

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

მანანა გოგბერაშვილი

გამოსახულებათა ეკონომიური კოდირების მეთოდის დამუშავება და
გამოკვლევა დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის
ტრანსფორმანტების თავისებურებათა საფუძველზე

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

ა კ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

სადოქტორო პროგრამა “ტელეკომუნიკაცია” შიფრი 0402

თბილისი

2014 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი
ტელეკომუნიკაციის დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: პროფესორი ჯანიკო ხუნწარია
რეცენზენტები: პროფესორი ვიქტორ ნანობაშვილი
ასოც. პროფესორი ვანო ოთხოზორია

დაცვა შედგება 2015 წლის "16" თებერვალს, 14⁰⁰ საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და
ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის
სხდომაზე, კორპუსი VIII, აუდიტორია 608
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: თემის აქტუალობა, უპირველეს ყოვლისა, განპირობებულია ბოლო პერიოდში განვითარებული ქვეყნების მაუწყებლობის ქსელებში ციფრული ტექნოლოგიების დანერგვით. ანალოგური მაუწყებლობიდან ციფრულზე გადასვლის შედეგად გამოთავისუფლდება მრავალი სისშირული არხი, რაც მნიშვნელოვან ეკონომიკურ ეფექტანაა დაკავშირებული. დღეისათვის საქართველოშიც შემუშავებულია ციფრულ სატელევიზიო მაუწყებლობაზე გადასვლის პროგრამა, რომელიც რეალიზებული უნდა იყოს 2015 წლის ივნისისათვის.

გამოსახულებათა (და სხვა სახის) სიგნალების ციფრული დამუშავების სპეციალური მეთოდების გამოყენება, რომლებიც ამცირებს ინფორმაციის სიჭარბეს, იძლევა არსებული სატელეკომუნიკაციო არხების გამტარუნარიანობის გამოყენების ეფექტურობის გაზრდისა და, ამის შედეგად, მაღალი სიმკვეთრის მოძრავი სატელევიზიო გამოსახულებების ან რამდენიმე სატელევიზიო პროგრამის გადაცემის საშუალებას.

მსოფლიოში ინფორმაციის სულ უფრო მზარდი ნაკადის გადაცემისა და მისი შენახვის (დამახსოვრების) აუცილებლობასთან დაკავშირებული ტელეკომუნიკაციის ციფრული არხების გამტარუნარიანობისა და ციფრული სიგნალების მახსოვრობის მოწყობილობების ტევადობის ეკონომიურად გამოყენების 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 ფერად გამოსახულებათა სიკაშკაშისა და ფერსხვაობითი შემდგენების კომპრესიის ფაქტორების ამაღლება JPEG (Joint Picture Expert Group) და MPEG (Motion Picture Expert Group) რეკომენდაციების საფუძველზე კომპრესირებულ გამოსახულებათა ხარისხობრივი პარამეტრების

შენარჩუნების პირობებში, რომელიც ემყარება ციფრულ გამოსახულებათა შესაბამისი 8x8 ზომის ფრაგმენტების (ბლოკების) დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის საფუძველზე ფორმირებული დაკვანტული ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების მასივის ადაპტურ უდანაკარგო კოდირებას სხვადასხვა მიმართულებით მათი სხვაობითი მნიშვნელობების შეფასებითა და ტრანსფორმანტების სკანირების პროცესის ადაპტაციას. სამუშაოს ერთ-ერთ ძირითად მიზანს წარმოადგენს, აგრეთვე, კომპრესირებული გამოსახულებების ხარისხობრივი პარამეტრების შეფასება საინფორმაციო ბიტებზე შეცდომების ზემოქმედების პირობებში და აღნიშნული ზემოქმედების უარყოფითი შედეგების გაუნებელყოფის გზების შემუშავება.

კვლევის ძირითადი ამოცანები. სადისერტაციო სამუშაოს ფარგლებში ჩატარებული კვლევის ძირითადი ამოცანებია:

1. ფერად გამოსახულებათა სიკაშკაშისა და ფერსხვაობითი შემდგენების შესაბამისი 8x8 ზომის ფრაგმენტების (ბლოკების) დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის დაკვანტული ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების მასივის სტატისტიკური პარამეტრების (ენტროპია, კორელაციის კოეფიციენტების მნიშვნელობები მასივის ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მიმართულებებით) შეფასება და შესაბამისი ჰისტოგრამების აგება.

2. გამოსახულების სამივე შემდგენის გარდასახვის 8x8 ზომის დაკვანტული ტრანსფორმანტების ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მიმართულებებით გამოთვლილი მთავარი ელემენტების სხვაობითი მნიშვნელობების კორელაციის კოეფიციენტების შეფასება.

3. აღნიშნული მთავარი ელემენტების მასივის ადაპტური ენტროპიული კოდირების რეალიზაცია დაკვანტული ტრანსფორმანტების ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მიმართულებებით სხვაობითი მნიშვნელობების შეფასებითა და მათი სკანირების სხვადასხვა ვარიანტების გამოყენებით.

4. ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების ერთობლიობის ადაპტური უდანაკარგო კოდირებისას ეფექტურობის (კომპრესიის ფაქტორის თვალსაზრისით) შეფასება სხვადასხვა კლასის ფერადი სატესტო გამოსახულებებისათვის.

5. გამოსახულებათა სიკაშკაშისა და ფერსხვაობითი შემდგენების გარდასახვის ელემენტების უდანაკარგო კოდირების პროცესის ადაპტაციისას შესაბამისი კოდირებული გამოსახულებების ხარისხობრივი პარამეტრების დადგენა მათი შეფასების როგორც ობიექტური, ასევე სუბიექტური კრიტერიუმების საფუძველზე.

6. გამოსახულებათა შესაბამისი ტრანსფორმანტების ადაპტური უდანაკარგო კოდირებისას საინფორმაციო სიმბოლოების (ბიტების) შეცდომების გავლენის შეფასება კომპრესირებული გამოსახულებების ხარისხობრივ მაჩვენებლებზე და აღნიშნული ზემოქმედების უარყოფითი შედეგების გაუვნებელოების გზების შემუშავება.

7. ფერად გამოსახულებათა შემდგენების გარდასახვის ელემენტების ადაპტური უდანაკარგო კოდირების საფუძველზე დამუშავებული და გამოკვლეული ეკონომიური კოდირების მეთოდის მოდელირება პროგრამა Mathcad-ის გამოყენებით და მიღებული შედეგების საფუძველზე შესაბამისი რეკომენდაციების შემუშავება.

გამოკვლევის მეთოდები: სამუშაოში დასმული ამოცანების გადაწყვეტისათვის თეორიული და პრაქტიკული საკითხების დამუშავებისას ფართოდაა გამოყენებული ინფორმაციის თეორია, შემთხვევითი პროცესების თეორია, მატრიცებისა და რიცხვთა თეორია, ალბათობის თეორია, აგრეთვე ელექტრონულ გამომთვლელ მანქანაზე მოდელირების მეთოდები MathCad-ის პროგრამული უზრუნველყოფით.

სამეცნიერო სიახლე. სამუშაოს ძირითად შედეგებს, რომლებსაც გააჩნია სამეცნიერო სიახლე, წარმოადგენს:

1. ფერად გამოსახულებათა სიკაშკაშისა და ფერსხვაობითი შემდგენების 8x8 ზომის ფრაგმენტების (ბლოკების) დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის საფუძველზე გამოთვლილი დაკვანტული მთავარი ელემენტების მასივის ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მიმართულებებით ენტროპიისა და კორელაციის კოეფიციენტების შეფასება და შესაბამისი ჰისტოგრამების ანალიზი.

2. ტრანსფორმანტების ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მიმართულებებით გამოთვლილი დაკვანტული მთავარი ელემენტების სხვაობითი მნიშვნელობების ენტროპიის შეფასება და ანალიზი.

3. ტრანსფორმანტების დაკვანტული მთავარი ელემენტების სხვაობითი მნიშვნელობების ადაპტური უდანაკარგო კოდირების მეთოდი ჰაფმანის კოდების გამოყენებით ფერად გამოსახულებათა როგორც სიკაშკაშის, ასევე ფერსხვაობითი შემდგენებისათვის და მისი ეფექტურობის შეფასება კომპრესიის თვალსაზრისით.

4. გამოსახულებათა სამივე შემდგენის შესაბამისი დაკვანტული ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების უდანაკარგო კოდირება მათი ორგანზომილებიანი მასივის სკანირების პროცესის ადაპტაციით.

5. გამოსახულებათა ეკონომიური კოდირების დამუშავებული ადაპტური მეთოდის ეფექტურობის შეფასება როგორც კომპრესირებულ გამოსახულებათა ხარისხობრივი, ასევე კომპრესიის პარამეტრების თვალსაზრისით.

6. შემოთავაზებული მეთოდით ეკონომიური კოდირების პარამეტრების დადგენა სხვადასხვა კლასის (მცირე, საშუალო და მაღალი დეტალობის) გამოსახულებებისათვის.

სამუშაოს პრაქტიკული ღირებულება განპირობებულია იმ ფაქტით, რომ იგი შეიცავს ყველა აუცილებელ მონაცემს, მეთოდოლოგია და რეკომენდაციას სატელეკომუნიკაციო და მახსოვრობის სისტემებისათვის ფერად გამოსახულებათა სიგნალების დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის საფუძველზე ეკონომიური კოდირების ადაპტური მეთოდის ალგორითმისა და მისი პრაქტიკული რეალიზაციის შესახებ და, აგრეთვე, მოდელირების პროგრამას ტელეკომუნიკაციის პროგრამის ბაკალავრიატსა და მაგისტრატურაში შესაბამისი სასწავლო კურსების ლაბორატორიულ-პრაქტიკული მეცადინეობების კომპიუტერული მოდელირებით ჩატარებისათვის.

