

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

მანანა გოგბერაშვილი

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

წარდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა “ტელეკომუნიკაცია” შიფრი 0402

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თბილისი, 0175, საქართველო

დეკემბერი, 2014

ს ა ა ვ ტ ო რ ო უ ფ ლ ე ბ ა © 2014 წელი, მანანა გოგბერაშვილი

თბილისი
2014 წელი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ენერგეტიკის და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით მანანა გოგბერაშვილის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „გამოსახულებათა ეკონომიური კოდირების მეთოდის დამუშავება და გამოკვლევა დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის ტრანსფორმანტების თავისებურებათა საფუძველზე“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკის და ტელეკომუნიკაციის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

თარიღი _____

ხელმძღვანელი:	პროფესორი	ჯ. ხუნწარია
რეცენზენტი:	პროფესორი	ვ. ნანობაშვილი
რეცენზენტი:	ასოც. პროფესორი	ვ. ოთხოზორია

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
2014 წელი

ავტორი : გოგბერაშვილი მანანა
დასახელება : გამოსახულებათა ეკონომიური კოდირების
მეთოდის დამუშავება და გამოკვლევა
დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის
ტრანსფორმანტების თავისებურებათა
საფუძველზე
ფაკულტეტი : ენერგეტიკის და ტელეკომუნიკაციის
აკადემიური ხარისხი: დოქტორი
სხდომა ჩატარდა: — თებერვალი, 2015 წ.

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ
ზემომოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით
მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და
გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ
უნივერსიტეტს.

მ. გოგბერაშვილი

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც
მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა
ან სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის
წერილობითი ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო
უფლებებით დაცული მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა
(გარდა იმ მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ
სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს
მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა
მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

რეზიუმე

სადისერტაციო ნაშრომში „გამოსახულებათა ეკონომიური კოდირების მეთოდის დამუშავება და გამოკვლევა დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის ტრანსფორმანტების თავისებურებათა საფუძველზე“ განხილულია გამოსახულებათა ციფრული სიგნალების ეკონომიური კოდირების (კომპრესიის) პრინციპები და მეთოდები დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვისა და მისი ტრანსფორმანტების უდანაკარგო კოდირების შეხამების საფუძველზე და წარმოდგენილია ეკონომიური კოდირების ეფექტურობის გაუმჯობესების მიზნით ჩატარებული თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების შედეგები.

გამოსახულებათა ფართოხოლოვანი სიგნალების დამახსოვრებისა და რეალური სატელეკომუნიკაციო არხებით მათი მაღალხარისხოვანი გადაცემის უზრუნველყოფისათვის აუცილებელია ამ სიგნალების ეკონომიური კოდირების განხორციელება კომპრესიის ამა თუ იმ მეთოდით, რომელთაგან თითოეული მათგანი გამოირჩევა კომპრესიის ერთმანეთისაგან განსხვავებული შესაძლებლობებით.

გამოსახულებათა სიგნალების ეკონომიური კოდირების სხვადასხვა მეთოდების შედარებითი ანალიზის საფუძველზე დადგენილია, რომ კომპრესიის არსებული მეთოდებიდან, რომელთა შორისაა დიფერენციალური იმპულსურ-კოდური მოდულაცია, სხვადასხვა სახის წრფივი ორთოგონალური გარდასახვები, მორფოლოგიური კოდირება, ვექტორული დაკვანტვა, პირამიდული კოდირება და სხვა, კომპრესიის მაღალი ხარისხით გამოირჩევა მეთოდი, რომელიც აერთიანებს გამოსახულებათა კადრების 8x8 ზომის ფრაგმენტების დისკრეტულ კოსინუსურ გარდასახვას, დიფერენციალურ იმპულსურ-კოდურ მოდულაციას, გარდასახვის ელემენტების უდანაკარგო კოდირებას ჰაფმანის კოდების გამოყენებით და მოძრავი გამოსახულებებისათვის – დამატებით კადრთაშორის კოდირებას მოძრაობის კომპენსაციის საფუძველზე. ამის გამო გამოსახულებათა კომპრესიის აღნიშნული მეთოდი წარმოადგენს უძრავ და მოძრავ გამოსახულებათა ეკონომიური კოდირების საერთაშორისო JPEG (Joint Picture Expert Group) და MPEG (Motion Picture Expert Group) რეკომენდაციების საფუძველს.

ფერად გამოსახულებათა სიგნალების სიკაშკაშის Y და ფერსხვაობითი Cr და Cb შემდგენების დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის მთავარი ელემენტებისა და მათი სხვაობითი მნიშვნელობების მასივების სტატისტიკური პარამეტრების (ენტროპია და კორელაციის კოეფიციენტი) ანალიზი იძლევა კოდირების ეფექტურობის ამაღლების საშუალებას. კერძოდ, ხშირ შემთხვევაში ფერად გამოსახულებათა Y, Cr და Cb შემდგენების დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების ორგანოზომილებიანი მასივების კორელაციის კოეფიციენტები ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მიმართულებით სხვადასხვაა, რის გამოც შესაბამისი სხვაობითი მნიშვნელობების მასივების ენტროპიებიც განსხვავებულია, რაც წარმოადგენს აღნიშნული მასივების უდანაკარგო (ენტროპიული) კოდირებისადმი ადაპტური მიდგომის საფუძველს.

წარმოდგენილია ფერად გამოსახულებათა Y, Cr და Cb შემდგენების დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის შედეგად ფორმირებული ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების სხვადასხვა მიმართულებით გამოთვლილი სხვაობითი მნიშვნელობების ჰისტოგრამები და მათი ენტროპიათა მონაცემები.

დამუშავებულია ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების მასივის ადაპტური ეკონომიური კოდირების ალგორითმი, რომელიც გულისხმობს ელემენტების სხვაობითი მნიშვნელობების გამოთვლას მათგან შედგენილი ორგანოზომილებიანი მასივის ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მიმართულებით და იმ სხვაობების კოდირებას ჰაფმანის ცხრილის გამოყენებით, რომელიც უკეთესია კომპრესიის თვალსაზრისით.

ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების სხვაობითი მნიშვნელობების მასივის ჰაფმანის კოდების გამოყენებით უდანაკარგო კოდირების ეფექტურობის უფრო მეტად ამაღლება (კომპრესიის გაუმჯობესება) შესაძლებელია ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების სხვაობითი მნიშვნელობების მასივის ადაპტური სკანირებითაც, რომლის დროსაც კომპრესიის თვალსაზრისით საუკეთესო ვარიანტის შერჩევის მიზნით სხვადასხვა ტიპის ფერადი გამოსახულების თითოეული შემდგენისთვის სკანირების გარეშე კოდირების არსებულ მეთოდთან ერთად შეიძლება გამოყენებული იყოს სკანირების შემდეგი ოთხი ვარიანტიდან ერთ-ერთი: ზიგზაგ-ჰორიზონტალური სკანირება (სკანირება, რომელიც იწყება ტრანსფორმანტების ჰორიზონტალური მიმართულებით, ანუ 1-ლი სტრიქონიდან); ზიგზაგ-ვერტიკალური სკანირება (სკანირება, რომელიც იწყება ტრანსფორმანტების ვერტიკალური მიმართულებით, ანუ 1-ლი სვეტიდან); სკანირება ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების ორგანოზომილებიანი მასივის ჰორიზონტალური მიმართულებით (სტრიქონული სკანირება); სკანირება ვერტიკალური მიმართულებით (სვეტური სკანირება).

ნებისმიერი გამოსახულების ტრანსფორმანტების უდანაკარგო კოდირებისას მთავარი ელემენტების სხვაობითი მნიშვნელობების გამოთვლის მიმართულებისა და სკანირების ვარიანტების ჯამური რაოდენობა ფერად გამოსახულებათა სამივე შემდგენისათვის შეადგენს 1000-ს, რაც საჭიროებს დამატებით (ჭარბ) საინფორმაციო 10 სიმბოლოს (ბიტს), რაც უმნიშვნელოა იმ მოგებასთან შედარებით, რასაც იძლევა კოდირების პროცესისადმი ადაპტური მიდგომა.

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 მანვენებლების პირობებში უზრუნველყოფს კომპრესიის ეფექტურობის ამაღლებას არსებულ არაადაპტურ მეთოდთან შედარებით.

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.

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.

სხვადასხვა კლასის საცდელი ფერადი გამოსახულებების სიკაშკაშის Y და ფერსხვაობითი Cr და Cb შემდგენების ეკონომიური კოდირების შემოთავაზებული ადაპტური მეთოდის მოდელირების საფუძველზე ნაჩვენებია, რომ მათი ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების ორგანოზომილებიანი 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 მეთოდებიდან საუკეთესოს შერჩევით) მრავალი გამოსახულებისათვის მიღწევადია კომპრესიის ეფექტურობის მნიშვნელოვანი გაუმჯობესება კოდირების არსებულ ალგორითმთან შედარებით.

Abstract

Dissertation "Processing and Study of Economic Coding Method of Images under the Basis of Transformants Features of Discrete Cosine Conversion" 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.

სარჩევი

	შესავალი-----	17
	ლიტერატურის მიმოხილვა-----	27
	სამუშაოს შედეგები და მათი განსჯა-----	34
1	გამოსახულებათა ეკონომიური კოდირება დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის საფუძველზე-----	34
1.1	გამოსახულებების დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის ტრანსფორმანტების ფორმირება-----	34
1.2	ტრანსფორმანტების უდანაკარგო კოდირება ჰაფმანის ცხრილების გამოყენებით-----	40
1.3	საცდელი ფერადი გამოსახულებები და მათი ხარისხობრივი მანევრებლების შეფასება ობიექტური კრიტერიუმების საფუძველზე-----	45
2	ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების სტატისტიკური მახასიათებლები-----	59
2.1	ტრანსფორმანტების მთავარი და არამთავარი ელემენტების როლი ეკონომიურად კოდირებული გამოსახულებების ხარისხობრივი მანევრებლების თვალსაზრისით-----	59
2.2	ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების მასივის ჰისტოგრამები და მათი კორელაციური პარამეტრები-----	62
2.3	ენტროპიული პარამეტრები ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების სხვაობების სხვადასხვა მიმართულებით გამოთვლისას-----	67
3	გარდასახვის მთავარი ელემენტების მასივის ადაპტური უდანაკარგო კოდირება-----	71
3.1	დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის დაკვანტული მთავარი ელემენტების სხვაობითი მნიშვნელობების ადაპტური კოდირება მათი სტატისტიკური მახასიათებლების საფუძველზე	71
3.2	სტატისტიკური მახასიათებლების საფუძველზე ადაპტური კოდირების ეფექტურობის შეფასება-----	76
4	დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის ტრანსფორმანტების მთავარი სხვაობითი ელემენტების ადაპტური კოდირება სკანირების ვარიანტების შერჩევით-----	91
4.1	დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის ტრანსფორმანტების მთავარი სხვაობითი ელემენტების სკანირების ვარიანტების დამუშავება-----	91
4.2	ტრანსფორმანტების მთავარი სხვაობითი ელემენტების მასივის ადაპტური სკანირების ეფექტურობა-----	94

4.3	ხელშეშლების გაელენა დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის ტრანსფორმანტების მთავარი სხვაობითი ელემენტების ადაპტური კოდირებისას-----	109
4.4	ეკონომიურად კოდირებულ გამოსახულებათა ხარისხის შეფასება სუბიექტური კრიტერიუმის საფუძველზე-----	113
	დასკვნები-----	121
	ლიტერატურა-----	126
	დანართი 1. განმოსახულებათა კომპრესიის ალგორითმის მოდელირების პროგრამა დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის საფუძველზე-----	130
	დანართი 2. დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის მთავარი ელემენტების ადაპტური კოდირების ალგორითმის მოდელირების პროგრამა-----	147

ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1	ტრანსფორმანტას ელემენტების ზიგზაგისებური სკანირება-----	41
ცხრილი 2	ეკონომიურად კოდირებული (კომპრესირებული) საცდელი გამოსახულებების სიკაშკაშის Y შემდგენის აღდგენის ხარისხის შეფასება ობიექტური პარამეტრების მიხედვით-----	53
ცხრილი 3	ეკონომიურად კოდირებული (კომპრესირებული) საცდელი გამოსახულებების ფერსხვაობითი C _r შემდგენის აღდგენის ხარისხის შეფასება ობიექტური პარამეტრების მიხედვით-----	54
ცხრილი 4	ეკონომიურად კოდირებული (კომპრესირებული) საცდელი გამოსახულებების ფერსხვაობითი C _b შემდგენის აღდგენის ხარისხის შეფასება ობიექტური პარამეტრების მიხედვით-----	55
ცხრილი 5	ეკონომიურად კოდირებული (კომპრესირებული) საცდელი გამოსახულებების აღდგენის ხარისხის შეფასება ობიექტური პარამეტრების მიხედვით გამოსახულებათა სრული სიგნალისათვის-----	56
ცხრილი 6	ეკონომიურად კოდირებული (კომპრესირებული) საცდელი გამოსახულებების ხარისხის შეფასება ობიექტური პარამეტრების მიხედვით გამოსახულებათა სრული სიგნალისათვის მათი მხოლოდ მთავარი და მხოლოდ არამთავარი ელემენტებით აღდგენისას-----	60
ცხრილი 7	ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების მასივის კორელაციის კოეფიციენტების მნიშვნელობები ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მიმართულებებით მცირე, საშუალო და მაღალი დეტალობის საცდელი გამოსახულებების სამივე შემდგენისთვის-----	66
ცხრილი 8	ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების მასივის კორელაციის (K _ჰ და K _ვ) კოეფიციენტებისა და მთავარი ელემენტების სხვაობების (E _ჰ და E _ვ) ენტროპიების მნიშვნელობები საცდელი ფერადი გამოსახულებების სიკაშკაშის და ფერსხვაობითი (Y, C _r და C _b) შემდგენებისათვის-----	69
-	-	-
ცხრილი 9	დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის დაკვანტული ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების მნიშვნელობები ტესტური გამოსახულების “ლენა” სიკაშკაშის Y შემდგენისათვის-----	73

ცხრილი 10	დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის დაკვანტული ტრანსფორმანტების მთავარი კოეფიციენტების მასივის ჰორიზონტალური მიმართულებით გამოთვლილი სხვაობითი მნიშვნელობები ტესტური გამოსახულების “ლენა” Y სიკაშკაშის შემდგენისათვის---	74
ცხრილი 11	დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის დაკვანტული ტრანსფორმანტების მთავარი კოეფიციენტების მასივის ვერტიკალური მიმართულებით გამოთვლილი სხვაობითი მნიშვნელობები ტესტური გამოსახულების “ლენა” Y სიკაშკაშის შემდგენისათვის ----	75
ცხრილი 12	ფერად ტესტურ გამოსახულებათა სიკაშკაშის Y და ფერსხვაობითი C_r და C_b შემდგენების მთავარი ელემენტების სხვაობების ადაპტური კოდირებისათვის საჭირო ბიტების რაოდენობები და მათი ჯამური მნიშვნელობები-----	77
ცხრილი 13	ფერად ტესტურ გამოსახულებათა სიკაშკაშის Y და ფერსხვაობითი C_r და C_b შემდგენების არამთავარი ელემენტების კოდირებისათვის საჭირო ბიტების რაოდენობები და მათი ჯამური მნიშვნელობები-----	79
ცხრილი 14	ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების მასივის ადაპტური უდანაკარგო კოდირების ეფექტურობა-----	81
ცხრილი 15	ჰაფმანის უნარული კოდების განსაზღვრა-----	82
ცხრილი 16	ადაპტური უდანაკარგო კოდირების ეფექტურობის შედარება ენტროპიულ მახასიათებლებთან-----	84
ცხრილი 17	საცდელი გამოსახულებების შემდგენების დაკვანტული ტრანსფორმანტების მთავარი სხვაობითი და არამთავარი ელემენტების უდანაკარგო კოდირებისათვის საჭირო ბიტების რაოდენობები და კომპრესიის ფაქტორები-----	86
ცხრილი 18	საცდელი გამოსახულებების სრული სიგნალის შესაბამისი დაკვანტული ტრანსფორმანტების უდანაკარგო კოდირებისათვის საჭირო ბიტების რაოდენობები გამოსახულებათა არსებული JPEG და MPEG სტანდარტების (M_s) გამოყენებისა და სხვაობითი მნიშვნელობების გამოთვლის ადაპტაციის შემთხვევებისათვის (M_1) და შესაბამისი კომპრესიის ფაქტორები (F_s და F_1) -----	89

ცხრილი 19	მთავარი ელემენტების სხვაობების ჰაფმანის ცხრილების გამოყენებისას საჭირო სიმბოლოების რაოდენობა სხვაობების მასივის სკანირების სხვადასხვა ვარიანტისათვის საცდელი გამოსახულებების სიკაშკაშის Y შემდგენისათვის-----	95
ცხრილი 20	მთავარი ელემენტების სხვაობების ჰაფმანის ცხრილების გამოყენებისას საჭირო სიმბოლოების რაოდენობა სხვაობების მასივის სკანირების სხვადასხვა ვარიანტისათვის საცდელი გამოსახულებების ფერსხვაობითი C _r შემდგენისათვის-----	97
ცხრილი 21	მთავარი ელემენტების სხვაობების ჰაფმანის ცხრილების გამოყენებისას საჭირო სიმბოლოების რაოდენობა სხვაობების მასივის სკანირების სხვადასხვა ვარიანტისათვის საცდელი გამოსახულებების ფერსხვაობითი C _b შემდგენისათვის-----	99
ცხრილი 22	ფერად საცდელ გამოსახულებათა სიკაშკაშის Y და ფერსხვაობითი C _r და C _b შემდგენების მთავარი ელემენტების სხვაობების JPEG და MPEG სტანდარტების მიხედვითა (m _{1s}) და მათი ადაპტური კოდირებისათვის საჭირო ბიტების რაოდენობები (m _{1l}), მათი ჯამური მნიშვნელობები და შესაბამისი დამატებითი კომპრესიის ფაქტორები-----	101
ცხრილი 23	საცდელი გამოსახულებების სრული სიგნალის შესაბამისი დაკვანტული ტრანსფორმანტების უდანაკარგო კოდირებისათვის საჭირო ბიტების რაოდენობები გამოსახულებათა არსებული JPEG და MPEG სტანდარტების (M _s) და ადაპტური კოდირების დამუშავებული მეთოდის შემთხვევებისათვის(M _{sდ}) და შესაბამისი კომპრესიის ფაქტორები (F _s და F _{sდ})--	103
ცხრილი 24	საცდელი ფერადი გამოსახულებების შემდგენების შესაბამისი ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების ეკონომიური კოდირებისათვის გამოყენებადი ადაპტური კოდირების ვარიანტის ნომრები და შესაბამისი ორობითი საინფორმაციო რიცხვი-----	108
ცხრილი 25	საცდელი კომპრესირებული გამოსახულებების ხარისხის შეფასება სუბიექტურ-სტატისტიკური ანალიზის საფუძველზე-----	119

ნახაზებისა და სურათების ნუსხა

ნახ. 1	კოდერის სტრუქტურული სქემა-----	35
ნახ. 2	დეკოდერის სტრუქტურული სქემა-----	35
სურ. 3	პირველადი საცდელი გამოსახულებები-----	48
სურ. 4	ეკონომიურად კოდირებული (კომპრესირებული) საცდელი გამოსახულებები-----	51
სურ. 5	დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის ტრანსფორმანტების მხოლოდ მთავარი (ა) და მხოლოდ არამთავარი (ბ) ელემენტების საშუალებით აღდგენილი გამოსახულება “ლენა” -----	60
სურ. 6	დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის ტრანსფორმანტების მხოლოდ მთავარი (ა) და მხოლოდ არამთავარი (ბ) ელემენტების საშუალებით აღდგენილი გამოსახულება “ალუბლები” -----	61
სურ. 7	დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის ტრანსფორმანტების მხოლოდ მთავარი (ა) და მხოლოდ არამთავარი (ბ) ელემენტების საშუალებით აღდგენილი გამოსახულება “დაისი” -----	61
ნახ. 8	სიკაშკაშის Y და ფერსხვაობითი C _r და C _b შემდგენების შესაბამისი ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების (ა) და მათი მასივის ჰორიზონტალური(ბ) და ვერტიკალური (გ) მიმართულებებით გამოთვლილი სხვაობების ჰისტოგრამები მცირე დეტალობის გამოსახულებისთვის “ლენა”-----	63
ნახ. 9	სიკაშკაშის Y და ფერსხვაობითი C _r და C _b შემდგენების შესაბამისი ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტებისა (ა) და მათი მასივის ჰორიზონტალური (ბ) და ვერტიკალური (გ) მიმართულებებით გამოთვლილი სხვაობების ჰისტოგრამები საშუალო დეტალობის გამოსახულებისთვის “ალუბლები”-----	64
ნახ. 10	სიკაშკაშის Y და ფერსხვაობითი C _r და C _b შემდგენების შესაბამისი ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტებისა (ა) და მათი მასივის ჰორიზონტალური (ბ) და ვერტიკალური (გ) მიმართულებებით გამოთვლილი სხვაობების ჰისტოგრამები მაღალი დეტალობის გამოსახულებისთვის “ზამთარი”-----	65
ნახ. 11	საცდელი ტესტური გამოსახულებების სრული სიგნალის შესაბამისი კომპრესიის ფაქტორები JPEG და MPEG სტანდარტებითა (გრაფიკი 1) და სხვაობების გამოთვლის ადაპტური მეთოდით კოდირებისას (გრაფიკი 2) -----	90

