

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS IR GAMTOS MOKSLŲ FAKULTETAS
ELEKTRONIKOS KATEDRA

Kristina Vyšniauskaitė
VAIZDŲ DIDINIMO METODŲ TYRIMAS
Magistro darbas

Vadovas:

doc. dr. N. Ramanauskas

ŠIAULIAI, 2014

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS IR GAMTOS MOKSLŲ FAKULTETAS
ELEKTRONIKOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas
prof. G. Daunys

VAIZDŲ DIDINIMO METODŲ TYRIMAS
Signalų technologijos magistro darbas

	Vadovas:	
		doc. dr. N. Ramanauskas
	2014-06	
Recenzentas:	Atliko:	
doc. dr. D. Dervinis		RM-12 grupės studentė Kristina Vyšniauskaitė
2014-06	2014-06	

ŠIAULIAI, 2014

K. Vyšniauskaitė Investigation of Image Magnification Methods: Master thesis of Signal technology / research advisor Assoc. Prof. Dr. N. Ramanauskas; Šiauliai University, Faculty of Technology and Natural Sciences, Department of Electronics. – Šiauliai, 2014. – 47 p.

SUMMARY

Image magnification is a process when the image is magnified visually and not physically. Image magnification is applied in many different areas. The images are magnified to make a diagnosis in medicine, to identify people or objects in observation systems or police work, etc.

Images are magnified using different methods. These methods can be categorized to adaptive and non-adaptive. Non-adaptive methods magnify all pixels using the same method while adaptive methods choose the best method for the part of the image.

Three classic methods are reviewed in this work. These methods are nearest neighbour interpolation or pixel replication, bilinear interpolation and bicubic interpolation. Proposals of new methods are also reviewed in this work. Other investigations mostly focus on synthetic or real images and there are only a few investigations that investigate both image types. Most investigations focus on real images.

After reviewing other investigations, methodology of investigation was created which consists of four stages:

1. creation of original images (3 synthetic and 4 real images);
2. reduction of original image;
3. magnification of reduced image;
4. statistical and visual evaluation.

Images are reduced and magnified using five methods: nearest neighbour interpolation, bilinear interpolation, bicubic interpolation, Lanczos-2 and Lanczos-3. Image reduction and magnification are both performed to make it possible to compare original image with magnified image. Methods are evaluated by calculating mean square error, mean absolute error, correlation coefficient, peak signal-to-noise ratio and average of untrue pixels. Also methods of image magnification are aligned by performing two-sample Student's t-test.

This investigation shows that magnification methods can be aligned independent of reduction methods. Best result are seen when image is reduced using Lanczos-3 method though. It is also deduced that the choice of best magnification method does not depend on how many times the image was magnified or what is the type of image, the results are identical for synthetic and real images.

Bicubic interpolation is the most commonly used method for commercial purposes. But the results of this work show that the best magnification method for both types and different magnification scales is Lanczos-3. After analyzing the results, it is suggested to use Lanczos-3 method for image magnification which should be followed by some kind of deblurring operation.

TURINYS

LENTELĖS.....	5
PAVEIKSLAI.....	6
SANTRUMPOS IR ŽYMĖJIMAI.....	8
ĮVADAS	9
1. LITERATŪROS APŽVALGA.....	11
1.1 Vaizdų didinimo metodai.....	11
1.2 Atliktų tyrimų apžvalga	14
1.3 Išvados	20
2. TYRIMO METODIKA	21
2.1 Tyrimo metodikos realizavimas.....	21
3. TYRIMO REZULTATAI	25
3.1 Sintetinių vaizdų tyrimo rezultatai.....	25
3.2 Realių vaizdų tyrimo rezultatai.....	32
IŠVADOS IR SIŪLYMAI	45
LITERATŪRA	46
PRIEDAI.....	48

LENTELĖS

1.1 lentelė [2] pasiūlyto metodo palyginimas su kitais metodais	18
1.2 lentelė [12] pasiūlytų algoritmų palyginimas, didinant binarinius vaizdus	20
1.3 lentelė [12] pasiūlytų algoritmų palyginimas, didinant pustoniu vaizdus	20
3.1 lentelė Metodų kombinacijų, didinant horizontalią tiesę, koreliacijos koeficientai.....	26
3.2 lentelė Metodų kombinacijų, didinant apskritimą, koreliacijos koeficientai	26
3.3 lentelė Porinio Stjudento testo rezultatai, figūra – apskritimas, didinimas – 4 k.....	28
3.4 lentelė Metodų kombinacijų, didinant pasvirusią tiesę, koreliacijos koeficientai	29
3.5 lentelė Porinio Stjudento testo rezultatai, figūra – pasvirusi tiesė, didinimas – 4 k.	30
3.6 lentelė Metodų kombinacijų, didinant „Peppers“ ir „Lena“ vaizdų kraštines 4 k., koreliacijos koeficientai.....	32
3.7 lentelė Porinio Stjudento testo rezultatai, vaizdas – „Peppers“, didinimas – 4 k.....	34
3.8 lentelė Metodų kombinacijų, didinant „Barbara“ vaizdo kraštines 4 k., koreliacijos koeficientai	35
3.9 lentelė Porinio Stjudento testo rezultatai, vaizdas – „Barbara“, didinimas – 4 k.....	36
3.10 lentelė Metodų kombinacijų, didinant „Baboon“ vaizdo kraštines 4 k., koreliacijos koeficientai	38
3.11 lentelė Porinio Stjudento testo rezultatai, vaizdas – „Baboon“, didinimas – 4 k.....	40
3.12 lentelė Metodų kombinacijų, didinant „Baboon“ vaizdo kraštines 10 k. ir 3 k., koreliacijos koeficientai.....	43
3.13 lentelė Porinio Stjudento testo rezultatai, vaizdas – „Baboon“, didinimas – 10 k.....	43
3.14 lentelė Porinio Stjudento testo rezultatai, vaizdas – „Baboon“, didinimas – 3 k.....	44

PAVEIKSLAI

1.1 pav. (a) Pradinis vaizdas, (b) Padidintas vaizdas	11
1.2 pav. Pikselio kaimynai	12
1.3 pav. Bilinijinė interpoliacija [6]	12
1.4 pav. (a) Pradinis vaizdas, (b) Menamas tinklelis, (c) Dydžio keitimo procesas, (d) Naujas vaizdas	14
1.5 pav. (a), (b) ir (c) Pikselių, kuriuos reikia atkurti, išsidėstymas	17
2.1 pav. Bazinės figūros	22
2.2 pav. Realūs vaizdai.....	22
3.1 pav. Horizontali tiesė, didinimas – 4 k., (a) Originalus vaizdas, (b) NN kombinacijos vaizdas, (c) L3L3 kombinacijos vaizdas	25
3.2 pav. Apskritimas, didinimas – 4 k., (a) Originalus vaizdas, (b) NN kombinacijos vaizdas, (c) L3L3 kombinacijos vaizdas	27
3.3 pav. 4 kartus didintų vaizdo (apskritimo) kraštinių koreliacijos koeficientai.....	28
3.4 pav. Pasvirusi tiesė, didinimas – 4 k., (a) Originalus vaizdas, (b) NN kombinacijos vaizdas, (c) L3L3 kombinacijos vaizdas	29
3.5 pav. 4 kartus didintų vaizdo (pasvirusios tiesės) kraštinių koreliacijos koeficientai	30
3.6 pav. Pasvirusios tiesės (didinimas – 4 k.) BcBc kombinacijos neatitinkančių pikselių histograma	31
3.7 pav. 45° kampu pasvirusios tiesės (didinimas – 4 k.) neatitinkančių pikselių vidurkiai ...	32
3.8 pav. „Peppers“, didinimas – 4 k., (a) Originalus vaizdas, (b) NN kombinacijos vaizdas, (c) L3L3 kombinacijos vaizdas.....	33
3.9 pav. „Lena“, didinimas – 4 k., (a) Originalus vaizdas, (b) NN kombinacijos vaizdas, (c) L3L3 kombinacijos vaizdas.....	33
3.10 pav. Vaizdo „Lena“ (didinimas – 4 k.) neatitinkančių pikselių vidurkiai.....	35
3.11 pav. „Barbara“, didinimas – 4 k. (a) Originalus vaizdas, (b) NN kombinacijos vaizdas, (c) L3L3 kombinacijos vaizdas	36
3.12 pav. Vaizdo „Barbara“ (didinimas – 4 k.) neatitinkančių pikselių parametrai	37
3.13 pav. „Baboon“, didinimas – 4 k., (a) Originalus vaizdas, (b) NN kombinacijos vaizdas, (c) L3L3 kombinacijos vaizdas	39
3.14 pav. Vaizdo „Baboon“ (didinimas – 4 k.) neatitinkančių pikselių parametrai.....	40
3.15 pav. „Baboon“, didinimas – 10 k., (a) Originalus vaizdas, (b) NN kombinacijos vaizdas, (c) L3L3 kombinacijos vaizdas	41

3.16 pav. „Baboon“, didinimas – 3 k., (a) Originalus vaizdas, (b) NN kombinacijos vaizdas, (c) L3L3 kombinacijos vaizdas	42
---	----

SANTRUMPOS IR ŽYMĖJIMAI

MAE – vidutinė absoliutinė paklaida (angl. „mean absolute error“)

MSE – vidutinė kvadratinė paklaidą (angl. „mean square error“)

CC – koreliacijos koeficientas (angl. „correlation coefficient“)

PSNR – maksimalus signalo ir triukšmo santykis (angl. („peak signal-to-noise ratio“)

N – artimiausio kaimyno interpoliacija (angl. „nearest neighbour interpolation“)

BI – bilinijinė interpoliacija (angl. „bilinear interpolation“)

Bc – bikubinė interpoliacija (angl. „bicubic interpolation“)

L2 – Lanczos-2 interpoliacija

L3 – Lanczos-3 interpoliacija

ĮVADAS

Skaitmeninis vaizdas – tai skaitinis vaizdo aprašymas, talpinamas dvimačiame arba trimačiame masyve (faile). Skaitinės reikšmės gali būti 0 ir 1 (binarinės) arba 0–255. Kai reikšmės yra binarinės, skaitmeninis vaizdas yra juodai baltas, o kitu atveju jis gali turėti pilkų pustonų, kai failas yra dvimatis, arba būti spalvotas, kai failas yra trimatis.

Turint skaitmeninius vaizdus, dažnai yra poreikis matyti padidintą vaizdo versiją; tai labai panašu į žiūrėjimą per mikroskopą ar didinamąjį stiklą. Vaizdų didinimas – tai procesas, kurio metu vaizdas yra padidinamas vizualiai. Vaizdų didinimas yra taikomas įvairiose srityse: medicinoje nuotraukos padidinamos, kad būtų matomi pakitimai ir būtų galima nustatyti diagnozę; stebėjimo sistemose ir policijos darbe vaizdai yra didinami, norint identifikuoti žmones ar daiktus; dažniausias vaizdų didinimo pritaikymas – vaizdų rodymas projektoriuose, talpinimas kompiuterių darbalaukiuose.

Vaizdų didinimas atliekamas taikant įvairius metodus. Vaizdų didinimo metodus galima suskirstyti į neprisitaikančius ir prisitaikančius. Naudojant neprisitaikančius metodus, visi pikseliai yra didinami vienodai, neatsižvelgiant į vaizdo savybes. O prisitaikančių vaizdo didinimo metodų veikimas pagrįstas tinkamiausio metodo vaizdo dalies didinimui parinkimu. Metodas parenkamas atsižvelgiant į vaizdo savybes, pavyzdžiui, briaunas.

Darbe apžvelgiami trys klasikiniai vaizdų didinimo metodai: artimiausio kaimyno interpoliacija, arba pikselių kopijavimas, bilinijinė interpoliacija ir bikubinė interpoliacija. Paprasčiausias metodas yra artimiausio kaimyno interpoliacija, bilinijinė interpoliacija yra sudėtingesnis metodas, o bikubinės interpoliacijos metodas yra sudėtingiausias iš šių trijų metodų.

Darbe taip pat apžvelgiami kitų autorių darbai, kuriuose siūlomi nauji vaizdų didinimo metodai, bei pasiūlyti metodai lyginami su žinomais metodais. Didžioji dalis apžvelgtų kitų autorių darbų yra atliekami išskirtinai sintetiniams arba realiems vaizdams. Be to, pastebėta, kad labai nedaug tyrimų atlikta sintetiniams vaizdams. Dažniausiai metodų palyginimui kiti autoriai skaičiuoja vidutinę kvadratinę paklaidą bei maksimalų signalo ir triukšmo santykį.

Darbo tikslas – eksperimentiškai palyginti vaizdų didinimo metodų efektyvumą, didinant sintetinius ir realius vaizdus.

Uždaviniai:

1. apžvelgti vaizdų didinimo metodus ir atliktus tyrimus;
2. suformuluoti ir aprašyti tyrimų metodiką;
3. atlikti tyrimus, naudojant pasirinktus metodus;
4. išanalizuoti tyrimų metu gautus rezultatus.

Darbą sudaro keturios dalys. Pirmoji – literatūros apžvalga, joje apžvelgiami vaizdų didinimo metodai ir kitų autorių atlikti tyrimai. Antrojoje – tyrimo metodika – aprašoma taikoma tyrimo metodika: pasirinkti metodai ir vaizdai, skaičiuojami koeficientai. Trečiojoje – tyrimo rezultatai – aprašomi sintetinių ir realių vaizdų didinimo tyrimo rezultatai, kiekvieno vaizdo atveju didinimo metodai yra išrikiuojami pagal tinkamumą. Ketvirtojoje dalyje – išvados ir siūlymai – pateikiami gauti rezultatai ir padarytos išvados bei pasiūlymai, koks metodas yra tinkamiausias vaizdų didinimui bei kokius tyrimus dar būtų galima atlikti.

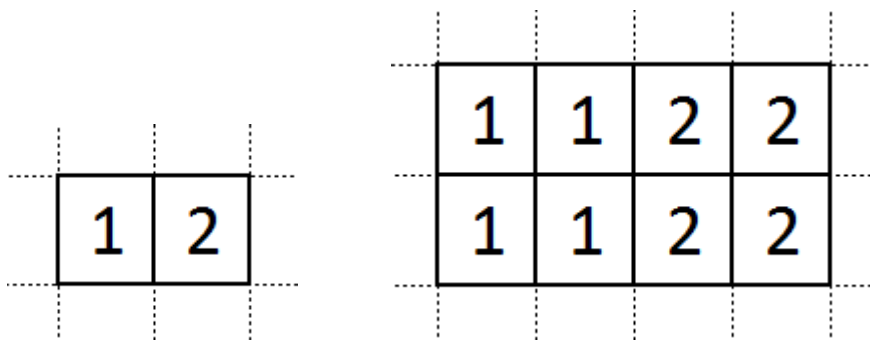
Magistro darbo tema skaitytas pranešimas Šiaulių universiteto Technologijos ir gamtos mokslų fakulteto organizuotoje 9-ojoje konferencijoje „Studentų moksliniai darbai“. Taip pat pateiktas mokslinis straipsnis konferencijos leidiniui.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

Vaizdų didinimą paprasčiausia įsivaizduoti, kaip tinklelio, turinčio tiek pikselių, iki kiek norima padidinti vaizdą, uždėjimą ant originalaus vaizdo. Šio tinklelio vieno langelio dydis bus mažesnis už vieną pikselį, todėl naujam pikseliui priskiriamas vienas pagal algoritmą aprašytas (artimiausias, vidutinis ir pan.) originalaus vaizdo pikselis. Tuomet šis tinklelis padidinamas, taip gaunamas padidintas vaizdas.

1.1 Vaizdų didinimo metodai

Pagrindiniai vaizdų didinimo metodai yra trys: pikselių kopijavimas, arba artimiausio kaimyno interpoliacija, bilinijinė interpoliacija ir bikubinė interpoliacija. Paprasčiausias vaizdų didinimo metodas yra **pikselių kopijavimas** (angl. „pixel replication“) arba **artimiausio kaimyno interpoliacija** (angl. „nearest neighbour interpolation“). [1, 2] Pikselių kopijavimo metodą galima naudoti, jei norima padidinti vaizdą natūraliuoju skaičiumi (pavyzdžiui, 2, 10 ar 50). Atliekant pikselių kopijavimą, pridedamos papildomos, besikartojančios eilutės, taip padidinant vaizdą vertikaliai, ir papildomi, besikartojantys stulpeliai, taip padidinant vaizdą horizontaliai. Nauji pikseliai yra jau buvusių pikselių kopijos, taigi galima sakyti, jog pikseliai yra padidinami. Pradinis vaizdas, pavaizduotas 1.1 pav. (a), sudarytas iš dviejų pikselių. Du kartus padidintą vaizdą sudaro 8 pikseliai, jis pavaizduotas 1.1 pav. (b).

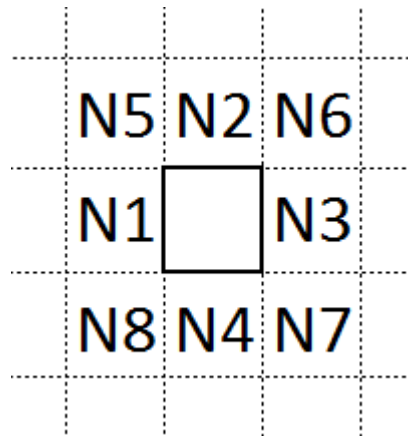


1.1 pav. (a) Pradinis vaizdas, (b) Padidintas vaizdas

Šio metodo privalumas: pradiniame vaizde buvę pikseliai išlieka, o nauji pikseliai yra pradinių pikselių kopijos. Tačiau tokiu būdu padidinti vaizdai turi netolydumo (angl. „aliasing“) problemą: kai vaizdai didinami pakankamai daug kartų ir pikseliai tampa matomi, gaunamos nelygios, laiptuotos briaunos (angl. „edge“).

Sudėtingesnis vaizdų didinimo metodas yra **bilinijinė interpoliacija** (angl. „bilinear interpolation“). [1, 2] 1.2 pav. pavaizduoti pikselio kaimynai. Naudojami du pikselio kaimynų apibrėžimai [3]:

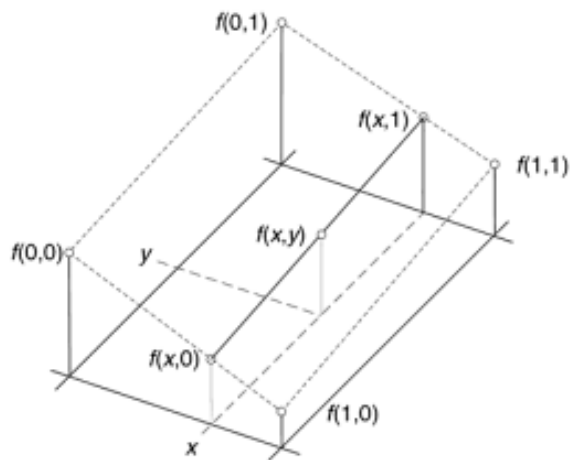
- keturių kaimynų (N_4), kuriuos sudaro horizontalūs ir vertikalūs kaimynai N1–N4;
- aštuonių kaimynų (N_8), kuriuos sudaro N_4 kaimynai ir gretimi, įstrižainėse esantys kaimynai N5–N8.



1.2 pav. Pikselio kaimynai

Įstrižainėse esantys kaimynai žymimi N_D .

Interpoliacija – tai reikšmių suradimas tam tikruose taškuose, žinant reikšmes kituose taškuose. [4] Linijinė interpoliacija vykdoma vienoje dimensijoje (tiesėje), taip randama vertė, esanti tarp dviejų žinomų verčių. Jei didinimo koeficientas yra 2, tarp dviejų žinomų pikselių yra tik vienas nežinomas pikselis, o jo vertė – pusės pirmojo žinomo ir pusės antrojo žinomo pikselių suma. Jei didinimo koeficientas yra 10, tai pirmojo nežinomo pikselio vertė yra $9/10$ pirmojo žinomo ir $1/10$ antrojo žinomo pikselių suma. [5] Bilinijinė interpoliacija atliekama dviem dimensijoms ir paprastai susideda iš trijų linijinių interpoliacijų. Bilinijinė interpoliacija pirmiausia atliekama viena kryptimi (pavyzdžiui, horizontaliai), taip sukuriamos laikinos vertės, kurios 1.3 pav. pavaizduotos kaip $f(x,0)$ ir $f(x,1)$, o tuomet atliekama interpoliacija tarp laikinų verčių. [6]



1.3 pav. Bilinijinė interpoliacija [6]

Naudojant bilinijinės interpoliacijos metodą naujo pikselio vertė apskaičiuojama iš keturių artimiausių kaimynų, esančių įstrižainėse, – N_D – verčių svorinio vidurkio. Svoriai priklauso nuo naujo pikselio centro atstumo iki kaimyninio pikselio centro: kuo arčiau yra pikselio centras, tuo didesnis svoris. Jei naujas pikselis yra keturių kaimynų viduryje, jo vertė yra kaimynų verčių vidurkis.

Bilinijinė interpoliacija aproksimuoja vaizdą taip, kad keturi žinomi pikseliai priklausytų hiperboliniam paraboloidui. Hiperbolinio paraboloido paviršius aprašomas lygtimi [6]:

$$f(x, y) = [f(1,0) - f(0,0)]x + [f(0,1) - f(0,0)]y + [f(1,1) + f(0,0) - f(0,1) - f(1,0)]xy + f(0,0). \quad (1.1)$$

Bilinijinės interpoliacijos metodo privalumas: dėl vidurkinimo atsiranda glodinimas (angl. „anti-aliasing“), taigi briaunos yra lygesnės. [2] Kadangi skaičiuojamas keturių kaimynų vidurkis, papildintame vaizde gali būti tokių verčių, kurių nėra pradiniam vaizde, tačiau vertės nebus mažesnės už mažiausias ar didesnės už didžiausias pradinio vaizdo pikselių vertes.

Naudojant **bikubinę interpoliaciją** (angl. „bicubic interpolation“) briaunos būna glotnesnės nei bilinijinės interpoliacijos atveju. [2] Bikubinė interpoliacija veikia panašiai kaip bilinijinė, tačiau nežinomų pikselių vertės randamos naudojant ne tiesinę, o kubinę funkciją. Interpoliuojamas paviršius aprašomas formule:

$$p(x, y) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 a_{ij} x^i y^j. \quad (1.2)$$

16 koeficientų a_{ij} gaunami išsprendus 16 lygčių. Bikubinės interpoliacijos atveju naudojama 16 artimiausių kaimynų. Kadangi atstumas iki kiekvieno kaimyno yra skirtingas, svoriai taip pat yra skirtingi. Naujo pikselio vertė apskaičiuojama iš 16 artimiausių kaimynų verčių svorinio vidurkio.

Bikubinės interpoliacijos metodo privalumas: kontūrai yra ryškesni nei bilinijinės interpoliacijos atveju. Tačiau kadangi kontūrai yra ryškesni, išryškėja ir laiptuotos briaunos.