სამუშაოს აპრობაცია. ნაშრომში მიღებული კვლევების შედეგები ასახულია პირველი და მეორე საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის “ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები” მოხსენებათა კრებულებში გამოქვეყნებულ 3 სტატიაში, საქართველოს ახალგაზრდა მეცნიერთა საზოგადოებრივი აკადემიის საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალში “ინტელექტუალი” გამოქვეყნე-

ბულ 1 სტატიაში, საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენციის “ახალი ტექნოლოგიები თანამედროვე მრეწველობაში” შრომების კრებულში გამოქვეყნებულ 1 სტატიაში, საერთაშორისო საინჟინრო აკადემიისა და საქართველოს საინჟინრო აკადემიის ჟურნალში “საქართველოს საინჟინრო სიახლეები” (Georgian Engineering News) გამოქვეყნებულ 1 სტატიაში, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჟურნალში “განათლება” გამოქვეყნებულ 1 სტატიაში და საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის ყოველთვიურ სამეცნიერო-რეფერირებულ ჟურნალში “მეცნიერება და ტექნოლოგიები” გამოქვეყნებულ 1 სტატიაში.

სამუშაოს სტრუქტურა. სამუშაო შედგება შესავლისაგან, ლიტერატურის მიმოხილვისაგან, 4 თავისაგან შედგენილი შედეგებისა და მათი განსჯისაგან, გამოყენებული ლიტერატურისაგან და 2 დანართისაგან. სამუშაოს მოცულობა შეადგენს 157 გვერდს, რომელთა შორის 129 გვერდი ძირითადი ტექსტია 11 ნახაზით, 9 სურათით და 25 ცხრილით. გამოყენებული ლიტერატურა შეიცავს 57 დასახელებას.

ნაშრომის შინაარსი

სადისერტაციო ნაშრომის შესავალ ნაწილში დასაბუთებულია თემის აქტუალობა, მოყვანილია გამოსაკვლევი საკითხების მიმოხილვა, ჩამოყალიბებულია სადისერტაციო ნაშრომის მიზნები და ამოცანები, ჩამოთვლილია კვლევის შედეგად მიღწეული სიახლეები და განსაზღვრულია სადისერტაციო ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულება.

პირველ თავში განხილულია გამოსახულებათა ეკონომიური კოდირების საკითხები დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის საფუძველზე, რომელიც კომპრესიის საერთაშორისო JPEG და MPEG სტანდარტებითაა რეკომენდირებული. წარმოდგენილია შესაბამისი კოდერისა და დეკოდერის სქემები და ფერად გამოსახულებათა შესაბამისი სრული სიგნალის R (წითელი), G (მწვანე) და B (ლურჯი) შემდგენებიდან სიკაშკაშის (შავ-თეთრი) Y და ფერსხვაობითი C_r და C_b შემდგენების ფორმირების, დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის ტრანსფორმანტების ფორმირების, მათი შესაბამისი $[Q_y]$ და $[Q_{r,b}]$ მატრიცებით დაკვანტვის და დაკვანტული ტრანსფორმანტების მთავარი და

არამთავარი ელემენტების ჰაფმანის კოდების გამოყენებით უდანაკარგო კოდირების მექანიზმები. 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 – მცირე, საშუალო და მაღალი დეტალობით (სურ. 1).



ა



ბ



გ



დ



ე



ვ



ზ



თ



ი



კ



ლ



მ



б



г



д



е



ж



з



и



й



к



л



м



н



о



п



р



ძ



წ



ჭ

სურ. 1. პირველადი საცდელი გამოსახულებები “ღენა” (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” (ტ), “მალაზია” (უ), “კარუსელი” (ფ), “შემოდგომა” (ქ), “კოშკი” (ღ), “კოლიზეუმი” (ყ), “ტექსტი” (შ), “ფონი” (ჩ), “ღრუბელი” (ც), “მამადავითი” (ძ), “ფუნიკულიორი” (წ) “ტელეანძა” (ჭ)



ა



ბ



გ



დ



ე



ვ



ზ



თ



ი



၁



၂



၃



၄



၅



၆



၇



၈



၉



၁၀



၁၁



၁၂



ქ



ღ



ყ



შ



ჩ



ც



ძ



წ



ჭ

სურ. 2. ეკონომიურად კოდირებული (კომპრესირებული) 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” (ტ), “მაღაზია” (უ), “კარუსელი” (ფ), “შემოდგომა” (ქ), “კოშკი” (ღ), “კოლიზეუმი” (ყ), “ტექსტი” (შ), “ფონი” (ჩ), “ღრუბელი” (ც), “მამადავითი” (ძ), “ფუნიკულორი” (წ) და “ტელეანძა” (ჭ)

ნაჩვენებია საცდელი გამოსახულებების JPEG და MPEG რეკომენდაციების მიხედვით ეკონომიური კოდირების (კომპრესიის) შედეგად აღდგენილი გამოსახულებები (იხ. სურ. 2) და მოყვანილია მათი ხარისხობრივი შეფასების მაჩვენებლები ობიექტური

კრიტერიუმების საფუძველზე (საშუალო კვადრატული ცდომილება – MSE, ნორმირებული საშუალო კვადრატული ცდომილება – NMSE, სიგნალ-ხმაურის ფარდობა – SNR, სიგნალ-ხმაურის ფარდობის პიკური მნიშვნელობა – SNRP) (ცხრილი 1).

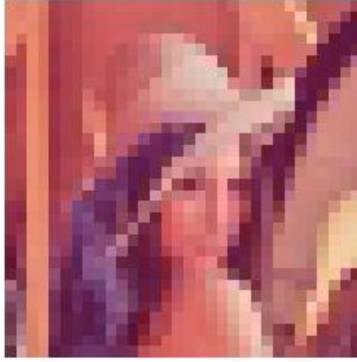
ცხრილი 1. ეკონომიურად კოდირებული (კომპრესირებული) საცდელი გამოსახულებების აღდგენის ხარისხის შეფასება ობიექტური პარამეტრების მიხედვით გამოსახულებათა სრული სიგნალისათვის

გამოსახულებები	MSE	NMSE	SNR, დბ	SNRP, დბ
“ლენა”	7,176	0,051	25,885	35,819
“ბიონსე”	6,982	0,045	26,857	31,286
“ბუნება”	8,685	0,088	21,065	29,389
“ნაგაზი”	6,169	0,042	27,452	32,361
“თი-ბი-სი”	5,461	0,030	30,536	33,419
“კატა”	7,609	0,056	24,985	30,538
“ციხესიმაგრე”	8,824	0,049	26,125	29,252
“ბავშვები”	10,162	0,084	21,463	28,025
“აღუბლები”	9,933	0,085	21,457	32,994
“კროსი”	13,447	0,132	17,620	25,592
“ფერმა”	7,549	0,046	26,718	30,607
“პარკი”	9,418	0,075	22,497	28,686
“კენკრა”	10,471	0,080	21,964	27,765
“დაისი”	7,521	0,057	24,901	35,410
“ხამთარი”	9,338	0,169	15,448	28,760
“გარნიტური”	6,506	0,043	27,245	31,899
“შროშანი”	10,913	0,117	18,615	27,406
“მთები”	1,954	0,014	37,200	42,344
“ტბა”	7,150	0,096	20,339	31,079
“მალაზია”	12,237	0,113	18,932	26,412
“კარუსელი”	11,148	0,134	17,459	27,221
“შემოდგომა”	11,456	0,076	22,382	26,984
“კოშკი”	7,912	0,061	24,299	30,199
“კოლიზეუმი”	7,285	0,055	25,126	30,916
“ტექსტი”	3,761	0,018	34,701	36,660
“ფონი”	1,934	0,016	35,727	42,438
“ღრუბელი”	2,966	0,017	35,519	38,721
“მამადავითი”	4,060	0,044	27,078	35,994
“ფუნიკულორი”	4,134	0,025	32,090	35,836
“ტელეანძა”	3,272	0,019	34,556	37,809

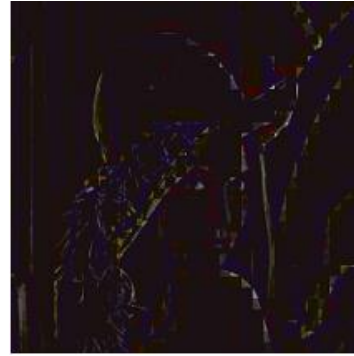
აღდგენილი გამოსახულებების საშუალო და პიკური საშუალო კვადრატული ცდომილებების ნულისგან განსხვავებული და სიგნალისა და ხმაურის ფარდობის (ისევე როგორც სიგნალისა და ხმაურის ფარდობის პიკური მნიშვნელობების) შემცირებული სიდიდეები

