (PSNR), Signal to noise ratio (SNR) и Mean Square Error (MSE). Онда је у програму Vcdemo

урађена анализа вредности бита по пикселу (bpp). Резултати су приказани на графиконима 4.1.1, 4.1.2 и 4.1.3 и у табелама 4.1.2, 4.1.3 и 4.1.4.



Слика 4.1.3. Сlike са извршеном детекцијом ивица: а) *Frei-chen operatorom* б) *Kirsch operatorom* с) *Pyramid operatorom* д) *Roberts operatorom* е) *Robinson operatorom* ф) *Sobel operatorom*

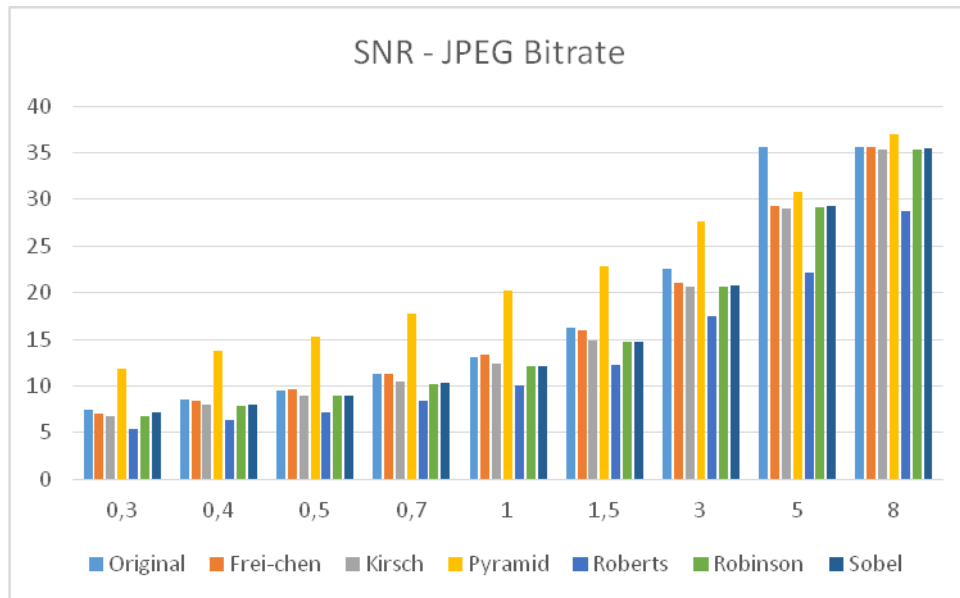


Графикон 4.1.1. *JPEG компресија са различитим степеном bpp за MSE за све операторе детекције ивица*

|                  | 0.3  | 0.4  | 0.5  | 0.7  | 1    | 1.5 | 3   | 5   | 8   |
|------------------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| <b>Original</b>  | 53.6 | 41   | 32.9 | 21.6 | 14.3 | 7.1 | 1.6 | 0.1 | 0.1 |
| <b>Frei-chen</b> | 58.8 | 42.8 | 32.4 | 22   | 13.4 | 7.4 | 2.3 | 0.3 | 0.1 |
| <b>Kirsch</b>    | 57.6 | 43.4 | 34.2 | 24.6 | 15.7 | 9   | 2.4 | 0.3 | 0.1 |
| <b>Pyramid</b>   | 26   | 16.8 | 11.9 | 6.9  | 3.9  | 2.1 | 0.7 | 0.3 | 0.1 |
| <b>Roberts</b>   | 15.9 | 12.6 | 10.7 | 8    | 5.4  | 3.3 | 1   | 0.3 | 0.1 |
| <b>Robinson</b>  | 59.3 | 45.3 | 36   | 26.3 | 17.3 | 9.5 | 2.4 | 0.3 | 0.1 |
| <b>Sobel</b>     | 55.7 | 45.3 | 36.5 | 26.8 | 17.7 | 9.7 | 2.4 | 0.3 | 0.1 |

Табела 4.1.2. *JPEG компресија са различитим степеном bpp за MSE за све операторе детекције ивица*

Са графикана 4.1.1. се може уочити да средња квадратна грешка (MSE) на нижим вредностима бита по пикселу (bpp) најбоље вредности даје за Робертс и Пурамид операторе, док остали оператори детекције ивица као и оригинална слика дају приближно исте резултате за све вредности bpp. Треба напоменути да Робертс оператор до 0.5 bpp даје најбоље резултате, а да од 0.7 bpp најбоље резултате даје Пурамид оператор.

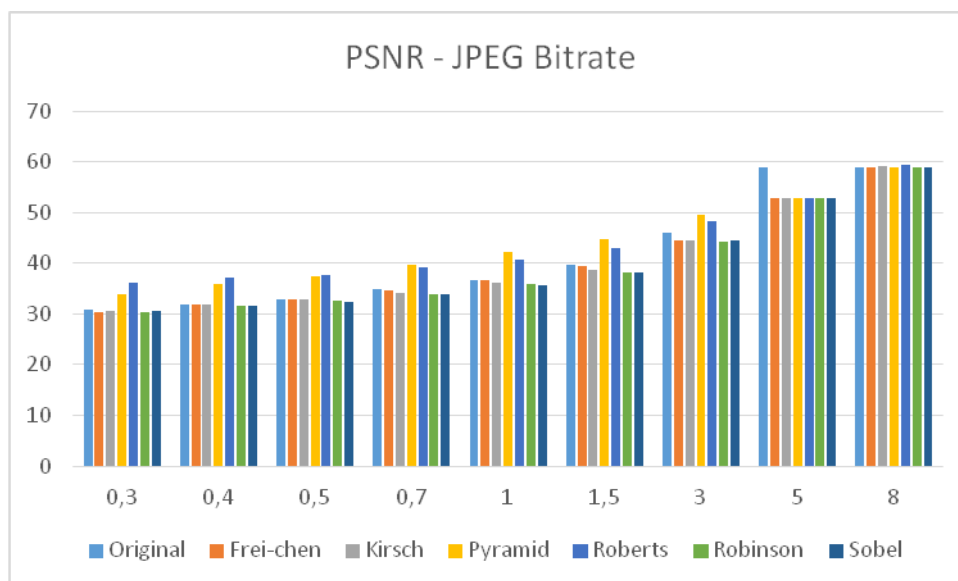


**Графикон 4.1.2.** JPEG компресија са различитим степеном bpp за SNR за све операторе детекције ивица

|                  | 0.3  | 0.4  | 0.5  | 0.7  | 1    | 1.5  | 3    | 5    | 8    |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>Original</b>  | 7.4  | 8.5  | 9.5  | 11.3 | 13.1 | 16.2 | 22.6 | 35.6 | 35.6 |
| <b>Frei-chen</b> | 7    | 8.4  | 9.6  | 11.3 | 13.4 | 16   | 21   | 29.3 | 35.6 |
| <b>Kirsch</b>    | 6.8  | 8    | 9    | 10.4 | 12.4 | 14.8 | 20.6 | 29   | 35.3 |
| <b>Pyramid</b>   | 11.9 | 13.8 | 15.3 | 17.7 | 20.2 | 22.9 | 27.6 | 30.8 | 37   |
| <b>Roberts</b>   | 5.4  | 6.4  | 7.2  | 8.4  | 10.1 | 12.3 | 17.5 | 22.2 | 28.8 |
| <b>Robinson</b>  | 6.7  | 7.9  | 8.9  | 10.2 | 12.1 | 14.7 | 20.6 | 29.2 | 35.3 |
| <b>Sobel</b>     | 7.1  | 8    | 9    | 10.3 | 12.1 | 14.7 | 20.8 | 29.3 | 35.5 |

**Табела 4.1.3.** JPEG компресија са различитим степеном bpp за SNR за све операторе детекције ивица

На графикону 4.1.2 на нижим ниовима бита по пикселу (bpp) најбоље резултате даје Пурамид оператор, док остали оператори заједно са оригиналном сликом дају готово идентичне резултате, све до 5 bpp када најбоље резултате даје оригинална слика.



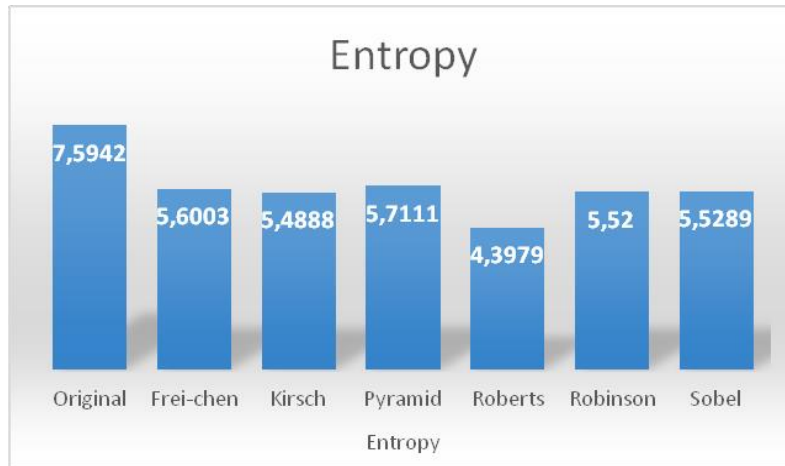
Графикон 4.1.3. JPEG компресија са различитим степеном бпр за PSNR за све операторе детекције ивица

|                  | 0.3  | 0.4  | 0.5  | 0.7  | 1    | 1.5  | 3    | 5    | 8    |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>Original</b>  | 30.8 | 32   | 33   | 34.8 | 36.6 | 39.6 | 46.1 | 59   | 59   |
| <b>Frei-chen</b> | 30.4 | 31.8 | 33   | 34.7 | 36.8 | 39.4 | 44.5 | 52.8 | 59   |
| <b>Kirsch</b>    | 30.5 | 31.8 | 32.8 | 34.2 | 36.2 | 38.6 | 44.4 | 52.8 | 59.1 |
| <b>Pyramid</b>   | 34   | 35.9 | 37.4 | 39.7 | 42.2 | 44.9 | 49.6 | 52.8 | 59   |
| <b>Roberts</b>   | 36.1 | 37.1 | 37.8 | 39.1 | 40.8 | 43   | 48.2 | 52.9 | 59.5 |
| <b>Robinson</b>  | 30.4 | 31.6 | 32.6 | 33.9 | 35.8 | 38.3 | 44.3 | 52.9 | 59   |
| <b>Sobel</b>     | 30.7 | 31.6 | 32.5 | 33.9 | 35.6 | 38.2 | 44.4 | 52.8 | 59   |

Табела 4.1.4. JPEG компресија са различитим степеном бпр за PSNR за све операторе детекције ивица

На основу резултата који су добијени у предходним графиконима и табелама може се закључити да се најбољи резултати на нижим битовима по пикселу (bpr) добијају за Roberts и Pyramid оператор, док за битове између 1bpr и 3bpr Пурамид даје боље резултате, а од 5 bpr најбоље резултате даје Оригинал.

На графикону 4.1.4 приказани су резултати добијени када се коришћењем оператора за детекцију ивица израчуна Ентропија оригиналне и слике добијене конверзијом. На основу тих резултата може се закључити да Пурамид оператор има најбоље карактеристике, нарочито на нижим нивоима bpr.



**Графикон 4.1.4.** Однос Ентропија оригиналне слике и слика добијених операторима за детекцију ивица

## 4.2. Алгоритам за детекцију ивица слике са постфилтром

У овом потпоглављу је представљен алгоритам за детекцију ивица слике са постфилтром имплементиран у софтверском пакету Матлаб. Реализован програмски код је примењен над сликама са различитим бројем детаља. Помоћу програмског кода добијене су вредности Ентропије и вредности броја детаља реконструисаних слика за 2D дискретну косинусну трансформацију и Вавелет трансформацију за различите вредности прага детекције. Добијене вредности су графички приказане и на основу њих анализиран је квалитет алгоритма за детекцију ивица. Као главни допринос истиче се програмски код алгоритма за детекцију ивица који кориснику омогућава потпуну слободу у дефинисању параметара алгоритма, како прага детекције тако и постфилтра. За разлику од осталих алгоритама за детекцију ивица који се углавном базирају на комплексној математици, главна одлика овог алгоритма јесте једноставност. Код највећег броја алгоритама детекција се врши помоћу градијента за  $x$  и  $y$  осу, па се коначна слика добија као збирни градијент по  $x$  и  $y$  оси. Дакле, параметри који утичу на детекцију ивица се не мењају. Главна предност алгоритма је то што корисник може дефинисати праг детекције, као и начин филтрирања. Због прецизнијег дефинисања ивица, најпре је слика подељена у RGB канале:

```
slikaR = slika(:, :, 1);
```

```
slikaG = slika(:, :, 2);
```

```
slikaB = slika(:, :, 3);
```

Циљ овог одвајања је да се може за сваки канал понаособ дефинисати посебан праг детекције, и да сваки канал пролази кроз алгоритам детекције ивице.

```

RUN = 1;
while (RUN==1)
    prompt = {'Unesite vrednost praga za R-kanal :','Unesite vrednost praga za G-kanal
              ':'Unesite vrednost praga za B-kanal :'};
    dlg_title = 'Prag detekcije:';
    num_lines = 1;
    def = {'13','13','13'};
    answer = inputdlg(prompt,dlg_title,num_lines,def);
    if (isempty(answer))
        return;
    end
    PRAG_R = str2num(answer{1});
    PRAG_G = str2num(answer{2});
    PRAG_B = str2num(answer{3});
    if ((str2num(answer{1})>=0) & (str2num(answer{1})<=255) & ((str2num(answer{2})>=0)
    & (str2num(answer{2})<=255) & (str2num(answer{3})>=0) & (str2num(answer{3})<=255))
        RUN = 0;
    end
end

```

Алгоритмом је дефинисано да је опсег прага детекције од 0 до 255, дакле комплетан 8-битни запис. Самим тим остављено је кориснику да у зависности од потребе сам дефинише потребан праг детекције, и што је веома значајно то може радити по каналу. Подразумеване вредности прага за анализиране слике су постављење на 13, што чини око 5% укупног опсега (0-255). Следећи корак је детекција ивица у сваком од канала.

```

R=zeros(size(slikaR));
[a, b] = size(slikaR);
    fori =1:a-1
        for j=1:b-1
            ifslikaR (i, j) + PRAG_R >slikaR (i+1, j+1)
                R(i, j) = 0;
            elseifslikaR (i, j) - PRAG_R <slikaR (i+1, j+1)
                R(i, j) = 255;
            end
        end
    end

```

Алгоритам користи способност Матлаб софтверског пакета да слику представи матрицом посебних вредности, у којој свака посебна вредност одговара вредности једног пиксела. На почетку овог дела кода се формирала слика  $R$ , која је идентична по величини као слика  $slikaR$ , са једином разликом што слика  $R$  је матрица са свим вредносима нула. Вредности  $a$  и  $b$  су максималне вредности слике представљене као 2D матрица, а  $i$  и  $j$  су бројчане промењиве које могу узети вредности од 1 до  $a-1$  и од 1 до  $b-1$ , респективно. Детекција почива на поређењу суседних пиксела, и то условном петљом. Уколико је вредност посматраног пиксела увећаног за вредност дефинисаног прага за тај канал већа од вредности следећег пиксела, на тој позицији у матрици  $R(i,j)$  се уписује 0. Други део условне петље се односи на детекцију ивице и то, ако је вредност посматраног пиксела умањена за вредност дефинисаног прага, мања од вредности следећег пиксела  $(i+1,j+1)$  у том случају на позицију  $R(i,j)$  уписује се вредност 255. Самим тим алгоритам функционише на основу дефинисаног прага и ако дође до задовољавања услова уписује се бела боја, односно вредност 255. Исти поступак се понавља за  $G$  и  $B$  канал. Након оваквог детектовања ивица по каналу неопходно је спојити канале.

$$RGB1(:, :, 1) = R;$$
$$RGB1(:, :, 2) = G;$$
$$RGB1(:, :, 3) = B;$$

Међутим, овако добијена слика има велики број *slat & paper* нечистоћа, па је слику потребно додатно подвргнути филтрирању.



Слика 4.2.1. “Лена” након извршене детекције ивица, без филтрирања



За потребу филтрирања изабран је филтер који показује најбоље резултате у отклањању slat & rarer шума, Медиан филтер.

```

RUN = 1;
while (RUN==1)
    prompt = {'Unesite pocetnu vrednost reda :','Unesite pocetnu vrednost kolone :'};
    dlg_title = 'Unesite parametre Median filtra: ';
    num_lines = 1;
    def = {'3','3'};
    answer = inputdlg(prompt,dlg_title,num_lines,def);
    if (isempty(answer))
        return;
    end
    M1 = str2num(answer{1});
    M2 = str2num(answer{2});
    if ((str2num(answer{1})>=0) & (str2num(answer{1})<=15)) & ((str2num(answer{2})>=0) &
        (str2num(answer{2})<=15))
        RUN = 0;
    end
end
[M,N,ttt] = size(GB1);
RGB2(:,1) = medfilt2(GB1(:,1),[M1 M2]);
RGB2(:,2) = medfilt2(GB1(:,2),[M1 M2]);
RGB2(:,3) = medfilt2(GB1(:,3),[M1 M2]);

```

За потребе анализе коришћен је најнижи праг осетљивости код Медијан филтра, вредности матрица 3x3. Оваква вредност матрице даје најмању грешку. Следећи корак је запис и приказ слике након филтрирања Медиан филтром.

```

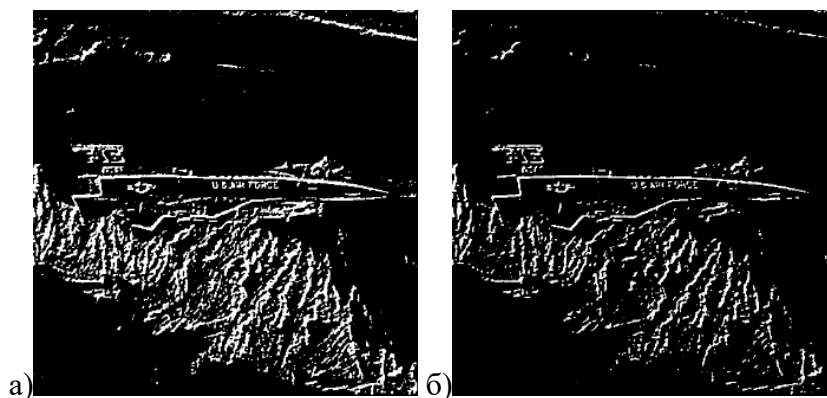
imwrite (RGB, 'E:\Radovi\Detekcija_Ivica\Lena_prag13.tiff');
imshow (RGB)

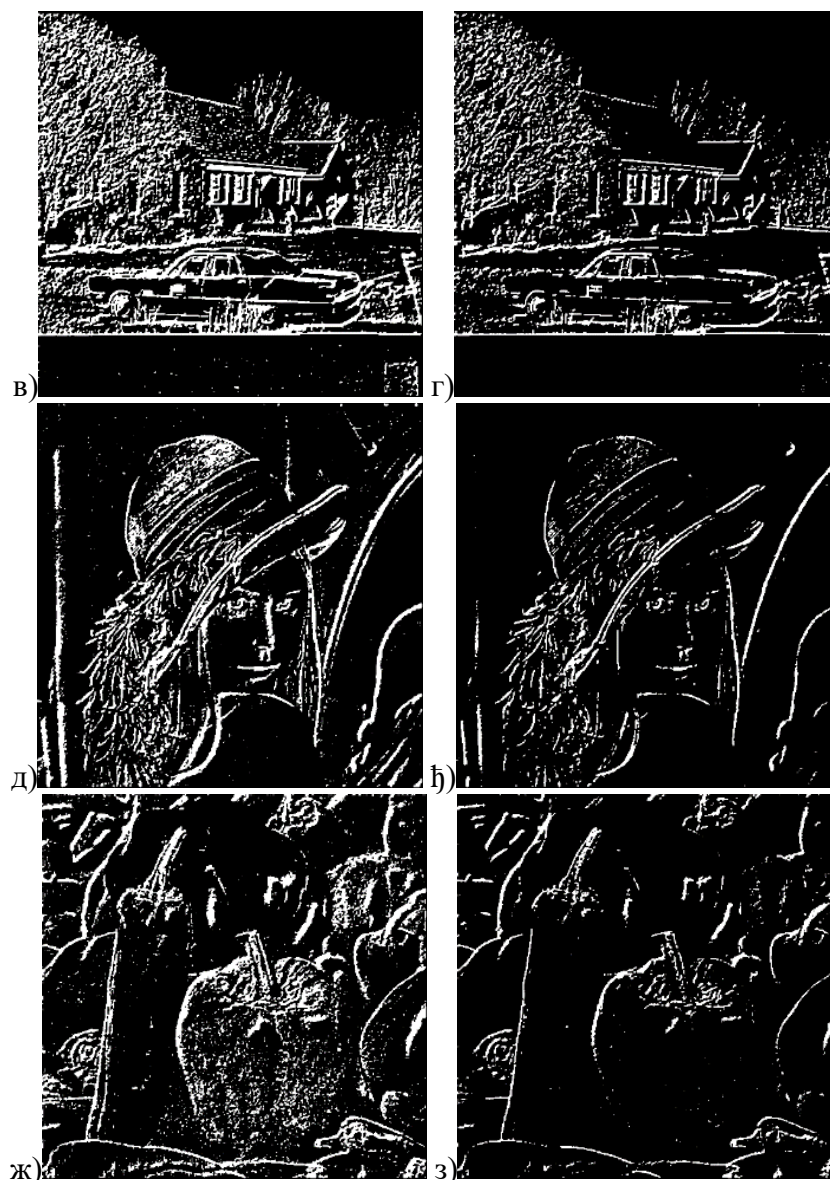
```



Слика 4.2.2. Неке од слика коришћене у анализи а) „Airplane“, б) „House“, в) „Lena“, г) „Vegetable“.

Након детекције ивица и обраде Медиан филтром, утврђивање квалитета је извршено алгоритмом ентропије и одређивањем нивоа детаља 2D Дискретном косинусном и Вавелет трансформацијом. Помоћу алгоритма ентропије добиће се увид у потенцијал добијених слика. Ентропија се изражава у битима, и може заузети вредност од 0 до 8 бита.



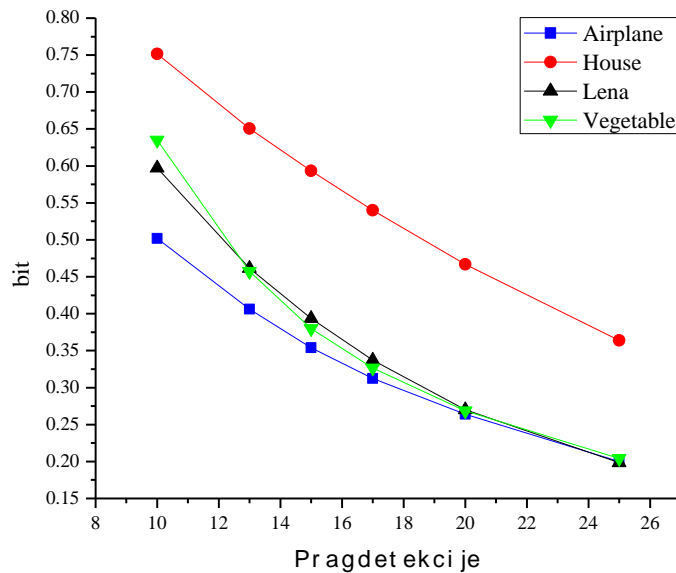


Слика 4.2.3. Примери анализираних слика са прагом 10 и 17

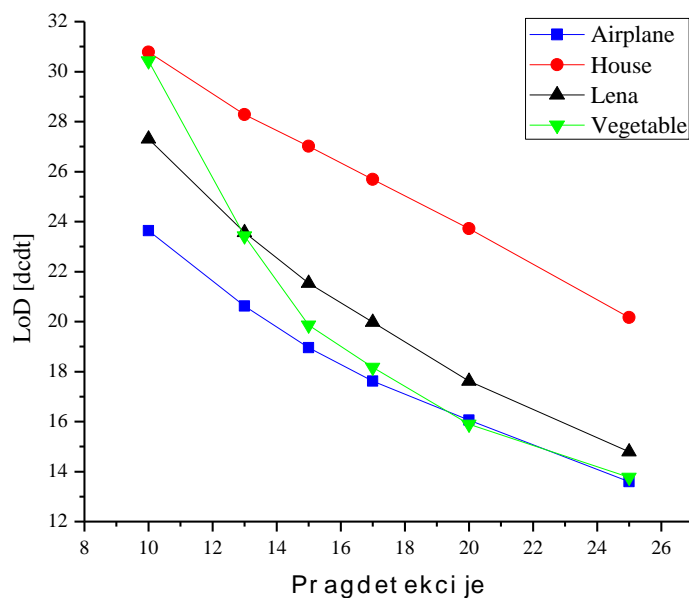
Анализом нивоа детаља добијених слика добићемо квалитетни преглед добијених резултата, па се прецизније може одредити позиција описаног алгоритма за детекцију ивица у односу на остале алгоритме исте намене. За анализу су коришћене слике са ниским, средњим и високим нивоом детаља [57].

На графикону 4.2.1. дат је однос вредности ентропије за различите вредности дефинисаног прага детекције. Вредност ентропије директно зависи од нивоа детаља и већа је за слике које имају већу вредност ентропије. Ентропија знатно више опада при нижим вредностима прага него при вишим. При високим вредностима прага вредности

ентропије код слика са нижим бројем детаља је приближно једнака тако да све оне са максималним вредностима прага теже нули.



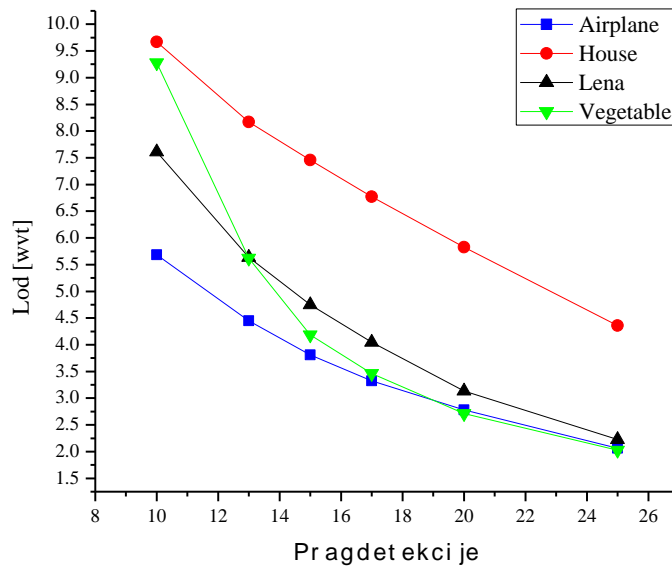
Графикон 4.2.1. Однос ентропије и прага детекције за обрађене слике



Графикон 4.2.2. Приказ 2D Дискретна косинусне трансформације за обрађене слике

Са графикана 4.2.2 и 4.2.3 уочава се да вредности нивоа детаља 2D дискретне косинусне и Вавелет трансформације опадају са порастом прага детекције. Вредности нивоа детаља за *dctd* и *wvd* при високим нивоом детаља готово да су једнаке нули.

Ово се односи на оптималну област рада детекције, који износи од 0 до 25. Поредбена анализа *dctd* и *wvd* показала је да *dctd* даје знатно боље резултате.



**Графикон 4.2.3.** Приказ Вавелет трансформације за обрађене слике

Велика предност предложеног алгоритма са постфилтром је његово прилагођење потребама корисника на тај начин што корисник може да дефинише параметре алгоритма. Дефинисање параметара се може извршити над сваким каналом посебно, односно, може да се дефинише праг детекције за сваки од RGB канала. А затим и подешавање параметара филтра, односно који степен филтрирања ће корисник употребити за добијање жељених резултата. На основу добијених резултата може се закључити да је већи пад ентропије код слика са већим нивоом детаља. Код свих слика вредност ентропије са порастом прага се смањује, што је и очекивано. За разлику од осталих алгоритама за детекцију ивица, где се после одређивања ивица одређује оријентација пиксела, код овог алгоритма то није потребно јер оријентација пиксела се преузима са оригиналне слике, самим тим се и смањује време рачунања. Предност овог алгоритма је и јако једноставан код који утиче на смањењу времена.

### 4.3. Утицај осветљења на квалитет слика компресованих са JPEG и SPIHT методом компресије

Осветљење је један од најзначајнијих карактеристика пиксела и представља својство визуелне перцепције у којој извор изгледа да зрачи или одражава одређену количину светлости. Ова дефиниција је укључена у многим алгоритмима за обраду слика. Иста слика се може анализирати са неколико различитих алгоритама осветљености. Међутим, постоји велика разлика у реализацији кодова тих алгоритама, па се вредности у анализи слике могу разликовати и по неколико десетина јединица у зависности од коришћеног алгорита (рад [43]). Обично би термин осветљење требало користити само за регистровање квантитативних референци на физиолошке осећаје и перцепције светлости. Висзецки и Стајлс дефинишу осветљење као атрибут визуелног осећаја према коме дати визуелни предмет изгледа да је више или мање интензиван, или, према области у којој је представљен визуелни подстицај изгледа да емитује мање или више светлости, па је и опсег варијација у осветљености од "светле" да "тамне". Међутим оваква дефиниција не помаже када је у питању описивање осветљења помоћу било ког алгорита. Програмери који се баве дигиталном обрадом слике траже начина да се осветљење опише квантитативно. Тренутно не постоји конвенционални нумерички опис ове карактеристике дигиталне слике (рад [44]).

Са развојем дигиталне фотографије јавила се могућност чувања дигиталне фотографије на више различитих начина. Да бисмо сачували слике у рачунар, са великим форматима, потребно је слике компресовати односно смањити фајл. Компресија је процес сажимања података односно претварање података у облик који заузима мање меморије.

Брзи развој технологије омогућио је комерцијалну примену техника дигиталне обраде слике које су до скора биле резервисане само за добро опремљене истраживачке лабораторије. У таквим применама, као што су видео конференције, видео телефонија, мултимедијални системи, обрада и чување докумената, системи за пренос ТВ слике стандардне и високе резолуције, биомедицина, и друге, важну улогу имају поступци за компресију слике.

Поступци компресије слике су неопходни како би се смањило заузеће меморије или потребан капацитет телекомуникационих канала, пошто се ради о преносу или запису огромних количина података потребних за репрезентацију слике.

На пример, за чување једне дигиталне монохромне слике резолуције  $512 \times 512$  пиксела потребна је меморија од 256 KB, док је за чување слике у боји исте резолуције потребно 768 KB. Са повећањем резолуције заузеће меморије се пропорционално повећава.

Обзиром на велику потребу за компресијом слике, поступци за компресију се интензивно развијају последњих двадесетак година и истраживања у овој области су врло интензивна и данас. Развијене су методе којима је могуће извршити компресију мирне слике чак и до 50 пута без знатног утицаја на квалитет репродуковане слике. У случају секвенце слика степен компресије може бити и већи.

У најопштијој класификацији се сви поступци компресије могу сврстати у две групе: компресија слике без губитака и компресија слике са губицима (радови [54], [55] и [56]). Поступци компресије слике без губитака се користе у оним случајевима када је тешко или немогуће поново добити некомпримовану слику или када некомпримована слика садржи неке важне информације које би се могле оштетити у поступку компресије (на пример, медицински снимци). С друге стране, поступци компресије слике са губицима се користе у случајевима када је лако поновити процес снимања или када се може толерисати извештан степен губитка информација (видео телефонија, телевизија, мултимедијални системи, итд.).

JPEG (Joint Photographic Experts Group) је стандардизован поступак за компресију слике. Створен је за компресију како слика у боји тако и црно-белих слика (са сивим нијансама) и то природних, реалних сцена. Користи се за фотографије, природно сликарство и сличне примене, а није погодан за текстове, једноставне цртеже и техничке цртеже. JPEG је уз GIF (Graphics interchange format) најпопуларнији формат за пренос слика на интернету због великог степена компресије и подршке готово свих веб претраживача.

JPEG се користи само за компресију статичне слике (једна слика) и спада у тзв. групу “интрафреме” метода за компресију, али постоји сличан стандард MPEG који се бави компресијом покретних слика (низа слика) тзв. “interframe”. JPEG стандард укључује две основне методе за компресију. Прва која се темељи на DCT (дискретна косинусна трансформација) и спада у компресију с губитцима - “lossy” и друга која се темељи на предиктивном кодирању и спада у компресију без губитака - “lossless”. Метода која се темељи на DCT је основна метода (Baseline method). Она је најчешће у употреби. EZW (Embedded Zerotree Wavelet) алгоритам омогућава процес кодирања у



коме је трансформација коефицијената тако уређена да је постигнут прогресиван пренос компресоване слике. Коришћењем овог алгоритма могуће је прекинути кодирање кодера у било ком тренутку да би се постигла жељена брзина преноса. Zerotree симболи омогућавају концизно кодирање позиција значајних вредности креирањем високо компресованих описа локација мање значајних вредности. Zerotree је quad-tree код кога су сви чворови мањи или једнаки од вредности корена, који је мањи од прага са којим се пореде вредности коефицијената вавелет трансформације.

EZW алгоритам има веома добре перформансе у упоређењу са другим алгоритмима, нарочито на нижим брзинама преноса. Он чува значајне коефицијенте на свим скалама. Главни недостатак EZW алгоритма је његова потреба за сложеним израчунавањима што представља значајно оптерећење ресурса (радови [50], [51] и [52]).

На основу EZW алгоритма развијен је велики број компресионих метода од којих је најпопуларнији SPIHT (Setpartitioning inhierarchicaltrees). SPIHT за разлику од EZW не користи ентропијски кодер да би постигао боље перформансе тако да је постигнута значајна редукција комплексности алгоритма. Дизајниран је и уведен од стране Саида и Пеарлмана ради компресије мирне слике (рад [53]). Алгоритам даје боље резултате са вишим односима компресије, за различите слике у односу на EZW.

За анализу објективног квалитета слика коришћене су 8-битне некомпресоване слике сачуване у bmp формату, са оригиналним резолуцијама 512x512, 512x768 и 768x512 пиксела доступне на веб страници <http://sipi.usc.edu/database/misc.zip>.

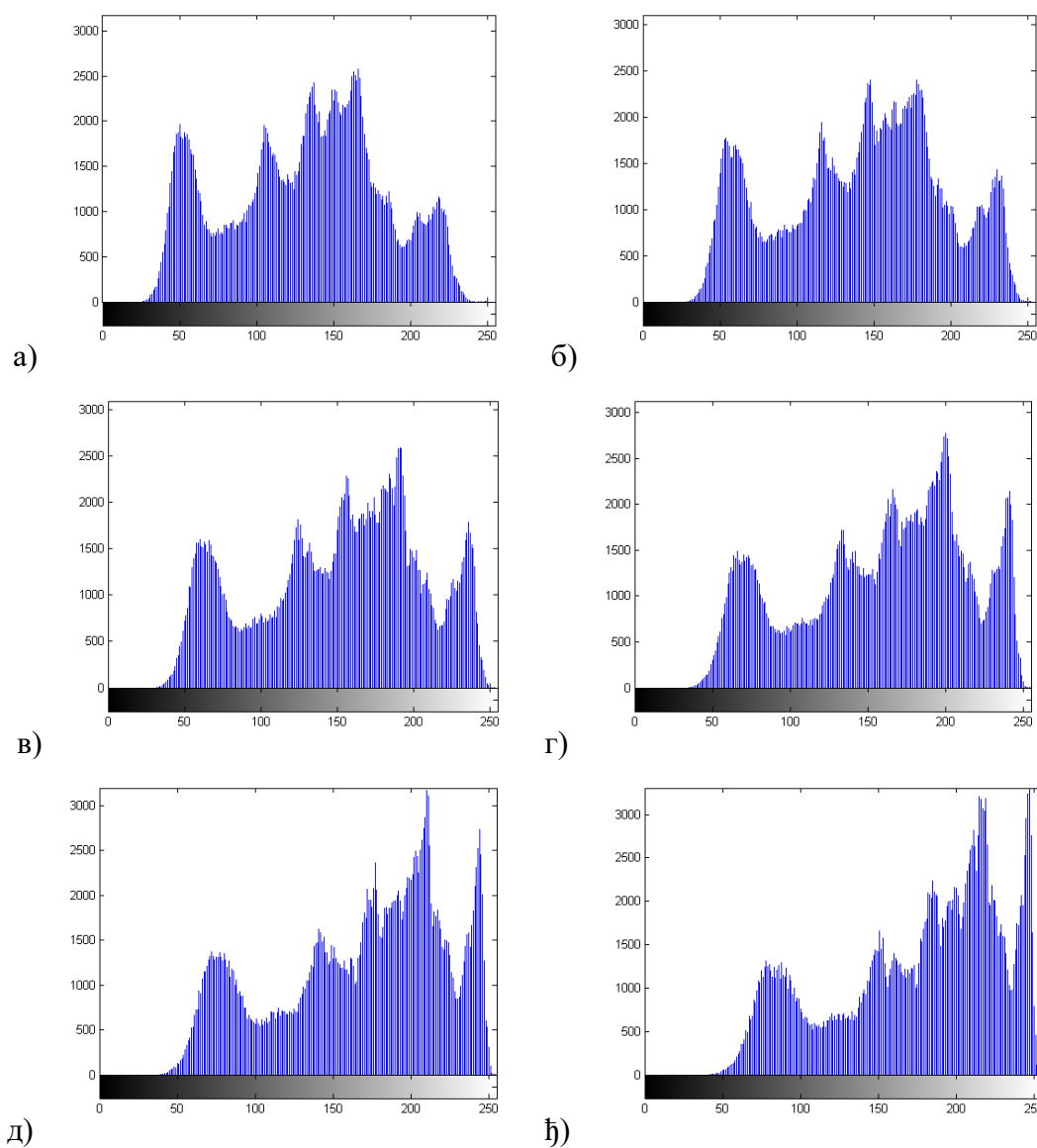
Слике су осветљене различитим степеном осветљена употребом софтвера Adobe Photoshop. На слици 3.3.1 дат је пример једне од анализираних слика са оригиналним осветљењем и осветљене са 15%, 30%, 45%, 60% и 75% у односу на оригиналну, а њени одговарајући хистограми су приказани на Графикону 4.3.1.







