

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

მიხეილ ჯღამაძე

წრფივი გარდასახვების საფუძველზე სატელეკომუნიკაციო  
სიგნალების კომპაქტური კოდირების მეთოდების დამუშავება და  
გამოკვლევა

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად  
წარდგენილი დისერტაციის

ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

სადოქტორო პროგრამა “ტელეკომუნიკაცია” შიფრი 0402

თბილისი  
2014 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტში  
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი  
ტელეკომუნიკაციის დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: პროფესორი, ჯანიკო ხუნწარია

რეცენზენტები: პროფესორი, კონსტანტინე კამკამიძე  
პროფესორი, ნიკოლოზ აბზიანიძე

დაცვა შედგება 2015 წლის 12 თებერვალს, 12<sup>00</sup> საათზე საქართველოს  
ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის  
ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი  
VIII, აუდიტორია 504.

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,  
ხოლო ავტორეფერატისა – ფაკულტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი, პროფესორი

გ. ხელიძე

## სამუშაოს ზოგადი დახასიათება

**თემის აქტუალობა:** ვინაიდან თანამედროვე მსოფლიოში დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ინფორმაციის (ტელევიზია, ტექსტური ფაილი, უძრავი და მოძრავი გამოსახულება, მუსიკა, ხმოვანი ინფორმაცია და სხვა) სწრაფ მიღება/დამუშავება/გადაცემას და იზრდება ამ ინფორმაციის შენახვის მოთხოვნა, ამიტომ განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს მის წარმოდგენას კომპაქტურად.

მიუხედავად განვითარების ტემპებისა და ტექნოლოგიების სრულყოფისა, მაინც არსებობს დიდი მოცულობის მონაცემების გადაცემის პრობლემები, რაც დაკავშირებულია სატელეკომუნიკაციო არხების გამტარუნარიანობასა და მახსოვრობის მოწყობილობების ტევადობების შეზღუდულ შესაძლებლობებთან. მათი მუშაობის ხარისხი დიდად არის დამოკიდებული საკომუნიკაციო ქსელის გამტარუნარიანობაზე. ამგვარად, რაც უფრო ნაკლები მოცულობისა და მაღალი ხარისხის ინფორმაცია იქნება გადაცემული, მით უფრო მოქნილი და რენტაბელური იქნება ასეთი ქსელის აგება და მისი შემდგომი განვითარება. აღნიშნული პრობლემა მოითხოვს ციფრული სიგნალების კომპაქტურად წარმოდგენის მაქსიმალურად სრულყოფილი მეთოდების დამუშავებასა და გამოკვლევას, რის გამოც აღნიშნული პრობლემის გადაწყვეტა ტელეკომუნიკაციის სფეროს ერთ-ერთ აქტუალურ ამოცანას წარმოადგენს.

**სადისერტაციო სამუშაოს ძირითადი მიზანია** შემოთავაზებული ბლოკური და ზონური კოდირების მეთოდების საფუძველზე ფერად გამოსახულებათა კომპრესიის ფაქტორის ამაღლება კომპრესირებულ გამოსახულებათა ხარისხობრივი პარამეტრების გაუარესების გარეშე JPEG და MPEG სტანდარტებით გათვალისწინებული კომპრესიის მეთოდთან შედარებით. სამუშაოს ერთ-ერთ ძირითად მიზანს წარმოადგენს, აგრეთვე, შემოთავაზებული მეთოდებით კოდირებული საცდელი გამოსახულებების კომპაქტური კოდირების პარამეტრების შეფასება და მათი შედარება JPEG და MPEG რეკომენდაციების საფუძველზე კომპრესირებული გამოსახულებების შესაბამის პარამეტრებთან.

**კვლევის ძირითადი ამოცანები.** სადისერტაციო სამუშაოს ძირითად ამოცანებია:

1. ფერად გამოსახულებათა შემდგენების კომპრესიის ბლოკური კოდირებისა და დეკოდირების მეთოდების დამუშავება, მათი კომპიუტერული მოდელირება და კომპრესიის გაუმჯობესების შესაძლებლობების დადგენა ძალიან მცირე, მცირე, საშუალო და მაღალი დეტალობის საცდელი გამოსახულებებისათვის. კომპრესიის შესაბამისი ფაქტორების განსაზღვრა და მათი შედარება არსებული მეთოდით მიღწეულ ანალოგიურ პარამეტრებთან.

2. 256x256 ფორმატის ფერად გამოსახულებათა სიკაშკაშისა და ფერსხვაობითი შემდგენების შესაბამისი 8x8 ზომის ბლოკების დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის დაკვანტული ტრანსფორმანტების არამთავარი კოეფიციენტების მასივების სტატისტიკური მახასიათებლების შეფასება.

3. ფერად გამოსახულებათა შემდგენების დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის შესაბამისი ტრანსფორმანტების არამთავარი კოეფიციენტების მასივის კომპრესიის ზონური მეთოდის ალგორითმის დამუშავება და მისი ეფექტურობის განსაზღვრა.

4. საცდელი გამოსახულებების შემდგენების შესაბამისი ტრანსფორმანტების არამთავარი კოეფიციენტების მასივის სტატისტიკური პარამეტრების ანალიზი და მათ საფუძველზე ზონური კოდირების ადაპტური ალგორითმის დამუშავება კომპრესიის ფაქტორის ამაღლების მიზნით.

5. ტრანსფორმანტების ადაპტური ზონური კოდირების მეთოდის რეალიზაციისას ჰაფმანის მოდიფიცირებული ცხრილების შედგენა ტრანსფორმანტების სტატისტიკური მონაცემების გათვალისწინებით, რომლებიც მისადაგებულია (ოპტიმალურია) მოცემული გამოსახულების სიკაშკაშისა და ფერსხვაობითი შემდგენებისადმი.

6. გამოსახულებათა კომპრესიის ფაქტორის შემდგომი ამაღლების მიზნით ტრანსფორმანტების არამთავარი კოეფიციენტების სკანირებისათვის, გარდა არსებული მეთოდისა, ზიგზაგ-ვერტიკალური სკანირების გამოყენება და აღნიშნული ვარიანტებიდან საუკეთესოს შერჩევა კომპრესიის თვალსაზრისით.

7. ტრანსფორმანტების არამთავარი კოეფიციენტების მასივის ადაპტური უდანაკარგო კოდირების დამუშავებული მეთოდის შეხამება მთავარი კოეფიციენტების მასივის ადაპტურ უდანაკარგო კოდირებასთან.

8. გამოსახულებათა სამივე შემდგენის გარდასახვის კოეფიციენტების შემოთავაზებული ადაპტური ზონური უდანაკარგო კოდირების მეთოდით კომპრესიისას მისი ეფექტურობის შეფასება სხვადასხვა კლასის ფერადი საცდელი გამოსახულებებისათვის.

9. კომპრესიის შემოთავაზებული მეთოდებით კოდირებული გამოსახულებების ხარისხობრივი პარამეტრების დადგენა მათი შეფასების როგორც ობიექტური, ასევე სუბიექტური კრიტერიუმების საფუძველზე.

10. 256x256 ფორმატის ფერად გამოსახულებათა შემდგენების გარდასახვის კოეფიციენტების შემოთავაზებული მეთოდებით კოდირების დამუშავებული მეთოდების მოდელირება პროგრამა Mathcad-ის გამოყენებით და მიღებული შედეგების საფუძველზე შესაბამისი რეკომენდაციების შემუშავება.

**გამოკვლევის მეთოდები:** სამუშაოში დასმული პრობლემების ანალიზისა და შესაბამისი ამოცანების გადაწყვეტისათვის თეორიული და პრაქტიკული საკითხების დამუშავებისას გამოყენებულია ინფორმაციის თეორია, შემთხვევითი პროცესების თეორია, მატრიცებისა და რიცხვთა თეორია, ალბათობის თეორია და კომპიუტერული მოდელირების მეთოდები პროგრამა MathCad-ის უზრუნველყოფით.

**სამეცნიერო სიახლე.** ნაშრომის თემასთან დაკავშირებული კვლევის შედეგად მიღწეული სამეცნიერო სიახლეებია:

- ნაჩვენებია ფერად გამოსახულებათა სიკაშკაშისა და ფერსხვაობითი შემდგენების 8x8 ფორმატის ბლოკების დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის საფუძველზე გამოთვლილი დაკვანტული კოეფიციენტების კომპრესიის მაჩვენებლის გაუმჯობესების შესაძლებლობა გარდასახვის კოეფიციენტების JPEG და MPEG სტანდარტებით გათვალისწინებულ კოდირებასთან შედარებით;

- შემუშავებულია გამოსახულებათა შემდგენების გარდასახვის კოეფიციენტების კომპაქტური უდანაკარგო კოდირების (კომპრესიის)

ბლოკური მეთოდი და დაგენილია მისი ეფექტურობის პარამეტრები სხვადასხვა კლასის ფერადი გამოსახულების შემდგენებისათვის;

- შემუშავებულია გამოსახულებათა შემდგენების შესაბამისი დაკვანტული ტრანსფორმანტების არამთავარი კოეფიციენტების მასივის კომპაქტური უდანაკარგო კოდირების (კომპრესიის) ზონური მეთოდი, რომელიც ითვალისწინებს, აგრეთვე, კონკრეტული გამოსახულების შემდგენების შესაბამისი ტრანსფორმანტების სტატისტიკის საფუძველზე ჰაფმანის მოდიფიცირებული ცხრილების გამოყენებას;

- შედგენილია გარდასახვის დაკვანტული არამთავარი კოეფიციენტების უდანაკარგო კოდირებისათვის რეალური გამოსახულებებისადმი მისადაგებული ჰაფმანის მოდიფიცირებული ცხრილები აღნიშნული კოეფიციენტების მასივის სტატისტიკის გათვალისწინებით;

- შემუშავებული და გამოკვლეულია დაკვანტული ტრანსფორმანტების არამთავარი კოეფიციენტების მასივის ადაპტური ზონური კოდირების მთავარი კოეფიციენტების მასივის ადაპტურ კოდირებასთან შესამების ალგორითმი, რამაც უზრუნველყო კომპრესიის ფაქტორის შემდგომი გაუმჯობესება.

**სამუშაოს პრაქტიკული ღირებულება** განპირობებულია იმ ფაქტით, რომ სატელეკომუნიკაციო სფეროში მიმდინარეობს სწრაფი განვითარების პროცესები, რაც გულისხმობს როგორც მოძრავი, ისე უძრავი გამოსახულებების გადაცემას მაღალი ხარისხით და მცირე მოცულობით. გამოსახულებათა კომპაქტური კოდირების არსებული მეთოდის შესწავლა, ანალიზი და მათ საფუძველზე დამუშავებული მეთოდების დანერგვა საშუალებას მისცემს სატელეკომუნიკაციო სისტემების ინტეგრატორებს, მოთხოვნის შესაბამისად, ზუსტად შეარჩიონ პროდუქტი, რომლის დანერგვასაც აპირებენ.