განპირობებულია დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის საბაზო მატრიცის ელემენტების წილადური მნიშვნელობებითა და შესაბამისი ტრანსფორმანტების კოეფიციენტების დაკვანტვით ამ მიზნით ექსპერტთა JPEG და MPEG ჯგუფების მიერ სპეციალურად შერჩეული დაკვანტვის $[Q_y]$ და $[Q_{r,b}]$ მატრიცების გამოყენებით. აღნიშნული პარამეტრების იდეალურისაგან განსხვავება დასაშვებადაა მიჩნეული ადამიანის მხედველობის ფსიქოფიზიოლოგიური თავისებურებების გათვალისწინებით, რაც საფუძვლად დაედო დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის ტრანსფორმანტების დაკვანტვას $[Q_y]$ და $[Q_{r,b}]$ მატრიცების საშუალებით. დაკვანტვა კი რეკომენდებულია კომპრესიის F ფაქტორის ამალღების მიზნით დაუკვანტავი ტრანსფორმანტების შემთხვევაში კოდირებასთან შედარებით. ვინაიდან გამოსახულებათა დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვისა და ტრანსფორმანტების დაკვანტვით გამოწვეული შეცდომები არაარსებითია, ამიტომ ეკონომიური კოდირების (კომპრესიის) ასეთ მეთოდს უწოდებენ კოდირებას ნაწილობრივი დანაკარგებით. რაც შეეხება დაკვანტული ტრანსფორმანტების დამატებით კოდირებას ჰაფმანის ცხრილების (კოდების) გამოყენებით, რაც ხორციელდება კომპრესიის F ფაქტორის უფრო მეტად გაზრდის მიზნით, იგი არ იწვევს დამატებითი შეცდომების გაჩენას, რის გამოც ეკონომიურ კოდირებას ჰაფმანის ცხრილების გამოყენებით უწოდებენ უდანაკარგო კოდირებას.

ნაშრომის მეორე თავი ეძღვნება გამოსახულებათა ეკონომიური კოდირების არსებული მეთოდის ეფექტურობის ამალღების შესაძლებლობების კვლევას ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების სხვაობების გამოთვლის გზით შესაბამისი ორგანზომილებიანი მასივის ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მიმართულებით მათ შორის კომპრესიის თვალსაზრისით საუკეთესოს შერჩევის მიზნით. დასაბუთებულია ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების გამორჩეული როლი აღდგენილი გამოსახულებების ხარისხის თვალსაზრისით არამთავარ ელემენტებთან შედარებით. სურ. 3-ზე ნაჩვენებია შემთხვევები, როდესაც გამოსახულება “ლენა” კომპრესირებულია მხოლოდ მთავარი (ა) ან მხოლოდ არამთავარი ელემენტების (ბ) საშუალებით.



ა



ბ

სურ. 3. დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის ტრანსფორმანტების მხოლოდ მთავარი (ა) და მხოლოდ არამთავარი (ბ) ელემენტების საშუალებით აღდგენილი გამოსახულება “ლენა”

სურ. 3-დან თვალსაჩინოდ ჩანს ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების როლი აღდგენილი გამოსახულებების სიზუსტის თვალსაზრისით. კერძოდ, მხოლოდ მთავარი ელემენტებით აღდგენილი გამოსახულება გაცილებით უფრო მეტად ემთხვევა შესაბამის პირველად გამოსახულებას, ვიდრე ის გამოსახულება, რომელიც მხოლოდ არამთავარი ელემენტებითაა აღდგენილი. აღნიშნული გარემოებითაა გამოწვეული ის ფაქტი, რომ გამოსახულებათა კომპრესიის რეკომენდირებულ სტანდარტებში მთავარი დაკვანტული ელემენტების უდანაკარგო კოდირება ხორციელდება არამთავარი ელემენტებისაგან დამოუკიდებლად მათთვის სპეციალურად შექმნილი ჰაფმანის ცხრილების გამოყენებით.

ნაჩვენებია, რომ ფერად გამოსახულებათა სიგნალების სიკაშკაშის Y და ფერსხვაობითი Cr და Cb შემდგენების დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის მთავარი ელემენტებისა და მათი სხვაობითი მნიშვნელობების მასივების სტატისტიკური პარამეტრების (ჰისტოგრამა, ენტროპია და კორელაციის კოეფიციენტი) ანალიზის შედეგები იძლევა კოდირების ეფექტურობის ამაღლების საშუალებას.

ზემოაღნიშნულის საილუსტრაციოდ მე-2 ცხრილში მოყვანილია შერჩეული საცდელი მცირე, საშუალო და მაღალი დეტალობის გამოსახულებების (“ლენა”, “ალუბლები” და “ზამთარი”) სამივე შემდგენის შესაბამისი ტრანსფორმანტების პარამეტრები სხვაობების ჰორიზონტალური (ჰ) და ვერტიკალური (ვ) მიმართულებებით

გამოთვლისას, კერძოდ კი კორელაციის კოეფიციენტები (K_{β} და K_{γ}) და ენტროპიები (E_{β} და E_{γ}).

ცხრილი 2. ტრანსფორმანტების მთავარი $F(0,0)$ ელემენტების მასივის კორელაციის K_{β} და K_{γ} კოეფიციენტებისა და მთავარი ელემენტების სხვაობების E_{β} და E_{γ} ენტროპიების მნიშვნელობები საცდელი ფერადი გამოსახულებების სიკაშკაშის Y და ფერსხვაობითი C_r და C_b შემდგენებისათვის

არამეტრები	გამოსახულებები		
	“ლენა”	“აღუბლები”	“ზამთარი”
$K_{Y_{\beta}}$	0,960	<u>0,945</u>	<u>0,983</u>
$K_{Y_{\gamma}}$	<u>0,984</u>	0,937	0,965
$E_{Y_{\beta}}$	5,820	<u>5,677</u>	<u>4,249</u>
$E_{Y_{\gamma}}$	<u>4,911</u>	5,788	4,576
$K_{C_{r\beta}}$	0,981	<u>0,946</u>	<u>0,975</u>
$K_{C_{r\gamma}}$	<u>0,986</u>	0,934	0,949
$E_{C_{r\beta}}$	3,876	<u>4,632</u>	<u>2,583</u>
$E_{C_{r\gamma}}$	<u>3,463</u>	4,850	3,005
$K_{C_{b\beta}}$	0,869	<u>0,974</u>	<u>0,989</u>
$K_{C_{b\gamma}}$	<u>0,948</u>	0,966	0,980
$E_{C_{b\beta}}$	4,273	<u>3,704</u>	<u>3,128</u>
$E_{C_{b\gamma}}$	<u>3,454</u>	3,790	3,466

ცხრილიდან ნათლად ჩანს კორელაციის კოეფიციენტებსა და შესაბამის ენტროპიებს შორის არსებული ზემოთ აღნიშნული დამოკიდებულება. კერძოდ, საცდელი გამოსახულების “ლენა” სიკაშკაშის (შავ-თეთრი) Y შემდგენის შესაბამისი ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების მასივის ვერტიკალური მიმართულებით კორელაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობები $K_{Y_{\beta}}$ აღემატება კორელაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობებს ($K_{Y_{\gamma}}$) ჰორიზონტალური მიმართულებით. ამიტომ ამ გამოსახულებისათვის ენტროპია $E_{Y_{\beta}} < E_{Y_{\gamma}}$. დანარჩენი გამოსახულებებისათვის კი პირიქით – $K_{Y_{\beta}} > K_{Y_{\gamma}}$, რის გამოც $E_{Y_{\beta}} > E_{Y_{\gamma}}$. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ პირველ შემთხვევაში ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების სხვაობების კოდირებისათვის საკმარისი აღმოჩნდება ბიტების უფრო მცირე რაოდენობა, ვიდრე მეორე შემთხვევაში. მაგალითად, გამოსახულების “ლენა” სიკაშკაშის Y შემდგენის შესაბამისი ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების თითოეული სხვაობითი მნიშვნელობის ეკონომიური კოდირებისთვის სხვაობების ჰორიზონტალური

მიმართულებით გამოთვლისას თეორიულად საჭირო იქნება 5,82 ბიტი მაშინ, როდესაც სხვაობების ვერტიკალური მიმართულებით გამოთვლისას საკმარისი აღმოჩნდება 4,911 ბიტი ანუ 0,909 ბიტით ნაკლები. ანალოგიური მსჯელობა და შესაბამისი დასკვნების გაკეთება შესაძლებელია დანარჩენი საცდელი გამოსახულებების როგორც სიკაშკაშის ასევე ფერსხვაობითი შემდგენების ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების მასივებისთვისაც.

ნაშრომის მესამე თავში აღწერილია ფერადი გამოსახულებების შესაბამისი შემდგენების ფრაგმენტების დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის შედეგად ფორმირებული ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების მასივის ადაპტური უდანაკარგო კოდირების ალგორითმი, რომელიც გულისხმობს ელემენტების სხვაობითი მნიშვნელობების გამოთვლას მათგან შედგენილი ორგანზომილებიანი მასივის ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მიმართულებით და იმ სხვაობების კოდირებას ჰაფმანის ცხრილის გამოყენებით, რომელიც უკეთესია კომპრესიის თვალსაზრისით. ამავე თავში შეფასებულია ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების სხვაობითი მნიშვნელობების ადაპტური უდანაკარგო კოდირების შემოთავაზებული მეთოდის ეფექტურობა როგორც გამოსახულებების შემდგენებისათვის, ასევე შესაბამისი სრული სიგნალისათვის.