Dėl savo privalumų bikubinė interpoliacija naudojama vaizdų redagavimo programinėje įrangoje (pavyzdžiui, „Adobe Photoshop“), spausdintuvų tvarkyklėse bei skaitmeniniuose fotoaparatuose. [2]

Kadangi artimiausio kaimyno interpoliacija yra paprasčiausia, skaičiavimai užtrunka trumpiausiai, tačiau kokybė yra prasta. Vaizdo postūmis gali siekti pusę pikselio, todėl matomos laiptuotos briaunos. Bilinijinė interpoliacija yra šiek tiek sudėtingesnė, todėl skaičiavimai užtrunka 3–4 kartus ilgiau nei artimiausio kaimyno interpoliacijos atveju. Panaudojus bilinijinę interpoliaciją vaizdas gaunamas glotnesnis nei artimiausio kaimyno interpoliacijos metu, tačiau gaunami neryškūs kontūrai. Bikubinės interpoliacijos metu atliekami sudėtingi skaičiavimai, šio metodo skaičiavimai užtrunka apie 10 kartų ilgiau nei artimiausio kaimyno interpoliacijos. [7]

1.2 Atliktų tyrimų apžvalga

Vaizdų didinimo algoritmus galima skirstyti į dvi grupes: neprisitaikančius ir prisitaikančius. Neprisitaikantys algoritmai visus pikselius didina vienodai, t. y. nėra atsižvelgiama į vaizdo savybes.

H. B. Kekre, T. K. Sarode, S. D. Thepade [8] pasiūlė tinkleliu pagrįstą vaizdų didinimo/mažinimo metodą. Šis metodas tinka spalvotiems ir pustomiųjų vaizdams. Pasiūlytas metodas susideda iš 6 etapų:

1. nuskaitomas pradinis vaizdas;
2. pasirenkamas naujas vaizdo dydis;
3. apskaičiuojami didinimo arba mažinimo koeficientai x ir y kryptimis:

$$x_kryptimi = nauja_x / sena_x; \quad (1.3)$$

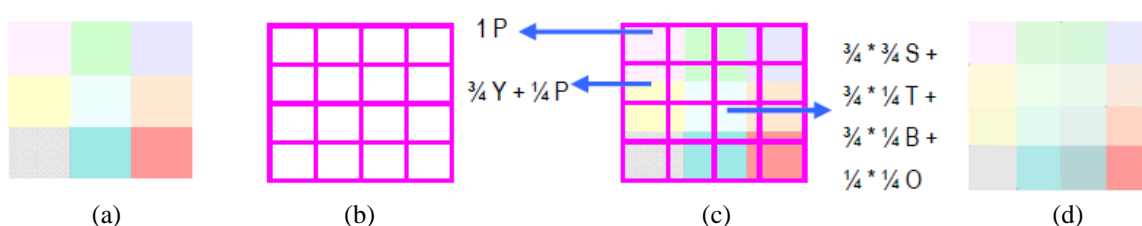
$$y_kryptimi = nauja_y / sena_y; \quad (1.4)$$

čia $nauja_x$ ir $nauja_y$ – nauja vaizdo skiriamoji geba x ir y kryptimi,

$sena_x$ ir $sena_y$ – sena vaizdo skiriamoji geba x ir y kryptimi;

4. sukuriamas naujas tinklelis pagal naują vaizdo dydį;
5. apskaičiuojama kiekvieno taško, atitinkančio artimiausią kaimyną pradiname vaizde, vieta menamame tinklelyje;
6. kiekvienam elementui atliekama interpoliacija, naudojant įstrižainėse esančių kaimynų intensyvumus.

Kiekvieno naujo pikselio intensyvumas apskaičiuojamas iš menamą pikselį sudarančių intensyvumų svorinio vidurkio. 1.4 pav. (a) pavaizduotas pradinis vaizdas, kurio dydis – 3×3 .



1.4 pav. (a) Pradinis vaizdas, (b) Menamas tinklelis, (c) Dydžio keitimo procesas, (d) Naujas vaizdas

Kiekvienas kvadratas vaizduoja kitokio intensyvumo pikselį. 1.4 pav. (b) pavaizduotas menamas tinklelis, kurio dydis – 4×4 . Šis tinklelis uždedamas ant pradinio vaizdo, tada apskaičiuojamos naujos pikselių intensyvumo vertės. Dydžio keitimo procesas pavaizduotas 1.4 pav. (c). Naujas vaizdas, kurio dydis – 4×4 , pavaizduotas 1.4 pav. (d).

Šio metodo palyginimui su linijine interpoliacija ir B-Spline interpoliacija apskaičiuotos vidutinės kvadratinės paklaidos ir maksimalaus signalo ir triukšmo santykio (angl. „Peak Signal-to-

Noise Ratio“, PSNR) vertės. Nustatyta, kad taikant pasiūlytą metodą naujų vaizdų kokybė gaunama geresnė nei taikant linijinę ar B-Spline interpoliaciją.

A. Ledda, H. Q. Luong, V. De Witte, W. Philips, E. E. Kerre [9] pasiūlė interpoliacijos metodą, pagrįstą matematine morfologija, kuris tinka binariniams vaizdams. Matematinė morfologija – tai aibių teorijos metodai, leidžiantys atlikti vaizdų apdorojimą. Binarinė matematinė morfologija yra pagrįsta dviem pagrindinėmis operacijomis: išplėtimu ir erozija. Šios operacijos vykdomos naudojant struktūrizavimo elementą – mažą langą, kuris gali būti bet kokio dydžio ir bet kokios formos ir kuris skenuoja vaizdą bei keičia pikselių vertes. Pasiūlytame algoritme naudojama hit-miss transformacija, kuri leidžia atpažinti tam tikras figūras.

Pasiūlytas metodas (mmINT) pakeičia pikselius į foną ir atvirkščiai, taip pašalinamos laiptuotos briaunos, gaunamos padidinus vaizdą artimiausio kaimyno interpoliacijos metodu. mmINT yra iteracinis metodas, kuris sustoja, kai atlikti visi galimi pakeitimai, tačiau jį galima sustabdyti ir anksčiau. Hit-miss transformacija naudojama padidintame vaizde aptikti laiptus (angl. „jaggies“), kurie greičiausiai atsirado dėl artimiausio kaimyno interpoliacijos. Šie laiptai gali būti tikri, o ne didinimo artefaktai, tokiu atveju kaimynystėje nėra priešingos spalvos laiptų. Ieškoma baltų ir juodų pikselių laiptų. Kiekvienos iteracijos metu naudojamas kitoks struktūrizavimo elementas. Aptikus artefaktą, laiptų ir aplink juos esančių pikselių vertės pakeičiamos naudojant morfologinį išplėtimą, o struktūrizavimo elementas priklauso nuo didinimo koeficiento, iteracijos žingsnio ir laipto orientacijos.

Pasiūlytas metodas buvo palygintas su kitais didinimo metodais. Nustatyta, kad padidinus pradinį vaizdą tris kartus, rezultatas, gautas panaudojus mmINT, vizualiai yra geresnis nei artimiausio kaimyno, bilininės, bikubinės, sinc ir hq interpoliacijomis gauti rezultatai.

Prisitaikantys algoritmai parenka tinkamą vaizdų didinimo metodą priklausomai nuo vaizdo savybių (pavyzdžiui, aštrios briaunos, vienodas fonas ir pan.) pikselio aplinkoje. Šie algoritmai sukurti, kad sumažintų artefaktų atsiradimą bei padidintų vaizdų briaunų aiškumą.

K. Ratakonda, N. Ahuja [10] pasiūlė prisitaikantį vaizdų didinimo metodą, kuris susideda iš trijų žingsnių. Pirmiausia randamos briaunos, naudojant kelių lygių segmentavimo algoritmą. Šio algoritmo rezultatas: kiekvienas pikselis priklauso tam tikrai sričiai, o briaunų pikseliai yra kiekvienos srities kraštuose esantys pikseliai. Pradinis vaizdas gaunamas taikant bilininę interpoliaciją glotniose (t. y. ten, kur nėra briaunų) srityse ir selektyvią interpoliaciją ten, kur yra briaunos. Kadangi turimas segmentavimo rezultatas, kiekvienos briaunos vertė apskaičiuojama vidurkinant 8 artimiausių kaimynų su nuo atstumo priklausančiais svoriais vertes (įstrižainėse esantiems pikseliams priskiriamas svoris $1/\sqrt{2}$, kitiems pikseliams – 1, o pikseliams, kurie

nepriklauso tai pačiai sričiai, priskiriamas svoris 0). Paskutinis žingsnis – iteracinis algoritmas, paremtas projekcijų ant iškilųjų aibių metodu (angl. „Projections on Convex Sets“, POCS). Sprendimas – padidintas vaizdas – yra dviejų iškilųjų aibių sankirtoje. Pirmasis apribojimas: pradinio vaizdo ir padidinto vaizdo žemų dažnių diskretinės Furjė transformacijos koeficientai vienodi. Antrasis apribojimas: glotniose srityse pikselių reikšmės gali būti $(+\delta_1, -\delta_1)$ nuo pradinės reikšmės, o briaunų srityse – $(+\delta_2, -\delta_2)$ nuo pradinės reikšmės. Parametrai δ_1 ir δ_2 yra pastovūs visame vaizde. Abi iškilosios aibės turi pakankamai paprastus projekcijos operatorius.

Šio metodo bandymams panaudoti 2 skirtingi segmentavimo lygiai ir abiem atvejais gautas daugiau nei 1,5 dB geresnis maksimalus signalo ir triukšmo santykis nei naudojant bilinijinę interpoliaciją. Įgyvendinant šį metodą briaunomis laikytos vieno pikselio pločio linijos, todėl gana plonos linijos, esančios po segmentavimo gautos srities kraštuose, laikomos briaunų pikseliais. Nustatyta, kad didinant aštuonis kartus, geresni rezultatai gaunami, kai briaunos plotis yra du pikseliai. Taip pat nurodoma, kad pasirenkant mažą δ_2 reikšmę ir pakankamai didelę δ_1 reikšmę, galima pagerinti aiškumą (tačiau tokiu atveju atsiranda artefaktų). Be to, nors aprašytas metodas tinka pustoniu (angl. „greyscale“) vaizdams bei YUV spalvų modelio apšviestumo (Y) komponentei, tyrimai rodo, kad U ir V komponentėms galima naudoti paprastą bilinijinę interpoliaciją, nes žmogaus regėjimo sistema yra jautresnė apšviestumo komponentei. Skaičiavimų sudėtingumas labiausiai priklauso nuo POCS iteracijų skaičiaus. Nustatyta, kad algoritmas konverguoja po 2–3 iteracijų.

S. Battiato, G. Gallo, F. Stanco [11] pasiūlė iteracinį metodą monochromatinių, RGB ir RGBG vaizdų didinimui. Šis metodas – keturi iš eilės einantys etapai. Muhammad Sajjad, Naveed Khattak, Noman Jafri [2] pasiūlė panašų metodą pustoniu ir spalvotų vaizdų didinimui. Pirmasis etapas abiejuose metoduose sutampa ir yra paprasčiausias: $n \times n$ pikselių vaizdas perkeliamas ant $(2n-1) \times (2n-1)$ tinklelio. $S(i, j)$ nurodo pradinio vaizdo i -osios eilutės ir j -ojo stulpelio pikselį, o $Z(l, k)$ – padidinto vaizdo l -osios eilutės ir k -ojo stulpelio pikselį, tuomet išplėtimas aprašomas kaip transformacija $E: S \rightarrow Z$ pagal lygtį:

$$E(S(i, j)) = Z(2i-1, 2j-1), \quad i, j = 1..n. \quad (1.5)$$

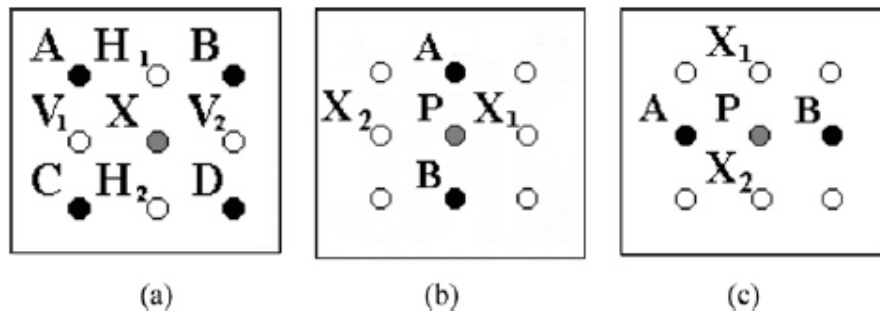
Atlikus tokią transformaciją visi padidinto vaizdo pikseliai, turintys bent vieną lyginę koordinatę, yra neapibrėžti. Antrajame etape skenuojami visi padidinto vaizdo pikseliai, kurių abi koordinatės yra lyginės, 1.5 pav. (a) pažymėti X (a, b, c ir d žymimi pikselių A, B, C ir D apšviestumai). Abiejuose metoduose ieškoma briaunų. [11] tikrinamos sąlygos ir atliekami atitinkami veiksmai:

- jei A, B, C ir D pikselių apšviestumai vienodi, $X = (a + b + c + d)/4$;

- jei $|a-d| > T_2$ ir $|a-d| \geq |b-c|$ (briauna yra pietvakarių-šiaurės rytų kryptimi),
 $X = (b+c)/2$;
- jei $|b-c| > T_2$ ir $|b-c| \geq |a-d|$ (briauna yra šiaurės vakarų-pietryčių kryptimi),
 $X = (a+d)/2$;
- jei $|a-d| > T_1$, $|b-c| > T_1$ ir $(a-d) \times (b-c) > 0$ (briauna yra šiaurės-pietų kryptimi),
 $H_1 = (a+b)/2$, $H_2 = (c+d)/2$, o X reikšmė lieka neapibrėžta;
- jei $|a-d| > T_1$, $|b-c| > T_1$ ir $(a-d) \times (b-c) < 0$ (briauna yra rytų-vakarų kryptimi),
 $V_1 = (a+c)/2$, $V_2 = (b+d)/2$, o X reikšmė lieka neapibrėžta.

T_1 ir T_2 yra pasirenkamos slenkstinės vertės. Atliekant šį tyrimą naudotos fiksuotos vertės:

$$T_1 = 4, T_2 = 3.$$



1.5 pav. (a), (b) ir (c) Pikselių, kuriuos reikia atkurti, išsidėstymas

[2] geometrinės figūros forma spėjama pagal apibrėžtų pikselių apšviestumus. Spėjimas patikrinamas, apskaičiuojant figūros ploto ribojamų apibrėžtų pikselių standartinę deviaciją:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(\bar{X} - X_i)^2 + (\bar{X} - X_{i-1})^2 + (\bar{X} - X_{i-2})^2 + (\bar{X} - X_{i-3})^2}{N}}; \quad (1.6)$$

čia \bar{X} – apibrėžtų pikselių vidurkis,

$X_i, X_{i-1}, X_{i-2}, X_{i-3}$ – apibrėžtų pikselių, atitinkančių 1.5 pav. (a) pažymėtus A, B, C ir D pikselius, reikšmės,

N – apibrėžtų pikselių skaičius.

Apskaičiavus standartinę deviaciją, tikrinama sąlyga $2 \cdot \sigma < T$. Jei ši sąlyga teisinga, tuomet geometrinė figūra patvirtinama ir šios figūros ribojamo ploto neapibrėžtiems pikseliams priskiriama vidutinė apibrėžtų pikselių vertė.

Abiejų metodų trečiajame etape skenuojami padidinto vaizdo pikseliai ir ieškoma vis dar neapibrėžtų pikselių, turinčių bent vieną nelyginę koordinatę, 1.5 pav. (b) ir (c) pažymėti P. X_1 ir

X_2 pikselių vertės jau gali būti žinomos, tuomet jos žymimos x_1 ir x_2 . Algoritmas tikrina dvi sąlygas:

- X_1 arba X_2 pikselio vertė neapibrėžta; algoritmas tikrina sąlygą $|a - b| < T_1$. Jei sąlyga teisinga, $P = (a + b)/2$; kitu atveju P reikšmė lieka neapibrėžta;
- X_1 ir X_2 pikselių vertės apibrėžtos; algoritmas ieško vertikalios arba horizontalios briaunos. Jei $|a - b| > T_2$ ir $|a - b| \geq |x_1 - x_2|$ (briauna X_1X_2 kryptimi), $P = (x_1 + x_2)/2$. Jei $|x_1 - x_2| > T_2$ ir $|x_1 - x_2| \geq |a - b|$ (briauna AB kryptimi), $P = (a + b)/2$. Jei nėra vertikalios arba horizontalios briaunos, P reikšmė lieka neapibrėžta.

Paskutiniame etape dar neapibrėžtos reikšmės suskaičiuojamos iš supančių reikšmių medianos.

[11] metodo veikimui reikia tiek pat panašaus sudėtingumo žingsnių kaip ir klasikiniams didinimo metodams. Metodo įvertinimui naudota koreliacija ir maksimalus signalo ir triukšmo santykis (PSNR). Koreliacijos koeficientai, gauti naudojant pasiūlytą metodą, lenkia arba yra labai artimi koreliacijos koeficientams, gautiems naudojant bikubinę interpoliaciją. Artimiausio kaimyno interpoliaciją įvertinus 0, o bikubinę interpoliaciją – 1, pasiūlytas metodas turėtų būti įvertinamas 1,286545. PSNR vertės labai artimos bikubinės interpoliacijos vertėms. [2] metodo veikimui įvertinti apskaičiuota vidutinė kvadratinė paklaida (MSE), vidutinė absoliutinė paklaida (MAE) ir koreliacija (CCC). Šie koeficientai palyginti su artimiausio kaimyno, bilinijinės, bikubinės, Muneeb bei Khattak ir [11] interpoliacijų koeficientais, rezultatai pateikti 1.1 lentelėje (CS – „Camera Stand“, HE – „Human’s Eye“, BF – „Butterfly“, AR – „Aerial“). Nustatyta, kad pasiūlytas metodas lenkia arba yra artimas anksčiau minėtoms interpoliacijoms.

1.1 lentelė

[2] pasiūlyto metodo palyginimas su kitais metodais

Vaizdai	Lyginimo parametras	Artimiausio kaimyno	Bilinijinė	Bikubinė	Muneeb-Khattak	Battiato	Pasiūlytas
CS	CCC	0,7786	0,8642	0,8952	0,8598	0,8531	0,9035
	MSE	47,0647	60,6039	52,1342	44,3086	42,1887	38,4514
	MAE	7,1871	7,4091	6,1085	6,7249	4,8131	5,3844
HE	CCC	0,9780	0,9911	0,9935	0,9848	0,9883	0,9936
	MSE	16,3256	8,9830	4,7213	11,0280	9,3423	6,5943
	MAE	1,9900	1,4190	0,9893	1,4494	1,2745	1,0839
BF	CCC	0,9795	0,9925	0,9970	0,9896	0,9939	0,9948
	MSE	24,2364	22,5537	12,1986	14,6804	13,6578	11,5617
	MAE	3,4746	2,4590	1,4700	1,8185	1,6408	1,4416
AR	CCC	0,8863	0,9479	0,9637	0,9309	0,9541	0,9542
	MSE	49,8123	61,9811	49,3846	44,3935	42,8665	41,7496
	MAE	7,0656	6,5497	5,1466	5,6973	5,0045	4,9157

E. E. Danahy, S. S. Agaian, K. A. Panetta [12] pasiūlė vaizdų mažinimo arba didinimo algoritmus, paremtus pirminių implikantų, gautų naudojant loginę transformaciją, sumos analize. Šie algoritmai gali būti taikomi binariniams ir pustomių vaizdams. Loginė transformacija binarinius duomenis transformuoja į Būlio duomenis, taip sukuriamas atvaizdavimas, vadinamas pirminių implikantų suma. Pirminiai implikantai – tai abstrakčios sąlygų kombinacijos, apimančios („savyje talpinančios“) sudėtingesnes pirmines kombinacijas. [13] Atlikus loginę transformaciją gaunama tam tikra išraiška.

Pirmasis algoritmas – artimiausio kaimyno interpoliacijos emuliacija. Kadangi originalus vaizdas yra susijęs su nauju vaizdu, galima rasti ryšį tarp mažesnio lango (pradinio vaizdo) ir didesnio lango (padidinto vaizdo) išraiškų. Remiantis šiuo ryšiu, sudarytas artimiausio kaimyno interpoliacijos emuliacijos algoritmas, naudojant loginę transformaciją. Šis algoritmas tiesiog emuliuoja artimiausio kaimyno interpoliaciją, todėl rezultatai gaunami identiški artimiausio kaimyno interpoliacijai.

Antrasis algoritmas – pirmojo metodo variacija. Norint keisti vaizdų dydį, pirminių implikantų sumos išraiška mažesniame įvesties vaizde yra susiejama su didesnio išvesties vaizdo išraiška. Tai atliekama statistiškai pagal pavyzdinių vaizdų rinkinį. Yra du galimi susiejimo būdai: tiesioginis ir centrinis. Tiesioginio susiejimo naudojamų ploto dalių dydžių santykis yra lygus dydžio keitimo koeficientui, taip gaunamos nepersidengiančios ploto dalys. Pagrindinis tokio būdo trūkumas – dėl riboto lango dydžio gali atsirasti artefaktų ties briaunomis. Centrinio susiejimo būdas išsprendžia šį trūkumą, tačiau atsiranda papildomų skaičiavimų. Šio būdo įgyvendinime naudojamas didesnis įvesties plotas, kurio tik centrinė dalis yra tiesiogiai susieta su išvesties dalimi. Tokiu būdu daugiau informacijos apie supančius pikselius yra įtraukiama į išraiškų susiejimo analizę. Tačiau naudojant centrinio susiejimo būdą, ploto dalys persidengia, todėl reikia papildomų skaičiavimų.

Trečiasis algoritmas atlieka briaunų klasifikavimą. Kadangi keičiant vaizdų dydį daugiausiai paklaidų atsiranda ties briaunomis, šis algoritmas aptinka ir klasifikuoja briaunas ir ten, kur yra briaunų, dydžio keitimas vykdomas tiksliau ir kruopščiau.

Antras ir trečias algoritmai palyginti su biliniu ir bikubine interpoliacijomis, skaičiuojant vidutinę kvadratinę paklaidą. Antrojo ir trečiojo algoritmų palyginimo su kitais metodais rezultatai pateikti 1.2 lentelėje ir 1.3 lentelėje. Antrasis algoritmas daugeliu atvejų neparodė geresnių rezultatų už klasikinius metodus, o trečiasis algoritmas pralenkė klasikinius metodus, didinant keturis pustomių vaizdus iš šešių ir visus binarinius vaizdus.