გარდა ამისა, ნაშრომი შეიცავს ყველა აუცილებელ მონაცემს, მეთოდიკასა და რეკომენდაციას სატელეკომუნიკაციო და მახსოვრობის სისტემებისათვის გამოსახულებათა სიგნალების კომპაქტური კოდირების მეთოდების რეალიზაციისათვის და, აგრეთვე, კომპიუტერულ პროგრამებს ტელეკომუნიკაციის სპეციალობის ბაკალავრიატსა და მაგისტრატურაში შესაბამისი სასწავლო კურსების

ლაბორატორიულ-პრაქტიკული მეცადინეობების კომპიუტერული მოდელირებით ჩატარებისათვის.

**სამუშაოს აპრობაცია.** ნაშრომში მიღებული კვლევების შედეგები ასახულია ქ. ქუთაისში საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის “ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები” მოხსენებათა კრებულში გამოქვეყნებულ 2 სტატიაში (21-22. V. 2010 წ.), საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენციის “ახალი ტექნოლოგიები თანამედროვე მრეწველობაში” (29-30. IV. 2010 წ. თბილისი) შრომების კრებულში გამოქვეყნებულ 1 სტატიაში, საერთაშორისო საინჟინრო აკადემიისა და საქართველოს საინჟინრო აკადემიის სამეცნიერო ჟურნალში “Georgian Engineering News” ( 3, 2011 წ. თბილისი) გამოქვეყნებულ 1 სტატიაში, საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის ყოველთვიური სამეცნიერო-რეფერირებული ჟურნალში “მეცნიერება და ტექნოლოგიები” (№10-12, თბილისი, 2011) გამოქვეყნებულ 1 სტატიაში, საერთაშორისო საინჟინრო აკადემიისა და საქართველოს საინჟინრო აკადემიის სამეცნიერო ჟურნალში “Georgian Engineering News” ( 2, 2012 წ. თბილისი) გამოქვეყნებულ 1 სტატიაში და საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჟურნალი “განათლება”-ში (№1(4), თბილისი 2012 წ.) გამოქვეყნებულ 1 სტატიაში.

**სამუშაოს სტრუქტურა.** სამუშაო შედგება შესავლისაგან, ლიტერატურის მიმოხილვისაგან, შედეგებისა და მათი განხილვისაგან, ოთხი თავისაგან, დასკვნისაგან, გამოყენებული ლიტერატურისაგან და დანართებისაგან. სამუშაოს მოცულობა შეადგენს 166 გვერდს, რომელთა შორის 96 გვერდი ძირითადი ტექსტია 13 ნახაზითა და 35 ცხრილით. გამოყენებული ლიტერატურა შეიცავს 54 დასახელებას.

## ნაშრომის შინაარსი

სადისერტაციო ნაშრომის შესავალ ნაწილში დასაბუთებულია თემის აქტუალობა, მოყვანილია გამოსაკვლევი საკითხების მოკლე მიმოხილვა, ჩამოყალიბებულია სადისერტაციო ნაშრომის მიზნები და ამოცანები, ჩამოთვლილია კვლევის შედეგად მიღწეული სამეცნიერო

სიასლევები, განსაზღვრულია სადისერტაციო ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულება და მიღებული შედეგების გამოყენების სფერო.

ნაშრომის პირველ თავში განხილულია გამოსახულებათა დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის ტრანსფორმანტების უდანაკარგო კომპაქტური კოდირების ბლოკური მეთოდი. ნაჩვენებია, რომ ციფრული სიგნალების კომპაქტური კოდირების თვალსაზრისით საუკეთესოდაა მიჩნეული ციფრულ გამოსახულებათა 8x8 ფორმატის ფრაგმენტების გარდაქმნა დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის გამოყენებით, რომელიც შესაბამისი საერთაშორისო JPEG და MPEG სტანდარტების ერთ-ერთ ძირითად კომპონენტს წარმოადგენს.

ამავე თავში მოყვანილია სადისერტაციო ნაშრომში დასმული ამოცანების რეალიზაციის მიზნით შერჩეული 30 საცდელი გამოსახულების სურათები, რომელთა შორის ერთი ნაწილი გამოირჩევა ძალიან მცირე დეტალობით, ხოლო მეორე, მესამე და მეოთხე შესაბამისად – მცირე, საშუალო და მაღალი დეტალობით (სურ. 1), და აღწერილია კოდირების ბლოკური მეთოდის ძირითადი ეტაპები.



ა



ბ



გ



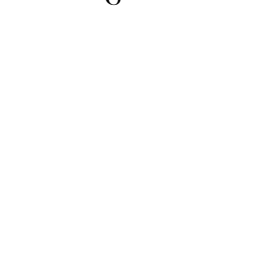
დ



ე



ვ



ზ



თ







ო

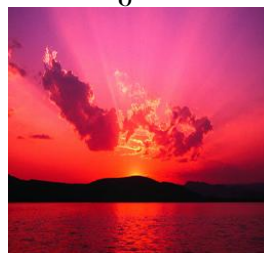
კ

ზ

მ



ბ



თ



ვ



ქ



ღ



ყ



შ



ჩ



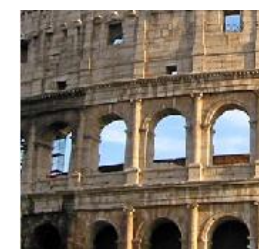
ც



ძ



წ



ჭ



ხ



ძ



წ



ბ



ძ



ჭ

სურ. 1. პირველადი საცდელი გამოსახულებები “ლენა” (ა), “ბიონსე” (ბ), “ბუნება” (გ), “ნაგაზი” (დ), “თიბისი” (ე), “კატა” (ვ), “ციხესიმაგრე” (ზ), “ბავშვები” (თ), “ალუბლები” (ი), “კროსი” (კ), “ფერმა” (ლ), “პარკი” (მ), “კენკრა” (ნ), “დაისი” (ო), “ზამთარი” (პ), “გარნიტური” (ჟ), “შროშანი” (რ), “მთები” (ს), “ტბა” (ც), “მაღაზია” (უ), “კარუსელი” (ფ), “შემოდგომა” (ქ), “კოშკი” (ღ), “კოლიზეუმი” (ყ), “ტექსტი” (შ), “ფონი” (ჩ), “ღრუბელი” (ც), “მამადავითი” (ძ), “ფუნიკულორი” (წ), “ტელეანძა” (ჭ)

გამოსახულებათა კომპაქტური კოდირების შემოთავაზებული მეთოდის არსი განხილულია  $[F_1(u,v)]$  ტრანსფორმანტას მაგალითზე, რომელიც მიიღება დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის შედეგად ფორმირებული  $[F(u,v)]$  ტრანსფორმანტას დაკვანტვით.

პირველი თავის დასასრულს მოყვანილია ბლოკური კოდირების მეთოდის ეფექტურობის მაჩვენებლები ოთხი სხვადასხვა (ძალზე მცირე, მცირე, საშუალო და მაღალი) დეტალობით გამორჩეული ფერადი გამოსახულების თითოეული შემდგენისა და სრული სიგნალისათვის (ცხრილი 1) და ისინი შედარებულია კოდირების არსებული მეთოდის ანალოგიურ მონაცემებთან. კოდირების არსებულ მეთოდთან შედარებისას კომპრესიის ეფექტურობის განსაზღვრისას მხედველობაშია მიღებული ის გარემოება, რომ მოცემული საცდელი  $256 \times 256$  ფორმატის გამოსახულებისათვის სიკაშკაშის შემდგენის ფრაგმენტების რაოდენობაა 1024, ხოლო თითოეული ფერსხვაობითი შემდგენის ფრაგმენტებისა – 256.

ცხრილი 1. ფერადი გამოსახულებების კოდირებისათვის საჭირო ბიტების რაოდენობა

საცდელი გამოსახულებები	არსებული მეთოდით				შემოთავაზებული მეთოდით				შესამდგენი მეთოდი
	Y	C <sub>r</sub>	C <sub>b</sub>	სულ	Y	C <sub>r</sub>	C <sub>b</sub>	სულ	სულ

“ფონი”	8307	1164	1180	10651	<b>5613</b>	<b>879</b>	<b>914</b>	<b>7406</b>	<b>7407</b>
“ლენა”	55771	<b>4108</b>	<b>4323</b>	64202	<b>55287</b>	5221	5566	66074	<b>63719</b>
”ალუბლე- ბი”	64684	<b>7524</b>	<b>5174</b>	77382	<b>64603</b>	7612	6004	78219	<b>77302</b>
“ზამთა- რი”	<b>66563</b>	<b>3017</b>	<b>4286</b>	<b>73866</b>	66617	4215	4901	75733	<b>73867</b>

ცხრილში მოყვანილი მნიშვნელობების მიხედვით შეიძლება დავასკვნათ შემდეგი: ძალიან მცირე დეტალობის გამოსახულების (“ფონი”) შემოთავაზებული მეთოდით კოდირებისას მიიღწევა უფრო მეტი კომპრესიის ფაქტორი არსებულ მეთოდთან შედარებით; მცირე და საშუალო დეტალობის გამოსახულებების (“ლენა”, “ალუბლები”) კოდირებისას შემოთავაზებული მეთოდით უფრო მეტი კომპრესიის ფაქტორი არსებულ მეთოდთან შედარებით მიიღება სიკაშკაშის შემდგენისათვის, ხოლო ფერსხვაობითი შემდგენებისათვის – უარესი შედეგი; მაღალი დეტალობის გამოსახულების (“ზამთარი”) შემოთავაზებული მეთოდით კოდირებისას სამივე შემდგენისათვის შედეგები უარესია. კომპაქტური კოდირების არსებული და შემოთავაზებული ვარიანტებიდან კომპრესიის თვალსაზრისით საუკეთესოს არჩევით (კოდირების პროცესის ადაპტაციით) პირველი სამი გამოსახულების შესაბამისი სრული სიგნალისათვის მიიღება უკეთესი შედეგი არსებულთან შედარებით. ცხრილის მონაცემებში გათვალისწინებულია შეხამებული კოდირების შემთხვევაში კოდირების ვარიანტის შესახებ დამატებითი ერთი საინფორმაციო სიმბოლოს გამოყენების აუცილებლობა.

თუ გამოსახულების ერთ ელემენტზე დახარჯული ბიტების რაოდენობას ავლნიშნავთ P-თი, მაშინ კოდირების არსებული და შემოთავაზებული მეთოდების გამოყენებისას იგი გამოითვლება გამოსახულების არსებული და შემოთავაზებული მეთოდებით კოდირებისას დახარჯული სიმბოლოების ჯამური რაოდენობების გაყოფით საცდელი გამოსახულებების ელემენტების რაოდენობაზე ( $256 \times 256 = 65536$ ). ვინაიდან საწყისი გამოსახულების თითოეული ელემენტის სამივე შემდგენიდან ყოველი მათგანისათვის საჭიროა 8 ბიტი, ამიტომ სრული სიგნალის თითოეული

ელემენტისათვის დაიხარჯება 24 ბიტი, რის გამოც კომპრესიის ფაქტორი  $F=24/P$  (ცხრილი 2).