**Слика 4.3.1.** Пример анализиране слике: а) оригинална, б) осветљена 15%, в) осветљена 30%, г) осветљена 45%, д) осветљена 60%, њ) осветљена 70%



**Графикон 4.3.1.** Хистограм анализиране слике: а) оригинална, б) осветљена 15%, в) осветљена 30%, г) осветљена 45%, д) осветљена 60%, њ) осветљена 70%

Компресија слика је рађена у програмском пакету VCDemo коришћењем модула за компресију. Примењено је девет брзина преноса: 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.7, 1.0, 1.5 и 3.0 бита/елементу слике (bpp). На основу настале разлике између оригиналне и реконструисане слике израчуната је средње квадратна грешка (MSE), однос сигнал/шум (SNR), као и вршни однос сигнал/шум (PSNR). Вредности MSE, SNR и PSNR за различите брзине преноса приликом компресије методом JPEG за различито осветљене слике дате у су Табели 4.3.1, 4.3.2 и 4.3.3, респективно.

Графички приказ промене PSNR-а са порастом брзине преноса приликом компресије JPEG методом дата је на Графикаону 4.3.2.

| Слика    | Врп   |       |      |      |      |      |      |      |     |
|----------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|-----|
|          | 0.1   | 0.2   | 0.3  | 0.4  | 0.5  | 0.7  | 1    | 1.5  | 3   |
| Оригинал | 416.7 | 106.1 | 49.9 | 32.8 | 25.1 | 17.5 | 12.2 | 7.6  | 3.0 |
| 15%      | 398.9 | 110.0 | 54.4 | 37.4 | 29.0 | 20.6 | 14.2 | 8.9  | 3.1 |
| 30%      | 397.3 | 115.6 | 61.4 | 41.1 | 31.6 | 22.1 | 15.5 | 9.9  | 3.2 |
| 45%      | 399.6 | 117.1 | 63.5 | 42.7 | 33.1 | 23.6 | 16.4 | 10.4 | 3.2 |
| 60%      | 410.4 | 119.6 | 65.4 | 44.1 | 35.0 | 24.5 | 17.6 | 11.3 | 3.1 |
| 75%      | 418.0 | 121.6 | 66.5 | 45.3 | 36.1 | 25.4 | 18.2 | 11.7 | 3.1 |

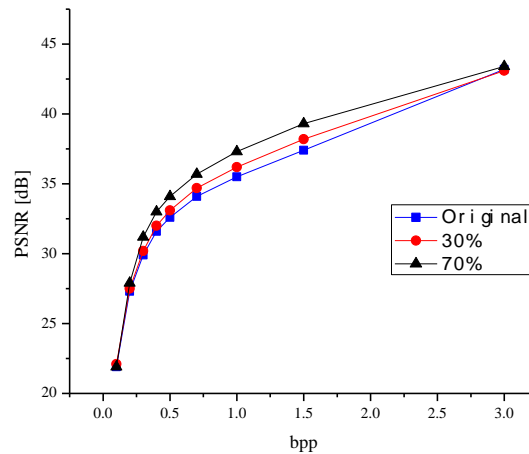
Табела 4.3.1. Вредности MSE при компресији JPEG методом

| Слика    | Врп |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
|          | 0.1 | 0.2  | 0.3  | 0.4  | 0.5  | 0.7  | 1    | 1.5  | 3    |
| Оригинал | 7.8 | 13.8 | 17.0 | 18.8 | 20.0 | 21.6 | 23.1 | 25.2 | 29.3 |
| 15%      | 8.4 | 14.0 | 17.1 | 18.7 | 19.8 | 21.3 | 22.9 | 25.0 | 29.5 |
| 30%      | 8.6 | 14.0 | 16.7 | 18.5 | 19.6 | 21.2 | 22.7 | 24.6 | 29.6 |
| 45%      | 8.6 | 13.9 | 16.6 | 18.3 | 19.4 | 20.9 | 22.5 | 24.4 | 29.6 |
| 60%      | 8.5 | 13.8 | 16.4 | 18.1 | 19.1 | 20.7 | 22.1 | 24.1 | 29.6 |
| 75%      | 8.3 | 13.6 | 16.3 | 17.9 | 18.9 | 20.4 | 21.9 | 23.8 | 29.6 |

Табела 4.3.2. Вредности SNR при компресији JPEG методом

| Слика    | Врп  |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|          | 0.1  | 0.2  | 0.3  | 0.4  | 0.5  | 0.7  | 1    | 1.5  | 3    |
| Оригинал | 21.9 | 27.9 | 31.2 | 33.0 | 34.1 | 35.7 | 37.3 | 39.3 | 43.4 |
| 15%      | 22.1 | 27.7 | 30.8 | 32.4 | 33.5 | 35.0 | 36.6 | 38.7 | 43.2 |
| 30%      | 22.1 | 27.5 | 30.2 | 32.0 | 33.1 | 34.7 | 36.2 | 38.2 | 43.1 |
| 45%      | 22.1 | 27.4 | 30.1 | 31.8 | 32.9 | 34.4 | 36.0 | 37.9 | 43.1 |
| 60%      | 22.0 | 27.4 | 30.0 | 31.7 | 32.7 | 34.2 | 35.7 | 37.6 | 43.2 |
| 75%      | 21.9 | 27.3 | 29.9 | 31.6 | 32.6 | 34.1 | 35.5 | 37.4 | 43.2 |

Табела 4.3.3. Вредности PSNR при компресији JPEG методом



**Графикон 4.3.2.** Графичка зависност вршиног односа сигнал/шум (PSNR) за JPEG методу компресије

Из датих табела види се да вредности MSE опадају, односно вредности SNR и PSNR расту са порастом брзине преноса (bpp) код свих слика са различитим осветљењем. При нижим и вишим вредностима bpp, промена MSE је мање израженија код слика са различитим осветљењем. Са графика приказаног на графикону 4.3.2 и из табеле 4.3.3 може се видети да при нижим вредностима брзине протока, вредности за PSNR -а су исте, а да са порастом брзине протока долази до смањења PSNR за слике са јачим осветљењем. При високим вредностима брзине протока вредности PSNR-а поново постају исте без обзира о којем степену осветљења слике се ради. Вредности MSE, SNR и PSNR за различите брзине преноса приликом компресије методом SPIHT за различито осветљене слике дате су у Табели 4.3.4, 4.3.5 и 4.3.6, респективно. Графички приказ промене PSNR-а са порастом брзине преноса приликом компресије SPIHT методом дата је на графикону 4.3.3.

| Слика    | Bpp  |      |      |      |      |      |     |     |     |
|----------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|
|          | 0.1  | 0.2  | 0.3  | 0.4  | 0.5  | 0.7  | 1   | 1.5 | 3   |
| Оригинал | 68.8 | 35.0 | 23.1 | 17.0 | 13.7 | 8.9  | 6.5 | 3.6 | 0.6 |
| 15%      | 79.3 | 40.2 | 26.8 | 19.7 | 15.8 | 10.5 | 7.5 | 4.2 | 0.7 |
| 30%      | 85.2 | 43.3 | 29.1 | 21.5 | 17.2 | 11.4 | 8.2 | 4.5 | 0.7 |
| 45%      | 89.2 | 45.8 | 30.9 | 23.0 | 18.3 | 12.2 | 8.6 | 4.7 | 0.7 |
| 60%      | 92.2 | 48.1 | 32.4 | 24.4 | 19.3 | 12.8 | 9.0 | 4.8 | 0.7 |
| 75%      | 94.5 | 49.9 | 33.7 | 25.4 | 20.2 | 13.2 | 9.2 | 4.8 | 0.7 |

**Табела 4.3.4.** Вредности MSE при компресији SPIHTметодом

| Слика    | Врп  |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|          | 0.1  | 0.2  | 0.3  | 0.4  | 0.5  | 0.7  | 1    | 1.5  | 3    |
| Оригинал | 15.6 | 18.6 | 20.4 | 21.7 | 22.7 | 24.5 | 25.9 | 28.5 | 36.2 |
| 15%      | 15.5 | 18.4 | 20.2 | 21.5 | 22.5 | 24.2 | 25.7 | 28.3 | 36.2 |
| 30%      | 15.3 | 18.2 | 20.0 | 21.3 | 22.2 | 24.0 | 25.5 | 28.1 | 36.1 |
| 45%      | 15.1 | 18.0 | 19.7 | 21.0 | 22.0 | 23.8 | 25.3 | 27.9 | 36.1 |
| 60%      | 14.9 | 17.8 | 19.5 | 20.7 | 21.7 | 23.5 | 25.1 | 27.8 | 36.1 |
| 75%      | 14.7 | 17.5 | 19.2 | 20.5 | 21.5 | 23.3 | 24.9 | 27.7 | 36.1 |

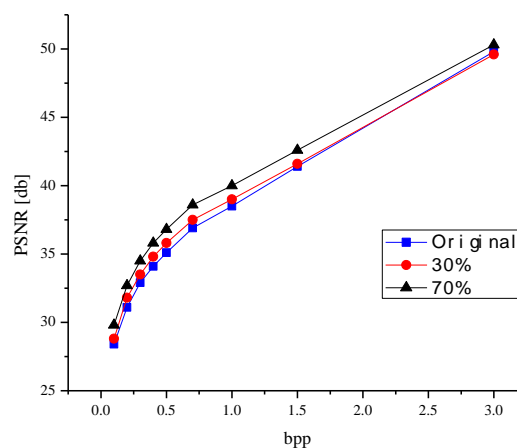
Табела 4.3.5. Вредности SNR при компресији SPIHT методом

| Слика    | Врп  |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|          | 0.1  | 0.2  | 0.3  | 0.4  | 0.5  | 0.7  | 1    | 1.5  | 3    |
| Оригинал | 29.8 | 32.7 | 34.5 | 35.8 | 36.8 | 38.6 | 40.0 | 42.6 | 50.3 |
| 15%      | 29.1 | 32.1 | 33.9 | 35.2 | 36.1 | 37.9 | 39.4 | 41.9 | 49.8 |
| 30%      | 28.8 | 31.8 | 33.5 | 34.8 | 35.8 | 37.5 | 39.0 | 41.6 | 49.6 |
| 45%      | 28.6 | 31.5 | 33.2 | 34.5 | 35.5 | 37.3 | 38.8 | 41.5 | 49.6 |
| 60%      | 28.5 | 31.3 | 33.0 | 34.3 | 35.3 | 37.1 | 38.6 | 41.4 | 49.6 |
| 75%      | 28.4 | 31.1 | 32.9 | 34.1 | 35.1 | 36.9 | 38.5 | 41.4 | 49.8 |

Табела 4.3.6. Вредности PSNR при компресији SPIHT методом

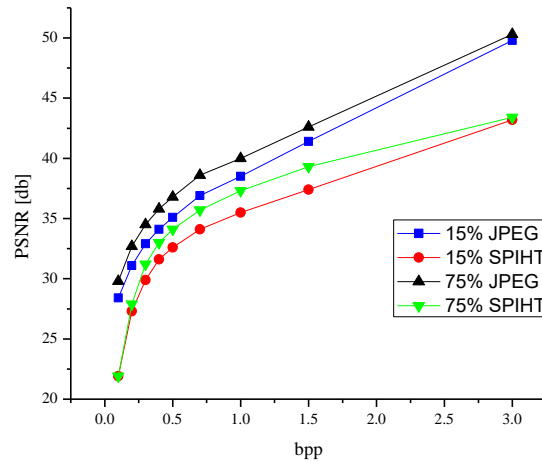
Из датих табела може се видети, да као и у случају JPEG методе компресије, вредност MSE опада, односно SNR и PSNR расте са порастом брзине протока код свих слика са различитим осветљењем.

Са графика приказаног на графикону 4.3.3 и из табеле 4.3.6 може се видети да PSNR расте са порастом брзине протока. Највише вредности PSNR има оригинална слика, док како осветљење слике расте PSNR се смањује. Разлика PSNR између слика са различитим степеном осветљења је најизраженија при вредностима брзине протока од 0.5.



Графикон 4.3.3. Графичка зависност вршног односа сигнал/шум (PSNR) за SPIHT методу компресије

На графикону 4.3.4 дато је поређење PSNR за JPEG и SPIHT методу компресије за најмање и највише осветљену анализирану слику. JPEG метода даје ниже вредности PSNR у односу на SPIHT методу без обзира о којем степену осветљења се ради.



**Графикон 4.3.4.** Графичка зависност вршног односа сигнал/шум (PSNR) за JPEG и SPIHT методу компресије при различитим степену осветљења

На основу добијених резултата може се закључити да је квалитет компресоване слике исти при вишим вредностим брзине протока без обзира колико је слика осветљена. Ово се односи на обе анализиране методе компресије. При смањењу брзине протока бољи квалитет се добија за тамније слике. При екстремно ниској брзини преноса (0.1 бит / елемент слике) квалитет компресије је исти код JPEG методе без обзира о којем осветљењу слике се ради, док код SPIHT методе и даље важи правило да боље резултате дају тамније у односу на светлије слике. У погледу компресионе методе, у свим анализама метода SPIHT даје боље резултате у односу на JPEG методу компресије.

#### 4.4. Експериментална анализа дигиталних слика са линеарном променом позитивног и негативног осветљења

Анализа је извршена над сликама са различитим степеном позитивног и негативног осветљења помоћу Матлаб програмског пакета. Позитиван степен осветљености је у сагласности са повећањем осветљености у слици, а негативан степен осветљености одговара смањењу осветљености у слици. Осветљење слике се контролише преко Brightness parameter (BP), тако да повећање осветљености преко BP се креће од 1 до 255 (позитивно осветљење), или са друге стране смањено осветљење од -1 до -255 (негативно осветљење). Промена у осветљености и промена у вредности BP је у директној вези са променама вредности пиксела у слици.

За анализу објективног квалитета слике коришћене су 8-битне некомпресоване слике сачуване у TIFF формату, с резолуцијом од 512x512 пиксела и 24 битском дубином записа.

Слика 4.4.1 приказује једну од анализираних слике са различитим степеном позитивног осветљења, а слика 4.4.2 слику са различитим степенима негативног осветљења.



Слика 4.4.1. Позитивно осветљење: а)  $BP=25$ , б)  $BP=100$ , в)  $BP=175$



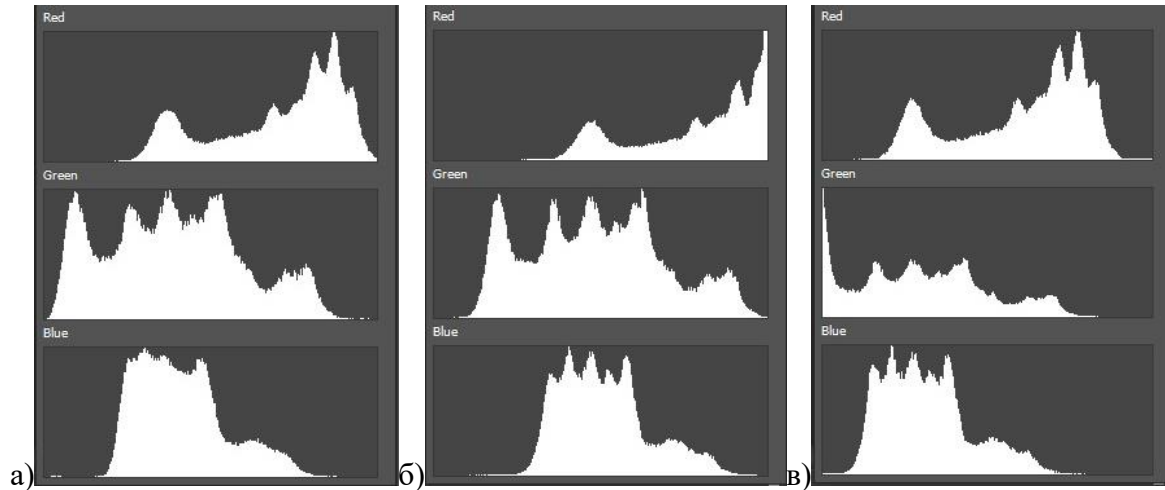
Слика 4.4.2. Негативно осветљење: а)  $BP=-25$ , б)  $BP=-100$ , в)  $BP=-175$

Коришћењем софтверског пакета Матлаб слика је представљена матрицом  $[m \times n]$ . Вредности пиксела су мењане у зависности од функције. На тај начин се директно вредности пиксела мењају у зависности од одређене функције.

Промена нивоа осветљења не важи само за један или групу пиксела него за комплетан број пиксела у слици. Односно, примењене линеарне функције доводе до мењања вредности пиксела комплетне слике. Па самим тим повећање доводи до померања целог хистограма ка десној граници спектра (бела боја). Према томе не долази до промене броја пиксела и облика хистограма RGB канала на дигиталној слици (литература: Н. Kalva, The VC-1 Video Coding Standard, MultiMedia, IEEE, Volume 14, Issue 4, pp. 88-91, 2007. [45]). У супротном случају када долази до смањења осветљења, односно када се користи негативно осветљење, вредности пиксела се смањују и постоји помак на левој страни хистограма (према црној боји), као што је приказано на слици 4.4.3.

На основу дефиниције MSE, вредности параметра  $m$  и  $n$  представљају вредност пиксела, изражени у базним RGB параметрима.

У овом случају постоје две идентичне линеарне функције (позитивана и негативана осветљеност), а вредности пиксела ће се мењати по истом закону. Према дефиницији MSE где постоји апсолутна вредност, резултати неће имати вредност одређену предзнаком, па ће бити исте вредности слика са позитивним и негативним осветљењем.



**Слика 4.4.3.** *Хистограм RGB канала: а) оригиналне слике, б) слике са позитивним осветљењем, в) слике са негативним осветљењем*

Резултати анализе дати су у табелама 4.4.1 и 4.4.2, посебно за позитивно и негативно осветљење.

| BP         | PSNR    | MSE     | SSIM    | DSSIM   |
|------------|---------|---------|---------|---------|
| <b>1</b>   | 48.1314 | 0.99986 | 0.99993 | 13465.8 |
| <b>25</b>  | 20.2558 | 613.053 | 0.96851 | 31.7565 |
| <b>50</b>  | 14.5083 | 2302.78 | 0.90066 | 10.0661 |
| <b>75</b>  | 11.3211 | 4797.03 | 0.8168  | 5.45835 |
| <b>100</b> | 9.14973 | 7908.74 | 0.73297 | 3.74488 |
| <b>125</b> | 7.55128 | 11427.5 | 0.64649 | 2.8288  |
| <b>150</b> | 6.42872 | 14798.2 | 0.54837 | 2.21419 |
| <b>175</b> | 5.737   | 17353.2 | 0.45109 | 1.82178 |
| <b>200</b> | 5.40936 | 18713   | 0.39997 | 1.66657 |
| <b>225</b> | 5.2603  | 19366.4 | 0.38117 | 1.61596 |
| <b>255</b> | 5.2188  | 19552.4 | 0.374   | 1.59743 |

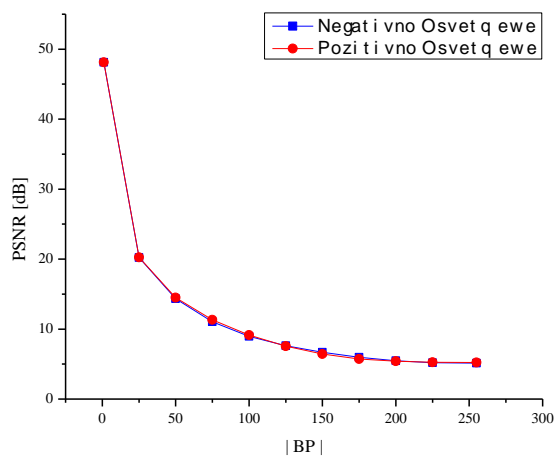
**Табела 4.4.1.** *Вредности PSNR, MSE, SSIM и DSSIM за позитивно осветљење*



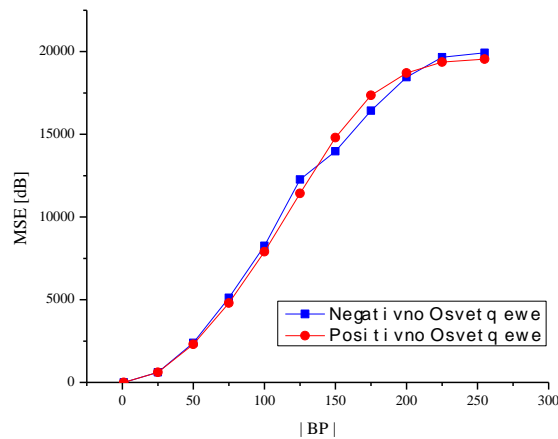
| BP  | PSNR    | MSE     | SSIM    | DSSIM   |
|-----|---------|---------|---------|---------|
| 1   | 48.1314 | 0.99986 | 0.99993 | 13465.8 |
| 25  | 20.2558 | 613.053 | 0.96851 | 31.7565 |
| 50  | 14.5083 | 2302.78 | 0.90066 | 10.0661 |
| 75  | 11.3211 | 4797.03 | 0.8168  | 5.45835 |
| 100 | 9.14973 | 7908.74 | 0.73297 | 3.74488 |
| 125 | 7.55128 | 11427.5 | 0.64649 | 2.8288  |
| 150 | 6.42872 | 14798.2 | 0.54837 | 2.21419 |
| 175 | 5.737   | 17353.2 | 0.45109 | 1.82178 |
| 200 | 5.40936 | 18713   | 0.39997 | 1.66657 |
| 225 | 5.2603  | 19366.4 | 0.38117 | 1.61596 |
| 255 | 5.2188  | 19552.4 | 0.374   | 1.59743 |

Табела 4.4.2. Вредности PSNR, MSE, SSIM и DSSIM за негативно осветљење

На графиконима 4.4.1, 4.4.2 и 4.4.3 приказане су промене параметара PSNR, MSE, SSIM и DSSIM, респективно, са различитим степенима осветљења анализираних слика. На х-оси је дата апсолутна вредност BP. Позитивне вредности (1 до 255) се односе на осветљење слике, а негативне вредности на затамњење слике.



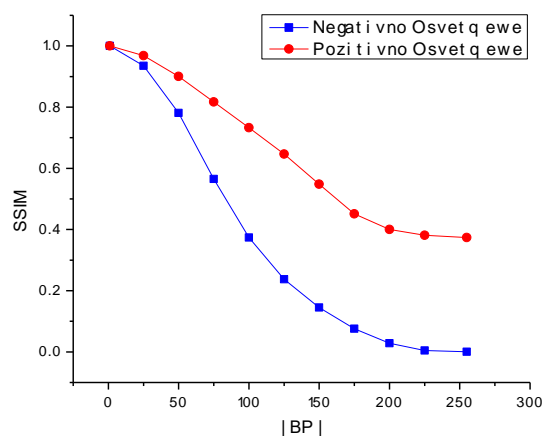
Графикон 4.4.1. Вредности PSNR параметра за различите вредности позитивног и негативног осветљења



**Графикон 4.4.2.** Вредности MSE параметра за различите вредности позитивног и негативног осветљења

Са графиконима се може видети да је BP изражен у апсолутним вредностима  $|BP|$ . PSNR при мањим вредностима има изразито високе вредности што представља добру информацију јер говори о сличности са оригиналном сликом, међутим са растом BP долази до екстремног пада PSNR параметра. Вредност PSNR је готово идентична за позитивне, као и за негативне вредности BP.

Слично као и за PSNR, MSE је идентичан за исте вредности позитивног и негативног осветљења слике на истом опсегу, са тим што MSE параметар расте са порастом позитивног и негативног осветљења, што представља и логичну чињеницу јер слике са већим степеном осветљења више се разликују од основне слике, па је и средње-квадратна грешка већа. На основу промене параметра PSNR и MSE за различите степене позитивног и негативног осветљења не постоји могућност да се уочи разлика у вредности BP између позитивног и негативног осветљења.



**Графикон 4.4.3.** Вредности SSIM параметра за различите вредности позитивног и негативног осветљења

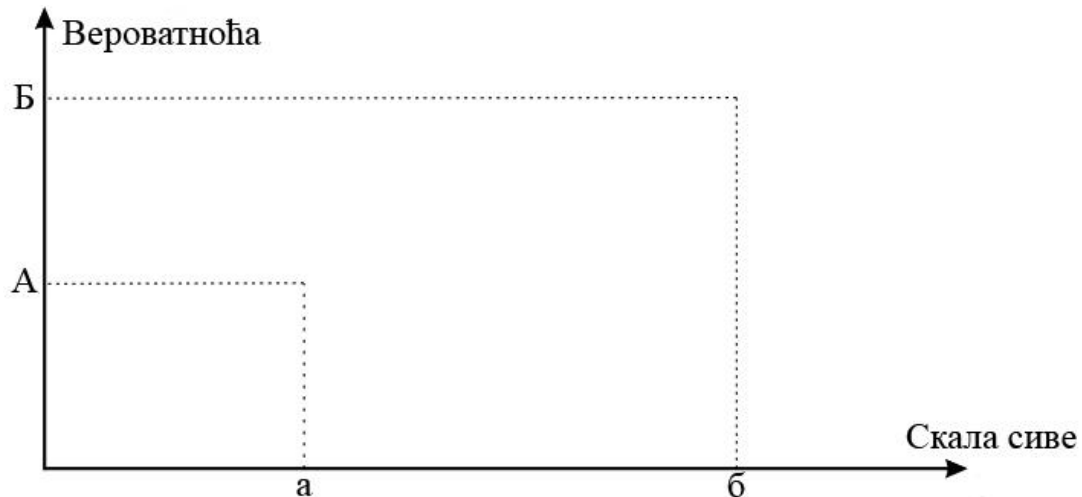
Међутим, при посматрању истих слика на посматраном опсегу и при истим степену узорка, вредности SSIM параметра показују потпуно различите резултате.

Осим визуелног изгледа, на основу PSNR и MSE параметара немогуће је математички одредити разлику између оригиналне слике и слике са повећаним / смањеним осветљењем. SSIM је параметар који потврђује математички разлику када је немогуће утврдити то са другим параметрима. Ови резултати показују значајну бројчану разлику SSIM параметра при позитивном и негативном осветљењу. Вредности позитивног осветљења дају веће вредности у односу на негативно осветљење што значи да слике при позитивном осветљењу, „чувају“ већи степен корисне информације од негативног осветљења.

#### 4.5. Уклањање Salt & Pepper шума са нелинеарним филтерима

Анализирана је разлика у квалитету између нелинеарних филтера Медиан, Филтра средње вредности и Филтра оптерећења, приликом елиминације Salt & Pepper шума из дигиталне слике. Уз помоћ софтверског пакета Матлаб и CVIPtools програма израчунати су вршни односи сигнал-шум (PSNR), средње квадратна грешка (MSE), индекс структуралне сличности (SSIM) и ентропије. Помоћу ових параметара одређен је квалитет филтрирања наведених филтера за различите густине Salt & Pepper шума.

Код врсте оштећења које се назива Salt & Pepper шум постоје две могуће вредности, а и б, и вероватноћа добијања једне или друге вредности је 0.1. За слику која има 8 бит/пикселу, типична вредност за Pepper шум је близу нуле или сама нула, а за Salt шум је приближно 255 или тачно 255.



Графикон 4.5.1. Вероватноћа расподеле функције за Salt & Pepper шум

Оваква врста оштећења на слици настају услед несавршености сензора на камери, неисправности фотоапарата, несавршеној синхронизацији приликом записа спектра који је добијен са оптичког сензора у дигитални податак и таквог записа на меморију или грешке током преноса.

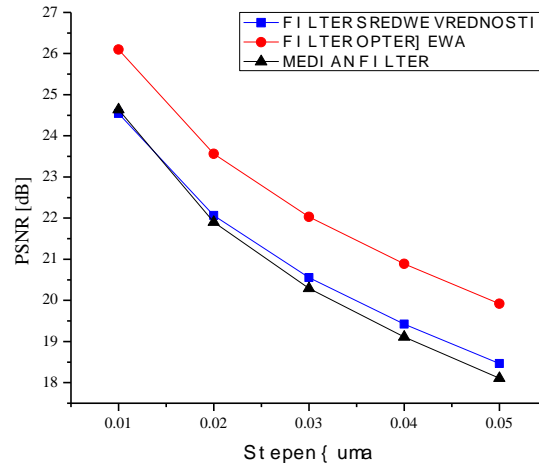
За објективну оцену квалитета коришћене су 24-битске некомпресоване слике у TIFF формату, са 96 dpi по хоризонталној и вертикалној резолуцији.



Слика 4.5.1. а) Оригинална слика, Salt and pepper шум густине б) 0.01, в) 0.02, г) 0.03,  
д) 0.04, њ) 0.05

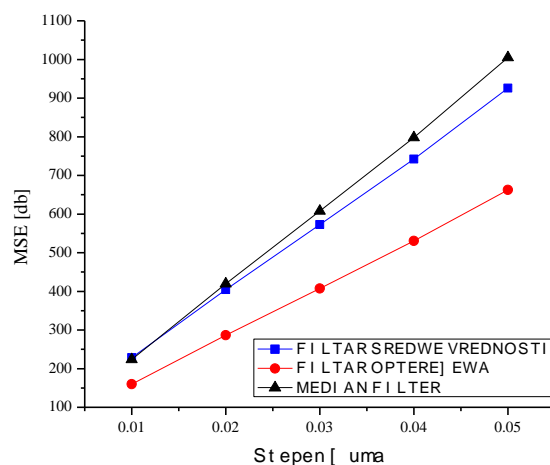
Коришћењем софтверског пакета Матлаб и команде  $J = \text{imnoise}(I, 'salt \& pepper', d)$  додаје се шум који је потребан за анализу. Овај поступак је намерно изабран јер додавањем шума на оригиналну слику, могу се реконструисане слике упоређивати са оригиналном сликом.

На овај начин се могу мерити средња квадратна грешка, вршни однос сигнал шум и модел структуралне личности реконструисаних слика у односу на оригиналну слику. Добијени резултати су приказани на графиконима 4.5.2, 4.5.3 и 4.5.4 респективно.



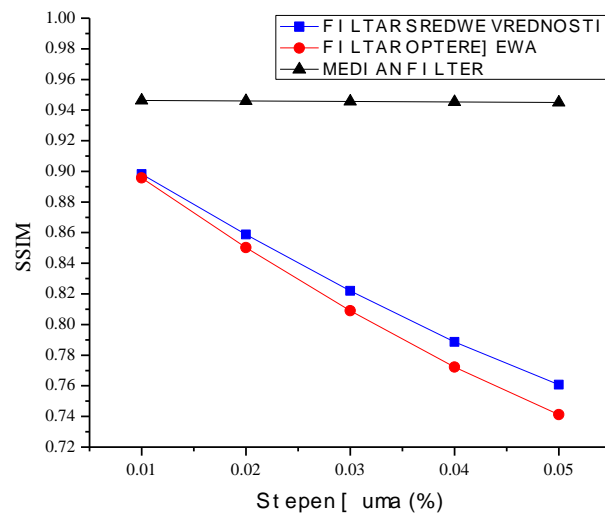
Графикон 4.5.2. Промена PSNR параметра за филтриране слике

Са графикона 4.5.2 може се закључити да на целом посматраном спектру (0.01-0.05) Филтер оптерећења даје мало слабије резултате у односу на Филтар средње вредности. Док, када се пореди Медијан филтер и са Филтром средње вредности на читавом посматраном опсегу даје знатно боље резултате. Практично говорећи на комплетном посматраном опсегу (оштећење од 0.01-0.05) слике добијене након филтрирања Медијан филтром дају најбоље резултате посматрајући PSNR параметар.



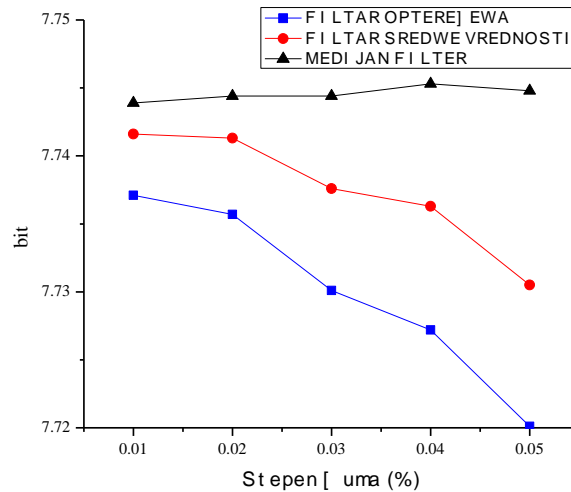
Графикон 4.5.3. Промена MSE параметра за филтриране слике

Графикон 4.5.3 даје однос између нелинеарних филтрирања на одређеном спектру густине Salt & Pepper шума на основу MSE параметра. Из овог графика се може приметити да са повећањем густине шума, повећава се средња квадратна грешка. На екстремно ниску густину шума (0,01) сва три филтра дају приближно исте резултате, док са повећањем густине постоји јасније раздвајање кривих. На графиконима 4.5.4 и 4.5.5 приказани су добијени резултати на основу модела структуралне сличности и ентропије.



**Графикон 4.5.4.** Промена SSIM параметра за посматране слике

Графикон 4.5.4 даје увид у индекс структуралне сличности и њену промену на посматраном опсегу. Готово константну вредност на целом опсегу даје Медијан филтер, што практично значи да слика задржава свој потенцијал у том опсегу. Такође треба нагласити да је максимална вредност овог параметра 1, што одражава потпуну сличност, тако да са вредношћу од приближно 0.95 Медијан филтер показује сличност од 95% на комплетном посматраном опсегу.



Графикон 4.5.5. Промена Ентропије за посматране добијене слике

Филтер оптерећења и филтар средње вредности имају веома изражен линеаран пад са порастом густине шума. Посматрајући највећу густину шума, вредности за два поменута филтра падају испод 0.75, значи да на 5% оштећења слике, могућа је реконструкција 75%, што преставља веома лоше резултате.

На графикону 4.5.5. приказана је ентропија филтрираних слика за посматрани salt and pepper шум. Слично као и код SSIM алгоритма, Медијан филтер даје најбоље резултате на посматраном опсегу. Такође, на основу алгоритма ентропије, може се рећи да вредност Медиан филтер скоро не зависи од густине salt and pepper шума.