მე-3 ცხრილში მოყვანილია საცდელი ფერადი გამოსახულებების სრული სიგნალის შესაბამისი დაკვანტული ტრანსფორმანტების შესაბამისი მთავარი ელემენტების სხვაობითი მნიშვნელობების უდანაკარგო კოდირებისათვის საჭირო ბიტების რაოდენობები არსებული, ანუ სხვაობების ჰორიზონტალური მიმართულებით გამოთვლისა ($M_{ახს}$) და შემოთავაზებული (სხვაობების ვერტიკალური მიმართულებით გამოთვლის) შემთხვევებისათვის (M_1) და შესაბამისი კომპრესიის ფაქტორები ($F_{ახს}$ და F_1), რაც იძლევა მათგან კომპრესიის თვალსაზრისით საუკეთესო ვარიანტის შერჩევის საშუალებას. ამ შემთხვევაში კომპრესიის ფაქტორი განისაზღვრება პირველადი გამოსახულების ანათვლების კოდირებისათვის გამოყენებული ბიტების M რაოდენობისა და კომპრესიის შედეგად შესაბამისი მასივის

კოდირებისათვის საკმარისი ბიტების $M_{არს}$ და $M_{არს}$ რაოდენობის ფარდობით.

$$F_{არს}=M/M_{არს}, \quad F_1=M/M_1 \quad (1)$$

იმის გამო, რომ 256x256 ზომის საცდელი გამოსახულებების თითოეული შემდგენის ელემენტების (პიქსელების) რაოდენობაა 65536 და ყოველი ელემენტის კოდირებისათვის გამოყენებულია 8-თანრიგა კოდი, ამიტომ გამოსახულების სიკაშკაშის Y და ფერსხვაობით Cr და Cb შემდგენებიდან თითოეული მათგანი წარმოდგენილია $M=M_Y=M_{Cr}=M_{Cb}=65536 \times 8=524288$ ბიტით.

მე-3 ცხრილში ასევე გათვალისწინებულია სიკაშკაშისა და ფერსხვაობითი შემდგენების ადაპტური კოდირების პროცესში დამატებითი (საინფორმაციო) 3 სიმბოლოს (ბიტის) გამოყენების აუცილებლობა სამივე შემდგენის შესაბამისი კოდირების 6 ვარიანტის შესახებ.

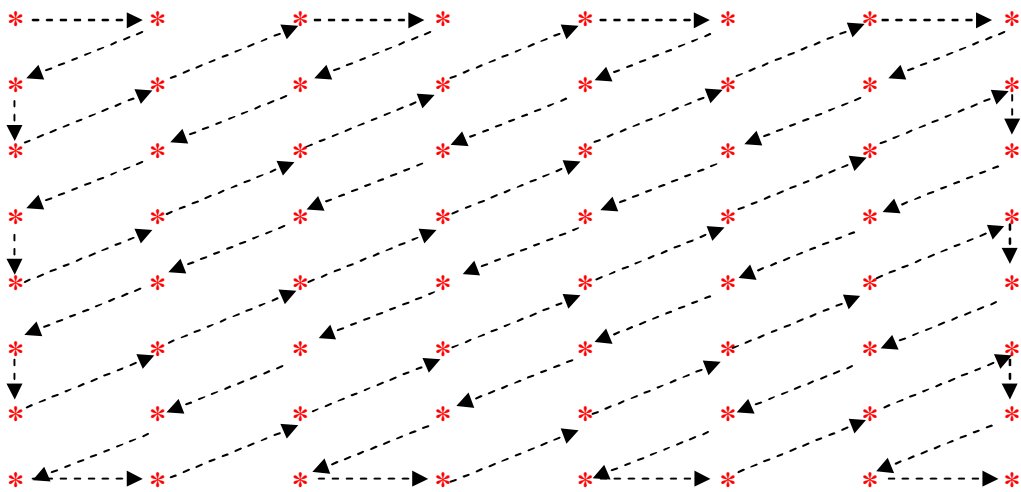
ცხრილიდან ჩანს, რომ კომპრესიის არსებულ ვარიანტთან შედარებით გაუმჯობესებული შედეგები მიიღება გამოსახულებისათვის “ლენა”, “ბიონსე”, “ნაგაზი”, “ბავშვები”, “ალუბლები”, “კროსი”, “პარკი”, “კენკრა”, “კოლიზეუმი” და “ტელეანძა”, რაც ადასტურებს ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების კოდირების პროცესისადმი ადაპტური მიდგომის მიზანშეწონილობას არაადაპტურ კოდირებასთან შედარებით, როდესაც მთავარი კოეფიციენტების ორგანზომილებიანი მასივის ელემენტებს შორის სხვაობები გამოითვლება მხოლოდ ჰორიზონტალური მიმართულებით.

მეოთხე თავი ეძღვნება ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების სხვაობითი მნიშვნელობების მასივის ჰაფმანის კოდების გამოყენებით უდანაკარგო კოდირების ეფექტურობის კიდევ უფრო მეტად ამაღლების შესაძლებლობის გამოკვლევას. კერძოდ, ამ თავში ნაჩვენებია, რომ ფერად გამოსახულებათა სამივე შემდგენის დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების სხვაობითი მნიშვნელობების მასივი შეიძლება შეიცავდეს ნულის ტოლ სიდიდეებს, რის გამოც, გარდა JPEG და MPEG სტანდარტებით გათვალისწინებული მათი სკანირების გარეშე კოდირებასთან ერთად შესაძლებელია აღნიშნული ორგანზომილებიანი მასივების ელემენტებისათვის გამოყენებული იყოს სკანირების 4 ვარიანტიდან ერთ-ერთი.

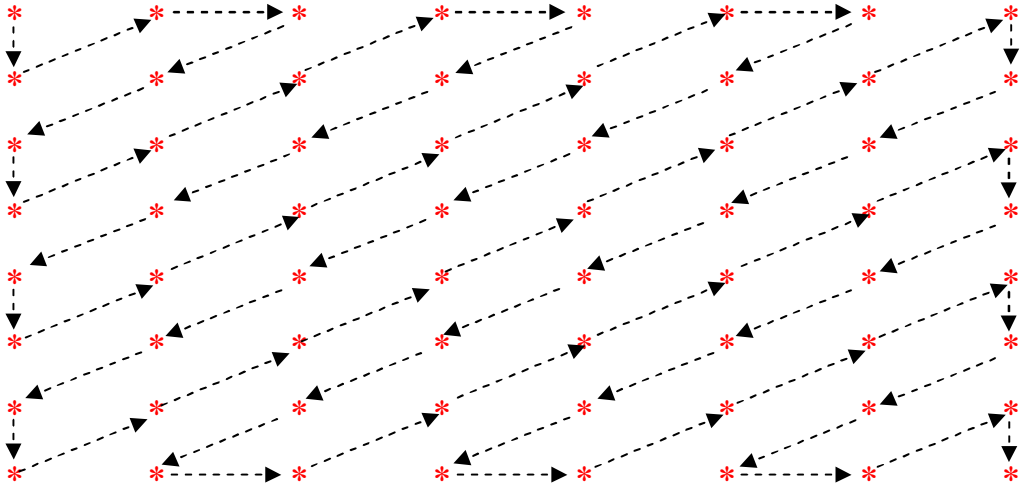
ცხრილი 3. საცდელი გამოსახულებების სრული სიგნალის შესაბამისი დაკვანტული ტრანსფორმანტების უდანაკარგო კოდირებისათვის საჭირო ბიტების რაოდენობები გამოსახულებათა არსებული JPEG და MPEG სტანდარტების (M_ა) გამოყენებისა და სხვაობითი მნიშვნელობების გამოთვლის ადაპტაციის შემთხვევებისათვის (M₁) და შესაბამისი კომპრესიის ფაქტორები (F_ა და F₁)

№	ამოსახულებები	M _ა რს	M ₁	F _ა რს	F ₁	№	გამოსახულებები	M _ა რს	M ₁	F _ა რს	F ₁
1	“ლენა”	64202	<u>61883</u>	24,498	<u>25,417</u>	16	“გარნიტური”	<u>51062</u>	<u>51062</u>	<u>30,804</u>	<u>30,804</u>
2	“ბიონსე”	61311	<u>61082</u>	25,653	<u>25,750</u>	17	“შროშანი”	<u>95723</u>	<u>95723</u>	<u>16,432</u>	<u>16,432</u>
3	“ბუნება”	<u>75608</u>	<u>75608</u>	<u>20,805</u>	<u>20,805</u>	18	“მთები”	<u>20093</u>	<u>20093</u>	<u>78,279</u>	<u>78,279</u>
4	“ნაგაზი”	57658	<u>56171</u>	27,279	<u>28,001</u>	19	“ტბა”	<u>42309</u>	<u>42309</u>	<u>37,176</u>	<u>37,176</u>
5	“თი-ბი-სი”	<u>47559</u>	<u>47559</u>	<u>33,072</u>	<u>33,072</u>	20	“მალაზია”	<u>76818</u>	<u>76818</u>	<u>20,475</u>	<u>20,475</u>
6	“კატა”	<u>68465</u>	<u>68465</u>	<u>22,974</u>	<u>22,974</u>	21	“კარუსელი”	<u>62163</u>	<u>62163</u>	<u>25,302</u>	<u>25,302</u>
7	“ციხესიმაგრე”	<u>68341</u>	<u>68341</u>	<u>23,016</u>	<u>23,016</u>	22	“შემოდგომა”	<u>110202</u>	<u>110202</u>	<u>14,274</u>	<u>14,274</u>
8	“ბაეშეები”	92615	<u>92586</u>	16,983	<u>16,988</u>	23	“კოშკი”	<u>83388</u>	<u>83388</u>	<u>18,861</u>	<u>18,861</u>
9	“ალუბლები”	77382	<u>77373</u>	20,325	<u>20,328</u>	24	“კოლიზეუმი”	86960	<u>86503</u>	18,087	<u>18,183</u>
10	“კროსი”	106351	<u>104818</u>	14,790	<u>15,006</u>	25	“ტექსტი”	<u>43409</u>	<u>43409</u>	<u>36,234</u>	<u>36,234</u>
11	“ფერმა”	<u>84030</u>	<u>84030</u>	<u>18,718</u>	<u>18,718</u>	26	“ფონი”	<u>10651</u>	<u>10651</u>	<u>147,674</u>	<u>147,674</u>
12	“პარკი”	77114	<u>74403</u>	20,397	<u>21,140</u>	27	“ღრუბელი”	<u>26901</u>	<u>26901</u>	<u>58,469</u>	<u>58,469</u>
13	“კენკრა”	112612	<u>112526</u>	13,968	<u>13,978</u>	28	“მამადავითი”	<u>48022</u>	<u>48022</u>	<u>32,754</u>	<u>32,754</u>
14	“დაისი”	<u>38472</u>	<u>38472</u>	<u>40,884</u>	<u>40,884</u>	29	“ფუნიკულორი”	<u>44208</u>	<u>44208</u>	<u>35,580</u>	<u>35,580</u>
15	“ზამთარი”	<u>73866</u>	<u>73866</u>	<u>21,294</u>	<u>21,294</u>	30	“ტელეანძა”	28293	<u>28142</u>	55,593	<u>55,890</u>