[12] pasiūlytų algoritmų palyginimas, didinant binarinius vaizdus

Metodas	Square	Triangle	Circle	Shapes	LenaSm	Splash	Peppers	Barbara	Lena	Mandrill
Bilinijinė	0,0041	0,0029	0,0026	0,0118	0,0404	0,0137	0,0296	0,0724	0,0289	0,1312
Bikubinė	0,0041	0,0029	0,0026	0,0118	0,0403	0,0137	0,0296	0,0727	0,0289	0,1312
Antras	0,0000	0,0015	0,0025	0,0115	0,0382	0,0136	0,0326	0,0715	0,0281	0,1350
Trečias	0,0000	0,0007	0,0024	0,0109	0,0379	0,0126	0,0278	0,0683	0,0280	0,1289

[12] pasiūlytų algoritmų palyginimas, didinant pustoniu vaizdus

Metodas	Shapes	Splash	Peppers	Barbara	Lena	Mandrill
Bilinijinė	0,00201	0,00035	0,00096	0,00366	0,00038	0,00666
Bikubinė	0,00203	0,00027	0,00084	0,00411	0,00033	0,00705
Antras	0,00179	0,00107	0,00135	0,00568	0,00159	0,00497
Trečias	0,00172	0,00091	0,00020	0,00261	0,00121	0,00243

1.3 Išvados

Vaizdų didinimas yra svarbus procesas, kuris taikomas įvairiose srityse: medicinoje nuotraukos padidinamos, kad būtų lengviau pastebėti nukrypimus nuo normos ribų ir diagnozuoti susirgimus; apsaugoje pagerinama vaizdų kokybė, kad būtų galima atpažinti nusikaltėlių; o pats akivaizdžiausias taikymas – galimybė matyti didesnę mėgstamo vaizdo versiją.

Šiame darbe aptarti trys klasikiniai metodai: artimiausio kaimyno interpoliacija, dar vadinama pikselių kopijavimu, bilinijinė interpoliacija ir bikubinė interpoliacija. Artimiausio kaimyno interpoliacija yra paprasčiausias metodas, naudojant jį skaičiavimai užtrunka trumpiausiai, tačiau kokybė yra prasta: vaizdo postūmis gali siekti pusę pikselio, todėl matomos laiptuotos briaunos. Iš šių trijų klasikinių metodų geriausi rezultatai gaunami naudojant bikubinės interpoliacijos metodą, tačiau skaičiavimai užtrunka apie 10 kartų ilgiau nei pikselių kopijavimo atveju.

Darbe taip pat aptarti kitų autorių atlikti tyrimai. Neklasikiniai vaizdų didinimo metodai skirstomi į neprisitaikančius ir prisitaikančius. Neprisitaikantys metodai visus pikselius didina vienodai, t. y. nėra atsižvelgiama į vaizdo savybes. Prisitaikantys metodai parenka tinkamą vaizdo didinimo metodą priklausomai nuo vaizdo savybių pikselio aplinkoje. Šie algoritmai sukurti, kad sumažintų artefaktų atsiradimą bei padidintų briaunų aiškumą.

2. TYRIMO METODIKA

Atlikus literatūros apžvalgą, pastebėta, kad beveik visi tyrimai atliekami, naudojant realius vaizdus (nuotraukas). Tokie vaizdai yra sudėtingi, paprastai juos sudaro įvairios spalvos ir objektai. Kadangi dažniausiai tiriami realūs vaizdai, nuspręsta pirmiausia ištirti sintetinių vaizdų didinimą. Atlikus sintetinių vaizdų didinimą, tyrimas pakartojamas su realiais vaizdais. Tyrimų tikslas – nustatyti, kurie vaizdų didinimo metodai geriausiai tinka sintetiniams ir realiems vaizdams.

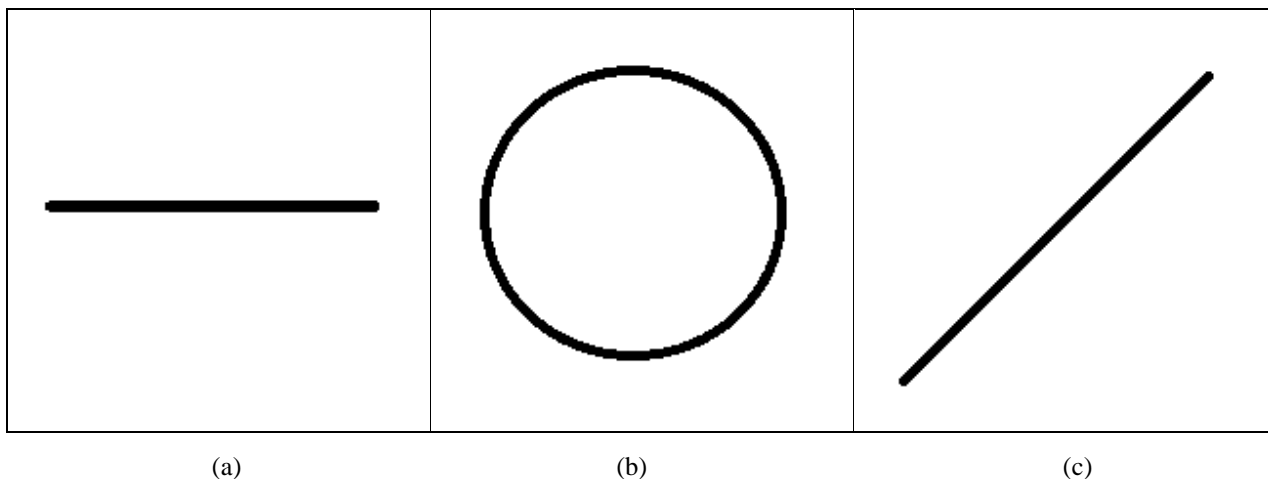
Tyrimui atlikti sudaryta tyrimo metodika, kuri naudojama tiek sintetiniams, tiek realiems vaizdams didinti ir didinimo metodams vertinti. Tyrimo metodiką sudaro keturi etapai: originalių vaizdų sukūrimas, jų sumažinimas, sumažintų vaizdų padidinimas ir padidintų vaizdų įvertinimas.

1. Originalių vaizdų sukūrimas – sintetinių vaizdų atveju sukuriama trys bazinės figūros, o realių vaizdų atveju pasirenkami keturi skirtingi vaizdai.
2. Originalių vaizdų mažinimas. Tiksliau ištirti didinimo metodus galima tik lyginant originalų vaizdą su padidintu, todėl pirmiausia originalus vaizdas yra sumažinamas, o po to šis vaizdas yra padidinamas iki pradinio dydžio. Atlikus literatūros apžvalgą, pastebėta, kad dažniausiai vaizdai mažinami paprasčiausiu – artimiausio kaimyno interpoliacijos – metodu. Vaizdus mažinant šiuo metodu du kartus, iš vaizdo pašalinama kas antra eilutė ir kas antras stulpelis, o kai mažinama didesniu skaičiumi kartų, pašalinama daugiau eilučių ir stulpelių. Taigi jei pašalintose eilutėse ir stulpeliuose yra svarbios informacijos, jos atstatyti nebeįmanoma. Dėl šios priežasties nuspręsta atlikti tyrimą naudojant keletą metodų paveikslų mažinimui. Pasirinkti 5 vaizdų mažinimo ir didinimo metodai: artimiausio kaimyno, bilinijinė, bikubinė, Lanczos-2 ir Lanczos-3 interpoliacijos. Lanczos yra iteracinis algoritmas, kuris interpoliuoja reikšmes, kad būtų gaunamos tarpinės reikšmės. Skaičius, nurodytas prie šio metodo, parodo branduolio dydį, kuris paprastai būna 2 arba 3.
3. Sumažintų vaizdų padidinimas iki originalaus dydžio. Kiekvienas sumažintas vaizdas padidinamas, naudojant penkis anksčiau minėtus metodus. Taip gaunamos visos įmanomos mažinimo ir didinimo metodų kombinacijos.
4. Padidintų vaizdų statistinis ir vizualinis įvertinimas – padidinti vaizdai palyginami su originaliais vaizdais.

2.1 Tyrimo metodikos realizavimas

Naudojant Microsoft „Paint“ programą, tyrimo tikslais sukurtos trys bazinės figūros – horizontali tiesė (a), apskritimas (b) ir 45° kampu pasvirusi tiesė (c), pavaizduotos 2.1 pav. Šios

bazinės figūros sudaro visus objektus ir labiausiai skiriasi nuo kitų figūrų. Vaizdai yra 216 pikselių ilgio ir pločio, figūrų linijų plotis – 5–7 pikseliai. Linijų plotis negali būti 1 pikselis, nes dėl mažinimo metodo gali dingti figūros kraštinė, tokiu atveju atstatyti pradinio vaizdo nebebūtų įmanoma. Vaizdus sudaro 46656 pikseliai, iš kurių figūros sudaro 1020 (horizontali tiesė), 1113 (45° kampu pakreipta tiesė) ir 2338 (apskritimas) pikselius. Kadangi figūros sukurtos sintetiniu būdu, visi pikseliai, sudarantys figūras, yra juodi (intensyvumas yra 0).



2.1 pav. Bazinės figūros

Realių vaizdų tyrimui pasirinkti keturi standartiniai realūs vaizdai, pavaizduoti 2.2 pav. Visi pasirinkti vaizdai yra 512x512 pikselių dydžio. Šie vaizdai yra skirtingi: „Baboon“ (a) yra daug detalių, „Barbara“ (b) yra dryžuoti audiniai, „Lena“ (c) yra daug vientisų ir keletas smulkių detalių, „Peppers“ (d) yra vientisos detalės. Taigi, „Lena“ ir „Peppers“ vaizdai savo sudėtingumu yra labai panašūs ir paprastesni nei „Barbara“ ar „Baboon“.



2.2 pav. Realūs vaizdai

Likusi tyrimo metodikos realizavimo dalis atlikta, naudojant MATLAB R2009b (naudoti priemonių komplektai: Image Processing Toolbox, Symbolic Math Toolbox ir Statistics Toolbox). Originalių vaizdų mažinimas atliktas, naudojant funkciją *imresize()*. Vaizdai mažinti taikant penkis

metodus: artimiausio kaimyno, biliniinę, bikubinę, Lanczos-2 ir Lanczos-3 interpoliacijas. Vaizdo kraštinės sumažintos 2 kartus (kartojant bandymą – 4 kartus).

Sumažinti vaizdai padidinami iki pradinio dydžio, taip pat naudojant funkciją *imresize()* ir penkis metodus. Atlikus vieno vaizdo mažinimą ir padidinus sumažintus vaizdus, gaunamos 25 mažinimo ir didinimo metodų kombinacijos. Šių kombinacijų palyginimas leidžia įvertinti ir rasti geriausias metodų kombinacijas.

Metodų kombinacijos palygintos, skaičiuojant vidutinę kvadratinę paklaidą (MSE), vidutinę absoliutinę paklaidą (MAE), koreliacijos koeficientą (CC), maksimalų signalo ir triukšmo santykį (PSNR) bei neatitinkančių pikselių vidurkį, o gauti rezultatai patikrinti, apskaičiuojant Stjudento kriterijų. Keturi koeficientai skaičiuoti pagal šias formules:

$$MSE = \frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (\hat{I}(x, y) - I(x, y))^2}{MN}; \quad (2.1)$$

- čia $\hat{I}(x, y)$ – originalus vaizdas;
 $I(x, y)$ – padidintas vaizdas;
 M – pikselių skaičius horizontalia kryptimi;
 N – pikselių skaičius vertikalia kryptimi.

$$MAE = \frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N |\hat{I}(x, y) - I(x, y)|}{MN}; \quad (2.2)$$

$$CC = \frac{\left| \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N \hat{I}(x, y) I(x, y) - nab \right|}{\sqrt{\left(\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N \hat{I}^2(x, y) - na^2 \right) \left(\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N I^2(x, y) - nb^2 \right)}}; \quad (2.3)$$

- čia a – $\hat{I}(x, y)$ originalaus vaizdo pikselių vidurkis;
 b – $I(x, y)$ padidinto vaizdo pikselių vidurkis;
 n – vaizdo ($\hat{I}(x, y)$ ar $I(x, y)$) ilgio ir pločio pikseliais sandauga.

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{MAX_I^2}{MSE} \right). \quad (2.4)$$

Neatitinkančių pikselių vidurkis skaičiuojamas iš kiekvieno originalaus vaizdo pikselio atimant atitinkamą padidinto vaizdo pikselį. Tuomet surandamas skirtumų, kurie nėra lygūs 0, vidurkis. Šis parametras padeda įvertinti, kiek padidintas vaizdas skiriasi nuo originalaus. Kuo

parametras yra mažesnis, tuo skirtumai mažesni, ir atvirkščiai – kuo parametras didesnis, tuo padidintas vaizdas labiau skiriasi nuo originalaus vaizdo.

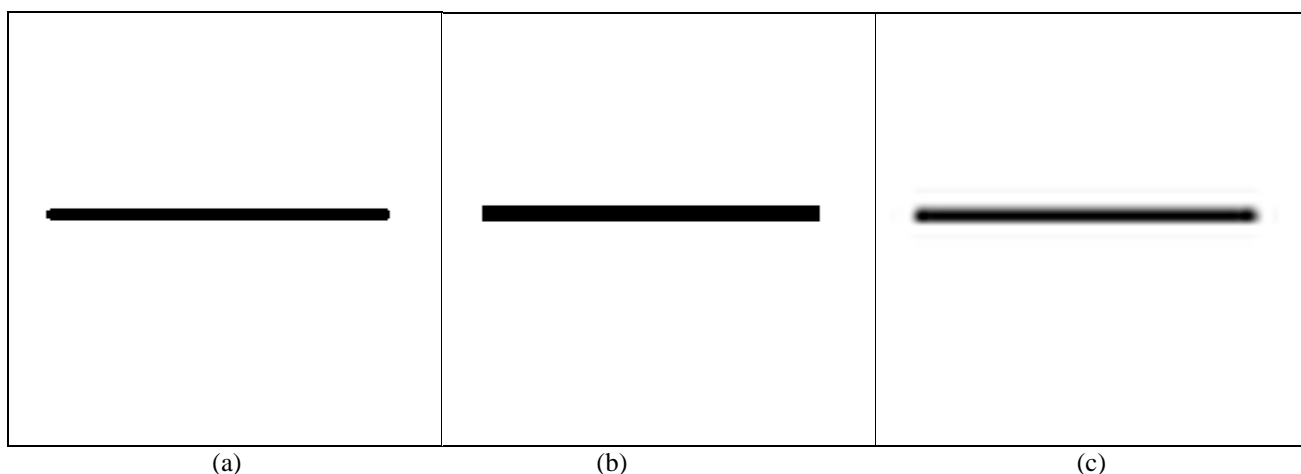
Stjudento kriterijus leidžia nustatyti, ar tarp lyginamų imčių yra reikšmingų skirtumų, t. y. ar imčių vidurkiai yra lygūs su pasirinkta tikimybe. Atliekant porinį Stjudento testą, tarpusavyje lyginamos dvi metodų kombinacijos ir tikrinama, kurios kombinacijos vidurkis yra didesnis. Atlikus Stjudento testą, metodų kombinacijas galima išrikiuoti pagal vidurkį.

3. TYRIMO REZULTATAI

Atsižvelgiant į rezultatų vertinimą, pastebėtą atlikus literatūros apžvalgą, kiekvienai vaizdo mažinimo ir didinimo metodų kombinacijai suskaičiuota vidutinė kvadratinė paklaida, vidutinė absoliutinė paklaida, koreliacijos koeficientas bei maksimalus signalo ir triukšmo santykis. Taip pat metodų kombinacijos išrikiuotos pagal neatitinkančių pikselių vidurkį bei remiantis Stjudento testo rezultatais.

3.1 Sintetinių vaizdų tyrimo rezultatai

Remiantis gautais rezultatais, horizontalios tiesės didinimui labiausiai tinka artimiausio kaimyno interpoliacija (žr. 3.1 lentelę ir 1 priedą). Ši figūra, kaip ir vertikali tiesė, yra paprasčiausia iš pasirinktų, nes joje nėra kampu pasvirusių elementų, kurie padidinus vaizdą gaunami iškraipyti. Galima pastebėti, kad vaizdo kraštines didinant 2 kartus, artimiausio kaimyno interpoliacija pagal visus keturis koeficientus yra geriausia. Kraštines didinant 4 kartus koreliacijos koeficientas rodo, kad geriausia metodų kombinacija yra Lanczos-3–Lanczos-3, tačiau šios kombinacijos ir artimiausio kaimyno interpoliacijos koeficientai skiriasi tik 0,08. Gauti rezultatai, didinant vaizdo, kuriame pavaizduota horizontali linija, kraštines 4 kartus, pavaizduoti 3.1 pav. Tarp šių metodų matomas akivaizdus vizualinis skirtumas. Be to, didinant vaizdą artimiausio kaimyno interpoliacijos metodu (b), tiesė gaunama platesnė bei trumpesnė nei originaliame vaizde, o pritaikius Lanczos-3–Lanczos-3 kombinaciją (c), gaunamas panašesnis vaizdas į originalų, tačiau jis nėra ryškus, aplink tiesę atsiranda papildomi pilki pikseliai.



3.1 pav. Horizontali tiesė, didinimas – 4 k., (a) Originalus vaizdas, (b) NN kombinacijos vaizdas, (c) L3L3 kombinacijos

Metodų kombinacijų, didinant horizontalią tiesę, koreliacijos koeficientai

		Didinimo metodas									
		Didinimas: 2 kartai					Didinimas: 4 kartai				
		Artim. k.	Bilinijinė	Bikubinė	Lanczos2	Lanczos3	Art. k.	Bilinijinė	Bikubinė	Lanczos2	Lanczos3
Mažinimo metodas	Artim. k.	0,99	0,98	0,98	0,98	0,98	0,86	0,87	0,87	0,87	0,87
	Bilinijinė	0,99	0,96	0,97	0,97	0,97	0,90	0,90	0,92	0,92	0,92
	Bikubinė	1,00	0,97	0,98	0,98	0,98	0,90	0,91	0,92	0,92	0,93
	Lanczos2	1,00	0,97	0,98	0,98	0,98	0,90	0,91	0,92	0,92	0,93
	Lanczos3	1,00	0,97	0,98	0,98	0,98	0,91	0,91	0,93	0,93	0,94

Apskritimas yra sudėtingesnė figūra nei horizontali arba vertikali tiesė. Apskritimą sudaro horizontalios, vertikalios bei mažesniu nei 45° kampu pasvirusios tiesės. Apskritimo didinimo atveju negalima teigti, kad labiausiai tinka artimiausio kaimyno interpoliacija (žr. 3.2 lentelę ir 2 priedą).

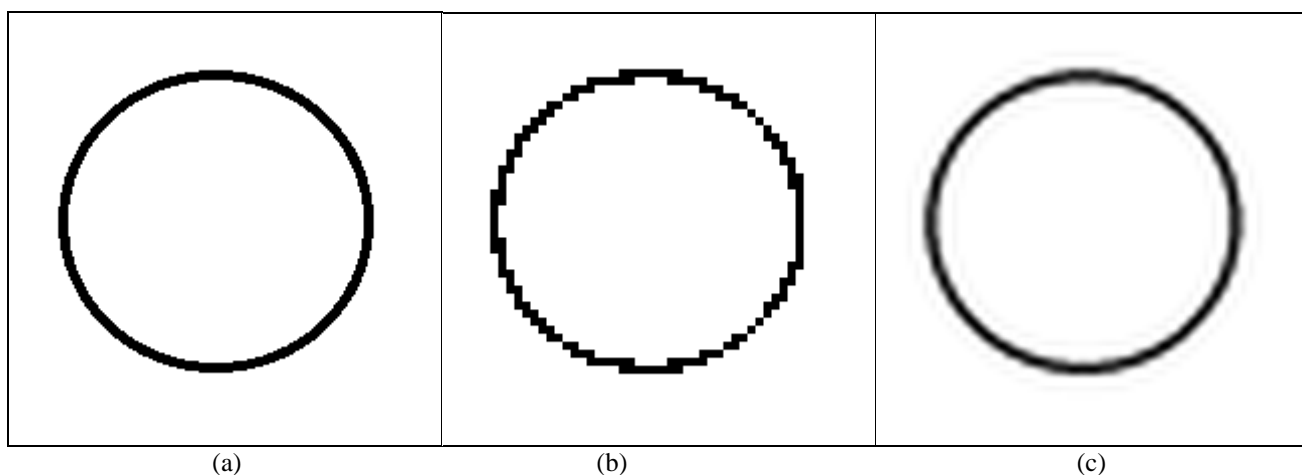
3.2 lentelė

Metodų kombinacijų, didinant apskritimą, koreliacijos koeficientai

		Didinimo metodas									
		Didinimas: 2 kartai					Didinimas: 4 kartai				
		Artim. k.	Bilinijinė	Bikubinė	Lanczos2	Lanczos3	Art. k.	Bilinijinė	Bikubinė	Lanczos2	Lanczos3
Mažinimo metodas	Artim. k.	0,88	0,92	0,92	0,92	0,92	0,78	0,85	0,86	0,86	0,86
	Bilinijinė	0,94	0,94	0,95	0,95	0,95	0,84	0,87	0,89	0,89	0,90
	Bikubinė	0,94	0,95	0,96	0,96	0,96	0,85	0,88	0,90	0,90	0,91
	Lanczos2	0,94	0,95	0,96	0,96	0,96	0,85	0,89	0,90	0,90	0,92
	Lanczos3	0,94	0,95	0,96	0,96	0,96	0,85	0,89	0,91	0,91	0,92

Vaizdo kraštines didinant 2 kartus, pagal vidutinę kvadratinę paklaidą, vidutinę absoliutinę paklaidą bei maksimalų signalo ir triukšmo santykį tinkamiausias yra artimiausio kaimyno interpoliacijos metodas. Tačiau koreliacijos koeficientas rodo, kad tinkamesnė metodų kombinacija yra Lanczos-3–Lanczos-3; naudojant šią metodų kombinaciją, koreliacijos koeficientas yra 0,96, o naudojant artimiausio kaimyno interpoliacijos metodą – 0,88. Didinant vaizdo kraštines 4 kartus ir lyginant koreliacijos koeficientus, skirtumas tarp Lanczos-3–Lanczos-3 kombinacijos ir artimiausio kaimyno interpoliacijos dar padidėja, atitinkamai 0,92 ir 0,78. Koreliacijos koeficientas yra ypač svarbus parametras, parodantis, kiek padidintas vaizdas atitinka originalų vaizdą. Gauti rezultatai, didinant vaizdo kraštines 4 kartus, pavaizduoti 3.2 pav. Vizualiai palyginus rezultatus, jie atitinka

gautus koreliacijos koeficientus: padidinus vaizdą artimiausio kaimyno interpoliacijos metodu, vaizdas gaunamas labiau iškraipytas nei panaudojus Lanczos-3–Lanczos-3 kombinaciją.