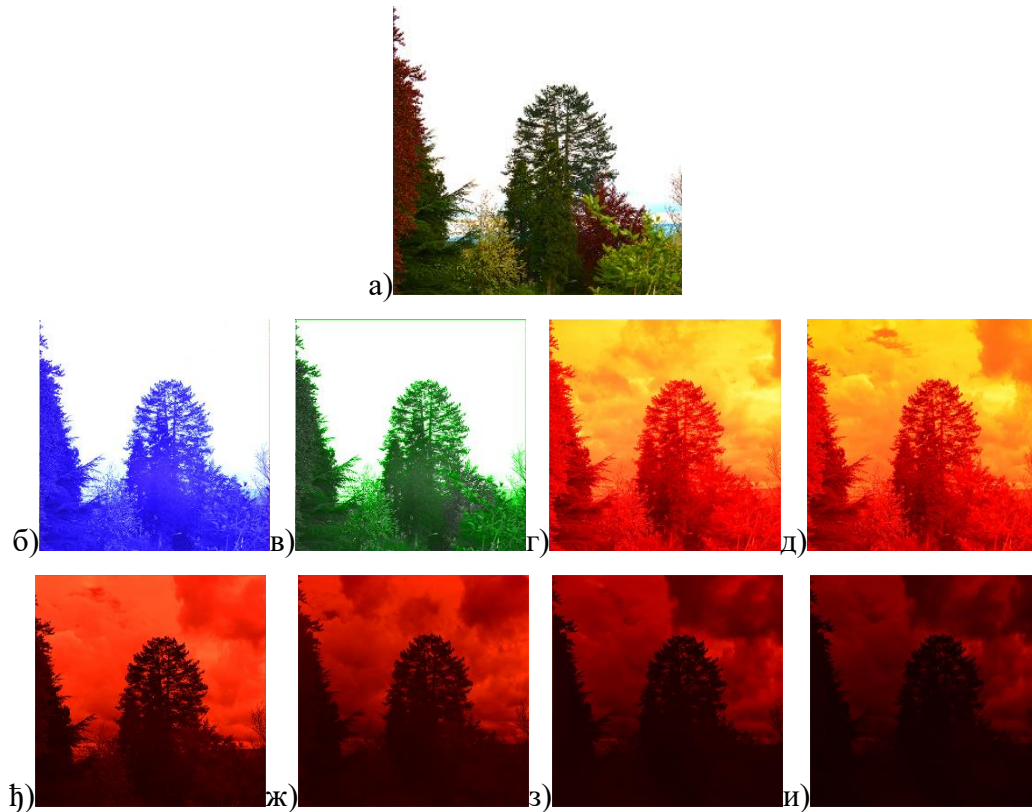
С друге стране, у директном поређењу Филтра средње вредности и Филтра оптерећења, на целом посматраном спектру, Филтар средње вредности даје боље резултате.

У овом поглављу анализирани су три најзначајнија филтра за уклањање salt and pepper шума из дигиталне слике. Резултати су показали да Медијан филтер, у свим спроведеним анализама, даје најбоље резултате за ову сврху. На посматраном опсегу за анализу индекса структурне сличности (SSIM) и ентропије, показано је да Медијан филтер не зависи од густине шума у дигиталној слици, док вредности Филтра средње вредности и Филтра оптерећења се линеарно смањују са повећањем густине шума. А, када је реч о директном односу Филтра средње вредности и Филтра оптерећења, кроз све анализе спроведене у овом поглављу, Филтар средње вредности даје незнатно боље резултате.



#### 4.6. Анализа видљивог спектра кроз слике таласних дужина

За анализу су коришћене оригиналне некомпресоване слике у TIFF формату са резолуцијом 512x512 и 24 битском дубином записа, и са 72 dpi по хоризонталној и вертикалној резолуцији, направљене IR фотоапаратом Artborghid800.



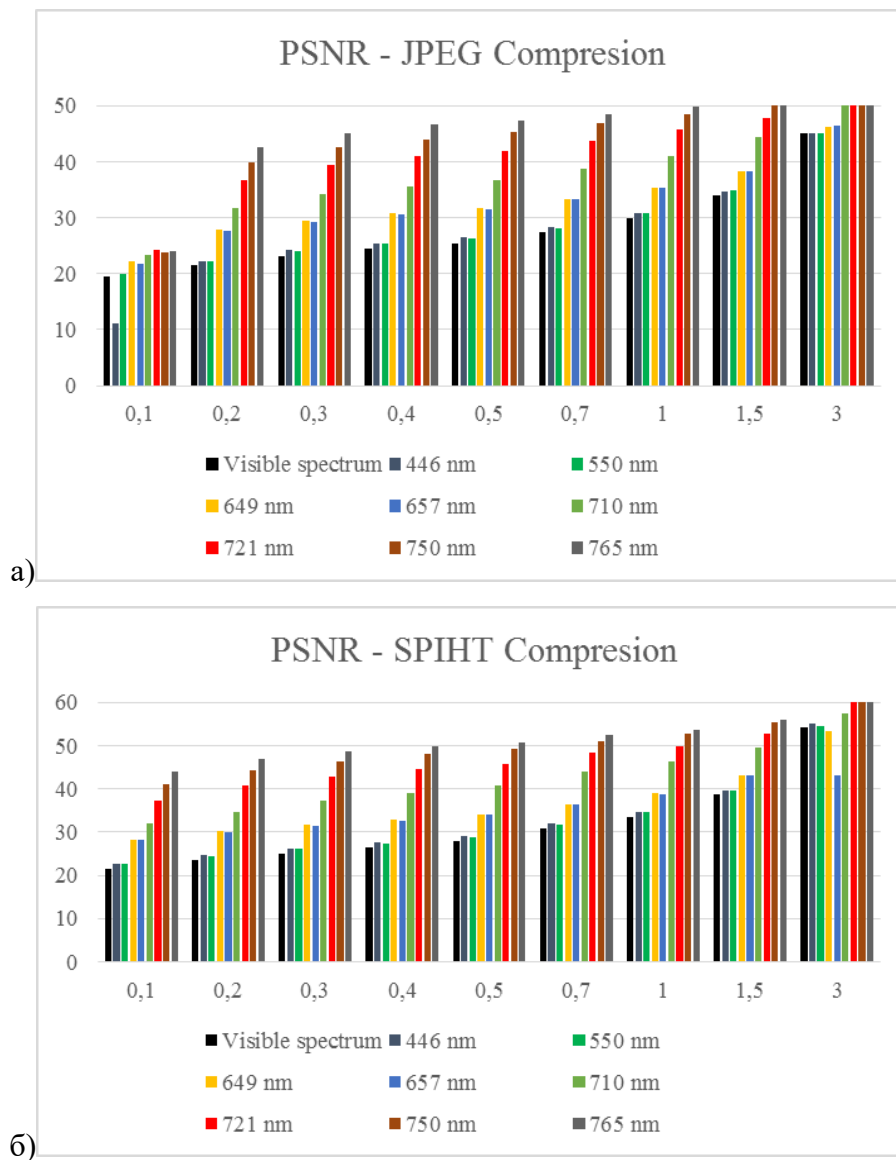
**Слика 4.6.1.** *а) Пуни видљиви спектар, слика филтрирана на б) 446nm, в) 550nm, г) 649nm, д) 657nm, ђ) 710 nm ж) 721nm, з) 750nm, и) 765nm*

Добијене слике су анализирание кроз VC Demo софтвер и кроз опције софтвера JPEG и SPIHT компресије са циљем добијања PSNR, MSE и SNR за различите вредности протока (бита по пикселу - bpp). Узете вредности протока су 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.7, 1, 1.5 и 3. На основу овог мерења ће се утврдити квалитет компресије, односно утврдиће се која од ове две компресије даје боље резултате за обраду и анализу слика спектроскопије.

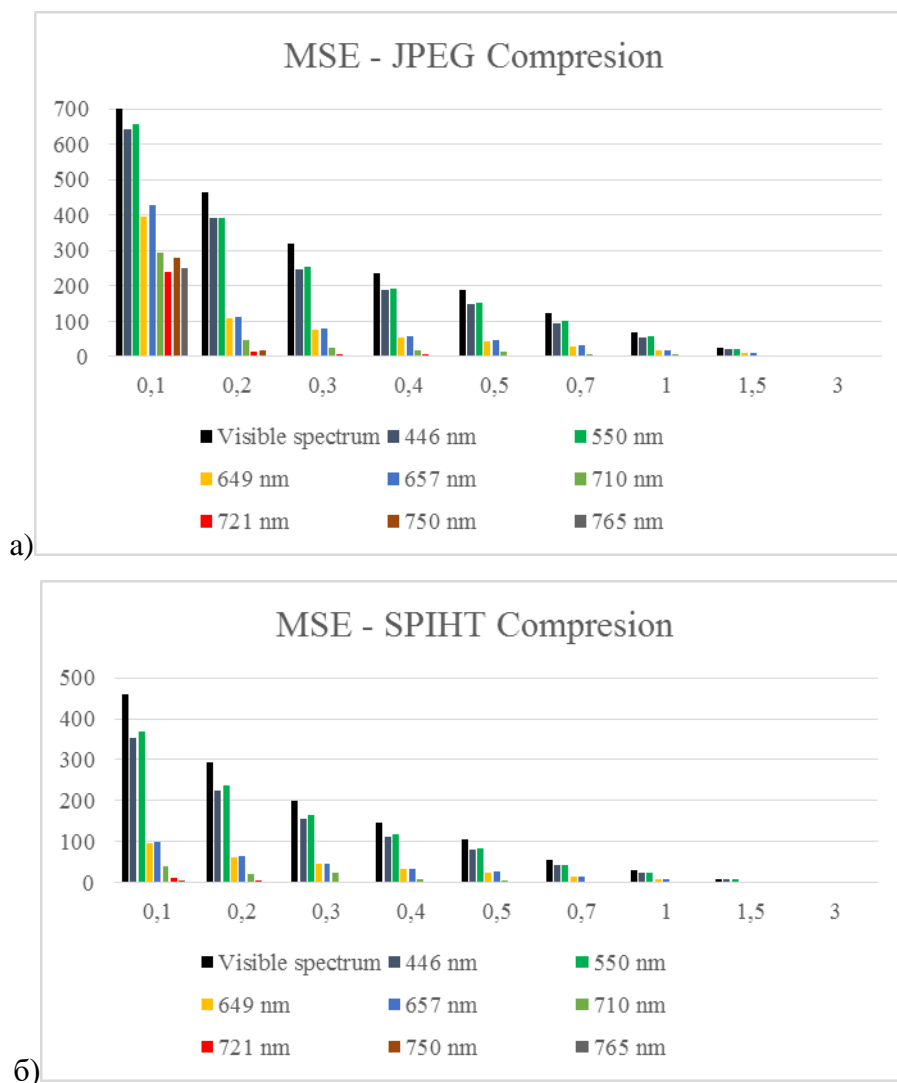
У следећем кораку уз помоћ Софтверског пакета Матлаб се анализира Ентропија свих слика понаособ, са циљем да се утврди у којем делу спектра се налази највећи потенцијал слике.

Такође, уз помоћ софтверског пакета Матлаб, а коришћењем SSIM алгоритма је добијен однос између слике у пуном видљивом спектру (400 – 800 nm), и слика на једном таласном дужином. Овим ће се утврдити структурална сличност слике пуног видљивог спектра са сликама на одређеним таласним дужинама.

Да би имали вернији приказ квалитета компресије различито филтрираних слика, одређен је peak signal to noise ratio PSNR (рад [22]) и његова промена је графички приказана у зависности од промене bpp. На графикону 3.6.1 дата је графичка промена PSNR-а добијена за различите вредности bpp при употреби компресије JPEG и SPIHT алгоритмом, респективно. Алгоритми компресије су примењени над комплетним видљивим спектром и сликама филтрираних различитим таласним дужинама.

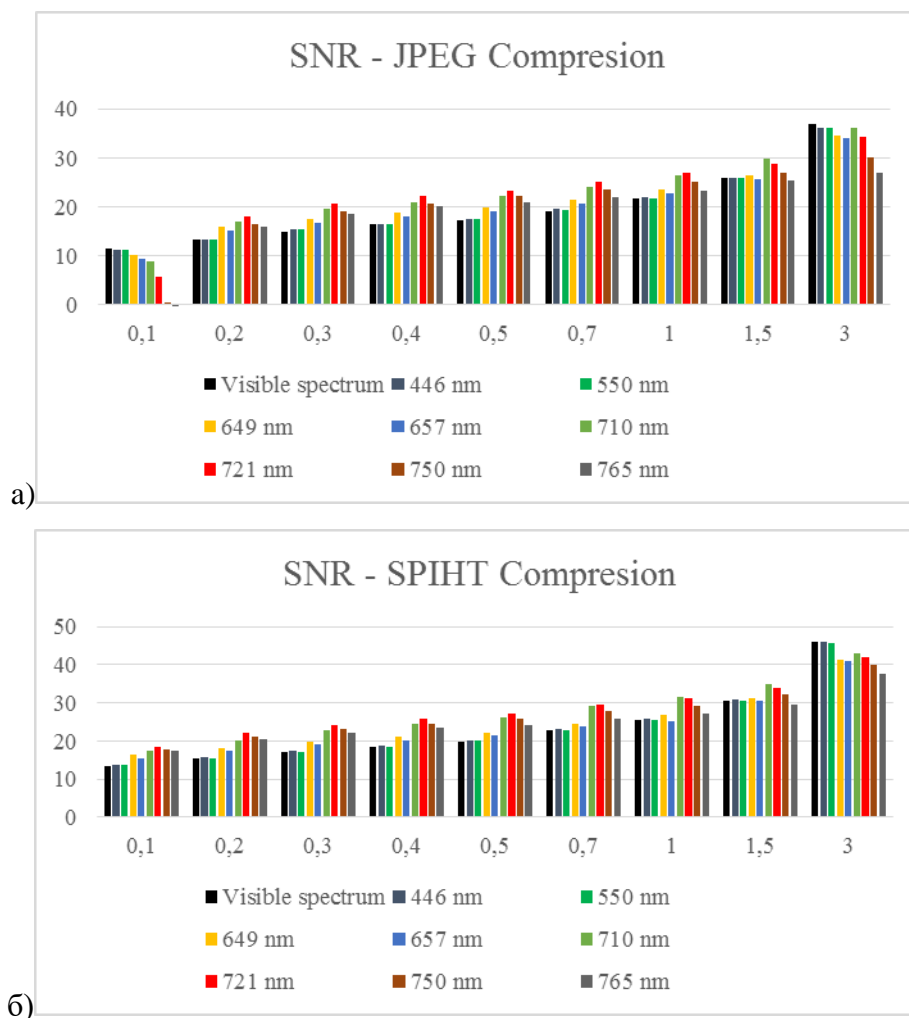


Графикон 4.6.1. Промена PSNR при компресији а) JPEG алгоритмом, б) SPIHT алгоритмом



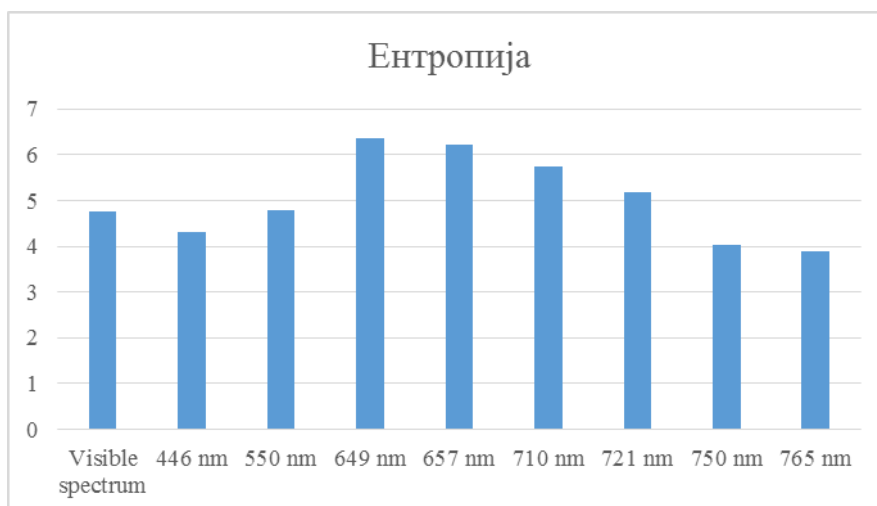
**Графикон 4.6.2.** Промена MSE при компресији а) JPEG алгоритмом, б) SPIHT алгоритмом

Из графикона 4.6.2 може се видети да се са порастом брр смањује средња квадратна грешка и код слике са комплетним видљивим спектром и код слика филтрираних кроз дефинисане таласне дужине. Средња квадратна грешка за посматрани опсег брр је израженија код JPEG компресије, а бољи резултати се добијају SPIHT компресијом за таласне дужине преко 650 nm.



Графикон 4.6.3. Промена SNR при компресији а) JPEG алгоритмом, б) SPIHT алгоритмом

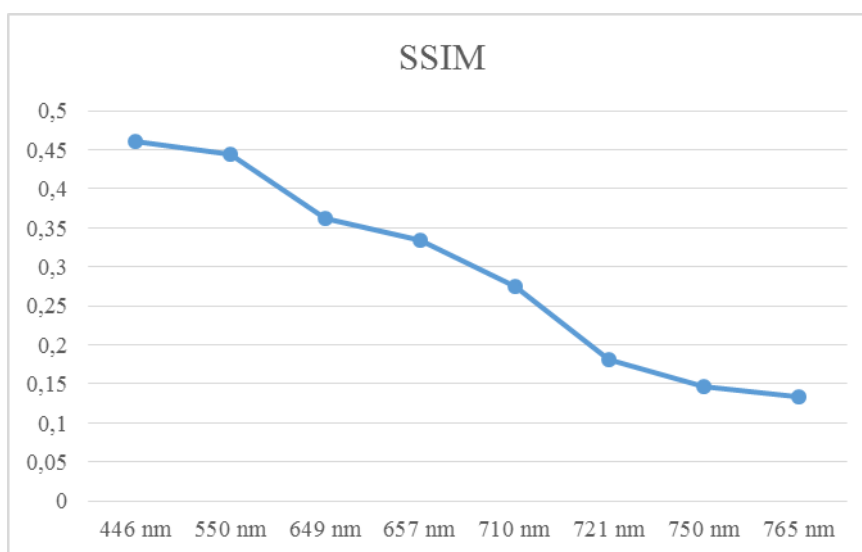
По истом закону као и код PSNR алгоритма, мења се и SNR вредност. Као што се види на графикону 4.6.3 са порастом bpp долази од пораста signal to noise ratio (SNR). Ово правило промене важи код свих облика алгоритама компресије.



**Графикон 4.6.4.** Вредности ентропије анализираних слика

На графикону 4.6.4 налазе се графикони на којима су представљене вредности ентропије за све анализираних слика. Ентропија даје увид у потенцијал слика са различитим таласним дужинама. Из добијених резултата види се да је ентропија слике највећа на почетку дела видљивог спектра који дефинише црвену боју, односно на таласним дужинама 649 и 657 nm.

Са графикона 4.6.5 види се да је потенцијал слике највећи на почетку дела видљивог спектра који дефинише црвену боју и да опада ка приближавању границама видљивог спектра.



**Графикон 4.6.5.** Вредности SSIM анализираних слика

SSIM алгоритмом се утврђује сличност између две слике упоређујући њихову луминетност. Слика 4.6.1а је узета као основна са којом су поређене све остале слике на различитим таласним дужинама. Резултати приказани на графикону 4.6.5 показују да са порастом таласне дужине SSIM драстично опада. Анализом кроз SSIM алгоритам је потврђена теорија да са растом таласне дужине опада енергија (рад [23]).

Код PSNR параметра при екстремно ниској брзини преноса (0.1 bpp / елемент слике) квалитет компресије је изразито бољи на већим таласним дужинама код SPIHT компресије. Док генерално када се пореде анализе PSNR параметра за JPEG и SPIHT компресију, SPIHT компресија даје незнатно боље резултате. На основу добијених резултата средње квадратне грешке (MSE) може се закључити да је квалитет слика при вишим вредностима таласних дужина, а при нижим брзинама преноса бољи код SPIHT компресије. Као и у претходна два случаја и код SNR параметра SPIHT компресија даје незнатно боље резултате у односу на JPEG компресију.

У погледу компресионе методе, у свим анализама слика са различитим таласним дужинама SPIHT компресија даје боље резултате у односу на JPEG методу компресије.

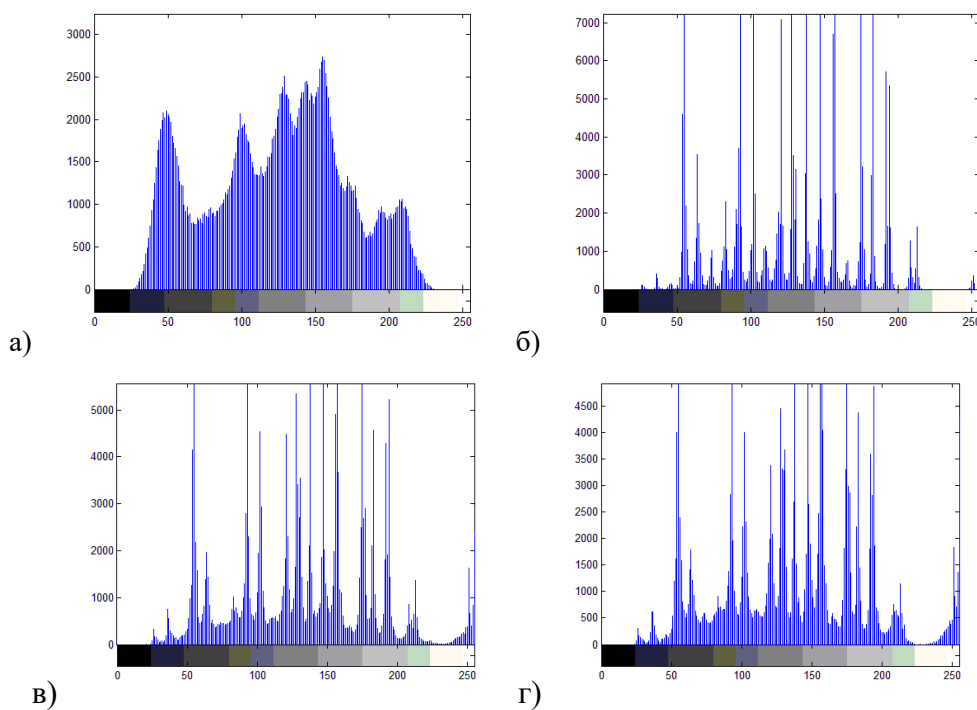
#### **4.7. Утицај различитих алгоритама компресије над сликама филтрираним Лапласијан, Превит и Собел оператором**

За анализу објективног квалитета слика коришћене су 24-битне некомпресоване слике сачуване у TIFF формату, са оригиналним резолуцијама 512x512 пиксела, доступне на веб страници <http://sipi.usc.edu/database/misc.zip>.

Пре примене различитих алгоритама компресије оригинална слика је филтрирана са Лапласијан, Превит и Собел филтром. Четири алгоритама компресије (JPEG, JPEG 2000, EZW и SPIHT) су примењена над оригиналном сликом, филтрираном Лапласијан, Превит и Собел филтром. За сваки алгоритам примењено је девет брзина преноса: 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.75, 1.0, 1.5 и 3.0 бита/елементу слике (bpp). Анализи је рађена употребом софтверског пакета Матлаб 7.0. На слици 4.7.1 дат је пример једне анализиране слике у оригиналном и филтрираном облику, а на слици 4.7.2 одговарајући хистограми.



**Слика 4.7.1.** а) Оригинална слика, б) Слика филтрирана Лапласовим оператором, ц) Слика филтрирана Превит оператором, е) Слика филтрирана Собеловим оператором



**Слика 4.7.2.** Хистограми: а) Оригинална слика, б) Слика филтрирана Лапласовим оператором, ц) Слика филтрирана Превитовим оператором, е) Слика филтрирана Собеловим оператором

У Табели 4.7.1, 4.7.2, 4.7.3 и 4.7.4 дате су вредности средње-квадратне грешке (MSE) добијени применом JPEG, JPEG 2000, EZW и SPIHT алгоритмом компресије, респективно.

| bpp  | Слика    |            |        |       |
|------|----------|------------|--------|-------|
|      | Оригинал | Лапласијан | Превит | Собел |
| 0.1  | 417.1    | 425.5      | 640.4  | 726.4 |
| 0.2  | 83.8     | 111.3      | 313.5  | 379.9 |
| 0.3  | 44.1     | 83.2       | 185.2  | 251.9 |
| 0.4  | 29.5     | 74.5       | 133.1  | 186.6 |
| 0.5  | 22.3     | 68.3       | 111.7  | 153.1 |
| 0.75 | 15.7     | 60.8       | 79.8   | 115.0 |
| 1    | 10.9     | 51.4       | 56.5   | 78.9  |
| 1.5  | 7.0      | 37.9       | 36.1   | 49.3  |
| 3    | 2.8      | 9.1        | 9.8    | 13.9  |

**Табела 4.7.1.** Промена MSE при компресији JPEG алгоритмом

| bpp  | Слика    |            |        |       |
|------|----------|------------|--------|-------|
|      | Оригинал | Лапласијан | Превит | Собел |
| 0.1  | 66.7     | 96.1       | 259.7  | 350.6 |
| 0.2  | 32.7     | 74.8       | 147.6  | 202.2 |
| 0.3  | 21.2     | 63.3       | 102.1  | 143.8 |
| 0.4  | 15.7     | 55.7       | 81.3   | 113.3 |
| 0.5  | 12.2     | 49.1       | 66.8   | 94.0  |
| 0.75 | 8.1      | 38.2       | 45.7   | 63.2  |
| 1    | 5.9      | 29.8       | 33.3   | 44.5  |
| 1.5  | 3.4      | 16.3       | 18.1   | 25.3  |
| 3    | 0.8      | 2.4        | 2.7    | 3.8   |

**Табела 4.7.2.** Промена MSE при компресији JPEG2000 алгоритмом

| bpp  | Слика    |            |        |       |
|------|----------|------------|--------|-------|
|      | Оригинал | Лапласијан | Превит | Собел |
| 0.1  | 126.9    | 144.5      | 432.5  | 550.7 |
| 0.2  | 57.6     | 93.4       | 236    | 311.6 |
| 0.3  | 34.4     | 75.7       | 143.8  | 197.2 |
| 0.4  | 25.5     | 65.9       | 119.8  | 161.2 |
| 0.5  | 19.6     | 61.9       | 91.3   | 136.2 |
| 0.75 | 12.4     | 50.4       | 64.3   | 82.1  |
| 1    | 8.9      | 33.5       | 47.1   | 66.5  |
| 1.5  | 5.5      | 24.7       | 26.8   | 32.5  |
| 3    | 1.4      | 4.7        | 5.6    | 7.6   |

**Табела 4.7.3.** Промена MSE при компресији EZW алгоритмом

| bpp  | Слика    |            |        |       |
|------|----------|------------|--------|-------|
|      | Оригинал | Лапласијан | Превит | Собел |
| 0.1  | 61.5     | 95         | 265.5  | 342   |
| 0.2  | 31.2     | 72.7       | 144.9  | 202.2 |
| 0.3  | 20.5     | 62.4       | 102.8  | 146.3 |
| 0.4  | 15.2     | 55.1       | 80.8   | 114.9 |
| 0.5  | 12.1     | 48.6       | 66.8   | 93.3  |
| 0.75 | 7.9      | 35.9       | 45.3   | 62.9  |
| 1    | 5.8      | 27.9       | 32.2   | 44.2  |
| 1.5  | 3.2      | 14.3       | 17.1   | 24.3  |
| 3    | 0.6      | 2.1        | 2.4    | 3.5   |

**Табела 4.7.4.** Промена MSE при компресији SPIHT алгоритмом



У Табели 4.7.5, 4.7.6, 4.5.7 и 4.7.8 дате су вредности сигнал to noise ratio (SNR) добијени применом JPEG, JPEG 2000, EZW и SPIHT алгоритмом компресије, респективно.

| bpp  | Слика    |            |        |       |
|------|----------|------------|--------|-------|
|      | Оригинал | Лапласијан | Превит | Собел |
| 0.1  | 7.4      | 6.7        | 5.9    | 5.6   |
| 0.2  | 14.4     | 12.5       | 9.0    | 8.4   |
| 0.3  | 17.2     | 13.8       | 11.2   | 10.2  |
| 0.4  | 18.9     | 14.2       | 12.7   | 11.5  |
| 0.5  | 20.1     | 14.6       | 13.4   | 12.3  |
| 0.75 | 21.6     | 15.1       | 14.9   | 13.6  |
| 1    | 23.2     | 15.8       | 16.4   | 15.2  |
| 1.5  | 25.1     | 17.2       | 18.3   | 17.2  |
| 3    | 29.1     | 23.4       | 24.0   | 22.7  |

**Табела 4.7.5.** Промена SNR при компресији JPEG алгоритмом

| bpp  | Слика    |            |        |       |
|------|----------|------------|--------|-------|
|      | Оригинал | Лапласијан | Превит | Собел |
| 0.1  | 15.4     | 13.1       | 9.8    | 8.7   |
| 0.2  | 18.5     | 14.2       | 12.2   | 11.1  |
| 0.3  | 20.3     | 14.9       | 13.8   | 12.6  |
| 0.4  | 21.6     | 15.5       | 14.8   | 13.6  |
| 0.5  | 22.7     | 16.0       | 15.7   | 14.4  |
| 0.75 | 24.5     | 17.1       | 17.3   | 16.2  |
| 1    | 25.9     | 18.2       | 18.7   | 17.7  |
| 1.5  | 28.3     | 20.8       | 21.3   | 20.1  |
| 3    | 34.5     | 29.2       | 29.6   | 28.4  |

**Табела 4.7.6.** Промена SNR при компресији JPEG2000 алгоритмом

| bpp  | Слика    |            |        |       |
|------|----------|------------|--------|-------|
|      | Оригинал | Лапласијан | Превит | Собел |
| 0.1  | 12.6     | 11.4       | 7.6    | 6.8   |
| 0.2  | 16.0     | 13.3       | 10.2   | 9.2   |
| 0.3  | 18.2     | 14.2       | 12.3   | 11.2  |
| 0.4  | 19.5     | 14.8       | 13.1   | 12.1  |
| 0.5  | 20.7     | 15         | 14.3   | 12.8  |
| 0.75 | 22.7     | 15.9       | 15.8   | 15    |
| 1    | 24.1     | 17.7       | 17.2   | 15.9  |
| 1.5  | 26.2     | 19         | 19.6   | 19    |
| 3    | 32.1     | 26.2       | 26.5   | 25.3  |

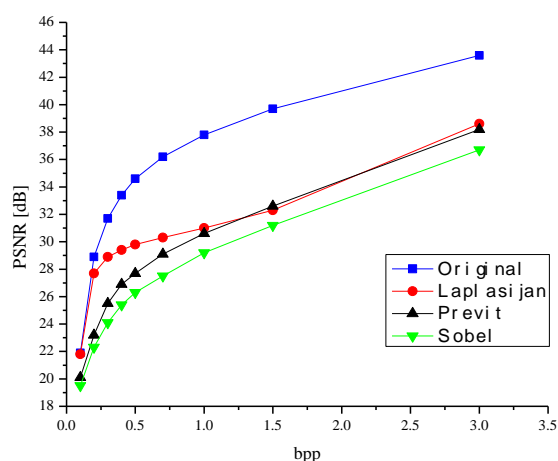
**Табела 4.7.7.** Промена SNR при компресији EZW алгоритмом

| bpp  | Слика    |            |        |       |
|------|----------|------------|--------|-------|
|      | Оригинал | Лапласијан | Превит | Собел |
| 0.1  | 15.7     | 13.2       | 9.8    | 8.8   |
| 0.2  | 18.7     | 14.3       | 12.3   | 11.1  |
| 0.3  | 20.5     | 15         | 13.8   | 12.5  |
| 0.4  | 21.8     | 15.5       | 14.8   | 13.6  |
| 0.5  | 22.8     | 16.1       | 15.7   | 14.5  |
| 0.75 | 24.6     | 17.4       | 17.4   | 16.2  |
| 1    | 26       | 18.5       | 18.8   | 17.7  |
| 1.5  | 28.6     | 21.4       | 21.6   | 20.3  |
| 3    | 36.2     | 29.7       | 30.1   | 28.8  |

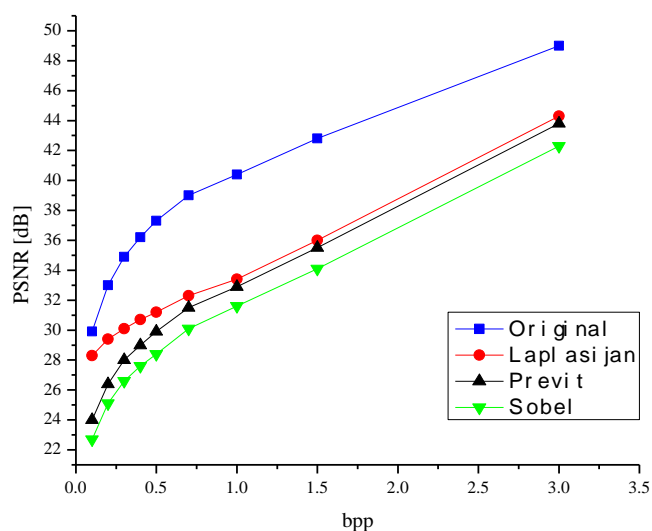
**Табела 4.7.8.** Промена SNR при компресији SPIHT алгоритмом

Из датих табела може сеидети да са порастом  $\text{bpp}$  смањује се средња квадратна грешка и код оригиналне и код филтриране слике. Са порастом  $\text{bpp}$  долази од пораста директног односа сигнал шум (SNR).

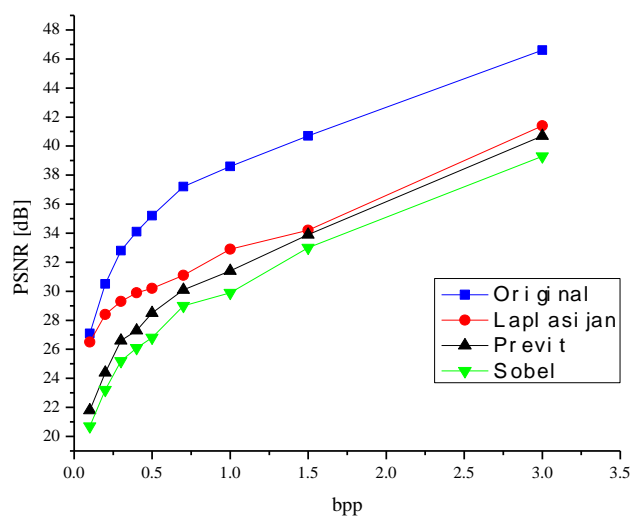
Да би имали вернији приказ квалитета компресије различито филтрираних слика, одређен је вршни однос сигнал/шум (PSNR) и његова промена у зависности од промене  $\text{bpp}$  приказана је на графиконима 4.7.1, 4.7.3, 4.7.3 и 4.7.3.