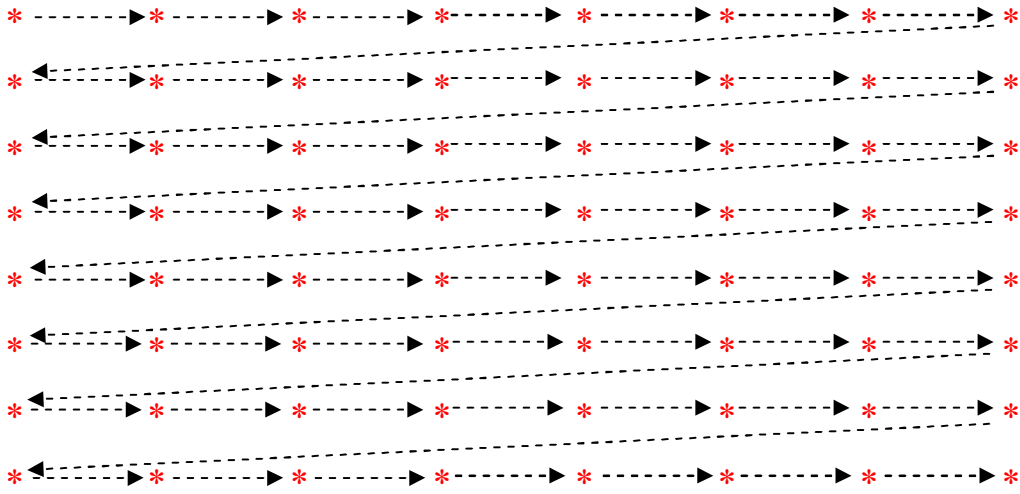
ზემოაღნიშნული 4 ვარიანტია: ზიგზაგ-ჰორიზონტალური სკანირება ანუ სკანირება, რომელიც იწყება ტრანსფორმანტების ჰორიზონტალური მიმართულებით, ანუ 1-ლი სტრიქონიდან (ნახ. 4); ზიგზაგ-ვერტიკალური სკანირება ანუ სკანირება, რომელიც იწყება ტრანსფორმანტების ვერტიკალური მიმართულებით, ანუ 1-ლი სვეტიდან (ნახ. 5); სკანირება ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების ორგანოზომილებიანი მასივის ჰორიზონტალური მიმართულებით ანუ სტრიქონული სკანირება (ნახ. 6); სკანირება ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების ორგანოზომილებიანი მასივის ვერტიკალური მიმართულებით ანუ სვეტური სკანირება (ნახ. 7). მაშასადამე, ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების ორგანოზომილებიანი მასივის მესამე თავში შემოთავაზებული ადაპტური უდანაკარგო კოდირების პროცესს, რომელიც ხორციელდება ტრანსფორმანტების სკანირების გარეშე, შეიძლება შეესაბამოს სკანირების 4 შემოთავაზებული ვარიანტიდან კომპრესიის თვალსაზრისით საუკეთესო ვარიანტი (სულ 5 ვარიანტი სკანირების გარეშე კოდირებასთან ერთად). საცდელი ფერადი გამოსახულებების სამივე შემდგენისათვის კოდირების 10 შესაძლო ვარიანტიდან შეიძლება შეირჩეს ერთ-ერთი (საუკეთესო) ვარიანტი. ეკონომიური კოდირების არსებული (არაადაპტური - ა) და შემოთავაზებული ადაპტური (ად) შეხამებული მეთოდის საუკეთესო ვარიანტის ეფექტურობის მაჩვენებლები საცდელი გამოსახულებების სრული სიგნალისათვის წარმოდგენილია მე-4 ცხრილში.



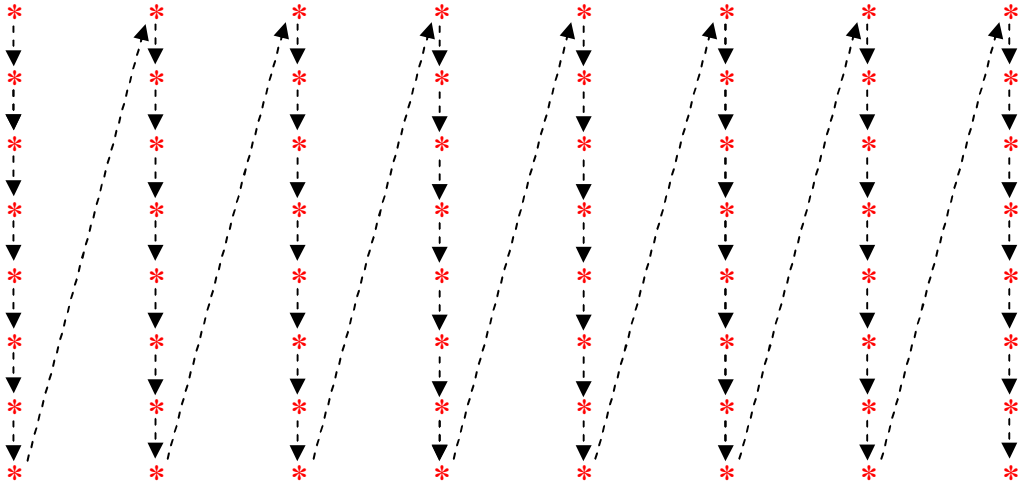
ნახ. 4. მთავარი სხვაობითი ელემენტების მასივის ზიგზაგ-ჰორიზონტალური სკანირება



ნახ. 5. მთავარი სხვაობითი ელემენტების მასივის ზიგზაგ-ვერტიკალური სკანირება



ნახ. 6. მთავარი სხვაობითი ელემენტების ჰორიზონტალური სკანირება



ნახ. 7. მთავარი სხვაობითი ელემენტების ვერტიკალური (სვეტური) სკანირება

ცხრილი 4. საცდელი გამოსახულებების სრული სიგნალის შესაბამისი დაკეანტული ტრანსფორმანტების უდანაკარგო კოდირებისათვის საჭირო ბიტების რაოდენობები გამოსახულებათა არსებული JPEG და MPEG სტანდარტებისა (M_s) და ადაპტური კოდირების დამუშავებული მეთოდის შემთხვევებისათვის ($M_{ად}$) და შესაბამისი კომპრესიის ფაქტორები (F_s და $F_{ად}$)

№	ამოსახულებები	M_s	$M_{ად}$	F_s	$F_{ად}$	№	გამოსახულებები	M_s	$M_{ად}$	F_s	$F_{ად}$
1	“ლენა”	64202	<u>61500</u>	24,50	<u>25,58</u>	16	“გარნიტური”	<u>51062</u>	<u>50745</u>	<u>30,80</u>	<u>31,00</u>
2	“ბიონსე”	61311	<u>60525</u>	25,65	<u>25,99</u>	17	“შროშანი”	<u>95723</u>	<u>95088</u>	<u>16,43</u>	<u>16,54</u>
3	“ბუნება”	<u>75608</u>	<u>75050</u>	<u>20,81</u>	<u>20,96</u>	18	“მთები”	<u>20093</u>	<u>20066</u>	<u>78,28</u>	<u>78,39</u>
4	“ნაგაზი”	57658	<u>55853</u>	27,28	<u>28,16</u>	19	“ტბა”	<u>42309</u>	42319	<u>37,18</u>	37,17
5	“თი-ბი-სი”	<u>47559</u>	<u>47223</u>	<u>33,07</u>	<u>33,31</u>	20	“მაღაზია”	<u>76818</u>	<u>76436</u>	<u>20,48</u>	<u>20,58</u>
6	“კატა”	<u>68465</u>	<u>68352</u>	<u>22,97</u>	<u>23,01</u>	21	“კარუსელი”	<u>62163</u>	<u>61968</u>	<u>25,30</u>	<u>25,38</u>
7	“ციხესიმაგრე”	<u>68341</u>	<u>67541</u>	<u>23,02</u>	<u>23,29</u>	22	“შემოდგომა”	<u>110202</u>	<u>109624</u>	<u>14,27</u>	<u>14,35</u>
8	“ბავშვები”	92615	<u>92029</u>	16,98	<u>17,09</u>	23	“კოშკი”	<u>83388</u>	<u>82975</u>	<u>18,86</u>	<u>18,96</u>
9	“ალუბლები”	77382	<u>76833</u>	20,33	<u>20,47</u>	24	“კოლიზეუმი”	86960	<u>85907</u>	18,09	<u>18,31</u>
10	“კროსი”	106351	<u>104228</u>	14,79	<u>15,09</u>	25	“ტექსტი”	<u>43409</u>	<u>42974</u>	<u>36,23</u>	<u>36,60</u>
11	“ფერმა”	<u>84030</u>	<u>83449</u>	<u>18,72</u>	<u>18,85</u>	26	“ფონი”	<u>10651</u>	<u>10624</u>	<u>147,67</u>	<u>148,05</u>
12	“პარკი”	77114	<u>74019</u>	20,40	<u>21,25</u>	27	“ღრუბელი”	<u>26901</u>	<u>26748</u>	<u>58,47</u>	<u>58,80</u>
13	“კენკრა”	112612	<u>111906</u>	13,97	<u>14,06</u>	28	“მამადავითი”	<u>48022</u>	<u>47523</u>	<u>32,75</u>	<u>33,10</u>
14	“დაისი”	<u>38472</u>	<u>38083</u>	<u>40,88</u>	<u>41,30</u>	29	“ფუნიკულორი”	<u>44208</u>	<u>43970</u>	<u>35,58</u>	<u>35,77</u>
15	“ზამთარი”	<u>73866</u>	<u>73482</u>	<u>21,29</u>	<u>21,41</u>	30	“ტელეანძა”	28293	<u>28007</u>	55,59	<u>56,16</u>