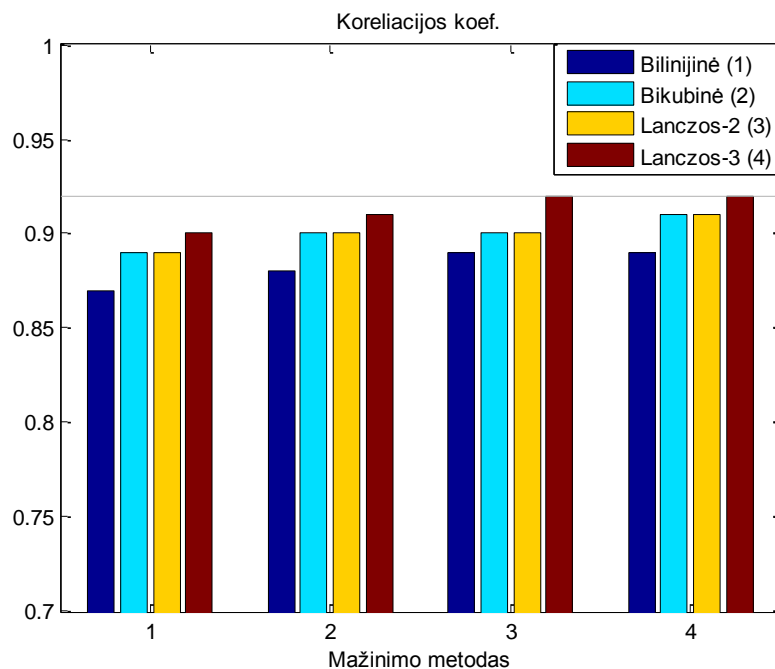
3.2 pav. Apskritimas, didinimas – 4 k., (a) Originalus vaizdas, (b) NN kombinacijos vaizdas, (c) L3L3 kombinacijos vaizdas

Didinant apskritimą, koreliacijos koeficientas rodo, jog pasirinkus artimiausio kaimyno interpoliaciją kaip mažinimo ir/ar didinimo metodą, gaunami blogiausi rezultatai. Dėl šios priežasties nuspręsta tolimesnėje analizėje atmesti metodų kombinacijas, kuriose naudojama artimiausio kaimyno interpoliacija. Likusius metodus (nepriklausomai nuo mažinimo metodo) koreliacijos koeficiento mažėjimo tvarka galima išrikiuoti taip:

- 1) Lanczos-3;
- 2–3) bikubinė interpoliacija;
- 2–3) Lanczos-2
- 4) bilinijinė interpoliacija.

Likusių 16-os metodų kombinacijų koreliacijos koeficientai pavaizduoti 3.3 pav. Kadangi šių metodų kombinacijų koreliacijos koeficientai yra labai panašūs, kombinacijų palyginimui buvo atliktas porinis Stjudento testas. Atliekant porinį Stjudento testą, tikrinta alternatyvioji hipotezė $H = 1 \mu_i > \mu_j$, kur μ_i ir μ_j – dviejų metodų kombinacijų vidurkiai. Pasirinktas reikšmingumo lygmuo – 0,05. Gauti rezultatai pateikti 4 priede. 3.3 lentelėje pateikti porinio Stjudento testo, apskaičiuoto apskritimo figūros kraštines didinant 4 kartus, rezultatai. Iš 3.3 lentelėje pateiktų rezultatų matome, kad didinimo metodus tinkamumo mažėjimo tvarka (nepriklausomai nuo mažinimo metodo) galima išrikiuoti taip:

- 1) Lanczos-3;
- 2–3) bikubinė interpoliacija;
- 2–3) Lanczos-2;
- 4) bilinijinė interpoliacija.



3.3 pav. 4 kartus didintų vaizdo (apskritimo) kraštinių koreliacijos koeficientai

3.3 lentelė

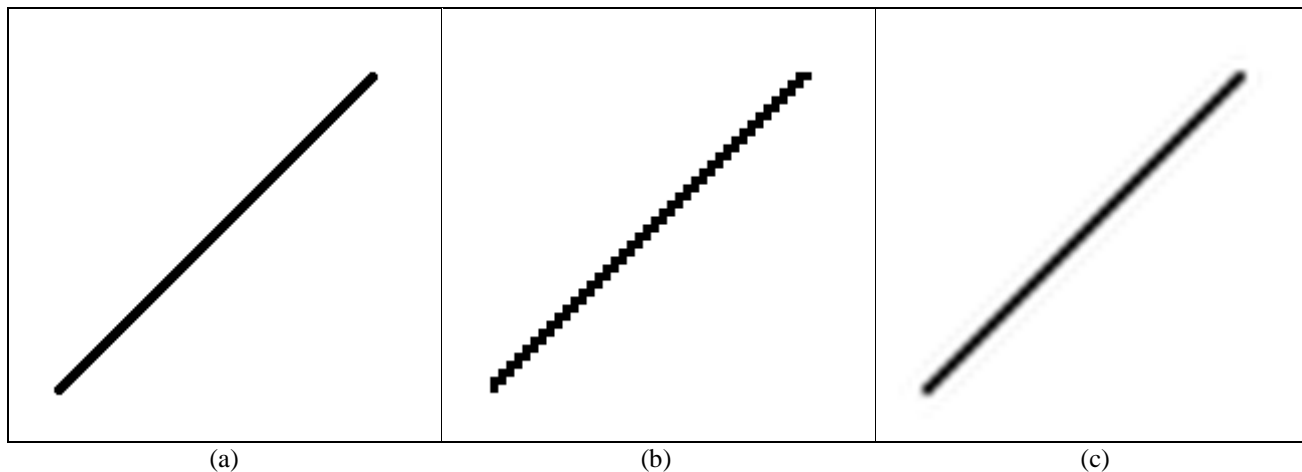
Porinio Stjudento testo rezultatai, figūra – apskritimas, didinimas – 4 k.

Tikrinta hipotezė	H	Tikimybė
$\mu_{BIL1} > \mu_{BILc}$	1	$2,85 \cdot 10^{-6}$
$\mu_{BIL1} > \mu_{BIL2}$	1	$3,79 \cdot 10^{-6}$
$\mu_{BIL1} > \mu_{BIL3}$	1	$2,14 \cdot 10^{-10}$
$\mu_{BILc} > \mu_{BIL2}$	0	0,5262
$\mu_{BILc} > \mu_{BIL3}$	1	0,0491
$\mu_{BIL2} > \mu_{BIL3}$	1	0,0425

Koreliacijos ir Stjudento testo rezultatai sutampa, t. y. pagal šiuos koeficientus apskritimo didinimui tinkamiausias metodas yra Lanczos-3, o mažiausiai tinkamas – bilinijinė interpoliacija. Naudojant bikubinės interpoliacijos ir Lanczos-2 metodus, gaunami panašūs rezultatai.

45° kampu pasvirusi tiesė yra sudėtingiausia iš pasirinktų figūrų. Originalus vaizdas bei vaizdai, gauti naudojant artimiausio kaimyno interpoliacijos ir Lanczos-3 metodus, pateikti 3.4 pav. Vizualiai matome, kad vaizdo didinimui panaudojus artimiausio kaimyno interpoliaciją, gaunamas iškraipytas vaizdas, o pasirinkus Lanczos-3 kaip didinimo metodą, vaizdas gaunamas panašesnis į originalų, tik jis nėra ryškus. Kaip ir apskritimo atveju, negalima teigti, jog artimiausio kaimyno interpoliacija yra tinkamiausias 45° kampu pasvirusios tiesės didinimo metodas (žr. 3.4 lentelę ir 3 priedą). Nors vidutinės kvadratinės paklaidos, vidutinės absoliutinės paklaidos bei maksimalaus signalo ir triukšmo santykio reikšmės gaunamos labai panašios visiems metodams, tačiau palyginus koreliacijos koeficientus, nustatyta, jog artimiausio kaimyno interpoliacijos metodas yra mažiausiai

tinkamas. Vaizdo kraštines didinant 4 kartus artimiausio kaimyno interpoliacijos metodu, koreliacijos koeficientas gaunamas 0,73, o Lanczos-3 metodu – 0,93. Taigi, kaip ir didinant apskritimą, galima atmesti metodų kombinacijas, kuriose naudojama artimiausio kaimyno interpoliacija.



3.4 pav. Pasvirusi tiesė, didinimas – 4 k., (a) Originalus vaizdas, (b) NN kombinacijos vaizdas, (c) L3L3 kombinacijos vaizdas

3.4 lentelė

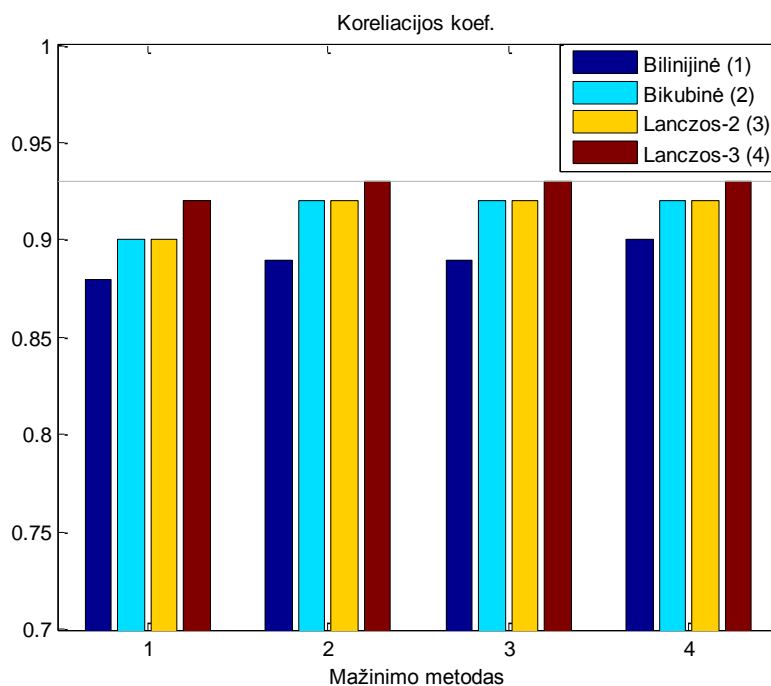
Metodų kombinacijų, didinant pasvirusią tiesę, koreliacijos koeficientai

		Didinimo metodas									
		2 kartai					4 kartai				
		Artim. k.	Bilinijinė	Bikubinė	Lanczos2	Lanczos3	Art. k.	Bilinijinė	Bikubinė	Lanczos2	Lanczos3
Mažinimo metodas	Artim. k.	0,86	0,90	0,90	0,90	0,90	0,73	0,80	0,80	0,80	0,80
	Bilinijinė	0,94	0,95	0,96	0,96	0,96	0,85	0,88	0,90	0,90	0,92
	Bikubinė	0,94	0,95	0,96	0,96	0,97	0,85	0,89	0,92	0,92	0,93
	Lanczos2	0,94	0,95	0,96	0,96	0,97	0,85	0,89	0,92	0,92	0,93
	Lanczos3	0,94	0,95	0,96	0,96	0,97	0,85	0,90	0,92	0,92	0,93

45° kampu pasvirusios tiesės atveju koreliacijos koeficientai mažinant ir didinant vaizdą bikubinės interpoliacijos, Lanczos-2 ir Lanczos-3 metodais yra identiški, o vaizdą mažinant bilinijinės interpoliacijos metodu gaunami mažiausi koreliacijos koeficientai (3.5 pav.). Metodų išrikiavimui atliktas porinis Stjudento testas su tokiu pačiu reikšmingumo lygmeniu (0,05), kaip ir atliekant testą ankstesniam vaizdai. Porinio Stjudento testo rezultatai (žr. 3.5 lentelę ir 4 priedą) patvirtina koreliacijos parodytą rezultatą, kad bilinijinė interpoliacija šiuo atveju yra netinkamiausias didinimo metodas nepriklausomai nuo vaizdo mažinimo metodo. Taip pat galima teigti, kad tarp bikubinės interpoliacijos ir Lanczos-2 didinimo metodų nėra reikšmingų skirtumų, o Lanczos-3 metodas yra tinkamiausias 45° kampu pasvirusios tiesės didinimo metodas. Remiantis

porinio Stjudento testo gautais rezultatais, didinimo metodus pagal tinkamumą (nepriklausomai nuo mažinimo metodo) galima išrikiuoti taip:

- 1) Lanczos-3;
- 2–3) bikubinė interpoliacija;
- 2–3) Lanczos-2;
- 4) bilinijinė interpoliacija.



3.5 pav. 4 kartus didintų vaizdo (pasvirusios tiesės) kraštinių koreliacijos koeficientai

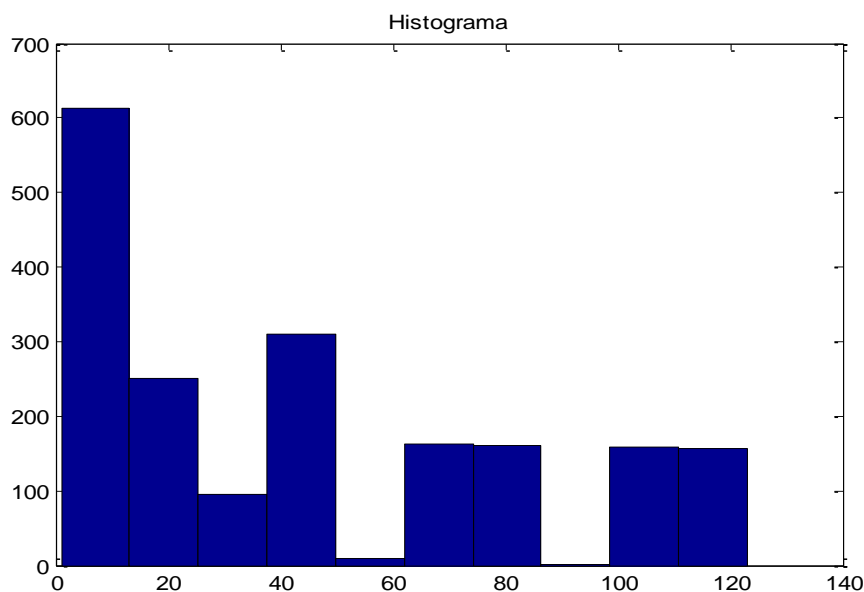
3.5 lentelė

Porinio Stjudento testo rezultatai, figūra – pasvirusi tiesė, didinimas – 4 k.

Tikrinta hipotezė	H	Tikimybė
$\mu_{L3Bl} > \mu_{L3Bc}$	1	$1,7502 \cdot 10^{-7}$
$\mu_{L3Bl} > \mu_{L3L2}$	1	$2,7056 \cdot 10^{-7}$
$\mu_{L3Bl} > \mu_{L3L3}$	1	$3,1086 \cdot 10^{-15}$
$\mu_{L3Bc} > \mu_{L3L2}$	0	0,5379
$\mu_{L3Bc} > \mu_{L3L3}$	1	0,0042
$\mu_{L3L2} > \mu_{L3L3}$	1	0,0031

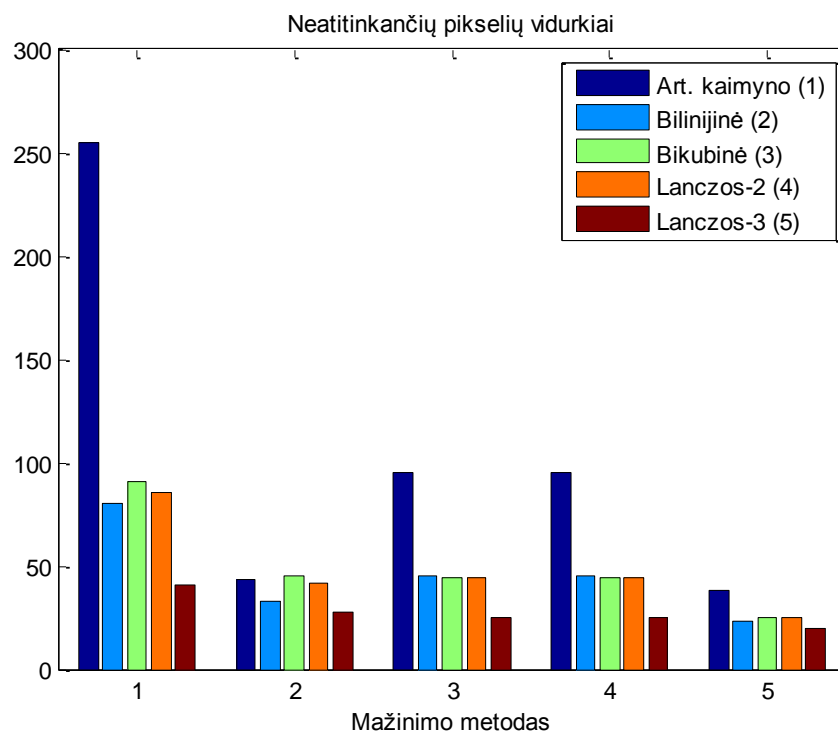
Metodų kombinacijų palyginimui buvo surastos neatitinkančių pikselių vertės. Kadangi sudėtingiausia figūra yra 45° kampu pasvirusi tiesė, pateikiamas tik šio vaizdo įvertinimas pagal neatitinkančius pikselius. Bikubinės–bikubinės metodų kombinacijos neatitinkančių pikselių histograma pavaizduota 3.6 pav. Tai yra tipinė neatitinkančių pikselių histograma visoms metodų kombinacijoms, išskyrus kombinacijas, kuriose naudojama artimiausio kaimyno interpoliacija.

Matome, kad maksimali neatitinkančių pikselių vertė yra apie 120, t. y. padidintame vaizde nėra pikselių, kurie visiškai neatitinka originaliame vaizde esančių pikselių. Daugelis neatitinkančių pikselių yra apie 0, tai reiškia, kad gaunami nedideli nukrypimai nuo originalaus vaizdo. Metodų kombinacijų, kuriose naudojama artimiausio kaimyno interpoliacija, histograma yra platesnė, joje yra verčių, viršijančių 210. Tai reiškia, kad padidintame vaizde esantys pikseliai labai skiriasi arba visiškai nesutampa su originaliame vaizde esančiais pikseliais. Mažiausiai neatitinkančių pikselių turinčios kombinacijos yra artimiausio kaimyno–artimiausio kaimyno (391), bikubinė–artimiausio kaimyno ir Lanczos-2–artimiausio kaimyno (887) bei artimiausio kaimyno–bikubinė (1216).



3.6 pav. Pasvirusios tiesės (didinimas – 4 k.) BcBc kombinacijos neatitinkančių pikselių histograma

Daugiausiai neatitinkančių pikselių yra Lanczos-3–bilinijinė (4491), Lanczos-3–Lanczos-3 (3786) bei Lanczos-3–Lanczos-2 (3455). Kadangi neatitinkančių pikselių skaičius neparodo, kiek šie pikseliai skiriasi nuo originaliame vaizde esančių pikselių, suskaičiuotas kiekvienos metodų kombinacijos neatitinkančių pikselių vidurkis, kuris pateikiamas 3.7 pav. Neatitinkančių pikselių vidurkis rodo, jog nors naudojant artimiausio kaimyno–artimiausio kaimyno metodų kombinaciją gaunama mažiausiai neatitinkančių pikselių, tačiau jų vidurkis yra 255; vadinasi, visi arba didžioji dalis neatitinkančių pikselių visiškai nesutampa su originaliame vaizde esančiais pikseliais. O Lanczos-3–Lanczos-3 metodų kombinacijos, kurią naudojant gaunamas vienas iš didžiausių neatitinkančių pikselių skaičius, neatitinkančių pikselių vidurkis yra 20,01; tai reiškia, kad didžioji dalis nesutampančių pikselių yra arti nulio. Iš 3.7 pav. matome, kad blogiausi rezultatai visada gaunami kombinacijose, kuriose naudojama artimiausio kaimyno interpoliacija, o geriausi – kombinacijose, kuriose naudojamas Lanczos-3 didinimo metodas.



3.7 pav. 45° kampu pasvirusios tiesės (didinimas – 4 k.) neatitinkančių pikselių vidurkiai

3.2 Realių vaizdų tyrimo rezultatai

Apskaičiavus vidutinę kvadratinę paklaidą, vidutinę absoliutinę paklaidą, koreliacijos koeficientą ir maksimalų signalo ir triukšmo santykį dviems paprasčiausiems vaizdams („Peppers“ ir „Lena“), pastebėta, kad pagal koreliacijos koeficientą visos metodų kombinacijos yra labai panašios (žr. 3.6 lentelę bei 5 ir 6 priedus). Šių vaizdų kraštines didinant 4 kartus, mažiausias koreliacijos koeficientas gaunamas naudojant artimiausio kaimyno interpoliacijos metodą mažinimui ir didinimui (0,97), o didžiausias (0,99) – mažinant ir didinant bikubinės interpoliacijos, Lanczos-2 ir Lanczos-3 metodais. Pagal kitus tris parametrus bikubinės interpoliacijos, Lanczos-2 ir Lanczos-3 metodų kombinacijos taip pat išsiskiria kaip parodančios geriausius rezultatus.

3.6 lentelė

Metodų kombinacijų, didinant „Peppers“ ir „Lena“ vaizdų kraštines 4 k., koreliacijos koeficientai

		Didinimo metodas									
		„Peppers“					„Lena“				
		Artim. k.	Bilinijinė	Bikubinė	Lanczos2	Lanczos3	Art. k.	Bilinijinė	Bikubinė	Lanczos2	Lanczos3
Mažinimo metodas	Artim. k.	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98
	Bilinijinė	0,98	0,98	0,98	0,98	0,99	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99
	Bikubinė	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99
	Lanczos2	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99
	Lanczos3	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99

Rezultatai, gauti vaizdų „Peppers“ ir „Lena“ mažinimui ir didinimui panaudojant artimiausio kaimyno interpoliacijos ir Lanczos-3 metodus, pavaizduoti 3.8 pav. ir 3.9 pav. Matome, kad vaizdų mažinimui ir didinimui naudojant artimiausio kaimyno interpoliacijos metodą, gaunamos kamuotos, neglotnios figūros, o naudojant Lanczos-3 kaip mažinimo ir didinimo metodą, vaizdai gaunami labai panašūs į originalius, tik jie nėra pakankamai ryškūs.