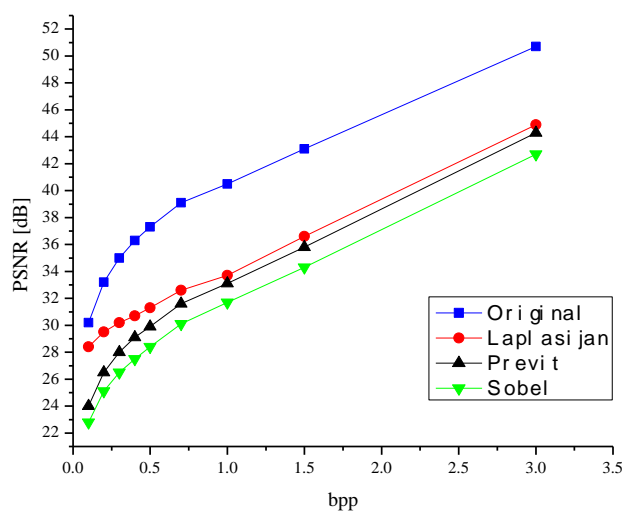
Графикон 4.7.1. Промена PSNR при компресији JPEG алгоритмом



Графикон 4.7.2. Промена PSNR при компресији JPEG2000 алгоритмом



Графикон 4.7.3. Промена PSNR при компресији EZW алгоритмом

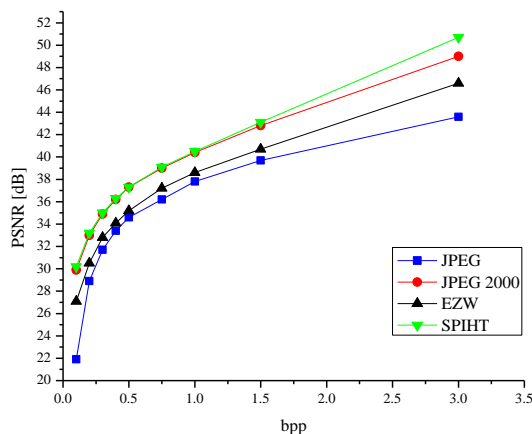


Графикон 4.7.4. Промена PSNR при компресији SPIHT алгоритмом

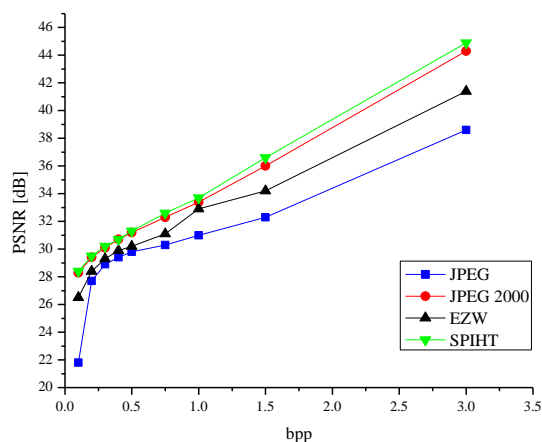
На графикону 4.7.1, 4.7.2, 4.7.3 и 4.7.4 дата је графичка промена PSNR-а добијена за различите вредности брр при употреби компресије JPEG, JPEG 2000, EZW и SPIHT алгоритмом, респективно. Алгоритми компресије су примењени над оригиналном и филтрираном сликом Лапласијан, Превит и Собел оператором. Са датих графикона се може видети да са порастом брр долази до раста PSNR за све алгоритме компресија примењених над оригиналном и филтрираном сликом.

Највише вредности PSNR се добијају код сва четири облика алгоритма компресије примењених над оригиналном сликом. PSNR за сва четири облика компресије примењених над сликом филтрираном Лапласијан и Превит оператором је приближно исти. Разлика постоји при ниским битским протоцима компресије. Најизраженији раст PSNR се јавља при ниским битским протоцима и код оригиналне слике.

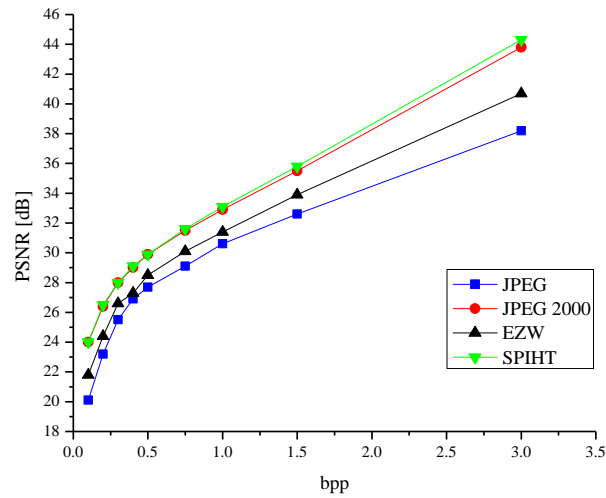
На графикону 4.7.5, 4.7.6, 4.7.7 и 4.7.8 дата је графичка промена PSNR добијена за различите вредности bpp компресоване оригиналне, филтриране Лапласијан, Превит и Собел оператором, респективно. Над оригиналним и филтрираним сликама коришћени су JPEG, JPEG 2000, EZW и SPIHT алгоритми компресије.



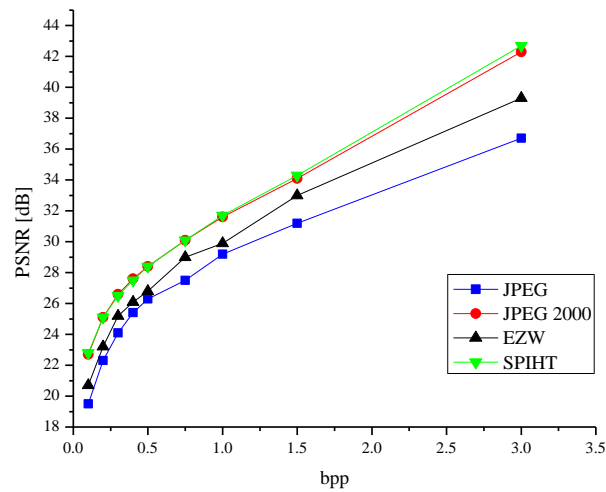
Графикон 4.7.5. Промена PSNR при различитим облицима компресије оригиналне слике



Графикон 4.7.6. Промена PSNR при различитим облицима компресије слике филтриране Лапласијан оператором



**Графикон 4.7.7.** Промена PSNR при различитим облицима компресије слике филтриране Превит оператором



**Графикон 4.7.8.** Промена PSNR при различитим облицима компресије слике филтриране Собеловим оператором

Са датих графикана се може видети да се највише вредности за PSNR добијају применом SPIHT и JPEG 2000 компресионог алгоритма. Затим следе вредности PSNR добијене компресијом EZW и JPEG алгоритма. Ово правило важи за све облике анализираних слика (оригинални и филтриране Лапласијан, Превит и Собел оператором).

Разлика између PSNR код SPIHT и EZW компресије је израженија при вишим вредностима битских протока, док је код нижих готово иста. Разлика је најизраженија код примене ова два алгоритама над оригиналном сликом.

Анализом различитих облика алгоритама компресије утврђено је да са порастом брр долази до смањења средње квадратне грешке, односно до пораста дирекног односа сигнал/шум (SNR) и вршног односа сигнал/шум (PSNR).

На основу добијених параметара може се потврдити да се најбољи квалитет компресоване слике добија применом сва четири алгоритама компресије над оригиналном сликом. У случају филтрираних слика најбоље резултате даје слика филтрирана Лапласијан и Превит оператором. Применом Собел оператора добијају се лошији резултати у односу на остала два оператора. Квалитет компресије слике филтриране Лапласијан оператором је за нијансу бољи од слике филтриране Превит оператором. Разлика је мало више израженија при ниским битским протоцима.

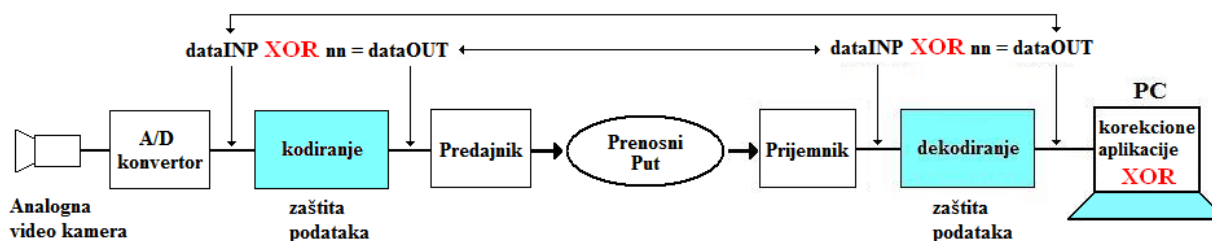
У свим анализама алгоритми SPIHT и JPEG 2000 показују најбоље резултате у компресији оригиналних и филтрираних слика. Затим, по квалитету компресије следи EZW алгоритам, док JPEG даје најлошије резултате у односу на претходна три алгоритма. Ови резултати важе и за оригиналне и филтриране слике. SPIHT је за нијансу супериорнији у односу на JPEG 2000 само при вишим брр. За остале вредности брр квалитет компресије SPIHT и JPEG 2000 алгоритмом је исти.

JPEG 2000 алгоритам је на свим брзинама преноса (брр) и на свим сликама постигао очекивано бољи резултат у односу на JPEG поступак. Код слика компресованих JPEG смањење брзине узрокује видљиву контуру блокова на слици. Код компресовања JPEG 2000 алгоритмом нема блоковске структуре већ се смањивањем брзине преноса јавља ефекат замућења који је мање неугодан од видљивих ивица блокова. Ефекат замућења се примећује и код EZW и SPIHT метода компресије при мањим брзинама.

## 5. ПРАКТИЧНА ПРИМЕНА ЕКСКЛУЗИВНЕ ДИСЈУНКЦИЈЕ (XOR) КОД ЗАШТИТЕ, ПРЕНОСА И ФИЛТРИРАЊА ДИГИТАЛНЕ СЛИКЕ

Формирану дигиталну слику је понекада потребно пренети, на жељену дестинацију, преко неког преносног пута. Свакако је у озбиљним системима пожељно да овај пренос буде заштићен по неком важећем стандарду, најбоље ИСО 27001 или ИСО 27002. Задњих десетак година, у свету доживљавамо велику експанзију интернета, као и његову све већу присутност у већини пословних процеса, па је неопходно интензивно размишљати и о безбедносним заштитима информационих система, на свим нивоима. Пракса је показала да је и поред свих техничких предострожности могућа појава неких типичних грешака, односно сметњи, нарочито уколико се мрежна камера налази близу великих УПС уређаја, или ако се налази у сервер сали. Проблеме такође могу да стварају и неки тиристорски склопови који раде под великим оптерећењем. Могуће је, међутим, одређеним алгоритмима и математичко-софтверским методама ове грешке отклонити на пријемној страни (у постобради).

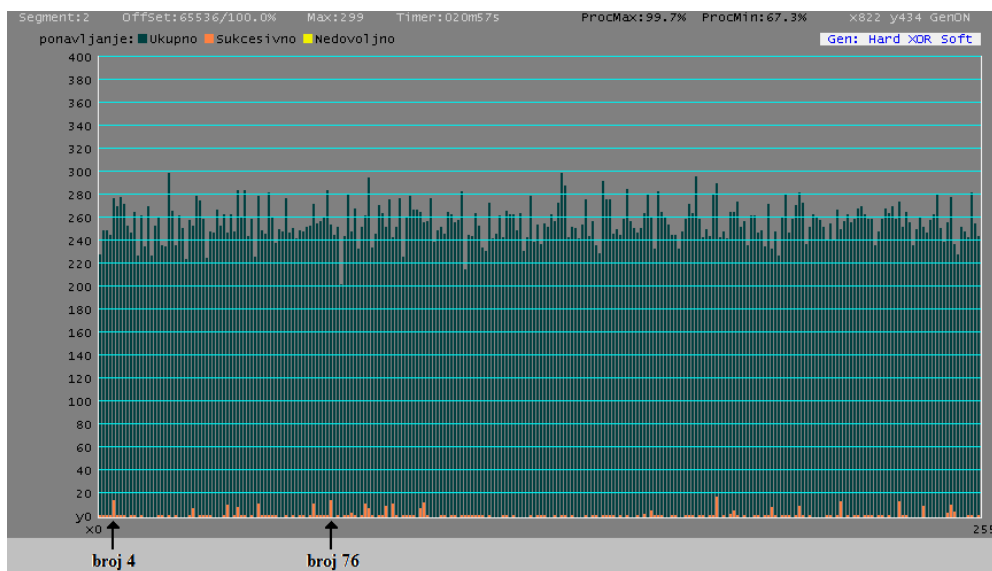
У овом поглављу показаћемо како функција XOR може да се искористи приликом заштите података, али и као посебан филтер за откривање аномалија, у постобради, на дигиталним сликама. Аномалије могу бити и последица грешака приликом преноса дигиталног сигнала. Слика 5.1 приказује пут дигитализоване слике од камере до рачунарског монитора.



Слика 5.1. Места примене ексклузивне дисјункције XOR

У поглављу 3.3 анализирана је апликација за прихватање и обраду података са генератора белог шума. Ова апликација, поред осталих, има и могућност да над пристиглим случајним бројем, са интерфејса, изврши ексклузивну дисјункцију XOR у односу на случајан број који је генерисао рачунар.

Ова опција је корисна зато што повећава могућност појављивања истих бројева како насумично, тако и узастопно, што може да буде врло значајно приликом заштите преноса дигиталних слика. Графички приказ комбиновања два генератора приказан је на графикону 5.1.



Графикон 5.1. (Хардверски генератор) XOR (софтверски РС)

За ексклузивну дисјункцију важи табела 5.1.

|   | A | B | C |
|---|---|---|---|
| & | 1 | 1 | 0 |
| & | 1 | 0 | 1 |
| & | 0 | 1 | 1 |
| & | 0 | 0 | 0 |

Табела 5.1. Ексклузивна дисјункција

Треба напоменути да наранцасте вертикалне линије на дну графикана 3.8.1 представљају највећу количину узастопног понављања одређеног броја у генерисаној бази случајних бројева. Ове линије међутим не приказују и позицију низа у бази, али ће у наредном делу рада бити представљена и обрађена апликација која проналази и приказује тачну дужину и позицију поменутог низа у генерисаној бази.



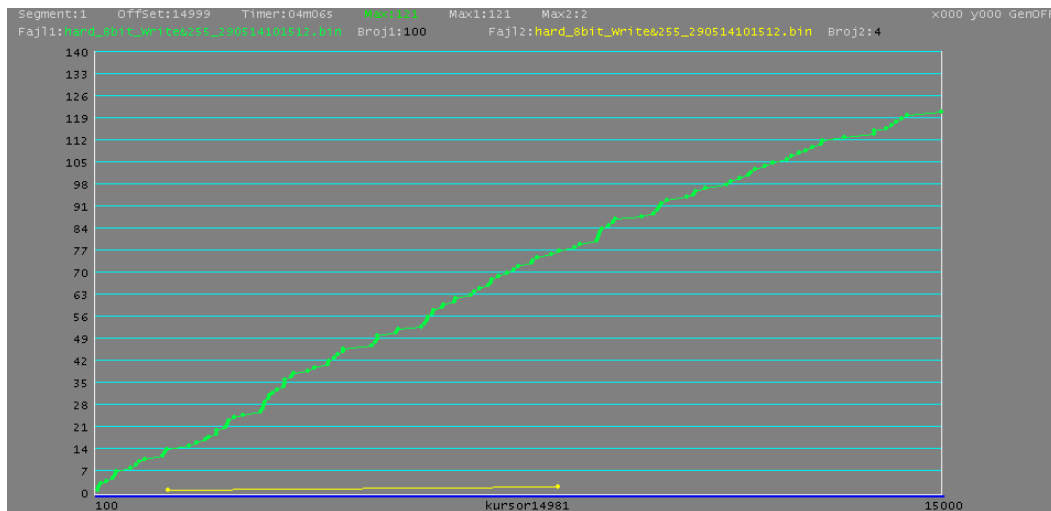
Табела 5.2 показује прираштај учесталости, као и прираштај узастопних истих бројева, у односу на табелу 3.4.1 (поглавље 3). Број узастопних истих бројева се налази унутар заграда.

|                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 000:228(1)/76.0%         | 045:226(0)/75.3%         | 090:279(1)/93.0%         |
| 001:249(1)/83.0%         | <b>046:279(11)/93.0%</b> | 091:267(1)/89.0%         |
| 002:249(1)/83.0%         | 047:249(1)/83.0%         | 092:267(0)/89.0%         |
| 003:245(1)/81.7%         | 048:246(1)/82.0%         | <b>093:265(7)/88.3%</b>  |
| <b>004:277(14)/92.3%</b> | 049:282(1)/94.0%         | <b>094:256(12)/85.3%</b> |
| 005:270(1)/90.0%         | 050:260(1)/86.7%         | 095:257(1)/85.7%         |
| 006:278(1)/92.7%         | 051:238(1)/79.3%         | 096:277(0)/92.3%         |
| 007:272(1)/90.7%         | 052:250(0)/83.3%         | 097:239(0)/79.7%         |
| 008:253(0)/84.3%         | 053:248(0)/82.7%         | 098:249(0)/83.0%         |
| 009:247(1)/82.3%         | 054:277(1)/92.3%         | 099:252(1)/84.0%         |
| 010:265(1)/88.3%         | 055:247(0)/82.3%         | 100:246(1)/82.0%         |
| 011:227(0)/75.7%         | 056:251(1)/83.7%         | 101:265(0)/88.3%         |
| 012:262(1)/87.3%         | 057:242(0)/80.7%         | 102:263(1)/87.7%         |
| 013:235(0)/78.3%         | 058:249(1)/83.0%         | 103:256(1)/85.3%         |
| 014:270(0)/90.0%         | 059:248(1)/82.7%         | 104:258(0)/86.0%         |
| 015:227(0)/75.7%         | 060:252(0)/84.0%         | 105:283(1)/94.3%         |
| 016:253(0)/84.3%         | 061:253(1)/84.3%         | 106:215(1)/71.7%         |
| 017:261(1)/87.0%         | 062:272(11)/90.7%        | 107:245(1)/81.7%         |
| 018:236(1)/78.7%         | 063:255(1)/85.0%         | 108:244(1)/81.3%         |
| 019:235(0)/78.3%         | 064:257(1)/85.7%         | 109:264(1)/88.0%         |
| 020:299(1)/99.7%         | 065:260(1)/86.7%         | 110:253(1)/84.3%         |
| 021:266(0)/88.7%         | 066:284(1)/94.7%         | 111:234(1)/78.0%         |
| 022:236(1)/78.7%         | 067:254(1)/84.7%         | 112:231(0)/77.0%         |
| 023:262(0)/87.3%         | 068:245(0)/81.7%         | 113:273(1)/91.0%         |
| 024:251(0)/83.7%         | 069:252(1)/84.0%         | 114:242(0)/80.7%         |
| 025:224(0)/74.7%         | 070:202(0)/67.3%         | 115:246(0)/82.0%         |
| 026:258(1)/86.0%         | 071:244(1)/81.3%         | 116:262(0)/87.3%         |
| <b>027:253(7)/84.3%</b>  | 072:280(1)/93.3%         | 117:243(1)/81.0%         |
| 028:279(0)/93.0%         | <b>073:248(3)/82.7%</b>  | 118:266(1)/88.7%         |
| 029:275(1)/91.7%         | 074:268(1)/89.3%         | 119:263(0)/87.7%         |
| 030:259(1)/86.3%         | 075:233(0)/77.7%         | 120:263(1)/87.7%         |
| 031:225(1)/75.0%         | <b>076:252(14)/84.0%</b> | 121:249(0)/83.0%         |
| 032:248(1)/82.7%         | <b>077:262(11)/87.3%</b> | 122:264(0)/88.0%         |
| 033:247(0)/82.3%         | <b>078:295(7)/98.3%</b>  | 123:231(0)/77.0%         |
| 034:267(0)/89.0%         | 079:234(1)/78.0%         | 124:243(0)/81.0%         |
| 035:253(0)/84.3%         | 080:246(0)/82.0%         | 125:279(1)/93.0%         |
| 036:263(1)/87.7%         | 081:271(1)/90.3%         | 126:239(0)/79.7%         |
| <b>037:247(10)/82.3%</b> | 082:264(1)/88.0%         | 127:254(1)/84.7%         |
| 038:263(0)/87.7%         | <b>083:252(9)/84.0%</b>  | 128:237(1)/79.0%         |
| 039:248(1)/82.7%         | 084:276(0)/92.0%         | 129:255(1)/85.0%         |
| <b>040:284(8)/94.7%</b>  | <b>085:243(11)/81.0%</b> | 130:252(0)/84.0%         |
| 041:260(1)/86.7%         | 086:252(1)/84.0%         | 131:263(0)/87.7%         |
| 042:284(1)/94.7%         | 087:277(0)/92.3%         | 132:257(1)/85.7%         |
| 043:244(0)/81.3%         | 088:226(1)/75.3%         | 133:273(0)/91.0%         |
| 044:259(1)/86.3%         | 089:260(1)/86.7%         | 134:299(1)/99.7%         |

|                         |                          |                          |
|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 135:288(1)/96.0%        | 177:244(1)/81.3%         | 219:259(1)/86.3%         |
| 136:243(0)/81.0%        | 178:281(1)/93.7%         | 220:268(1)/89.3%         |
| 137:252(1)/84.0%        | <b>179:290(17)/96.7%</b> | 221:270(0)/90.0%         |
| 138:251(0)/83.7%        | 180:243(0)/81.0%         | 222:263(1)/87.7%         |
| 139:242(0)/80.7%        | 181:248(1)/82.7%         | 223:259(1)/86.3%         |
| 140:254(0)/84.7%        | 182:242(0)/80.7%         | 224:259(1)/86.3%         |
| 141:276(1)/92.0%        | 183:265(2)/88.3%         | 225:236(0)/78.7%         |
| 142:244(0)/81.3%        | <b>184:265(5)/88.3%</b>  | 226:248(1)/82.7%         |
| 143:257(1)/85.7%        | 185:274(1)/91.3%         | 227:259(1)/86.3%         |
| 144:236(1)/78.7%        | 186:252(0)/84.0%         | 228:268(0)/89.3%         |
| 145:229(0)/76.3%        | 187:257(1)/85.7%         | 229:264(1)/88.0%         |
| 146:292(1)/97.3%        | 188:236(0)/78.7%         | 230:270(0)/90.0%         |
| 147:276(1)/92.0%        | 189:262(0)/87.3%         | 231:259(0)/86.3%         |
| 148:276(1)/92.0%        | 190:262(1)/87.3%         | <b>232:274(13)/91.3%</b> |
| 149:246(1)/82.0%        | 191:247(1)/82.3%         | 233:252(1)/84.0%         |
| 150:250(0)/83.3%        | 192:249(0)/83.0%         | 234:265(1)/88.3%         |
| 151:245(1)/81.7%        | 193:235(1)/78.3%         | 235:256(0)/85.3%         |
| 152:259(0)/86.3%        | 194:272(1)/90.7%         | 236:236(0)/78.7%         |
| 153:285(1)/95.0%        | <b>195:233(8)/77.7%</b>  | 237:250(0)/83.3%         |
| 154:257(0)/85.7%        | 196:248(1)/82.7%         | 238:260(0)/86.7%         |
| 155:251(0)/83.7%        | 197:227(0)/75.7%         | <b>239:252(9)/84.0%</b>  |
| 156:247(1)/82.3%        | 198:260(1)/86.7%         | 240:247(0)/82.3%         |
| 157:251(0)/83.7%        | 199:280(1)/93.3%         | 241:258(0)/86.0%         |
| <b>158:264(2)/88.0%</b> | 200:247(1)/82.3%         | 242:263(0)/87.7%         |
| 159:280(0)/93.3%        | 201:259(0)/86.3%         | 243:281(0)/93.7%         |
| <b>160:260(5)/86.7%</b> | 202:271(1)/90.3%         | 244:251(0)/83.7%         |
| 161:233(1)/77.7%        | <b>203:282(9)/94.0%</b>  | 245:239(0)/79.7%         |
| 162:283(1)/94.3%        | 204:273(1)/91.0%         | <b>246:256(3)/85.3%</b>  |
| 163:265(1)/88.3%        | 205:237(0)/79.0%         | <b>247:278(10)/92.7%</b> |
| 164:260(0)/86.7%        | 206:252(1)/84.0%         | <b>248:237(4)/79.0%</b>  |
| 165:254(0)/84.7%        | 207:263(0)/87.7%         | 249:228(0)/76.0%         |
| 166:245(1)/81.7%        | 208:260(0)/86.7%         | 250:252(0)/84.0%         |
| 167:245(1)/81.7%        | 209:258(0)/86.0%         | 251:248(0)/82.7%         |
| 168:233(0)/77.7%        | 210:252(0)/84.0%         | 252:243(1)/81.0%         |
| 169:248(0)/82.7%        | 211:240(1)/80.0%         | 253:282(1)/94.0%         |
| 170:259(1)/86.3%        | 212:255(1)/85.0%         | 254:255(0)/85.0%         |
| 171:272(1)/90.7%        | 213:241(0)/80.3%         | 255:244(1)/81.3%         |
| 172:264(1)/88.0%        | 214:267(1)/89.0%         |                          |
| 173:296(0)/98.7%        | <b>215:250(13)/83.3%</b> | <b>Max=300</b>           |
| 174:259(1)/86.3%        | 216:257(0)/85.7%         | <b>Timer:020m57s</b>     |
| 175:243(1)/81.0%        | 217:263(1)/87.7%         | <b>ProcMax=99.7%</b>     |
| 176:250(0)/83.3%        | 218:256(0)/85.3%         | <b>ProcMin=67.3%</b>     |

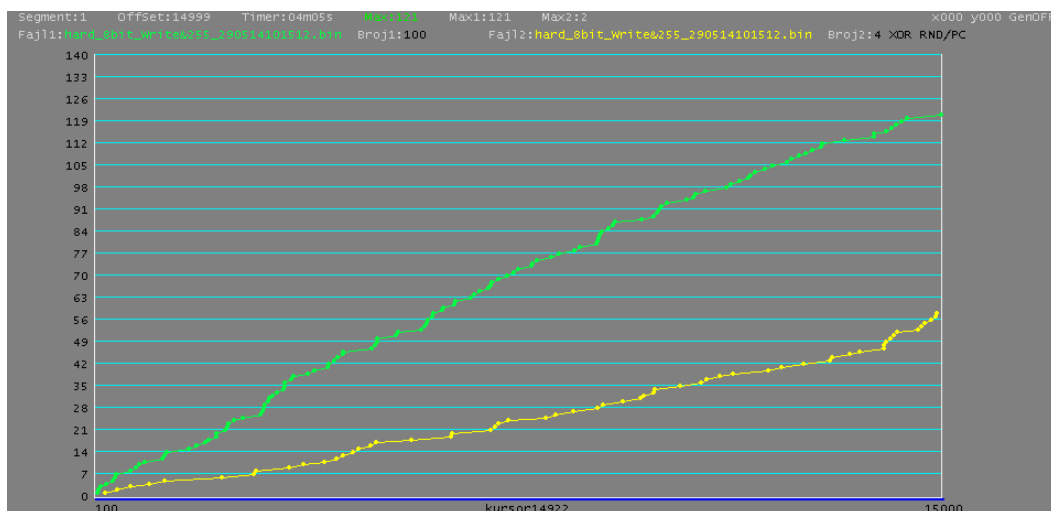
Табела 5.2. Прираштај учесталости и узастопних истих бројева

Примећује се да се број четири, у табели означен као (004), у бази појавио 277 пута, од чега 14+1 пута узастопно. Број (076) се у бази понавља 252 пута, а 14+1 пута сукцесивно. Значи ако нисмо задовољни генерисаном базом случајних бројева активираћемо на апликацији могућност **[Hard XOR Soft]** и поново стартовати генератор. Такође треба напоменути да ће поменута могућност извршити и уједначавање учесталости појављивања свих бројева, што је приказано на графиконима 5.2 и 5.3.



**Графикон 5.2.** Бројеви (100) и (4) из табеле 3.4.1 (поглавље 3), односно пре XOR

Графикон 5.2 приказује динамику појављивања два случајна броја пре извршења функције 4 XOR (RND/PC), односно пре ексклузивне дисјункције, са псеудо-случајним бројем из рачунара, над сваком тачком функције која је нацртана жутом бојом.



**Графикон 5.3.** Бројеви (100) и (4) из табеле 5.1.2, односно после XOR

Графикон 5.3 приказује динамику појављивања два случајна броја после 4 XOR (RND/PC) над сваком тачком функције која је нацртана жутом бојом. Треба напоменути да је база са графикона 5.1, из овог поглавља, настала као резултат XOR над базом са графикона 3.4.7 (поглавље 3). Веома је уочљиво приближавање жуте функције зеленој, (ентропија опада) за шта је разлог повећање учесталости броја (4), над којим је рађена ексклузивна дисјункција, што је како је већ речено довело до повећања његовог понављања. Ово ће у наредном делу рада бити и математички продискутовано и објашњено. Претпоставимо да је дужина базе случајних бројева 256 бајтова, као и да су они распоређени тако да је сваки бајт за један већи од претходног. Ако је први бајт у бази (0), тада је последњи (255). Могуће је направити базу која би преко ексклузивне дисјункције (XOR) за сваку операцију давала исти резултат што приказује табела 5.3.

|               |               |               |
|---------------|---------------|---------------|
| 0 XOR 4 = 4   | 31 XOR 27 = 4 | 62 XOR 58 = 4 |
| 1 XOR 5 = 4   | 32 XOR 36 = 4 | 63 XOR 59 = 4 |
| 2 XOR 6 = 4   | 33 XOR 37 = 4 | 64 XOR 68 = 4 |
| 3 XOR 7 = 4   | 34 XOR 38 = 4 | 65 XOR 69 = 4 |
| 4 XOR 0 = 4   | 35 XOR 39 = 4 | 66 XOR 70 = 4 |
| 5 XOR 1 = 4   | 36 XOR 32 = 4 | 67 XOR 71 = 4 |
| 6 XOR 2 = 4   | 37 XOR 33 = 4 | 68 XOR 64 = 4 |
| 7 XOR 3 = 4   | 38 XOR 34 = 4 | 69 XOR 65 = 4 |
| 8 XOR 12 = 4  | 39 XOR 35 = 4 | 70 XOR 66 = 4 |
| 9 XOR 13 = 4  | 40 XOR 44 = 4 | 71 XOR 67 = 4 |
| 10 XOR 14 = 4 | 41 XOR 45 = 4 | 72 XOR 76 = 4 |
| 11 XOR 15 = 4 | 42 XOR 46 = 4 | 73 XOR 77 = 4 |
| 12 XOR 8 = 4  | 43 XOR 47 = 4 | 74 XOR 78 = 4 |
| 13 XOR 9 = 4  | 44 XOR 40 = 4 | 75 XOR 79 = 4 |
| 14 XOR 10 = 4 | 45 XOR 41 = 4 | 76 XOR 72 = 4 |
| 15 XOR 11 = 4 | 46 XOR 42 = 4 | 77 XOR 73 = 4 |
| 16 XOR 20 = 4 | 47 XOR 43 = 4 | 78 XOR 74 = 4 |
| 17 XOR 21 = 4 | 48 XOR 52 = 4 | 79 XOR 75 = 4 |
| 18 XOR 22 = 4 | 49 XOR 53 = 4 | 80 XOR 84 = 4 |
| 19 XOR 23 = 4 | 50 XOR 54 = 4 | 81 XOR 85 = 4 |
| 20 XOR 16 = 4 | 51 XOR 55 = 4 | 82 XOR 86 = 4 |
| 21 XOR 17 = 4 | 52 XOR 48 = 4 | 83 XOR 87 = 4 |
| 22 XOR 18 = 4 | 53 XOR 49 = 4 | 84 XOR 80 = 4 |
| 23 XOR 19 = 4 | 54 XOR 50 = 4 | 85 XOR 81 = 4 |
| 24 XOR 28 = 4 | 55 XOR 51 = 4 | 86 XOR 82 = 4 |
| 25 XOR 29 = 4 | 56 XOR 60 = 4 | 87 XOR 83 = 4 |
| 26 XOR 30 = 4 | 57 XOR 61 = 4 | 88 XOR 92 = 4 |
| 27 XOR 31 = 4 | 58 XOR 62 = 4 | 89 XOR 93 = 4 |
| 28 XOR 24 = 4 | 59 XOR 63 = 4 | 90 XOR 94 = 4 |
| 29 XOR 25 = 4 | 60 XOR 56 = 4 | 91 XOR 95 = 4 |
| 30 XOR 26 = 4 | 61 XOR 57 = 4 | 92 XOR 88 = 4 |

---

|                 |                 |                 |
|-----------------|-----------------|-----------------|
| 93 XOR 89 = 4   | 143 XOR 139 = 4 | 193 XOR 197 = 4 |
| 94 XOR 90 = 4   | 144 XOR 148 = 4 | 194 XOR 198 = 4 |
| 95 XOR 91 = 4   | 145 XOR 149 = 4 | 195 XOR 199 = 4 |
| 96 XOR 100 = 4  | 146 XOR 150 = 4 | 196 XOR 192 = 4 |
| 97 XOR 101 = 4  | 147 XOR 151 = 4 | 197 XOR 193 = 4 |
| 98 XOR 102 = 4  | 148 XOR 144 = 4 | 198 XOR 194 = 4 |
| 99 XOR 103 = 4  | 149 XOR 145 = 4 | 199 XOR 195 = 4 |
| 100 XOR 96 = 4  | 150 XOR 146 = 4 | 200 XOR 204 = 4 |
| 101 XOR 97 = 4  | 151 XOR 147 = 4 | 201 XOR 205 = 4 |
| 102 XOR 98 = 4  | 152 XOR 156 = 4 | 202 XOR 206 = 4 |
| 103 XOR 99 = 4  | 153 XOR 157 = 4 | 203 XOR 207 = 4 |
| 104 XOR 108 = 4 | 154 XOR 158 = 4 | 204 XOR 200 = 4 |
| 105 XOR 109 = 4 | 155 XOR 159 = 4 | 205 XOR 201 = 4 |
| 106 XOR 110 = 4 | 156 XOR 152 = 4 | 206 XOR 202 = 4 |
| 107 XOR 111 = 4 | 157 XOR 153 = 4 | 207 XOR 203 = 4 |
| 108 XOR 104 = 4 | 158 XOR 154 = 4 | 208 XOR 212 = 4 |
| 109 XOR 105 = 4 | 159 XOR 155 = 4 | 209 XOR 213 = 4 |
| 110 XOR 106 = 4 | 160 XOR 164 = 4 | 210 XOR 214 = 4 |
| 111 XOR 107 = 4 | 161 XOR 165 = 4 | 211 XOR 215 = 4 |
| 112 XOR 116 = 4 | 162 XOR 166 = 4 | 212 XOR 208 = 4 |
| 113 XOR 117 = 4 | 163 XOR 167 = 4 | 213 XOR 209 = 4 |
| 114 XOR 118 = 4 | 164 XOR 160 = 4 | 214 XOR 210 = 4 |
| 115 XOR 119 = 4 | 165 XOR 161 = 4 | 215 XOR 211 = 4 |
| 116 XOR 112 = 4 | 166 XOR 162 = 4 | 216 XOR 220 = 4 |
| 117 XOR 113 = 4 | 167 XOR 163 = 4 | 217 XOR 221 = 4 |
| 118 XOR 114 = 4 | 168 XOR 172 = 4 | 218 XOR 222 = 4 |
| 119 XOR 115 = 4 | 169 XOR 173 = 4 | 219 XOR 223 = 4 |
| 120 XOR 124 = 4 | 170 XOR 174 = 4 | 220 XOR 216 = 4 |
| 121 XOR 125 = 4 | 171 XOR 175 = 4 | 221 XOR 217 = 4 |
| 122 XOR 126 = 4 | 172 XOR 168 = 4 | 222 XOR 218 = 4 |
| 123 XOR 127 = 4 | 173 XOR 169 = 4 | 223 XOR 219 = 4 |
| 124 XOR 120 = 4 | 174 XOR 170 = 4 | 224 XOR 228 = 4 |
| 125 XOR 121 = 4 | 175 XOR 171 = 4 | 225 XOR 229 = 4 |
| 126 XOR 122 = 4 | 176 XOR 180 = 4 | 226 XOR 230 = 4 |
| 127 XOR 123 = 4 | 177 XOR 181 = 4 | 227 XOR 231 = 4 |
| 128 XOR 132 = 4 | 178 XOR 182 = 4 | 228 XOR 224 = 4 |
| 129 XOR 133 = 4 | 179 XOR 183 = 4 | 229 XOR 225 = 4 |
| 130 XOR 134 = 4 | 180 XOR 176 = 4 | 230 XOR 226 = 4 |
| 131 XOR 135 = 4 | 181 XOR 177 = 4 | 231 XOR 227 = 4 |
| 132 XOR 128 = 4 | 182 XOR 178 = 4 | 232 XOR 236 = 4 |
| 133 XOR 129 = 4 | 183 XOR 179 = 4 | 233 XOR 237 = 4 |
| 134 XOR 130 = 4 | 184 XOR 188 = 4 | 234 XOR 238 = 4 |
| 135 XOR 131 = 4 | 185 XOR 189 = 4 | 235 XOR 239 = 4 |
| 136 XOR 140 = 4 | 186 XOR 190 = 4 | 236 XOR 232 = 4 |
| 137 XOR 141 = 4 | 187 XOR 191 = 4 | 237 XOR 233 = 4 |
| 138 XOR 142 = 4 | 188 XOR 184 = 4 | 238 XOR 234 = 4 |
| 139 XOR 143 = 4 | 189 XOR 185 = 4 | 239 XOR 235 = 4 |
| 140 XOR 136 = 4 | 190 XOR 186 = 4 | 240 XOR 244 = 4 |
| 141 XOR 137 = 4 | 191 XOR 187 = 4 | 241 XOR 245 = 4 |
| 142 XOR 138 = 4 | 192 XOR 196 = 4 | 242 XOR 246 = 4 |

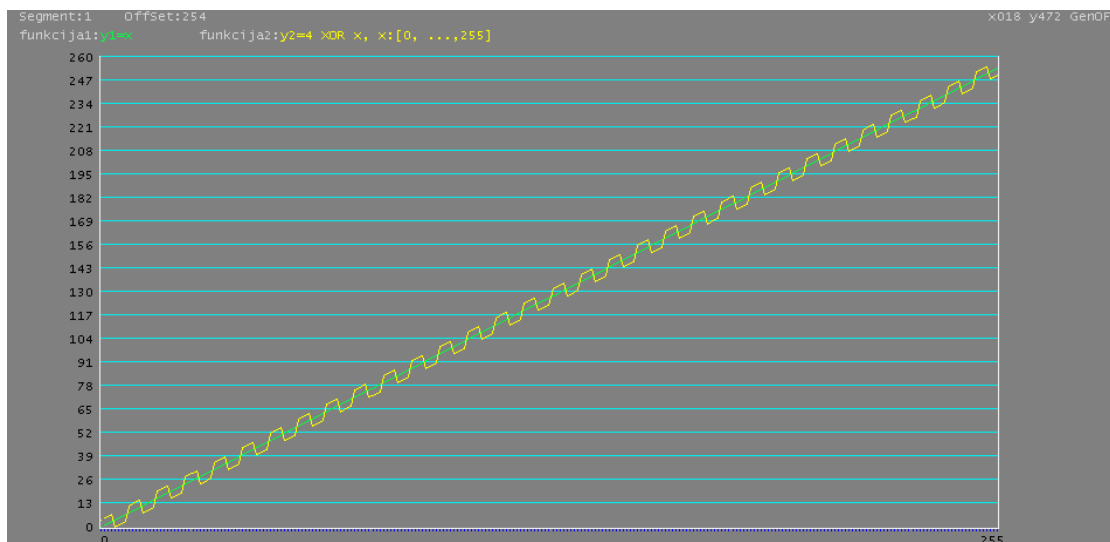
|                 |                 |                 |
|-----------------|-----------------|-----------------|
| 243 XOR 247 = 4 | 248 XOR 252 = 4 | 253 XOR 249 = 4 |
| 244 XOR 240 = 4 | 249 XOR 253 = 4 | 254 XOR 250 = 4 |
| 245 XOR 241 = 4 | 250 XOR 254 = 4 | 255 XOR 251 = 4 |
| 246 XOR 242 = 4 | 251 XOR 255 = 4 |                 |
| 247 XOR 243 = 4 | 252 XOR 248 = 4 |                 |

*Табела 5.3. Функција XOR са истим резултатом*

Дакле види се да су на левој страни бројеви редом поређани од 0 до 255. Иза XOR оператора је број из друге базе који преко овог оператора даје резултат (4). Управо овај пример доказује тенденцију пораста учесталости бројева над којима се користи операција ексклузивне дисјункције са неким другим бројем. Конкретно и на левој и на десној страни XOR операције број (4), се појављује само по један пут у 256 случајева, наравно без понављања. Оваквих комбинација за сваки резултујући број, у опсегу [0, ...,255], има тачно 256. Значи вероватноћа повећања учесталости истих бројева расте, такође расте и вероватноћа појављивања узастопних истих бројева. Ова претпоставка је и практично лако уочљива преко графикона број 5.2 и 5.3.