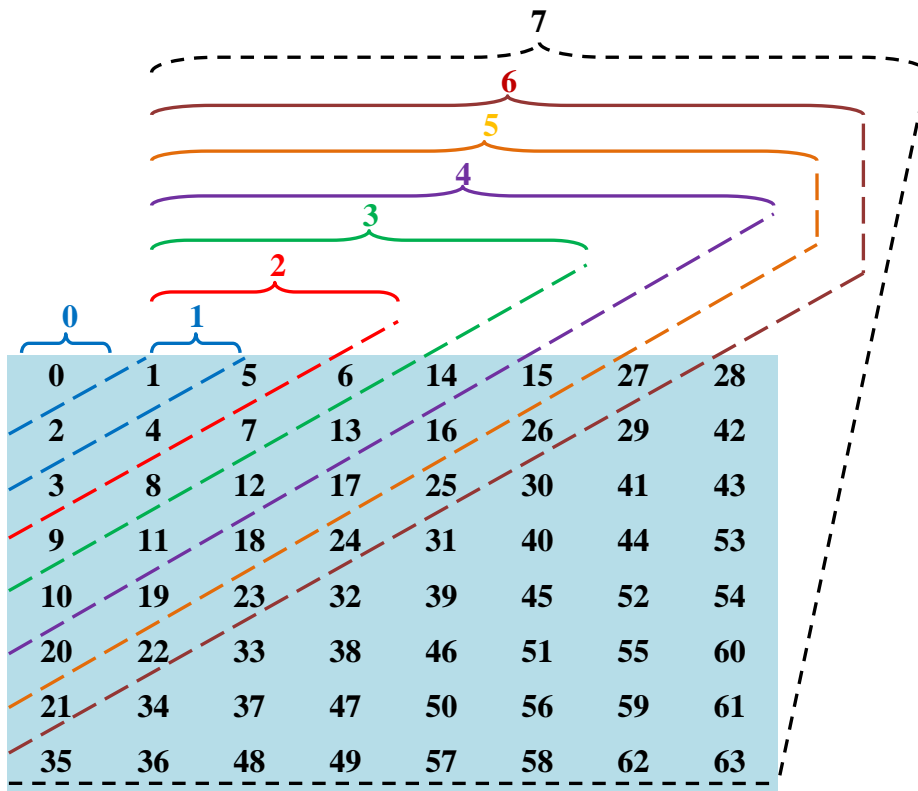
ცხრილი 2. ფერადი გამოსახულებების კომპაქტური ბლოკური კოდირების ეფექტურობა

საცდელი გამოსახულებები	არსებული მეთოდით		შემოთავაზებული მეთოდით		შესამებული მეთოდით	
	P	F	P	F	P	F
“ფონი”	0.163	147.24	<b>0.113</b>	<b>212.39</b>	<b>0.113</b>	<b>212.39</b>
“ლენა”	0.980	24.49	1.008	23.80	<b>0.972</b>	<b>24.69</b>
“ალუბლები”	1.181	20.32	1.194	20.10	<b>1.180</b>	<b>20.34</b>
“ზამთარი”	<b>1.127</b>	<b>21.30</b>	1.156	20.76	<b>1.127</b>	<b>21.30</b>

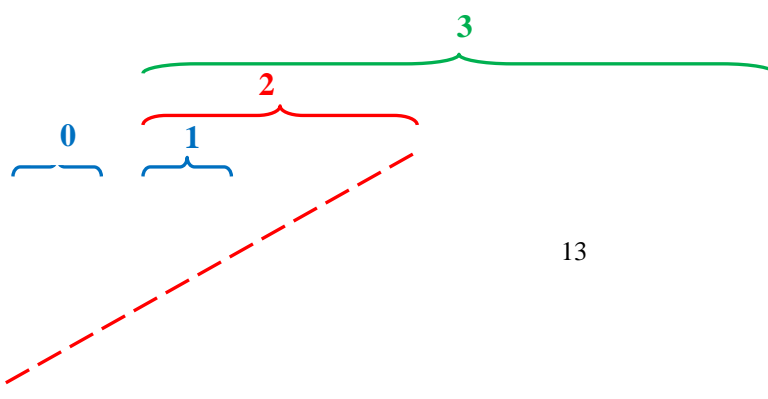
ნაშრომის მეორე თავი ეძღვნება გამოსახულებათა დაკვანტული ტრანსფორმანტების არამთავარი კოეფიციენტების მასივის კომპრესიას კოდირების ზონური მეთოდით. კომპრესიის მიზანშეწონილობის განსაზღვრის მიზნით ძალიან მცირე, მცირე, საშუალო და მაღალი (“ფონი”, “ლენა”, “ალუბლები” და “ზამთარი”) დეტალობის ფერადი გამოსახულებებისათვის მოდელირების გზით აგებულია ჰისტოგრამები მათი თითოეული შემდგენისათვის, საიდანაც გამომდინარეობს, რომ კოეფიციენტების მნიშვნელობები სამივე შემდგენისათვის ნულის მიდამოშია განლაგებული, რაც მიუთითებს არამთავარი კოეფიციენტების უდანაკარგო კომპრესიის ეფექტურობაზე.

ნაშრომში შემოთავაზებულია გამოსახულებათა ტრანსფორმანტების არამთავარი კოეფიციენტების მასივის უდანაკარგო ზონური კოდირების მეთოდი, რომლის ალგორითმიც მდგომარეობს შემდეგში: კოდირების დასაწყისში სიკაშკაშის შემდგენის შესაბამისი ტრანსფორმანტას არამთავარი კოეფიციენტების მასივი იყოფა რვა (0-დან 7-ის ჩათვლით) ზონად (ნახ. 2), ხოლო ფერსხვაობითი შემდგენებისა – ოთხ (0-დან 3-ის ჩათვლით) ზონად (ნახ. 3). აღსანიშნავია, რომ ზონებად დაყოფა ხორციელდება ტრანსფორმანტების კოეფიციენტების ზიგზაგ-ჰორიზონტალური სკანირების არსებული პრინციპის შენარჩუნებით. ფერსხვაობითი შემდგენებისათვის მხოლოდ 4 ზონის გამოყენება საკმარისია იმის გათვალისწინებით, რომ უმრავლესი გამოსახულებებისათვის ფერსხვაობითი

შემდგენების შესაბამისი სკანირებული მიმდევრობის კოეფიციენტების უმრავლესობა, როგორც წესი, ნულის ტოლია (ნულოვანია). შემდეგ ეტაპზე ზიგზაგ-ჰორიზონტალური სკანირების შედეგად ტრანსფორმანტას არამთავარი კოეფიციენტების ორგანზომილებიანი მასივი დალაგდება ერთგანზომილებიანი მასივის სახით ნახ. 2-ზე და ნახ. 3-ზე კოეფიციენტებისათვის მინიჭებული ნომრების ზრდადი თანმიმდევრობით. იმის გამო, რომ გამოსახულებების Y შემდგენის ტრანსფორმანტებისათვის გამოყენებულია 8 ზონა, ხოლო ფერსხვაობითი C<sub>r</sub> და C<sub>b</sub> შემდგენების ტრანსფორმანტებისათვის – 4 ზონა, ამიტომ ზონების ნომრების კოდირებისათვის პირველ შემთხვევაში საჭიროა 3 ბიტი, ხოლო მეორე შემთხვევაში – 2 ბიტი. ამის შემდგომ ხდება ზონების დაყოფა მინიზონებად მე-3 და მე-4 ცხრილებში ნაჩვენები წესით.



ნახ. 2. ტრანსფორმანტას არამთავარი კოეფიციენტების მასივის ზონების განაწილების პრინციპი ფერადი გამოსახულების სიკაშკაშის Y შემდგენისათვის





0	1	5	6	14	15	27	28
2	4	7	13	16	26	29	42
3	8	12	17	25	30	41	43
9	11	18	24	31	40	44	53
10	19	23	32	39	45	52	54
20	22	33	38	46	51	55	60
21	34	37	47	50	56	59	61
35	36	48	49	57	58	62	63

ნახ. 3. ტრანსფორმანტას არამთავარი კოეფიციენტების მასივის ზონების განაწილების პრინციპი ფერადი გამოსახულების ფერსხვაობითი  $C_r$  და  $C_b$  შემდგენებისათვის

ცხრილი 3. მინიზონებში შემავალი ტრანსფორმანტების სკანირებული მიმდევრობის კოეფიციენტების ნომრები გამოსახულებების შემდგენებისათვის

მინიზონის ნომერი	სკანირებული მიმდევრობის კოეფიციენტების ნომრები	მინიზონის ნომერი	სკანირებული მიმდევრობის კოეფიციენტების ნომრები
Y			
2.1	3	5.2	18, 19, 20
2.2	4, 5	6.1	21, 22, 23, 24
3.1	6, 7	6.2	25, 26, 27
3.2	8, 9	7.1	28, 29, 30
4.1	10, 11	7.2	31, 32, 33, 34, 35
4.2	12, 13, 14	7.3	36, 37, 38, 39, 40, 41, 42
5.1	15, 16, 17	7.4	43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63
$C_r$ და $C_b$			
2.1	3, 4	3.1	6, 7
2.2	5	-	-

ამავე თავში მოყვანილია შემოთავაზებული კოდირების ზონური მეთოდის ეფექტურობის პარამეტრები. ამ მიზნით კოდირების ზონური მეთოდით დამუშავებულია საცდელი ფერადი გამოსახულებები და მათი შედეგები (საჭირო ბიტების რაოდენობები) როგორც სიკაშკაშის, ასევე ფერსხვაობითი შემდგენებისა და შესაბამისი სრული სიგნალებისათვის მოცემულია მე-4 ცხრილში. ცხრილში მოცემულია, აგრეთვე, არსებული მეთოდით კოდირების მანვენებლები სრული სიგნალისათვის და მასში წითლადაა ნაჩვენები საუკეთესო შედეგები. ცხრილში მოყვანილი მნიშვნელობების მიხედვით კონკრეტული გამოსახულებების შემოთავაზებული ზონური კოდირების მეთოდით კომპრესიის შედეგად მიღებული ეფექტურობის მონაცემების ანალიზის საფუძველზე შეიძლება აღინიშნოს შემდეგი: მიუხედავად იმისა, რომ ზოგიერთი გამოსახულებისათვის (“ბუნება”, “ნაგაზი”, “კატა”, “ციხესიმაგრე”, “ფერმა”, “დაისი”, “ხამთარი”, “გარნიტური”, “ტბა”, “შემოდგომა”, “კოშკი”, “კოლიზეუმი”, “მამადავითი”, “ფუნიკულიორი”) შემოთავაზებული მეთოდით კოდირება ცალკეული შემდგენისათვის აღმოჩნდა უფრო ეფექტური, შესაბამისი სრული სიგნალისათვის იგი არ იძლევა უკეთეს შედეგს; ზოგიერთი გამოსახულებისათვის (“ლენა”, “ბიონსე”, “ბავშვები”, “ალუბლები”, “კროსი”, “პარკი”, “კენკრა”, “შროშანი”, “მადაზია”, “კარუსელი”) შემოთავაზებული ზონური მეთოდით კოდირება მისი არცერთი შემდგენისათვის არ აღმოჩნდა ეფექტური; შემოთავაზებული ზონური მეთოდით კოდირება ეფექტური აღმოჩნდა ისეთი გამოსახულებებისათვის, სადაც დეტალების რაოდენობა მცირეა, არ არსებობს მკვეთრი გადასვლები (კონტურები) და გამოსახულება თითქმის ერთფეროვანია (არ შეიცავს ფერთა დიდ გამას). ასეთი გამოსახულებებია: “თი-ბი-სი”, “მთები”, “ტექსტი”, “ფონი”, “ღრუბელი” და “ტელეანბა”.