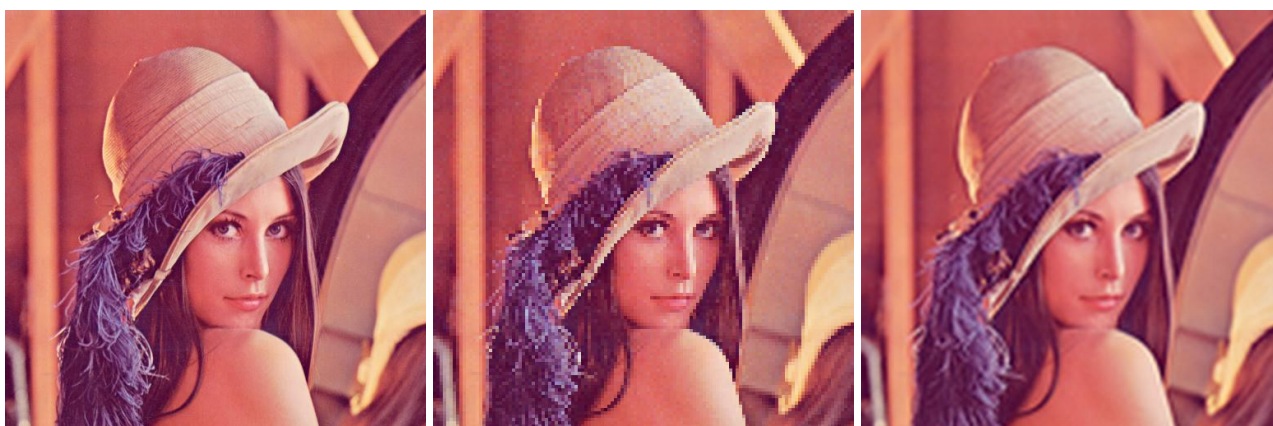


(a)

(b)

(c)

3.8 pav. „Peppers“, didinimas – 4 k., (a) Originalus vaizdas, (b) NN kombinacijos vaizdas, (c) L3L3 kombinacijos vaizdas



(a)

(b)

(c)

3.9 pav. „Lena“, didinimas – 4 k., (a) Originalus vaizdas, (b) NN kombinacijos vaizdas, (c) L3L3 kombinacijos vaizdas

Kadangi metodų kombinacijos, kuriose naudojama artimiausio kaimyno interpoliacija išsiskiria kaip parodančios blogiausius rezultatus, šios kombinacijos neanalizuojamos, skaičiuojant Stjudento testo rezultatus. Likusių metodų kombinacijų išrikiavimui atliktas porinis Stjudento testas su reikšmingumo lygmeniu 0,05. Stjudento testo rezultatai, skaičiuoti vaizdams „Peppers“ ir „Lena“ pateikti

3.7 lentelėje ir 7 priede. Matome, kad rezultatai abiem vaizdams gaunami labai panašūs: vaizdų didinimo metodus nepriklausomai nuo naudojamo mažinimo metodo tinkamumo mažėjimo tvarka galima išrikiuoti taip:

- 1) Lanczos-3;
- 2–3) bikubinė interpoliacija;
- 2–3) Lanczos-2;
- 4) bilinijinė interpoliacija.

3.7 lentelė

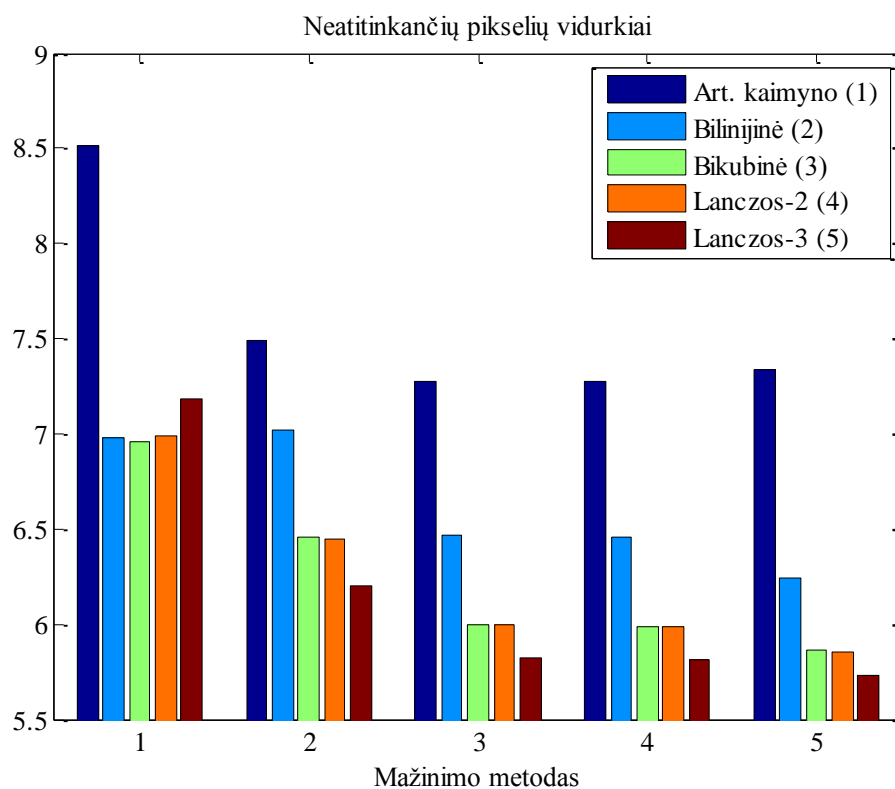
Porinio Stjudento testo rezultatai, vaizdas – „Peppers“, didinimas – 4 k.

Tikrinta hipotezė	H	Tikimybė
$\mu_{L3Bl} > \mu_{L3Bc}$	1	0
$\mu_{L3Bl} > \mu_{L3L2}$	1	0
$\mu_{L3Bl} > \mu_{L3L3}$	1	0
$\mu_{L3Bc} > \mu_{L3L2}$	0	0,4886
$\mu_{L3Bc} > \mu_{L3L3}$	1	$9,05 \cdot 10^{-4}$
$\mu_{L3L2} > \mu_{L3L3}$	1	$9,82 \cdot 10^{-4}$

Metodų palyginimui surastos neatitinkančių pikselių vertės. Vaizdo „Peppers“ maksimali neatitinkančių pikselių vertė yra 191, kai mažinimui ir didinimui naudojamas artimiausio kaimyno interpoliacijos metodas, o mažiausia – 102, kai naudojama Lanczos-3–bikubinės interpoliacijos metodų kombinacija. O vaizdo „Lena“ maksimali neatitinkančių kombinacija yra 177 taip pat, kai mažinimui ir didinimui naudojamas artimiausio kaimyno interpoliacijos metodas. Kai naudojamos bikubinės interpoliacijos, Lanczos-2 ir Lanczos-3 metodų kombinacijos, gaunama mažiausia vertė – 100. Mažiausiai neatitinkančių pikselių abiejų vaizdų atveju gaunama naudojant artimiausio kaimyno interpoliacijos metodą mažinimui ir didinimui, o daugiausiai – mažinimui ir didinimui naudojant bilinijinės interpoliacijos metodą. Vaizdo „Lena“ neatitinkančių pikselių vidurkiai pavaizduoti 3.10 pav. Šio vaizdo vidurkiai yra labai panašūs į vaizdo „Peppers“ vidurkius. Matome, kad nepriklausomai nuo mažinimo metodo, abiem atvejais didžiausias vidurkis gaunamas, kai didinimui naudojamas artimiausio kaimyno interpoliacijos metodas, t. y. naudojant šį metodą, gaunama didžiausia paklaida. Mažiausia paklaida gaunama, kai vaizdų mažinimui naudojami bikubinės interpoliacijos, Lanczos-2 ir Lanczos-3 metodai, o didinimui – Lanczos-3 metodas.

Vaizdas „Barbara“ yra sudėtingesnis nei „Peppers“ ar „Lena“; šiame vaizde yra dryžuotų ir languotų elementų, kurių atkūrimas yra pakankamai sudėtingas. Vidutinės kvadratinės paklaidos, vidutinės absoliutinės paklaidos, koreliacijos bei maksimalaus signalo ir triukšmo santykio reikšmės apskaičiuotos visoms galimoms metodų kombinacijoms (žr. 3.7 lentelę ir 8 priedą). Vaizdo kraštines didinant 2 kartus, didžiausias koreliacijos koeficientas gaunamas 0,97, o mažiausias – 0,93; kraštines didinant 4 kartus, didžiausias koreliacijos koeficientas – 0,95, o mažiausias – 0,90. Abiem atvejais skirtumas tarp didžiausio ir mažiausio koreliacijos koeficientų pakankamai

nedidelis, atitinkamai 0,04 ir 0,05. Skirtumas tarp kitų koeficientų didžiausios ir mažiausios reikšmės taip pat nėra didelis, tačiau visų koeficientų reikšmės yra vienos mažiausių, kai vaizdas yra mažinamas artimiausio kaimyno interpoliacijos metodu.



3.10 pav. Vaizdo „Lena“ (didinimas – 4 k.) neatitinkančių pikselių vidurkiai

3.8 lentelė

Metodų kombinacijų, didinant „Barbara“ vaizdo kraštines 4 k., koreliacijos koeficientai

		Didinimo metodas									
		Didinimas: 2 kartai					Didinimas: 4 kartai				
		Artim. k.	Bilinjinė	Bikubinė	Lanczos2	Lanczos3	Art. k.	Bilinjinė	Bikubinė	Lanczos2	Lanczos3
Mažinimo metodas	Artim. k.	0,93	0,95	0,95	0,95	0,94	0,90	0,93	0,92	0,92	0,92
	Bilinjinė	0,96	0,96	0,96	0,96	0,97	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95
	Bikubinė	0,97	0,96	0,97	0,97	0,97	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95
	Lanczos2	0,97	0,96	0,97	0,97	0,97	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95
	Lanczos3	0,96	0,97	0,97	0,97	0,97	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95

Rezultatai, gauti vaizdą „Barbara“ mažinant ir didinant artimiausio kaimyno interpoliacijos bei Lanczos-3 metodais, pavaizduoti 3.11 pav. Matome, kad vaizdą didinant ir mažinant artimiausio kaimyno interpoliacijos metodu, vaizdas gaunamas labai iškraipytas, o didinant ir mažinant Lanczos-3 metodu – vaizdas nėra taip smarkiai iškraipytas, tačiau jis nėra toks ryškus ir aiškus kaip originalus vaizdas.

Kadangi mažinant vaizdą „Barbara“ artimiausio kaimyno interpoliacijos metodu gaunami mažiausi koreliacijos koeficientai, šios metodų kombinacijos atmetamos kaip blogiausius rezultatus parodančios. Kitų metodų kombinacijų rezultatai yra labai panašūs, todėl jos palygintos naudojant Stjudento testą, kurio reikšmingumo lygmuo – 0,05 (žr. 3.9 lentelę ir 9 priedą). Matome, kad didžiausias vidurkis gaunamas, kai vaizdo didinimui naudojamas artimiausio kaimyno interpoliacijos metodas, o mažiausias vidurkis – kai didinimui naudojamas Lanczos-3 metodas.



(a)

(b)

(c)

3.11 pav. „Barbara“, didinimas – 4 k. (a) Originalus vaizdas, (b) NN kombinacijos vaizdas, (c) L3L3 kombinacijos vaizdas

Vaizdo didinimui naudojant bikubinės interpoliacijos ir Lanczos-2 metodus vidurkiausiai gaunami beveik lygūs. Taigi, vaizdo „Barbara“ didinimo metodus (nepriklausomai nuo mažinimo metodo) tinkamumo mažėjimo tvarka galima išrikiuoti taip:

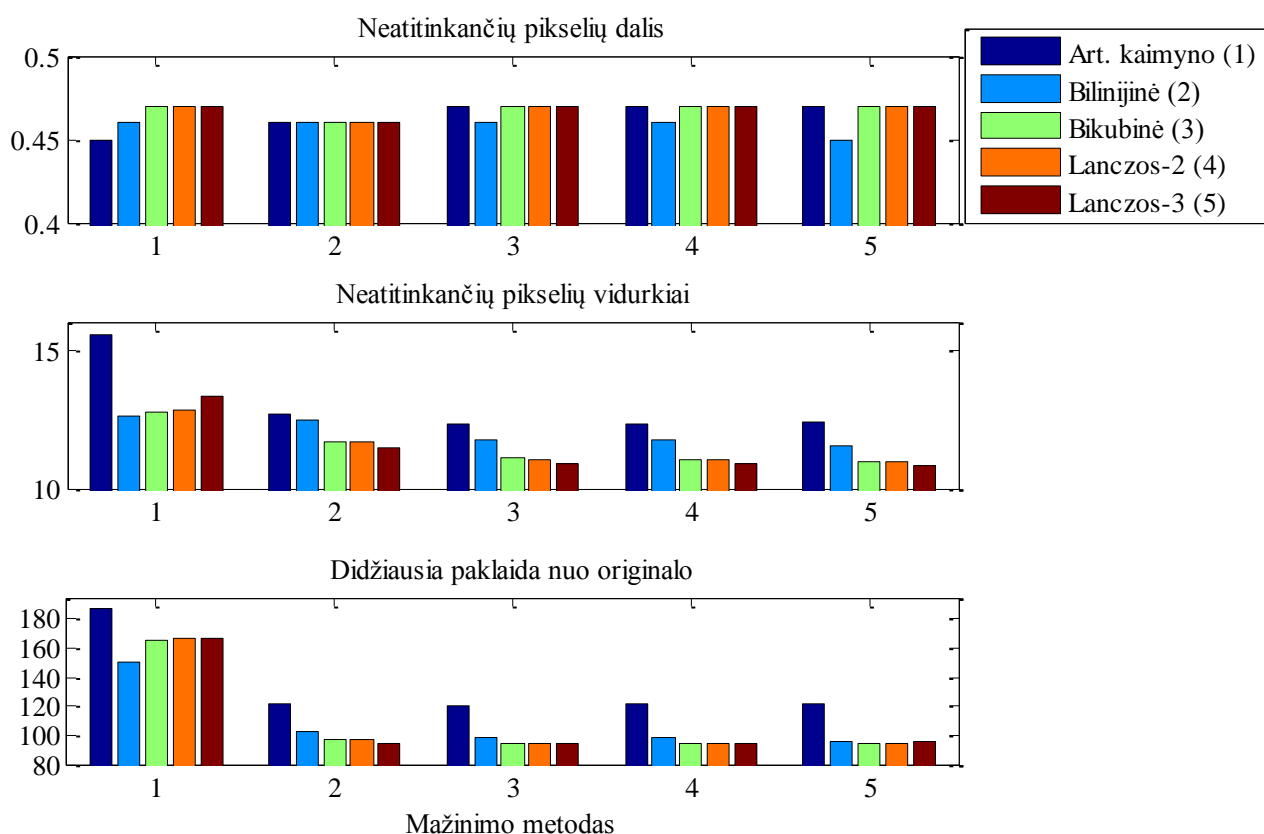
- 1) Lanczos-3;
- 2–3) bikubinė interpoliacija;
- 2–3) Lanczos-2
- 4) bilinijinė interpoliacija.

3.9 lentelė

Porinio Stjudento testo rezultatai, vaizdas – „Barbara“, didinimas – 4 k.

Tikrinta hipotezė	H	Tikimybė
$\mu_{L3N} > \mu_{L3Bl}$	1	0
$\mu_{L3N} > \mu_{L3Bc}$	1	0
$\mu_{L3N} > \mu_{L3L2}$	1	0
$\mu_{L3N} > \mu_{L3L3}$	1	0
$\mu_{L3Bl} > \mu_{L3Bc}$	1	$2,66 \cdot 10^{-8}$
$\mu_{L3Bl} > \mu_{L3L2}$	1	$4,36 \cdot 10^{-8}$
$\mu_{L3Bl} > \mu_{L3L3}$	1	$2,57 \cdot 10^{-13}$
$\mu_{L3Bc} > \mu_{L3L2}$	0	0,5369
$\mu_{L3Bc} > \mu_{L3L3}$	1	0,0381
$\mu_{L3L2} > \mu_{L3L3}$	1	0,031

Metodų kombinacijų palyginimui apskaičiuoti trys papildomi parametrai, susiję su neatitinkančiais pikseliais: neatitinkančių pikselių dalis, neatitinkančių pikselių vidurkiai ir didžiausios paklaidos nuo pikselio originaliaame vaizde vertės. Šie parametrai pavaizduoti 3.12 pav. Iš paveikslėlio matome, kad naudojant visas metodų kombinacijas apie 46 % pikselių nesutampa su originaliaame vaizde esančiais pikseliais. Pagal šį parametą geriausios metodų kombinacijos yra artimiausio kaimyno interpoliacijos–artimiausio kaimyno interpoliacijos bei Lanczos-3–bilinejinės interpoliacijos. Tačiau apskaičiavus neatitinkančių pikselių vidurkius matome, kad artimiausio kaimyno interpoliacijos–artimiausio kaimyno interpoliacijos kombinacija yra netinkamiausia, nes panaudojus šią kombinaciją vaizdo „Barbara“ mažinimui ir didinimui, gaunamas didžiausias vidurkis (15,55). Mažiausias vidurkis (10,84) gaunamas, kai naudojama Lanczos-3–Lanczos-3 metodų kombinacija. Didžiausios paklaidos (apie 150–190) nuo originalaus vaizdo pikselių gaunamos, kai vaizdas „Barbara“ mažinamas artimiausio kaimyno interpoliacijos metodu.



3.12 pav. Vaizdo „Barbara“ (didinimas – 4 k.) neatitinkančių pikselių parametrai

Kai mažinimo ir/ar didinimo metodai yra bikubinė interpoliacija, Lanczos-2 ir Lanczos-3, gaunamos mažiausios pikselių paklaidos (apie 95–100). Kai vaizdas „Barbara“ mažinamas bilinejinės, bikubinės interpoliacijos, Lanczos-2 ir Lanczos-3 metodais, didinimo metodus tinkamumo mažėjimo tvarka galima išrikiuoti taip:

- 1) Lanczos-3;
- 2–3) bikubinė interpoliacija;
- 2–3) Lanczos-2;
- 4) bilinijinė interpoliacija;
- 5) artimiausio kaimyno interpoliacija.

Vaizdą mažinant artimiausio kaimyno interpoliacijos metodu, gaunami blogiausi rezultatai, o didinimo metodus tinkamumo mažėjimo tvarka galima išrikiuoti taip:

- 1) bilinijinė interpoliacija;
- 2–3) bikubinė interpoliacija;
- 2–3) Lanczos-2;
- 4) Lanczos-3;
- 5) artimiausio kaimyno interpoliacija.

Vaizdas „Baboon“ yra pats sudėtingiausias iš pasirinktų realių vaizdų, jame yra daug labai smulkių detalių. Iš 3.10 lentelėje ir 10 priede pateiktų rezultatų matome, kad didinant vaizdo kraštines 2 kartus, mažiausias koreliacijos koeficientas gaunamas, kai vaizdo mažinimui ir didinimui naudojamas artimiausio kaimyno interpoliacijos metodas; šiuo atveju koreliacijos koeficientas yra 0,83. Vaizdo mažinimui ir didinimui naudojant Lanczos-3 metodą, gaunamas didžiausias (0,93) koreliacijos koeficientas. Vaizdo kraštines didinant 4 kartus gaunami analogiški rezultatai: mažiausias koreliacijos koeficientas – 0,73 – vaizdą mažinant ir didinant artimiausio kaimyno interpoliacijos metodu, o didžiausias – 0,85 – Lanczos-3 metodu. Kiti koeficientai yra labai panašūs, tačiau geriausi rezultatai gaunami, kai vaizdas mažinamas ir didinamas bikubinės interpoliacijos, Lanczos-2, Lanczos-3 metodais.

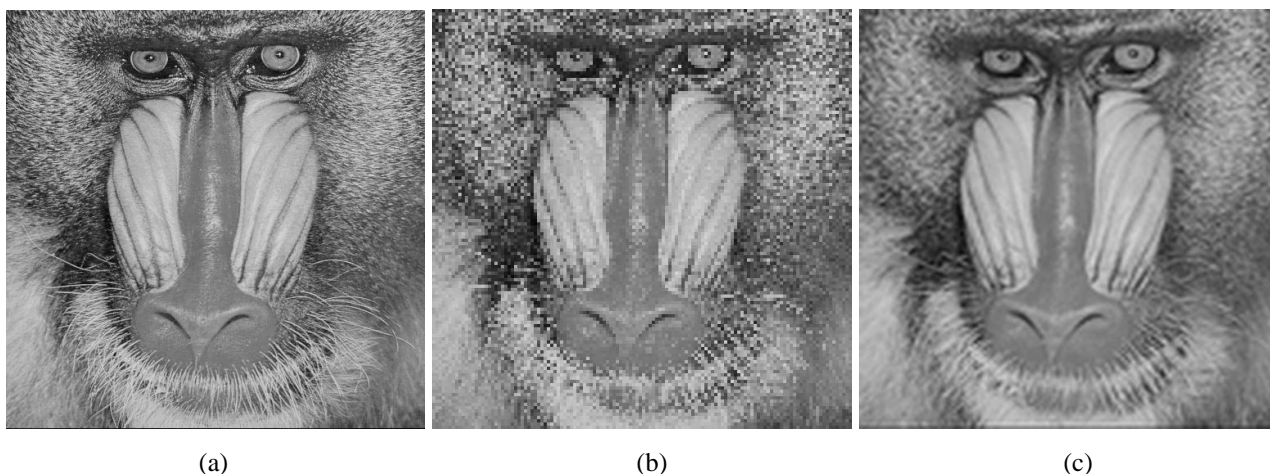
3.10 lentelė

Metodų kombinacijų, didinant „Baboon“ vaizdo kraštines 4 k., koreliacijos koeficientai

		Didinimo metodas									
		Didinimas: 2 kartai					Didinimas: 4 kartai				
		Artim. k.	Bilinijinė	Bikubinė	Lanczos2	Lanczos3	Art. k.	Bilinijinė	Bikubinė	Lanczos2	Lanczos3
Mažinimo metodas	Artim. k.	0,83	0,87	0,86	0,86	0,86	0,73	0,79	0,77	0,77	0,76
	Bilinijinė	0,90	0,89	0,91	0,91	0,91	0,83	0,83	0,84	0,84	0,84
	Bikubinė	0,91	0,91	0,92	0,92	0,92	0,83	0,84	0,85	0,85	0,85
	Lanczos2	0,91	0,91	0,92	0,92	0,92	0,83	0,84	0,85	0,85	0,85
	Lanczos3	0,90	0,91	0,92	0,92	0,93	0,83	0,84	0,85	0,85	0,85

3.13 pav. pateikti vaizdai leidžia vizualiai palyginti artimiausio kaimyno interpoliacijos–artimiausio kaimyno interpoliacijos bei Lanczos-3–Lanczos-3 metodų kombinacijas. Matome, kad naudojant artimiausio kaimyno metodą vaizdo mažinimui ir didinimui, vaizdas gaunamas labai iškraipytas, smulkios detalės nėra atstatomos. O naudojant Lanczos-3 metodą, vaizdas yra panašesnis į originalų, nes atstatoma daugelis smulkių detalių, tačiau vaizdas nėra toks ryškus ir aiškus kaip originalas.