Неопходно је напоменути да је за неке примене врло корисно када се у бази случајних бројева налази низ узастопних истих бројева. Такође је операција XOR врло употребљива у разним апликацијама и алгоритмима за заштиту података. Да не заборавимо да ниво ентропије у овом случају опада, али питање је шта се очекује од садржаја базе случајних бројева. Оно што је веома битно је то да индиректно можемо да утичемо на промену ентропије и да то можемо да графички прикажемо и сачувамо, за каснији развој и провере разних алгоритама и апликација. У овом случају треба искористити податке из табеле 5.3 да би показали понашање функције XOR у различитим околностима.

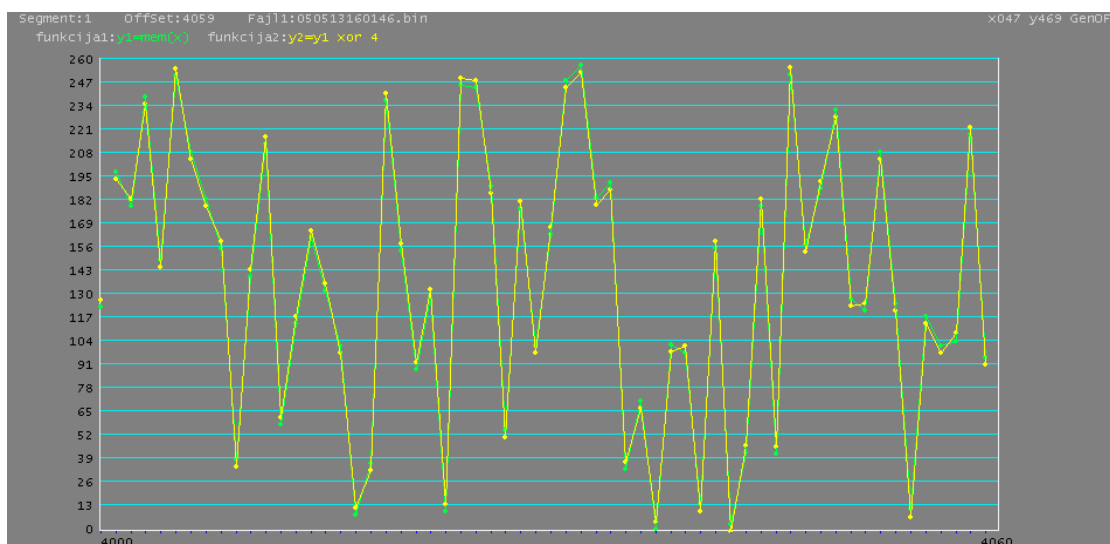
Један начин графичког приказа табеле 5.3 се види на графикону 5.4, преко две функције. Гледајући са аспекта ентропије функција  $y=x$  је потпуно уређена, али ако над овом функцијом применимо операцију ексклузивне дисјункције XOR видећемо да ентропија резултујуће функције, у односу на полазну, расте са порастом вредности аргумента. Дакле једна проста математичка функција преко операције XOR повећава ентропију, до тада уређених података. Побројаћемо пар примера основних тригонометријских функција код којих се поменута појава квалитативно и графички уочава и доказује. Значи да није претерано тешко од уређених података направити мање, или више, неуређене, наравно преко одређеног алгорита.



**Графикон 5.4.** Функција  $Y = 4 \text{ xor } X$

На графикону 5.4, број (4) је узет као константа (зелена функција), а  $x$  је аргумент функције са позитивним прираштајем од једног јединичног вектора у домену:  $[0, \dots, 255]$ . Жуту функцију би могли да математички представимо као  $Y = 4 \text{ xor } X$ , а зелену као  $Y = X$ .

Визуелни увид у изабрани део свих меморисаних случајних бројева приказан је на графикону 5.5. Зелена функција приказује вредност меморијске ћелије пре XOR операције, а жута после.

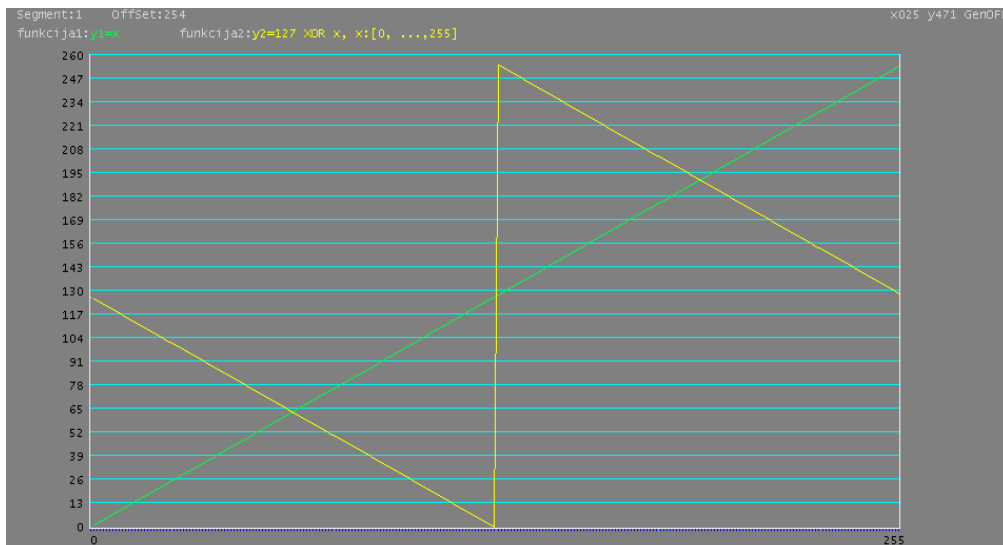


**Графикон 5.5.** Сегмент из фајла сачуваних случајних бројева

Над сваким бајтом, из меморије овог фајла, је извршена операције XOR у односу на константу тј. број (4). Делује као да садржај меморије није много промењен. Ако би

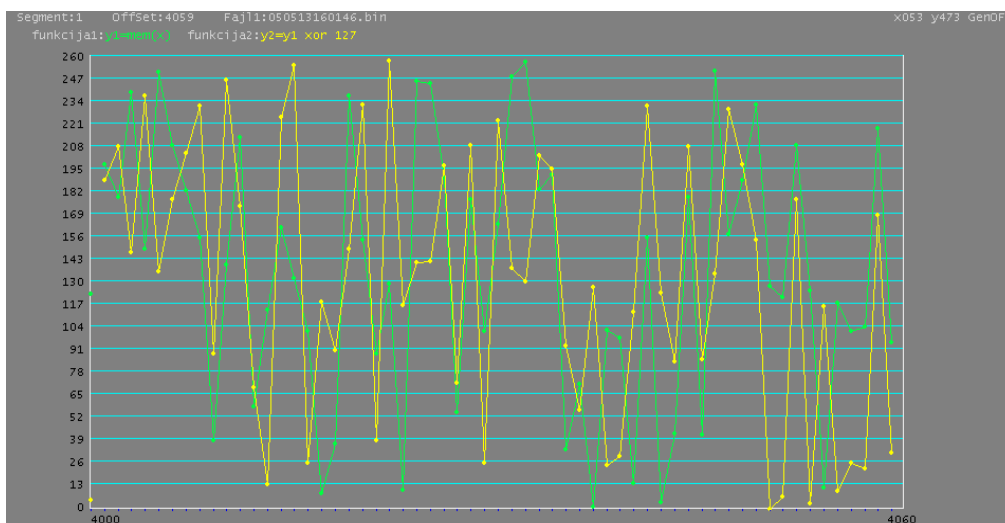
горњи графикон био део неког дигиталног аудио, или видео, фајла тада се, приликом репродукције, не би много пореметила суштина информације, међутим код преноса текстуалних података ништа неће бити препознатљиво. Због тога је оваква врсте анализе корисна и пожељна.

На графиконима испод је приказана анализа још пар индикативних примера како се понаша XOR операција као функција неких константи тј. како се мења вредност резултујуће функције са порастом вредности константе.



**Графикон 5.6.** Функција  $Y = 127 \text{ xor } X$

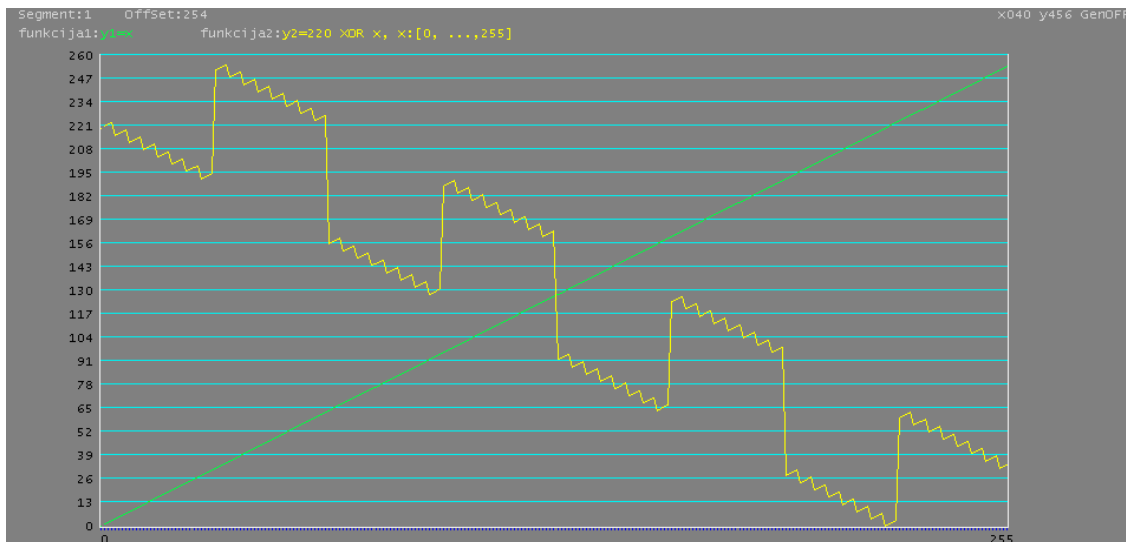
На графикону 5.6 приказана је функција  $Y = 127 \text{ xor } X$ , где је (127) константа. Када се упореде графикони 5.4 и 5.6 види се да су они потпуно различити. Сегмент меморије фајла је приказан на графикону 5.7.



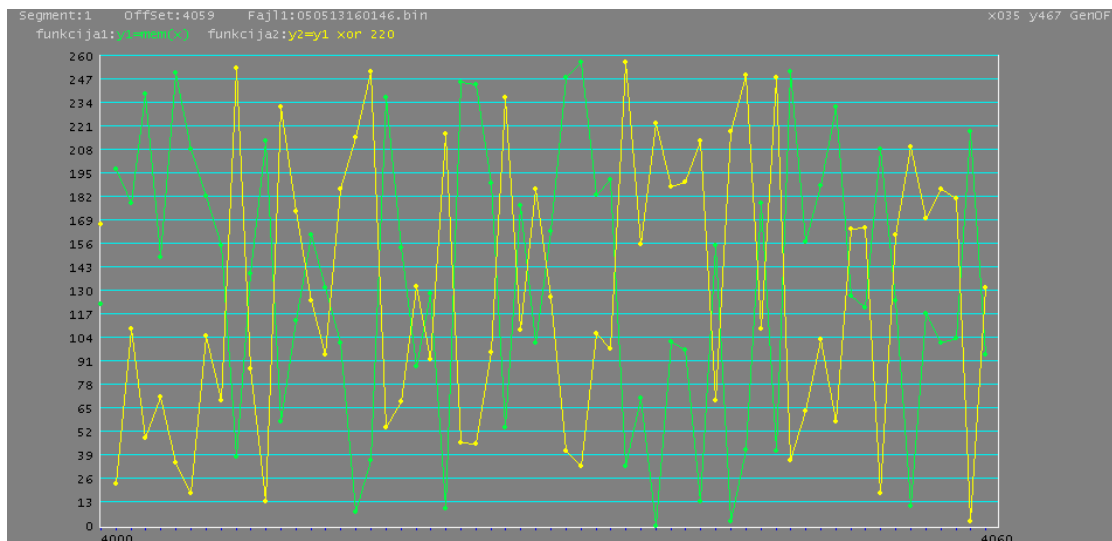
**Графикон 5.7.** Сегмент меморије из фајла сачуваних случајних бројева



Са садржајем меморије је већ другачија ситуација, разлике су уочљиве (ентропија расте) и нема ни говора о аналогној апроксимацији. Ако повећамо и даље вредност константе и поредимо са претходна два примера, добијамо графиконе 5.7 и 5.9.



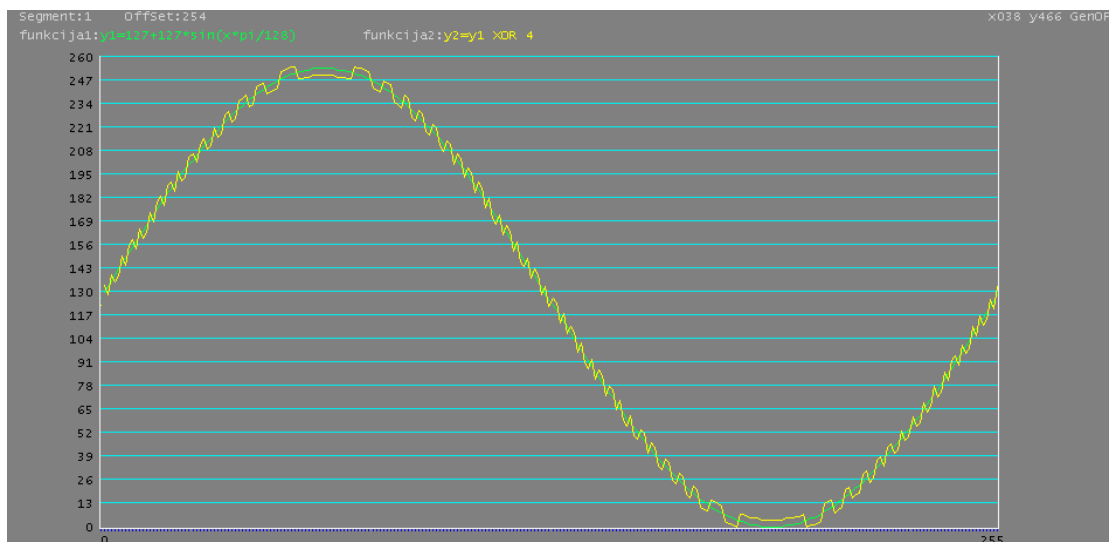
**Графикон 5.8.** Функција  $Y = 220 \text{ xor } X$



**Графикон 5.9.** Сегмент из фајла сачуваних случајних бројева

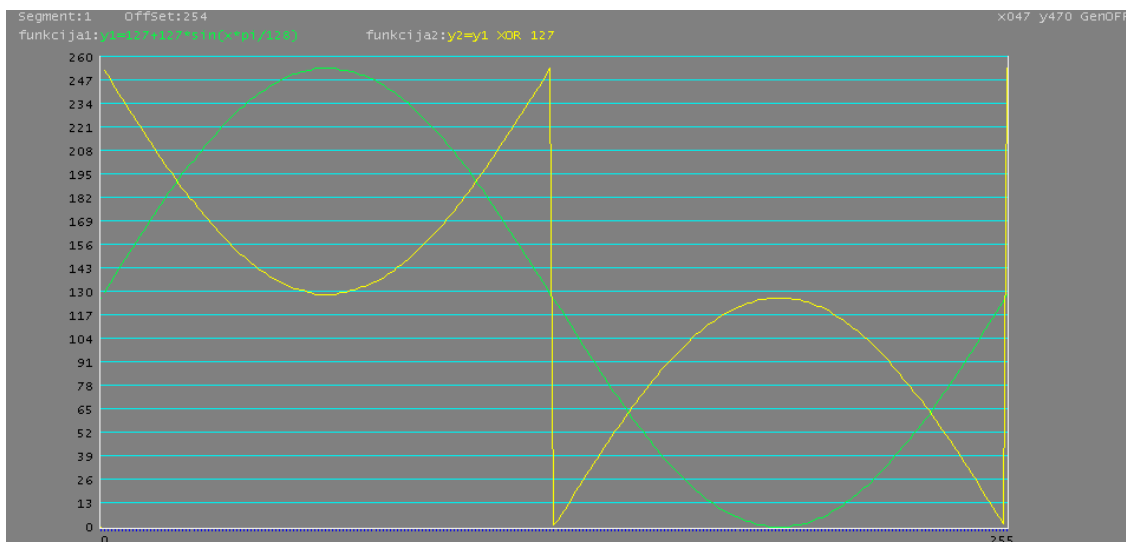
Садржај меморије је комплетно и потпуно промењен (ентропија је изразита), а не треба заборавити да је то настало као продукт једне једине операције, тј. сваки бајт меморије био је подвргнут операцији XOR (220).

Биће корисно да се погледа како се понашају неке основне тригонометријске функције после операције XOR са реалним константама. Наредне функције су изабране само да би се стекао бољи визуелни увид у начин рада операције XOR и њеног утицаја на ентропију.



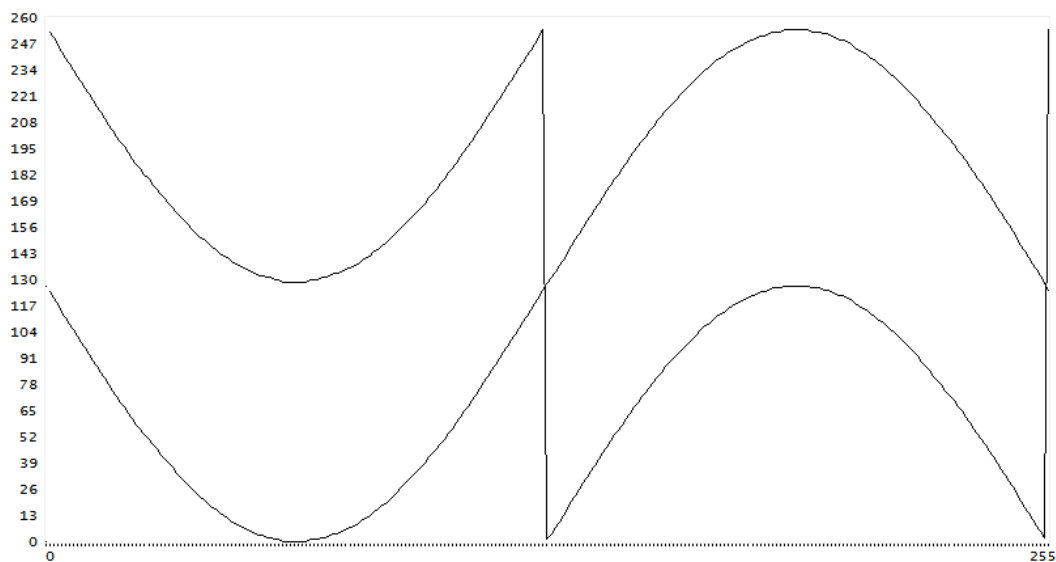
**Графикон 5.10.** Функција  $Y = \{n+n*\sin[x*\pi/(n+1)]\}$  xor 4

Свима добро позната функција  $y=\sin(x)$ , у овом случају мало модификована тако да јој је пуна периода, тј. таласна дужина 256 јединичних вектора. Њена максимална амплитуда (App) је такође 256 јединичних вектора. Математичка формула модификоване функције је:  $y=127+127*\sin(x*\pi/128)$ . Овим смо једну периоду синусне функције сместили у оквире вредности које може да има један бајт и сада над њом можемо да вршимо различите анализе, на основу којих ћемо извући и одређене закључке. Резултујућа жута функција је продукт операције XOR над сваком тачком синусоиде и константе (4) и по прираштају подсећа на  $Y=X$  хог 4. Констатујемо да нема значајних промена, у таласом облику, али ипак није исто, дакле ентропија поново расте.



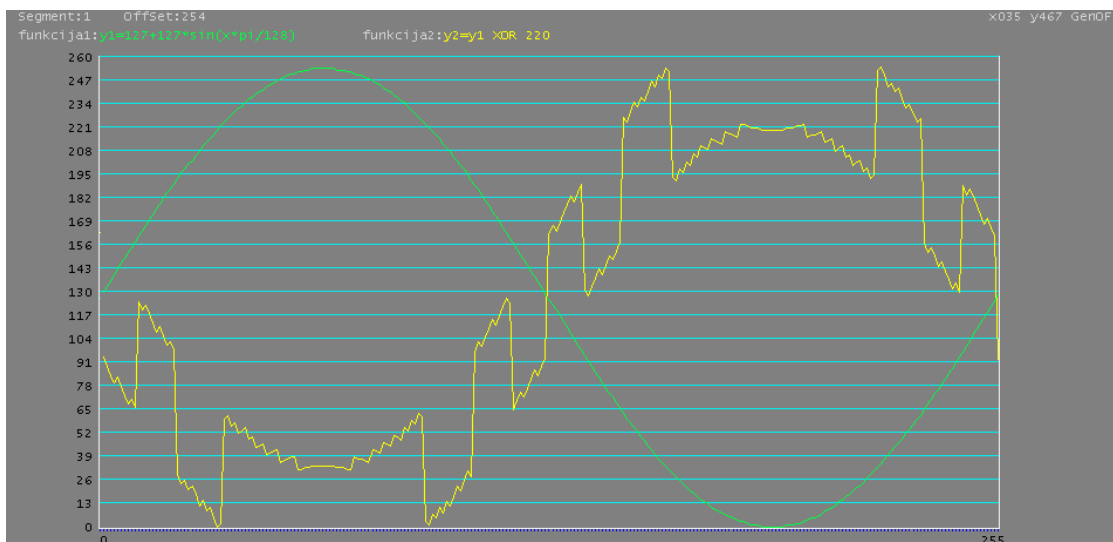
**Графикон 5.11.** Функција  $Y = \{n+n*\sin[x*\pi/(n+1)]\}$  xor 127

Сада је пуно јасније да се и овде резултујућа функција по прираштају понаша слично као  $Y=X$  хог 127. Зависно од дизајна неког пријемног кола и овај аналогни сигнал би могао да буде препознатљив, осим што би био инвертован, као што се и види на доњој слици.



**Графикон 5.12.** Инвертовани аналогни сигнал

Ако би графиконе бр 5.10 и 5.11 посматрали као аудио сигнале тада се не би много пореметила суштина информације (нема ентропије), међутим код дигиталних информација нема никакве сличности (ентропија и даље расте). Графикон 5.13 представља комбинацију синусне функције, оператора XOR, као и константе 220.



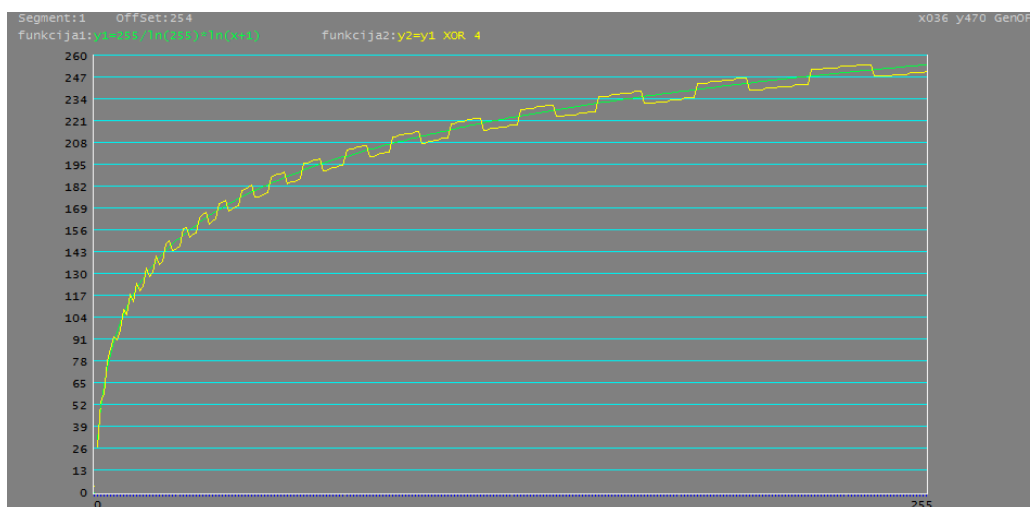
**Графикон 5.13.** Функција  $Y = \{n+n*\sin[x*\pi/(n+1)]\}$  xor 220

Наравно да је и ово очекивано и потпуно другачије (ентропија је још израженија), чак уколико би се уклонио DC носилац, резултујућа функција би подсећала на дигитални сигнал. Изобличења би се изгубила приликом проласка сигнала кроз неко логичко “Г” коло. Графикон 5.14 то и показује.



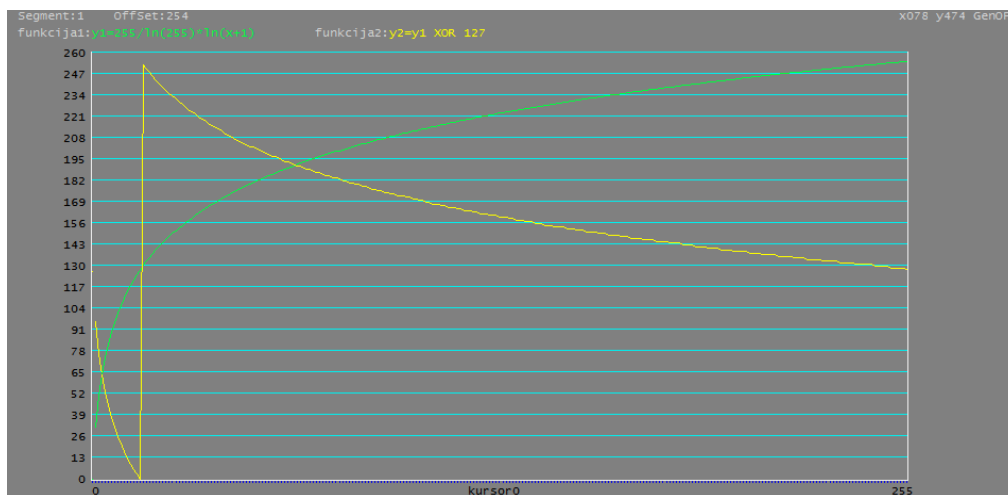
**Графикон 5.14.** Дигитални модул графикана 5.13

Да видимо како на све ово реагује функција природног логаритма



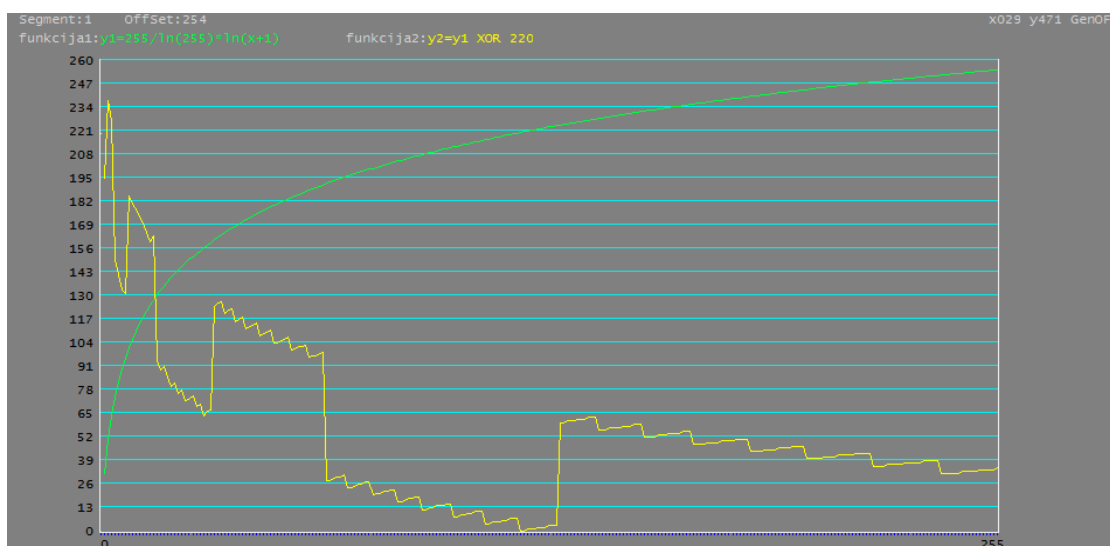
**Графикон 5.15.** Функција  $Y = [n/\ln(n) * \ln(x+1)] \text{ xor } 4$

Такође позната функција  $y = \ln(x)$ , коју слично као и претходну морамо да модификујемо да би се кретала у поменутиим оквирима ( $x: [0, \dots, 255]$ ,  $y: [0, \dots, 255]$ ). Функција природног логаритма постаје позитивна тек после проласка кроз X-осу и тај аспект може бити користан у овој ситуацији, математичка формула функције би била:  $y_1 = 255 / \ln(255) * \ln(x+1)$ . Функција логаритма је изабрана због тога што јој је прираштај веома изражен у почетку, а касније почиње да лагано опада. Ова функција нема константан прираштај, па нам због тога омогућује бољи визуелни увид у односу на резултујућу функцију:  $y_2 = y_1 \text{ XOR } (4)$ . Дакле код функције  $y = x$  промена жуте функције у односу на зелену је константна у целом изабраном опсегу. Код функције  $y = \sin(x)$  промена расте до локалног максимума функције, а затим опада до локалног минимума. Функција природног логаритма потсећа на синусну функцију у домену од  $[0, \dots, \pi/2]$ , али је свакако веома уочљива промена у односу на функцију  $y = x$ .



Графикон 5.16. Функција  $Y = [n/\ln(n)*\ln(x+1)] \text{ xor } 127$

И овде је уочљиво да се резултујућа функција по прираштају понаша слично као  $Y=X \text{ xor } 127$ , која је приказана на графикону 5.6.



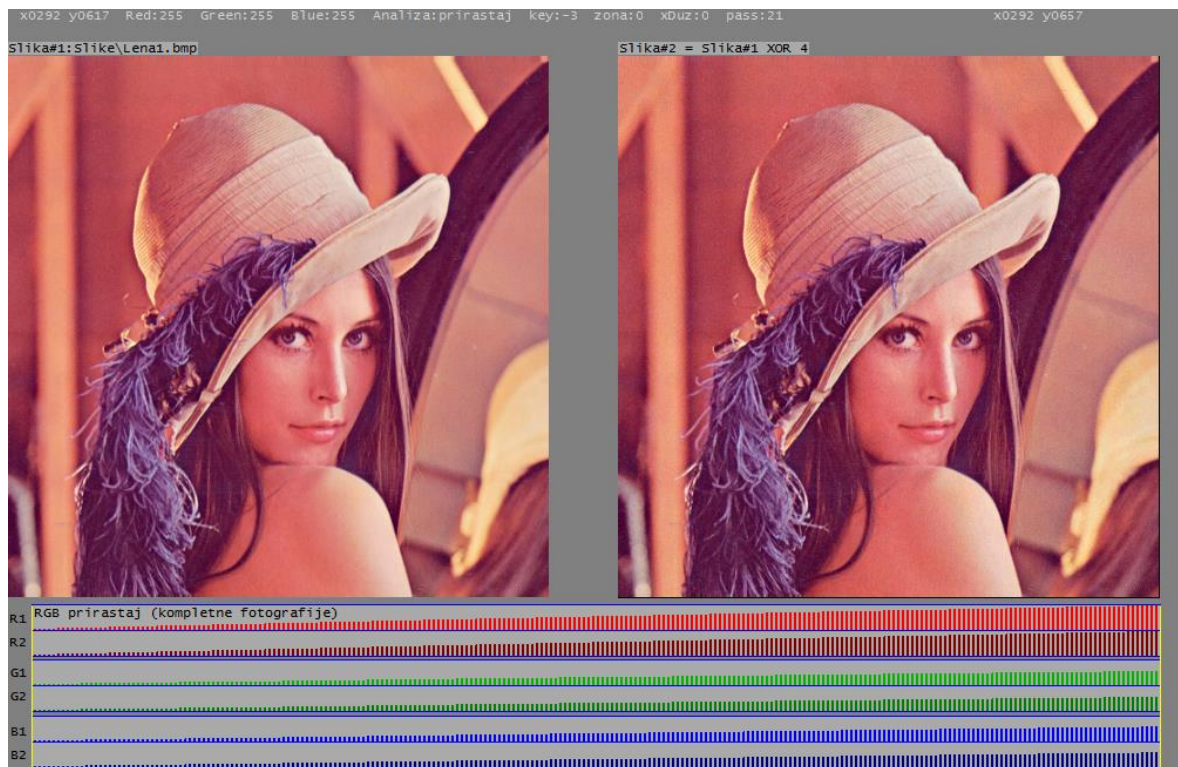
Графикон 5.17. Функција  $Y = [n/\ln(n)*\ln(x+1)] \text{ xor } 220$

Логаритам није просто-периодична функција, па нећемо правити аналогна поређења, али ипак можемо да констатујемо да постоји сличност са  $y=\sin(x)$  у првом квадранту  $[0, \dots, \pi/2]$  тј.  $[0, \dots, 63]$ , али и са  $Y=X \text{ xor } 220$  по начину прираштаја. Ентропија је поново најизраженија када константа има вредност (220).