ცხრილი 4. საცდელი გამოსახულებების კოდირებისათვის საჭირო ბიტების რაოდენობები (M) მათი ზონური და არსებული მეთოდებით კოდირებისას

საცდელი გამოსახულებები	M <sub>ზ</sub> , ზონური მეთოდით				M <sub>არ</sub> , არსებული მეთოდით
	Y	Cr	Cb	ჯამური	ჯამური
1	2	3	4	5	6

“ლენა”	57654	4167	4439	66260	<b>64202</b>
“ბიონსე”	54680	4111	4743	63534	<b>61311</b>
“ბუნება”	72746	<b>2749</b>	<b>3078</b>	78573	<b>75608</b>
“ნაგაზი”	54257	<b>2110</b>	<b>2534</b>	58901	<b>57658</b>
“თი-ბი-სი”	45460	<b>758</b>	<b>878</b>	<b>47096</b>	47519
“კატა”	64280	<b>2863</b>	3975	71118	<b>68465</b>
“ციხესიმაგრე”	64843	<b>1633</b>	3587	70063	<b>68341</b>
“ბავშვები”	86367	4193	6015	96575	<b>92615</b>
“ალუბლები”	67513	8338	5352	81203	<b>77382</b>
“კროსი”	98272	7097	7470	112839	<b>106351</b>
“ფერმა”	79971	<b>3398</b>	3975	87344	<b>84030</b>
“პარკი”	64718	6563	14029	85310	<b>76394</b>
“კენკრა”	112228	5989	4097	122314	<b>112612</b>

ცხრილი 4. (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6
“დაისი”	29535	7102	3285	39922	<b>38472</b>
“ზამთარი”	68390	2995	4457	75842	<b>73866</b>
“გარნიტური”	44932	3584	<b>3009</b>	51525	<b>51062</b>
“შრომანი”	86196	6687	14808	107691	<b>95723</b>
“მთები”	<b>16294</b>	<b>1287</b>	<b>1232</b>	<b>18813</b>	20093
“ტბა”	<b>35804</b>	3730	<b>2927</b>	42461	<b>42309</b>
“მაღაზია”	70272	6979	3477	80728	<b>76818</b>
“კარუსელი”	51258	6992	12496	70746	<b>62163</b>
“შემოდგომა”	110153	<b>3056</b>	4074	117283	<b>110202</b>
“კოშკი”	81586	<b>2593</b>	<b>2685</b>	86864	<b>83388</b>
“კოლიზეუმი”	82904	<b>3333</b>	4062	90299	<b>86960</b>
“ტექსტი”	<b>38877</b>	<b>1771</b>	<b>1764</b>	<b>42412</b>	43409
“ფონი”	<b>4910</b>	<b>658</b>	<b>676</b>	<b>6244</b>	10651
“ღრუბელი”	<b>21949</b>	<b>1866</b>	<b>2138</b>	<b>25953</b>	26901
“მამადავითი”	43761	<b>1805</b>	<b>2613</b>	48179	<b>48022</b>
“ფუნიკულორი”	40469	<b>1442</b>	<b>2571</b>	44482	<b>44208</b>
“ტელეანძა”	<b>23102</b>	<b>1730</b>	<b>2280</b>	<b>27112</b>	28323



მე-5 ცხრილში მოცემულია კოდირების არსებული (ა) და შემოთავაზებული ზონური (ზ) მეთოდების ეფექტურობის პარამეტრები (გამოსახულების ერთ ელემენტზე გადათვლილი სიმბოლოების რაოდენობები –  $P_{არ}$  და  $P_{ზ}$ , კომპრესიის ფაქტორები –  $F_{არ}$  და  $F_{ზ}$  და ზონური კოდირებისას სიმბოლოების რაოდენობაში მიღებული მოგების პროცენტი) იმ გამოსახულებების სრული სიგნალისათვის, რომლებისთვისაც ზონური კოდირება აღმოჩნდა უფრო ეფექტური.

სადისერტატო ნაშრომის მესამე თავში შემოთავაზებული და გამოკვლეულია გამოსახულებათა კომპაქტური ადაპტური ზონური კოდირების მეთოდი და დადგენილია მისი ეფექტურობის მაჩვენებლები ყველა საცდელი გამოსახულებისათვის. აღნიშნული მეთოდი ეყრდნობა ტრანსფორმანტების დაკვანტული კოეფიციენტების სტატისტიკური მახასიათებლების გათვალისწინებას. სტატისტიკური მახასიათებლებიდან პირველ რიგში დადგენილია დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის არამთავარი კოეფიციენტების სივრცეში ნულოვანი ( $N_0$ ) და არანულოვანი ( $1024-N_0$ ) ტრანსფორმანტების რაოდენობა.

ცხრილი 5. საცდელ ფერად გამოსახულებათა კომპრესიის ეფექტურობა არსებული და ზონური მეთოდებით

საცდელი გამოსახულებები	არსებული მეთოდით		შემოთავაზებული მეთოდით		მოგების %
	$P_{არ}$	$F_{არ}$	$P_{ზ}$	$F_{ზ}$	
“თი-ბი-სი”	0.725	33.100	<b>0.719</b>	<b>33.397</b>	<b>0.90</b>
“მთები”	0,307	78,279	<b>0.287</b>	<b>83.605</b>	<b>6.80</b>
“ტექსტი”	0,662	36,234	<b>0.647</b>	<b>37.085</b>	<b>2,35</b>
“ფონი”	0.163	147.673	<b>0.095</b>	<b>251.900</b>	<b>70.58</b>
“ღრუბელი”	0.410	58.469	<b>0.396</b>	<b>60.604</b>	<b>3.65</b>
“ტელეანბა”	0.432	55.533	<b>0.414</b>	<b>58.014</b>	<b>4.47</b>

ნაჩვენებია, რომ ზონებსა და მინიზონებში კოეფიციენტების განაწილების პრინციპი შეიძლება შეიცვალოს ისეთი გამოსახულებებისათვის, რომლებსაც გააჩნიათ ნულოვანი არამთავარი კოეფიციენტებისაგან

შედგენილი ტრანსფორმანტების ისეთი რაოდენობა, რომელიც ზონების აღნიშვნისათვის ჯამში მოგვცემს უფრო ნაკლები რაოდენობის ბიტების გამოყენების შესაძლებლობას და გააუმჯობესებს კომპრესიის ფაქტორს. ვინაიდან საცდელი გამოსახულებების სიკაშკაშის შემდგენის ზომაა 256x256, ხოლო თითოეული ფერსხვაობითი შემდგენისა – 128x128, ამიტომ სიკაშკაშის შემდგენისათვის 8x8 ზომის ფრაგმენტების რაოდენობაა 1024 ( $N_{yფრ}=1024$ ), ხოლო ფერსხვაობითი შემდგენების იმავე ზომის ფრაგმენტებისა – 256 ( $N_{Crფრ}=256$ ).  $N_0$ -ით ავლნიშნოთ ნულოვანი არამთავარი კოეფიციენტებისაგან შედგენილი ტრანსფორმანტების რაოდენობა,  $N$ -ით – დანარჩენი ტრანსფორმანტების რაოდენობა და  $N_b$ -ით – ზონების რაოდენობა. მაშინ ზონების კოდირებისათვის გამოყენებული ბიტების რაოდენობის ეკონომია შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი სისტემის ამოხსნით.

$$\begin{cases} N_0 + N = N_{ფრ} , \\ N_0 + (1 + \log_2 N_b)N < N_{ფრ} \log_2 N_b, \end{cases} \quad \text{საიდანაც: } N_0 > N_{ფრ} / \log_2 N_b .$$

ცხრილი 6. ნულოვანი არამთავარი კოეფიციენტებისაგან შედგენილი ტრანსფორმანტების რაოდენობის მონაცემები საცდელი გამოსახულებების სამივე ( $Y$ ,  $C_r$  და  $C_b$ ) შემდგენისათვის

გამოსახულებები	$N_0$			გამოსახულებები	$N_0$		
	$Y$	$C_r$	$C_b$		$Y$	$C_r$	$C_b$
1	2	3	4	1	2	3	4
“ლენა”	26	56	59	“გარნიტური”	56	81	91
“ბიონსე”	129	54	46	“შროშანი”	52	22	42
“ბუნება”	30	<b>177</b>	86	“მთები”	117	<b>138</b>	<b>156</b>
“ნაგაზი”	135	<b>140</b>	127	“ტბა”	<b>688</b>	119	<b>138</b>
“თი-ბი-სი”	<b>399</b>	<b>239</b>	<b>226</b>	“მაღაზია”	15	60	77
“კატა”	6	<b>146</b>	125	“კარუსელი”	84	119	111
“ციხესიმაგრე”	<b>378</b>	<b>175</b>	100	“შემოდგომა”	0	72	44
“ბავშვები”	0	64	30	“კოშკი”	53	92	110
“ალუბლები”	45	32	40	“კოლიზეუმი”	10	93	60
“კროსი”	6	30	26	“ტექსტი”	161	<b>160</b>	<b>160</b>
“ფერმა”	6	66	49	“ფონი”	<b>779</b>	<b>253</b>	<b>253</b>

“პარკი”	240	60	79	“ღრუბელი”	<b>369</b>	<b>157</b>	<b>143</b>
“კენკრა”	1	<b>161</b>	<b>167</b>	“მამადავითი”	0	125	79
“ღაისი”	97	24	70	“ფუნიკული”	168	<b>158</b>	94
“ზამთარი”	1	59	16	“ტელეანძა”	<b>426</b>	<b>168</b>	<b>151</b>

ამრიგად, სიკაშკაშის შემდგენის შესაბამისი ნულოვანი არამთავარი კოეფიციენტებისაგან შედგენილი ტრანსფორმანტების რაოდენობისათვის უნდა დაკმაყოფილდეს პირობა  $N_0 > 341, (3)$  ( $N_{გრ} = 1024$  და  $\log_2 N_0 = 3$ ), ხოლო ფერსხვაობითი შემდგენებისათვის –  $N_0 > 128$  ( $N_{გრ} = 256$  და  $\log_2 N_0 = 2$ ). მე-6 ცხრილში მოყვანილია ნულოვანი არამთავარი კოეფიციენტებისაგან შედგენილი ტრანსფორმანტების რაოდენობის მონაცემები საცდელი გამოსახულებების სამივე შემდგენისათვის.