მე-4 ცხრილში შავად ნაჩვენებია კომპრესიის უარესი მონაცემები არსებულ ვარიანტთან შედარებით, მწვანედ – მთავარი კოეფიციენტების სხვაობების ადაპტაციისას მიღწეული საუკეთესო, ხოლო წითლად – ეკონომიური კოდირების შესამეზული მეთოდის გამოყენებისას მიღებული შედეგები. პირველადი ფერადი 256x256 ზომის გამოსახულებების სამივე შემდგენისათვის საჭირო სიმბოლოების ჯამური M რაოდენობის ($M=3 \times 256 \times 256 \times 8 = 1572864$ ბიტი) შეფარდებით კომპრესიის არსებული მეთოდის გამოყენებისას საჭირო სიმბოლოების M_s რაოდენობასთან და შემოთავაზებული ადაპტური კოდირების მეთოდის ვარიანტის შესაბამისი სიმბოლოების ჯამურ $M_{ად}$ რაოდენობასთან განისაზღვრება კომპრესიის ფაქტორები ფერად საცდელ გამოსახულებათა სრული სიგნალისათვის.

$$F_s = M/M_s \text{ და } F_{ად} = M/M_{ად} \quad (2)$$

ვინაიდან ფერადი გამოსახულების თითოეული შემდგენის კომპრესიის შემოთავაზებული ადაპტური მეთოდით კოდირებისას ფერადი გამოსახულებების თითოეულ შემდგენს შეესაბამება 10 ვარიანტი, ამიტომ სრული სიგნალისათვის (ერთად სამივე შემდგენისათვის) ვარიანტების რაოდენობა იქნება $10^3 = 1000$, რომლის კოდირებისთვის საჭიროა 10-თანრიგა ორობითი რიცხვი. ამის გამო კოდირების საუკეთესო ვარიანტისათვის კომპრესიის ფაქტორის გამოთვლისას გათვალისწინებულია საინფორმაციო (ჭარბი) 10 სიმბოლოს გადაცემის (შენახვის) აუცილებლობა (იხ. ცხრილი 4).

როგორც მე-4 ცხრილიდან ჩანს, ადაპტური შესამეზული კოდირების დამუშავებული მეთოდი უმრავლესი საცდელი გამოსახულებისათვის იძლევა გაუმჯობესებულ შედეგებს კოდირების არსებულ მეთოდთან შედარებით (გამონაკლისს წარმოადგენს გამოსახულება “ტბა”, რომლისთვისაც შემოთავაზებული მეთოდის ეფექტურობა უარესია არსებულთან შედარებით საინფორმაციო 10 სიმბოლოს დამატების გამო).

ამრიგად, ფერად გამოსახულებათა სიკაშკაშის Y და ფერსხვაობითი Cr და Cb შემდგენების 8x8 ზომის ფრაგმენტების დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების სხვაობითი მნიშვნელობების უდანაკარგო კოდირების

დამუშავებული მეთოდი ემყარება მათ ადაპტურ კოდირებას ჰაფმანის ცხრილების გამოყენებით და რომელიც, გამომავალ ციფრულ ნაკადში უმნიშვნელო სიჭარბის (საინფორმაციო ბიტების) შეტანის მიუხედავად, კოდირებულ გამოსახულებათა უცვლელი ხარისხობრივი მაჩვენებლების პირობებში უზრუნველყოფს კომპრესიის ეფექტურობის ამაღლებას არსებულ არაადაპტურ მეთოდთან შედარებით.

ფერად საცდელ გამოსახულებათა სამივე შემდგენისთვის შეფასებულია საინფორმაციო (ჭარბ) ბიტებზე ხელშეშლების ზემოქმედების შედეგები აღდგენილ გამოსახულებათა ხარისხობრივი მაჩვენებლების თვალსაზრისით და შემოთავაზებულია აღნიშნული ზემოქმედების უარყოფითი შედეგების გაუვნებელოფის გზები. სანიმუშოდ მე-8 სურათზე ნაჩვენებია კომპრესირებული გამოსახულების “ლენა” სიკაშკაშის და ფერსხვაობითი შემდგენების მთავარი ელემენტების სხვაობების გამოთვლის მიმართულების შესახებ ინფორმაციის დამახინჯებისას იმ შემთხვევაში, როდესაც სხვაობების გამოთვლა მოხდება მთავარი ელემენტების შესაბამისი მასივის ვერტიკალური მიმართულებით. როგორც ჩანს, გამოსახულებები განსაკუთრებით მახინჯდება სიკაშკაშის შემდგენის შესახებ ინფორმაციის დამახინჯებისას. გამოსახულებათა დამახინჯებები შეიძლება თავიდან ავიცილოთ საინფორმაციო სიმბოლოების (ბიტების) რამდენჯერმე (მაგალითად, 3-ჯერ) გამეორების შემთხვევაში. მაშინ გამოსახულებათა აღდგენისას სამი კომბინაციიდან დავეყრდნობით ორ ერთნაირ (მაღალი ალბათობით დაუმახინჯებელ) კომბინაციას.

მეოთხე თავში მოყვანილია, აგრეთვე, მონაცემები ეკონომიურად კოდირებული (კომპრესირებული) საცდელი გამოსახულებების სუბიექტურ-სტატისტიკური მეთოდით ხარისხის შეფასების შესახებ ლიტერატურაში აღწერილი მეთოდის საფუძველზე, რომლის საფუძველზე დასტურდება, რომ ყველა საცდელი გამოსახულებისათვის საბოლოოდ მიღებული შეფასება 6-ზე (მაღალზე) მეტია და მრავალი გამოსახულებისათვის 7-ზე (ძალიან მაღალზე) ოდნავ ნაკლებია, რაც სავსებით მისაღებია JPEG და MPEG რეკომენდაციებით გათვალისწინებული მოთხოვნების თვალსაზრისით.



Y
ა

C_r
ბ

C_b
გ

სურ. 8. შეცდომების გავლენა საინფორმაციო სიმბოლოებზე ტრანსფორმანტების მთავარ ელემენტთა სხვაობების ვერტიკალური მიმართულებით გამოთვლისას გამოსახულება “ლენას” მხოლოდ სიკაშკაშის Y (ა) და მხოლოდ ფერსხვაობითი C_r (ბ) ან C_b (გ) შემდგენებისათვის

ნაშრომში განხორციელებულია სხვადასხვა კლასის (ძალიან მცირე, მცირე, საშუალო და მაღალი დეტალობის მქონე) საცდელი ფერადი გამოსახულებების ეკონომიური კოდირების არსებული არაადაპტური და შემოთავაზებული ადაპტური მეთოდის მოდელირება პროგრამა Mathcad-ის გამოყენებით.

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი დასკვნები

ძირითადი შედეგები, რომლებიც მიღებულია სამუშაოს თემატიკასთან დაკავშირებით, შემდეგია:

1. ნაჩვენებია, რომ ფერად გამოსახულებათა როგორც სიკაშკაშის, ასევე ფერსხვაობითი შემდგენების შესაბამისი მთავარი დაკავანტული ელემენტების მასივის კორელაციის კოეფიციენტები შეიძლება სხვადასხვა იყოს სხვადასხვა მიმართულებით. კერძოდ, გამოსახულებების “ლენა”, “ძალი”, “ბუნება”, “ალუბლები”, “პარკი”, “ბავშვები”, “კროსი” და “კენკრა” სიკაშკაშის Y შემდგენის, გამოსახულებების “ლენა”, “ქალი”, “ძალი”, “ალუბალი”, “ფერმა”, “პარკი” და “კროსი” ფერსხვაობითი C_r და გამოსახულებების “ლენა”, “ძალი”, “ფერმა”, “პარკი”, “ბავშვები”, “კროსი” და “კენკრა” ფერსხვაობითი C_b შემდგენების შესაბამისი გარდასახვის მთავარი F(0,0) ელემენტების მასივის კორელაციის კოეფიციენტები ვერტიკალური მიმართულებით აღემატება კორელაციის კოეფიციენტებს

ჰორიზონტალური მიმართულებით, ხოლო დანარჩენებისათვის – პირიქით.