На основу функција приказаних на графиконима од 5.4, до 5.17, може се предвидети и проучавати начин изобличења резултујуће  $Y$  функције, у зависности од константе, а у односу на полазну функцију  $y=x$ , или неку другу, што може да буде интересно и применљиво за неке накнадне аналитичке, али и пројектне методе.

За практичну примену је свакако потребно, у зависности од намене, генерисати и тестирати што више база-фајлова, различитих дужина.

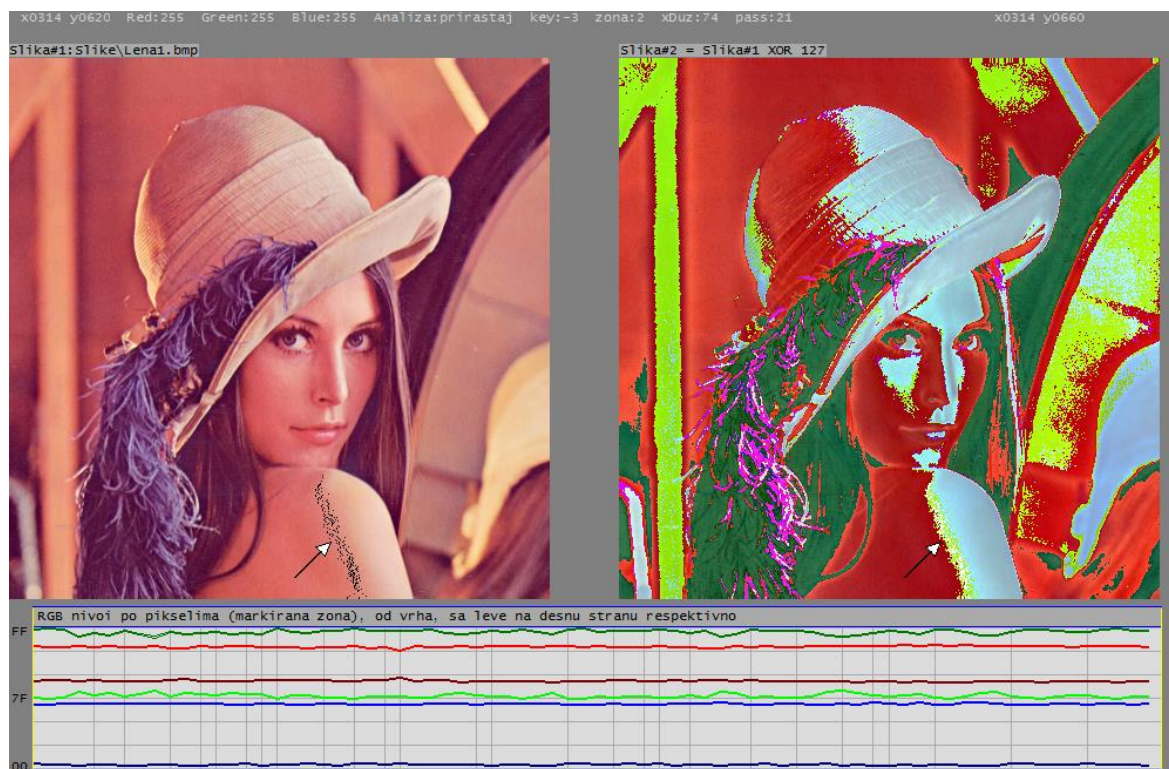
Да видимо даље како функција ексклузивне дисјункције (XOR) конкретно утиче на промену и анализу свима познате слике.



**Слика 5.2.** Десна фотографија = лева фотографија XOR 4

Слика 5.2 приказује промену оригиналне фотографије (лева страна) када се над сваким њеним пикселом изврши функција ексклузивне дисјункције XOR са аргументом 4. У доњем делу слике 5.2 се налазе дијаграми прираштаја црвене, зелене и плаве боје, почевши од горњег левог угла, до доњег десног угла, сваке фотографије. R1, G1 и B1 су везани за леву фотографију, док су R2, G2 и B2 везани за десну фотографију. Као на графиконима 5.4, 5.10 и 5.15, тако су и овде разлике леве и десне фотографије минималне, практично се и не виде голим оком. Ако међутим погледамо следећу слику уочићемо значајне промене између леве и десне фотографије.

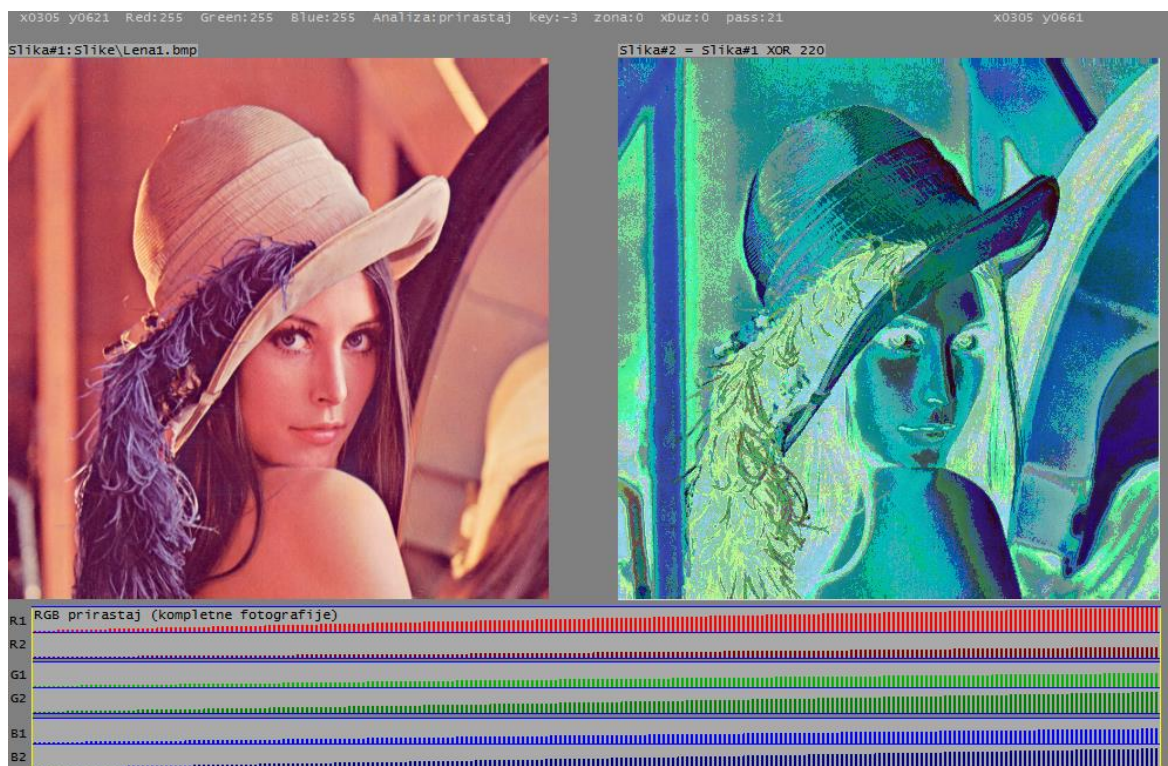




**Слика 5.3.** Десна фотографија = лева фотографија XOR 127, са апликацијом

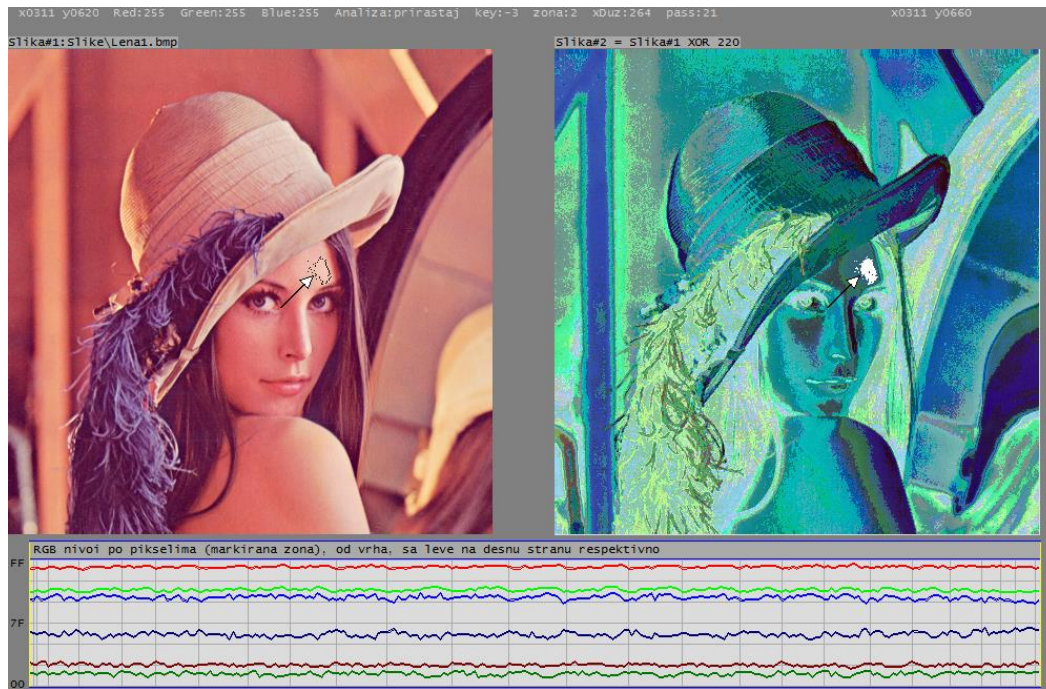
Слика 5.3 приказује промену оригиналне фотографије када се над сваким њеним пикселем изврши функција ексклузивне дисјункције (XOR) са аргументом 127. Разлике су изражене у сваком погледу. На дијаграму испод фотографија су приказане вредности боја у осенченом делу гледајући од горе ка доле, са леве на десну страну. Уочавамо квантитативно смањење количине плаве и црвене боје, док количина зелене боја расте. Такође можемо да приметимо да су функције вршних вредности количина свих боја инвертоване баш као и на графиконима 5.6, 5.11 и 5.16. Са друге стране ова функција нам истиче голим оком невидљиве, или слабо видљиве промене на оригиналној фотографији. Обратимо пажњу на стрелице – показиваче на обе фотографије, на левој је жута штрфла, која је изражена на десној, практично невидљива, а обзиром на положај десног рамена она је највероватније продукт смањеног осветљења гледајући са десне на леву страну фотографије. Наравно, уколико би се над сваким пикселем десне фотографије извршила функција XOR 127, добила би се оригинална фотографија, односно она са леве стране горње слике. Да видимо на крају и следеће две слике, које ће нам практично омогућити још бољи приказ невидљивих делова на оригиналној фотографији.





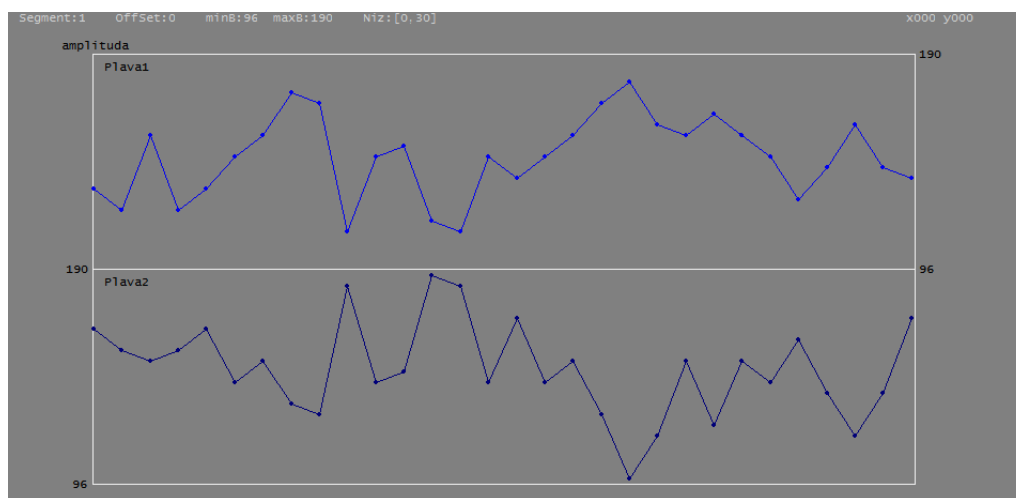
Слика 5.4. Десна фотографија = лева фотографија XOR 220

Слика 5.4 приказује промену оригиналне фотографије када се над сваким њеним пикселом изврши функција ексклузивне дисјункције XOR са аргументом 220. Разлике су изузетно изражене као и на графиконима 5.8, 5.13 и 5.17. Дијаграми нам показују квантитативно смањење црвене боје, али и раст зелене и плаве, што је на десној фотографији и уочљиво. Овде на десној фотографији треба да уочимо тамно-плаву флеку изнад левог ока и сиво-зелену штрафту на десном рамену. Битно је такође да се напомене да поменута флека и штрафта нису уочљиве на десној фотографији слике 5.3. За конверзију оригиналне фотографије преко функције ексклузивне дисјункције, као и за аутоматско обележавање уочених разлика израђена је посебна софтверска апликација која је ауторско дело. Да погледамо сада како се повезују разлике које су уочене на десној фотографији, са аутоматски обележеном зоном на левој. Зона је обележена стрелицама на левој и десној фотографији.



**Слика 5.5.** Десна фотографија = лева фотографија XOR 220, са апликацијом

Дакле флека изнад левог ока није уопште уочљива, али постоји. За разлику од поменуте флеке, штрафта на рамену је скоро сигурно, као и на слици 5.3 продукт осветљености. На горњем дијаграму је уочљив квантитативни пад свих боја (RGB), а функције вршних вредности количина свих боја су сходно графиконима 5.8, 5.13 и 5.17 делимично инвертоване. Графикон 5.18 потврђује горњи став, тј. делимичну инверзију количине плаве боје, а на њој је издвојено и увеличано првих 30 вредности функције плаве боје са леве, односно десне фотографије.



**Графикон 5.18.** Десна фотографија = лева фотографија XOR 220, сегмент [0, 30]

**Plava1** (горња) представља сегмент плаве боје са оригиналне тј. леве фотографије, док **Plava2** (доња) представља сегмент плаве боје са изведене, односно десне фотографије.

У табели 5.4 приказане су вредности горњих функција у којима се налазе координате тачака, као и њихове RGB вредности. Конкретно вредности боја на десној страни табеле су добијене преко функције XOR 220 са левом страном табеле.

```

x1: 297 y1: 237 R:238 G:192 B:178 x2: 817 y2: 237 R: 50 G: 28 B:110
x1: 296 y1: 238 R:240 G:192 B:176 x2: 816 y2: 238 R: 44 G: 28 B:108
x1: 297 y1: 239 R:241 G:196 B:183 x2: 817 y2: 239 R: 45 G: 24 B:107
x1: 298 y1: 239 R:239 G:193 B:176 x2: 818 y2: 239 R: 51 G: 29 B:108
x1: 299 y1: 239 R:239 G:193 B:178 x2: 819 y2: 239 R: 51 G: 29 B:110
x1: 295 y1: 240 R:244 G:196 B:181 x2: 815 y2: 240 R: 40 G: 24 B:105
x1: 296 y1: 240 R:243 G:199 B:183 x2: 816 y2: 240 R: 47 G: 27 B:107
x1: 297 y1: 240 R:242 G:198 B:187 x2: 817 y2: 240 R: 46 G: 26 B:103
x1: 298 y1: 240 R:239 G:198 B:186 x2: 818 y2: 240 R: 51 G: 26 B:102
x1: 299 y1: 240 R:242 G:195 B:174 x2: 819 y2: 240 R: 46 G: 31 B:114
x1: 300 y1: 240 R:244 G:198 B:181 x2: 820 y2: 240 R: 40 G: 26 B:105
x1: 301 y1: 240 R:243 G:197 B:182 x2: 821 y2: 240 R: 47 G: 25 B:106
x1: 302 y1: 240 R:241 G:193 B:175 x2: 822 y2: 240 R: 45 G: 29 B:115
x1: 285 y1: 241 R:238 G:192 B:174 x2: 805 y2: 241 R: 50 G: 28 B:114
x1: 287 y1: 241 R:237 G:192 B:181 x2: 807 y2: 241 R: 49 G: 28 B:105
x1: 293 y1: 241 R:240 G:193 B:179 x2: 813 y2: 241 R: 44 G: 29 B:111
x1: 294 y1: 241 R:243 G:193 B:181 x2: 814 y2: 241 R: 47 G: 29 B:105
x1: 295 y1: 241 R:244 G:196 B:183 x2: 815 y2: 241 R: 40 G: 24 B:107
x1: 296 y1: 241 R:244 G:199 B:186 x2: 816 y2: 241 R: 40 G: 27 B:102
x1: 297 y1: 241 R:243 G:199 B:188 x2: 817 y2: 241 R: 47 G: 27 B: 96
x1: 298 y1: 241 R:241 G:199 B:184 x2: 818 y2: 241 R: 45 G: 27 B:100
x1: 299 y1: 241 R:242 G:197 B:183 x2: 819 y2: 241 R: 46 G: 25 B:107
x1: 300 y1: 241 R:245 G:200 B:185 x2: 820 y2: 241 R: 41 G: 20 B:101
x1: 301 y1: 241 R:245 G:199 B:183 x2: 821 y2: 241 R: 41 G: 27 B:107
x1: 294 y1: 242 R:243 G:195 B:181 x2: 814 y2: 242 R: 47 G: 31 B:105
x1: 295 y1: 242 R:244 G:194 B:177 x2: 815 y2: 242 R: 40 G: 30 B:109
x1: 296 y1: 242 R:245 G:194 B:180 x2: 816 y2: 242 R: 41 G: 30 B:104
x1: 297 y1: 242 R:242 G:198 B:184 x2: 817 y2: 242 R: 46 G: 26 B:100
x1: 298 y1: 242 R:243 G:196 B:180 x2: 818 y2: 242 R: 47 G: 24 B:104
x1: 299 y1: 242 R:243 G:199 B:179 x2: 819 y2: 242 R: 47 G: 27 B:111

```

**Табела 5.4.** *Координате пиксела и њихове RGB вредности*

После свега горе наведеног можемо да закључимо да функција ексклузивне дисјункције може да се користи као специфична врста наменских филтера са различитим применама.

## 5.1. Утицај функције XOR на генерисање случајних бројева

Раније је напоменуто да је понекада корисно, приликом заштите преноса података, формирати и користити базу случајних података са узастопним понављањем. Дакле објаснићемо сада како функција XOR повећава вероватноћу појављивања истих, али и истих узастопних, бројева.

Посматрајмо графикон 5.1.1 и обратимо пажњу на вертикалне оранж линије које представљају низ узастопних истих бројева (било где у бази). Једна од поменутих линија је графички репрезент броја (76), а овај број се узастопно понавља у резултујућој бази 16 пута (тачно место овог низа у бази за ову анализу није битно, али ће бити накнадно обрађено). Овај број, односно низ ових бројева, је могао да настане на један од следећих начина, приказаних у Табели 5.1.1.

| Пример 1         | Пример 2         | Пример 3         | Пример 4            | Пример 5         | Пример 6         |
|------------------|------------------|------------------|---------------------|------------------|------------------|
| 223 XOR 147 = 76 | 230 XOR 170 = 76 | 106 XOR 38 = 76  | 85 XOR 25 = 76      | 16 XOR 92 = 76   | 65 XOR 13 = 76   |
| 32 XOR 108 = 76  | 168 XOR 228 = 76 | 12 XOR 64 = 76   | 104 XOR 36 = 76     | 135 XOR 203 = 76 | 204 XOR 128 = 76 |
| 246 XOR 186 = 76 | 171 XOR 231 = 76 | 20 XOR 88 = 76   | 88 XOR 20 = 76      | 137 XOR 197 = 76 | 52 XOR 120 = 76  |
| 238 XOR 162 = 76 | 187 XOR 247 = 76 | 236 XOR 160 = 76 | 248 XOR 180 =<br>76 | 38 XOR 106 = 76  | 113 XOR 61 = 76  |
| 88 XOR 20 = 76   | 152 XOR 212 = 76 | 241 XOR 189 = 76 | 38 XOR 106 = 76     | 75 XOR 7 = 76    | 118 XOR 58 = 76  |
| 148 XOR 216 = 76 | 7 XOR 75 = 76    | 107 XOR 39 = 76  | 84 XOR 24 = 76      | 9 XOR 69 = 76    | 178 XOR 254 = 76 |
| 163 XOR 239 = 76 | 250 XOR 182 = 76 | 180 XOR 248 = 76 | 9 XOR 69 = 76       | 51 XOR 127 = 76  | 241 XOR 189 = 76 |
| 30 XOR 82 = 76   | 67 XOR 15 = 76   | 50 XOR 126 = 76  | 182 XOR 250 =<br>76 | 168 XOR 228 = 76 | 46 XOR 98 = 76   |
| 251 XOR 183 = 76 | 157 XOR 209 = 76 | 215 XOR 155 = 76 | 66 XOR 14 = 76      | 106 XOR 38 = 76  | 168 XOR 228 = 76 |
| 22 XOR 90 = 76   | 202 XOR 134 = 76 | 125 XOR 49 = 76  | 251 XOR 183 =<br>76 | 237 XOR 161 = 76 | 49 XOR 125 = 76  |
| 201 XOR 133 = 76 | 58 XOR 118 = 76  | 197 XOR 137 = 76 | 4 XOR 72 = 76       | 131 XOR 207 = 76 | 49 XOR 125 = 76  |
| 74 XOR 6 = 76    | 44 XOR 96 = 76   | 213 XOR 153 = 76 | 218 XOR 150 =<br>76 | 8 XOR 68 = 76    | 83 XOR 31 = 76   |
| 226 XOR 174 = 76 | 69 XOR 9 = 76    | 138 XOR 198 = 76 | 194 XOR 142 =<br>76 | 215 XOR 155 = 76 | 63 XOR 115 = 76  |
| 226 XOR 174 = 76 | 39 XOR 107 = 76  | 202 XOR 134 = 76 | 24 XOR 84 = 76      | 94 XOR 18 = 76   | 141 XOR 193 = 76 |
| 226 XOR 174 = 76 | 170 XOR 230 = 76 | 8 XOR 68 = 76    | 240 XOR 188 =<br>76 | 219 XOR 151 = 76 | 26 XOR 86 = 76   |
| 159 XOR 211 = 76 | 6 XOR 74 = 76    | 126 XOR 50 = 76  | 196 XOR 136 =<br>76 | 128 XOR 204 = 76 | 20 XOR 88 = 76   |

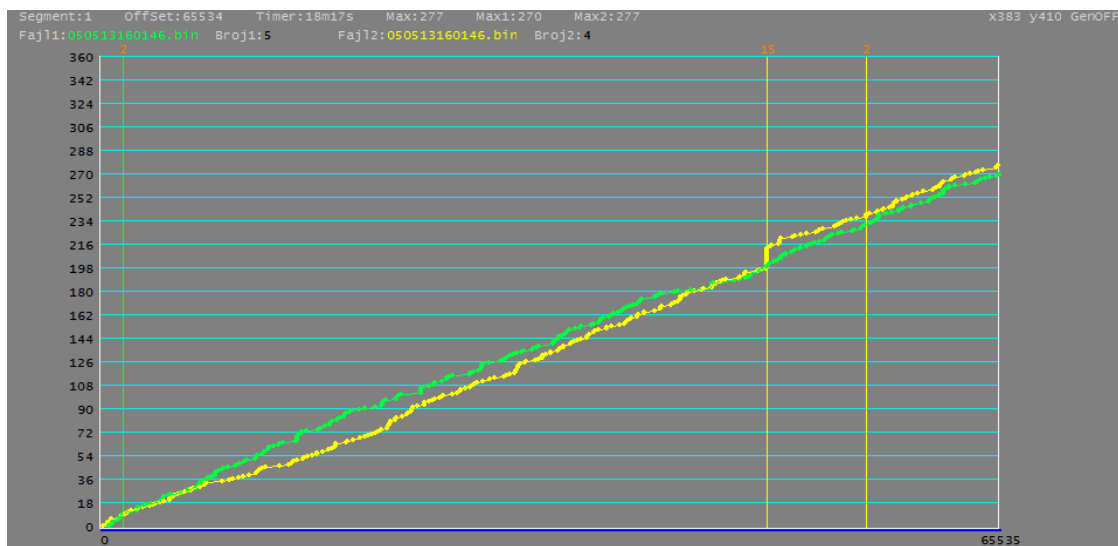
Табела 5.1.1. Шест различитих примера коришћених у овом поглављу



У табели 5.1.1 су представљена шест примера на који начин је низ од 16 узастопних бројева (76) могао да настане. Дакле, могућност повећања учесталости броја (76) у бази, али и повећања низа узастопних бројева (76) је битно повећана. Да се подсетимо да је са леве стране XOR операције случајан број добијен преко екстерног генератора случајних бројева, а са десне стране те исте операције је случајни број који је генерисао сам рачунар.

Такође примећујемо да у првом и шестом примеру имамо случај појаве само три, односно два узастопна броја, када би гледали само један, или други генератор случајних бројева. Значи за конкретне примере (један и шест) имамо само три, односно два понављања у односу на шеснаест после ексклузивне дисјункције над једним и другим генератором случајних бројева.

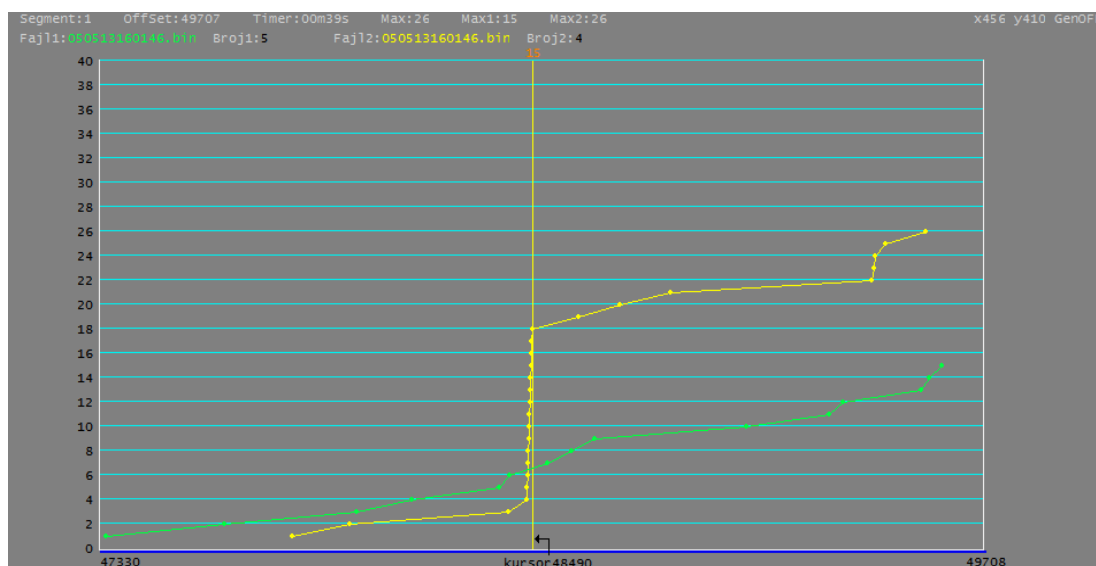
На графикону 5.1.1 су приказане, графички, тачне позиције, у бази низа узастопних бројева, јер и то у неким применама, а нарочито приликом израде алгоритама, може да буде корисно. Дакле једна од апликација аутоматски обележава сваки низ узастопних истих бројева у одабраном опсегу. Минимална дужина поменутог низа је два члана.



**Графикон 5.1.1.** Низ узастопних истих бројева из базе

Прво поставимо границе анализатора тако да приказује динамику појављивања бројева (5) и (4) у комплетној бази [0, ..., 65535], што је и приказано на графикону 5.1.1. Нас тренутно интересује број (4), односно жута функција и низ од петнаест узастопних истих бројева које је софтвер аутоматски маркирао првом вертикалном жутом линијом, изнад које се налази број понављања који износи 15. Зелена функција тренутно није

битна. Курсором одредимо приближно леву и десну границу за зумирање како би омогућили прегледнији приказ низа узастопних бројева (4). Резултат зумирања је видљив на графикону 5.1.2.



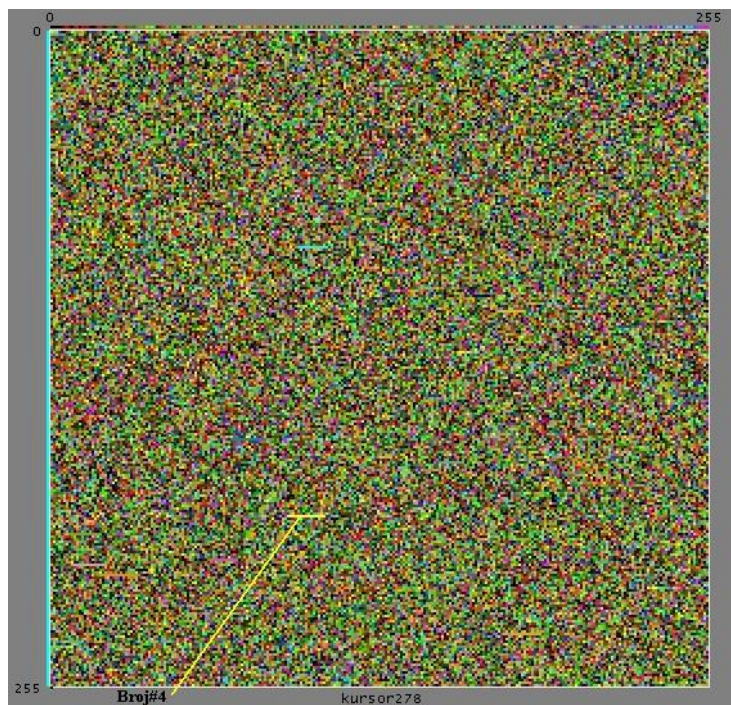
Графикон 5.1.2. Низ узастопних истих бројева из базе

Лева и десна граница су меморијске локације у бази случајних бројева и оне износе 47330 (hex B8E2) и 49708 (hex C22C). Стрелица приказује крајњу позицију низа од петнаест узастопних бројева четири (4). Крајња позиција низа, од петнаест узастопних бројева, у меморији је 48490 (hex BD6A). На слици 3.9.1 се налази сегмент меморије у коме се налазе поменути узастопни исти бројеви, означени розе и жутом бојом. Жута боја је крај низа тј. меморијска локација 48490, иста она која је приказана на графикону 5.1.2. Са леве стране су адресе меморијских локација у бази, а адресе су приказане у хекса-децималном формату.

|           |   |  |                   |
|-----------|---|--|-------------------|
| 0000BD30: | A5 2F 4B D5 86 30 34 78 44 A3 7F ED 43 77 53 DA |  | ¥/KÕ04xDEñíCwSÚ   |
| 0000BD40: | AB 88 11 1A 15 20 17 A2 EA BC CB 94 E0 50 56 50 |  | «◀←+ çê%ÈñàPUP    |
| 0000BD50: | FD 99 AA BB 92 1F D4 33 C2 F9 B2 FE 04 04 04 04 |  | Ÿa»'.03âù²pJJJJ   |
| 0000BD60: | 04 04 04 04 04 04 04 04 04 04 04 ED D3 E6 C4 86 |  | JJJJJJJJJJJJJÍ0æñ |
| 0000BD70: | 97 08 B8 5D 2A 4A 60 69 0F 48 9C 07 2C DB 86 C7 |  | ■□,]∗J`içH●,ÚÇ    |
| 0000BD80: | 6F 8C 4C DE CD 9E 15 14 2C 2C 7E F3 51 35 61 78 |  | o■Lbí■+q ,~óQ5ax  |
| 0000BD90: | C4 3F 05 F8 68 33 9A 75 44 47 C1 64 B5 FD 85 16 |  | ñ? øh3■uDĠádmý■_  |
| 0000BDA0: | 3A 31 8A DC 40 29 55 A4 91 59 6C C0 7F 4D 21 E4 |  | :1■Û@)U∗'Y1A■M?ä  |
| 0000BDB0: | 93 83 4B 20 EA 3C 6F 45 82 A0 E2 E4 22 34 BD 95 |  | ■██ ê<oE■ ää''4½■ |

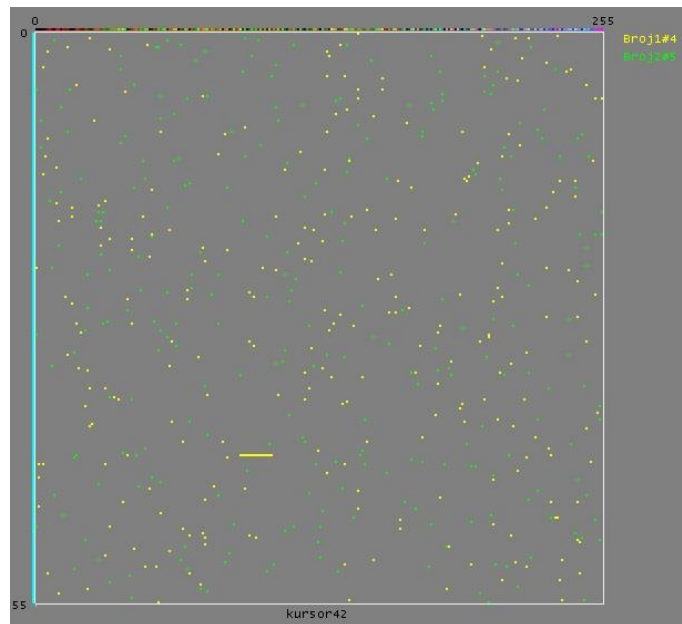
Слика 5.1.1. Део садржаја базе приказане на графикону 5.1.2, са траженим низом

Слични хардверски уређаји су углавном конструисани ради растеређења софтверског генератора псеудо-случајних бројева који може да изазове одређене застоје, или проблеме у раду уколико му истовремено приступа више апликација (линкови [106], [107] и [108]). Радови у којима су ови уређаји описани не баве се претерано анализом генерисаних података, већ самом практичном применом, у банкарским системима, играма на срећу, серверима за генерисање динамичких IP адреса и слично. Ентропија је, кроз графиконе, приказана само преко учесталости појављивања бројева у бази. Наравно да је за већину примена ово довољно. Интересантно је да смо пронашли и један рад који такође комбинује, преко XOR операције, хардверски генерисане случајне бројеве са софтверски генерисаним псеудо-случајним бројевима, из рачунара. У другом раду је садржај базе генерисаних случајних бројева био приказан, као матрица у боји, на врло интересантан начин. Овакав приступ нас је подстакао да израдимо посебну апликацију, која на овај начин приказује и садржаје наших база случајних бројева (линк [108]). На сликама 5.1.2, 5.1.3 и 5.1.4 приказано је неколико практичних примера, који су везани за наше базе и одређене бројеве из тих база, које смо већ анализирали.



Слика 5.1.2. Приказ комплетног садржаја базе са графикона 5.1.1

Слика 5.1.2 приказује комплетан садржај базе од 64к, са случајним бројевима, у облику квадратне матрице 256\*256 бајтова. Сваком члану матрице придружена је одговарајућа боја. Овакав начин приказивања је погодан због лакшег уочавања низа истих узастопних бројева. Такође се наоко чини да је база тотално хаотична, али да ли је тако. Да би се то што боље приказало, уочило и схватило, свакако је потребно имати у виду и наше претходне анализе ентропије над овом истом базом. На слици 5.1.3 на овакав начин су приказани бројеви (4) и (5). Број (4) је приказан жутом бојом, док је број (5) приказан зеленом бојом.