ცხრილი 6-დან გამომდინარეობს, რომ გამოსახულებების სიკაშკაშის Y შემდგენებიდან დადგენილ პირობას აკმაყოფილებენ: “თი-ბი-სი”, “ციხესიმაგრე”, “ტბა”, “ფონი”, “ღრუბელი” და “ტელეანძა”. ამ გამოსახულებების ნულოვანი არამთავარი კოეფიციენტებისაგან შედგენილი ტრანსფორმანტების ზონის კოდირებისთვის საკმარისია 1 ბიტი, ხოლო დანარჩენი ტრანსფორმანტების ზონების კოდირებისათვის კი საჭირო იქნება 4 ბიტი. მაგალითად, გამოსახულება “თი-ბი-სი-ს” Y შემდგენის ზონების კოდირებისათვის მოცემულ შემთხვევაში დაიხარჯა  $399 + 625 \times 4 = 2899$  ბიტი მაშინ, როდესაც ზონების ნომრების 3-ბიტიანი კოდირებისას საჭირო იქნებოდა  $1024 \times 3 = 3072$  ბიტი, ანუ 173 ბიტით მეტი.

მესამე თავში ასევე დადგენილია, რომ შესაძლებელია არამთავარი არანულოვანი კოეფიციენტების ტრანსფორმანტებში ზონების განაწილების განსხვავებული (შედარებით ოპტიმალური) ვარიანტის გამოყენება. კერძოდ, ნაჩვენებია არამთავარი კოეფიციენტების სკანირებულ მიმდევრობაში ბოლო არანულოვანი კოეფიციენტის რიგითი ნომრის  $N_s$  გათვალისწინების მიზანშეწონილობა. მისი კოდირება ხდება 6-თანრიგა კოდით (სულ 63 კოეფიციენტი). მე-7 ცხრილში სანიმუშოდ მოყვანილია  $N_s$ -ს მონაცემები სხვადასხვა დეტალობის საცდელი გამოსახულებების სამივე შემდგენისათვის.

ცხრილი 7. ტრანსფორმანტების არამთავარი კოეფიციენტების სკანირებული მიმდევრობის ბოლო არანულოვანი კოეფიციენტის რიგითი ნომრების ( $N_s$ ) ნიმუშები საცდელი გამოსახულებების სამივე ( $Y$ ,  $C_r$  და  $C_b$ ) შემდგენისათვის

ამოსახულებები	$N_s$			გამოსახულებები	$N_s$		
	$Y$	$C_r$	$C_b$		$Y$	$C_r$	$C_b$
“ფონი”	12	2	9	“აღუბლები”	53	18	12
“ლენა”	53	12	13	“ზამთარი”	60	8	12

სკანირებული მიმდევრობის ბოლო არანულოვანი კოეფიციენტის რიგითი ნომერი ( $N_s$ ) განსაზღვრით შეიძლება კოდირებისათვის საჭირო ზონების მინიმალური რაოდენობის დადგენა. იმ შემთხვევაში, როდესაც  $N_s=0$ , მაშინ გამოსახულების შემდგენის შესაბამისი ყველა ტრანსფორმანტას არამთავარი კოეფიციენტი ნულის ტოლია და ამიტომ ზონების ნომრის კოდირებისათვის არ დაიხარჯება არც ერთი სიმბოლო. იმ შემთხვევაში კი, როდესაც მაგალითად სიკაშკაშის  $Y$  შემდგენისათვის  $N_s=12$ -ს (გამოსახულების “ფონი” სიკაშკაშის შემდგენი), მაშინ მისთვის საკმარისი აღმოჩნდება ოთხი ზონა და ზონების ნომრის კოდირებისთვის დაიხარჯება არა 3, არამედ 2 ბიტი. ანალოგიურია მსჯელობა ფერსხვაობითი შემდგენებისთვისაც.

მესამე თავში გამოსახულებათა კომპრესიის ფაქტორის გაუმჯობესების მიზნით დამუშავებულია ჰაფმანის მოდიფიცირებული ცხრილები, რომლებიც ეყრდნობა  $N_s$ -ს, მოცემული გამოსახულების შესაბამისი არამთავარი კოეფიციენტებიდან მაქსიმალურის მონაცემებს ( $M$ ) და მისი შესაბამისი ორობითი თანრიგების რაოდენობას ( $R_{აქს.}$ ). დადგენილია, რომ რეალური გამოსახულებების შესაბამისი დაკვანტული ტრანსფორმანტების კოეფიციენტების კოდირებისათვის საკმარისია მაქსიმუმ 7 ბიტი ( $R_{აქს.}=7$ ), ვინაიდან არცერთი დაკვანტული არამთავარი კოეფიციენტი არ აღემატება 94-ს ( $M=94$ ).  $R_{აქს.}$  კი შეიძლება წარმოვადგინოთ 3-თანრიგა კოდით. იგი შეიცავს ინფორმაციას მოცემული გამოსახულების შემდგენის შესაბამისი არამთავარი კოეფიციენტების მაქსიმალური მნიშვნელობის შესახებ და ჰაფმანის მოდიფიცირებული ცხრილის ვარიანტის ნომერს ( $r$ ). ამრიგად,

იმისდამხედვით, თუ რისი ტოლია კონკრეტული გამოსახულების ტრანსფორმანტების მოცემული კოეფიციენტის მაქსიმალურად შესაძლო მნიშვნელობა, მისთვის შესაძლებელია ჰაფმანის მოდიფიცირებული ცხრილის შესაბამისი ვარიანტის გამოყენება (იხ. ცხრილი 8).

მესამე თავში აგრეთვე განხილულია ტრანსფორმანტების არამთავარი კოეფიციენტების ადაპტური კომპაქტური კოდირება სკანირების საუკეთესო ვარიანტის შერჩევით, რითაც შეიძლება გაუმჯობესდეს კომპრესიის ეფექტურობა. ტრანსფორმანტების არამთავარი კოეფიციენტების სკანირება არსებული მეთოდით ხორციელდება ზიგზაგ-ჰორიზონტალურად, თუმცა შესაძლებელია ზიგზაგ-ვერტიკალური სკანირებაც.

დადგენილია, რომ ზოგიერთი საცდელი გამოსახულებების მოცემული შემდგენისათვის ზიგზაგ-ვერტიკალურ სკანირებას აქვს უფრო კარგი შედეგი ზიგზაგ-ჰორიზონტალურთან შედარებით.

ცხრილი 8. ჰაფმანის მოდიფიცირებული კოდები და ტრანსფორმანტების არამთავარი არანულოვანი კოეფიციენტების კოდირებისათვის საჭირო ბიტების რაოდენობები  $r$ -ის სხვადასხვა რეალური მნიშვნელობისათვის

R		1	2	3	4	5	6	7
ჰაფმანის მოდიფიცირებული კოდები	r=7	0	10	110	1110	11110	111110	111111
	r=6	0	10	110	1110	11110	11111	-
	r=5	0	10	110	1110	1111	-	-
	r=4	0	10	110	111	-	-	-
	r=3	0	10	11	-	-	-	-
	r=2	0	1	-	-	-	-	-
	r=1	-	-	-	-	-	-	-
ბიტების რაოდენობები ჰაფმანის მოდიფიცირებული კოდებისათვის, M	r=7	1	2	3	4	5	6	6
	r=6	1	2	3	4	5	5	-
	r=5	1	2	3	4	4	-	-
	r=4	1	2	3	3	-	-	-
	r=3	1	2	2	-	-	-	-
	r=2	1	1	-	-	-	-	-
	r=1	0	-	-	-	-	-	-
	r=7	2	4	6	8	10	12	13

R+M	r=6	2	4	6	8	10	11	-
	r=5	2	4	6	8	9	-	-
	r=4	2	4	6	7	-	-	-
	r=3	2	4	5	-	-	-	-
	r=2	2	3	-	-	-	-	-
	r=1	1	-	-	-	-	-	-

ამავე თავში მოცემულია ტრანსფორმანტების ადაპტური ზონური კოდირების ეფექტურობის მაჩვენებლები მათი სტატისტიკისა და სკანირების ვარიანტის შერჩევის გათვალისწინებით. ნაჩვენებია, რომ ამ შემთხვევაში გამოსახულების თითოეული შემდგენისათვის უნდა დაფიქსირდეს კოდური ჯგუფები შემდეგი სახის ინფორმაციებით: ტრანსფორმანტების  $N_{გმ}$  რაოდენობის მთავარი  $F(0,0)$  კოეფიციენტების სხვაობითი მნიშვნელობების არსებული ცხრილებით კოდირებისათვის საჭირო ბიტების რაოდენობა  $M_{N_{გმ}}$ ; ტრანსფორმანტაში ზონების ( $N_{ზ}$ ) კოდირებისათვის საჭირო ბიტების რაოდენობა  $M_{N_{ზ}}$  (ბიტი); მინიზონების ( $N_{გზ}$ ) კოდირებისთვის საჭირო ბიტების რაოდენობა  $M_{N_{გზ}}$  (ბიტი); მოცემული გამოსახულების შესაბამისი ყველა ტრანსფორმანტას კოეფიციენტების სკანირებული მიმდევრობებიდან არანულოვანი კოეფიციენტის (კოეფიციენტების) მაქსიმალური ნომერი (კოორდინატი) –  $N_{\nu}$  და მისი შესაბამისი ექსტანრიგა ორობითი რიცხვი –  $M_{N_{\nu}}=6$  ბიტი; მოცემული გამოსახულების შესაბამისი  $N_{\nu}$  რაოდენობის კოეფიციენტებიდან თითოეულის კოდირებისთვის საჭირო ბიტების რაოდენობა დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის ტრანსფორმანტებში კოეფიციენტების მაქსიმალურად შესაძლო ამპლიტუდური მნიშვნელობის არსებობის გათვალისწინებით და აღნიშნულის შესაბამისად ყველა ტრანსფორმანტაში ერთნაირი კოორდინატის მქონე ნულოვანი კოეფიციენტების შესაძლო არსებობისა და რაოდენობის დადგენა –  $M_{IN_{\nu}}$  (ბიტი); ყოველი ტრანსფორმანტას დაფიქსირებულ ზონაში შემავალი  $N_{\nu 6}$  რაოდენობის არანულოვანი და ნულოვანი კოეფიციენტებისა და შესაბამისი ბიტების რაოდენობის დადგენა –  $M_{N_{\nu 6}}$  (ბიტი) (ყოველი დასაფიქსირებელი კოეფიციენტისათვის

თითო ბიტი); ტრანსფორმანტას დაფიქსირებულ ზონაში შემავალი არანულოვანი კოეფიციენტების ჰაფმანის მოდიფიცირებული კოდებით კოდირებისათვის საჭირო ბიტების რაოდენობის დადგენა  $M_{N_{\alpha r}}$  (ბიტი).