ნახ. 12	ტრანსფორმანტების მთავარი სხვაობითი ელემენტების ზიგზაგ-ჰორიზონტალური სკანირება-----	92
ნახ. 13	ტრანსფორმანტების მთავარი სხვაობითი ელემენტების ზიგზაგ-ვერტიკალური სკანირება-----	92
ნახ. 14	ტრანსფორმანტების მთავარი სხვაობითი ელემენტების ჰორიზონტალური (სტრიქონული) სკანირება-----	93
ნახ. 15	ტრანსფორმანტების მთავარი სხვაობითი ელემენტების ვერტიკალური (სვეტური) სკანირება-----	93
ნახ. 16	საცდელი ტესტური გამოსახულებების სრული სიგნალის შესაბამისი კომპრესიის ფაქტორები JPEG და MPEG სტანდარტებისა და ადაპტური კოდირების დამუშავებული მეთოდის გამოყენებისას-----	104
სურ. 17	შეცდომების გავლენა საინფორმაციო სიმბოლოებზე ტრანსფორმანტების მთავარ ელემენტთა სხვაობების ჰორიზონტალური (ა) და ვერტიკალური (ბ) მიმართულებით გამოთვლისას გამოსახულება “ლენას” მხოლოდ სიკაშკაშისა და ფერსხვაობითი შემდგენებისათვის-----	110
სურ. 18	შეცდომების გავლენა საინფორმაციო სიმბოლოებზე ტრანსფორმანტების მთავარ ელემენტთა სხვაობების ჰორიზონტალური (ა) და ვერტიკალური (ბ) მიმართულებით გამოთვლისას გამოსახულება “ლენას” მხოლოდ სიკაშკაშისა და ფერსხვაობითი შემდგენებისათვის-----	111
სურ. 19	შეცდომების გავლენა საინფორმაციო სიმბოლოებზე ტრანსფორმანტების მთავარ ელემენტთა სხვაობების ჰორიზონტალური (ა) და ვერტიკალური (ბ) მიმართულებით გამოთვლისას გამოსახულება “ლენას” სამივე შემდგენისათვის-----	112
სურ. 20	ეკონომიურად კოდირებული (კომპრესირებული) საცდელი გამოსახულებები და შესაბამისი კომპრესიის საუკეთესო ფაქტორები-----	118

გამოყენებული აბრევიატურების ნუსხა

აბრევიატურა	გ ა ნ მ ა რ ტ ე ბ ა	
ISO	International Organization for Standartization	სტანდარტიზაციის საერთაშორისო ორგანიზაცია
JPEG	Joint Picture Expert Group	უძრავ გამოსახულებათა ექსპერტთა ჯგუფი
MPEG	Motion Picture Exspert Group	მოძრავ გამოსახულებათა ექსპერტთა ჯგუფი
MPEG-1; 2; 4	Motion Picture Exspert Group-1; 2; 4	მოძრავ გამოსახულებათა კოდირების სტანდარტები
DVB	Digital Video Broadcasting	ციფრული ვიდეომაუწყებლობა
H.261 H.262 H.263	-	ვიდეოკავშირის სისტემებში სიგნალების კოდირების მეთოდების სპეციალურ სტანდარტები
MSE	Mean square error	საშუალო კვადრატული ცდომილება
NMSE	Normalized mean square error	ნორმირებული საშუალო კვადრატული ცდომილება
SNR	Signal and Noise ratio	სიგნალისა და ხმაურის ფარდობა
SNRP	Signal and Noise ratio of the peak value	შიგნალისა და ხმაურის ფარდობის პიკური მნიშვნელობა
EOB	End of blok	ბლოკის დასასრული

შესავალი

ციფრული მეთოდებით გამოსახულებათა სიგნალების ფორმირება, დამუშავება, გადაცემა და შენახვა უზრუნველყოფს რიგ უპირატესობებს ანალოგურ მეთოდებთან შედარებით. მაგალითად, სატელევიზიო სიგნალის შემთხვევაში ეს უპირატესობები მდგომარეობს შემდეგში: სატელევიზიო სიგნალების გადაცემისა და ჩაწერის ტრაქტების ხელშეშლამდგრადობის ამაღლება; სატელევიზიო მაუწყებლობის გადამცემების სიმძლავრის შემცირება; ერთსა და იმავე სიხშირულ დიაპაზონში გადაცემული სატელევიზიო პროგრამების რაოდენობის მნიშვნელოვანი გაზრდა; განშლის ჩვეულებრივი სტანდარტის მქონე სატელევიზიო მიმღებებში გამოსახულებისა და ხმის ხარისხის ამაღლება; გამოსახულებათა განშლის ტექნოლოგიის ახალი სტანდარტების (მაღალი სიმკვეთრის ტელეხედვა) შესაბამისი სატელევიზიო სისტემების შექმნა; სატელევიზიო გადაცემების მომზადებისა და წარმოებისათვის გამოყენებული სასტუდიო აპარატურის ფუნქციონალური შესაძლებლობების გაფართოვება; სატელევიზიო სიგნალთან ერთად სხვადასხვა დამატებითი ინფორმაციის გადაცემა და სატელევიზიო მიმღებების გადაქცევა მრავალფუნქციურ ინფორმაციულ სისტემად; ინტერაქტიული სატელევიზიო სისტემების შექმნა, რომელთა გამოყენებისას მომხმარებელს (მაყურებელს) ეძლევა სატელევიზიო პროგრამებზე ზემოქმედების საშუალება [1].

დღემდე ციფრულმა ტელეხედვამ განვითარების მთელი რიგი ეტაპები გაიარა. თითოეულ ეტაპზე თავდაპირველად სრულდებოდა სამეცნიერო-კვლევითი, საკონსტრუქტორო და საცდელი სამუშაოები, იქმნებოდა ექსპერიმენტული მოწყობილობები და სისტემები, ხოლო შემდეგ შემუშავდებოდა, როგორც წესი, საერთაშორისო სტანდარტები, რომლებიც უნდა შეესრულებინათ სატელევიზიო მაუწყებლობის მწარმოებელ და ვიდეოპროგრამების გამომშვებ ორგანიზაციებსა და შესაბამისი აპარატურის მწარმოებელ ფირმებს. სტანდარტების მიღება ნებისმიერი (მათ შორის სატელევიზიო) ტექნოლოგიის მნიშვნელოვანი შემადგენელი ნაწილია.

საერთაშორისო სტანდარტებს, უპირველეს ყოვლისა, ღებულობს სტანდარტიზაციის საერთაშორისო ორგანიზაცია (ISO–International Organization for Standartization), რომელიც შეიქმნა 1947 წელს. ტექნიკის რომელიმე სფეროში სტანდარტების შემუშავების მიზნით ეს ორგანიზაცია ქმნის სამუშაო ჯგუფებს, რომელთა შორისაა JPEG (Joint Picture Expert Group) და MPEG (Motion Picture Exspert Group), რომლებიც ამუშავებენ ციფრული ტელეხედვის სტანდარტებს.

ციფრული ტელეხედვის განვითარების თანამედროვე ეტაპად შეიძლება მივიჩნიოთ სრულყოფილი ციფრული სატელევიზიო სისტემების შექმნა, რასაც საფუძვლად ედება მიღწევები გამოსახულებათა ეკონომიური (ეფექტური) კოდირებისა და შეკუმშვის (კომპრესიის) მეთოდებსა და ტექნიკაში. ამ სფეროში სამუშაოები ტარდებოდა არა მხოლოდ ციფრული სატელევიზიო სისტემების შექმნის, არამედ ვიდეოსატელეფონო, ვიდეოსაკონფერენციო, ციფრულ ლაზერულ კომპაქტ-დისკებზე ვიდეოპროგრამების ჩაწერის, კომპიუტერული გრაფიკის, მულტიმედიის ვიდეოსაშუალებებისა და სხვა სისტემების შექმნის მიზნით.

ჩატარებულ სამუშაოთა შედეგებმა გამოიყენება პოვა რამდენიმე სტანდარტში. უძრავი გამოსახულებების შეკუმშვისათვის ფართოდ გამოიყენება სტანდარტი JPEG. მოძრავ გამოსახულებათა და ხმოვანი თანხლების სიგნალების შეკუმშვის მეთოდები აღწერილია სტანდარტებში MPEG-1 და MPEG-2. სტანდარტი MPEG-1, ძირითადად ორიენტირებულია კინოფილმებისა და ვიდეოპროგრამების ჩაწერაზე ლაზერულ კომპაქტურ დისკებზე, რომლის დროსაც შესაძლებელია გამოსახულებისა და ხმის აღწარმოება ჩვეულებრივ პერსონალურ კომპიუტერზე. სტანდარტი MPEG-2, რომელიც განკუთვნილია როგორც გამოსახულებათა განშლის ჩვეულებრივი სტანდარტის, ასევე მაღალი სიმკვთრის (გარჩევადობის) სატელევიზიო მაუწყებლობის სისტემებისათვის, დამტკიცდა 1994 წლის ნოემბერში [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8].

დღეისათვის ციფრული ტელეხედვის სისტემები, რომლებიც ემყარება სატელევიზიო სიგნალების შეკუმშვას MPEG-2 სტანდარტით, ფართოდ ვრცელდება მრავალ ქვეყანაში. ამასთან ერთად, უპირველეს ყოვლისა, წყდება ჩვეულებრივი გარჩევადობის ტელეხედვის გადასაცემი

პროგრამების რაოდენობის მნიშვნელოვანი გაზრდის ამოცანა, ვინაიდან ეს იძლევა მნიშვნელოვან კომერციულ ეფექტს.

1993 წელს ევროპაში მიიღეს პროექტი DVB (Digital Video Broadcasting – ციფრული ვიდეომაუწყებლობა), რომლის დამუშავებაში მონაწილეობა მიიღო სხვადასხვა ქვეყნის 130-ზე მეტმა ფირმამ და სამეცნიერო-კვლევითმა ორგანიზაციამ. 1997 წელს დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრით ევროპულ ქვეყნებში გადაიცემოდა ციფრული ტელეხედვის 170 არხი, ხოლო 1998 წლის ბოლოსათვის ასეთი არხების რაოდენობამ გადააჭარბა 1000-ს. ამავდროულად ვრცელდება როგორც ციფრული სატელევიზიო მაუწყებლობა საკაბელო ხაზებით, ასევე ციფრული ვიდეოჩაწერა და ციფრული ვიდეოდისკები.

განვითარებულ ქვეყნებში 2010 წლისათვის უკვე შეწყდა ანალოგური სატელევიზიო მაუწყებლობა.

ახალი თაობის სატელევიზიო სისტემების მთავარი თავისებურებებია:

- ციფრული სატელევიზიო სიგნალის სიხშირული ზოლის არსებითი შევიწროვება, რაც მიიღწევა ეფექტური კოდირების, ანუ გამოსახულებებში სიჭარბის შემცირების, საშუალებით და რაც იძლევა ჩვეულებრივი სიმკვეთრის ტელეხედვის 4 და მეტი ან მაღალი სიმკვეთრის ტელეხედვის 1-2 პროგრამის გადაცემის საშუალებას სტანდარტული სატელევიზიო არხით, რომლის სიხშირეთა ზოლის სიგანეა 6...8 მჰც;

- სხვადასხვა სიმკვეთრის გამოსახულებათა (ვიდეოტელეფონი და შემცირებული სიმკვეთრის სხვა სისტემები, ჩვეულებრივი სიმკვეთრის ტელეხედვა, მაღალი სიმკვეთრის ტელეხედვა) შესაბამისი სატელევიზიო სიგნალების კოდირებისა და გადაცემისადმი ერთიანი მიდგომა;

- კავშირის ციფრული ქსელებით გადაცემისას ინფორმაციის სხვა სახეობებთან ინტეგრაცია;

- გადასაცემი სატელევიზიო პროგრამებისა და სხვა ინფორმაციის არასანქცირებული მიღებისაგან (მოპოვებისაგან) დაცვის უზრუნველყოფა, რაც იძლევა ფასიანი სატელევიზიო მაუწყებლობის სისტემის შექმნის საშუალებას.

სატელევიზიო მაუწყებლობის სისტემებთან ერთად ციფრული ტელეხედვის მეთოდები და საშუალებები წარმოადგენენ ვიდეოკავშირის

ისეთი თანამედროვე სისტემების საფუძველს, როგორცაა ვიდეოკონფერენცია და ვიდეოტელეფონი. ვიდეოკავშირის სისტემებში სიგნალების კოდირების მეთოდები აღწერილია სპეციალურ სტანდარტებში H.261, H.262, H.263 და სხვა. 1998 წლის მიწურულს მიიღეს სტანდარტი MPEG-4, რომელიც შეიცავს გამოსახულებისა და ხმის კოდირების მეთოდებს და რომლებიც უზრუნველყოფენ კავშირის ვიწროზოლოვანი არხებით ვიდეოინფორმაციისა და ხმის გადაცემას [9, 10, 11, 12, 13, 14].

გამოსახულებათა სიგნალების ეკონომიური კოდირება ფაქტიურად გულისხმობს საწყისი დისკრეტული სიგნალის ისეთ გარდაქმნას, რომ შეტყობინების ერთ დისკრეტულ ანათვალზე მოსული ორობითი სიმბოლოების (ბიტების) საშუალო რაოდენობა დაყვანილი იქნას მინიმუმამდე, ე.ი ამ შეტყობინებების ენტროპიის მნიშვნელობამდე, რაც ძნელად გადასაწყვეტი პრობლემაა, რადგან იგი მოითხოვს საწყის სიგნალში არსებული სტატისტიკური სიჭარბის ფაქტიურად სრულად აღმოფხვრას [1, 13].

გამოსახულებათა ციფრული სიგნალების ეკონომიური კოდირების დღეისათვის არსებული მრავალი მეთოდიდან შედარებით გავრცელებულს წარმოადგენს: სტატისტიკური (ენტროპიული) კოდირება; კოდირება წრფივი გარდასახვების საფუძველზე; წინასწარმეტყველებითი კოდირება, კერძოდ კი დიფერენციალური იმპულსურ-კოდური მოდულაცია; ვექტორული დაკვანტვა; ადაპტური ჯგუფური კოდირება; პირამიდული კოდირება; კოდირება სხვადასხვა მეთოდების შეხამებით (ჰიბრიდული) და სხვა.

კოდირების ესა თუ ის მეთოდი სხვადასხვა დოზით ამცირებს ორი სახის სიჭარბეს. პირველი მათგანი განპირობებულია გამოსახულებების ელემენტების სტატისტიკით, რის გამოც მას სტატისტიკური სიჭარბე ეწოდება, ხოლო მეორე – ადამიანის მხედველობითი აღქმის თავისებურებებით. ამ უკანასკნელს ფსიქოფიზიოლოგიური სიჭარბე ეწოდება.

ძირითად პარამეტრებს, რომელთა მიხედვითაც შესაძლებელია ვიმსჯელოთ ეკონომიური კოდირების (კომპრესიის) ამა თუ იმ მეთოდის შესახებ წარმოადგენს:

1. კომპრესიის (შეკუმშვის) კოეფიციენტი K , რომელიც წარმოადგენს გამოსახულების ეფექტური კოდირების შემდეგ ერთი ელემენტისათვის საჭირო ბიტების რიცხვის (m_1) შეფარდებას გამოსახულების საწყისი სიგნალის ერთ ელემენტზე (დისკრეტულ ანათვალზე) დახარჯული ბიტების m რაოდენობასთან.

2. კომპრესიის ფაქტორი F , რომელიც წარმოადგენს კომპრესიის კოეფიციენტის შებრუნებულ სიდიდეს და იგი გვინჟენებს იმას, თუ რამდენჯერ შემცირდა ბიტების რაოდენობა შეკუმშვის შედეგად.

3. ეფექტური კოდირების შემდეგ აღდგენილი გამოსახულების ხარისხის ობიექტური (საშუალო კვადრატული და ნორმირებული საშუალო კვადრატული შეცდომები, სიგნალისა და ხმაურის ფარდობა და მისი პიკური მნიშვნელობა) და სუბიექტური (ადამიანის ფსიქოფიზიოლოგიური აღქმის თავისებურებანი) შეფასების შედეგები.

4. კოდირებული სიგნალის ხელშეშლამდგრადობა.

5. ეფექტური კოდირების რეალიზაციის სიმარტივე, რომელიც შეიძლება დახასიათდეს შესასრულებელი ოპერაციების რაოდენობით, აპარატურის გაბარიტებითა და დასამუშავებელი სიგნალის დაყოვნების დროით.

სამუშაოს მიზანი. სამუშაოს მიზანია ფერად გამოსახულებათა სიკაშკაშისა და ფერსხვაობითი შემდგენების კომპრესიის ფაქტორების ამაღლება JPEG და MPEG რეკომენდაციების საფუძველზე კომპრესირებულ გამოსახულებათა ხარისხობრივი პარამეტრების შენარჩუნების პირობებში, რომელიც ემყარება 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 სკანირების ადაპტაციის საფუძველზე და ასევე არამთავარი ელემენტების მასივების უდანაკარგო ადაპტურ კოდირებას მათი სკანირების პროცესის ადაპტაციით.

სამუშაოს ერთ-ერთ ძირითად მიზანს წარმოადგენს, აგრეთვე, კომპრესირებული გამოსახულებების ხარისხობრივი პარამეტრების შეფასება საინფორმაციო ბიტებზე შეცდომების ზემოქმედების პირობებში

და აღნიშნული ზემოქმედების უარყოფითი შედეგების გაუვნებელოფის გზების შემუშავება.

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 ეფექტთანაა დაკავშირებული. დღეისათვის საქართველოშიც შემუშავებულია ციფრულ სატელევიზიო მაუწყებლობაზე გადასვლის პროგრამა, რომელიც რეალიზებული უნდა იყოს 2015 წლის ივნისისათვის. ციფრული მაუწყებლობის დანერგვა გვევლინება ისეთი პრინციპულად ახალი სატელეკომუნიკაციო სისტემების კვლევისა და დამუშავების წყაროდ და საფუძვლად, რომლებსაც შეუძლია ინფორმაციის გადაცემის არხების გამტარუნარიანობის ეკონომიურად გამოყენება.

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. მაუწყებლობის მორალურად და ფიზიკურად მოძველებული ტექნიკური საშუალებების შეცვლა დაკავშირებულია ახალი კომპლექსებისა და სისტემების დამუშავებისა და დანერგვის აუცილებლობასთან. ასეთ პირობებში უფრო მიზანშეწონილია და ეკონომიურს წარმოადგენს ვიზუალური და სხვა სახის ინფორმაციის დამუშავებისა და გადაცემის ციფრულ მეთოდებზე გადასვლა.

ცნობილია, რომ თანამედროვე საზოგადოების პოლიტიკური, კულტურული და ეკონომიკური აქტიურობა მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული საიმედო სატელეკომუნიკაციო და გამოთვლითი ტექნიკის საშუალებებზე, რომლებიც უზრუნველყოფენ ბგერითი და გამოსახულებათა სიგნალების დამუშავებასა და გადაცემას. მსოფლიოში ინფორმაციის სულ უფრო მზარდი ნაკადის გადაცემისა და მისი შენახვის (დამახსოვრების) აუცილებლობასთან დაკავშირებული

ტელეკომუნიკაციის ციფრული არხების გამტარუნარიანობისა და ციფრული სიგნალების მასსოვრობის 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.

სამუშაოს ძირითადი ამოცანები. სადისერტაციო სამუშაოს ძირითად 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 გაუვნებელყოფის 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 დაკანტული ტრანსფორმანტების არამთავარი ელემენტების უდანაკარგო კოდირება მათი 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, მეთოდიკასა 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, შესაბამის პროგრამას ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის 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” გამოქვეყნებულ 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.