2. დასაბუთებულია, რომ აღნიშნული კანონზომიერება აისახება მთავარი ელემენტების ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მიმართულებების შესაბამისი სხვაობითი მნიშვნელობების ენტროპიებშიც. კერძოდ, გამოსახულება “ლენას” სიკაშკაშის შემდგენის გარდასახვის შედეგად მიღებული მთავარი დაკვანტული ელემენტების მასივის ჰორიზონტალური მიმართულებით გამოთვლილი სხვაობითი მნიშვნელობების ერთობლიობის ენტროპიაა 5,8 ბიტი/ელემენტი, ხოლო ვერტიკალური მიმართულებით გამოთვლილი სხვაობების ენტროპია შეადგენს 4,9 ბიტი/ელემენტს. ასევე ფერსხვაობითი Cr შემდგენის მთავარი ელემენტების სხვაობითი მნიშვნელობებისათვის ენტროპიაა შესაბამისად 3,9 და 3,5 ბიტი ელემენტზე, ხოლო Cb შემდგენისათვის – შესაბამისად 4,3 და 3,5 ბიტი ელემენტზე.

3. თვალსაჩინოდაა ნაჩვენები ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების როლი აღდგენილი გამოსახულებების სიზუსტის თვალსაზრისით. მაგალითად, გამოსახულებისათვის “ლენა” მხოლოდ მთავარი ელემენტით მისი აღდგენისას საშუალო კვადრატული შეცდომა უარესდება 15,231 ერთეულით, პიკური სიგნალ-ხმაურის ფარდობა – 9,890 დბ-ით, ხოლო ტრანსფორმანტების მხოლოდ ყველა დანარჩენი არამთავარი ელემენტებით აღდგენისას შესაბამისი მაჩვენებლები მნიშვნელოვნად მატულობს და შეადგენს 111,713 ერთეულსა და 24,386 დბ-ს. გამოსახულებისათვის “ალუბლები” შესაბამისი მაჩვენებლებია 18,598 ერთეული, 9,225 დბ, 94,184 ერთეული და 20,598 დბ, ხოლო გამოსახულებისათვის “დაისი” – 9,014 ერთეული, 6,842 დბ, 118,198 ერთეული და 24, 462 დბ.

4. გარდასახვის მთავარი ელემენტების მასივის ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მიმართულებებით გამოთვლილი სხვაობითი მნიშვნელობების პარამეტრების ანალიზის საფუძველზე შემოთავაზებულია აღნიშნული მასივის ადაპტური უდანაკარგო კოდირების მეთოდი, რომლის დროსაც ჰაფმანის ცხრილების გამოყენებით უდანაკარგო კოდირება ხორციელდება იმ სხვაობითი მნიშვნელობებისათვის, რომელთა ენტროპია უფრო მცირეა.

5. ნაჩვენებია, რომ აღნიშნული მეთოდი, მაგალითად, გამოსახულება “ლენას” სიკაშკაშის Y შემდგენის შესაბამისი მთავარი ელემენტებისათვის უზრუნველყოფს საჭირო ბიტების რაოდენობის შემცირებას 7726-დან 5922-დღე, ანუ 1804 ბიტით, ფერსხვაობითი Cr შემდგენისათვის – 1198 ბიტიდან 1024 ბიტამდე, ანუ 174 ბიტით, ხოლო ფერსხვაობითი Cb შემდგენისათვის – 1352 ბიტიდან 1008 ბიტამდე, ანუ 344 ბიტით. ფერადი გამოსახულების “ლენა” სრული სივრცის შესაბამისი მთავარი ელემენტების კოდირების არსებული მეთოდის გამოყენებისას საჭირო ბიტების რაოდენობაა 10276, ხოლო ადაპტური მეთოდისას საინფორმაციო (ჭარბი) 3 ბიტის გათვალისწინებით – 7957, ანუ 2319-ით ნაკლები.

6. დადასტურებულია, რომ ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების სხვაობების ვერტიკალური მიმართულებით გამოთვლისას კომპრესიის თვალსაზრისით შედარებით მნიშვნელოვანი ეფექტი მიიღწევა გამოსახულებებისათვის “ლენა”, “ნაგაზი”, “კროსი” და “პარკი”. კერძოდ, ამ გამოსახულებებისათვის ადაპტური კოდირების შემოთავაზებული მეთოდის შედეგად მოგებული ბიტების რაოდენობებია შესაბამისად 2319, 119, 1533 და 1991, რაც ადასტურებს კოდირების პროცესისადმი ადაპტური მიდგომის მიზანშეწონილობას.

7. შემოთავაზებული ადაპტური მეთოდის ეფექტურობა დასაბუთებულია საცდელი ფერადი გამოსახულებების შემდგენების ერთ ელემენტზე (პიქსელზე) გადათვლილი ბიტების რაოდენობის ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების მასივის ენტროპიასთან მიახლოების თვალსაზრისით. კერძოდ, გამოსახულებების ადაპტური უდანაკარგო კოდირების შედეგად იზრდება კოდირების ეფექტურობა, ვინაიდან უფრო მეტად ხდება ენტროპიასთან მიახლოება, ვიდრე არადაპტური კოდირებისას. ამ თვალსაზრისით საუკეთესო მაჩვენებლებით გამოირჩევა შემდეგი გამოსახულებების სიკაშკაშის Y შემდგენი: “ლენა”, რომლის ადაპტური კოდირებისას საკმარისი სიმბოლოების ერთ ელემენტზე გადათვლილი რაოდენობა ენტროპიას აღემატება მხოლოდ 0,873-ით; “ნაგაზი” – 0,779-ით; “თი-ბი-სი” – 0,421-ით; “კატა” – 0,778-ით; “ციხესიმაგრე” – 0,511-ით; “პარკი” – 0,778-ით;

“დაისი” – 0,637-ით; “ზამთარი” – 0,725-ით; “გარნიტური” – 0,546-ით; “მთები” – 0,371-ით; “ტბა” – 0,214-ით; “კარუსელი” – 0,568-ით; “კოშკი” – 0,681-ით; “ტექსტი” – 0,324-ით; “ფონი” – 0,321-ით; “ღრუბელი” – 0,345-ით; “მამადავითი” – 0,992-ით; “ფუნიკულორი” – 0,444-ით და “ტელეანძა” – 0,242-ით.

8. დასაბუთებულია გამოსახულებათა ეკონომიური კოდირების ფაქტორის შემდგომი გაუმჯობესების შესაძლებლობა ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების მასივის სკანირების სხვადასხვა ვარიანტის (ზიგზაგ-ჰორიზონტალური, ზიგზაგ-ვერტიკალური, ჰორიზონტალური და ვერტიკალური) რეალიზაციითა და მისი შეხამებით სხვაობების ადაპტური გამოთვლის ვარიანტებთან.

9. ნაჩვენებია, რომ ადაპტური შეხამებული კოდირების დამუშავებული მეთოდი უმრავლესი საცდელი გამოსახულებისათვის იძლევა გაუმჯობესებულ შედეგებს კოდირების არსებულ მეთოდთან შედარებით (გამონაკლისს წარმოადგენს გამოსახულება “ტბა”, რომლისთვისაც შემოთავაზებული მეთოდის ეფექტურობა უარესია არსებულთან შედარებით საინფორმაციო 10 სიმბოლოს დამატების გამო), კერძოდ: გამოსახულებისათვის “ლენა” ეკონომიური ადაპტური კოდირებისათვის საჭირო სიმბოლოების რაოდენობა კოდირების არსებულ ვარიანტთან შედარებით მცირდება 64202-დან 61500-დე, ანუ 4,21%-ით; გამოსახულებისათვის “ბიონსე” – 61311-დან 60527 ბიტამდე (1,28%-ით), გამოსახულებისათვის ”ბუნება” 75608-დან 75052 ბიტამდე (0,74%-ით), გამოსახულებისათვის “ნაგაზი” 57658-დან 55855 ბიტამდე (3,17%-ით), გამოსახულებისათვის “პარკი” – 77114-დან 74019 ბიტამდე (4,01%-ით) და ასე შემდეგ.

10. ნაჩვენებია, რომ ფერად გამოსახულებათა სამიდან თითოეული შემდგენისათვის ადაპტური შეხამებული კოდირების შემოთავაზებული ვარიანტების საერთო რაოდენობაა 10. შესაბამისად, სრული სიგნალისათვის ვარიანტების რაოდენობაა $10^3=1000$, რომლისთვისაც საჭიროა დამატებითი (ჭარბი) 10 საინფორმაციო სიმბოლო.

11. ფერად საცდელ გამოსახულებათა სამივე შემდგენისთვის შეფასებულია საინფორმაციო (ჭარბ) ბიტებზე ხელშეშლების ზემოქმედების შედეგები აღდგენილ გამოსახულებათა ხარისხობრივ

მაჩვენებლების თვალსაზრისით და შემოთავაზებულია აღნიშნული ზემოქმედების უარყოფითი შედეგების გაუვნებელოფის გზები საინფორმაციო სიმბოლოების შესაბამისი 10-თანრიგა კოდური ჯგუფის რამდენჯერმე (მაგალითად, 3-ჯერ) განმეორებითი გადაცემის (შენახვის) ხარჯზე.