აღწერილი მეთოდის საფუძველზე დადგინდა ფერადი გამოსახულებების თითოეული ( $Y$ ,  $C_r$  და  $C_b$ ) შემდგენის დაკვანტული ტრანსფორმანტების ადაპტური ზონური კოდირებისათვის დახარჯული ორობითი სიმბოლოების ჯამური რაოდენობა:

$$M_{\Phi} = M_{\Phi_{თ.}} + M_{N_{\Phi}} + M_{N_{\Phi b}} + M_{N_{\alpha}} + M_{1N_{\alpha}} + M_{N_{\alpha n}} + M_{N_{\alpha r}}$$

მე-9 ცხრილში წარმოდგენილია დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის საფუძველზე გამოსახულებების სრული სიგნალის შესაბამისი დაკვანტული ტრანსფორმანტების უდანაკარგო კოდირების საუკეთესო მაჩვენებლები, საიდანაც ჩანს, რომ მასში მოყვანილი გამოსახულებების შემდგენების შემოთავაზებული მეთოდით კოდირებისას მიიღება დადებითი შედეგები არსებულ მეთოდთან შედარებით. მაგალითად, გამოსახულებისათვის “მთები” საჭირო სიმბოლოების რაოდენობა მცირდება 2109 ბიტით (10.50%-ით), გამოსახულებისათვის “ფონი” – 4509 ბიტით (42,33%), გამოსახულებისათვის “ღრუბელი” – 1276 ბიტით (4,74%), გამოსახულებისათვის “ტელეანძა” – 1464 ბიტით (5,17%) და ა.შ.

ცხრილი 9. საცდელ გამოსახულებათა სიკაშკაშის  $Y$  და ფერსხვაობით  $C_r$  და  $C_b$  შემდგენების კოდირების შედეგები არსებული და სტატისტიკის გათვალისწინებით ზონური კოდირების მეთოდის გამოყენებით

გამოსახულებები	$M_{\alpha}$	$F_{\alpha}$	$M_{\Phi}$	$F_{\Phi}$	$\Delta M$
“თი-ბი-სი”	47519	33.100	<b>46803</b>	<b>33.606</b>	<b>716</b>
“მთები”	20093	78.279	<b>17984</b>	<b>87.459</b>	<b>2109</b>
“ტბა”	42309	37.176	<b>41476</b>	<b>37.922</b>	<b>833</b>
“ტექსტი”	43409	36.234	<b>42398</b>	<b>37.098</b>	<b>1011</b>
“ფონი”	10651	147.673	<b>6142</b>	<b>256.083</b>	<b>4509</b>
“ღრუბელი”	26901	58.469	<b>25625</b>	<b>61.380</b>	<b>1276</b>
“მამადავითი”	48022	32.753	<b>47989</b>	<b>32.776</b>	<b>33</b>
“ფუნიკულორი”	44208	35.579	<b>44113</b>	<b>35.655</b>	<b>95</b>
“ტელეანძა”	28323	55.533	<b>26859</b>	<b>58.560</b>	<b>1464</b>

ადაპტური მეთოდი ითვალისწინებს აგრეთვე მოცემული გამოსახულების ფრანგმენტების მიხედვით სკანირების ვარიანტის შერჩევას და მათგან საუკეთესო მონაცემების შენარჩუნებას. ამ შემთხვევაში ყოველი ფრაგმენტისათვის გათვალისწინებული უნდა იყოს დამატებითი თითო ბიტი სკანირების ვარიანტის შესახებ (სულ 1024 ბიტი სიკაშკაშის შემდგენისატვის და 256 ბიტი ფერსხვაობითი შემდგენებიდან თითოეულისათვის). აღნიშნული ადაპტური მეთოდით კოდირებისას საუკეთესო შედეგი აჩვენა ფრაგმენტული სკანირების შეხამებამ ზონურ მეთოდთან (გამოსახულების “ტექსტი” სიკაშკაშის შემდგენი), ანუ მეთოდმა “ადაპტური 1” (არსებულ მეთოდთან შედარებით მოგებაა 843 ბიტი, 2,14%) და ფრაგმენტული სკანირების შეხამებამ ზონურ-სტატისტიკურ კოდირებასთან (გამოსახულების “ფონი” ფერსხვაობითი  $C_r$  შემდგენი), ანუ მეთოდმა “ადაპტური 2” (არსებულ მეთოდთან შედარებით მოგებაა 509 ბიტი, 43,73%).

ნაშრომის მეოთხე თავი ეძღვნება გამოსახულებათა არამთავარი კოეფიციენტების ადაპტური კოდირების შეხამებას მთავარი კოეფიციენტების ადაპტურ კოდირებასთან.

მოყვანილია ტრანსფორმანტების მთავარი კოეფიციენტების ადაპტური კოდირების ალგორითმი, რომლის მიხედვითაც ორგანზომილებიანი ტრანსფორმანტების ჰორიზონტალური ან ვერტიკალური მიმართულებით გამოთვლილი მთავარი კოეფიციენტების სხვაობითი მნიშვნელობების ორგანზომილებიანი მასივის ელემენტების შემდგომი უდანაკარგო კოდირება ჰაფმანის ცხრილების გამოყენებით ხდება ან კოეფიციენტების სკანირების გარეშე (არსებული ვარიანტი) ან სკანირების შემდგომი ოთხი ვარიანტიდან კომპრესიის თვალსაზრისით ერთ-ერთი საუკეთესოს საშუალებით: ზიგზაგ-ჰორიზონტალური სკანირება; ზიგზაგ-ვერტიკალური სკანირება; ჰორიზონტალური სკანირება; ვერტიკალური სკანირება (5 ვარიანტი სკანირების გარეშე კოდირებასთან ერთად).

ფერად გამოსახულებათა გარდასახული ტრანსფორმანტების არამთავარი კოეფიციენტების ზონური კოდირების ზემოთ განხილული მეთოდების შეხამებით მთავარი კოეფიციენტების ადაპტურ კოდირების მეთოდთან, ანუ კოდირების პროცესის ადაპტაციის შედეგებით სრულყოფილი მეთოდის გამოყენებით, მიღწეულ იქნა კომპრესიის ფაქტორის



მნიშვნელოვანი გაუმჯობესება არამთავარი კოეფიციენტების ზონური კოდირების მეთოდებთან შედარებით, რაც დადასტურებულია არსებული და შემოთავაზებული მეთოდებით გამოსახულებათა კომპრესიის ალგორითმების მოდელირებით პროგრამა Mathcad-ის გამოყენებით.

ცხრილში 10 მოყვანილია შეხამებული ადაპტური კოდირების მეთოდით მიღწეული ეფექტურობის მაჩვენებლები ფერად საცდელ გამოსახულებათა სრული სიგნალისათვის. ცხრილში  $M_{არ}$ -ითა  $M_{აღ}$ -ით აღნიშნულია კოდირების არსებული და ნაშრომში შემოთავაზებული ადაპტური შეხამებული კოდირების შემთხვევებში საჭირო სიმბოლოების რაოდენობები,  $P_{არ}$ -თა და  $P_{აღ}$ -ით – გამოსახულების ერთ ელემენტზე (პიქსელზე) დახარჯული ბიტების რაოდენობები შესაბამისად, ხოლო  $F_{არ}$ -ითა და  $F_{აღ}$ -ით – შესაბამისი კომპრესიის ფაქტორები. შემოთავაზებული შეხამებული კოდირების შემთხვევისათვის ცხრილში გათვალისწინებულია როგორც არამთავარი, ასევე მთავარი კოეფიციენტების კოდირების მეთოდების გამოყენებული ვარიანტის კოდირებისათვის საჭირო საინფორმაციო (ჭარბი) სიმბოლოების რაოდენობა (13 ბიტი). ცხრილიდან ჩანს, რომ ნაშრომში შემოთავაზებული ადაპტური შეხამებული კოდირების მეთოდისას ყველა საცდელი გამოსახულებისათვის მიიღწევა უკეთესი კომპრესია არსებულ მეთოდთან შედარებით.

საცდელად შერჩეული სხვადასხვა დეტალობის მქონე გამოსახულებებს შორის ყველაზე საუკეთესო შედეგი მიიღება ძალზე მცირე დეტალობის მქონე გამოსახულების "ფონი" შემთხვევაში ( $F_{აღ}=256,962$  და  $P_{აღ}=0.093$ ), რაც განპირობებულია იმ გარემოებით, რომ ამ გამოსახულებაში ძალზე მცირე დეტალობის გარდა, არ არის სიკაშკაშისა და ფერთა შორის მკვეთრი გადასვლა (კონტურები). კომპრესიის თვალსაზრისით ყველაზე ცუდი (რაც მოსალოდნელი იყო), მაგრამ არსებულ მეთოდთან შედარებით მაინც უკეთესი შედეგი აჩვენა მაღალი დეტალობის მქონე საცდელმა გამოსახულებამ "კენკრა" ( $F_{აღ}=14,121$  და  $P_{აღ}=1,7$ ).

ამავე თავში განხილულია შეცდომების გავლენის შეფასება ტრანსფორმანტების მთავარი და არამთავარი კოეფიციენტების ადაპტური კოდირების მეთოდისას გამოყენებულ საინფორმაციო (ჭარბ) სიმბოლოებზე. საცდელი გამოსახულება "ლენა"-ს მაგალითზე ნაჩვენებია ტრანსფორმანტების არამთავარი კოეფიციენტების ადაპტური კომპაქტუ-

რი კოდირების ვარიანტის შესახებ საინფორმაციო სიმბოლოების დამახინჯების შემთხვევაში აღდგენილი გამოსახულების სურათი (სურ. 4). ნაჩვენებია, რომ აღდგენილი გამოსახულების ხარისხზე საინფორმაციო სიმბოლოების დამახინჯების გავლენის გაუვნებელოება შესაძლებელია საინფორმაციო სიმბოლოების რამდენჯერმე (მაგალითად, 3-ჯერ) გამეორებით (გადაცემით, შენახვით).