Kadangi koreliacijos koeficientas yra mažiausias, kai vaizdas yra mažinamas artimiausio kaimyno interpoliacijos metodu, be to, vizualiai taip pat matoma, kad rezultatai šiuo atveju gaunami blogiausi, atliekant Stjudento testą atmetami metodai, kuriuose mažinimas atliekamas artimiausio kaimyno interpoliacijos metodu. Stjudento testo rezultatai pateikti 3.11 lentelėje ir 11 priede. Matome, kad nepriklausomai nuo mažinimo metodo, didžiausias vidurkis gaunamas, kai vaizdas didinamas artimiausio kaimyno interpoliacijos metodu, o mažiausias – Lanczos-3 metodu.



3.13 pav. „Baboon“, didinimas – 4 k., (a) Originalus vaizdas, (b) NN kombinacijos vaizdas, (c) L3L3 kombinacijos vaizdas

Vaizdo „Baboon“ didinimo metodus (nepriklausomai nuo mažinimo metodo) tinkamumo mažėjimo tvarka galima išrikiuoti tokia tvarka:

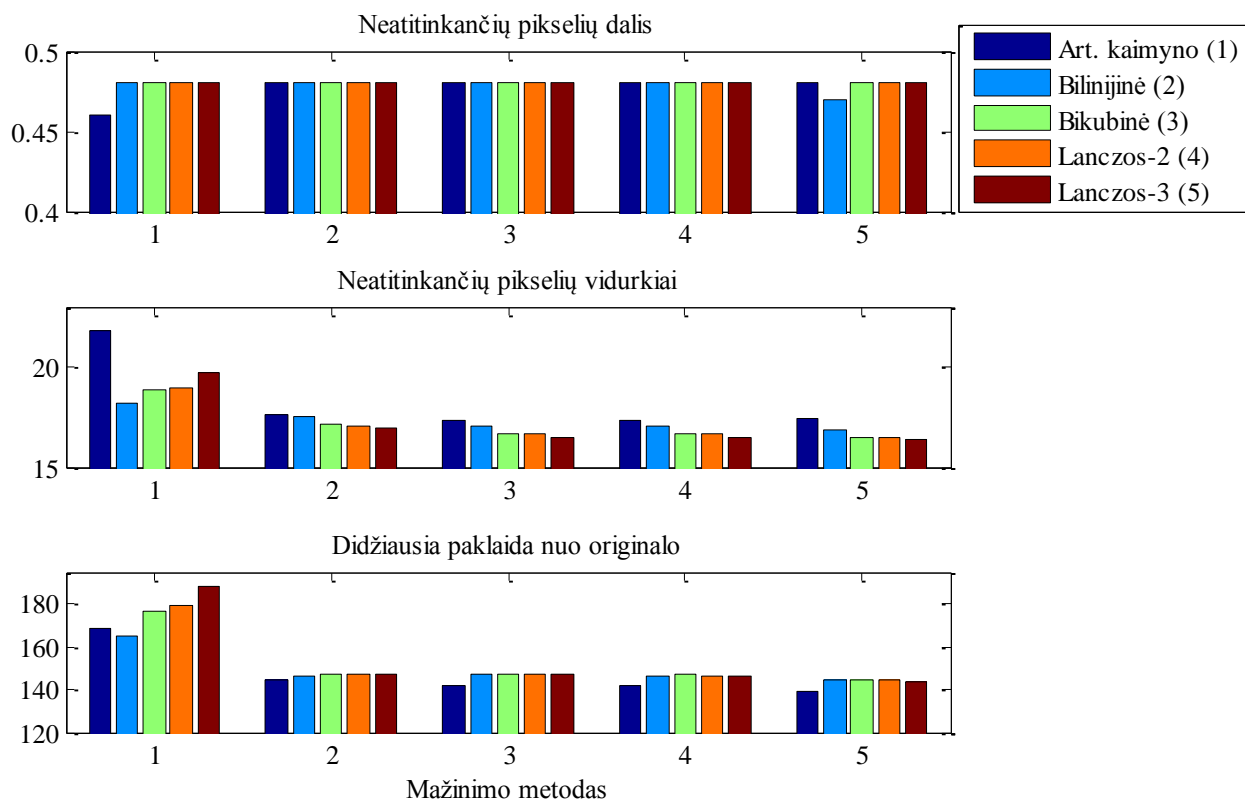
- 1) Lanczos-3;
- 2–3) bikubinė interpoliacija;
- 2–3) Lanczos-2;
- 4) bilinijinė interpoliacija;
- 5) artimiausio kaimyno interpoliacija.

Kai vaizdas mažinamas bilinijinės interpoliacijos metodu, Stjudento koeficientas rodo, kad tarp rezultatų, gaunamų vaizdą didinant bilinijinės ir artimiausio kaimyno interpoliacijų metodais, nėra reikšmingų skirtumų.

Porinio Stjudento testo rezultatai, vaizdas – „Baboon“, didinimas – 4 k.

Tikrinta hipotezė	H	Tikimybė
$\mu_{L3N} > \mu_{L3Bl}$	1	$1,1 \cdot 10^{-13}$
$\mu_{L3N} > \mu_{L3Bc}$	1	0
$\mu_{L3N} > \mu_{L3L2}$	1	0
$\mu_{L3N} > \mu_{L3L3}$	1	0
$\mu_{L3Bl} > \mu_{L3Bc}$	1	$8,4 \cdot 10^{-6}$
$\mu_{L3Bl} > \mu_{L3L2}$	1	$4,8 \cdot 10^{-6}$
$\mu_{L3Bl} > \mu_{L3L3}$	1	$1,3 \cdot 10^{-10}$
$\mu_{L3Bc} > \mu_{L3L2}$	0	0,4514
$\mu_{L3Bc} > \mu_{L3L3}$	1	0,0218
$\mu_{L3L2} > \mu_{L3L3}$	1	0,029

Apskaičiuoti trys su neatitinkančiais pikseliais susiję parametrai, jie pavaizduoti 3.14 pav.



3.14 pav. Vaizdo „Baboon“ (didinimas – 4 k.) neatitinkančių pikselių parametrai

Matome, kad naudojant beveik visas metodų kombinacijas, 48 % pikselių nesutampa su originalaus vaizdo pikseliais; pagal šį parametą geriausi rezultatai gaunami naudojant artimiausio kaimyno interpoliacijos–artimiausio kaimyno interpoliacijos (46 %) ir Lanczos-3–bilinijinės interpoliacijos (47 %) metodų kombinacijos. Kai mažinimui naudojamas artimiausio kaimyno interpoliacijos metodas, neatitinkančių pikselių vidurkiai gaunami didžiausi (18–22), mažiausi vidurkiai (apie 16,5) gaunami, kai vaizdo mažinimui ir/ar didinimui naudojami bikubinės interpoliacijos,

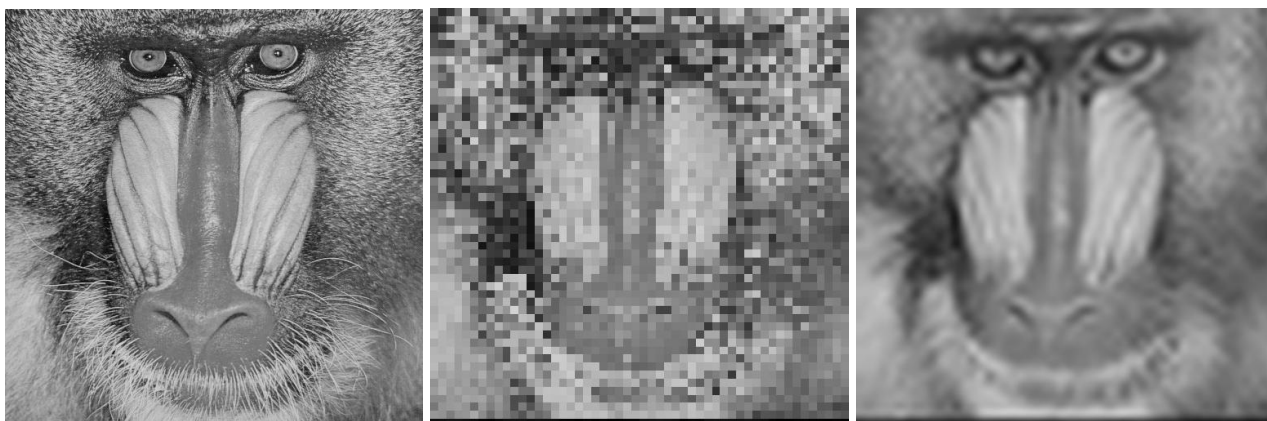
Lanczos-2 ir Lanczos-3 metodai. Trečiasis parametras (maksimalus pikselių skirtumas nuo originalaus vaizdo) parodo, kad didžiausi skirtumai gaunami, kai vaizdas mažinamas artimiausio kaimyno interpoliacijos metodu; tuomet didžiausi pikselių skirtumai siekia 169–188. Likusiomis metodų kombinacijomis sumažintų ir padidintų vaizdų maksimalus skirtumas nuo originalaus vaizdo pikselių yra apie 145. Mažinimo metodus paklaidos (vidurkio) didėjimo tvarka (nepriklausomai nuo mažinimo metodo, išskyrus mažinimą artimiausio kaimyno interpoliacijos metodu) galima išrikiuoti tokia tvarka:

- 1) Lanczos-3;
- 2–3) bikubinė interpoliacija;
- 2–3) Lanczos-2;
- 4) bilinijinė interpoliacija;
- 5) artimiausio kaimyno interpoliacija.

Kai vaizdas mažinamas artimiausio kaimyno interpoliacijos metodu, didinimo metodus tinkamumo mažėjimo tvarka galima išrikiuoti taip:

- 1) bilinijinė interpoliacija;
- 2–3) bikubinė interpoliacija;
- 2–3) Lanczos-2;
- 4) Lanczos-3;
- 5) artimiausio kaimyno interpoliacija.

Norint patikrinti, ar tinkamiausios metodų kombinacijos pasirinkimas priklauso nuo to, kiek kartų yra didinamas vaizdas, papildomai atlikti du tyrimai, didinant vaizdo „Baboon“ kraštines 10 ir 3 kartus. Sumažinus kraštines 10 kartų, prarandama labai daug pikselių, todėl vaizdo atstatymas yra pakankamai sudėtingas; originalus vaizdas ir padidinti vaizdai pavaizduoti 3.15 pav.



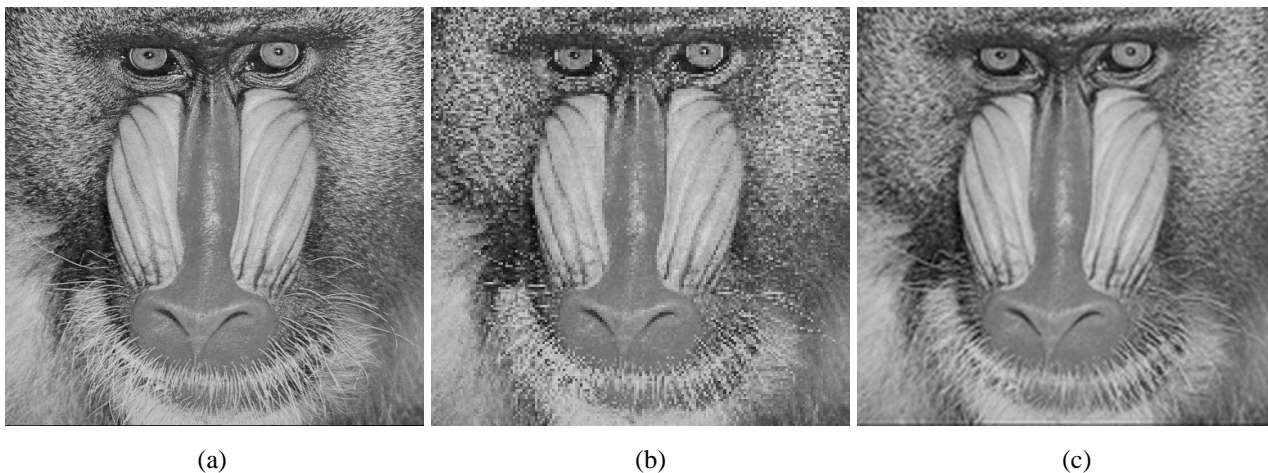
(a)

(b)

(c)

3.15 pav. „Baboon“, didinimas – 10 k., (a) Originalus vaizdas, (b) NN kombinacijos vaizdas, (c) L3L3 kombinacijos vaizdas

Kadangi visuose tyrimuose vaizdų kraštinės buvo mažinamos, o po to didinamos lyginį kartų skaičių, nuspręsta patikrinti, ar tokie patys rezultatai gaunami, naudojant nelyginį kartų skaičių. Originalus vaizdas ir 3 kartus sumažinti, o po to 3 kartus padidinti vaizdai pavaizduoti 3.16 pav.



3.16 pav. „Baboon“, didinimas – 3 k., (a) Originalus vaizdas, (b) NN kombinacijos vaizdas, (c) L3L3 kombinacijos vaizdas

Iš 3.15 pav. matome, kad naudojant artimiausio kaimyno interpoliacijos metodą (b) vaizdo mažinimui ir didinimui, vaizdas tampa beveik neatpažįstamas. Smulkios detalės nėra atstatomos, be to, vaizdo apačioje atsiranda juoda tiesė, kuri originaliaime vaizde yra beveik nematoma. Vaizdą sumažinimus ir padidinus Lanczos-3 metodu (c), vaizdas nėra ryškus, tačiau atpažįstamas.

Vidutinės kvadratinės paklaidos, vidutinės absoliutinės paklaidos, maksimalaus signalo ir triukšmo santykio bei koreliacijos koeficientai, didinant vaizdo kraštines 10 ir 3 kartus pateikti 3.12 lentelėje ir 12 priede. Matome, kad vaizdo kraštines didinant 10 kartų, visi parametrai yra panašūs, tačiau maksimalus skirtumas tarp koreliacijos koeficiento reikšmių yra 0,18. Vaizdą „Baboon“ mažinant ir didinant artimiausio kaimyno interpoliacijos metodu, koreliacijos koeficientas yra tik 50 %, o naudojant bilinijinės, bikubinės interpoliacijų, Lanczos-2 bei Lanczos-3 metodų kombinacijas, koreliacijos koeficientas gaunamas didesnis – 68 %.

Stjudento testo rezultatai, gauti vaizdo „Baboon“ kraštines didinant 10 kartų, pateikti 3.13 lentelėje ir 13 priede; Stjudento testas atliekamas visoms metodų kombinacijoms, išskyrus tas, kuriose vaizdo mažinimas atliekamas artimiausio kaimyno interpoliacijos metodu. Matome, kad didžiausias vidurkis visais atvejais gaunamas, kai vaizdo didinimas atliekamas artimiausio kaimyno interpoliacijos metodu, o tarp likusių metodų nėra reikšmingų skirtumų.

Metodų kombinacijų, didinant „Baboon“ vaizdo kraštines 10 k. ir 3 k., koreliacijos koeficientai

		Didinimo metodas									
		Didinimas: 10 kartų					Didinimas: 3 kartai				
		Artim. k.	Bilinijinė	Bikubinė	Lanczos2	Lanczos3	Art. k.	Bilinijinė	Bikubinė	Lanczos2	Lanczos3
Mažinimo metodas	Artim. k.	0,50	0,58	0,55	0,55	0,54	0,78	0,83	0,81	0,81	0,80
	Bilinijinė	0,66	0,68	0,68	0,68	0,68	0,85	0,86	0,87	0,87	0,87
	Bikubinė	0,66	0,68	0,68	0,68	0,68	0,86	0,87	0,87	0,87	0,88
	Lanczos2	0,66	0,68	0,68	0,68	0,68	0,86	0,87	0,87	0,87	0,88
	Lanczos3	0,65	0,68	0,68	0,68	0,68	0,85	0,87	0,88	0,88	0,88

Porinio Stjudento testo rezultatai, vaizdas – „Baboon“, didinimas – 10 k.

Tikrinta hipotezė	H	Tikimybė
$\mu_{L3N} > \mu_{L3Bl}$	1	$8,9 \cdot 10^{-10}$
$\mu_{L3N} > \mu_{L3Bc}$	1	$1,41 \cdot 10^{-10}$
$\mu_{L3N} > \mu_{L3L2}$	1	$4,04 \cdot 10^{-10}$
$\mu_{L3N} > \mu_{L3L3}$	1	$2,76 \cdot 10^{-9}$
$\mu_{L3Bl} > \mu_{L3Bc}$	0	0,3585
$\mu_{L3Bl} > \mu_{L3L2}$	0	0,4229
$\mu_{L3Bl} > \mu_{L3L3}$	0	0,5456
$\mu_{L3Bc} > \mu_{L3L2}$	0	0,5659
$\mu_{L3Bc} > \mu_{L3L3}$	0	0,6812
$\mu_{L3L2} > \mu_{L3L3}$	0	0,6199

3.16 pav. pavaizduoti originalus ir 3 kartus sumažinti ir padidinti „Baboon“ vaizdai. Matome, kad vaizdą mažinant ir didinant artimiausio kaimyno interpoliacijos metodu (b), nėra atkuriamos visos smulkios detalės; o mažinant ir didinant Lanczos-3 metodu (c), atkuriamos beveik visos detalės (net ir smulkios), tačiau vaizdas nėra toks ryškus kaip originalus. Koreliacijos koeficientas rodo, kad kai vaizdo mažinimui naudojamas artimiausio kaimyno interpoliacijos metodas, rezultatai gaunami blogiausi (78–80 %), o naudojant kitus metodus, gaunami geresni rezultatai (85–88 %). Taigi metodų palyginimui atliekant Stjudento testą, atmetamos kombinacijos, kuriose vaizdo mažinimui naudojamas artimiausio kaimyno interpoliacijos metodas. Stjudento testo rezultatai, vaizdą mažinant ir didinant 3 kartus, pateikti 3.14 lentelėje ir 14 priede.

Porinio Stjudento testo rezultatai, vaizdas – „Baboon“, didinimas – 3 k.

Tikrinta hipotezė	H	Tikimybė
$\mu_{L3N} > \mu_{L3Bl}$	1	$5,55 \cdot 10^{-16}$
$\mu_{L3N} > \mu_{L3Bc}$	1	0
$\mu_{L3N} > \mu_{L3L2}$	1	0
$\mu_{L3N} > \mu_{L3L3}$	1	0
$\mu_{L3Bl} > \mu_{L3Bc}$	1	$7,07 \cdot 10^{-14}$
$\mu_{L3Bl} > \mu_{L3L2}$	1	$1,5 \cdot 10^{-14}$
$\mu_{L3Bl} > \mu_{L3L3}$	1	0
$\mu_{L3Bc} > \mu_{L3L2}$	0	0,4198
$\mu_{L3Bc} > \mu_{L3L3}$	1	0,0031
$\mu_{L3L2} > \mu_{L3L3}$	1	0,0057

Iš rezultatų matome, kad visais atvejais didžiausia paklaida (vidurkis) gaunama, kai didinimui naudojamas artimiausio kaimyno interpoliacijos metodas. Vaizdą mažinant bilinijinės interpoliacijos metodu, Stjudento testas rodo, kad nėra reikšmingų skirtumų tarp didinimo artimiausio kaimyno interpoliacijos ir bilinijinės interpoliacijos metodais. Be to, nėra reikšmingų skirtumų tarp bikubinės interpoliacijos ir Lanczos-2 metodais gaunamų rezultatų. Taigi, didinimo metodus (nepriklausomai nuo mažinimo metodo) tinkamumo mažėjimo tvarka galima išrikiuoti taip:

- 1) Lanczos-3;
- 2–3) bikubinė interpoliacija;
- 2–3) Lanczos-2;
- 4) bilinijinė interpoliacija;
- 5) artimiausio kaimyno interpoliacija.

IŠVADOS IR SIŪLYMAI

- ✓ Ištirti 5 vaizdų didinimo metodai: artimiausio kaimyno, bilinijinės, bikubinės interpoliacijų, Lanczos-2 ir Lanczos-3. Tyrimui naudoti 3 sintetiniai vaizdai (horizontali tiesė, apskritimas ir 45° kampu pasvirusi tiesė) ir 4 standartiniai realūs vaizdai („Baboon“, „Barbara“, „Lena“ ir „Peppers“).
- ✓ Nepriklausomai nuo mažinimo metodo, didinimo metodus galima išrikiuoti tokia pačia tvarka. Nustatyta, kad geriausi rezultatai gaunami, kai vaizdų mažinimui naudojamas Lanczos-3 metodas.
- ✓ Didinimo metodus pagal tinkamumą didinimui galima išrikiuoti taip:
 - 1) Lanczos-3;
 - 2–3) bikubinė interpoliacija;
 - 2–3) Lanczos-2;
 - 4) bilinijinė interpoliacija;
 - 5) artimiausio kaimyno interpoliacija.
- ✓ Tarp bikubinės interpoliacijos ir Lanczos-2 metodų nėra reikšmingų skirtumų.
- ✓ Sintetiniams ir realiems vaizdams didinimo metodų išrikiavimas sutampa.
- ✓ Didinimo metodus galima išrikiuoti nepriklausomai nuo to, kiek kartų didinamas vaizdas.

Bikubinės interpoliacijos metodas naudojamas vaizdų redagavimo programinėje įrangoje, spausdintuvų tvarkyklėse bei skaitmeniniuose fotoaparatuose [2], tačiau šiame darbe nustatyta, kad tinkamiausias metodas visų tipų vaizdams yra Lanczos-3. Didinant vaizdus šiuo metodu, vaizdas gaunamas neryškus, todėl siūloma atliekant tyrimus bandyti surasti būdą padaryti vaizdą ryškesnį.