ლიტერატურის მიმოხილვა

გამოსახულებათა სიგნალების ეკონომიური კოდირების მეთოდებს, რომლებიც დამყარებულია სხვადასხვა წრფივ ორთოგონალურ გარდასახვებზე, ეძღვნება რიგი სამეცნიერო სამუშაოებისა.

ციფრული სიგნალი ანალოგურიდან მიიღება ამ უკანასკნელის იმპულსურ-კოდური მოდულაციით დამუშავების საფუძველზე. იგი აბსოლუტურად გამოსადეგრადაა მიჩნეული, რაც განპირობებულია შემდეგი გარემოებით. საქმე იმაშია, რომ გამოსახულების (ისევე როგორც მეტყველების) სიგნალის თითოეული ანათვლის კოდირებისათვის საჭიროა 8 ბიტი (ზოგჯერ 10-ბიტი), რის გამოც, მაგალითად, ფერადი ტელევიზიის გამოსახულების 625 სტრიქონით განშლის შემთხვევაში შესაბამისი ციფრული ნაკადის სიჩქარეა 216 მბიტ/წმ, რაც იმას ნიშნავს, რომ ამ შემთხვევაში ციფრული სატელევიზიო სიგნალის სისშირული ზოლი ანალოგურთან შედარებით 18-ჯერ ფართოვდება. ასეთი სიჩქარე კი მნიშვნელოვნად აჭარბებს ციფრული ნაკადების უკვე ჩამოყალიბებული იერარქიების შესაბამისი სიგნალების გადაცემის სიჩქარეს, რაც აუცილებელს ხდის იკმ სიგნალის კომპრესიას.

ერთერთი გავრცელებული მეთოდია კოდირება წინასწარმეტყველებით, კერძოდ, დიფერენციალური იმპულსურ-კოდური მოდულაცია, რომელსაც დღეისათვის დამოუკიდებლად არ იყენებენ, ვინაიდან იგი გამოსახულების სიგნალის ელემენტების მიხედვით კოდირების მეთოდს წარმოადგენს, რის გამოც მისი საშუალებით მიღწეული კომპრესიის ფაქტორი მცირეა (აღდგენილი გამოსახულების მისაღები ხარისხის პირობებში $F \approx 2$). გარდა ამისა, იგი დაბალი ხელშეშლამდგრადობით გამოირჩევა, ვინაიდან გადაცემული ციფრული ნაკადის რომელიმე სიმბოლოს დამახინჯება იწვევს არა მარტო მისი შესაბამისი ელემენტის, არამედ მომდევნო ელემენტების დამახინჯებასაც, რის გამოც აღდგენილ გამოსახულებაზე წარმოიქმნება ე.წ ტრეკები. აღნიშნულიდან გამომდინარე, იკმ დღეისათვის გამოიყენება ჰიბრიდულ სისტემებში, კერძოდ სისტემებში სადაც იგი შეხამებულია წრფივი გარდასახვების, მოძრაობის კომპენსაციით წინასწარმეტყველებისა და ენტროპიული კოდირების მეთოდებთან ჰიბრიდული კოდირების ასეთი შეხამებაა გამოყენებული უძრავი და მოძრავი გამოსახულებების

ეკონომიური კოდირების (კომპრესიის) JPEG (Joint Picture Expert Group) სტანდარტისა და MPEG (Motion Picture Expert Group) სტანდარტის დღეისათვის არსებულ ყველა ვარიანტში (MPEG-1, MPEG-2 და სხვა) [1, 8, 10, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24].

ენტროპიული ანუ სტატისტიკური კოდირება (უდანაკარგო კოდირება), როგორც წესი, გამოიყენება ჰიბრიდულ სისტემებში (რასაც ითვალისწინებს კიდევ JPEG და MPEG სტანდარტები), რადგან მას შეუძლია კოდირების ნებისმიერი მეთოდის გამოყენების შემდეგ დარჩენილი სიჭარბის კომპრესია, სწორედ ესაა კოდირების ამ მეთოდის ღირსება სხვა მეთოდებთან შედარებით [14, 17].

კომპრესიის მაღალი კოეფიციენტით ხასიათდება ვექტორული დაკვანტვის მეთოდი. იგი გამოსახულებათა სტატისტიკურ თავისებურებებთან ერთად ითვალისწინებს ადამიანის მხედველობითი აღქმის თავისებურებებს. კოდირების ეს მეთოდი ემყარება კლოდ შენონის თვალსაზრისს იმის შესახებ, რომ გამოსახულებათა კომპრესიისათვის გამოყენებული ყოფილიყო ბლოკური (ფრაგმენტული) კოდირება. უნდა აღინიშნოს, რომ კომპრესიის კოეფიციენტის შედარებით მაღალი მნიშვნელობისას ვექტორული დაკვანტვის მეთოდით კოდირებულ გამოსახულებებზე შეიმჩნევა "ბლოკური სტრუქტურის", "ტიპის სტრუქტურის" და "საზღვრების წაშლის" ტიპის სპეციფიკური დამახინჯებები, ასევე დამახინჯებები, რომლებიც დაკავშირებულია მოძრავ ობიექტებთან, რაც ძალზე გამაღიზიანებელია ადამიანისათვის. აღნიშნული დამახინჯებების შემცირების მიზნით შემოთავაზებულია რიგი მეთოდებისა, რომლებიც ართულებს კოდირების მეთოდის აპარატურულ რეალიზაციას. გარდა ამისა, ვექტორული დაკვანტვის მეთოდი წარმოდგება როგორც დამოუკიდებელი მეთოდი, რომლის შესამეხარებლად კოდირების სხვა მეთოდებთან პრაქტიკულად შეუძლებელია, რის გამოც იგი ვერ გამოიყენება ჰიბრიდულ სისტემებში [25, 26, 27].

გამოსახულებათა სიგნალების პირამიდული კოდირება მიეკუთვნება იმ მეთოდებს, რომლებიც მეტწილად ადამიანის მხედველობითი აღქმის თავისებურებებს ითვალისწინებს, კერძოდ კი თვალის თვისებას – გამოსახულების სიხშირული სპექტრის დიაპაზონი დაშალოს (დაანაწილოს) განსაზღვრული სივრცული ორიენტაციის და სხვადასხვა

სისშირული ქვედიაპაზონების მქონე ზოლებად. ნაშრომებში გაშუქებულია არაორთოგონალური და ორთოგონალური ტიპის პირამიდული აგებების საკითხები. თუმცა, აღნიშნული მეთოდის გამოყენების ეფექტურობისა და მისი კოდირების სხვა მეთოდებთან შეთავსების საკითხები ჯერჯერობით სრულად არაა გამოკვლეული [28, 29].

ადაპტური ჯგუფური (ბლოკური) კოდირების მეთოდი ემყარება ადამიანის მხედველობის ფსიქოფიზიოლოგიურ თვისებებს. თუმცა უნდა აღინიშნოს, რომ აღნიშნული მეთოდით გამოსახულებათა კოდირებისას აღდგენილი ბლოკების საზღვრებზე შეიმჩნევა სპეციფიკური დამახინჯებები. გარდა ამისა, დღეისათვის დაუდგენელია მისი ჰიბრიდულ სისტემებში გამოყენების შესაძლებლობისა და, შესაბამისად, კოდირების ეფექტურობის გაზრდის საკითხები [30].

გასული საუკუნის 70-იანი წლებიდან აქტიური კვლევები მიმდინარეობს ტელესაკომუნიკაციო (მათ შორის გამოსახულებათა) სიგნალების ეფექტური კოდირების მიმართულებით, რომელსაც საფუძვლად უდევს წრფივი გარდასახვები, კერძოდ: კარუნენ-ლოვეის, დისკრეტული კოსინუსური, უოლშის და მისი ნაირსახეობების (ადამარის და პელის), ჰაარის, ფურიეს, სინგულარული, დახრილი გარდასახვები და სხვა [31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44].

უპირველეს ყოვლისა, უნდა აღინიშნოს, რომ წრფივი გარდასახვებით ეფექტური კოდირების მეთოდი, რომელიც ბლოკური (ფრაგმენტული, ჯგუფური) კოდირების მეთოდების ჯგუფს მიეკუთვნება, იძლევა არა მარტო საწყისი სიგნალების სტატისტიკური (კორელაციური) თვისებების, არამედ ადამიანის თვალის ფსიქოფიზიოლოგიური თავისებურებების (ფსიქოფიზიოლოგიური თვისებების) გათვალისწინების საშუალებას, რის გამოც მისი გამოყენებისას შეიძლება როგორც სტატისტიკური, ასევე ფსიქოფიზიოლოგიური სიჭარბის კომპრესია. გარდასახვით კოდირების მეთოდი ასევე ეფექტურია მეტყველების (ტელეფონის, რადიომაუწყებლობის, ტელევიზიის ხმოვანი თანხლების და სხვა) სიგნალებისათვისაც, ვინაიდან ამ შემთხვევაშიც შესაძლებელია როგორც საწყისი სიგნალის სტატისტიკური თვისებების, ასევე ადამიანის სმენის ფსიქოფიზიოლოგიური თავისებურებების გათვალისწინება.

წრფივი გარდასახვებით გამოსახულებათა კოდირებისას მიიღწევა საწყის ფრაგმენტების ძლიერ კორელირებული ელემენტებიდან გარდასახვის შესაბამისი სივრცეების (ტრანსფორმანტების) მთლიანად დეკორელირებული ან სუსტად კორელირებული ელემენტების მიღება, რის შედეგადაც საწყის ფრაგმენტებში ენერჯის თანაბარი განაწილების ნაცვლად მიიღება მისი მკვეთრად არათანაბარი განაწილება ტრანსფორმანტებში. ეს გარემოება იძლევა ტრანსფორმანტას მცირე ენერჯის მქონე ელემენტების საწყისი გამოსახულების ელემენტებთან შედარებით შემცირებული რაოდენობის ბიტებით კოდირების, ხოლო ზოგიერთი ელემენტის განულების საშუალებას, რითაც ხორციელდება გამოსახულების სიგნალების სტატისტიკური სიჭარბის კომპრესია. რაც შეეხება ადამიანის მხედველობითი აღქმის თავისებურებებს, მათი გათვალისწინება ხდება ტრანსფორმანტების ელემენტების დაკვანტვა-კოდირების პროცესში.

წრფივი გარდასახვებით გამოსახულებათა კოდირების მეთოდი ასევე საინტერესოა იმ თვალსაზრისითაც, რომ მაღალია მისი შესამების ეფექტურობა კოდირების ისეთ მეთოდებთან, როგორცაა წინასწარმეტყველებით კოდირება გამოსახულების ობიექტების მოძრაობის კომპენსაციის გათვალისწინებით და ენტროპიული კოდირება. იგი შეიძლება შესამებულ იქნას აგრეთვე პირამიდული კოდირების მეთოდთანაც [45, 46].

გამოსახულებათა სიგნალების წრფივი გარდასახვებით კოდირებისას ხდება საწყისი ფრაგმენტის n დისკრეტული ანათვლის (ელემენტის) გარდასახვა ტრანსფორმანტას n კოეფიციენტებად (ჩვეულებრივ $n=2^i$, $i=1, 2, \dots$). კოდირების ეს მეთოდი შეიძლება გამოყენებულ იქნას საწყისი გამოსახულების როგორც ერთგანზომილებიანი $1 \times n$ (გამოსახულების სტრიქონული განშლის მიმართულებით), ასევე ორგანზომილებიანი $n \times n$ (კადრის ორგანზომილებიანი ფრაგმენტების გარდასახვა) და სამგანზომილებიანი $n \times n \times n$ ფრაგმენტების დამუშავებისათვის. პირველი ორი ვარიანტი მიეკუთვნება შიდასაკადრო, ხოლო მესამე – კადრთაშორისი კოდირების მეთოდებს. აღსანიშნავია აგრეთვე, რომ მეტყველების სიგნალების

გარდასახვებით კოდირებისას გამოიყენება ერთგანზომილებიანი გარდასახვა, ვინაიდან ამ კლასის სიგნალები ერთგანზომილებიანია.

დღემდე ცნობილი წრფივი გარდასახვებიდან, უპირველეს ყოვლისა, უნდა დახასიათდეს კარუნენ-ლოევის გარდასახვა, ვინაიდან იგი წარმოადგენს ყველაზე ოპტიმალურს სრულად დეკორელირებული ელემენტების არსებობის გამო და, ამიტომ, უზრუნველყოფს სტატისტიკური სიჭარბის 100%-იან შემცირებას. ეს იმას ნიშნავს, რომ ამ შემთხვევაში სტატისტიკური სიჭარბის კომპრესიის ფაქტორი მაქსიმალურია და აღდგენის საშუალო კვადრატული ცდომილება ნულია. მაგრამ ამის მიღწევა შესაძლებელია მხოლოდ თეორიულად, ვინაიდან მას არ გააჩნია სწრაფი გარდასახვის ალგორითმი, მოითხოვს საწყისი გამოსახულების სტატისტიკის წინასწარ ცოდნას, რის გამოც ყოველი ფრაგმენტისათვის საჭიროა გარდასახვის შესაბამისი ოპტიმალური ბაზური მატრიცის შერჩევა, რაც პრაქტიკულად არარეალიზებადს ხდის მას. თეორიულად კი ამ გარდასახვის განხილვა აუცილებელია, ვინაიდან იგი ოპტიმალურია და პრაქტიკაში გამოყენებულ სხვა გარდასახვების ეფექტურობის შეფასების შესაძლებლობას იძლევა ამ უკანასკნელების მასთან მიახლოების თვალსაზრისით [47].

მინიმალური საშუალოკვადრატული ცდომილების თვალსაზრისით ეფექტურია სინგულარული გარდასახვა. მაგრამ მისი განხორციელებისათვის საჭიროა ოპერაციათა უფრო მეტი რაოდენობა, ვიდრე კარუნენ-ლოევის გარდასახვისთვის, რის გამოც იგი გამოსადეგად ითვლება მხოლოდ მახსოვრობის სისტემებში [42].

განიხილება, აგრეთვე, დახრილი გარდასახვა, რომელიც გამოსადეგია მხოლოდ გამოსახულებათა მცირე ჯგუფისათვის, ვინაიდან იგი მიესადაგება მხოლოდ მონოტონურად და მცირედ ცვლადი სიკაშკაშის მქონე ფრაგმენტებს [47].

გამოსახულებების სიგნალების ეფექტური კოდირების პრაქტიკულად რეალიზებადი გარდასახვებიდან ოპტიმალურად, ანუ კარუნენ-ლოევის გარდასახვასთან ყველაზე ახლო მდგომად ითვლება დისკრეტული კოსინუსური, შემდგომ კი უოლშის, ფურიეს და ჰაარის გარდასახვები.

ფურცის გარდასახვა ეფექტურია ალდგენის სპც-ის მინიმალური მნიშვნელობის გამო, არსებობს მისი რეალიზაციის სწრაფი ალგორითმიც, მაგრამ მისი პრაქტიკაში გამოყენება მაინც შეზღუდულია, ვინაიდან ტრანსფორმანტას ელემენტების გამოთვლისათვის აუცილებელია არა მხოლოდ მთელ, არამედ კომპლექსურ რიცხვებზე ჩასატარებელი გამოთვლები [1, 47].

არსებული გარდასახვებიდან პრაქტიკული რეალიზაციის თვალსაზრისით ყველაზე მარტივია ჰაარის გარდასახვა, მაგრამ იგი ყველაზე ნაკლებად ახდენს საწყისი სიგნალის დეკორელაციას, ანუ მისი გამოყენების შემთხვევაში სტატისტიკური სიჭარბის კომპრესიის კოეფიციენტი მინიმალურია სხვა გარდასახვებთან შედარებით [42, 47].

დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვა ალდგენის საშუალო კვადრატული ცდომილების თვალსაზრისით ყველაზე ახლო მდგომად ითვლება კარუნენ-ლოევის გარდასახვასთან. მას გააჩნია გარდასახვის სწრაფი ალგორითმიც და კარუნენ-ლოევის გარდასახვასთან შედარებით საჭიროების ოპერაციათა უფრო მცირე რაოდენობას. სწორედ ამ ღირსების გამო აღმოჩნდა იგი JPEG და MPEG სტანდარტების ერთ-ერთი კომპონენტი [1, 8, 10, 14, 17, 41, 47, 48, 49, 50].

კოდირების ეფექტურობის თვალსაზრისით გამორჩეულია უოლშის გარდასახვაც და მისი ნაირსახეობები – პელის და ადამარის გარდასახვები. იგი ჩამორჩება კოსინუსურ გარდასახვას სტატისტიკური სიჭარბის კომპრესიის ფაქტორის ან ალდგენის ცდომილების თვალსაზრისით, რის გამოც დისკრეტულმა კოსინუსურმა გარდასახვამ მოიპოვა დამსახურებული ადგილი ექსპერტთა საერთაშორისო ჯგუფის მიერ შემუშავებულ JPEG და MPEG რეკომენდაციებში.

აღნიშნული რეკომენდაციების მიხედვით ფერადი გამოსახულების ეკონომიური კოდირების საწყის ეტაპზე ხორციელდება სიკაშკაშის Y და ფერსხვაობითი Cr და Cb შემდგენების დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის 8x8 ზომის ტრანსფორმანტების დაკვანტვა ამ მიზნით მათთვის შერჩეული იმავე ზომის დაკვანტვის ასიმეტრიული Q_y და სიმეტრიული Q_{Cb} მატრიცების გამოყენებით, რომელთა ელემენტების შერჩევა ხორციელდება მომხმარებლის მოთხოვნების გათვალისწინებით [14].

როგორც ჩატარებულმა კვლევებმა აჩვენა, შესაძლებელია სხვადასხვა გამოსახულების სიკაშკაშის Y შემდგენისთვის, მისი ასიმეტრიულობის გამო, ისეთნაირად იქნას შერჩეული დაკვანტვის Q_y მატრიცის ელემენტები, რომ შესაძლებელი გახდეს კომპრესიის გაუმჯობესება კომპრესირებული გამოსახულებების ობიექტური ხარისხობრივი მაჩვენებლების (საშუალოკვადრატული ცდომილება, სიგნალისა და ხმაურის ფარდობა და სხვა) შენარჩუნების პირობებში, ან გაუმჯობესდეს ხარისხობრივი მაჩვენებლები კომპრესიის ფაქტორის შენარჩუნებით [51, 52].

სამუშაოს შედეგები და მათი განსჯა

თავი 1. გამოსახულებათა ეკონომიური კოდირება დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის საფუძველზე

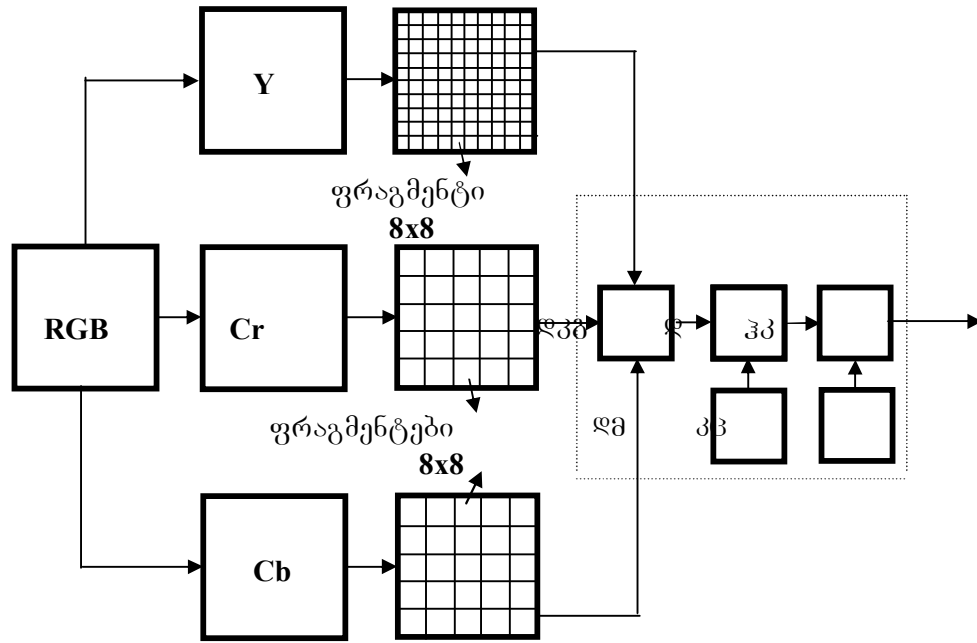
1.1. გამოსახულებათა დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის ტრანსფორმანტების ფორმირება

უძრავ და მოძრავ გამოსახულებათა კომპაქტური კოდირებისთვის შემუშავებული JPEG და სხვადასხვა დანიშნულების MPEG სტანდარტების ძირითადი კომპონენტია დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვა. აღნიშნული სტანდარტები ითვალისწინებს გამოსახულებათა 8×8 ზომის $[f(x,y)]$ ($x,y=0,1,2,\dots,7$) მატრიცის სახით წარმოდგენილი ფრაგმენტების $f(x,y)$ ელემენტების ერთობლიობის გარდასახვას (პირდაპირი გარდასახვა) და შედეგად მიღებული იმავე ზომის მატრიცის სახით წარმოდგენილი $[F(u,v)]$ ($u,v=0,1,2,\dots,7$) ტრანსფორმანტების $F(u,v)$ ელემენტების დაკვანტვას, მათ უდანაკარგო კოდირებასა და გადაცემას (ან შენახვას). გარდასახულ გამოსახულებათა აღდგენა კი ხორციელდება ტრანსფორმანტების ელემენტების დეკვანტირებითა და შესაბამისი უკუგარდასახვის გამოყენებით.