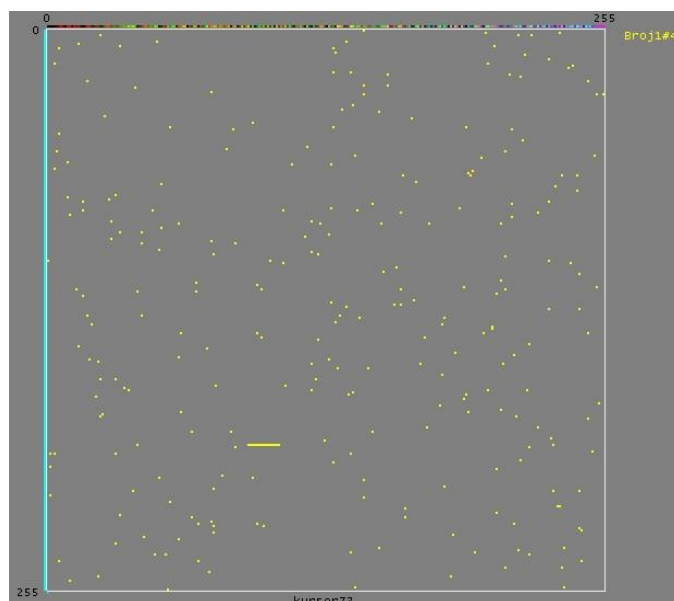


**Слика 5.1.3.** Низ узастопних истих бројева из базе приказане на графикону 5.1.1

Слика 5.1.3 приказује укупан број истих узорака у бази (за два броја, један је означен зеленом, а други жутом бојом), као и њихов распоред у бази случајних бројева. Да се подсетимо да је база настала као продукт случајних бројева из генератора и псеудо-случајних бројева из рачунара, преко инструкције XOR. Констатујемо да динамика прираштаја није јасно уочљива овим начином приказивања базе, са друге стране веома је уочљив низ узастопних истих бројева (4).

На графикону 5.1.4 је приказано како би изгледала презентација само једног броја из базе, конкретно броја четири (4).

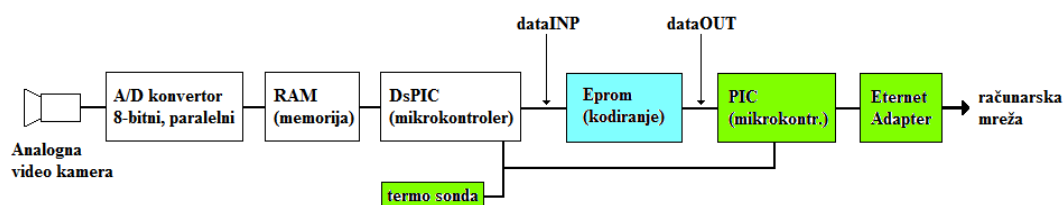




Слика 5.1.4. Низ узастопних истих бројева из базе приказане на графikonу 5.1.1

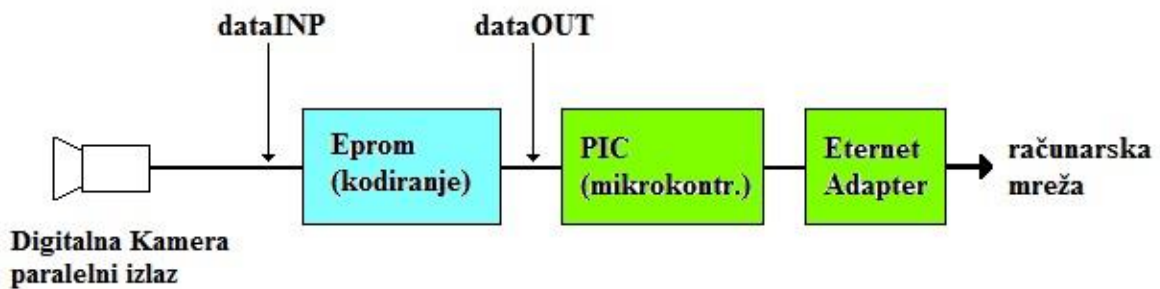
## 5.2. Реализација система за заштићени пренос података, са базом случајних бројева

За практична примену базе случајних бројева морали смо да развијемо посебан интерфејс, чији је принцип рада приказан на слици 5.2.1. Овај интерфејс је и хардверски, практично, реализован. Термо-сонда није саставни део IP камере, али је због потребе мерења температуре у просторији где је имплементиран наведени уређај била неопходна.

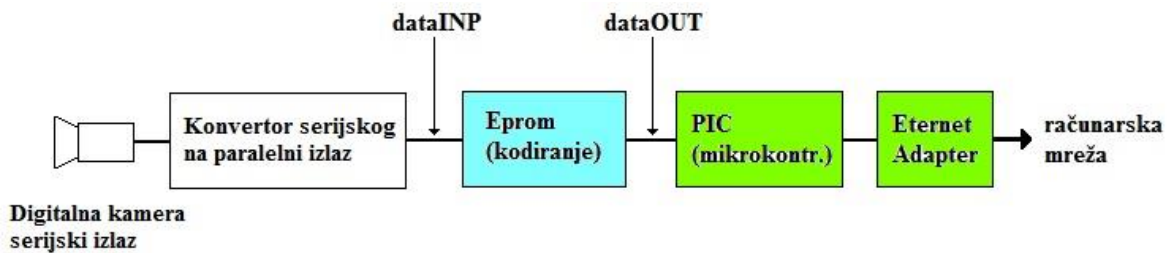


Слика 5.2.1. Аналогна камера, предајни интерфејс

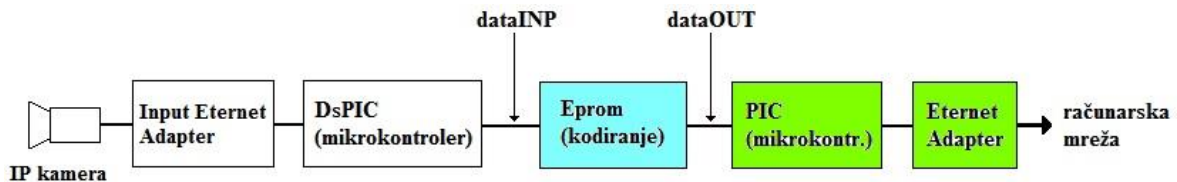
Током рада уочавали смо и бележили проблеме који су се јављали, углавном, приликом дигитализације слике. У данашње време постоје дигиталне и IP камере које у свом склопу имају интегрисане неке од компоненти са горње блок-шеме. Код ових врста камера (уколико су лошијег квалитета, или уколико су радни услови неадекватни) могућа је појава, карактеристичних, сметњи приликом дигитализације слике. На сликама 5.2.2 и 5.2.3 приказани су принципи рада дигиталне камере са паралелним и серијским излазом, док је на слици 5.2.4 приказан принцип рада IP камере.



Слика 5.2.2. Дигитална камера, паралелни излаз, предајни интерфејс



Слика 5.2.3. Дигитална камера, серијски излаз, предајни интерфејс

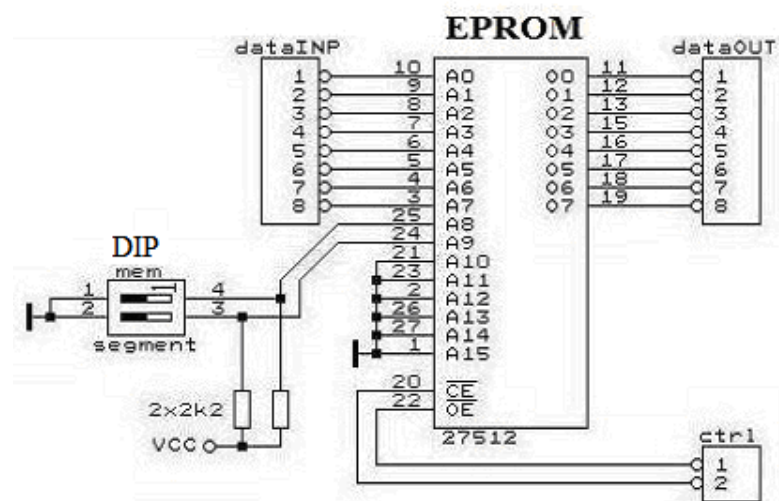


Слика 5.2.4. IP камера, предајни интерфејс

Као што се види из горе приказаних слика, могућа је интеграција и најновијих врста видео камера у постојећи функционални систем, наравно уз одређене модификације. Битно је да нагласимо да се склопови иза Eprom-а, тј. са његове десне стране не

мењају, а то значи да се ни пријемни протоколи на страни рачунара неће битије разликовати, јер ће се компатибилност обезбеђивати у софтверу микроконтролера.

Генерисану базу случајних бројева смештамо у EPROM меморијски чип преко посебног програматора. Овај склоп је на горњим сликама обележен плавом бојом. За овај пример ће се користити фајл где је генерисано четири сегмента, односно група од по 256 бајтова. Унутар сваке групе не сме бити понављања јер ћемо за кодирање, као пример, користити методу прости замене података тј. бајтова. На овај начин генератор случајних бројева има могућност генерисања случајних бројева без понављања.



Слика 5.2.5. Паралелни интерфејс

После аналогно-дигиталне конверзије (водећи рачуна о синхронизационим импулсима) композитног видео сигнала из камере, једна слика се привремено смешта у RAM меморију. Излазне линије RAM меморије (MemData output) долазе на dataINP конектор Епрома 27512 (64к). Ове линије адресирају меморијску ћелију-бајт унутар EPROM-а и њен садржај прослеђују на dataOUT конектор, који је даље повезан са микро контролером који управља ETERNET адаптером и податке прослеђује жељеном кориснику преко рачунарске мреже. Поменути четири групе од по 256 бајтова бирамо DIP прекидачем (лево на горњој шеми) који је повезан на адресне линије A8 и A9 EPROM-а. Остале адресне линије нам нису потребне и повезане су на масу.

Избор сегмената меморије врши се по табели 5.2.1.

| Сегмент | A9 | A8 |
|---------|----|----|
| 0       | 0  | 0  |
| 1       | 0  | 1  |
| 2       | 1  | 0  |
| 3       | 1  | 1  |

Табела 5.2.1. Избор сегмената меморије

Да би цео поступак био што јаснији у табели 5.2.2 приказаће се садржај сва четири сегмента меморије Епрома 27512.

|           |   |                      |           |
|-----------|---|----------------------|-----------|
| 00000000: | F8 BD 3D 98 0A FA 23 92 2D 5E EA 9F A5 67 0C B9 | ø¼=■.ú##?^ê■#q■'     |           |
| 00000010: | 95 C8 ED D9 00 B8 5C C7 D1 22 46 A2 8C 26 C0 7D | ■ÉíÜ. \çñ"Fc■&A}     |           |
| 00000020: | 99 EC A1 14 17 B5 24 EB 86 55 B7 0D 6A A0 28 CD | ■i;¶µ\$ë■U-.j (í     |           |
| 00000030: | 42 1B 85 D3 B4 B1 1A 74 1C A3 7F 19 BC EE C4 CE | B-■0'±-t.£■-%îÁî     |           |
| 00000040: | 3E 77 DD E1 83 AE 21 E4 E2 FC 37 1E 61 A4 CF 41 | >wŷá■@!áâú7.a*îA     |           |
| 00000050: | A9 2E E8 FD 10 91 DE 64 C5 88 84 51 52 79 87 F6 | @.èý+ 'p dâ■QRyüö    |           |
| 00000060: | 60 C3 B3 6E FB E9 0E 65 4C 5B F2 2F 1D 90 72 2B | `Á³nûéæL[ð/.■r+      |           |
| 00000070: | 02 AB E3 A7 B0 8F 08 31 44 AA 9B 35 33 34 50 C1 | - <ã§°□1Dæ■534PÁ     |           |
| 00000080: | 9D 97 8E 38 71 45 39 A6 C9 69 53 16 F7 9C 5A 0F | ■■■8qE9!ÉiS-÷■Z□     | Segment#0 |
| 00000090: | 62 94 57 F0 96 DA 4A 11 59 6C 6F B2 25 3A 04 89 | b■Wð■ÜJ4ŷ1o²%:-■     |           |
| 000000A0: | D5 78 56 82 54 8A D6 7C 15 BA 81 7E 03 F1 E5 C2 | õxU■T■Ü ~e■~ñãÁ      |           |
| 000000B0: | C6 6B 2A E6 5F 01 CC 27 7B 0B 47 7A 66 F4 BB E0 | Åk*æ _í' {çGzFð>>à   |           |
| 000000C0: | 68 B6 1F DB 12 29 D7 4F 63 FE 8B DC 73 20 AC 30 | h¶.Ü) )×0cþ■üis ~0   |           |
| 000000D0: | 4D F9 18 9A D8 58 3B AD 2C 4E D2 06 5D 4B E7 40 | Hù:■0X;- ,N0-]Kç@    |           |
| 000000E0: | 36 DF 8D 6D 48 07 F3 3C 49 75 CA FF AF 43 93 70 | 60■mH•ó<IuÉÿ C■p     |           |
| 000000F0: | EF 9E D0 CB BF 32 13 80 BE F5 09 D4 76 A8 05 3F | ÿ■ðÉ;2üç%ö.üv'' ?    |           |
| 00000100: | 0C 86 F2 E7 8C AC E2 A3 28 06 67 09 47 79 9D 44 | =■0ç■-ðE(-g.Gy■D     |           |
| 00000110: | 7F 4F 87 82 72 97 16 DB 52 41 1F AB 7A 6C 1C 84 | ■0■r■-ÜRA.<<z1.■     |           |
| 00000120: | 01 B1 49 7C E0 56 E8 6E 68 AD 43 95 A6 05 D2 17 | -±I àUènh-C■!; Ü-    |           |
| 00000130: | D4 2E 10 81 C7 BF 94 6D 53 0F CC 32 F7 E3 D8 DA | ò.-■ç;■mSo12÷ã0Ü     |           |
| 00000140: | 71 00 15 E4 F0 4B B5 D3 F3 76 3C A1 07 03 0D 2C | q -ãðkµ0óv<;•.-,     |           |
| 00000150: | 35 D9 B9 4A DD 27 38 2A B2 5D CF FC 8D DF C6 D1 | 5Ü;Jŷ'8*²]ÿ■0Äñ      |           |
| 00000160: | CE BD ED B8 55 EC C2 E1 AE BC 0E A8 A0 70 48 34 | î¼í. Uîáá@%²" pH4    |           |
| 00000170: | 54 5F 1A 24 31 9F 93 18 C9 23 59 DE A9 46 77 C3 | T_-§1■~É#ŷbçFwÁ      | Segment#1 |
| 00000180: | A7 92 2F 50 F5 75 11 14 08 B3 40 E5 FA 02 22 91 | 8²/Põu-¶□³@ãü-''*    |           |
| 00000190: | D7 D0 BB CB 3A 78 EB 3E 26 85 D6 62 19 A5 45 FE | ×D>>É: xð>>R■Üb -ŷEþ |           |
| 000001A0: | 66 FB 1D 69 5C 13 E6 7B 20 5E EA C1 F4 8F 04 CA | f0.i\ŷæ{ ^éá0■-É     |           |
| 000001B0: | 33 88 BE 58 3F A2 83 80 AA F6 2D 1B 39 74 99 8E | 3■%[?ç■eæö-+9t■      |           |
| 000001C0: | 98 F8 B7 29 FF 8B CD 60 7E 96 61 C5 D5 3B 63 6A | ■ø-)ÿ■î ~■aÄÜ;cj     |           |
| 000001D0: | 89 58 EF F1 42 FD B0 57 E9 F9 0B 3D 25 C4 9A B6 | ■XîñBý°wéü.ç=%Ä■¶    |           |
| 000001E0: | 2B C0 12 73 4C DC 7D 36 1E 4E 21 9E 51 0A 65 B4 | +Ä;SLU}ó.N?■Q.e'     |           |
| 000001F0: | 90 BA EE 9C 37 64 8A A4 9B 6B 6F 5A C8 4D AF 30 | ■øî7d■=koZEM 0       |           |

Табела 5.2.2. Садржај дела меморије предајног EPROM-а 27512

Сваки обележени сегмент садржи 256 различитих бајтова, значи не постоје понављања бајтова у једном сегменту, другачије би оваквом методом замене дошло до грешака. Изабрана метода није компликована за декодирање, али је zgodna за дискусију као пример. Сличну методу, само у далеко скромнијем сегменту, су користили чак и стари Римљани (Цезарова шифра).

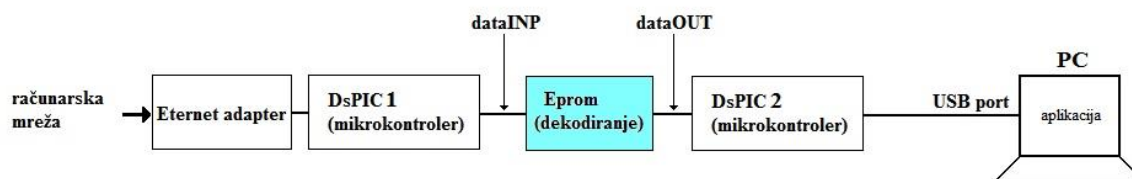
|           |   |                    |           |
|-----------|---|--------------------|-----------|
| 00000200: | D4 B2 58 FC 64 B4 EE 34 D8 E6 86 76 28 DF FB 53 | 0:Püü'î4Da-u(00S   |           |
| 00000210: | C4 08 45 B8 29 87 F4 79 3F EC 7A 62 85 78 52 98 | äÜE.)Möy?izb pR    |           |
| 00000220: | 72 48 0A D3 69 42 F7 1E 77 2D C8 71 C6 17 2C CF | rK.01B÷.w-Éqé;I    |           |
| 00000230: | 09 58 5E 92 ED 89 B1 68 41 9E 18 15 E1 97 4C 63 | 0[ç'î±'âM+âM c     |           |
| 00000240: | FA 09 C3 AC C8 4E DA 94 96 E9 8B CC 2F 51 C8 6E | ú.â-âNÜMés'i/QEn   |           |
| 00000250: | 31 7D C2 3A 4A 65 43 39 49 4D AE 94 95 8D 68 48 | 1)â:JeC91M@MhH     |           |
| 00000260: | EB 07 C5 DC 88 35 33 67 6D BE E8 82 D1 7F 6F 19 | 8xâÛ°53gmzèMNo-    |           |
| 00000270: | 18 8C 27 9C 85 E7 14 85 24 9F D8 73 28 3C 8C 3E | ?'Mçµ\$M8s <=>     |           |
| 00000280: | BA 9A A7 E5 46 87 AB A2 7E 47 F6 FE 83 CD 8F F1 | 98âF«ç~GöPñiñ      |           |
| 00000290: | 61 21 93 37 88 26 6A 88 82 8E C9 8D 8D AA 9D B3 | a!M788jç.âÉ.âçM?   | Segment#2 |
| 000002A0: | F5 99 86 1D F8 E8 5C 66 57 A3 74 1C 8F 11 8C F8 | 0M.âà\FWet.ç4a     |           |
| 000002B0: | A5 78 CA 12 44 A8 36 91 38 78 83 8A DE EF C7 59 | 4xËQ"6*8ç-âbÏçV    |           |
| 000002C0: | E4 28 D6 81 D2 48 32 C1 88 38 B7 EA 8E 84 DD 1A | â+0M0B2âM;-âMÿ-    |           |
| 000002D0: | E2 88 56 B9 2A E3 2E 5A 23 25 16 22 7C 75 84 6C | â U*â.Zâç+ u-1     |           |
| 000002E0: | B6 5F 4F A8 D5 54 F2 A6 CE FF BF A1 F3 81 1F 13 | 4 0 0Tb;Ïÿz.âç-1   |           |
| 000002F0: | 3D 98 1B A9 FD F9 88 98 55 68 88 38 58 AD 5D AF | =M-0ÛMUK:8X-]      |           |
| 00000300: | 6A 9A 61 87 5C 23 EE F7 3D 4A 88 82 A9 21 AB D1 | 'Ma\#î±=JMM@!âN    |           |
| 00000310: | 9C 8D 85 57 88 91 C7 89 32 48 38 D9 C4 5D 59 7B | MMµW:çM2K8UA]Vç    |           |
| 00000320: | 24 8D 8B 1B 84 42 8F C6 72 1A F1 F3 6C 7C 58 5E | \$...-BMMâç-ñ61 ç^ |           |
| 00000330: | 37 A7 38 33 F5 98 6F DF EB 84 8B A1 76 9D D3 71 | 7883çmonèM;uM0q    |           |
| 00000340: | D6 1D 2D D8 8E E4 F2 FC 98 D8 39 D7 26 94 83 88 | 0.-0Mâb0M9xeM      |           |
| 00000350: | 43 25 3C E9 92 DE 18 5A 17 97 68 E2 19 16 47 58 | ç%ç'ê'çZ;-M'â-çX   |           |
| 00000360: | CA 54 4C B9 69 EF 2C 58 51 FD 6D E7 D8 2F D4 8E | ÈTL'ii,PQÿmç8/0M   |           |
| 00000370: | AD 89 DD B1 7A 55 38 85 A4 45 1C 62 4E 81 BF 7D | -.ÿ±zU;M=È.bn-z}   |           |
| 00000380: | 7F FF A3 E8 96 22 A5 2E 86 C5 34 FE 3F 3E 3A 41 | MÿjèâM'ÿ.-â4h?>:a  | Segment#3 |
| 00000390: | CE FA F9 C1 86 83 35 E1 AA 36 E3 2B B8 F6 1F A8 | ÎûûâM-5â=6â+;ö.    |           |
| 000003A0: | 73 15 A6 49 8A 8A 64 86 56 ED BE 78 46 A8 C8 93 | s-!IM.çµUîççF"ÈM   |           |
| 000003B0: | 6E AE 4F A2 F8 11 28 2A 48 18 C8 68 8C E6 B3 27 | n@çâçç(*H-âhMæç'   |           |
| 000003C0: | AC 52 7E 87 FB B8 85 79 C9 D2 88 D5 63 CC BD C2 | -R~Mâ°yÈ0_0çîçâ    |           |
| 000003D0: | 1E 98 B7 75 CF 65 F4 53 CD E5 C3 9F 48 DC F8 8F | .M-uTe6SîââM0ûçç   |           |
| 000003E0: | 66 28 EC 13 5F 82 77 78 12 4D 8C 44 88 31 B4 EA | f îÿç-wp;M=0ç1'ê   |           |
| 000003F0: | AF 68 81 E8 14 9E C8 DA BC 95 74 67 B2 99 29 BA | kMèçMËUçMtg²M)ç    |           |

Табела 5.2.3. Садржај дела меморије предајног EPROM-а 27512

Као што се види сегменти су респективно поређани (у различитим бојама) од нултог до трећег, или ако је јасније, од првог до четвртог. Са леве стране (испред двотачке) су меморијске адресе са кораком од 16 бајтова. Са десне стране су садржаји тих меморијских локација. Дакле на конектор dataINP (слика 5.2.1) долази адреса, док ће се на конектору dataOUT појавити садржај те адресе тј. кодирани податак! Садржај адресиране меморијске локације иде даље преко микроконтролера и ETERNET адаптера на рачунарску мрежу ка изабраном кориснику.

На страни изабраног корисника податке прихвата одговарајућа пријемна апликација која има задатак да утврди којој адреси одговара примљени податак, да би после ту адресу третирала као декодовани податак (онај са dataINP конектора) и сместила га у пријемну меморију, која се после завршеног преноса снима у фајл. Наравно да пријемна апликација мора да зна који је меморијски сегмент EPROM-а активан.

Уколико се декодирање обавља у самом рачунару, онда не постоји разлог да се црта блок шема пријемног система, јер је мрежна картица у данашње време саставни део скоро сваког рачунара. Ако је међутим, из безбедносних разлога, потребно да се декодирање обавља у некој периферној јединици тада би блок шема пријемног интерфејса требала да изгледа као на слици 5.2.6.



Слика 5.2.6. Пријемни интерфејс

У овом случају пријемни интерфејс преко ETERNET адаптера и првог микроконтролера прихвата податке и доставља их Eprom на декодирање. Eprom сада ради обрнути процес, односно на основу примљеног податка установљува адресу тј. оригинални декодовани податак, који преко другог микроконтролера и USB порта прослеђује ка пријемној апликацији у рачунару.

Овакав систем је безбедносно поузданији јер пријемни интерфејс треба да буде прикључен на рачунар само онда када је то потребно! У декодирајућем **Eprom**-у подаци треба да буду инвертовани, односно оно што је у отпреми била адреса, овде мора да буде садржај меморијске локације и обрнуто! Пријемна апликација, у рачунару, значи не мора да садржи било какве компромитујуће податке! Свакако би било од значаја да видимо како би требало да изгледа нулти-први сегмент у пријемном **Eprom**-у, који је на слици 5.2.1 означен плавом бојом. Остали сегменти се формирају на идентичан начин. Ово је приказано у табели 5.2.4.

|           |   |                               |  |
|-----------|---|-------------------------------|--|
| 00000000: | 14 B5 70 AC 9E FE DB E5 76 FA 04 B9 0E 2B 66 8F | ħµp-▯p0švú-!š+f▯              |  |
| 00000010: | 54 97 C4 F6 23 A8 8B 24 D2 3B 36 31 38 6C 4B C2 | T#A0#▯#š0;6181KĀ              |  |
| 00000020: | CD 46 19 06 26 9C 1D B7 2E C5 B2 6F D8 08 51 6B | ÍF▯-&▯.▯.Ā°o0Qk               |  |
| 00000030: | CF 77 F5 7C 7D 7B E0 4A 83 86 9D D6 E7 02 40 FF | Īw0 ▯}▯àJ▯▯▯0ç-▯uj            |  |
| 00000040: | DF 4F 30 ED 78 85 1A BA E4 E8 96 DD 68 D0 D9 C7 | 000íx▯-▯šš▯Yh0Uç              |  |
| 00000050: | 7E 5B 5C 8A A4 29 A2 92 D5 98 8E 69 16 DC 09 B4 | ~[▯#*)ç'0▯▯i-▯.▯              |  |
| 00000060: | 60 4C 90 C8 57 67 BC 0D C0 89 2C B1 99 E3 63 9A | `L#Ewq%▯.Ā▯,±#āc▯             |  |
| 00000070: | EF 84 6E CC 37 E9 FC 41 A1 5D BB B8 A7 1F AB 3A | i▯n17éúA; ]> \$.<<: Segment#0 |  |
| 00000080: | F7 AA A3 44 5A 32 28 5E 59 9F A5 CA 1C E2 82 75 | ±#D22(^Y#YĒ.ā▯u               |  |
| 00000090: | 6D 55 07 EE 91 10 94 81 03 20 D3 7A 8D 80 F1 0B | mU•1'▯▯▯▯ 0z▯Eñ               |  |
| 000000A0: | 2D 22 1B 39 4D 0C 87 73 FD 50 79 71 CE D7 45 EC | -'▯-9M▯#súPyqĪ×Ei             |  |
| 000000B0: | 74 35 9B 62 34 25 C1 2A 15 0F A9 BE 3C 01 F8 F4 | t5▯b4%Ā*▯-▯0%<-▯0             |  |
| 000000C0: | 1E 7F AF 61 3E 58 B0 17 11 88 EA F3 B6 2F 3F 4E | .▯. a>X°▯▯▯0ó▯/?N             |  |
| 000000D0: | F2 18 DA 33 FB A0 A6 C6 D4 13 95 C3 CB 42 56 E1 | ò▯ú0ú !#0▯▯ĀĒBUá              |  |
| 000000E0: | BF 43 48 72 47 AE B3 DE 52 65 0A 27 21 12 3D F0 | ¿CHRc0▯▯pRe. '▯?▯=ð           |  |
| 000000F0: | 93 AD 6A E6 BD F9 5F 8C 00 D1 05 64 49 53 C9 EB | ▯-jæ%ú ▯ ▯▯ dISĒĒ             |  |

Табела 5.2.4. Садржај дела меморије пријемног Eprom-а 27512

Алгоритам који предајну базу, која се учитава у **Еprom**, конвертује у пријемну, налази се у наставку текста.

```
Dim Bajt(256)

ReadFile(1,"Eprom512.bin")
j=0
Repeat
  UseFile(1)
  BAJT1=ReadByte()
  If BAJT1<0:BAJT1=BAJT1+256:EndIf
  Bajt(j)=BAJT1
  j=j+1
Until j>=256
CloseFile(1)

CreateFile(2,"Eprom512.inv")
j=0
Repeat
  For x=0 To 255
    If Bajt(x)=j
      UseFile(2)
      WriteByte(x)
      j=j+1
    EndIf
  Next x
Until j>=256
CloseFile(2)
Debug "Kraj"
End
```

## 6. ЗАКЉУЧАК, НАУЧНИ И ПРАКТИЧНИ ДОПРИНОС ДИСЕРТАЦИЈЕ

Истраживања која садржи докторска дисертација односе се на анализу различитих метода за дигиталну обраду слике, њено побољшање и њен сигуран, односно заштићен пренос до крајњег корисника. У раду је показано како и на који начин одређени алгоритми и математичке функције могу да се искористе у системима за дигиталну обраду слике, како за побољшање њеног квалитета у постобради, тако и за њену заштиту током преноса.

У првом делу рада дат је преглед актуелних истраживања, нарочито од почетка осамдесетих година, када је почео нагли развој дигитализације и компресије слике, што је проузроковало настајање нових дигиталних видео формата и разних кодека за компресију слике. Тако се данашња проблематика своди на што ефикасније методе компресије слике (пример H.265, VP9 и Theora видео кодека), њихову ефикаснију оптимизацију, компатибилност са осталим деловима мултимедије, као и разноврсније начине за побољшање квалитета дигиталне слике и њеног заштићеног преноса до крајњег корисника. У складу са тим данас се велики број актуелних радова бави различитим методама за дигиталну обраду слике и анализом различитих видео кодека у тачно дефинисаним условима од поступка настанка, преноса, па све до обраде примљеног сигнала.

За упоређивање и анализу добијених резултата коришћени су стандардни параметри као што су: средња квадратна грешка (MSE), однос сигнал/шум (SNR) и вршни однос сигнал/шум (PSNR). Како ови параметри не дају резултате који су потпуно у складу са субјективним проценама и карактеристикама људског ока, то су коришћени и додатни параметри као што су индекс структуралне сличности (SSIM) и разлика структуралне сличности (DSSIM), који су у последње време веома популарни за процену квалитета слике, јер узимају у обзир и карактеристике људског визуелног система (HVC). Ради добијања што прецизнијих и објективнијих резултата, аутор је користио и побољшану верзију индекса структуралне сличности (GSSIM), код које су упоређиване информације о ивицама између оригиналне слике и слике са дисторзијом, а уместо поређења контраста и структуре нивоа сивог коришћено је поређење контраста градијента и структурно поређење градијента.



Дигитална слика је посматрана и анализирана преко матрица и хистаграма. У циљу описивања матричне димензије дигиталне слике коришћена је квантитативна анализа са преко две хиљаде слика дефинисаних по карактеристикама различитих формата, резолуције, нивоа детаља и др. Над сваком сликом, зависно од намене, извршена је квалитативна и квантитативна анализа са адекватним параметрима за оцену квалитета слике. Слике коришћене у раду су стандардне слике које се користе у теоријској анализи дигиталне обраде слике, или слике добијене анализом кроз програме за обраду слике као што су: CVIPtools, Matlab, SofAS, Blender, Photoshop, Image Quality Measurment.

Одабир формата дигиталних слика зависио је од потребе, али је у највећем броју анализа коришћен TIFF формат записа, јер он представља некомпресовани формат слике, па су и добијени резултати објективни и мерљиви са резултатима других аутора. Све оригиналне слике за потребе анализе налазиле су се у овом формату, а онда су уз помоћ Дискретне косинусне трансформације или Вавелет трансформације оцењиване компресије као што су JPEG, JPEG2000, EZW и SPIHT.

Ради што реалније анализе добијених резултата, реализован је хардверски склоп који је генерисао бели шум. Помоћу њега и посебно урађених апликација симулирани су и практично проверавани добијени теоријски резултати за побољшање квалитета слике и заштиту података током њеног преноса.

У централном делу рада разматране су различите методе за контролу, анализу и обраду дигиталне слике, као и њен сигуран, односно заштићен пренос до крајњег корисника. Показано је како и на који начин одређени алгоритми и математичке функције могу да се искористе у системима за дигиталну обраду слике, као и за њену заштиту током преноса, али и за побољшање квалитета у постобради.

Резултати су саопштени и публиковао у врхунским светским часописима и то пет рада у часописима ранга M23 и M24 и осам радова на међународним и домаћим конференцијама.

Анализирано је како различити алгоритми компресије утичу на квалитет слике коришћењем Лапласиан, Превит и Собел оператора. Квалитет компресованих слика оцењиван је бројем битова по пикселу (bpp) и параметрима PSNR, MSE и SNR. Показано је која компресија даје најбоље резултате у зависности од bitrate и филтрирања слике.

Анализом шест најзначајнијих оператора за детекцију ивица слике, кроз параметре PSNR, SNR, MSE и Ентропију слике, показано је како помоћу разних алгоритама и филтера може да се поправи квалитет дигиталне слике. Анализа је вршена помоћу VCDemo софтвера и Матлаб софтверског пакета. Анализом је утврђено да оператори Пирамид и Робертс дају много боље резултате на нижим степенима брр, а да, на основу Ентропије слике, најбоље резултате даје Пиримид оператор. Закључено је да код анализе денталних слика за детекцију ивица, најбоље карактеристике показује Пирамид оператор, како на нижим битовима, тако и кроз параметар Ентропије.

Кроз анализу утицаја осветљења на квалитет слика компресованих са JPEG и SPIHT методама утврђено је како функција линеарне промене позитивног и негативног осветљења утиче на квалитет слике. Методе су примењене на слике са различитим степеном осветљења и за различите вредности брзине протока (bpp) коришћењем софтвера VCDemo. Квалитет компресованих слика је оцењен на основу вредности PSNR, MSE, SSIM и DSSIM. На основу добијених резултата извршено је поређење компресија слика са различитим степеном осветљења и утврђено је која компресија даје боље резултате у односу на различити степен осветљења слике и како се квалитет компресије мења са променом осветљења слике при различитим брзинама протока. Може се закључити да је квалитет компресоване слике исти при вишим вредностим брзине протока, без обзира колико је слика осветљена. При смањењу брзине протока бољи квалитет се добија за тамније слике. При екстремно ниској брзини преноса (0.1 bit / елемент слике) квалитет компресије је исти код JPEG методе без обзира о којем осветљењу слике се ради, док код SPIHT методе боље резултате дају тамније у односу на светлије слике.

Утврђено је да за различите линеарне степене промене осветљења параметри PSNR и MSE имају скоро исте вредности, а да се са линеарним повећањем степена промене осветљаја параметари SSIM и DSSIM смањују.

Показано је да спектар таласних дужина видног спектра близак инфра црвеном подручју, носи највећи потенцијал за смештање информације дигиталног потписа.

Анализиран је и приказан алгоритам за детекцију ивица слике са постфилтром који је имплементиран у софтверском пакету Матлаб. Реализован је програмски код који је примењен над сликама са различитим бројем детаља. Помоћу њега добијене су вредности за Ентропију и вредности за број детаља реконструисаних слика коришћењем Дискретне косинусне трансформације и Wavelet трансформације за

различите вредности прага детекције. На основу добијених вредности је анализиран квалитет алгоритма за детекцију ивица. Као главни допринос може да се истакне програмски код алгоритма за детекцију ивица, који кориснику омогућава потпуну слободу у дефинисању параметара алгоритма, како прага детекције, тако и постфилтра. Велика предност предложеног алгоритма са постфилтром је његово прилагођење потребама корисника, на тај начин што корисник може да дефинише параметре алгоритма. Дефинисање параметара се може извршити над сваким каналом посебно, односно могуће је дефинисати праг детекције за сваки од RGB канала, а такође и подешавање параметара филтра, односно који степен филтрирања ће корисник употребити за добијање жељених резултата. На основу добијених резултата може се закључити да је већи пад Ентропије код слика са већим нивоом детаља. Код свих слика вредност Ентропије се смањује са порастом прага, што је и очекивано. За разлику од осталих алгоритама за детекцију ивица, где се после одређивања ивица одређује оријентација пиксела, код овог алгоритма то није потребно јер се оријентација пиксела преузима са оригиналне слике, самим тим се и смањује време рачунања. Предност овог алгоритма је и једноставан софтвер, који утиче на смањење времена извршења процеса ко рачунара, или наменских интерфејса.

Анализирана је разлика у квалитету између нелинеарних филтера Медиан, Филтра средње вредности и Филтра оптерећења, приликом елиминације Salt & Pepper шума из дигиталне слике. Уз помоћ софтверског пакета Матлаб и CVIPtools програма израчунати су вршни односи сигнал/шум (PSNR), средње квадратна грешка (MSE), индекс структуралне сличности (SSIM) и ентропије. Помоћу ових параметара одређен је квалитет филтрирања наведених филтера за различите густине Salt & Pepper шума. Предложен је метод за елиминације различитих врста шума, у реалном времену, уз помоћ Медиан филтера, Филтера средње вредности и Филтера оптерећења.