12. განხორციელებულია სხვადასხვა კლასის (მცირე, საშუალო და მაღალი დეტალობის მქონე) საცდელი (სატესტო) ფერადი გამოსახულებების ეკონომიური კოდირების შემოთავაზებული მეთოდის მოდელირება პროგრამა Mathcad-ის გამოყენებით, რომლის საფუძველზე შეფასებულია გამოსახულებათა ეკონომიური კოდირების შემუშავებული ადაპტური მეთოდის ეფექტურობა არსებულ არაადაპტურ მეთოდთან შედარებით.

13. სხვადასხვა კლასის საცდელი ფერადი გამოსახულებების სიკაშკაშის Y და ფერსხვაობითი Cr და Cb შემდგენების ეკონომიური კოდი-რების შემოთავაზებული ადაპტური მეთოდის მოდელირების საფუძველზე ნაჩვენებია, რომ მათი ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების ორგანზომილებიანი მასივის სხვადასხვა (ჰორიზონტალური ან ვერტიკალური) მიმართულებით სხვაობითი მნიშვნელობების უდანაკარგო კოდირებისას, ასევე მათი ელემენტების მასივის სკანირების სხვადასხვა ვარიანტიდან ერთ-ერთის შერჩევით (ანუ კოდირების არსებული და შემოთავაზებული მეთოდების ჰიბრიდიზაციით) მრავალი გამოსახულებისათვის მიღწევადია კომპრესიის ეფექტურობის მნიშვნელოვანი გაუმჯობესება კოდირების არსებულ ალგორითმთან შედარებით.

14. ჩატარებულია შემოთავაზებული მეთოდის საფუძველზე კომპრე-სირებული გამოსახულებების ხარისხობრივი მაჩვენებლების შეფასება ობიექტური და სუბიექტური კრიტერიუმების საფუძველზე და ნაჩვენებია, რომ როგორც ობიექტური, ასევე სუბიექტური კრიტერიუმების საფუძველზე მიღებული მონაცემები ემთხვევა უძრავ გამოსახულებათა ეკონომიური კოდირების JPEG და MPEG რეკომენდაციებით გათვალისწინებულ მონაცემებს, ანუ ეკონომიური კოდირების შემოთავაზებული ადაპტური მეთოდი არ იწვევს კომპრესირებულ გამოსახულებათა ხარისხობრივი მაჩვენებლების

გაუარესებას არსებულ მეთოდთან შედარებით. კერძოდ, გამოსახულებისათვის “ლენა” აღდგენის საშუალო კვადრატული ცდომილება არსებულ და შემოთავაზებულ შემთხვევებში შეადგენს 7,289, პიკური ხოლო სიგნალ/ხმაურის ფარდობა – 35,504 დბ-ს, ხოლო სუბიექტური ექსპერტიზის 7-ბალიანი სისტემის მაჩვენებელია 6,5 ბალი, რაც მაღალზე (6 ბალზე) მეტია და ძალზე მაღალზე (7 ბალი) ნაკლებია.

დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებულ ნაშრომთა სია:

1. ხუნწარია ლ. ჯ., გოგბერაშვილი მ. რ. გამოსახულებათა კოდირების პრინციპები წრფივი გარდასახვების საფუძველზე. საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი “ინტელექტუალი” №11, თბილისი, 2009, გვ. 165-168.
2. ხუნწარია ჯ. მ., გოგბერაშვილი მ. რ., ჯღამაძე მ. ს., მაჩაღაძე 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., ჯღამაძე მ. ს., გოგბერაშვილი მ. რ., მაჩაღაძე რ. ი. უდანაკარგოდ კოდირებული წრფივი გარდასახვის ტრანსფორმანტების დეკოდირების ალგორითმი. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის “ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები” მოხსენებების კრებული. ქუთაისი, 2010, გვ. 281-285.
4. 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.
5. ჯ. ხუნწარია, მ. გოგბერაშვილი, რ. მაჩაღაძე, მ. ჯღამაძე. გამოსახულებათა დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის მთავარი კოეფიციენტების მასივის კორელაციური თავისებურებანი. –

საერთაშორისო საინჟინრო აკადემიისა და საქართველოს საინჟინრო აკადემიის ჟურნალი “Georgian Engineering Newsö (GEN), №3, თბილისი, 2011, გვ. 21-26.

6. ხუნწარია ჯ. მ., ჯღამაძე მ. ს., გოგბერაშვილი მ. რ., მაჩაღაძე რ. ი. დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის ტრანსფორმანტების სტატისტიკური მახასიათებლები. – საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის ყოველთვიური სამეცნიერო-რეფერირებული ჟურნალი “მეცნიერება და ტექნოლოგიები” №10-12, თბილისი, 2011, გვ. 15-20.

7. გოგბერაშვილი მ. მონაცემთა ორგანზომილებიანი მასივის სკანირების ვარიანტები. – თბილისი, სტუ, “განათლება” №1 (4), 2012, გვ. 240-244.

8. ხუნწარია ჯ., გოგბერაშვილი მ., აბულაძე ვ. მონაცემთა კორელირებული ორგანზომილებიანი მასივების ადაპტური უდანაკარგო კომპრესია. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის “ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები” მოხსენებების კრებული. ქუთაისი, 2013, გვ. 317-322.

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

Abstract

Dissertation öProcession and Study of Economic Coding Method of Images under the Basis of Transformants Features of Discrete Cosine Conversionö includes review of principles and methods on economic coding (compression) of digital signals of images under the basis of discrete cosine conversion and matching lossless coding of its transformants and there are provided results of theoretical and experimental studies conducted for the purpose of improvement efficiency of economic coding.

In order to remember broadband signals of images and provide their high quality program through real telecommunication channels it is essential to provide economic coding of these signals under certain methods of compression out of which each of them have different possibilities of compression.

Under the basis of comparative analysis of various methods of economic coding of image signals is established that out of current methods of compression, including differential pulse-code modulation various kinds of rectilinear orthogonal conversions, morphological coding, vector quantization, pyramidal coding and others, high quality

of compression has a method merging discrete cosine conversion of 8x8 dimension fragments of the shots of images, differential pulse-code modulation, lossless coding of conversion elements by applying Hafman codes and for movable images additional interframe coding under the basis of movement compensation. Due to aforesaid reason above mentioned method of compression of images is the basis for the international JPEG (Joint Picture Expert Group) and MPEG (Motion Picture Expert Group) recommendations of economic coding of immovable and movable images.

According to the analysis of statistical parameters (entropy and correlation coefficient) of brightness y of the signals of colored images and major elements of discrete cosine conversion of color-different Cr and Cb component parts and areas of their different values makes possible to have raised efficiency of coding. Namely, mostly correlation elements of two-dimensional areas of major elements of discrete cosine conversion transformants of Y, Cr and Cb component parts of colored images towards horizontal and vertical direction differ from each other and due to this reason the entropies of respective differential values differ from each other that is the basis of adaptive approach to lossless (entropic) coding of mentioned areas.

There are provided histograms of differential values calculated to various directions of major elements of transformants and their entropy formed as a result of discrete cosine conversion of colored images of Y, Cr and Cb component parts.

Algorithm of adaptive economic coding of the area of major elements of transformants is processed meaning calculation of differential values of elements towards horizontal and vertical direction of two-dimensional area composed from them and coding of those differences by applying Hafman table that is better one from the standpoint of compression.

In order to have more raised (improvement of compression) efficiency of lossless coding by applying Hafman codes of the area of differential values of major elements of transformants, it is also possible by adaptive scanner of the area of differential values of major elements of transformants, when it is possible from the standpoint of compression for the purpose of choosing best version for each component parts of various kinds of colored images together with the current method of coding without scanning to use one of the version of scanning out of four mentioned versions: zigzag-horizontal scanning (scanning that begins towards horizontal direction of transformants, so from the first line); zigzag-vertical scanning (scanning that begins towards vertical direction of transformants, so from the first line); scanning towards horizontal direction of two-dimensional area of major elements of transformants (linear scanning); scanning towards vertical direction (column scanning).

Total number of calculation direction and version of scanning of differential values of major elements upon lossless coding transformants of any images for all of the three component parts of colored images amounts 1000 that require additional (excess) informational 10 symbols (bits) that is insignificant compared with that gain providing adaptive approach to the process of coding.

Processed method of lossless coding of differential values of brightness y of colored images and major elements of discrete cosine conversion of transformants of color-different Cr and Cb component parts with 8x8 dimensional fragments is based on their adaptive coding by applying Hafman tables that besides insignificant surplus inclusion (informational bits) in outgoing digital flow under unchanged qualitative values of coded images raises efficiency of compression compared with the current nonadaptive method.

From the standpoint of qualitative values of recovered images there are assessed results of influence of preventive means on informational (surplus) bits for all of the three component parts of colored experimental images and are offered ways on abatement of negative results of mentioned influence.

There is provided various classes (with little, medium and high detail) of modeling for offered method of economic coding of experimental (testing) colored images by applying software Mathcad under that basis is assessed efficiency of developed adaptive method of economic coding of images compared with the current nonadaptive method.

Under the basis of modeling of offered adaptive method of brightness Y and color-different Cr and Cb component parts of various classes of experimental colored images is shown that upon lossless coding of differential values of major elements of their transformants to different directions (horizontal and vertical) of two-dimensional area, also by choosing one of the items out of various versions of scanning of the area of their elements (so, by choosing the best one out of current and offered methods of coding) it is possible for many images to have significantly improved efficiency of compression compared with the current algorithm of coding.