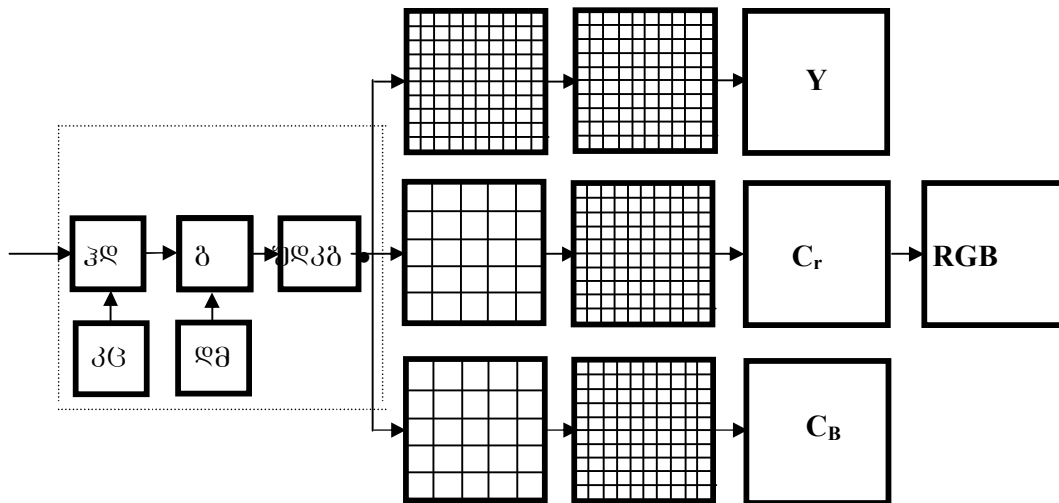
ნახ. 1-ზე ნაჩვენებია JPEG კოდერის, ხოლო ნახ. 2-ზე – შესაბამისი დეკოდერის სტრუქტურული სქემები [14].

შევნიშნოთ, რომ უმრავლეს შემთხვევებში გამოსახულებათა $f(x,y)$ ელემენტების წარმოდგენა ხდება 8-თანრიგა ორობითი რიცხვებით, რაც იმას ნიშნავს, რომ მათი ინტენსივობების რაოდენობაა 256 (ინტენსივობათა მნიშვნელობებია 0, 1, 2, ..., 255, ანუ თითოეული მათგანის ორობითი კოდირებისათვის საჭიროა 8 სიმბოლო), რაც სამართლიანია ფერად გამოსახულებათა როგორც სიკაშკაშის, ასევე ფერსხვაობითი შემდგენებისათვის.

როგორც ცნობილია, ფერადი გამოსახულება შეიძლება წარმოვადგინოთ წითელი R, მწვანე G და ლურჯი B შემადგენლების სახით, რომელთაგან ფორმირდება ფერადი გამოსახულების სიკაშკაშის Y და ორი ფერსხვაობითი Cr და Cb შემდგენები შემდეგი გამოსახულებების საშუალებით.



ნახ. 1. კოდერის სტრუქტურული სქემა



ნახ. 2. დეკოდერის სტრუქტურული სქემა

$$\left. \begin{aligned}
 Y &= 0,2989R + 0,5866G + 0,1145xB \text{ ,} \\
 C_R &= 0,5xR - 0,4184xG - 0,0816xB \text{ ,} \\
 C_B &= -0,1688xR - 0,3312xG + 0,5xB \text{ .}
 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ეკონომიური კოდირების ალგორითმის საფუძველზე დისკრეტული გამოსახულების სიკაშკაშისა და ფერსხვაობითი შემდგენები, უპირველეს

ყოველისა, დაიყოფა 8 8 ზომის ფრაგმენტებად (ბლოკებად). ამასთან ფერსხვაობითი შემდგენების ბლოკები, სიკაშკაშის შემდგენის ბლოკებისაგან განსხვავებით, შეიცავენ გამოსახულების ყოველი მეორე ელემენტის (პიქსელის) შესაბამის მონაცემებს როგორც ჰორიზონტალური, ასევე ვერტიკალური მიმართულებით. ამის შედეგად, სიკაშკაშის შემდგენის ყოველ ოთხ ბლოკს შეესაბამება ფერსხვაობითი შემდგენების ერთი ბლოკი (ფორმატი 4:2:0). ამიტომ RGB ფორმატთან შედარებით ბლოკების რაოდენობა ამ შემთხვევაში ორჯერ შემცირდება. მიუხედავად ამისა, გამოსახულების ხარისხი შესამჩნევად არ გაუარესდება, ვინაიდან ადამიანის თვალი ვერ ამჩნევს გამოსახულების მცირე ზომის დეტალების ფერის დამახინჯებას.

ამის შემდეგ ხორციელდება სიკაშკაშისა და ფერსხვაობითი შემდგენების შესაბამისი 8x8 ზომის ბლოკების გარდასახვა დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის საფუძველზე, რომლის შესაბამისი 8x8 ზომის საბაზო მატრიცაა

$$[DCT]= \begin{bmatrix} 0,354 & 0,354 & 0,354 & 0,354 & 0,354 & 0,354 & 0,354 & 0,354 \\ 0,490 & 0,416 & 0,278 & 0,098 & -0,098 & -0,278 & -0,416 & -0,490 \\ 0,462 & 0,191 & -0,191 & -0,462 & -0,462 & -0,191 & 0,191 & 0,462 \\ 0,416 & -0,098 & -0,49 & -0,278 & 0,278 & 0,490 & 0,098 & -0,416 \\ 0,354 & -0,354 & -0,354 & 0,354 & 0,354 & -0,354 & -0,354 & 0,354 \\ 0,278 & -0,490 & 0,098 & 0,416 & -0,416 & -0,098 & 0,490 & -0,278 \\ 0,191 & -0,462 & 0,462 & -0,191 & -0,191 & 0,462 & -0,462 & 0,191 \\ 0,098 & -0,278 & 0,416 & -0,490 & 0,490 & -0,416 & 0,278 & -0,098 \end{bmatrix}$$

აღნიშნული ორგანზომილებიანი გარდასახვის $[F(u,v)]$ ტრანსფორმანტები მიიღება შემდეგი მატრიცების გადამრავლებით:

$$[F(u,v)] = [DCT] \times [f(x,y)] \times [DCT]^T, \quad (2)$$

სადაც $[DCT]^T$ ტრანსპონირებული მატრიცაა.

უკუგარდასახვა (გამოსახულების ფრაგმენტის აღდგენა) კი ხდება დეკოდერში შემდეგი გარდაქმნის საფუძველზე:

$$[f(x,y)] = [DCT]^{-1} \times [F(u,v)] \times [DCT]^{-1T}. \quad (3)$$

ამ გამოსახულებაში “-1” უკუმატრიცის აღმნიშვნელია.

კოდირების პროცესის ერთ-ერთ ძირითად ნაწილს წარმოადგენს სიკაშკაშის Y და ფერსხვაობითი Cr და Cb შემდგენების შესაბამისი 8x8 ზომის ბლოკების დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის (ԶԿԵ) შედეგად მიღებული 8x8 ზომის ტრანსფორმანტების ელემენტების დაკვანტვა, რომელიც ხორციელდება ნახ.1-ზე წარმოდგენილ დაკვანტვის Զ ბლოკში დაკვანტვის მატრიცის Զმ ბლოკიდან მიწოდებული მონაცემების საშუალებით. უძრავ და მოძრავ გამოსახულებათა სიგნალების კოდირების JPEG და MPEG სტანდარტებით გათვალისწინებულია აგრეთვე დაკვანტვის შედეგად მიღებული მასივის კოდირება ჰაფმანის კოდერში (ՀԿ), რომელიც იყენებს სიკაშკაშისა და ფერსხვაობითი შემდგენებისათვის დამუშავებულ კოდების ცხრილებს (ՀՀ) [14].

პრაქტიკაში, არსებული სტანდარტების შესაბამისად, ფერადი გამოსახულების სიგნალის სიკაშკაშის Y შემდგენისათვის გამოიყენება დაკვანტვის შემდეგი მატრიცა.

$$[Q_Y] = \begin{bmatrix} 16 & 11 & 10 & 16 & 24 & 40 & 51 & 61 \\ 12 & 12 & 14 & 19 & 26 & 58 & 60 & 55 \\ 14 & 13 & 16 & 24 & 40 & 57 & 69 & 56 \\ 14 & 17 & 22 & 29 & 51 & 87 & 80 & 62 \\ 18 & 22 & 37 & 56 & 68 & 109 & 103 & 77 \\ 24 & 35 & 55 & 6 & 81 & 104 & 113 & 92 \\ 49 & 64 & 78 & 87 & 103 & 121 & 120 & 101 \\ 72 & 92 & 95 & 98 & 112 & 100 & 103 & 99 \end{bmatrix}$$

ხოლო ფერსხვაობითი Cr და Cb შემდგენებისათვის – შემდეგი მატრიცა.

$$[Q_{r,b}] = \begin{bmatrix} 17 & 18 & 24 & 47 & 99 & 99 & 99 & 99 \\ 18 & 21 & 26 & 66 & 99 & 99 & 99 & 99 \\ 24 & 26 & 56 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 \\ 47 & 66 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 \\ 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 \\ 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 \\ 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 \\ 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 \end{bmatrix} .$$

როგორც დაკვანტვის წარმოდგენილი მატრიცებიდან ჩანს, გამოსახულების სიკაშკაშის შემდგენის შესაბამისი გარდასახვის ელემენტების დაკვანტვისათვის გამოყენებული მატრიცა არასიმეტრიულია, რაც განპირობებულია გამოსახულების სიკაშკაშის შემდგენის სტატისტიკური მახასიათებლებითა და ამ შემდგენის მიმართ ადამიანის სუბიექტური აღქმის თავისებურებებით. რაც შეეხება გამოსახულების ფერსხვაობითი შემდგენების შესაბამის დაკვანტვის მატრიცას, იგი სიმეტრიულია.

განვიხილოთ შემთხვევა, როდესაც ფერადი გამოსახულების სიკაშკაშის შემდგენის 8x8 ზომის ერთ-ერთი ფრაგმენტის (ბლოკის) $f(x,y)$ ელემენტების ინტენსივობათა მნიშვნელობები წარმოდგენილია შემდეგი $[f(x,y)]$ მატრიცის სახით.

$$[f(x,y)] = \begin{bmatrix} 139 & 144 & 149 & 153 & 155 & 155 & 155 & 155 \\ 144 & 151 & 153 & 156 & 159 & 156 & 156 & 156 \\ 150 & 155 & 160 & 163 & 158 & 156 & 156 & 156 \\ 159 & 161 & 165 & 160 & 160 & 159 & 159 & 159 \\ 159 & 160 & 161 & 162 & 162 & 155 & 155 & 155 \\ 161 & 161 & 161 & 161 & 160 & 157 & 157 & 157 \\ 162 & 162 & 161 & 163 & 162 & 157 & 157 & 157 \\ 162 & 162 & 161 & 161 & 163 & 158 & 158 & 158 \end{bmatrix}$$

ამ ბლოკის დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის შედეგად მიიღება $F(u,v)$ ელემენტების მასივი (ტრანსფორმანტა) შემდეგი $[F(u,v)]$ მატრიცის სახით.

$$[F(u,v)] = \begin{bmatrix} 1260 & -1 & -12 & -6 & 2 & -2 & -2 & 2 \\ -22 & -17 & -6 & -3 & -3 & 0 & 1 & -1 \\ -11 & -10 & -1 & 2 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ -7 & -2 & 0 & 2 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 2 \\ 2 & 0 & 1 & -1 & -1 & 2 & 2 & 0 \\ -1 & -1 & 0 & -1 & 0 & 2 & 1 & -1 \\ -3 & 1 & -3 & -1 & 2 & 1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

აღსანიშნავია, რომ $[F(u,v)]$ მატრიცის ზედა მარცხენა კუთხეში არსებული $F(u,v)$ ელემენტები შეესაბამება გამოსახულების დაბალსიხშირულ შემდგენებს, ხოლო დანარჩენი ელემენტები – მაღალსიხშირულს შემდგენებს, ამასთანავე სიკაშკაშის ან ფერის ინტენსივობათა მდორე ცვლილებები შეესაბამება დაბალსიხშირულ, ხოლო მათი მკვეთრი ცვლილებები – მაღალსიხშირულ შემდგენებს.

გარდასახვის ელემენტების გამოთვლის შემდეგ დამკვანტავში ხდება თითოეული მათგანის დაკვანტვა $[Q_v]$ მატრიცის ელემენტებით, რის შედეგადაც მივიღებთ შემდეგი სახის დაკვანტულ ტრანსფორმანტას $[F'(u,v)]$.

$$[F'(u,v)] = \begin{bmatrix} 79 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -2 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

დაკვანტვასთან შეიძლება იყოს დაკავშირებული სპეციფიკური დამახინჯებების წარმოქმნა აღდგენილ გამოსახულებაზე, რომლებიც დაბალსიხშირული შემდგენების დაკარგვისას იწვევს იმას, რომ შესამჩნევი ხდება გამოსახულების 8 8 ზომის ბლოკებად დაყოფა, ხოლო მაღალსიხშირული შემდგენების დაკარგვისას – ეგრეთ წოდებული “გიბსის ეფექტი” გამოსახულების კონტურებზე, სადაც ადგილი აქვს სიკაშკაშის მკვეთრ ცვლილებას.

დაკვანტული $[F'(u,v)]$ ტრანსფორმანტის $F'(0,0)$ ელემენტს ვუწოდოთ ტრანსფორმანტას მთავარი ელემენტი, ხოლო ყველა დანარჩენს – არამთავარი. გარდა ამისა, ტრანსფორმანტას ნულისაგან განსხვავებულ ელემენტებს პირობითად ვუწოდოთ არანულოვანი, ხოლო ნულის ტოლ ელემენტებს – ნულოვანი.

როგორც დაკვანტვის შედეგად ფორმირებული $[F'(u,v)]$ მატრიციდან ჩანს, მისი ელემენტების დიდი ნაწილი ნულოვანია, რაც იძლევა მიღებული მასივის მნიშვნელოვანი კომპრესიის საშუალებას შესაბამის საწყის მასივთან შედარებით.

ზემოთ აღწერილი ალგორითმით ფორმირებული ტრანსფორმანტების შემდგომი კოდირებისათვის იყენებენ უდანაკარგო კოდირებას ჰაფმანის ცხრილების გამოყენებით.

დეკოდერში გამოსახულებათა სიგნალების შემდგენების აღდგენა ხდება კოდერში მიმდინარე პროცესების უკუმიმართულებით.

1.2. ტრანსფორმანტების უდანაკარგო კოდირება ჰაფმანის ცხრილების გამოყენებით

წინა პარაგრაფში აღწერილი ალგორითმით ფორმირებული ტრანსფორმანტების უდანაკარგო კოდირებისათვის შეიძლება გამოყენებული იყოს ჰაფმანის ცხრილები, რომლებიც ერთმანეთისაგან განსხვავებულია ფერად გამოსახულებათა სიკაშკაშის Y და ფერსხვაობითი C_r და C_b შემდგენებისათვის [14].

გამოსახულებათა ნებისმიერი შემდგენის შესაბამისი ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების ერთობლიობის დამუშავება ხდება სხვა არამთავარი ელემენტებისაგან დამოუკიდებლად, რომლის დროსაც იქმნება ყველა ტრანსფორმანტას მთავარი ელემენტების ერთობლიობა (მასივი) და ხორციელდება მათი სხვაობითი მნიშვნელობების უდანაკარგო კოდირება ჰაფმანის კოდების გამოყენებით.

რაც შეეხება ტრანსფორმანტას არამთავარი ელემენტების მასივს, მისთვის ახორციელებენ კოეფიციენტების ზიგზაგისებურ სკანირებას და მიღებული ერთგანზომილებიანი მიმდევრობის კოდირებისათვის იყენებენ სხვადასხვა სიგრძის ჰაფმანის კოდებს.

ზიგზაგისებური სკანირებისას ტრანსფორმანტას ელემენტების დალაგება ხდება ცხრილ 1-ში ნაჩვენები მიმდევრობით.

ცხრილი 1. ტრანსფორმანტას ელემენტების ზიგზაგისებური სკანირება

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

როგორც ცხრილი 1-დან ჩანს, ტრანსფორმანტას არამთავარი ელემენტების ზიგზაგისებური სკანირების შედეგად მიღებულ მიმდევრობაში პირველია ელემენტი $F'(0,1)$, მეორეა $F'(1,0)$, მესამეა $F'(2,0)$, მეოთხეა $F'(1,1)$, მეხუთეა $F'(0,2)$ და ასე შემდეგ.

სანიმუშოდ განვიხილოთ მაგალითი, როდესაც პირველადი გამოსახულების ერთ-ერთი (მაგალითად, სიკაშკაშის) შემდგენის ფრაგმენტის ელემენტების ინტენსივობათა ერთობლიობა წარმოდგენილია შემდეგი $[f(x,y)]$ მატრიცის სახით.

$$[f(x,y)] = \begin{bmatrix} 21 & 35 & 102 & 183 & 210 & 204 & 180 & 150 \\ 73 & 155 & 201 & 209 & 190 & 170 & 162 & 192 \\ 188 & 211 & 196 & 182 & 168 & 170 & 194 & 208 \\ 211 & 189 & 179 & 178 & 180 & 200 & 208 & 205 \\ 177 & 180 & 170 & 187 & 201 & 207 & 205 & 203 \\ 180 & 172 & 195 & 203 & 206 & 203 & 200 & 198 \\ 183 & 202 & 205 & 201 & 199 & 196 & 193 & 193 \\ 203 & 205 & 198 & 198 & 194 & 192 & 192 & 194 \end{bmatrix} .$$

აღნიშნული მატრიცის გარდასახვის შედეგად მიიღება ტრანსფორმანტა $[F(u,v)]$.

$$[F(u,v)] = \begin{bmatrix} 1467 & -90 & -58 & -21 & 0 & -2 & -4 & -5 \\ -121 & -93 & -69 & -22 & 2 & 0 & -2 & -4 \\ -79 & -51 & -85 & -16 & 4 & -1 & 0 & -1 \\ -60 & -85 & -78 & 27 & 14 & 10 & 6 & 4 \\ -32 & -43 & -5 & 53 & 13 & 14 & 0 & -2 \\ -9 & -8 & 13 & 33 & 2 & 15 & 2 & 3 \\ -4 & -4 & 16 & 22 & 9 & 13 & 0 & 4 \\ -5 & -1 & 9 & 7 & -3 & -6 & -10 & -2 \end{bmatrix}$$

$[F(u,v)]$ ტრანსფორმანტას ელემენტების $[Q_v]$ მატრიცით დაკვანტვის შედეგად მივიღებთ.

$$[F(u,v)] = \begin{bmatrix} 92 & -8 & -6 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -10 & -8 & -5 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -6 & -4 & -5 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -4 & -5 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -2 & -2 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

დაკვანტული $[F'(u,v)]$ ტრანსფორმანტას მთავარი $F'(0,0)$ ელემენტი სხვა ანალოგიური ტრანსფორმანტების მთავარ ელემენტებთან ერთად კოდირდება დამოუკიდებლად ზემოთ აღწერილი ალგორითმით.

$[F'(u,v)]$ ტრანსფორმანტას არამთავარი ელემენტებისგან კი მათი ზიგზაგისებური სკანირებით იქმნება შემდეგი მიმდევრობა: -8, -10, -6, -8, -6, -1, -5, -4, -4, -2, -5, -5, -1, 0, 0, 0, -1, -4, -2, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, ..., 0.