У последњем делу рада анализирана је практична примена ексклузивне дисјункције XOR код заштите, преноса и филтрирања дигиталне слике. За ту намену урађена је посебна софтверска апликација. Описан је утицај функције XOR на практично генерисање базе случајних бројева. Одређен је карактеристичан модел у коме су дефинисани најподеснији алгоритми за елиминацију шума, детекцију ивица, заштиту сигнала и пренос таквог сигнала ка пријемној страни где би се вршила реконструкција полазног сигнала. Показано је како предложени алгоритми и филтери могу да поправе квалитет примљене дигиталне слике, уколико је било грешака током преноса те слике.

За све анализе дата је теоретска подлога и одговарајуће математичке трансформације, а добијени резултати су потврђени упоређивањем са резултатима доступни у научној литератури. Резултати су међусобно повезани, што је потврдила регресиона - статистичка анализа добијених података, а сваки резултат је био подвргнут и корелационој анализи.

Из добијених и верификованих резултата у релевантним научним часописима, на међународним и домаћим конференцијама, као и на основу разних теоријских, експерименталних и софтверских анализа могу се одредити следећи заједнички кључни научни доприноси докторске дисертације, а то су :

- На основу реализованог хардверског склопа и израђене апликације детаљно је анализирана одређена база случајних бројева, после чега добијени резултати могу да се користе приликом заштите података, током преноса, али и за побољшање квалитета пренесене дигиталне слике.
- Помоћу развијених и предложених софтверских алгоритама показано је како је могуће поправити квалитет дигиталне слике.
- Предложен је метод помоћу кога могу да се елиминишу различите врста шума у слици, у реалном времену, користећи Медиан филтер, Филтер средње вредности и Филтер оптерећења.
- Показано је како функција линеарне промене позитивног и негативног осветљења утиче на квалитет слике.
- Показано је како различити алгоритми компресије утичу на квалитет слике коришћењем Лапласиан, Превит и Собел оператора.
- Добијени су практични резултати за уклањање Salt & Pepper шума са нелинеарним филтерима из слике.
- Показано је како може операција ексклузивне дисјункције (XOR) да се користи код заштите, преноса и филтрирања дигиталне слике.
- Предложена су решења и методе за аутоматску детекцију различитих аномалија код дигиталних слика, које се веома тешко, или немогуће, уочавају визуелном методом.

Узимајући у обзир добијене резултате током израде докторске дисертације будућа истраживања, користећи методе синтезе, поређења, симулације и дедукције, односила би се на следеће:

- 
- Развиле би се методе за дигитални потпис сигнала, обзиром да је утврђено да G канал RGB сигнала има највећи потенцијал за реализацију дигиталног потписа, док је R канал, спектрално гледано, најподложнији шумовима.
  - Унапредили би се алгоритми за детекцију ивица, коришћењем сегментације што би помогло у добијању што квалитетније слике у компресији.
  - Проширила би се примена XOR алгоритма на моделе за дигитално потписивање.
  - Истраживало би се понашање 3D објеката при различитом степену осветљења и сенки.
  - На основу анализе нелинеарних филтера, где су истакнуте предности и мане одређених филтара, реализовао би се оптималан филтар за отклањање Salt & Pepper шума.

## Литература

- [1]. D. F. Andrews, P. J. Bickel, F. R. Hampel, P. J. Huber, W. H. Rogers, J. W. Tukey, Robust Estimates of Location: Survey and Advances, Princeton Legacy Library, Princeton University Press, pp. 7-45, 1972.
- [2]. Average - and Median-Based Smoothing Techniques for Improving Digital Speech Quality in the Presence of Transmission Errors.
- [3]. W. K. Pratt, "Median filtering," in Semiannual Report, Image Processing Institute, Univ. of Southern California, Sept. 1975, pp. 116-123.
- [4]. B. R. Frieden, "A new restoring algorithm for the preferential enhancement of edge gradients," J. Opt. Soc. Amer., vol. 66, pp. 280-283, 1976.
- [5]. Thomas S. Huang, Gregory Y. Tang, A Fast Two-Dimensional Median Filtering Algorithm, IEEE TRANSACTIONS ON ACOUSTICS, SPEECH, AND SIGNAL PROCESSING, VOL. ASP-27, NO. 1, FEBRUARY 1979.
- [6]. Robert T. Gray, Dennis G. McCaughey, Bobby R. Hunt, Median Masking Technique For The Enhancement Of Digital Images, Proc. SPIE 0207, Applications of Digital Image Processing III, 142 (December 28, 1979); doi:10.1117/12.958237
- [7]. E. Ataman, V. K. Aatre, K. M. Wong, A fast method for real-time median filtering, IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, ISSN: 0096-3518, pp. 415-421, August 1980.
- [8]. Patrenahalli M. Narendra, A Separable Median Filter for Image Noise Smoothing, The IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (TPAMI), ISSN: 0162-8828, pp. 20-29, January 1981.
- [9]. Anup Basu, Christopher M. Brown, Algorithms and Hardware For Efficient Image Smoothing,
- [10]. D. R. K. Brownrigg, The weighted median filter, Communications of the ACM Magazine, pp. 807- 818, Vol. 27, No. 8, August 1984.
- [11]. <https://www.google.com/patents/US4724395>
- [12]. [https://www.google.com.ar/patents/US4736439?dq=median+filter&hl=sr&sa=X&ei=Qu3mVJ\\_3IYK6PZz5gPgM&ved=0CDgQ6AEwAw](https://www.google.com.ar/patents/US4736439?dq=median+filter&hl=sr&sa=X&ei=Qu3mVJ_3IYK6PZz5gPgM&ved=0CDgQ6AEwAw)
- [13]. [http://www.washingtonpost.com/business/what-kodak-could-still-learn-from-polaroid/2012/11/29/01b8b8e4-38d7-11e2-b01f-5f55b193f58f\\_story.html](http://www.washingtonpost.com/business/what-kodak-could-still-learn-from-polaroid/2012/11/29/01b8b8e4-38d7-11e2-b01f-5f55b193f58f_story.html)

- 
- [14]. [http://www.washingtonpost.com/business/similar-fates-of-two-photo-giants/2012/11/29/fc6ea18e-3aa5-11e2-b01f-5f55b193f58f\\_graphic.html](http://www.washingtonpost.com/business/similar-fates-of-two-photo-giants/2012/11/29/fc6ea18e-3aa5-11e2-b01f-5f55b193f58f_graphic.html)
- [15]. D. A. F. Florencio, R. W. Schafer, Decision-based median filter using local signal statistics, Proc. SPIE 2308, Visual Communications and Image Processing '94, 268 (September 16, 1994); doi:10.1117/12.185969.
- [16]. Y. Neuvo, Detail-preserving median based filters in image processing, Pattern Recognition Letters, pp. 341–347, Vol. 15, No. 4, April 1994, doi:10.1016/0167-8655(94)90082-5.
- [17]. P. S. Wu, M. Li, “Pyramid edge detection based on stack filter,” Pattern Recogn. Lett., Vol. 18, pp. 239–248, March 1997.
- [18]. X. Yang, PS. Toh, Adaptive fuzzy multilevel median filter, IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 4, No. 5, pp.680-682, ISSN: 1057-7149, May 1995, doi: 10.1109/83.382502.
- [19]. H. Hwang, R. A. Haddad, Correspondence, IEEE Transaction on Image Processing, Vol. 4, No. 4, April 1995.
- [20]. K.-S. Choi, J.-S Lee, S.-J. Ko, New autofocusing technique using the frequency selective weighted median filter for video cameras, IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vo. 45, No. 3, pp. 820-827, 06 August 1999. doi: 10.1109/30.793616.
- [21]. M.-H. Bae, J-h. Lee, Circular median filter, US5968111 A, 19 October 1999.
- [22]. H. Yang, D. Chen, Analog median filter circuit for image processing, US6121817 A, 19 September 2000.
- [23]. S. Zhang, M. A. Karim, A new impulse detector for switching median filters, IEEE Signal Processing Letters, pp. 360-363, ISSN: 1070-9908, 10 November 2002. doi: 10.1109/LSP.2002.805310.
- [24]. R. H. Chan, C.-W. Ho, M. Nikolova, Salt-and-Pepper Noise Removal by Median-Type Noise Detectors and Detail-Preserving Regularization, IEEE Transactions on image processing, Vol. 14, No. 10, October 2005.
- [25]. W. Tawbi, F. Horn, E. Horlait, and J.B. Stefani, Video Compression Standards and Quality of Service, Oxford JournalsScience & Mathematics Computer Journal Volume 36, Issue 1, pp. 43-54. 1993.

- 
- [26]. J. P. Cosmas, G. H. Petit, R. Lehnert, C. Blondia, K. Kontovassilis, Olga Casals and Thomas Theimer, A review of voice, data and video traffic models for ATM, *European Transactions on Telecommunications*, Volume 5, Issue 2, pages 139–154, March/April 1994.
- [27]. R. Schafer, Digital video coding standards and their role in video communications, *Proceedings of the IEEE*, Volume 83 , Issue 6, pp. 907-924, Jun1995.
- [28]. T. Turlitti, RTP Payload Format for H.261 Video Streams, Network Working Group, October 1996.
- [29]. M. Liou, Overview of the px64 kbit/s Video Coding Srandard, *Communications of the acm*, Volume 34, April 1991.
- [30]. T. Turlitti, The INRIA Videoconferencing System (IVS), INRIA, October 1994.
- [31]. K. L. Gong, L. A. Rowe, Parallel MPEG-1 Video Encoding, Technical Report, Parallel MPEG-1 Video Encoding, University of California at Berkeley Berkeley, CA, USA, 1999.
- [32]. L. Tang, Methods for encrypting and decrypting MPEG video data efficiently, *Proceeding MULTIMEDIA '96 Proceedings of the fourth ACM international conference on Multimedia*, pp. 219-229, 1996.
- [33]. J. Nang, J. Kim, An Effective Parallelizing Scheme of MPEG-1 Video Encoding on Ethernet-Connected Workstations, *IEEE signal processing*, 1997.
- [34]. R. R. Prasad, R. V. Chary, Apparatus and method for event tagging for multiple audio, video, and data streams, US5675511 A, US 08/576,519, 7 October 1997.
- [35]. K. Washino, B. H. Schwab, Dual compression format digital video production system, US5488433 A, US 08/396,574, 30 January 1996.
- [36]. D. Dranove, The DVD vs. Sivx standard War: Empirical Evidence of Vaporware, Northwestern University, November 2000.
- [37]. D. Dranove, N. Gandal, Surviving a Standards War: Lessons Learned from The Life and Death of DIVX, Northwestern University; Gandal: Tel Aviv University, Michigan State University, and CEPR, January 2004.
- [38]. B. G. Haskell, Digital Video: An Introduction to MPEG-2: An Introduction to MPEG-2, Digital Multimedia Standards Series, Kluwer Academic Publishers, 1996.
- [39]. B. Marina, B. Karlheinz, Q. Schuyler, F. Louis, A. Kenzo, F. Hendrik D., Martin, ISO/IEC MPEG-2 Advanced Audio Coding, *JAES Volume 45 Issue 10* pp. 789-814; October 1997.



- 
- [40]. P. A. A. Assunc, Mohammed Ghanbari, A Frequency-Domain Video Transcoder for Dynamic Bit-Rate Reduction of MPEG-2 Bit Streams, IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS FOR VIDEO TECHNOLOGY, VOL. 8, NO. 8, DECEMBER 1998.
- [41]. F. Hartung, B. Girod, Digital watermarking of MPEG-2 coded video in the bitstream domain, Proceeding International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, Vol. 4, pp. 2621-2624. April 1997.
- [42]. R. M. Entman, Reporting Environmental Policy Debate - The Real Media Biases, Journal Citation Reports, 1997.
- [43]. T. Sikora, The MPEG-4 Video Standard Verification Model, IEEE Transactions on circuits and systems for video technology, Vol. 7, No. 1, February 1997.
- [44]. W. Li, Overview of Fine Granularity Scalability in MPEG-4 Video Standard, IEEE Transactions on circuits and systems for video technology, Vol. 11, No. 3, March 2001.
- [45]. H. Kalva, The VC-1 Video Coding Standard, MultiMedia, IEEE, Volume 14, Issue 4, pp. 88-91, 2007.
- [46]. J.-B. Lee, H. Kalva, The VC-1 and H.264 Video Compression Standards for Broadband Video Services, Springer, 2008.
- [47]. M. Oshima, High-resolution optical disk for recording stereoscopic video, optical disk reproducing device, and optical disk recording device, US6574423 B1, US 09/125,885, 28 February 1997.
- [48]. S. Pfeiffer, The Ogg Encapsulation Format Version 0, Network Working Group, CSIRO, May 2003.
- [49]. J. Moffitt, Ogg Vorbis—Open, Free Audio—Set Your Media Free, Linux Journal, Volume 2001 Issue 81, Article No. 9, January 2001.
- [50]. E. R. Dougherty, Random Processes for Image and Signal Processing, New York: Wiley-IEEE Press, 1998.
- [51]. J. Beirlant, E.J. Dudewicz, L. Györfi, E. van der Meulen, Nonparametric entropy estimation: an overview, Intern. J. Math. Stat. Sci., 6(1), pp. 17–39, June 1997.
- [52]. S.R. Cloude, E. Pottier, An entropy based classification scheme for land applications of polarimetric SAR, IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, 75, pp. 68–78, 1997.
- [53]. G. K. Wallace, The JPEG still picture compression standard, IEEE Trans. on consumer electronics, 38, No 1.1992.

- [54]. J. M. Shapiro, Embedded image coding using Zerotrees of wavelet coefficients, *IEEE Trans. Signal Process.* 41, No 12, pp. 3445–3462, 1993.
- [55]. B. E. Usevitch, A Tutorial on Modern Lossy Wavelet Image Compression: Foundations of JPEG 2000, *IEEE Signal Processing Magazine*, September 2001.
- [56]. L. Malnar, B. Kosović, J. Batan, Kompresija slike pomoću EZW algoritma, ZESOI, 2007.
- [57]. W. A. Pearlman, A. Said, New fast efficient image codec based on SPIHT, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 1996.
- [58]. M. Jančić, Norme za kompresiju mirnih slika, FER, 2002.
- [59]. VCDemo, Delft University of Technology (TU-Delft) Faculty of Electrical Engineering, Mathematics, and Computer Science (EEMCS) ICT group, Delft, The Netherlands.
- [60]. R.C.Gonzales, R.E.Woods, *Digital Image Processing*. 2nd Edition, Prentice Hall, 2002.
- [61]. S. Ilic, M. Petrovic, B. Jaksic, Lj. Lazic, M. Milosevic, “Experimental analysis of picture quality after compression by different methods”, *Przeglad elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, R. 89 NR 11, 2013.
- [62]. B. Jaksic, **B. Gara**, R. Ivkovic, M. Petrovic, M. Milosevic, “Analysis brightness effect on quality pictures after compression with JPEG and SPIHT compression method”, *Matematičke i Informatičke tehnologije*, September 2013.
- [63]. Z. Wang, A.C. Bovik, L. Lu, “Why is Image Quality Assessment So Difficult?”, *Proceedings of ICASSP* May 2002.
- [64]. Z. Wang, A.C. Bovik, H.R. Sheikh, E.P. Simoncelli, “Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity” *IEEE Trans. On Image Processing*, Vol. 13, No. 4, April 2004.
- [65]. B. Bondžulić, V. Petrović, M. Antonić, “Uvod u objektivnu procenu kvaliteta slike”, YU Info konferencija, 2011.
- [66]. E.R. Dougherty, “Random Processes for Image and Signal Processing”, IEEE Press, 2000.
- [67]. J. Beirlant, E.J. Dudewicz, L. Györfi, E. Van der Meulen, “Nonparametric entropy estimation: an overview”, *Intern J. Math. Stat. Sci.*, Vol. 6, No. 1, pp. 17-39., June 1997.
- [68]. S.R. Cloude, E. Pottier, “An entropy based classification scheme for land applications of polarimetric SAR”, *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 75, pp. 68-78., 1997.

- [69]. H. Abdessamad, I. Pedro, L. Escamilla, M. A. Jose, R. R. Ramon, “Removing noise and preserving details with relaxed median filters”, *Journal of mathematical imaging and vision* 11., pp. 161–177, 1999.
- [70]. S. Bezryadin, P. Bourov, D. Ilinih, *Brightness Calculation in Digital Image Processing, Symposium on Technologies for Digital Photo Fulfillment*, pp. 10-15(6), 2007.
- [71]. S. Bezryadin, P. Bourov, *Color Coordinate System for Accurate Color Image Editing Software, The International Conference Printing Technology SPb’06 proceedings*, p. 145–148, St. Peterburg State University of Technology and Design, 2006.
- [72]. R. Ivkovic, M. Petrovic, **B. Gara**, M. Milosevic, *Dental image analysis with different edge detection operators, Journal of Communications Technology and Electronics* (2014), vol. 59 br. 11, str. 1289-1297
- [73]. Z. Wang, Alan C. Bovik, *Mean Squared Error: Love It or Leave It?*, *Signal Processing Magazine, IEEE*, Vol. 26, No. 1, January 2009, pp. 98 – 117.
- [74]. Z. Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh, *Structural Similarity Based Image Quality Assessment, Chapter 7 in Digital Video Image Quality and Perceptual Coding* (H. R. Wu, and K. R. Rao, eds.), *Marcel Dekker Series in Signal Processing and Communications*, November 2005.
- [75]. T. O. Aydın, R. Mantiuk, H. P. Seidel, *Extending Quality Metrics to Full Luminance Range Images, Human Vision and Electronic Imaging XIII*, January 2008.
- [76]. A. Loza, L. Mihaylova, N. Canagarajah, David Bull, *Structural Similarity-Based Object Tracking in Video Sequences*, 2006.
- [77]. R. Ivkovic, I. Milosevic, **B. Gara**, M. Pavlovic, D. Miljkovic, *Analysis of digital images segments through the standrd deviation and level of detail, Medjunarodni naucno - strucni simpozijum, INFOTEH-JAHORINA 18. mart - 20. mart 2015. ISBN 978-99955-763-6-3, Vol. 14, pp. 600-603.*
- [78]. R. Ivkovic, I. Milošević, **B. Gara**, S. Minic, V. Dakovic, *Algoritam za detekciju ivica slike sa postfiltrrom, XIII medunarodni naucno-strucni simpozijum INFOTEH 2014, Jahorina, Bosna i Hercegovina, 19-21 mart 2014, Vol. 13, pp. 652-656. ISBN: 978-99955-763-3-2.*
- [79]. A. Stevanović, Z. Milivojević, D. Brodić, “Performanse Gravitacionog algoritma za detekciju ivica u slici”, *Infoteh-Jahorina* vol. 12, pp. 933938, March 2013.
- [80]. V. Nalwa and T. O. Binford, “On Detecting Edges”, *IEEE Tran. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 8, No. 6, pp. 699—714, November, 1986.

- [81]. B. Jaksic, R. Ivkovic, **B. Gara**, M. Petrovic, “Analysis of different influence of compression algorithm on the image filtered Laplacian, Prewitt and Sobel operator”, International Journal of Darshan Institute on Engineering Research and Emerging Technology, vol. 2, no. 1, 2013. India, ISSN 2320-7590, Vol. 2, No.1, pp. 68-76, 2013
- [82]. R. Ivković, I. Milošević, **B. Gara**, S. Minić, D. Miljković, Rekonstrukcija slika vidljivog spektra snimljenih sa malim procentom osvetljenja, XIII međunarodni naučno-stručni simpozijum INFOTEH 2014, Jahorina, B. i Hercegovina, 19-21 mart 2014, Vol. 13, pp. 648-651, ISBN: 978-99955-763-3-2.
- [83]. Dougherty, E. R. (ed.), “Random Processes for Image and Signal Processing”, IEEE Press, 2000.
- [84]. Beirlant J, Dudewicz EJ, Györfi L, and van der Meulen E, “Nonparametric entropy estimation: an overview”, Intern. J. Math. Stat. Sci., vol. 6, no. 1, pp. 17–39, June 1997.
- [85]. Cloude SR and Pottier E, “An entropy based classification scheme for land applications of polarimetric SAR”, IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, vol. 75, pp. 68–78, 1997.
- [86]. S. Ilic, M. Petrovic, B. Jaksic, P. Spalevic, Lj. Lazic, M. Milosevic, “Experimental analysis of picture quality after compression by different methods”, Przegląd elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, R. 89 NR 11, 2013.
- [87]. R. Ivkovic, D. Miljkovic, **B. Gara**, M. Petrovic, I. Milošević, Analysis of quality of nonlinear filters by removing salt & pepper noises, YU INFO 2014, ISBN: 978-86-85525-13-1, pp. 330-333, February 2014.
- [88]. M. Petrović, B. Jakšić, I. Milošević, V. Trifunović, **B. Gara**, *Pregled DVB-T u zemljama bivše Jugoslavije*“, XII međunarodni naučno-stručni simpozijum INFOTEH 2013, Jahorina, Bosna i Hercegovina, 20-22 mart 2013, Vol. 12, pp. 354-359. ISBN 978-99955-763-1-8,
- [89]. Coding of Moving Pictures and Associated Audio for Digital Storage Media at up to About 1.5 Mbit/s—Part 2: Video, ISO/IEC 11172-2 (MPEG-1), ISO/IEC JTC 1, 1993.
- [90]. B. Jaksic, **B. Gara**, M. Petrovic, P. Spalevic, Lj. Lazic, Analysis of the Impact of Front and Back light on Image Compression with SPIHT Method during Realization of the Chroma Key Effect in Virtual TV Studio, Acta Polytechnica Hungarica, Vol.2, No.2, 2015.

- [91]. Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio Information - Part 2: Video, ITU-T Rec. H.262 and ISO/IEC 13818-2 (MPEG 2 Video), ITU-T and ISO/IEC JTC 1, Nov. 1994.
- [92]. G. Popovic, N. Arsic, B. Jaksic, **B. Gara**, M. Petrovic, Overview, Characteristics and Advantages of IP Camera Video Surveillance Systems Compared to Systems with other Kinds of Camera, International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT), Volume 2, Issue 5, September 2013, India, pp. 356-362. ISSN: 2319-5967
- [93]. B. Bross, W.-J. Han, G. J. Sullivan, J.-R. Ohm, and T. Wiegand, High Efficiency Video Coding (HEVC) Text Specification Draft 9, document JCTVC-K1003, ITU-T/ISO/IEC Joint Collaborative Team on Video Coding (JCT-VC), Oct. 2012.
- [94]. V. Mitrovic, **B. Gara**, M. Petrovic and B. Gvozdic, Performance Analysis of HEVC Standard in Relation to H.264/MPEG-4 Standard, International Scientific Conference - UNITECH 2014, Technical University Gabrovo, Bulgaria, ISSN 1313-230X, pp. II 106 – II 111, 21 – 22 Nov. 2014.
- [95]. The Advantages of H.264/AVC Intel [Online]. Available: <https://software.intel.com/en-us/videos/the-advantages-of-h264avc> , [14. Dec. 2014].
- [96]. B. Jaksic, **B. Gara**, M. Petrovic, P. Spalevic and I. Milosevic, Analysis of the Effects of Front and Back Lights in Chroma Key Effects During Implementation in Virtual TV Studio, International Journal Of Computers and Communacations - NAUN, ISSN: 2074-1294, Vol. 7, Iss. 3, pp. 90-97, 2013
- [97]. R. Ivkovic, M. Petrovic, P. Spalevic, **B. Gara**, D. Miljkovic, Uticaj linearnog osvetljenja na nivo detalja i entropiju slike, Informacione Tehnologije – XX, ISBN:978-86-85775-15-4, pp. 248-251, February 2014, Zabljak
- [98]. I. E. G. Richardson, H.264 and MPEG-4 Video Compression: Video Coding for Next-generation Multimedia. John Wiley & Sons, 2003.
- [99]. K. R. R. e P. Yip, Discrete Cosine Transform. Academic Press, 1990.
- [100]. M. K. e. H. M. A. Hallapuro, “Low complexity transform and quantization – part I: Basic implementation,” JVT document JVT-B038, Geneva, February 2002.
- [101]. D. A. Huffman, “A method for the construction of minimum redundancy codes,” Proceedings of the Institute of Radio Engineers, vol. 40, no. 9, pp. 1098–1101, September 1952.

- 
- [102]. G. Marchionini and G. Geisler, "The open video digital library," ISSN 1082-9873, D-Lib Magazine, vol. 8, no. 12, December 2002.
- [103]. Z. Prijić, Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet, Katedra za mikroelektroniku, predavanja "Elektronske komponente - Diode", 2014
- [104]. Comparison of hardware random number generators - Wikipedia, the free encyclopedia.htm
- [105]. Testing a hardware random number generator - Information Security Stack Exchange.htm
- [106]. Hardware Random Number Generator.htm
- [107]. True Random Number Generator.htm
- [108]. TrueRNG - Hardware Random Number Generator - ubld.it.htm
- [109]. L. Xuelong, T. Dacheng, G. Xinbo, L. Wen, A natural image quality evaluation metric, Signal Processing 89, pp. 548-555, 2009 .
- [110]. A. Shnayderman, A. Gusev, A. M. Eskicioglu, An SVD-Based Gray-Scale Image Quality Measure for Local and Global Assessment, IEEE Trans. on Image Proc., Vol. 15, No. 2, pp. 422-429, 2006.
- [111]. ITU-T, TUTORIAL: Objective perceptual assessment of video quality - Full reference television, 2004.
- [112]. P. Marziliano, F. Dufaux, S. Winkler, T. Ebrahimi, A To-Reference Perceptual Blur Metric, IEEE Int. Conf. Image Proc., 2002.
- [113]. Z. Wang, H.R. Sheikh, A.C. Bovik, To-reference perceptual quality assessment of JPEG compressed images, IEEE Int. Conf. Image Proc., 2002.
- [114]. I.P. Gunawan, M. Ghanbari, An efficient reduced- reference video quality metric, Picture Coding Symposium – PCS, Portugal, November 2007.
- [115]. G.H. Chen, C.L. Yang, S.L. Xie, Gradient- based Structural Similarity for Image Quality Assessment, IEEE Int. Conf. Image Proc., 2006.
- [116]. C. Li, A.R. Allen, An Image Quality Metric based on Corner, Edge and Symmetry Maps, 19th British Machine Vision Conference, September 2008.
- [117]. X. Zhao, M.G. Reyes, T.N. Pappas, D.L. Neuhoff, Structural texture similarity metrics for retrieval applications, IEEE Int. Conf. Image Proc., 2008

## Биографски подаци о кандидату

Борис Гара рођен је 30.03.1964 године у Београду. Основну школу завршио је у Београду. Средњу школу, француски лицеј, завршио је у Аустрији у граду Бечу. Дипломирао је дана 04.09.2002 године, на Факултету техничких наука у Косовској Митровици, на смеру електроника и телекомуникације.

Кандидат се током своје професионалне каријере интензивно бавио израдом рачунарских и микроконтролерских софтверских апликација, у различитим програмским језицима (као што су: Eclipse, Pascal, Basic, и Asembler), које се односе на пренос података и њихову накнадну анализу и обраду. Такође се бавио пројектовањем и израдом већег броја самосталних уређаја и рачунарских интерфејса различите намене. Као пример може да се наведе систем за заштићен пренос дигиталних података преко система радио везе и система мобилне телефоније, затим компјутеризација телепринтерског система за пренос података, такође и систем за даљинску контролу и управљање емисионим локацијама. Сви горе наведени системи се састоје од низа хардверских и софтверских решења које је кандидат самостално израдио.

Аутор је до сада из ове области публиковао у врхунским светским часописима два рада у часописима ранга M23, три рада у часописима M24 и осам радова на међународним конференцијама

1. Ratko Ivkovic, Mile Petrovic, **Boris Gara**, Mirko Milosevic: *Dental image analysis with different edge detection operators*, Journal of Communications Technology and Electronics (2014), vol. 59 br. 11, str. 1289-1297 (**IF=0,359** за 2013) (**M23**)  
<http://link.springer.com/article/10.1134%2FS1064226914110072#page-1>

2. Branimir Jaksic, **Boris Gara**, Mile Petrovic, Petar Spalevic, Ljubomir Lazic: *Analysis of the Impact of Front and Back light on Image Compression with SPIHT Method during Realization of the Chroma Key Effect in Virtual TV Studio*, Acta Polytechnica Hungarica, The paper is accepted for publication. (**IF = 0,471** за 2013) (**M23**),

[http://uni-obuda.hu/journal/Jaksic\\_Gara\\_Petrovic\\_Spalevic\\_Lazic\\_58.pdf](http://uni-obuda.hu/journal/Jaksic_Gara_Petrovic_Spalevic_Lazic_58.pdf)

3. Branimir S. Jaksic, **Boris Gara**, Mile B. Petrovic, Petar Lj. Spalevic and Ivana M. Milosevic: *Analysis of the Effects of Front and Back Lights in Chroma Key Effects During Implementation in Virtual TV Studio*, International Journal Of Computers and Communacations - NAUN, ISSN: 2074-1294, Vol. 7, Iss. 3, pp. 90-97, 2013., <http://www.naun.org/main/UPress/cc/c052012-099.pdf> (**M24**)

4. Gradimirka Popovic, Nebojsa Arsic, Branimir Jaksic, **Boris Gara**, Mile Petrovic: *Overview, Characteristics and Advantages of IP Camera Video Surveillance Systems Compared to Systems with other Kinds of Camera*, International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT), Volume 2, Issue 5, September 2013, India, pp. 356-362. ISSN: 2319-5967  
[http://www.ijesit.com/Volume%202/Issue%205/IJESIT201305\\_48.pdf](http://www.ijesit.com/Volume%202/Issue%205/IJESIT201305_48.pdf) (**M24**)



5. Branimir Jaksic, Ratko Ivkovic, **Boris Gara**, Mile Petrovic, Petar Spalevic: *Analysis of different influence of compression algorithm on the image filtered Laplacian, Prewitt and Sobel operator*, International Journal of Darshan Institute on Engineering Research and Emerging Technology, India, ISSN 2320-7590, Vol. 2, No.1, pp. 68-76, 2013. (M24)
6. Branimir Jaksic, **Boris Gara**, Ratko Ivkovic, Mile Petrovic, Mirko Milosevic: *Analysis brightness effect on quality pictures after compression with JPEG and SPIHT compression method*, Matematicke i Informaticke tehnologije, pp.305-310, September 2013. (M33)
7. Ratko Ivkovic, Dragisa Miljkovic, **Boris Gara**, Mile Petrovic, Ivana Milošević: *Analysis of quality of nonlinear filters by removing salt & pepper noises*, YU INFO 2014, ISBN: 978-86-85525-13-1, pp. 330-333, February 2014. (M63)  
[https://www.academia.edu/5498039/Analisis\\_of\\_brightness\\_effect\\_on\\_the\\_quality\\_of\\_pictures\\_after\\_compression\\_with\\_jpeg\\_and\\_spiht\\_compression\\_method](https://www.academia.edu/5498039/Analisis_of_brightness_effect_on_the_quality_of_pictures_after_compression_with_jpeg_and_spiht_compression_method)
8. Ratko Ivkovic, Mile Petrovic, Petar Spalevic, **Boris Gara**, Dragiša Miljkovic: *Uticaj linearnog osvetljenja na nivo detalja i entropiju slike*, Informacione Tehnologije – XX, ISBN:978-86-85775-15-4, pp. 248-251, February 2014. Zabljak (M63) <http://eprints.ugd.edu.mk/9841/7/%5BIT2014%5D%20PV%20-%20Golubovski.pdf>
9. Ratko Ivkovic, Ivana Milošević, **Boris Gara**, Siniša Minic, Vladimir Dakovic: *Algoritam za detekciju ivica slike sa postfiltrom*, XIII međunarodni naučno-stručni simpozijum INFOTEH 2014, Jahorina, Bosna i Hercegovina, 19-21 mart 2014, Vol. 13, pp. 652-656. ISBN: 978-99955-763-3-2. (M33)  
<http://infoteh.etf.unssa.rs.ba/zbornik/2014/radovi/RSS-2/RSS-2-2.pdf>
10. Ratko Ivković, Ivana Milošević, **Boris Gara**, Siniša Minić, Dragiša Miljković: *Rekonstrukcija slika vidljivog spektra snimljenih sa malim procentom osvetljenja*, XIII međunarodni naučno-stručni simpozijum INFOTEH 2014, Jahorina, Bosna i Hercegovina, 19-21 mart 2014, Vol. 13, pp. 648-651. ISBN: 978-99955-763-3-2. (M33)  
<http://infoteh.etf.unssa.rs.ba/zbornik/2014/radovi/RSS-2/RSS-2-1.pdf>
11. V. Mitrovic, **B. Gara**, M. Petrovic, B. Gvozdic: *Performance Analysis of HEVC Standard in Relation to H.264/MPEG-4 Standard*, International Scientific Conference “UNITECH 2014”, 21 – 22 November 2014, GABROVO, Elektronika ir elektrotehnika, ISSN 1392-1215, pp. II 106 – II 111, (M33)  
<http://dx.doi.org/10.5755/j01.eee>
12. Ratko Ivkovic, Ivana Milosevic, **Boris Gara**, Miroslav Pavlovic, Dragisa Miljkovic: *Analysis of digital images segments through the standrd deviation and level of detail*, Medjunarodni naučno - stručni simpozijum, INFOTEH-JAHORINA 18. mart - 20. mart 2015. ISBN 978-99955-763-6-3, Vol. 14, pp. 600-603 (M33), <http://infoteh.rs.ba/zbornik/2015/radovi/RSS-3/RSS-3-8.pdf>
13. Mile Petrović, Branimir Jakšić, Ivana Milošević, Vladimir Trifunović, **Boris Gara**: *Pregled DVB-T u zemljama bivše Jugoslavije*, XII međunarodni naučno-stručni simpozijum INFOTEH 2013, Jahorina, Bosna i Hercegovina, 20-22 mart 2013, Vol. 12, pp. 354-359. ISBN 978-99955-763-1-8, (M33)  
<http://www.infoteh.rs.ba/zbornik/2013/radovi/KST-1/KST-1-9.pdf>



Прилог 1.



Алфа БК Универзитет

Изјава о ауторству

1. Потписани **Борис Гара**

2. Број индекса **1/2013**

Изјављујем :

да је докторска дисертација под насловом :

**ПРИЛОГ АНАЛИЗИ И ЗАШТИТИ СИСТЕМА ЗА ДИГИТАЛНО**

**ПРОЦЕСИРАЊЕ СЛИКЕ**

- Резултат сопственог истраживачког рада;
- Да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- Да су резултати коректно наведени и
- Да нисам кршио/ла ауторска права и користио интелектуалну својину других лица

У Београду, 09.05.2017.

Потпис докторанда

.....*Борис Гара*.....

Прилог 2.



Алфа БК Универзитет

**ИЗЈАВА О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ  
ДОКТОРСКОГ РАДА**

Име и презиме **Борис Гара**

Број индекса: **1/2013**

Студијски програм : **Информационо-комуникациона технологија**

Наслов рада : **ПРИЛОГ АНАЛИЗИ И ЗАШТИТИ СИСТЕМА ЗА  
ДИГИТАЛНО ПРОЦЕСИРАЊЕ СЛИКЕ**

Ментор **проф. др Зоран Миливојевић**

Потписани **Борис Гара**

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла за објављивање у репозиторијуму на сајту Алфа БК Универзитета.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање научног звања доктора наука као што су име и презиме, година и место рођења, подаци о стеченим стручним и академским звањима, датум одбране рада и други подаци у функцији транспарентности поступка стицања научног звања.

Ови лични подаци могу се објавити у публикацијама Алфа БК Универзитета и доставити Министарству просвете, науке и технолошког развоја, као и бити доступни сагласно Закону о слободном приступу и информацијама од јавног значаја.

У Београду, 09.05.2017.

Потпис докторанда

Борис Гара

## Изјава о коришћењу

Овлашћујем Алфа Бк Универзитет да у Дигитални репозиторијум Универзитета унесе моју докторску дисертацију под насловом:

### ПРИЛОГ АНАЛИЗИ И ЗАШТИТИ СИСТЕМА ЗА ДИГИТАЛНО ПРОЦЕСИРАЊЕ СЛИКА

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.


Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета, достављену репозиторијуму Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.

Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

Потпис аутора



У Београду, 09.05.2017.

1. **Ауторство.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. **Ауторство – некомерцијално.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

4. **Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

5. **Ауторство – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

6. **Ауторство – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.