LITERATŪRA

1. Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods. Digital Image Processing. Prentice Hall, 2002. 793 p. ISBN 978-0201180756.
2. Muhammad Sajjad, Naveed Khattak, and Noman Jafri. Image Magnification Using Adaptive Interpolation by Pixel Level Data-Dependent Geometrical Shapes // International Journal of Computer Science and Engineering. 2007, nr. 2, p. 118–127.
3. Wilhelm Burger, Mark J. Burge. Principles of Digital Image Processing: Fundamental Techniques. Springer, 2009. 272 p. ISBN 978-1848001909.
4. Terminų žodynas. [Žiūrėta 2013-05-29] Prieiga per internetą: <http://www.zodynas.lt/terminu-zodynas>.
5. Mayank Kumar. An Adaptive Zooming Algorithm for Images. 2009, 68 p.
6. Qiang Wu, Fatima Merchant, Kenneth Castleman. Microscope Image Processing. 2010, 576 p. ISBN 978-0080558547.
7. Bax Smith. Bicubic, Bilinear and Nearest Neighbour Image Interpolation. 2002. [Žiūrėta 2013-05-31] Prieiga per internetą: <http://www.engr.mun.ca/~baxter/Publications/ImageZooming.pdf>
8. H. B. Kekre, Tanuja K. Sarode, Sudeep D. Thepade. Grid Based Image Scaling Technique // International Journal Of Computer Science And Applications. 2008, nr. 2, t. 1, p. 95–98.
9. Alessandro Ledda, Hiệp Quang Luong, Valérie De Witte, Wilfried Philips, Etienne E. Kerre. Image Interpolation using Mathematical Morphology // Document Image Analysis for Libraries - DIAL. 2006, p. 358–367.
10. Krishna Ratakonda, Narendra Ahuja. POCS Based Adaptive Image Magnification // International Conference on Image Processing - ICIP. 1998, t. 3, p. 203–207.
11. Sebastiano Battiato, Giovanni Gallo, Filippo Stanco. A locally adaptive zooming algorithm for digital images // Image Vision and Computing, Elsevier Science. Inc. 2002, nr. 20, p. 805–812.
12. Ethan E. Danahy, Sos S. Agaian, Karen A. Panetta. Algorithms for the resizing of binary and grayscale images using a logical transform // Image Processing: Algorithms and Systems V – 2007: tarptautinės konferencijos pranešimų medžiaga. 362 p. ISBN 978-0819466105.
13. Vaidas Morkevičius. Kokybinė lyginamoji analizė (QCA): principai ir programinės priemonės – mokymo kurso medžiaga. Kaunas: LiDA [platintojas], 2008. Žiūrėta [2013-

06-19] Prieiga per internetą:
http://www.lidata.eu/index.php?file=files/mokymai/QCA_2008/QCA_2008.html

PRIEDAI

1 PRIEDAS

MSE, MAE, CC IR PSNR KOEFICIENTAI, GAUTI DIDINANT HORIZONTALIĄ TIEŠĘ

Metodai	Didinimas: 2 kartai				Didinimas: 4 kartai			
	MSE	MAE	CC	PSNR	MSE	MAE	CC	PSNR
NN	0,02	0,02	0,99	64,73	0,08	0,08	0,86	59,29
NBI	1,90	0,49	0,98	45,34	1,99	0,54	0,87	45,14
NBc	1,89	0,40	0,98	45,36	1,97	0,47	0,87	45,19
NL2	1,89	0,42	0,98	45,36	1,97	0,49	0,87	45,18
NL3	1,90	0,41	0,98	45,35	1,99	0,53	0,87	45,15
BIN	3,74	0,49	0,99	42,40	5,57	1,44	0,90	40,67
BIBI	4,23	0,84	0,96	41,87	5,57	1,79	0,90	40,67
BIBc	2,80	0,63	0,97	43,66	5,57	1,49	0,92	40,67
BIL2	2,52	0,64	0,97	44,11	5,57	1,48	0,92	40,67
BIL3	2,19	0,61	0,97	44,73	5,57	1,35	0,92	40,67
BcN	3,69	0,27	1,00	42,46	3,09	1,07	0,90	43,23
BcBI	3,26	0,67	0,97	42,99	5,57	1,48	0,91	40,67
BcBc	1,93	0,48	0,98	45,28	4,82	1,14	0,92	41,30
BcL2	1,93	0,50	0,98	45,28	4,78	1,13	0,92	41,34
BcL3	1,92	0,49	0,98	45,29	4,19	0,98	0,93	41,90
L2N	3,69	0,27	1,00	42,46	2,86	1,07	0,90	43,57
L2BI	3,26	0,67	0,97	43,00	5,57	1,48	0,91	40,67
L2Bc	1,93	0,48	0,98	45,28	4,78	1,13	0,92	41,34
L2L2	1,93	0,50	0,98	45,28	4,74	1,12	0,92	41,37
L2L3	1,92	0,49	0,98	45,30	4,18	0,97	0,93	41,92
L3N	3,26	0,25	1,00	43,00	1,92	0,94	0,91	45,29
L3BI	2,94	0,66	0,97	43,45	5,48	1,38	0,91	40,74
L3Bc	1,93	0,47	0,98	45,28	4,45	1,03	0,93	41,65
L3L2	1,92	0,49	0,98	45,29	4,64	1,02	0,93	41,47
L3L3	1,92	0,48	0,98	45,30	3,79	0,88	0,94	42,35

MSE, MAE, CC IR PSNR KOEFICIENTAI, GAUTI DIDINANT APSKRITIMĄ

Metodai	Didinimas: 2 kartai				Didinimas: 4 kartai			
	MSE	MAE	CC	PSNR	MSE	MAE	CC	PSNR
NN	1,48	1,48	0,88	46,44	2,66	2,66	0,78	43,89
NBI	6,66	2,10	0,92	39,90	11,45	3,59	0,85	37,54
NBc	5,93	1,94	0,92	40,40	8,28	2,87	0,86	38,95
NL2	6,03	1,97	0,92	40,33	8,37	2,88	0,86	38,91
NL3	6,07	2,01	0,92	40,30	8,10	2,68	0,86	39,04
BIN	7,98	2,02	0,94	39,11	12,78	4,18	0,84	37,07
BIBI	11,45	2,50	0,94	37,54	12,78	4,80	0,87	37,07
BIBc	8,35	2,00	0,95	38,91	12,78	4,00	0,89	37,07
BIL2	8,31	2,00	0,95	38,94	12,78	3,99	0,89	37,07
BIL3	7,85	1,92	0,95	39,18	12,78	3,65	0,90	37,07
BcN	6,28	1,67	0,94	40,15	11,05	3,33	0,85	37,70
BcBI	9,86	2,24	0,95	38,19	12,78	4,08	0,88	37,07
BcBc	7,81	1,79	0,96	39,20	12,58	3,15	0,90	37,13
BcL2	7,90	1,80	0,96	39,15	12,54	3,13	0,90	37,15
BcL3	7,64	1,75	0,96	39,30	12,08	2,73	0,91	37,31
L2N	6,20	1,67	0,94	40,21	10,91	3,32	0,85	37,75
L2BI	9,83	2,23	0,95	38,20	12,78	4,07	0,89	37,07
L2Bc	7,80	1,78	0,96	39,21	12,55	3,14	0,90	37,15
L2L2	7,90	1,79	0,96	39,16	12,52	3,12	0,90	37,16
L2L3	7,64	1,74	0,96	39,30	12,04	2,72	0,92	37,33
L3N	5,92	1,65	0,94	40,41	8,90	3,02	0,85	38,64
L3BI	9,78	2,22	0,95	38,23	12,78	3,82	0,89	37,07
L3Bc	7,79	1,78	0,96	39,22	11,80	2,85	0,91	37,41
L3L2	7,88	1,79	0,96	39,17	11,77	2,83	0,91	37,42
L3L3	7,57	1,73	0,96	39,34	10,97	2,42	0,92	37,73

MSE, MAE, CC IR PSNR KOEFICIENTAI, GAUTI DIDINANT 45° KAMPU
PASVIRUSIĄ TIESEĮ

Metodai	Didinimas: 2 kartai				Didinimas: 4 kartai			
	MSE	MAE	CC	PSNR	MSE	MAE	CC	PSNR
NN	0,44	0,44	0,86	51,67	1,31	1,31	0,73	46,95
NBI	2,63	0,67	0,90	43,93	5,32	1,66	0,80	40,87
NBc	1,90	0,58	0,90	45,35	3,68	1,44	0,80	42,48
NL2	1,99	0,59	0,90	45,14	3,76	1,45	0,80	42,38
NL3	2,42	0,61	0,90	44,30	3,50	1,48	0,80	42,69
BIN	4,36	0,97	0,94	41,74	6,08	2,02	0,85	40,29
BIBI	5,64	1,21	0,95	40,62	6,08	2,31	0,88	40,29
BIBc	3,68	0,92	0,96	42,47	6,08	1,87	0,90	40,29
BIL2	3,85	0,93	0,96	42,27	6,08	1,87	0,90	40,29
BIL3	3,63	0,88	0,96	42,53	6,08	1,68	0,92	40,29
BcN	2,55	0,77	0,94	44,06	2,81	1,59	0,85	43,65
BcBI	4,59	1,04	0,95	41,51	6,08	1,94	0,89	40,29
BcBc	3,59	0,82	0,96	42,58	5,78	1,43	0,92	40,51
BcL2	3,67	0,83	0,96	42,48	5,79	1,42	0,92	40,50
BcL3	3,53	0,77	0,97	42,65	5,44	1,18	0,93	40,77
L2N	2,27	0,75	0,94	44,57	2,81	1,59	0,85	43,65
L2BI	4,49	1,03	0,95	41,61	6,08	1,94	0,89	40,29
L2Bc	3,59	0,81	0,96	42,58	5,78	1,43	0,92	40,51
L2L2	3,67	0,82	0,96	42,48	5,79	1,43	0,92	40,50
L2L3	3,53	0,75	0,97	42,65	5,44	1,18	0,93	40,77
L3N	1,14	0,68	0,94	47,57	2,67	1,59	0,85	43,86
L3BI	4,13	0,97	0,95	41,97	6,08	1,96	0,90	40,29
L3Bc	3,56	0,78	0,96	42,62	5,56	1,43	0,92	40,68
L3L2	3,63	0,79	0,96	42,53	5,60	1,43	0,92	40,65
L3L3	3,22	0,72	0,97	43,05	5,24	1,18	0,93	40,94

PORINIO STJUDENTO TESTO REZULTATAI (APSKRITIMAS)

Tikrinta hipotezė	H	Tikimybė
$\mu_{BIBl} > \mu_{BIBc}$	1	$2,85 \cdot 10^{-6}$
$\mu_{BIBl} > \mu_{BIL2}$	1	$3,79 \cdot 10^{-6}$
$\mu_{BIBl} > \mu_{BIL3}$	1	$2,14 \cdot 10^{-10}$
$\mu_{BIBc} > \mu_{BIL2}$	0	0,5262
$\mu_{BIBc} > \mu_{BIL3}$	1	0,0491
$\mu_{BIL2} > \mu_{BIL3}$	1	0,0425

Tikrinta hipotezė	H	Tikimybė
$\mu_{BcBl} > \mu_{BcBc}$	1	$6,63 \cdot 10^{-6}$
$\mu_{BcBl} > \mu_{BcL2}$	1	$9,87 \cdot 10^{-6}$
$\mu_{BcBl} > \mu_{BcL3}$	1	$6,36 \cdot 10^{-9}$
$\mu_{BcBc} > \mu_{BcL2}$	0	0,5383
$\mu_{BcBc} > \mu_{BcL3}$	0	0,1017
$\mu_{BcL2} > \mu_{BcL3}$	0	0,0850

Tikrinta hipotezė	H	Tikimybė
$\mu_{L2Bl} > \mu_{L2Bc}$	1	$6,35 \cdot 10^{-6}$
$\mu_{L2Bl} > \mu_{L2L2}$	1	$9,24 \cdot 10^{-6}$
$\mu_{L2Bl} > \mu_{L2L3}$	1	$5,99 \cdot 10^{-9}$
$\mu_{L2Bc} > \mu_{L2L2}$	0	0,5362
$\mu_{L2Bc} > \mu_{L2L3}$	0	0,1016
$\mu_{L2L2} > \mu_{L2L3}$	0	0,0858

Tikrinta hipotezė	H	Tikimybė
$\mu_{L3Bl} > \mu_{L3Bc}$	1	$9,92 \cdot 10^{-7}$
$\mu_{L3Bl} > \mu_{L3L2}$	1	$2,17 \cdot 10^{-6}$
$\mu_{L3Bl} > \mu_{L3L3}$	1	$3,12 \cdot 10^{-9}$
$\mu_{L3Bc} > \mu_{L3L2}$	0	0,5672
$\mu_{L3Bc} > \mu_{L3L3}$	0	0,1633
$\mu_{L3L2} > \mu_{L3L3}$	0	0,1241

PORINIO STJUDENTO TESTO REZULTATAI (45° KAMPU PASVIRUSI TIESĖ)

Tikrinta hipotezė	H	Tikimybė
$\mu_{BIBl} > \mu_{BIBc}$	1	$3,7448 \cdot 10^{-5}$
$\mu_{BIBl} > \mu_{BIL2}$	1	$4,8643 \cdot 10^{-5}$
$\mu_{BIBl} > \mu_{BIL3}$	1	$1,6912 \cdot 10^{-10}$
$\mu_{BIBc} > \mu_{BIL2}$	0	0,5258
$\mu_{BIBc} > \mu_{BIL3}$	1	0,0117
$\mu_{BIL2} > \mu_{BIL3}$	1	0,0098

Tikrinta hipotezė	H	Tikimybė
$\mu_{BcBl} > \mu_{BcBc}$	1	$3,0294 \cdot 10^{-5}$
$\mu_{BcBl} > \mu_{BcL2}$	1	$2,5758 \cdot 10^{-5}$
$\mu_{BcBl} > \mu_{BcL3}$	1	$4,5228 \cdot 10^{-12}$
$\mu_{BcBc} > \mu_{BcL2}$	0	0,4862
$\mu_{BcBc} > \mu_{BcL3}$	1	0,0028
$\mu_{BcL2} > \mu_{BcL3}$	1	0,0030

Tikrinta hipotezė	H	Tikimybė
$\mu_{L2Bl} > \mu_{L2Bc}$	1	$2,9569 \cdot 10^{-5}$
$\mu_{L2Bl} > \mu_{L2L2}$	1	$2,5788 \cdot 10^{-5}$
$\mu_{L2Bl} > \mu_{L2L3}$	1	$4,3762 \cdot 10^{-12}$
$\mu_{L2Bc} > \mu_{L2L2}$	0	0,4885
$\mu_{L2Bc} > \mu_{L2L3}$	1	0,0028
$\mu_{L2L2} > \mu_{L2L3}$	1	0,0030

Tikrinta hipotezė	H	Tikimybė
$\mu_{L3Bl} > \mu_{L3Bc}$	1	$1,7502 \cdot 10^{-7}$
$\mu_{L3Bl} > \mu_{L3L2}$	1	$2,7056 \cdot 10^{-7}$
$\mu_{L3Bl} > \mu_{L3L3}$	1	$3,1086 \cdot 10^{-15}$
$\mu_{L3Bc} > \mu_{L3L2}$	0	0,5379
$\mu_{L3Bc} > \mu_{L3L3}$	1	0,0042
$\mu_{L3L2} > \mu_{L3L3}$	1	0,0031

MSE, MAE, CC IR PSNR KOEFICIENTAI, GAUTI DIDINANT „PEPPERS“

Metodai	Didinimas: 2 kartai				Didinimas: 4 kartai			
	MSE	MAE	CC	PSNR	MSE	MAE	CC	PSNR
NN	24,67	3,10	0,98	33,57	33,98	4,39	0,97	32,18
NBI	23,94	3,15	0,99	33,70	29,59	3,82	0,98	32,78
NBc	24,04	3,10	0,98	33,69	30,17	3,84	0,98	32,70
NL2	24,32	3,13	0,98	33,63	30,51	3,87	0,98	32,65
NL3	25,43	3,23	0,98	33,44	32,48	4,03	0,98	32,38
BIN	19,80	2,70	0,99	34,53	29,23	3,82	0,98	32,84
BIBI	20,97	2,80	0,99	34,28	29,55	3,73	0,98	32,79
BIBc	18,12	2,50	0,99	34,91	26,47	3,40	0,98	33,27
BIL2	18,11	2,49	0,99	34,92	26,50	3,40	0,98	33,26
BIL3	17,53	2,43	0,99	35,06	25,64	3,30	0,99	33,41
BcN	18,70	2,59	0,99	34,78	28,37	3,74	0,98	32,97
BcBI	18,64	2,57	0,99	34,79	26,98	3,47	0,98	33,18
BcBc	16,23	2,30	0,99	35,39	24,61	3,20	0,99	33,58
BcL2	16,27	2,30	0,99	35,38	24,68	3,21	0,99	33,57
BcL3	15,89	2,27	0,99	35,48	24,27	3,15	0,99	33,64
L2N	18,74	2,59	0,99	34,77	28,40	3,74	0,98	32,96
L2BI	18,58	2,56	0,99	34,80	26,97	3,47	0,98	33,19
L2Bc	16,18	2,30	0,99	35,40	24,61	3,20	0,99	33,58
L2L2	16,21	2,30	0,99	35,40	24,68	3,21	0,99	33,57
L2L3	15,85	2,26	0,99	35,50	24,27	3,15	0,99	33,64
L3N	19,33	2,64	0,99	34,63	29,29	3,82	0,98	32,83
L3BI	18,12	2,52	0,99	34,91	26,39	3,41	0,98	33,28
L3Bc	15,96	2,28	0,99	35,46	24,57	3,19	0,99	33,59
L3L2	16,00	2,28	0,99	35,45	24,67	3,19	0,99	33,57
L3L3	15,74	2,25	0,99	35,53	24,56	3,16	0,99	33,59

MSE, MAE, CC IR PSNR KOEFICIENTAI, GAUTI DIDINANT „LENA“

Metodai	Didinimas: 2 kartai				Didinimas: 4 kartai			
	MSE	MAE	CC	PSNR	MSE	MAE	CC	PSNR
NN	21,56	2,63	0,98	34,79	31,08	3,91	0,97	33,21
NBI	20,89	2,67	0,99	34,93	27,98	3,38	0,98	33,66
NBc	20,18	2,56	0,99	35,08	27,12	3,33	0,98	33,80
NL2	20,39	2,58	0,99	35,04	27,34	3,35	0,98	33,76
NL3	21,38	2,67	0,99	34,83	28,65	3,49	0,98	33,56
BIN	17,58	2,36	0,99	35,68	28,41	3,47	0,98	33,60
BIBI	18,86	2,46	0,99	35,37	28,91	3,40	0,98	33,52
BIBc	15,37	2,12	0,99	36,26	25,49	3,07	0,99	34,07
BIL2	15,29	2,11	0,99	36,29	25,48	3,07	0,99	34,07
BIL3	14,35	2,02	0,99	36,56	24,40	2,97	0,99	34,26
BcN	15,93	2,19	0,99	36,11	26,74	3,34	0,98	33,86
BcBI	15,76	2,17	0,99	36,15	25,80	3,11	0,99	34,02
BcBc	12,52	1,84	1,00	37,16	22,72	2,82	0,99	34,57
BcL2	12,46	1,83	1,00	37,18	22,71	2,82	0,99	34,57
BcL3	11,67	1,77	1,00	37,46	21,93	2,75	0,99	34,72
L2N	15,92	2,19	0,99	36,11	26,76	3,34	0,98	33,86
L2BI	15,69	2,16	0,99	36,17	25,77	3,11	0,99	34,02
L2Bc	12,44	1,83	1,00	37,18	22,70	2,82	0,99	34,57
L2L2	12,38	1,83	1,00	37,21	22,70	2,82	0,99	34,57
L2L3	11,60	1,76	1,00	37,49	21,92	2,75	0,99	34,72
L3N	16,19	2,21	0,99	36,04	27,07	3,39	0,98	33,81
L3BI	14,81	2,09	0,99	36,43	24,79	3,02	0,99	34,19
L3Bc	11,83	1,78	1,00	37,40	22,08	2,76	0,99	34,69
L3L2	11,77	1,77	1,00	37,42	22,09	2,76	0,99	34,69
L3L3	11,18	1,72	1,00	37,65	21,59	2,71	0,99	34,79

PORINIO STJUDENTO TESTO REZULTATAI („PEPPERS“)

Tikrinta hipotezė	H	Tikimybė
$\mu_{BIBl} > \mu_{BIBc}$	1	0
$\mu_{BIBl} > \mu_{BIL2}$	1	0
$\mu_{BIBl} > \mu_{BIL3}$	1	0
$\mu_{BIBc} > \mu_{BIL2}$	0	0,5336
$\mu_{BIBc} > \mu_{BIL3}$	1	$1,98 \cdot 10^{-9}$
$\mu_{BIL2} > \mu_{BIL3}$	1	$1,14 \cdot 10^{-9}$

Tikrinta hipotezė	H	Tikimybė
$\mu_{BcBl} > \mu_{BcBc}$	1	0
$\mu_{BcBl} > \mu_{BcL2}$	1	0
$\mu_{BcBl} > \mu_{BcL3}$	1	0
$\mu_{BcBc} > \mu_{BcL2}$	0	0,4955
$\mu_{BcBc} > \mu_{BcL3}$	1	$2,95 \cdot 10^{-6}$
$\mu_{BcL2} > \mu_{BcL3}$	1	$3,01 \cdot 10^{-6}$

Tikrinta hipotezė	H	Tikimybė
$\mu_{L2Bl} > \mu_{L2Bc}$	1	0
$\mu_{L2Bl} > \mu_{L2L2}$	1	0
$\mu_{L2Bl} > \mu_{L2L3}$	1	0
$\mu_{L2Bc} > \mu_{L2L2}$	0	0,5039
$\mu_{L2Bc} > \mu_{L2L3}$	1	$3,83 \cdot 10^{-6}$
$\mu_{L2L2} > \mu_{L2L3}$	1	$3,53 \cdot 10^{-6}$

Tikrinta hipotezė	H	Tikimybė
$\mu_{L3Bl} > \mu_{L3Bc}$	1	0
$\mu_{L3Bl} > \mu_{L3L2}$	1	0
$\mu_{L3Bl} > \mu_{L3L3}$	1	0
$\mu_{L3Bc} > \mu_{L3L2}$	0	0,4886
$\mu_{L3Bc} > \mu_{L3L3}$	1	$9,05 \cdot 10^{-4}$
$\mu_{L3L2} > \mu_{L3L3}$	1	$9,82 \cdot 10^{-4}$

PORINIO STJUDENTO TESTO REZULTATAI („LENA“)

Tikrinta hipotezė	H	Tikimybė
$\mu_{BIBl} > \mu_{BIBc}$	1	0
$\mu_{BIBl} > \mu_{BIL2}$	1	0
$\mu_{BIBl} > \mu_{BIL3}$	1	0
$\mu_{BIBc} > \mu_{BIL2}$	0	0,4541
$\mu_{BIBc} > \mu_{BIL3}$	1	$6,38 \cdot 10^{-11}$
$\mu_{BIL2} > \mu_{BIL3}$	1	$1,32 \cdot 10^{-10}$

Tikrinta hipotezė	H	Tikimybė
$\mu_{BcBl} > \mu_{BcBc}$	1	0
$\mu_{BcBl} > \mu_{BcL2}$	1	0
$\mu_{BcBl} > \mu_{BcL3}$	1	0
$\mu_{BcBc} > \mu_{BcL2}$	0	0,5173
$\mu_{BcBc} > \mu_{BcL3}$	1	$5,88 \cdot 10^{-7}$
$\mu_{BcL2} > \mu_{BcL3}$	1	$4,56 \cdot 10^{-7}$

Tikrinta hipotezė	H	Tikimybė
$\mu_{L2Bl} > \mu_{L2Bc}$	1	0
$\mu_{L2Bl} > \mu_{L2L2}$	1	0
$\mu_{L2Bl} > \mu_{L2L3}$	1	0
$\mu_{L2Bc} > \mu_{L2L2}$	0	0,5073
$\mu_{L2Bc} > \mu_{L2L3}$	1	$4,01 \cdot 10^{-7}$
$\mu_{L2L2} > \mu_{L2L3}$	1	$3,53 \cdot 10^{-7}$