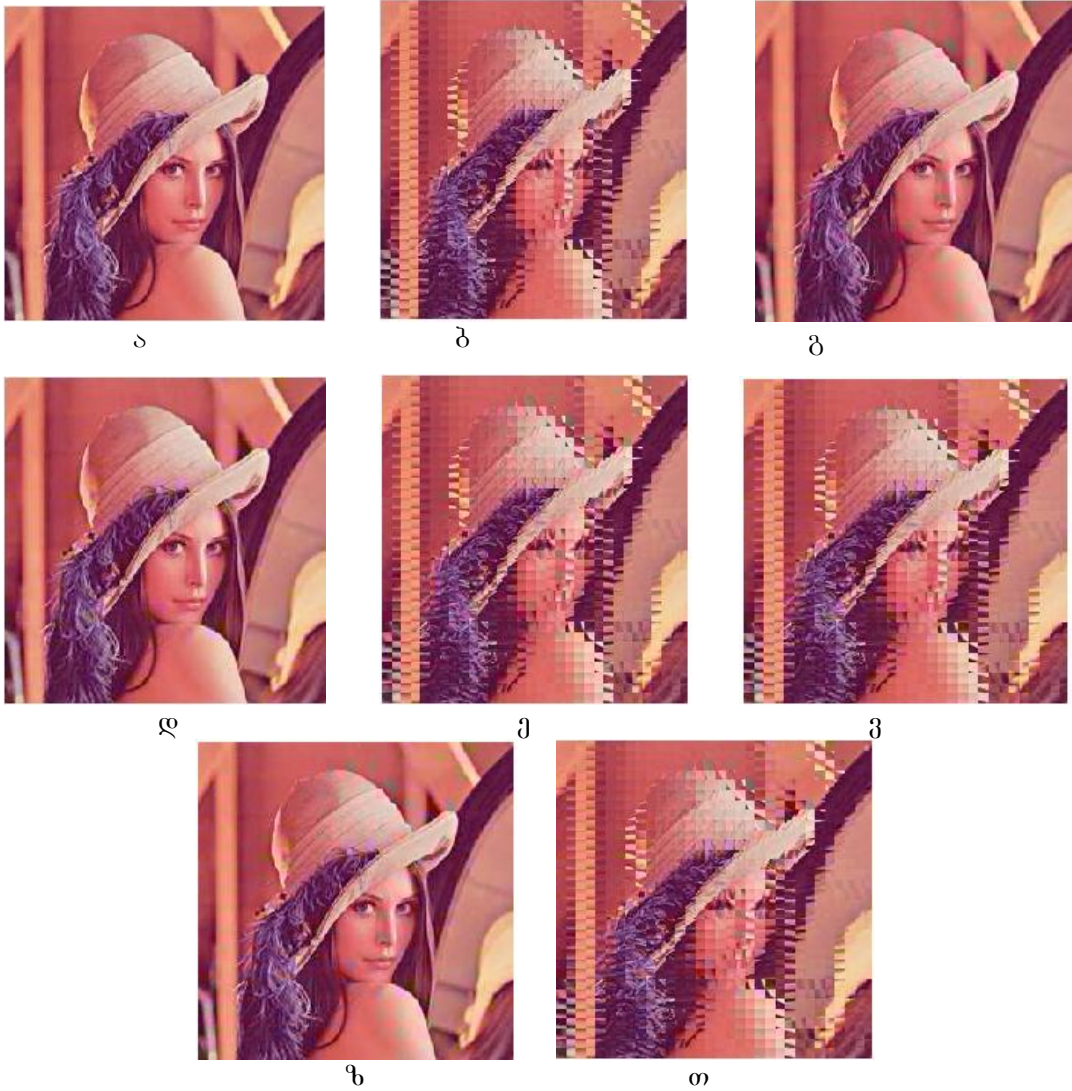
კომპაქტური კოდირების (კომპრესიის) შემდეგ აღდგენილი გამოსახულების ხარისხის შეფასებისათვის გამოყენებულია როგორც ობიექტური (საშუალო კვადრატული შეცდომა; ნორმირებული საშუალო კვადრატული შეცდომა; სიგნალისა და ხმაურის ფარდობა; სიგნალისა და ხმაურის ფარდობის პიკური მნიშვნელობა), ასევე ადამიანის მხედველობის თავისებურებებზე დაფუძნებული სუბიექტური კრიტერიუმები, რომლებმაც აჩვენა, რომ ისინი სრულად ემთხვევა JPEG და MPEG რეკომენდაციებით გათვალისწინებულ მოთხოვნებს.

ცხრილი 10. არსებული და შემოთავაზებული ადაპტური შეხამებული კოდირების მეთოდებით საცდელი ფერადი გამოსახულებების კომპრესიის ეფექტურობის მაჩვენებლები

გამოსახულება	$M_{არ}$	$M_{აღ}$	$M_{არ}-M_{აღ}$	$F_{არ}$	$F_{აღ}$	$P_{არ}$	$P_{აღ}$
1	2	3	4	5	6	7	8
“ღენა”	64202	<b>61198</b>	3004	24.499	<b>25.701</b>	0.980	<b>0.934</b>
“ბიონსე”	61311	<b>60559</b>	752	25.654	<b>25.972</b>	0.936	<b>0.924</b>
“ბუნება”	75608	<b>74159</b>	1449	20.803	<b>21.209</b>	1.154	<b>1.132</b>
“ნაგაზი”	57658	<b>55262</b>	2396	27.279	<b>28.462</b>	0.880	<b>0.843</b>
“თი-ბი-სი”	47519	<b>45689</b>	1830	33.100	<b>34.425</b>	0.725	<b>0.697</b>
“კატა”	68465	<b>67835</b>	630	22.973	<b>23.187</b>	1.045	<b>1.035</b>
“ციხესიმაგრე”	68341	<b>66210</b>	2131	23.015	<b>23.756</b>	1.043	<b>1.010</b>
“ბავშვები”	92615	<b>91709</b>	906	16.983	<b>17.151</b>	1.413	<b>1.399</b>
“ალუბლები”	77382	<b>76725</b>	657	20.326	<b>20.500</b>	1.181	<b>1.171</b>
“კროსი”	106351	<b>104098</b>	2253	14.789	<b>15.109</b>	1.623	<b>1.588</b>
“ფერმა”	84030	<b>82904</b>	1126	18.718	<b>18.972</b>	1.282	<b>1.265</b>
“პარკი”	76394	<b>74022</b>	2372	20.589	<b>21.249</b>	1.166	<b>1.129</b>
“კენკრა”	112612	<b>111381</b>	1231	13.967	<b>14.121</b>	1.718	<b>1.700</b>
“დაისი”	38472	<b>37179</b>	1293	40.883	<b>42.305</b>	0.587	<b>0.567</b>
“ზამთარი”	73866	<b>72856</b>	1010	21.293	<b>21.589</b>	1.127	<b>1.112</b>

ცხრილი 10 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8
“გარნიტური”	51062	<b>49390</b>	1672	30.803	<b>31.846</b>	0.779	<b>0.754</b>
“შროშანი”	95723	<b>94863</b>	860	16.431	<b>16.580</b>	1.461	<b>1.447</b>
“მთები”	20093	<b>17963</b>	2130	78.279	<b>87.561</b>	0.307	<b>0.274</b>
“ტბა”	42309	<b>40828</b>	1481	37.176	<b>38.524</b>	0.646	<b>0.623</b>
“მაღაზია”	76818	<b>75274</b>	1544	20.475	<b>20.895</b>	1.172	<b>1.149</b>
“კარუსელი”	62163	<b>61688</b>	475	25.302	<b>25.497</b>	0.949	<b>0.941</b>
“შემოდგომა”	110202	<b>109167</b>	1035	14.273	<b>14.408</b>	1.682	<b>1.666</b>
“კოშკი”	83388	<b>82542</b>	846	18.862	<b>19.055</b>	1.272	<b>1.259</b>
“კოლიზეუმი”	86960	<b>85666</b>	1294	18.087	<b>18.360</b>	1.327	<b>1.307</b>
“ტექსტი”	43409	<b>41633</b>	1776	36.234	<b>37.779</b>	0.662	<b>0.635</b>
“ფონი”	10651	<b>6121</b>	4530	147.673	<b>256.962</b>	0.163	<b>0.093</b>
“ღრუბელი”	26901	<b>25328</b>	1573	58.469	<b>62.100</b>	0.410	<b>0.386</b>
“მამადავითი”	48022	<b>46912</b>	1110	32.753	<b>33.528</b>	0.733	<b>0.716</b>
“ფუნიკულორი”	44208	<b>43303</b>	905	35.579	<b>36.322</b>	0.675	<b>0.661</b>
“ტელეანძა”	28323	<b>26208</b>	2115	55.533	<b>60.015</b>	0.432	<b>0.400</b>



სურ. 4. კომპრესირებული გამოსახულება “ლენა”: დამახინჯების გარეშე (ა); სიკაშკაშის Y-ის დამახინჯებისას (ბ); ფერსხვაობითი Cr-ის დამახინჯებისას (გ); ფერსხვაობითი Cb-ის დამახინჯებისას (დ), სიკაშკაშის Y-ის და ფერსხვაობითი Cr-ის დამახინჯებისას (ე); სიკაშკაშის Y-ის და ფერსხვაობითი Cb-ის დამახინჯებისას (ვ); ფერსხვაობითების Cr-ის და Cb-ის დამახინჯებისას (ზ); სამივე შემდგენის Y, Cr, Cb-ს დამახინჯებისას (თ)

### სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი დასკვნები

ძირითადი შედეგები, რომლებიც მიღებულია სამუშაოს თემატიკასთან დაკავშირებით, შემდეგია:

1. ნაჩვენებია, რომ 256x256 ფორმატის ფერად გამოსახულებათა როგორც სიკაშკაშის, ასევე ფერსხვაობითი შემდგენების შესაბამისი 8x8 ზომის ბლოკების დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის დაკვანტული ტრანსფორმანტების არამთავარი კოეფიციენტების მასივების სტატისტიკური მახასიათებლები საექსპერიმენტოდ შერჩეული

ყველა გამოსახულებისათვის იძლევა მათი არსებულ მეთოდთან შედარებით უფრო კომპაქტური კოდირების საშუალებას.

2. დამუშავებულია ფერად გამოსახულებათა შესაბამისი ტრანსფორმანტების კომპაქტური ბლოკური კოდირებისა და დეკოდირების ალგორითმები, რომელთა მოდელირების საფუძველზე დადგენილია, რომ შემუშავებული მეთოდი არსებულთან შედარებით კომპრესიის თვალსაზრისით უკეთეს შედეგს იძლევა მხოლოდ ძალზე მცირე დეტალობით გამორჩეული გამოსახულების სამივე შემდგენისათვის (გამოსახულება “ფონი”). მცირე და საშუალო დეტალობის გამოსახულებებს (“ლენა” და “ალუბლები”), კოდირების ბლოკური მეთოდი უკეთესია მხოლოდ გამოსახულებათა სიკაშკაშის შემდგენისათვის. რაც შეეხება მაღალი დეტალობის გამოსახულების (“ზამთარი”) კოდირებისას ბლოკური მეთოდით, ის არსებულ მეთოდთან შედარებით გამოირჩევა უარესი მაჩვენებლებით გამოსახულების სამივე შემდგენისათვის.

3. დამუშავებულია ფერად გამოსახულებათა შემდგენების დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის შესაბამისი ტრანსფორმანტების არამთავარი კოეფიციენტების მასივის კომპრესიის ზონური მეთოდის ალგორითმი, რომელიც ითვალისწინებს ტრანსფორმანტას არამთავარი კოეფიციენტების მასივების დაყოფას ზონებად და მინიზონებად და მათში შემავალი კოეფიციენტების კოდირებას ჰაფმანის ცვლადი სიგრძის კოდებით.

4. ნაჩვენებია, რომ ტრანსფორმანტების არამთავარი კოეფიციენტების მასივის მხოლოდ ზონური კოდირების ალგორითმით კომპრესია ეფექტურია მცირე დეტალობით გამორჩეული გამოსახულებების სამივე შემდგენისათვის (გამოსახულებები “თი-ბი-სი”, “მთები”, “ტექსტი”, “ფონი”, “ღრუბელი” და “ტელეანძა”) და ნაკლებად მცირე დეტალობით გამორჩეული გამოსახულებების ზოგიერთი შემდგენისათვის (“ბუნება”, “ნაგაზი”, “კატა”, “ციხესიმაგრე”, “ფერმა”, “დაისი”, “ზამთარი”, “გარნიტური”, “ტბა”, “შემოდგომა”, “კოშკი”, “კოლიზეუმი”, “მამადავითი”, “ფუნიკულიორი”).