კოეფიციენტების სკანირების შემდეგ იმ ელემენტებს, რომელთა შორის არ არსებობს თუნდაც ერთი ნული, ჰაფმანის ცხრილის მიხედვით შეუსაბამებენ სხვადასხვა სიგრძის ორობით კოდს, ხოლო ნულის ან ნულების არსებობის შემთხვევაში ბოლო ნულის შემდგომი ელემენტის

კოდირებას ახორციელებენ წინა ნულთან (ან ნულებთან) ერთად ასეთი შემთხვევისათვის შედგენილი ჰაფმანის სპეციალური ცხრილის მიხედვით. სკანირებულ მიმდევრობაში ნულის არატოლი ელემენტების კოდირების დამთავრების შემდეგ კი ფორმირდება ოთხთანრიგა კოდური ჯგუფი EOB (end of blok-ბლოკის დასასრული). იგი წარმოადგენს ოთხთანრიგა ორობით რიცხვს 1010 და აღნიშნავს მოცემული ტრანსფორმანტას ელემენტების კოდირების დამთავრებას. განხილული შემთხვევისათვის ტრანსფორმანტას ელემენტების შესაბამისი კოდური ჯგუფებია:

-8→111100111 (9 ბიტი); -10→111100101 (9 ბიტი); -6→1110001 (7 ბიტი); -8→111100111 (9 ბიტი); -6→1110001 (7 ბიტი); -1→100 (3 ბიტი); -5→1110010 (7 ბიტი); -4→1110011 (7 ბიტი); -4→1110011 (7 ბიტი); -2→10011 (5 ბიტი); -5→1110010 (7 ბიტი); -5→1110010 (7 ბიტი); -1→100 (3 ბიტი); (0,0,0,-1)→1110100 (7 ბიტი); -4→1110011 (7 ბიტი); -2→11001 (5 ბიტი); (0,0,0,0,1)→1110111 (7 ბიტი); (0,0,0,0,0,0,1)→111110101 (9 ბიტი); (0,0,0,0,0,1)→11110101 (8 ბიტი); 0, ... , 0 (სულ 25 ნული)→1010 (EOB) (4 ბიტი).

ამრიგად, განხილული 63-ელემენტიანი ტრანსფორმანტას საბოლოო კოდი იქნება 134-ბიტიანი რიცხვი:

11110011111100101111000111110011111100011001110010111001111100111001111100101110
01010011101001110011110011110111111010111101011010.

იმ შემთხვევაში, როდესაც გამოსახულების აღნიშნული ფრაგმენტის კოორდინატებია 0,0, მაშინ ტრანსფორმანტას მთავარი F'(0,0) ელემენტის (მისი მნიშვნელობაა 92) უდანაკარგო კოდირებისასთვის ჰაფმანის შესაბამისი ცხრილის მიხედვით საჭიროა 15 ბიტი, ვინაიდან 92-ს ამ ცხრილის მიხედვით შეესაბამება 15-ბიტიანი კოდური ჯგუფი 11111101011100, რომელთაგან პირველ რვა ბიტს (1111110) უნარულ კოდს უწოდებენ, ხოლო დანარჩენი შვიდი ბიტი ცხრილის იმ სტრიქონისა და სვეტის ნომერს შეესაბამება, რომელსაც მიეკუთვნება რიცხვი 92.

ამრიგად, მოცემული ტრანსფორმანტას ყველა ელემენტის უდანაკარგო კოდირებისას დაიხარჯება სულ 149 ბიტი.

გამოსახულებათა კოდირების ეფექტურობის, ანუ თანამედროვე ტერმინოლოგიით კომპრესიის მწარმოებლურობის შეფასებისათვის

მიზანშეწონილია თანამედროვე ლიტერატურაში გამოყენებული კრიტერიუმები:

1. კომპრესიის (შეკუმშვის) კოეფიციენტი

$$C = M_2/M_1 \quad , \quad (4)$$

სადაც M_1 საწყისი გამოსახულების კოდირებისათვის დახარჯული სიმბოლოების (ბიტების) რაოდენობაა, ხოლო M_2 – სიმბოლოების რაოდენობაა უკვე კომპრესირებული გამოსახულებისათვის. თუ, მაგალითად, $C=0,6$, მაშინ შეკუმშული გამოსახულებისათვის იხარჯება საწყისი გამოსახულებისათვის დახარჯული ბიტების რაოდენობის 60%.

2. კომპრესიის ფაქტორი

$$F = 1/C = M_1/M_2 \quad . \quad (5)$$

$N \times N$ ზომის გამოსახულებისათვის (კადრისათვის) კომპრესიის ფაქტორი

$$F = m_1 N^2 / \left(\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} m_2(i,j) \right) , \quad (6)$$

სადაც: N როგორც გამოსახულების სტრიქონების, ასევე თითოეულ სტრიქონში არსებული ელემენტების რაოდენობაა; m_1 საწყისი გამოსახულების ერთი ელემენტის კოდირებისათვის დახარჯული ბიტების, ხოლო $m_2(i,j)$ – ეფექტურად კოდირებული (კომპრესირებული) ფრაგმენტის ერთი ელემენტისათვის საშუალოდ გამოყენებული სიმბოლოების რაოდენობაა.

უნდა აღინიშნოს, რომ წინამდებარე ნაშრომში კვლევისათვის გამოყენებულ საკვლევი (სატესტო) გამოსახულებებისათვის $N=256$, ანუ გამოსახულებათა ზომაა 256×256 (სურ. 3).

როგორც ჩანს, კომპრესიის ფაქტორი კომპრესიის კოეფიციენტის შებრუნებული სიდიდეა და იგი უფრო ბუნებრივად აღიქმება მრავალი ადამიანისათვის, ვინაიდან რაც მეტია კომპრესიის ფაქტორი, მით უკეთეს შეკუმშვასთან გვაქვს საქმე.

3. კომპრესიის ეფექტურობა შეიძლება შეფასდეს აგრეთვე $100(1-C)$ პარამეტრით, რომელიც გვიჩვენებს იმას, თუ რამდენი პროცენტითაა ნაკლები კომპრესირებული გამოსახულების მოცულობა საწყისი გამოსახულების მოცულობასთან შედარებით.

განესაზღვროთ კომპრესიის ფაქტორი განხილული ფრაგმენტისათვის. ამ მიზნით, თუ გავითვალისწინებთ იმ გარემოებას, რომ გამოსახულების 8×8 ზომის $[f(x,y)]$ ფრაგმენტის კოდირებისათვის, მისი ყოველი $f(x,y)$ ელემენტის 8 ბიტით წარმოდგენისას (ინტენსივობათა მნიშვნელობების რაოდენობაა 256), საჭიროა $8 \times 64 = 512$ ბიტი, მაშინ შეიძლება შევაფასოთ კომპრესიის ფაქტორის სიდიდე მოცემული კონკრეტული ფრაგმენტისათვის. კერძოდ, ვინაიდან აღნიშნული ფრაგმენტის გარდასახვის შედეგად მიღებული დაკვანტული ტრანსფორმანტას ენტროპიული კოდირებისას საკმარისი აღმოჩნდა 149 ბიტი, ამიტომ კომპრესიის ფაქტორი $F = 512/149 \approx 3,44$. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ თუ საწყისი გამოსახულების ერთი ელემენტის კოდირებისათვის გამოიყენებოდა 8 ბიტი, ამჯერად, ეკონომიური კოდირების შედეგად, საკმარისი აღმოჩნდება საშუალოდ $8/3,44 \approx 2,33$ ბიტი.

1.3. საცდელი ფერადი გამოსახულებები და მათი ხარისხობრივი მაჩვენებლების შეფასება ობიექტური კრიტერიუმების საფუძველზე

ნაშრომში დამუშავებული გამოსახულებათა სიგნალების ეკონომიური კოდირების მეთოდის ეფექტურობა შეფასებულია ექსპერიმენტულად მისი მოდელირების საშუალებით. ექსპერიმენტისთვის გამოყენებულია სხვადასხვა კლასის (მცირე, საშუალო და მაღალი დეტალობის) ფერადი საცდელი (სატესტო) გამოსახულებები (სურ. 3).

სურ. 4-ზე წარმოდგენილია ნახ. 1-ზე ნაჩვენები სქემის მიხედვით ეკონომიურად კოდირებული (კომპრესირებული) საცდელი (სატესტო) გამოსახულებები.



ს



ბ



გ



დ



ე



ვ



ზ



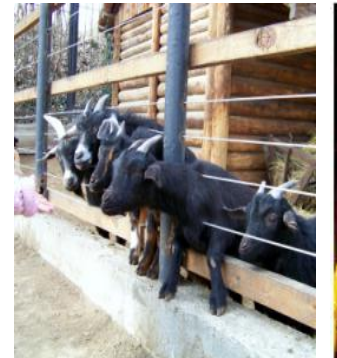
თ



ი



კ



ლ



მ



6



7



8



9



10



11



12



13



14



15



16



17



სურ. 3. 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” (ტ), “მაღაზია” (უ), “კარუსელი” (ფ), “შემოდგომა” (ქ), “კოშკი” (ღ), “კოლიზეუმი” (ყ), “ტექსტი” (შ), “ფონი” (ჩ), “ღრუბელი” (ც), “მამადავითი” (ძ), “ფუნიკულიორი” (წ) “ტელეანძა” (ჭ)



с



ծ



ծ



թ



ժ



Յ



Ԇ



ԇ



Ԉ



ԉ



Ձ



Ղ



б



в



г



д



е



ж



з



и



й



к



л



м



სურ. 4. ეკონომიურად კოდირებული (კომპრესირებული) საცდელი გამოსახულებები “ლენა” (ა), “ბიონსე” (ბ), “ბუნება” (გ), “ნაგაზი” (დ), “თიბისი” (ე), “კატა” (ვ), “ციხესიმაგრე” (ზ), “ბავშვები” (თ), “აღუბლები” (ი), “კროსი” (კ), “ფერმა” (ლ), “პარკი” (მ), “კენკრა” (ნ), “დაისი” (ო), “ზამთარი” (პ), “გარნიტური” (ჟ), “შროშანი” (რ), “მთები” (ს), “ტბა” (ც), “მალაზია” (ყ), “კარუსელი” (ფ), “შემოდგომა” (ქ), “კოშკი” (ღ), “კოლიზეუმი” (ყ), “ტექსტი” (შ), “ფონი” (ჩ), “ღრუბელი” (ც), “მამადავითი” (ძ), “ფუნიკულორი” (წ) და “ტელეანძა” (ჭ)

ეკონომიური კოდირების (კომპრესიის) შემდეგ აღდგენილი გამოსახულების ხარისხის შეფასებისათვის გამოიყენება როგორც ობიექტური, ასევე სუბიექტური (ადამიანის ფსიქოფიზიოლოგიური აღქმის თავისებურებანი) კრიტერიუმები. შეფასების ობიექტური პარამეტრებია: საშუალო კვადრატული შეცდომა – rms; ნორმირებული საშუალო კვადრატული შეცდომა – nskg; სიგნალისა და ხმაურის ფარდობა – SNR; სიგნალისა და ხმაურის ფარდობის პიკური მნიშვნელობა – PSNR [47].

1. საშუალო კვადრატული ცდომილება (MSE):

$$MSE = \sqrt{\left(\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} (X(i,j) - X^*(i,j))^2 \right) / N^2} \quad (7)$$

2. ამპლიტუდის მიხედვით ნორმირებული საშუალო კვადრატული შეცდომა (NMSE):

$$NMSE = \sqrt{\left(\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} (X(i,j) - X^*(i,j))^2 \right) / \left(\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} (X(i,j))^2 \right)}, \quad (8)$$

3. სიგნალ-ხმაურის ფარდობა (SNR):

$$SNR = 10 \lg \left(\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} (X(i,j))^2 \right) / \left(\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} (X(i,j) - X^*(i,j))^2 \right), \quad (9)$$

4. პიკური სიგნალ-ხმაურის ფარდობა (PSNR):

$$SNRP = 10 \lg (N^2(L-1)^2) / \left(\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} (X(i,j) - X^*(i,j))^2 \right), \quad (10)$$

სადაც $X(i, j)$ და $X^*(i, j)$ საწყისი და კომპრესიის შემდეგ აღდგენილი გამოსახულებების ელემენტების მნიშვნელობებია (ინტენსივობებია); i და j – გამოსახულების ელემენტების კოორდინატებია ($i, j=0, 1, 2, \dots, N-1$), ხოლო L – თითოეული ელემენტის ინტენსივობათა რაოდენობაა და, ამიტომ, ელემენტების ინტენსივობის დიაპაზონია $0, \dots, (L-1)$. წარმოდგენილ სადისერტაციო ნაშრომში დამუშავებული გამოსახულებებისათვის $N=256$, ანუ მოდელირებისათვის გამოყენებული ეტალონური გამოსახულებების ზომებია 256×256 , ხოლო საწყის გამოსახულებათა ელემენტებისათვის გამოყენება 8-თანრიგა კოდირება, რის გამოც $L=256$ (გამოსახულების თითოეული ელემენტის მნიშვნელობათა დიაპაზონია $0 \dots 255$). მაღალი ხარისხის უზრუნველყოფის მიზნით ლიტერატურაში განიხილება გამოსახულებათა 10-თანრიგა ($m=10, L=1024$) კოდირება, რაც უფრო ამწვავებს სატელეკომუნიკაციო ხაზების გამტარუნარიანობისა და მახსოვრობის მოწყობილობების მოცულობის ეკონომიურად გამოყენების პრობლემას, რის გამოც გამოსახულებათა ეფექტური კოდირების ამოცანა უფრო აქტუალური ხდება [1].

სადისერტაციო ნაშრომში გამოსახულებათა კოდირების დამუშავებული მეთოდების ექსპერიმენტული მოდელირების შედეგების შეფასება განხორციელდა ყველა ზემოთ ჩამოთვლილი ობიექტური კრიტერიუმებით, რისთვისაც გამოყენებული იქნა პროგრამა MathCad.

შერჩეული საცდელი ფერადი გამოსახულებებისათვის ხარისხის შეფასების ობიექტური პარამეტრები გამოსახულებათა სამივე

შემდგენისა და სრული სიგნალისათვის წარმოდგენილია ცხრილებში 2, 3, 4 და 5.

ცხრილი 2. ეკონომიურად კოდირებული (კომპრესირებული) საცდელი გამოსახულებების სიკაშკაშის Y შემდგენის აღდგენის ხარისხის შეფასება ობიექტური პარამეტრების მიხედვით

გამოსახულებები	MSE	NMSE	SNR, დბ	SNRP, დბ
1	2	3	4	5
“ლენა”	5,145	0,039	28,242	33,937
“ბიონსე”	4,817	0,032	29,941	34,509
“ბუნება”	7,358	0,081	21,839	30,830
“ნაგაზი”	5,501	0,040	27,839	33,356
“თი-ბი-სი”	5,250	0,029	30,838	33,762
“კატა”	6,194	0,043	27,265	32,325
“ციხესიმაგრე”	8,435	0,047	26,589	29,643
“ბავშვები”	8,395	0,070	23,096	29,684
“აღუბლები”	5,824	0,051	25,849	32,861
“კროსი”	9,752	0,086	21,267	28,383
“ფერმა”	6,184	0,039	28,274	32,339
“პარკი”	5,664	0,053	25,504	33,103
“კენკრა”	10,477	0,094	20,583	27,760
“დაისი”	3,543	0,034	29,405	37,177
“ზამთარი”	8,336	0,110	19,193	29,745
“გარნიტური”	4,089	0,033	29,652	35,932
“შროშანი”	7,166	0,079	22,018	31,059
“მთები”	1,117	0,006	45,090	47,206
“ტბა”	4,824	0,039	28,119	34,496
“მაღაზია”	6,280	0,056	25,063	32,205
“კარუსელი”	5,835	0,057	24,845	32,844
“შემოდგომა”	9,932	0,068	23,376	28,224
“კოშკი”	6,862	0,050	26,057	31,435
“კოლიზეუმი”	6,151	0,051	25,897	32,385
“ტექსტი”	2,872	0,014	37,244	39,001

ცხრილი 2 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5
“ფონი”	1,058	0,007	43,265	47,679
“ღრუბელი”	1,967	0,010	39,777	42,288
“მამადავითი”	3,166	0,033	29,709	38,155
“ფუნქულორი”	3,453	0,021	33,721	37,402
“ტელეანძა”	2,375	0,013	37,670	40,652

ცხრილი 3. ეკონომიურად კოდირებული (კომპრესირებული) საცდელი გამოსახულებების ფერსხვაობითი C_r შემდგენის აღდგენის ხარისხის შეფასება ობიექტური პარამეტრების მიხედვით

გამოსახულებები	MSE	NMSE	SNR, დბ	SNRP, დბ
1	2	3	4	5
“ლენა”	2,428	0,082	21,768	31,427
“ბიონსე”	2,540	0,249	12,063	31,036
“ბუნება”	2,355	0,286	10,862	31,693
“ნაგაზი”	1,445	0,263	11,591	35,937
“თი-ბი-სი”	1,029	0,583	4,680	38,882
“კატა”	2,239	0,161	15,849	32,131
“ციხესიმაგრე”	1,798	0,448	6,972	34,039
“ბავშვები”	2,908	0,247	12,163	29,862
“ალუბლები”	4,493	0,204	13,816	25,891
“კროსი”	4,742	0,349	9,153	25,614
“ფერმა”	2,488	0,384	8,305	31,218
“პარკი”	3,851	0,300	10,458	27,422
“კენკრა”	6,013	0,436	7,204	23,552
“დაისი”	4,261	0,086	21,339	26,544
“ზამთარი”	2,928	0,176	15,105	29,803
“გარნიტური”	2,552	0,147	16,647	30,996
“შროშანი”	4,296	0,391	8,146	26,472
“მთები”	0,780	0,023	32,885	41,290
“ტბა”	2,561	0,080	21,893	30,965

ცხრილი 3 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5
“მაღაზია”	5,046	0,383	8,343	25,075
“კარუსელი”	4,736	0,313	10,095	25,625
“შემოდგომა”	2,884	0,284	10,937	29,935
“კოშკი”	2,042	0,297	10,545	32,933
“კოლიზეუმი”	2,084	0,239	12,447	32,757
“ტექსტი”	1,273	0,238	12,472	37,037
“ფონი”	0,853	0,047	26,580	40,516
“ღრუბელი”	1,166	0,113	18,932	37,801
“მამადავითი”	1,333	0,275	11,202	36,639
“ფუნიკულორი”	1,186	0,343	9,286	37,651
“ტელეანძა”	1,159	0,221	13,123	37,852

ცხრილი 4. ეკონომიურად კოდირებული (კომპრესირებული) საცდელი გამოსახულებების ფერსხვაობითი C_b შემდგენის აღდგენის ხარისხის შეფასება ობიექტური პარამეტრების მიხედვით

გამოსახულებები	MSE	NMSE	SNR, დბ	SNRP, დბ
1	2	3	4	5
“ლენა”	2,467	0,207	13,674	31,291
“ბიონსე”	3,262	0,244	12,247	28,864
“ბუნება”	2,683	0,266	11,486	30,562
“ნაგაზი”	1,614	0,290	10,748	34,978
“თი-ბი-სი”	1,077	0,366	8,719	38,493
“კატა”	2,903	0,161	15,849	32,131
“ციხესიმაგრე”	4,207	0,430	7,331	26,654
“ბავშვები”	3,753	0,179	14,929	27,646
“აღუბლები”	3,817	0,369	8,668	27,499
“კროსი”	4,944	0,325	9,766	25,252

ცხრილი 4 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5
“ფერმა”	3,081	0,389	8,199	29,359
“პარკი”	6,083	0,221	13,115	23,451
“კენკრა”	4,870	0,665	3,543	25,383
“დაისი”	2,639	0,187	14,563	30,705
“ზამთარი”	4,203	0,158	16,018	26,662
“გარნიტური”	2,345	0,200	13,987	31,732
“შროშანი”	6,716	0,278	11,116	22,592
“მთები”	0,824	0,034	29,399	40,814
“ტბა”	2,604	0,113	18,912	30,820
“მაღაზია”	3,174	0,444	7,044	29,102
“კარუსელი”	7,439	0,295	10,611	21,704
“შემოდგომა”	4,034	0,308	10,227	27,019
“კოშკი”	2,469	0,259	11,747	31,284
“კოლიზეუმი”	2,336	0,219	13,173	31,764
“ტექსტი”	1,312	0,253	11,953	36,776
“ფონი”	0,659	0,027	31,350	42,755
“ღრუბელი”	1,276	0,073	22,731	37,019
“მამადავითი”	1,556	0,361	8,841	35,291
“ფუნიკულორი”	1,511	0,174	15,182	35,551
“ტელეანძა”	1,307	0,090	20,889	36,808

ცხრილი 5. ეკონომიურად კოდირებული (კომპრესირებული) საცდელი გამოსახულებების აღდგენის ხარისხის შეფასება ობიექტური პარამეტრების მიხედვით გამოსახულებათა სრული სიგნალისათვის

გამოსახულებები	MSE	NMSE	SNR, დბ	SNRP, დბ
1	2	3	4	5
“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

ცხრილი 5 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5
“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
“ალუბლები”	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
“ღაისი”	7,521	0,057	24,901	35,410
“ზამთარი”	9,338	0,169	15,448	28,760
“გარნიტური”	6,506	0,043	27,245	31,899
“მროშანი”	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
“მაღაზია”	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 (იხ. § 1.1).