Tikrinta hipotezė	H	Tikimybė
$\mu_{L3Bl} > \mu_{L3Bc}$	1	0
$\mu_{L3Bl} > \mu_{L3L2}$	1	0
$\mu_{L3Bl} > \mu_{L3L3}$	1	0
$\mu_{L3Bc} > \mu_{L3L2}$	0	0,5188
$\mu_{L3Bc} > \mu_{L3L3}$	1	$5,32 \cdot 10^{-4}$
$\mu_{L3L2} > \mu_{L3L3}$	1	$4,40 \cdot 10^{-4}$

MSE, MAE, CC IR PSNR KOEFICIENTAI, GAUTI DIDINANT „BARBARA“

Metodai	Didinimas: 2 kartai				Didinimas: 4 kartai			
	MSE	MAE	CC	PSNR	MSE	MAE	CC	PSNR
NN	33,24	4,78	0,93	32,60	46,68	6,96	0,90	31,13
NBI	37,66	4,72	0,95	32,06	45,37	5,92	0,93	31,25
NBc	34,65	4,59	0,95	32,42	43,95	6,01	0,92	31,39
NL2	34,79	4,60	0,95	32,40	44,27	6,04	0,92	31,36
NL3	34,94	4,75	0,94	32,39	45,45	6,28	0,92	31,24
BIN	36,59	4,45	0,96	32,18	47,88	5,90	0,94	31,02
BIBI	37,39	4,63	0,96	32,09	48,77	5,80	0,95	30,94
BIBc	33,50	4,20	0,96	32,57	45,12	5,43	0,95	31,28
BIL2	33,39	4,19	0,96	32,58	45,12	5,43	0,95	31,28
BIL3	32,17	4,09	0,97	32,74	43,96	5,31	0,95	31,39
BcN	34,57	4,18	0,97	32,43	46,37	5,78	0,94	31,16
BcBI	33,88	4,26	0,96	32,52	45,47	5,48	0,95	31,24
BcBc	29,96	3,82	0,97	33,05	42,32	5,17	0,95	31,55
BcL2	29,82	3,81	0,97	33,07	42,34	5,16	0,95	31,55
BcL3	28,54	3,71	0,97	33,26	41,45	5,08	0,95	31,64
L2N	34,52	4,18	0,97	32,44	46,37	5,78	0,94	31,16
L2BI	33,78	4,25	0,96	32,53	45,42	5,47	0,95	31,25
L2Bc	29,84	3,81	0,97	33,07	42,27	5,16	0,95	31,56
L2L2	29,70	3,79	0,97	33,09	42,29	5,16	0,95	31,56
L2L3	28,41	3,69	0,97	33,28	41,42	5,08	0,95	31,65
L3N	34,58	4,23	0,96	32,43	46,62	5,83	0,94	31,13
L3BI	32,69	4,15	0,97	32,67	44,37	5,38	0,95	31,35
L3Bc	28,85	3,73	0,97	33,22	41,60	5,10	0,95	31,63
L3L2	28,68	3,71	0,97	33,24	41,62	5,10	0,95	31,63
L3L3	27,52	3,61	0,97	33,42	40,99	5,05	0,95	31,69

PORINIO STJUDENTO TESTO REZULTATAI („BARBARA“)

Tikrinta hipotezė	H	Tikimybė
$\mu_{BIN} > \mu_{BIBI}$	1	$9,5 \cdot 10^{-11}$
$\mu_{BIN} > \mu_{BIBc}$	1	0
$\mu_{BIN} > \mu_{BIL2}$	1	0
$\mu_{BIN} > \mu_{BIL3}$	1	0
$\mu_{BIBI} > \mu_{BIBc}$	1	0
$\mu_{BIBI} > \mu_{BIL2}$	1	0
$\mu_{BIBI} > \mu_{BIL3}$	1	0
$\mu_{BIBc} > \mu_{BIL2}$	0	0,5187
$\mu_{BIBc} > \mu_{BIL3}$	1	$9,83 \cdot 10^{-5}$
$\mu_{BIL2} > \mu_{BIL3}$	1	$8,1 \cdot 10^{-5}$

Tikrinta hipotezė	H	Tikimybė
$\mu_{BcN} > \mu_{BcBI}$	1	0
$\mu_{BcN} > \mu_{BcBc}$	1	0
$\mu_{BcN} > \mu_{BcL2}$	1	0
$\mu_{BcN} > \mu_{BcL3}$	1	0
$\mu_{BcBI} > \mu_{BcBc}$	1	$4,3 \cdot 10^{-12}$
$\mu_{BcBI} > \mu_{BcL2}$	1	$6,83 \cdot 10^{-12}$
$\mu_{BcBI} > \mu_{BcL3}$	1	0
$\mu_{BcBc} > \mu_{BcL2}$	0	0,5282
$\mu_{BcBc} > \mu_{BcL3}$	1	0,0046
$\mu_{BcL2} > \mu_{BcL3}$	1	0,0037

Tikrinta hipotezė	H	Tikimybė
$\mu_{L2N} > \mu_{L2BI}$	1	0
$\mu_{L2N} > \mu_{L2Bc}$	1	0
$\mu_{L2N} > \mu_{L2L2}$	1	0
$\mu_{L2N} > \mu_{L2L3}$	1	0
$\mu_{L2BI} > \mu_{L2Bc}$	1	$6 \cdot 10^{-12}$
$\mu_{L2BI} > \mu_{L2L2}$	1	$8,34 \cdot 10^{-12}$
$\mu_{L2BI} > \mu_{L2L3}$	1	0
$\mu_{L2Bc} > \mu_{L2L2}$	0	0,5207
$\mu_{L2Bc} > \mu_{L2L3}$	1	0,0043
$\mu_{L2L2} > \mu_{L2L3}$	1	0,0037

Tikrinta hipotezė	H	Tikimybė
$\mu_{L3N} > \mu_{L3BI}$	1	0
$\mu_{L3N} > \mu_{L3Bc}$	1	0
$\mu_{L3N} > \mu_{L3L2}$	1	0
$\mu_{L3N} > \mu_{L3L3}$	1	0
$\mu_{L3BI} > \mu_{L3Bc}$	1	$2,66 \cdot 10^{-8}$
$\mu_{L3BI} > \mu_{L3L2}$	1	$4,36 \cdot 10^{-8}$
$\mu_{L3BI} > \mu_{L3L3}$	1	$2,57 \cdot 10^{-13}$
$\mu_{L3Bc} > \mu_{L3L2}$	0	0,5369
$\mu_{L3Bc} > \mu_{L3L3}$	1	0,0381
$\mu_{L3L2} > \mu_{L3L3}$	1	0,031

MSE, MAE, CC IR PSNR KOEFICIENTAI, GAUTI DIDINANT „BABOON“

Metodai	Didinimas: 2 kartai				Didinimas: 4 kartai			
	MSE	MAE	CC	PSNR	MSE	MAE	CC	PSNR
NN	50,30	6,85	0,83	30,26	68,69	10,17	0,73	28,90
NBI	57,10	6,83	0,87	29,71	67,48	8,98	0,79	28,98
NBc	54,27	6,76	0,86	29,93	66,77	9,28	0,77	29,03
NL2	54,64	6,80	0,86	29,90	67,01	9,31	0,77	29,01
NL3	56,77	7,11	0,86	29,73	68,74	9,72	0,76	28,90
BIN	56,77	6,48	0,90	29,73	68,76	8,40	0,83	28,90
BIBI	60,36	6,89	0,89	29,46	69,80	8,50	0,83	28,83
BIBc	56,05	6,33	0,91	29,79	67,66	8,19	0,84	28,97
BIL2	55,95	6,31	0,91	29,79	67,63	8,18	0,84	28,97
BIL3	54,67	6,15	0,91	29,89	67,05	8,10	0,84	29,01
BcN	53,41	6,12	0,91	30,00	67,57	8,28	0,83	28,97
BcBI	56,60	6,40	0,91	29,74	68,08	8,25	0,84	28,94
BcBc	51,74	5,82	0,92	30,13	65,86	7,95	0,85	29,09
BcL2	51,60	5,79	0,92	30,15	65,82	7,94	0,85	29,09
BcL3	50,39	5,65	0,92	30,25	65,31	7,87	0,85	29,12
L2N	53,38	6,12	0,91	30,00	67,59	8,28	0,83	28,97
L2BI	56,46	6,38	0,91	29,75	68,07	8,25	0,84	28,94
L2Bc	51,61	5,80	0,92	30,15	65,85	7,95	0,85	29,09
L2L2	51,45	5,78	0,92	30,16	65,81	7,94	0,85	29,09
L2L3	50,25	5,63	0,92	30,26	65,28	7,87	0,85	29,12
L3N	53,65	6,19	0,90	29,98	67,85	8,34	0,83	28,96
L3BI	55,23	6,23	0,91	29,85	67,56	8,17	0,84	28,98
L3Bc	50,48	5,68	0,92	30,24	65,44	7,89	0,85	29,11
L3L2	50,33	5,66	0,92	30,25	65,42	7,88	0,85	29,12
L3L3	49,21	5,52	0,93	30,35	64,94	7,81	0,85	29,15

PORINIO STJUDENTO TESTO REZULTATAI („BABOON“)

Tikrinta hipotezė	H	Tikimybė
$\mu_{BIN} > \mu_{BIBI}$	0	0,2238
$\mu_{BIN} > \mu_{BIBc}$	1	$1,45 \cdot 10^{-8}$
$\mu_{BIN} > \mu_{BIL2}$	1	$9,6 \cdot 10^{-9}$
$\mu_{BIN} > \mu_{BIL3}$	1	$2,28 \cdot 10^{-15}$
$\mu_{BIBI} > \mu_{BIBc}$	1	$8,03 \cdot 10^{-7}$
$\mu_{BIBI} > \mu_{BIL2}$	1	$5,6 \cdot 10^{-7}$
$\mu_{BIBI} > \mu_{BIL3}$	1	$6,45 \cdot 10^{-13}$
$\mu_{BIBc} > \mu_{BIL2}$	0	0,4716
$\mu_{BIBc} > \mu_{BIL3}$	1	0,0108
$\mu_{BIL2} > \mu_{BIL3}$	1	0,0129

Tikrinta hipotezė	H	Tikimybė
$\mu_{BcN} > \mu_{BcBI}$	1	$7,14 \cdot 10^{-5}$
$\mu_{BcN} > \mu_{BcBc}$	1	0
$\mu_{BcN} > \mu_{BcL2}$	1	0
$\mu_{BcN} > \mu_{BcL3}$	1	0
$\mu_{BcBI} > \mu_{BcBc}$	1	$7,4 \cdot 10^{-7}$
$\mu_{BcBI} > \mu_{BcL2}$	1	$6,22 \cdot 10^{-7}$
$\mu_{BcBI} > \mu_{BcL3}$	1	$4,5 \cdot 10^{-12}$
$\mu_{BcBc} > \mu_{BcL2}$	0	0,4865
$\mu_{BcBc} > \mu_{BcL3}$	1	0,0223
$\mu_{BcL2} > \mu_{BcL3}$	1	0,0242

Tikrinta hipotezė	H	Tikimybė
$\mu_{L2N} > \mu_{L2BI}$	1	$3,25 \cdot 10^{-5}$
$\mu_{L2N} > \mu_{L2Bc}$	1	0
$\mu_{L2N} > \mu_{L2L2}$	1	0
$\mu_{L2N} > \mu_{L2L3}$	1	0
$\mu_{L2BI} > \mu_{L2Bc}$	1	$8,99 \cdot 10^{-7}$
$\mu_{L2BI} > \mu_{L2L2}$	1	$6,27 \cdot 10^{-7}$
$\mu_{L2BI} > \mu_{L2L3}$	1	$4,74 \cdot 10^{-12}$
$\mu_{L2Bc} > \mu_{L2L2}$	0	0,4716
$\mu_{L2Bc} > \mu_{L2L3}$	1	0,0207
$\mu_{L2L2} > \mu_{L2L3}$	1	0,0245

Tikrinta hipotezė	H	Tikimybė
$\mu_{L3N} > \mu_{L3BI}$	1	$1,1 \cdot 10^{-13}$
$\mu_{L3N} > \mu_{L3Bc}$	1	0
$\mu_{L3N} > \mu_{L3L2}$	1	0
$\mu_{L3N} > \mu_{L3L3}$	1	0
$\mu_{L3BI} > \mu_{L3Bc}$	1	$8,4 \cdot 10^{-6}$
$\mu_{L3BI} > \mu_{L3L2}$	1	$4,8 \cdot 10^{-6}$
$\mu_{L3BI} > \mu_{L3L3}$	1	$1,3 \cdot 10^{-10}$
$\mu_{L3Bc} > \mu_{L3L2}$	0	0,4514
$\mu_{L3Bc} > \mu_{L3L3}$	1	0,0218
$\mu_{L3L2} > \mu_{L3L3}$	1	0,029

MSE, MAE, CC IR PSNR KOEFICIENTAI, GAUTI DIDINANT VAIZDO „BABOON“
KRAŠTINES 10 KARTŲ IR 3 KARTUS

Metodai	Didinimas: 10 kartų				Didinimas: 3 kartai			
	MSE	MAE	CC	PSNR	MSE	MAE	CC	PSNR
NN	85,73	14,34	0,50	27,94	61,93	8,81	0,78	29,35
NBI	82,97	12,40	0,58	28,08	60,51	7,87	0,83	29,45
NBc	84,86	13,15	0,55	27,99	59,99	8,10	0,81	29,49
NL2	85,00	13,18	0,55	27,98	60,21	8,13	0,81	29,48
NL3	86,52	13,64	0,54	27,90	61,73	8,49	0,80	29,37
BIN	79,53	10,51	0,66	28,27	64,51	7,74	0,85	29,18
BIBI	79,51	10,40	0,68	28,27	65,16	7,74	0,86	29,13
BIBc	79,22	10,33	0,68	28,28	63,21	7,46	0,87	29,26
BIL2	79,24	10,33	0,68	28,28	63,18	7,45	0,87	29,27
BIL3	79,13	10,31	0,68	28,29	62,47	7,36	0,87	29,32
BcN	79,79	10,56	0,66	28,25	63,25	7,63	0,86	29,26
BcBI	79,28	10,34	0,68	28,28	63,26	7,48	0,87	29,26
BcBc	79,24	10,32	0,68	28,28	61,21	7,21	0,87	29,40
BcL2	79,26	10,32	0,68	28,28	61,18	7,20	0,87	29,41
BcL3	79,27	10,32	0,68	28,28	60,52	7,11	0,88	29,45
L2N	79,78	10,56	0,66	28,25	63,30	7,64	0,86	29,26
L2BI	79,27	10,33	0,68	28,28	63,26	7,48	0,87	29,26
L2Bc	79,23	10,31	0,68	28,28	61,22	7,21	0,87	29,40
L2L2	79,25	10,32	0,68	28,28	61,19	7,20	0,87	29,41
L2L3	79,26	10,32	0,68	28,28	60,51	7,11	0,88	29,45
L3N	80,13	10,63	0,65	28,23	63,55	7,71	0,85	29,24
L3BI	79,21	10,32	0,68	28,28	62,57	7,39	0,87	29,31
L3Bc	79,33	10,33	0,68	28,28	60,61	7,13	0,88	29,45
L3L2	79,36	10,33	0,68	28,28	60,57	7,12	0,88	29,45
L3L3	79,46	10,35	0,68	28,27	59,94	7,04	0,88	29,50

PORINIO STJUDENTO TESTO REZULTATAI („BABOON“, DIDINIMAS – 10 KARTŲ)

Tikrinta hipotezė	H	Tikimybė
$\mu_{BIN} > \mu_{BIBI}$	1	0,0026
$\mu_{BIN} > \mu_{BIBc}$	1	$6,78 \cdot 10^{-6}$
$\mu_{BIN} > \mu_{BIL2}$	1	$9,37 \cdot 10^{-6}$
$\mu_{BIN} > \mu_{BIL3}$	1	$1,33 \cdot 10^{-6}$
$\mu_{BIBI} > \mu_{BIBc}$	0	0,0529
$\mu_{BIBI} > \mu_{BIL2}$	0	0,0612
$\mu_{BIBI} > \mu_{BIL3}$	1	0,024
$\mu_{BIBc} > \mu_{BIL2}$	0	0,5284
$\mu_{BIBc} > \mu_{BIL3}$	0	0,3593
$\mu_{BIL2} > \mu_{BIL3}$	0	0,3331

Tikrinta hipotezė	H	Tikimybė
$\mu_{BcN} > \mu_{BcBI}$	1	$1,94 \cdot 10^{-6}$
$\mu_{BcN} > \mu_{BcBc}$	1	$3,56 \cdot 10^{-8}$
$\mu_{BcN} > \mu_{BcL2}$	1	$7,49 \cdot 10^{-8}$
$\mu_{BcN} > \mu_{BcL3}$	1	$6,53 \cdot 10^{-8}$
$\mu_{BcBI} > \mu_{BcBc}$	0	0,2005
$\mu_{BcBI} > \mu_{BcL2}$	0	0,2414
$\mu_{BcBI} > \mu_{BcL3}$	0	0,2304
$\mu_{BcBc} > \mu_{BcL2}$	0	0,5543
$\mu_{BcBc} > \mu_{BcL3}$	0	0,5394
$\mu_{BcL2} > \mu_{BcL3}$	0	0,4852

Tikrinta hipotezė	H	Tikimybė
$\mu_{L2N} > \mu_{L2BI}$	1	$1,77 \cdot 10^{-6}$
$\mu_{L2N} > \mu_{L2Bc}$	1	$3,16 \cdot 10^{-8}$
$\mu_{L2N} > \mu_{L2L2}$	1	$6,31 \cdot 10^{-8}$
$\mu_{L2N} > \mu_{L2L3}$	1	$5,53 \cdot 10^{-8}$
$\mu_{L2BI} > \mu_{L2Bc}$	0	0,1998
$\mu_{L2BI} > \mu_{L2L2}$	0	0,2374
$\mu_{L2BI} > \mu_{L2L3}$	0	0,2267
$\mu_{L2Bc} > \mu_{L2L2}$	0	0,5501
$\mu_{L2Bc} > \mu_{L2L3}$	0	0,5356
$\mu_{L2L2} > \mu_{L2L3}$	0	0,4856

Tikrinta hipotezė	H	Tikimybė
$\mu_{L3N} > \mu_{L3BI}$	1	$8,9 \cdot 10^{-10}$
$\mu_{L3N} > \mu_{L3Bc}$	1	$1,41 \cdot 10^{-10}$
$\mu_{L3N} > \mu_{L3L2}$	1	$4,04 \cdot 10^{-10}$
$\mu_{L3N} > \mu_{L3L3}$	1	$2,76 \cdot 10^{-9}$
$\mu_{L3BI} > \mu_{L3Bc}$	0	0,3585
$\mu_{L3BI} > \mu_{L3L2}$	0	0,4229
$\mu_{L3BI} > \mu_{L3L3}$	0	0,5456
$\mu_{L3Bc} > \mu_{L3L2}$	0	0,5659
$\mu_{L3Bc} > \mu_{L3L3}$	0	0,6812
$\mu_{L3L2} > \mu_{L3L3}$	0	0,6199

PORINIO STJUDENTO TESTO REZULTATAI („BABOON“, DIDINIMAS – 3 KARTAI)

Tikrinta hipotezė	H	Tikimybė
$\mu_{BIN} > \mu_{BIBI}$	0	0,6557
$\mu_{BIN} > \mu_{BIBc}$	1	$9,41 \cdot 10^{-13}$
$\mu_{BIN} > \mu_{BIL2}$	1	$2,94 \cdot 10^{-13}$
$\mu_{BIN} > \mu_{BIL3}$	1	0
$\mu_{BIBI} > \mu_{BIBc}$	1	$3,86 \cdot 10^{-14}$
$\mu_{BIBI} > \mu_{BIL2}$	1	$1,12 \cdot 10^{-14}$
$\mu_{BIBI} > \mu_{BIL3}$	1	0
$\mu_{BIBc} > \mu_{BIL2}$	0	0,4365
$\mu_{BIBc} > \mu_{BIL3}$	1	0,0015
$\mu_{BIL2} > \mu_{BIL3}$	1	0,0025

Tikrinta hipotezė	H	Tikimybė
$\mu_{BcN} > \mu_{BcBI}$	1	$1,8 \cdot 10^{-14}$
$\mu_{BcN} > \mu_{BcBc}$	1	0
$\mu_{BcN} > \mu_{BcL2}$	1	0
$\mu_{BcN} > \mu_{BcL3}$	1	0
$\mu_{BcBI} > \mu_{BcBc}$	1	$7,44 \cdot 10^{-15}$
$\mu_{BcBI} > \mu_{BcL2}$	1	$1,94 \cdot 10^{-15}$
$\mu_{BcBI} > \mu_{BcL3}$	1	0
$\mu_{BcBc} > \mu_{BcL2}$	0	0,4326
$\mu_{BcBc} > \mu_{BcL3}$	1	0,0037
$\mu_{BcL2} > \mu_{BcL3}$	1	0,0061

Tikrinta hipotezė	H	Tikimybė
$\mu_{L2N} > \mu_{L2BI}$	1	$7,32 \cdot 10^{-5}$
$\mu_{L2N} > \mu_{L2Bc}$	1	0
$\mu_{L2N} > \mu_{L2L2}$	1	0
$\mu_{L2N} > \mu_{L2L3}$	1	0
$\mu_{L2BI} > \mu_{L2Bc}$	1	$7,94 \cdot 10^{-15}$
$\mu_{L2BI} > \mu_{L2L2}$	1	$1,78 \cdot 10^{-15}$
$\mu_{L2BI} > \mu_{L2L3}$	1	0
$\mu_{L2Bc} > \mu_{L2L2}$	0	0,4258
$\mu_{L2Bc} > \mu_{L2L3}$	1	0,0028
$\mu_{L2L2} > \mu_{L2L3}$	1	0,0049

Tikrinta hipotezė	H	Tikimybė
$\mu_{L3N} > \mu_{L3BI}$	1	$5,55 \cdot 10^{-16}$
$\mu_{L3N} > \mu_{L3Bc}$	1	0
$\mu_{L3N} > \mu_{L3L2}$	1	0
$\mu_{L3N} > \mu_{L3L3}$	1	0
$\mu_{L3BI} > \mu_{L3Bc}$	1	$7,07 \cdot 10^{-14}$
$\mu_{L3BI} > \mu_{L3L2}$	1	$1,5 \cdot 10^{-14}$
$\mu_{L3BI} > \mu_{L3L3}$	1	0
$\mu_{L3Bc} > \mu_{L3L2}$	0	0,4198
$\mu_{L3Bc} > \mu_{L3L3}$	1	0,0031
$\mu_{L3L2} > \mu_{L3L3}$	1	0,0057