5. გამოკვლეულია საცდელი გამოსახულებების შემდგენების შესაბამისი ტრანსფორმანტების სტატისტიკური მონაცემები, რომელთა გათვალისწინება ზონური მეთოდით გამოსახულებათა კოდირებისას

იძლევა ზონებისა და მინიზონების და შესაბამისი საინფორმაციო სიმბოლოების რაოდენობების შემცირების შესაძლებლობას ნულოვანი არამთავარი კოეფიციენტებისაგან შედგენილი ტრანსფორმანტების გარკვეული რაოდენობის შემთხვევაში. კერძოდ, გამოსახულებების სიკაშკაშის შემდგენისათვის ასეთი ტრანსფორმანტების (სულ 1024 ტრანსფორმანტაა) რაოდენობა უნდა აღემატებოდეს 341-ს (გამოსახულებები “თი-ბი-სი”, “ციხესიმაგრე”, “ტბა”, “ფონი”, “ღრუბელი” და “ტელეანბა”), ფერსხვაობითი  $C_r$  შემდგენისათვის (სულ 256 ტრანსფორმანტა) – 128-ს (“ბუნება”, “ნაგაზი”, “თი-ბი-სი”, “კატა”, “ციხესიმაგრე”, “კენკრა”, “მთები”, “ტექსტი”, “ფონი”, “ღრუბელი”, “ფუნიკულორი” და “ტელეანბა”), ხოლო ფერსხვაობითი  $C_b$  შემდგენისათვის (სულ 256 ტრანსფორმანტა) – ასევე 128-ს (“თი-ბი-სი”, “კენკრა”, “მთები”, “ტბა”, “ტექსტი”, “ფონი”, “ღრუბელი” და “ტელეანბა”).

6. ნაჩვენებია, რომ ზონური კოდირების მეთოდის გამოყენებისას მისი ეფექტურობა შეიძლება ამაღლდეს, აგრეთვე, ტრანსფორმანტების არამთავარი კოეფიციენტების სკანირებულ მიმდევრობაში არანულოვანი კოეფიციენტის მაქსიმალური კოორდინატის ნომრის გათვალისწინებითაც, რაც კონკრეტული გამოსახულებისათვის იძლევა ზონებისა და მინიზონების რაოდენობისა და, შესაბამისად, სიმბოლოების რაოდენობის შემცირების შესაძლებლობას.

7. შედგენილია ჰაფმანის მოდიფიცირებული ცხრილები, რომლებიც მისადაგებულია კონკრეტული საცდელი გამოსახულების შედგენების ტრანსფორმანტების სტატისტიკურ მონაცემებთან და რომელთა საშუალებითაც მრავალი გამოსახულებისათვის უმჯობესდება კომპრესიის ხარისხი.

8. შემუშავებულია ტრანსფორმანტების არამთავარი კოეფიციენტების ადაპტური სკანირების ალგორითმი, რომელიც იყენებს როგორც ზიგზაგ-ჰორიზონტალური (არსებული მეთოდი), ასევე ზიგზაგ-ვერტიკალური (შემოთავაზებული მეთოდი) სკანირებიდან ერთ-ერთს, რაც, თავის მხრივ, კიდევ უფრო ამაღლებს კომპრესიის ეფექტურობას.

9. ნაჩვენებია, რომ ტრანსფორმანტების არამთავარი კოეფიციენტების მასივის ადაპტური უდანაკარგო კოდირების დამუშავებული მეთოდის შეხამება მთავარი კოეფიციენტების მასივის

ადაპტურ უდანაკარგო კოდირებასთან ყველა საცდელი გამოსახულებისათვის იძლევა კომპრესიის უკეთეს მაჩვენებლებს არსებულ მეთოდთან შედარებით. ამ მხრივ ყველაზე საუკეთესო შედეგით გამოირჩევა ძალზე მცირე დეტალობის მქონე გამოსახულება "ფონი", რომლისთვისაც კომპრესიის ფაქტორი იზრდება 74,007%-ით ( $F_{\text{არ}}=147,673$  და  $F_{\text{დ}}=256,962$ ), ხოლო ყველაზე დაბალი მაჩვენებლით – მაღალი დეტალობის მქონე გამოსახულება "კენკრა", რომლისთვისაც კომპრესიის ფაქტორი გაიზარდა 1,011%-ით ( $F_{\text{არ}}=13,967$  და  $F_{\text{დ}}=14,121$ ).

10. ფერად საცდელ გამოსახულებათა სამივე შემდგენისთვის შეფასებულია საინფორმაციო (ჭარბ) ბიტებზე ხელშეშლების ზემოქმედების შედეგები აღდგენილ გამოსახულებათა ხარისხის თვალსაზრისით და დადგენილია, რომ ხელშეშლამდგრადობის ამდლების მიზნით შესაძლებელია საინფორმაციო სიმბოლოების რამდენჯერმე (მაგალითად, 3-ჯერ) გამეორება (გადაცემა). მაშინ სიმბოლოების სამი ერთნაირი კომბინაციიდან ერთის დამახინჯებისას დანარჩენი ორი არ იქნება დამახინჯებული და გამოსახულების აღდგენისას შესაძლებელია მათზე დაყრდნობა.

11. შეფასებულია სხვადასხვა კლასის (ძალზედ მცირე, მცირე, საშუალო და მაღალი დეტალობის მქონე) საცდელი ფერადი გამოსახულებების შემუშავებული მეთოდით კომპრესიის შედეგად მიღებული გამოსახულებების ხარისხობრივი პარამეტრები როგორც ობიექტური, ასევე სუბიექტური კრიტერიუმების საფუძველზე, რომლებიც ემთხვევა JPEG და MPEG სტანდარტებით განხორციელებული კომპრესიის შედეგად მიღებული გამოსახულებების შესაბამის პარამეტრებს.

### **დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებულ ნაშრომთა სია:**

1. ხუნწარია ჯ. მ., გოგბერაშვილი მ. რ., ჯღამაძე მ. ს., მაჩაღაძე რ. ი. უდანაკარგოდ კოდირებული წრფივი გარდასახვის ტრანსფორმანტების დეკოდირების ალგორითმი. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის "ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები" მოხსენებების კრებული. ქუთაისი, 2010, გვ. 281-284.



2. ხუნწარია ჯ. მ., გოგბერაშვილი მ. რ., ჯღამაძე მ. ს., მაჩალაძე რ. ი. დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის ტრანსფორმანტების ეკონომიური კოდირების მეთოდი. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის “ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები” მოხსენებების კრებული. ქუთაისი, 2010, გვ. 285-291.
3. ხუნწარია ჯ. მ., ხირიანოვი ი. ა., გოგბერაშვილი მ. რ., ჯღამაძე მ. ს. დაკვანტვის მატრიცის შერჩევა გამოსახულებათა სიგნალების დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის ტრანსფორმანტებისათვის. საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენციის “ახალი ტექნოლოგიები თანამედროვე მრეწველობაში” შრომები. თბილისი, 2010, გვ. 190-194.
4. ჯ. ხუნწარია, მ. გოგბერაშვილი, რ. მაჩალაძე, მ. ჯღამაძე. გამოსახულებათა დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის მთავარი კოეფიციენტების მასივის კორელაციური თავისებურებანი. – საერთაშორისო საინჟინრო აკადემიისა და საქართველოს საინჟინრო აკადემიის ჟურნალი “Georgian Engineering News” (GEN), №3, თბილისი, 2011, გვ. 21-26.
5. ხუნწარია ჯ. მ., ჯღამაძე მ. ს., გოგბერაშვილი მ. რ., მაჩალაძე რ. ი. დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის ტრანსფორმანტების სტატისტიკური მახასიათებლები. – საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის ყოველთვიური სამეცნიერო-რეფერირებული ჟურნალი “მეცნიერება და ტექნოლოგიები” №10-12, თბილისი, 2011, გვ. 26-34
6. ხუნწარია ჯ. მ., ჯღამაძე მ. ს. გამოსახულებათა ტრანსფორმანტების ზონური კოდირება ტრანსფორმანტების სტატისტიკური პარამეტრების ანალიზის საფუძველზე. – საერთაშორისო საინჟინრო აკადემიისა და საქართველოს საინჟინრო აკადემიის ჟურნალი “Georgian Engineering News” (GEN), №2, თბილისი, 2012, გვ. 48-62.
7. ჯღამაძე მ. ს. მონაცემთა ენტროპიული კოდირება ჰაფმანის კოდების გამოყენებით. – საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჟურნალი “განათლება” №1(4), თბილისი 2012. გვ. 275-282

**ავტორის პირადი წვლილი.** გამოკვლევების თეორიული და პრაქტიკული შედეგები, ასევე მათგან გამომდინარე დასკვნები და რეკომენდაციები მიღებულია ავტორის მიერ სამეცნიერო ხელმძღვანელთან ერთად.

## Abstract

Work offers the results of theoretical and experimental researches conducted in relation with the dissertation work: "Development and Study of the Methods of Telecommunication Signals' Compact Coding on the Basis of Linear Transformation: To ensure saving of the wide-band signals of images of different classes (very low, low, medium and high detailing) and their high quality transmission by actual telecommunication channels, compact encoding of the signals is necessary and various encoding methods could be used for this.

Compression of the transforms of discrete cosine transformation, recommended by International JPEG (Joint Picture Expert Group) and MPEG (Motion Picture Expert Group) standards of image compact coding (compression) can be provided using so called block and zone encoding algorithms for all three components (brightness and two color ranges) of colored images.

In case of use of offered block method of compact coding of the image signals, its effectiveness, with respect of compression, is evidenced for the pictures distinguished with very low, low and medium detailing, compared with the existing compression method provided for by the international standards.

Improvement of compression characteristics for the images of all four classes was possible in case of use of so called zoning method, based on statistical parameters of the coefficients of the transforms of linear discrete cosine transformation of the brightness and color ranges of the colored test image signals of 256x256 format.

In the most cases, coefficients of the transforms of discrete cosine transformation different from zero, in case of their presentation in 8x8 format, is gathered in the upper left part, allowing, in the most cases, use of the small number of zones and hence, improving of compression, after discrete cosine transformation, without additional losses.

Further improvement of the compression factor is possible through adaptation of the algorithm of transforms scanning in the zoned coding method, in particular, through coding in the array of the main coefficients, without scanning and one of four scanning (zigzag-horizontal, zigzag-vertical, horizontal and vertical) variants and in case of use one of the two variants of scanning (zigzag-horizontal and zigzag-vertical) for the arrays of non-main coefficients and, in case of realization of on one of two (horizontal and vertical) variants of calculation of the differences in two-dimensional array of the main coefficients. It turned out that through selection of the best ones, with respect of compression, among the mentioned variants, it is possible to significantly increase compression factor, compared with the existing compression methods.

Offered adaptive compression method requires inclusion of the additional (excessive) information characters into the relevant digital flow. With this, worsening of the restored picture quality is associated, requiring fixing of the information characters in the digital signal several (e.g. three) times.

Methcad software was used for modeling of the offered techniques of compact coding of the test colored images of various classes (very low, low, medium and high detailing), allowing evaluation of not only its effectiveness, compared with the existing techniques, but also evaluation of the qualitative characteristics of the restored picture, on the basis of the objective and subjective criteria.