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 ამადლების მიზნით დაუკვანტავი ტრანსფორმანტების შემთხვევაში კოდირებასთან შედარებით.

მხედველობის ფსიქოფიზიოლოგიური თავისებურებები გამოსახულებათა სუბიექტური აღქმის თვალსაზრისით გამოიხატება, კერძოდ, იმაში, რომ თვალი ვერ ამჩნევს გამოსახულებათა დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვითა და შესაბამისი ტრანსფორმანტების დაკვანტვით გამოწვეულ უზუსტობებს როგორც შედარებით დიდი დეტალობის შემცველი გამოსახულების ობიექტების კონტურებზე, ასევე მცირე დეტალობის შემცველ და ეგრეთ წოდებულ მონოტონურ (ფონურ) გამოსახულებებზე.

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 კომრესიის F ფაქტორის უფრო მეტად გაზრდის მიზნით, იგი არ იწვევს დამატებითი შეცდომების გაჩენას, რის გამოც ეკონომიურ კოდირებას ჰაფმანის ცხრილების გამოყენებით უწოდებენ უდანაკარგო კოდირებას.

თავი 2. ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების სტატისტიკური მახასიათებლები

2.1. ტრანსფორმანტების მთავარი და არამთავარი ელემენტების როლი ეკონომიურად კოდირებული გამოსახულებების ხარისხობრივი მაჩვენებლების თვალსაზრისით

როგორც აღნიშნული იყო, ფერადი გამოსახულებების სამივე შემდგენის 8x8 ზომის ფრაგმენტების (ბლოკების) დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვისა და მიღებული ტრანსფორმანტების ელემენტების დაკვანტვის შემდეგ, ანუ ნაწილობრივი დანაკარგებით კომპრესიის შემდეგ, კომპრესიის ფაქტორის გაზრდის მიზნით JPEG და MPEG რეკომენდაციები ითვალისწინებენ დაკვანტული ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების სხვაობებისაგან შედგენილი ორგანოზომილებიანი მასივის კოდირებას მათთვის გათვალისწინებული ჰაფმანის ცხრილის სხვადასხვა სიგრძის კოდების გამოყენებით. ამავე დროს ხორციელდება ტრანსფორმანტების არამთავარი ელემენტების დამოუკიდებელი უდანაკარგო კოდირება მათთვის სპეციალურად შედგენილი ჰაფმანის ცხრილის სხვადასხვა სიგრძის კოდების საშუალებით. უნდა აღინიშნოს, რომ როგორც მთავარი, ასევე არამთავარი ელემენტებისათვის ჰაფმანის ცხრილები ისეა შედგენილი, რომ ელემენტების მაღალაღბათურ მნიშვნელობებს შეესაბამება ცხრილის მოკლე კოდები, ხოლო მცირეაღბათურ მნიშვნელობებს – შედარებით გრძელი კოდები [14].

შევნიშნოთ, რომ ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების მასივის დამოუკიდებელი უდანაკარგო კოდირება ჰაფმანის კოდების გამოყენებით ხორციელდება მათი განსაკუთრებულობის გამო, რაც განპირობებულია იმით, რომ მთავარი ელემენტები შეიცავენ ძირითად ინფორმაციას ფრაგმენტის შესახებ, ხოლო არამთავარ ელემენტებს ამ თვალსაზრისით უკავიათ მეორეხარისხოვანი როლი.

ზემოაღნიშნულის საილუსტრაციოდ ცხრილში 6 ნაჩვენებია ეკონომიურად კოდირებული (კომპრესირებული) გამოსახულებების “ლენა”, “ალუბლები” და “დაისი” ხარისხობრივი მაჩვენებლები

ობიექტური კრიტერიუმების საფუძველზე მათი მხოლოდ მთავარი და მხოლოდ არამთავარი ელემენტებით აღდგენისას, ხოლო სურ. 5ა,ბ, სურ. 6ა,ბ და სურ. 7ა,ბ-ზე – შესაბამისი აღდგენილი გამოსახულებები.

ცხრილი 6. ეკონომიურად კოდირებული (კომპრესირებული) საცდელი გამოსახულებების ხარისხის შეფასება ობიექტური პარამეტრების მიხედვით გამოსახულებათა სრული სიგნალისათვის მათი მხოლოდ მთავარი და მხოლოდ არამთავარი ელემენტებით აღდგენისას

გამოსახულებები	მხოლოდ მთავარი ელემენტებით აღდგენისას				მხოლოდ არამთავარი ელემენტებით აღდგენისას			
	MSE	NMSE	SNR, დბ	SNRP, დბ	MSE	NMSE	SNR, დბ	SNRP, დბ
“ლენა”	22,407	0,159	15,994	25,929	118,889	0,842	1,499	11,433
“ალუბლები”	28,731	0,245	12,232	23,769	104,117	0,886	1,048	12,586
“დაისი”	16,535	0,125	18,059	28,568	125,718	0,951	0,439	10,948



ა



ბ

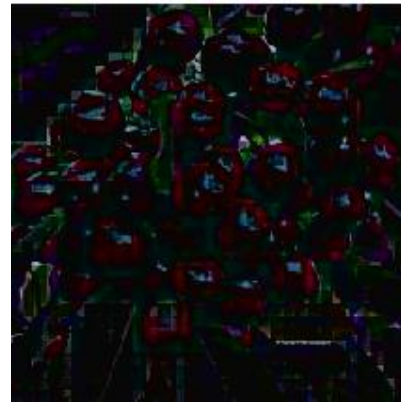
სურ. 5. დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის ტრანსფორმანტების მხოლოდ მთავარი (ა) და მხოლოდ არამთავარი (ბ) ელემენტების საშუალებით აღდგენილი გამოსახულება “ლენა”

თუ ერთმანეთს შევადარებთ ცხრილი 6-ისა და ცხრილი 5-ის შესაბამის მონაცემებს, თვალსაჩინო გახდება ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების როლი აღდგენილი გამოსახულებების სიზუსტის თვალსაზრისით. მაგალითად, გამოსახულებისათვის “ლენა” მისი მხოლოდ მთავარი ელემენტით აღდგენისას საშუალო კვადრატული შეცდომა უარესდება 15,231 ერთეულით, პიკური სიგნალ-ხმაურის ფარდობა – 9,890 დბ-ით, ხოლო ტრანსფორმანტების მხოლოდ ყველა

დანარჩენი არამთავარი ელემენტით 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.



ა



ბ

სურ. 6. დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის ტრანსფორმანტების მხოლოდ მთავარი (ა) და მხოლოდ არამთავარი (ბ) ელემენტების საშუალებით აღდგენილი გამოსახულება “ალუბლები”



ა



ბ

სურ. 7. დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის ტრანსფორმანტების მხოლოდ მთავარი (ა) და მხოლოდ არამთავარი (ბ) ელემენტების საშუალებით აღდგენილი გამოსახულება “დაისი”

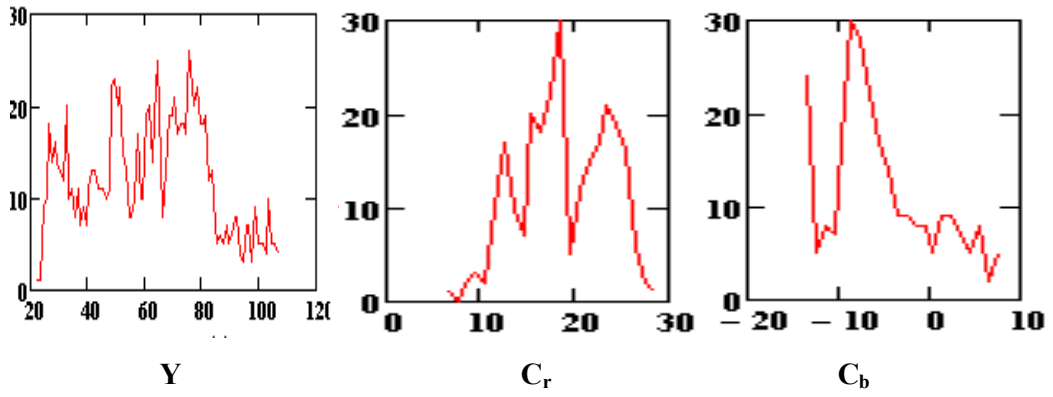
ანალოგიური მსჯელობაა შესაძლებელი სურ. 5, სურ. 6 და სურ. 7-ზე წარმოდგენილი სურათების მიხედვით, საიდანაც თვალნათლივ ჩანს, რომ მხოლოდ ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების

გამოყენებით აღდგენისას მიღებული გამოსახულება გაცილებით იდენტურია პირველადი გამოსახულებისა (იხ. სურ. 3) მხოლოდ არამთავარი კოეფიციენტების საშუალებით აღდგენილ გამოსახულებებთან შედარებით.

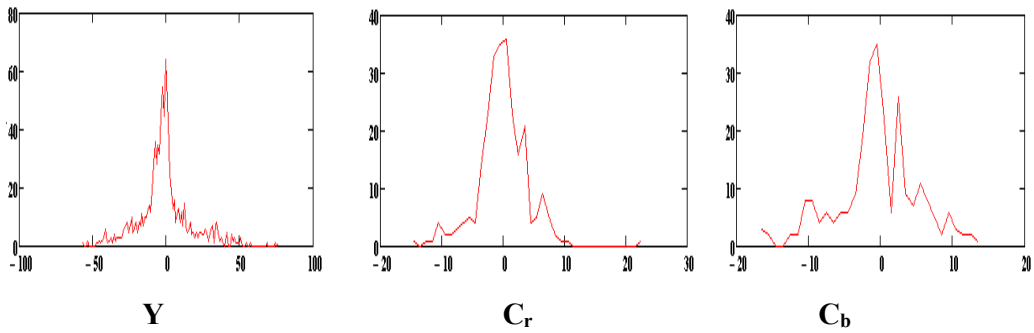
2.2. ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების მასივის ჰისტოგრამები და მათი კორელაციური პარამეტრები

როგორც ზემოაღნიშნულიდან ჩანს, გამოსახულებათა სიკაშკაშისა და ფერსხვაობითი შემდგენების დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის ტრანსფორმანტების ელემენტებიდან განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება მთავარი დაკვანტული $F(0,0)$ ელემენტების ერთობლიობაში ფორმირებული შესაბამისი სხვაობითი მნიშვნელობების უდანაკარგო კოდირებას. სხვაობითი მნიშვნელობები კი განსხვავებული შეიძლება აღმოჩნდეს მათი ორგანზომილებიანი მასივის ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მიმართულებით გამოთვლისას.

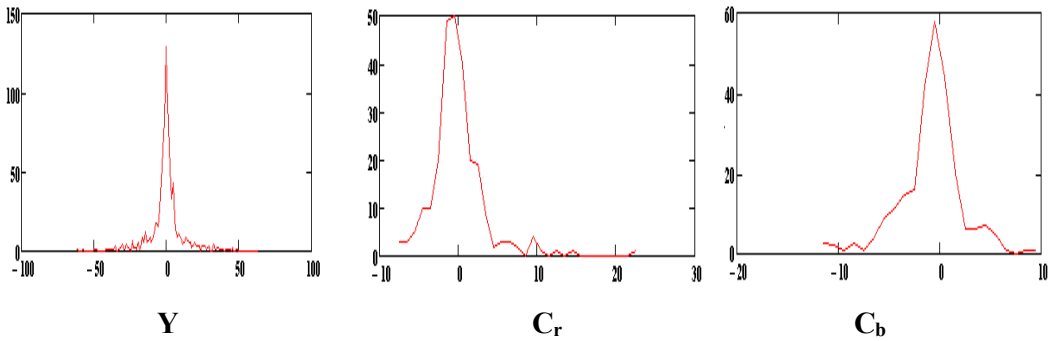
დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების მასივის ეკონომიური კოდირების ეფექტურობის განსაზღვრის მიზნით სამაგალითოდ გავაანალიზოთ აღნიშნული მასივისა და მისი ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მიმართულებით გამოთვლილი სხვაობითი მნიშვნელობების ჰისტოგრამები და შესაბამისი კორელაციური პარამეტრები როგორც მცირე (გამოსახულება “ლენა”), ასევე საშუალო (გამოსახულება “ალუბლები”) და მაღალი დეტალობის (გამოსახულებები “ზამთარი”) ფერადი გამოსახულებების სამივე (სიკაშკაშის Y და ფერსხვაობითი C_r და C_b) შემდგენისათვის (ნახ. 8, ნახ. 9 და ნახ. 10).



ა

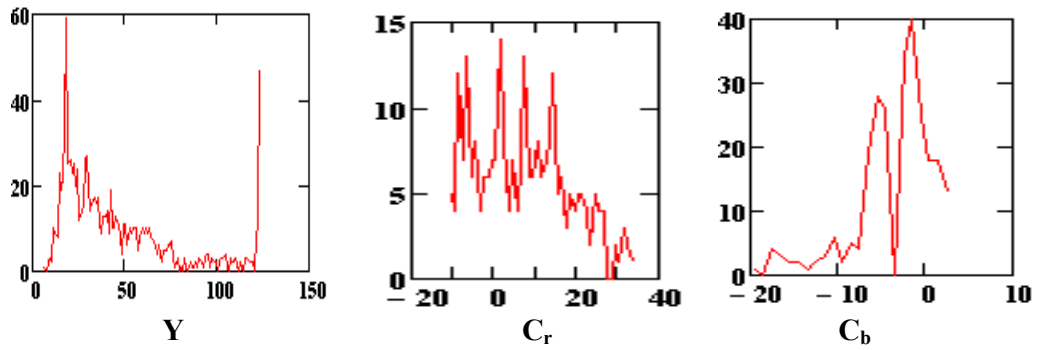


ბ

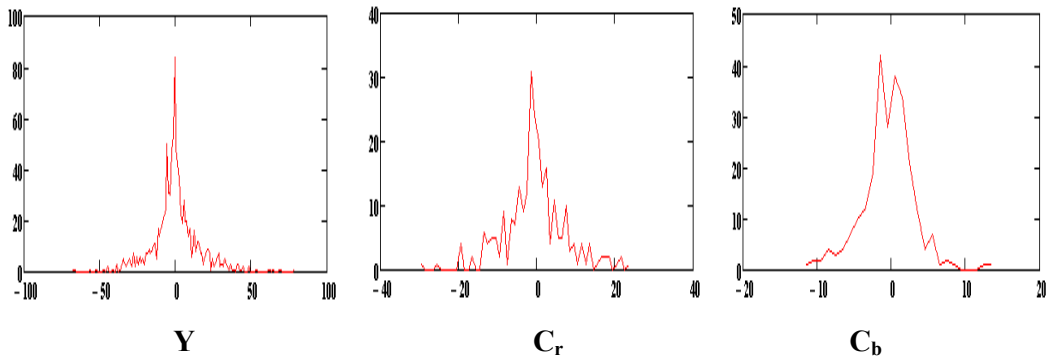


ბ

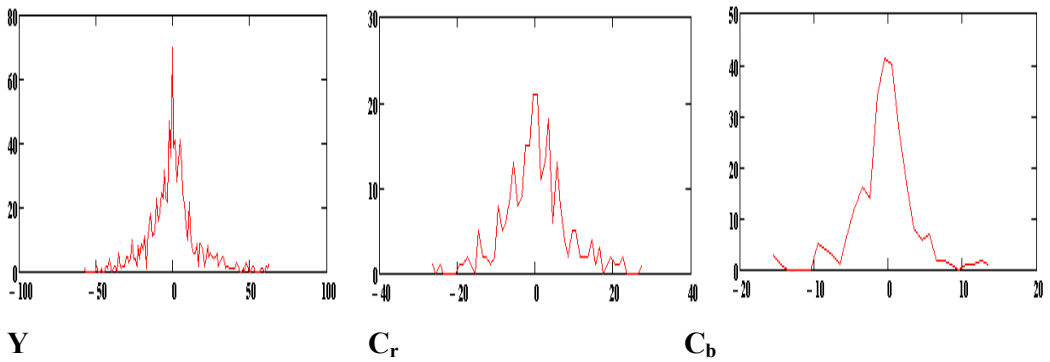
ნახ. 8. სიკაშკაშის Y და ფერსხვაობითი C_r და C_b შემდგენების შესაბამისი ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტებისა (ა) და მათი მასივის პორიზონტალური (ბ) და ვერტიკალური (გ) მიმართულებებით გამოთვლილი სხვაობების ჰისტოგრამები მცირე დეტალობის გამოსახულებისთვის “ლენა”



ა

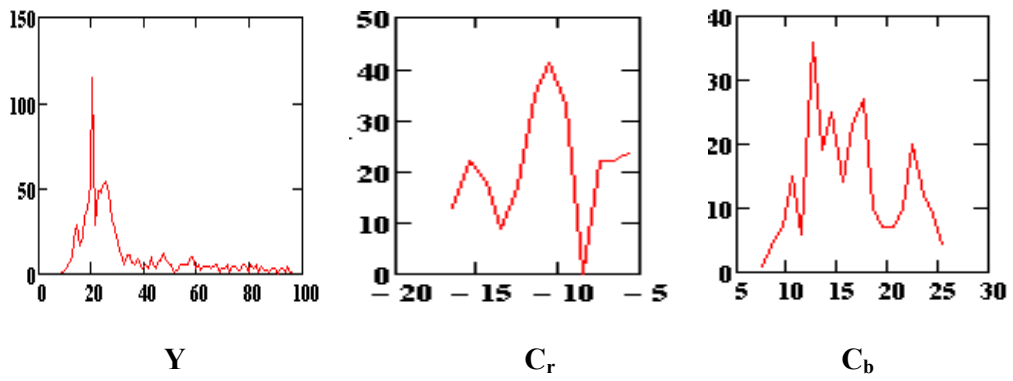


ბ

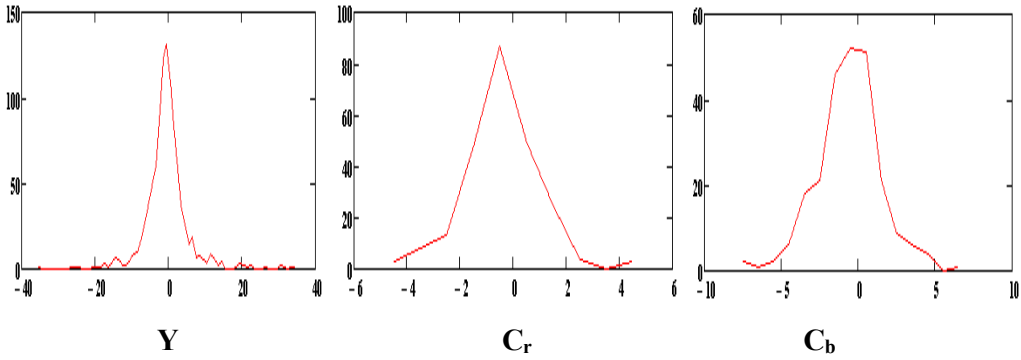


ბ

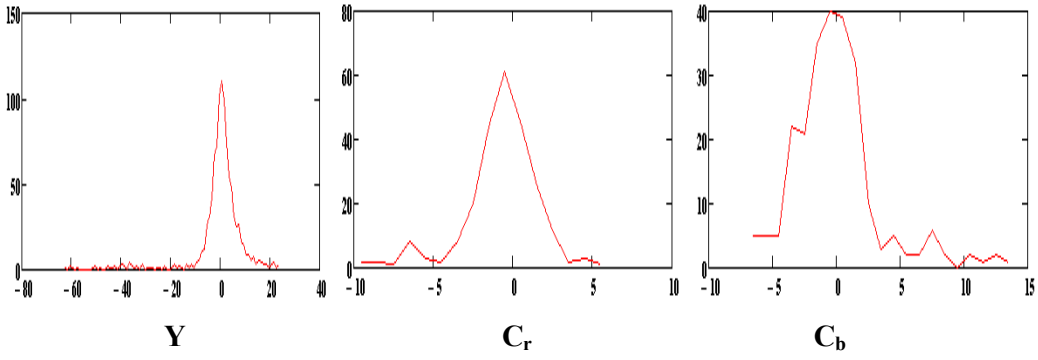
ნახ. 9. სიკაშკაშის Y და ფერსხვაობითი C_r და C_b შემდგენების შესაბამისი ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტებისა (ა) და მათი მასივის კორიზონტალური (ბ) და ვერტიკალური (გ) მიმართულებებით გამოთვლილი სხვაობების პისტოგრამები საშუალო დეტალობის გამოსახულებისთვის “ალუბლები”



ა



ბ



გ

ნახ. 10. სიკაშკაშის Y და ფერსხვაობითი C_r და C_b შემდგენების შესაბამისი ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტებისა (ა) და მათი მასივის პორიზონტალური (ბ) და ვერტიკალური (გ) მიმართულებებით გამოთვლილი სხვაობების ჰისტოგრამები მაღალი დეტალობის გამოსახულებისთვის “ზამთარი”

ნახ. 8, ნახ. 9 და ნახ. 10-დან ჩანს ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების მასივში მათი მნიშვნელობების თითქმის მთელ დიაპაზონში განაწილების სურათი, რაც არ იძლევა აღნიშნული ელემენტების ეკონომიური კოდირების საშუალებას. სხვა საქმეა, როდესაც გამოითვლება ელემენტებს შორის სხვაობები, რომელთა უმრავლესობა საკმაო კორელაციის პირობებში ნულთან ახლოს უნდა იყოს. აღსანიშნავია, რომ ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების ორგანოზომილებიანი მასივის იმ მიმართულებით (ჰორიზონტალური და ვერტიკალური) გამოთვლილი სხვაობები, საითაც მეტია კორელაცია, უფრო ახლოს აღმოჩნდება ნულთან, რაც იძლევა ელემენტების ეკონომიური კოდირების ეფექტურობის გაუმჯობესების (კომპრესიის ფაქტორის გაზრდის) საშუალებას [53, 54].

აღნიშნულის საილუსტრაციოდ ცხრილში 7 მოყვანილია შერჩეული საცდელი გამოსახულებების (“ლენა”, “ალუბლები” და “ზამთარი”) სამივე შემდგენის შესაბამისი ტრანსფორმანტების კორელაციური პარამეტრების მნიშვნელობები მასივის ორივე მიმართულებით ($K_{\text{ჰ}}$ და $K_{\text{ვ}}$).

ცხრილი 7. ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების მასივის კორელაციის $K_{\text{ჰ}}$ და $K_{\text{ვ}}$ კოეფიციენტების მნიშვნელობები ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მიმართულებებით მცირე, საშუალო და მაღალი დეტალობის საცდელი გამოსახულებების სამივე (Y, C_r და C_b) შემდგენისთვის

გამოსახულებები	Y		C_r		C_b	
	$K_{\text{ჰ}}$	$K_{\text{ვ}}$	$K_{\text{ჰ}}$	$K_{\text{ვ}}$	$K_{\text{ჰ}}$	$K_{\text{ვ}}$
“ლენა”	0,960	<u>0,984</u>	0,981	<u>0,986</u>	0,869	<u>0,948</u>
“ალუბლები”	<u>0,945</u>	0,937	<u>0,946</u>	0,934	<u>0,974</u>	0,966
“ზამთარი”	<u>0,983</u>	0,965	<u>0,989</u>	0,980	<u>3,128</u>	3,466

2.3. ენტროპიული პარამეტრები ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების სხვაობების სხვადასხვა მიმართულებით გამოთვლისას

დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის დაკვანტული ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების მასივის ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მიმართულებით გამოთვლილი სხვაობების ენტროპიის მნიშვნელობები, ანუ ბიტების ის მინიმალური რაოდენობა, რომელიც თეორიულად საკმარისია აღნიშნული სხვაობების მასივის ერთი ელემენტის უდანაკარგო კოდირებისთვის, როგორც ცნობილია, დამოკიდებულია კორელაციის შესაბამისი კოეფიციენტის მნიშვნელობებზე. კერძოდ, ტრანსფორმანტას მთავარი ელემენტების მასივის იმ მიმართულებით, საითაც კორელაციის კოეფიციენტი აღმოჩნდება მეტი, სხვაობითი მნიშვნელობები და, შესაბამისად, მათი ერთობლიობის ენტროპია იქნება მცირე, რაც მოგვცემს კოდირების ეფექტურობის გაუმჯობესების საშუალებას [54].

გამოსახულებათა Y სიკაშკაშისა და ფერსხვაობითი Cr და Cb შემდგენების შესაბამისი გარდასახვის მთავარი დაკვანტული $F(0,0)$ ელემენტების კორელაციის კოეფიციენტები (K_3 და K_9) ტრანსფორმანტების ჰორიზონტალური (ჰ) და ვერტიკალური (ვ) მიმართულებებით და მათი შესაბამისი სხვაობითი მნიშვნელობების ენტროპიები (E_3 და E_9) ექსპერიმენტისათვის შერჩეული საცდელი გამოსახულებებისათვის (სურ. 3) წარმოდგენილია შესაბამისად მე-8 ცხრილში. შევნიშნოთ, რომ ცხრილში ხაზგასმითაა აღნიშნული ტრანსფორმანტების დაკვანტული ელემენტების უდანაკარგო კოდირებისათვის უფრო მისაღები (სასურველი) ვარიანტი კომპრესიის უკეთესი მაჩვენებლის თვალსაზრისით.

მე-8 ცხრილიდან ნათლად ჩანს კორელაციის კოეფიციენტებსა და შესაბამის ენტროპიებს შორის არსებული ზემოთ აღნიშნული დამოკიდებულება. კერძოდ, საცდელი გამოსახულებების “ლენა”, “ბონსე”, “ნაგაზი”, “კროსი” და “პარკი” სიკაშკაშის (შავ-თეთრი) Y შემდგენის შესაბამისი ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების მასივის ვერტიკალური მიმართულებით კორელაციის კოეფიციენტის

მნიშვნელობები K_{Y_3} აღემატება კორელაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობებს (K_{Y_3}) ჰორიზონტალური მიმართულებით. ამიტომ ამ გამოსახულებებისათვის ენტროპია $E_{Y_3} < E_{Y_3}$. დანარჩენი გამოსახულებებისათვის კი პირიქით – $K_{Y_3} > K_{Y_3}$, რის გამოც $E_{Y_3} < E_{Y_3}$. 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. ვინაიდან საცდელი გამოსახულებების ზომაა 256x256, ამიტომ მათი 8x8 ზომის ფრაგმენტებად (ბლოკებად) დაყოფის გამო სიკაშკაშის Y შემდგენისათვის ფრაგმენტების და, შესაბამისად, მთავარი ელემენტების რაოდენობაა 1024, რის გამოც პირველ შემთხვევაში მთავარი კოეფიციენტების მასივის კოდირებისთვის თეორიულად საჭირო იქნება $1024 \times 5,82 = 5980,16$ ბიტი, ხოლო მეორე შემთხვევაში – $1024 \times 4,911 = 5028,864$ ბიტი, ანუ 951,296 ბიტით ნაკლები.

ანალოგიური მსჯელობა და შესაბამისი დასკვნების გაკეთება შესაძლებელია დანარჩენი საცდელი გამოსახულებების როგორც სიკაშკაშის Y, ასევე ფერსხვაობითი Cr და Cb შემდგენების ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების მასივებისთვისაც, ოღონდ ფერსხვაობითი შემდგენებიდან თითოეულისათვის, როგორც ცნობილია (იხ. §1.1), ფრაგმენტების და, შესაბამისად, მთავარი ელემენტების რაოდენობა იქნება 256.

ცხრილი 8. 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

გამოსახულებები	$K_{Y_{\beta}}$	$K_{Y_{\gamma}}$	$E_{Y_{\beta}}$	$E_{Y_{\gamma}}$	$K_{C_r_{\beta}}$	$K_{C_r_{\gamma}}$	$E_{C_r_{\beta}}$	$E_{C_r_{\gamma}}$	$K_{C_b_{\beta}}$	$K_{C_b_{\gamma}}$	$E_{C_b_{\beta}}$	$E_{C_b_{\gamma}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
“ღენა”	0,960	<u>0,984</u>	5,820	<u>4,911</u>	0,981	<u>0,986</u>	3,876	<u>3,463</u>	0,869	<u>0,948</u>	4,273	<u>3,454</u>
“ბიონსე”	0,981	<u>0,990</u>	5,390	<u>5,345</u>	0,950	<u>0,956</u>	3,838	<u>3,697</u>	<u>0,956</u>	0,954	<u>3,743</u>	3,787
“ბუნება”	<u>0,957</u>	0,950	<u>5,181</u>	5,358	<u>0,981</u>	0,938	<u>4,040</u>	4,632	<u>0,988</u>	0,974	<u>3,146</u>	3,595
“ნაგაზი”	0,973	<u>0,979</u>	5,425	<u>4,791</u>	0,962	<u>0,980</u>	2,623	<u>2,195</u>	0,952	<u>0,976</u>	2,887	<u>2,377</u>
“თი-ბი-სი”	<u>0,985</u>	0,978	<u>4,263</u>	4,335	<u>0,987</u>	0,984	<u>1,316</u>	1,450	<u>0,967</u>	0,963	<u>1,316</u>	1,450
“კატა”	<u>0,970</u>	0,956	<u>4,822</u>	5,261	<u>0,951</u>	0,770	<u>3,007</u>	3,279	<u>0,982</u>	0,945	<u>3,311</u>	3,598
“ციხესიმაგრე”	<u>0,994</u>	0,976	<u>3,912</u>	4,110	<u>0,982</u>	0,970	<u>2,037</u>	2,130	<u>0,969</u>	0,953	<u>2,693</u>	2,968
“ბავშვები”	<u>0,986</u>	0,979	<u>5,404</u>	5,410	<u>0,950</u>	0,936	<u>3,479</u>	3,639	0,952	<u>0,964</u>	4,280	<u>4,144</u>
“ალუბლები”	<u>0,945</u>	0,937	<u>5,677</u>	5,788	<u>0,946</u>	0,934	<u>4,632</u>	4,850	<u>0,974</u>	0,966	<u>3,704</u>	3,790
“კროსი”	0,960	<u>0,972</u>	5,687	<u>5,247</u>	0,900	<u>0,972</u>	4,621	<u>3,551</u>	0,912	<u>0,968</u>	4,656	<u>3,709</u>
“ფერმა”	<u>0,968</u>	0,952	<u>5,892</u>	6,183	<u>0,953</u>	0,950	<u>3,197</u>	3,274	0,948	<u>0,958</u>	3,598	<u>3,571</u>
“პარკი”	0,895	<u>0,941</u>	5,713	<u>5,004</u>	0,923	<u>0,957</u>	4,159	<u>3,561</u>	0,913	<u>0,946</u>	4,777	<u>4,191</u>
“კენკრა”	<u>0,974</u>	0,972	<u>5,206</u>	5,259	<u>0,967</u>	0,964	<u>2,719</u>	2,619	0,983	0,984	2,321	<u>2,149</u>
“დაისი”	<u>0,994</u>	0,980	<u>4,022</u>	4,487	<u>0,994</u>	0,977	<u>4,040</u>	4,632	<u>0,986</u>	0,970	<u>3,281</u>	3,884

ცხრილი 8 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
“ზამთარი”	<u>0,983</u>	0,965	<u>4,249</u>	4,576	<u>0,975</u>	0,949	<u>2,583</u>	3,005	<u>0,989</u>	0,980	<u>3,128</u>	3,466
“გარნიტური”	<u>0,989</u>	0,960	<u>4,381</u>	5,210	<u>0,982</u>	0,963	<u>3,246</u>	3,854	<u>0,966</u>	0,980	<u>2,866</u>	3,574
“შროშანი”	<u>0,930</u>	0,913	<u>5,866</u>	5,968	<u>0,863</u>	0,843	<u>4,085</u>	4,219	<u>0,922</u>	0,891	<u>4,905</u>	5,041
“მთები”	<u>0,999</u>	0,995	<u>1,339</u>	2,284	<u>0,991</u>	0,890	<u>1,027</u>	2,344	<u>0,994</u>	0,941	<u>1,174</u>	2,200
“ტბა”	<u>0,998</u>	0,990	<u>3,367</u>	4,220	<u>0,979</u>	0,928	<u>2,711</u>	3,999	<u>0,993</u>	0,972	<u>2,543</u>	3,554
“მაღაზია”	<u>0,984</u>	0,946	<u>4,744</u>	5,784	<u>0,930</u>	0,916	<u>3,328</u>	3,991	<u>0,973</u>	0,962	<u>2,744</u>	3,168
“კარუსელი”	<u>0,990</u>	0,988	<u>3,796</u>	3,883	<u>0,813</u>	0,812	<u>3,372</u>	3,513	<u>0,959</u>	0,957	<u>3,919</u>	4,095
“შემოდგომა”	<u>0,988</u>	0,971	<u>5,068</u>	5,204	<u>0,988</u>	0,953	<u>2,788</u>	2,790	<u>0,985</u>	0,960	<u>3,031</u>	3,098
“კოშკი”	<u>0,979</u>	0,954	<u>4,882</u>	5,991	<u>0,944</u>	0,918	<u>2,403</u>	3,134	<u>0,988</u>	0,954	<u>2,592</u>	3,260
“კოლიზეუმი”	<u>0,957</u>	0,954	<u>5,648</u>	5,659	0,950	<u>0,978</u>	3,731	<u>3,107</u>	0,900	<u>0,963</u>	3,964	<u>3,368</u>
“ტექსტი”	<u>0,995</u>	0,994	<u>3,394</u>	4,682	<u>0,994</u>	0,962	<u>0,495</u>	1,064	<u>0,990</u>	0,942	<u>0,732</u>	1,036
“ფონი”	<u>0,999</u>	0,998	<u>1,727</u>	1,677	<u>0,955</u>	0,951	<u>1,062</u>	1,168	0,995	<u>0,997</u>	1,162	<u>0,680</u>
“ღრუბელი”	<u>0,997</u>	0,996	<u>3,699</u>	4,051	<u>0,935</u>	0,918	<u>2,453</u>	2,823	<u>0,982</u>	0,973	<u>2,802</u>	3,135
“მამადავითი”	<u>0,990</u>	0,988	<u>4,439</u>	4,462	<u>0,936</u>	0,924	<u>2,360</u>	2,573	<u>0,969</u>	0,967	<u>2,896</u>	2,897
“ფუნიკულორი”	<u>0,996</u>	0,986	<u>4,143</u>	4,537	<u>0,984</u>	0,958	<u>1,867</u>	2,386	<u>0,987</u>	0,977	<u>2,541</u>	3,167
“ტელეანძა”	<u>0,997</u>	0,996	<u>3,414</u>	3,421	0,953	<u>0,974</u>	2,369	<u>2,092</u>	0,976	<u>0,987</u>	3,072	<u>2,632</u>

თავი 3. გარდასახვის მთავარი ელემენტების მასივის ადაპტური უდანაკარგო კოდირება

3.1. დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის დაკვანტული მთავარი ელემენტების სხვაობითი მნიშვნელობების ადაპტური კოდირება მათი სტატისტიკური მახასიათებლების საფუძველზე

დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის საფუძველზე კოდირებულ ციფრულ გამოსახულებათა კომპრესიის ეფექტურობის ამაღლება დამატებითი დანაკარგების (აღდგენილ გამოსახულებათა ხარისხობრივი მახვენებლების გაუარესების) გარეშე, როგორც ნაშრომის შესავალ ნაწილშია აღნიშნული, ტელეკომუნიკაციის თეორიისა და ტექნიკის ერთ-ერთ პრობლემურ ამოცანას წარმოადგენს [1, 48].

ცნობილია, რომ დანაკარგების გარეშე ეფექტური კოდირებისას კომპრესია შესაძლებელია განხორციელდეს მხოლოდ დასამუშავებელი მასივის სტატისტიკური სიჭარბის შემცირებით. ძირითადად ადამიანის მხედველობის ფსიქოფიზიოლოგიური სიჭარბის კომპრესიაზე ორიენტირებულ დისკრეტულ კოსინუსურ გარდასახვასთან ერთად უდანაკარგო კოდირების მეთოდის გამოყენებაა რეკომენდირებული უძრავ და მოძრავ გამოსახულებათა კოდირების JPEG და MPEG სტანდარტებში [1, 8, 10, 14].

აღნიშნული სტანდარტების საფუძველზე ფერად ციფრულ გამოსახულებათა სიკაშკაშის Y და ფერსხვაობითი Cr და Cb შემდგენების კომპრესია ხდება შესაბამისი ორგანზომილებიანი 8x8 ზომის ფრაგმენტების დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის საფუძველზე გარდაქმნისა და მიღებული ტრანსფორმანტების დაკვანტვის შედეგად ამ მიზნით სპეციალურად შერჩეული დაკვანტვის 8x8 ზომის მატრიცების გამოყენებით. შედეგად ფორმირებული ტრანსფორმანტების ელემენტების უმრავლესობა აღმოჩნდება ნულის ტოლი ან ძალიან მცირე, რაც იძლევა მათი შედარებით მცირე რაოდენობის ბიტებით წარმოდგენის საშუალებას [1, 14].

აღნიშნული სტანდარტები ითვალისწინებენ, აგრეთვე, ტრანსფორმანტების ელემენტების უდანაკარგო კოდირებას ჰაფმანის ცხრილების გამოყენებით, რაც უზრუნველყოფს გარდასახვის დაკვანტული ტრანსფორმანტების შემდგომ კომპრესიას დანაკარგების გარეშე [14].

დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის (ისევე როგორც ნებისმიერი წრფივი გარდასახვის) შედეგად ფორმირებულ 8×8 ზომის ტრანსფორმანტებში ძირითადია ელემენტები, რომელთა კოორდინატებია $(0,0)$, ვინაიდან მათი მნიშვნელობები, როგორც წესი, გაცილებით აღემატება დანარჩენი კოეფიციენტების მნიშვნელობებს, რის გამოც სწორედ ისინი შეიცავენ მნიშვნელოვან ინფორმაციას გამოსახულების ფრაგმენტის შესახებ. ამის გამო მათ მთავარ კოეფიციენტებს ეწოდებათ.

მაშასადამე, ციფრულ გამოსახულებათა სიკაშკაშის Y და ფერსხვაობითი C_r და C_b შემდგენების ზემოაღნიშნული რეკომენდაციებით კოდირების უდანაკარგო კომპრესიის ეტაპზე ცალკე ხდება მთავარი ელემენტების მასივის კოდირება და ცალკე – არამთავარი ელემენტების მასივისა. იმავედროულად, მთავარი ელემენტების ენტროპიული კოდირებისას, ხდება არა უშუალოდ მათი კოდირება, არამედ ტრანსფორმანტას ჰორიზონტალური (ჰ) მიმართულებით გამოთვლილი მათი სხვაობითი მნიშვნელობებისა, ვინაიდან რეალური გამოსახულებებისათვის მთავარ ელემენტებს შორის შენარჩუნებულია ძლიერი კორელაცია, რის გამოც ეგრეთ წოდებული სხვაობების მასივის ელემენტების მნიშვნელობები გაცილებით ნაკლებია თვით მთავარი ელემენტების მნიშვნელობებთან შედარებით. სანიმუშოდ მე-9 და მე-10 ცხრილებში წარმოდგენილია 256×256 ზომის ტესტური გამოსახულების “ლენა” (სურ. 3ა) სიკაშკაშის Y შემდგენის შესაბამისი ციფრული მონაცემების ზედა მარცხენა არეში არსებული 8×8 ზომის 256 ფრაგმენტის (მთლიანი გამოსახულების ზედა მარცხენა მეოთხედი) შესაბამისი დაკვანტული ტრანსფორმანტების მთავარი FY_a ელემენტების ერთობლიობა და მისი ჰორიზონტალური მიმართულებით გამოთვლილი ელემენტების სხვაობითი $FY_{სხვ}$ მნიშვნელობების მასივი. უნდა აღინიშნოს, რომ მასივის პირველ სვეტში სხვაობები გამოთვლილია

მთავარი კოეფიციენტების FY_a მასივის ვერტიკალური მიმართულებით. ცხრილებიდან ნათლად ჩანს ზემოაღნიშნული მსჯელობის მართებულობა. ცხადია, რომ მიმღებში ეგრეთ წოდებული საყრდენი $FY_{სხგ(0,0)}$ კოეფიციენტისა (განხილულ შემთხვევაში ის 79-ის ტოლია) და დანარჩენი სხვაობითი მნიშვნელობების საშუალებით შესაძლებელია FY_a მასივის აღდგენა შესაბამისი შეკრების ოპერაციების განხორციელებით.

ცხრილი 9. დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის დაკვანტული ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების მნიშვნელობები ტესტური გამოსახულების “ლენა” სიკაშკაშის Y შემდგენისათვის

79	77	82	74	49	53	55	62	65	65	67	66	66	65	65	66
79	79	82	72	48	53	54	61	64	65	65	65	65	64	64	66
80	82	80	71	47	52	54	60	63	64	64	64	64	64	65	63
82	69	81	72	45	51	55	60	62	64	66	65	71	80	88	90
76	53	82	71	42	50	53	58	61	63	58	63	67	74	87	93
54	52	82	70	43	50	52	58	61	57	58	61	68	71	85	92
45	52	81	71	43	50	52	58	60	56	59	66	69	68	87	97
46	52	81	71	41	49	52	61	61	56	62	65	66	84	90	95
50	54	82	73	43	50	52	69	56	55	60	64	76	84	89	88
49	55	83	75	43	50	51	74	65	54	62	70	73	79	84	86
48	56	83	75	43	49	49	76	77	58	65	68	70	74	72	75
50	58	84	76	42	49	49	74	79	61	65	65	66	60	42	54
53	56	84	77	42	49	49	59	91	63	62	63	49	35	31	36
52	53	84	77	41	49	51	54	87	59	62	44	33	33	31	39
51	52	84	78	43	51	53	58	67	61	41	28	28	33	38	80
51	52	84	78	43	51	52	63	53	50	37	28	27	32	73	86

როგორც ნაშრომის მე-2 თავშია ნაჩვენები, ტრანსფორმანტები ანუ გარდასახვის სივრცეები და მათი მთავარი ელემენტებისაგან შექმნილი FY_a მასივი ორგანზომილებიანია, რის გამოც სხვაობითი მნიშვნელობები, იმის და მიხედვით, თუ როგორია აღნიშნული მასივის კორელაციის კოეფიციენტი ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მიმართულებით, შეიძლება გამოვითვალოთ არა მარტო

ჰორიზონტალური, არამედ ვერტიკალური მიმართულებითაც და შესაბამისი $FY_{სხვ}$ მასივის უდანაკარგო კოდირების პროცესში გამოვიყენოთ ის ვარიანტი, რომელიც უკეთეს შედეგს იძლევა სხვაობითი მნიშვნელობების მასივის ენტროპიის სიმცირის თვალსაზრისით. უფრო მცირე ენტროპიის შემთხვევაში კი შესაძლებელი ხდება კომპრესიის უფრო მეტი ფაქტორის მიღწევა (ეკონომიური უდანაკარგო კოდირების ეფექტურობის გაზრდა). სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, ტრანსფორმანტების მთავარი კოეფიციენტებისა და მათი სხვაობითი მნიშვნელობების სტატისტიკური მახასიათებლების (კორელაციის კოეფიციენტი და ენტროპია) შესაძლებელია მათი ადაპტური უდანაკარგო კოდირების რეალიზაცია [55].

ცხრილი 10. დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის დაკვანტული ტრანსფორმანტების მთავარი კოეფიციენტების მასივის ჰორიზონტალური მიმართულებით გამოთვლილი სხვაობითი მნიშვნელობები ტესტური გამოსახულების “ღენა” სიკაშკაშის Y შემდგენისათვის

79	2	-5	8	25	-4	-2	-7	-3	0	-2	1	0	1	0	-1
0	0	-3	10	24	-5	-1	-7	-3	-1	0	0	0	1	0	-2
-1	-2	2	9	24	-5	-2	-6	-3	-1	0	0	0	0	-1	2
-2	13	-12	9	27	-6	-4	-5	-2	-2	-2	1	-6	-9	-8	-2
6	23	-29	11	29	-8	-3	-5	-3	-2	5	-5	-4	-7	-13	-6
22	2	-30	12	27	-7	-2	-6	-3	4	-1	-3	-7	-3	-14	-7
9	-7	-29	10	28	-7	-2	-6	-2	4	-3	-7	-3	1	-19	-10
-1	-6	-29	10	30	-8	-3	-9	0	5	-6	-3	-1	-18	-6	-5
-4	-4	-28	9	30	-7	-2	-17	13	1	-5	-4	-12	-8	-5	1
1	-6	-28	8	32	-7	-1	-23	9	11	-8	-8	-3	-6	-5	-2
1	-8	-27	8	32	-6	0	-27	-1	19	-7	-3	-2	-4	2	-3
-2	-8	-26	8	34	-7	0	-25	-5	18	-4	0	-1	6	18	-12
-3	-3	-28	7	35	-7	0	-10	-32	28	1	-1	14	14	4	-5
1	-1	-31	7	36	-8	-2	-3	-33	28	-3	18	11	0	2	-8
1	-1	-32	6	35	-8	-2	-5	-9	6	20	13	0	-5	-5	-42
0	-1	-32	6	35	-8	-1	-11	10	3	13	9	1	-5	-41	-13

მე-11 ცხრილში ნაჩვენებია გამოსახულების “ლენა” სიკაშკაშის Y შემდგენის 256 ფრაგმენტის შესაბამისი დაკვანტული ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტებისაგან შედგენილი მასივის ვერტიკალური მიმართულებით გამოთვლილი სხვაობების მონაცემები, რომლის ელემენტები, გარდა პირველი სტრიქონისა და პირველი სვეტისა, განსხვავებულია მე-10 ცხრილში წარმოდგენილი მასივის შესაბამისი ელემენტებისაგან, რის გამოც განსხვავებულია მათი ენტროპიებიც (იხ. ცხრილი 8). ეს გარემოება იძლევა აღნიშნული სხვაობითი მასივების განსხვავებული რაოდენობის ბიტებით უდანაკარგო (ენტროპიული) კოდირების საშუალებას. მე-11 ცხრილის პირველ სტრიქონში მოყვანილია კორიზონტალური მიმართულებით გამოთვლილი სხვაობების მნიშვნელობები.

ცხრილი 11. დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის დაკვანტული ტრანსფორმანტების მთავარი კოეფიციენტების მასივის ვერტიკალური მიმართულებით გამოთვლილი სხვაობითი მნიშვნელობები ტესტური გამოსახულების “ლენა” სიკაშკაშის Y შემდგენისათვის

79	2	-5	8	25	-4	-2	-7	-3	0	-2	1	0	1	0	-1
0	-2	0	2	1	0	1	1	1	0	2	1	1	1	1	0
-1	-3	2	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	-1	3
-2	13	-1	-1	2	1	-1	0	1	0	-2	-1	-7	-16	-23	-27
6	16	-1	1	3	1	2	2	1	1	8	2	4	6	1	-3
22	1	0	1	-1	0	1	0	0	6	0	2	-1	3	2	1
9	0	1	-1	0	0	0	0	1	1	-1	-5	-1	3	-2	-5
-1	0	0	0	2	1	0	-3	-1	0	-3	1	3	-16	-3	2
-4	-2	-1	-2	-2	-1	0	-8	5	1	2	1	-10	0	1	7
1	-1	-1	-2	0	0	1	-5	-9	1	-2	-6	3	5	5	2
1	-1	0	0	0	1	2	-2	-12	-4	-3	2	3	5	12	11
-2	-2	-1	-1	1	0	0	2	-2	-3	0	3	4	14	30	21
-3	2	0	-1	0	0	0	15	-12	-2	3	2	17	25	11	18
1	3	0	0	1	0	-2	5	4	4	0	19	16	2	0	-3
1	1	0	-1	-2	-2	-2	-4	20	-2	21	16	5	0	-7	-41
0	0	0	0	0	0	1	-5	14	11	4	0	1	1	-35	-6

3.2. სტატისტიკური მახასიათებლების საფუძველზე ადაპტური კოდირების ეფექტურობის შეფასება

ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების მასივის ადაპტური უდანაკარგო კოდირების ეფექტურობა შეიძლება დავადგინოთ FY_g მასივის ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მიმართულებით გამოთვლილი კორელაციის K_3 და K_g კოეფიციენტებისა და შესაბამისი სხვაობითი მასივების E_3 და E_g ენტროპიების შეფასებით. ვინაიდან კორელაციასა და ენტროპიას შორის უკუპროპორციული დამოკიდებულებაა, ამიტომ ცხადია, რომ თუ FY_g მასივის კორელაციის კოეფიციენტი ჰორიზონტალური მიმართულებით K_3 მეტი აღმოჩნდება ვერტიკალური მიმართულებით გამოთვლილ კორელაციის K_g კოეფიციენტთან შედარებით, მაშინ ენტროპია E_3 უფრო ნაკლები იქნება E_g -თან შედარებით და, შედეგად, უფრო მაღალი აღმოჩნდება უდანაკარგო კოდირების ეფექტურობა ჰორიზონტალური მიმართულებით გამოთვლილი სხვაობების კოდირებისას.

256x256 ზომის საცდელი ფერადი გამოსახულებების (სურ. 3) სიკაშკაშის Y და ფერსხვაობითი C_r და C_b ციფრული სიგნალების შესაბამისი ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების ადაპტური ენტროპიული კოდირების ეფექტურობის შეფასების მიზნით მოდელირების საშუალებით დადგენილი იქნა აღნიშნული კოეფიციენტების ორგანოზომილებიანი მასივის ორივე მიმართულებით კორელაციის K_3 და K_g კოეფიციენტებისა და შესაბამისი სხვაობითი მნიშვნელობების E_3 და E_g ენტროპიები. შესაბამისი გამოთვლის შედეგები (K_{Y_3} , K_{C_r3} , K_{C_b3} , K_{Y_g} , K_{C_rg} , K_{C_bg} , E_{Y_3} , E_{C_r3} , E_{C_b3} , E_{Y_g} , E_{C_rg} , E_{C_bg}) მე-3 სურათზე მოყვანილი სხვადასხვა კლასის საცდელი ფერადი გამოსახულებებისათვის წარმოდგენილია მე-8 ცხრილში.

საცდელი გამოსახულებების სამივე (Y , C_r და C_b) შემდგენის 8x8 ზომის ფრაგმენტების დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის, შესაბამისი ტრანსფორმანტების დაკვანტვისა და დაკვანტული ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების ჰაფმანის მეთოდით ენტროპიული კოდირების შედეგად დადგენილი საჭირო ბიტების

რაოდენობის (m_{1Y_3} , m_{1Y_6} , m_{1Cr_3} , m_{1Cr_6} , m_{1Cb_3} , m_{1Cb_6}) მონაცემები ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების სხვაობითი მნიშვნელობების გამოთვლის ორივე (ჰორიზონტალური და ვერტიკალური) ვარიანტისათვის და უკეთესი და უარესი ვარიანტის შესაბამისი ჯამური სიმბოლოების m_1 და m_2 რაოდენობები სრული სიგნალისათვის წარმოდგენილია მე-12 ცხრილში (ცხრილში უკეთესი ვარიანტების მონაცემები ხაზგასმითაა აღნიშნული).

აღსანიშნავია ის გარემოება, რომ მთავარი კოეფიციენტების კომპრესიის წარმოდგენილი მეთოდი შეიძლება გამოყენებული იყოს იმ შემთხვევაშიც, როდესაც გარდასახვის დაკვანტული კოეფიციენტების უდანაკარგო კომპრესია ხდება ეგრეთ წოდებული არითმეტიკული კოდირებით [1, 14].

ცხრილი 12. ფერად ტესტურ გამოსახულებათა სიკაშკაშის Y და ფერსხვაობითი C_r და C_b შემდგენების მთავარი ელემენტების სხვაობების ადაპტური კოდირებისათვის საჭირო ბიტების რაოდენობები და მათი ჯამური მნიშვნელობები

გამოსახულებები	საჭირო ბიტების რაოდენობები							
	m_{1Y_3} ბიტი	m_{1Y_6} ბიტი	m_{1Cr_3} ბიტი	m_{1Cr_6} ბიტი	m_{1Cb_3} ბიტი	m_{1Cb_6} ბიტი	m_1 ბიტი	m_2 ბიტი
1	2	3	4	5	6	7	8	9
“ლენა”	7726	<u>5922</u>	1198	<u>1024</u>	1352	<u>1008</u>	<u>7954</u>	10276
“ბონსე”	6832	<u>6650</u>	1134	<u>1076</u>	1152	<u>1150</u>	<u>8876</u>	9116
ბუნება”	<u>6558</u>	6954	<u>808</u>	942	<u>892</u>	1080	<u>8258</u>	8976
“ნაგაზი”	6864	<u>5702</u>	780	<u>636</u>	868	<u>684</u>	<u>7022</u>	8328
“თი-ბი-სი”	<u>4796</u>	5086	<u>366</u>	382	<u>422</u>	458	<u>5584</u>	5926
“კატა”	<u>5730</u>	6416	<u>820</u>	958	<u>926</u>	1042	<u>7476</u>	8416
“ციხესიმაგრე”	<u>4528</u>	4948	<u>578</u>	588	<u>750</u>	830	<u>5856</u>	6366
“ბავშვები”	<u>7012</u>	7320	<u>1004</u>	1082	1296	<u>1264</u>	<u>9280</u>	9698
“აღუბლები”	<u>7418</u>	7756	<u>1536</u>	1604	1160	<u>1148</u>	<u>10102</u>	10520
“კროსი”	7534	<u>6764</u>	1486	<u>1070</u>	1480	<u>1130</u>	<u>8964</u>	10500
“ფერმა”	<u>7874</u>	8406	<u>932</u>	970	<u>1070</u>	1084	<u>9870</u>	10446
“პარკი”	7338	<u>5930</u>	1274	<u>1034</u>	1572	<u>1226</u>	<u>8190</u>	10184
“კენკრა”	<u>6908</u>	7050	768	<u>730</u>	646	<u>596</u>	<u>8234</u>	8464

ცხრილი 12 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
“დაისი”	<u>4770</u>	5506	<u>1266</u>	1570	<u>980</u>	1282	<u>7016</u>	8358
“ზამთარი”	<u>5092</u>	5730	<u>742</u>	868	<u>934</u>	1044	<u>6768</u>	7642
“გარნიტური”	<u>5044</u>	6448	<u>930</u>	1234	<u>804</u>	1102	<u>6778</u>	8784
“შროშანი”	<u>7988</u>	8190	<u>1246</u>	1316	<u>1682</u>	1782	<u>10916</u>	11288
“მთები”	<u>1750</u>	3552	<u>374</u>	910	<u>398</u>	932	<u>2522</u>	5394
“ტბა”	<u>2122</u>	3789	<u>742</u>	1240	<u>700</u>	1062	<u>3564</u>	6091
“მაღაზია”	<u>5700</u>	6620	<u>914</u>	1200	<u>764</u>	934	<u>7378</u>	8754
“კარუსელი”	<u>4468</u>	4814	<u>956</u>	1030	<u>1146</u>	1232	<u>6570</u>	7076
“შემოდგომა”	<u>6682</u>	6716	<u>810</u>	918	<u>924</u>	1030	<u>8416</u>	8664
“კოშკი”	<u>5958</u>	6831	<u>698</u>	932	<u>736</u>	968	<u>7392</u>	8731
“კოლიზეუმი”	<u>7490</u>	7636	1092	<u>872</u>	1192	<u>952</u>	<u>9314</u>	9920
“ტექსტი”	<u>3806</u>	6326	<u>330</u>	422	<u>332</u>	426	<u>4468</u>	7174
“ფონი”	<u>2096</u>	2532	<u>384</u>	404	<u>402</u>	408	<u>2882</u>	3344
“ღრუბელი”	<u>4140</u>	4648	<u>700</u>	788	<u>786</u>	812	<u>5626</u>	6248
“მამადავითი”	<u>5560</u>	5634	<u>690</u>	738	<u>846</u>	882	<u>7096</u>	7254
“ფუნიკულორი”	<u>4696</u>	5336	<u>540</u>	674	<u>732</u>	954	<u>5968</u>	6964
“ტელეანბა”	<u>3680</u>	3750	650	<u>592</u>	842	<u>746</u>	<u>5018</u>	5242

მე-12 ცხრილის მონაცემების საფუძველზე შეიძლება დავადგინოთ, რომ ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების სხვაობების ჰორიზონტალური მიმართულებით გამოთვლის არსებულ მეთოდთან შედარებით კომპრესიის თვალსაზრისით უკეთესი შედეგები მიიღწევა საცდელი გამოსახულებების შემდეგი შემდგენებისათვის: გამოსახულებების “ლენა”, “ბიონსე”, “ნაგაზი”, “კროსი” და “პარკი” – როგორც სიკაშკაშის Y , ასევე ფერსხვაობითი C_r და C_b შემდგენებისათვის; გამოსახულებების “კენკრა”, “კოლიზეუმი” და “ტელეანბა” – მხოლოდ ფერსხვაობითი C_r და C_b შემდგენებისათვის; გამოსახულებების “ბავშვები” და “აღუბლები” – მხოლოდ C_b შემდგენისათვის. სხვა შემთხვევებში კი უფრო ეფექტური აღმოჩნდა

მთავარი ელემენტების მასივის ჰორიზონტალური მიმართულებით სხვაობების გამოთვლის არსებული ვარიანტი.

იმისათვის, რომ გამოვითვალოთ გამოსახულებათა სიგნალის შემდგენებისა და მთლიანად სრული სიგნალის კოდირებისათვის საკმარისი სიმბოლოების (ბიტების) რაოდენობა, საჭიროა ტრანსფორმანტების არამთავარი ელემენტების უდანაკარგო კოდირებისათვის საჭირო ბიტების რაოდენობის ცოდნა, რომელთა მონაცემები საცდელი გამოსახულებებისათვის მოყვანილია მე-13 ცხრილში.

ცხრილი 13. ფერად ტესტურ გამოსახულებათა სიკაშკაშის Y და ფერსხვაობითი C_r და C_b შემდგენების არამთავარი ელემენტების კოდირებისათვის საჭირო ბიტების რაოდენობები (m_{2Y} , m_{2Cr} და m_{2Cb}) და მათი ჯამური მნიშვნელობები (M_{sra})

გამოსახულებები	საჭირო ბიტების რაოდენობები			
	m_{2Y} , ბიტი	m_{2Cr} , ბიტი	m_{2Cb} , ბიტი	M_{sra} , ბიტი
1	2	3	4	5
“ლენა”	48045	2910	2971	53926
“ბიონსე”	45836	2912	3445	52193
ბუნება”	63134	1948	2268	67350
“ნაგაზი”	45981	1435	1730	49146
“თი-ბი-სი”	40222	854	899	41975
“კატა”	56013	2210	2776	60989
“ციხესიმაგრე”	58388	1313	2784	62485
“ბავშვები”	75761	3127	4415	83303
“ალუბლები”	57266	5988	4014	67268
“კროსი”	86754	4435	4662	95851
“ფერმა”	68772	2491	2891	74154
“პარკი”	54742	4166	7302	66210
“კენკრა”	97783	3932	2575	104290
“დაისი”	24824	4237	2395	31456
“ხამთარი”	61471	2275	3352	67098
“გარნიტური”	39337	2652	2295	44284

ცხრილი 13 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5
“შროშანი”	72965	4214	7628	84807
“მთები”	15061	1281	1229	17571
“ტბა”	33860	2477	2408	38745
“მაღაზია”	62679	4138	2623	69440
“კარუსელი”	44854	3933	6806	55593
“შემოდგომა”	96404	2308	3074	101786
“კოშკი”	72000	1953	2043	75996
“კოლიზეუმი”	72071	2268	2847	77186
“ტექსტი”	35678	1636	1627	38941
“ფონი”	6211	780	778	7769
“ღრუბელი”	18380	1376	1519	21275
“მამადავითი”	37766	1357	1803	40926
“ფუნიკულორი”	35073	1218	1949	38240
“ტელეანძა”	20183	1308	1630	23121

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების სხვაობითი მნიშვნელობების მასივის ადაპტური უდნაკარგო კოდირების რეალიზაციის შედეგად მიღწეული მოგებული ბიტების რაოდენობები Δm და კომპრესიის ფაქტორი F უნდა შევაფასოთ იმ გამოსახულებებისათვის, რომლებსთვისაც კომპრესიის უკეთესი მაჩვენებლები მიიღწევა ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების სხვაობების ვერტიკალური მიმართულებით გამოთვლისას, ანუ გამოსახულებებისათვის “ლენა”, “ბიონსე”, “ნაგაზი”, “ბავშვები”, “ალუბლები”, “კროსი”, “პარკი”, “კენკრა”, “კოლიზეუმი” და “ტელეანძა”, რომელთა მონაცემები წარმოდგენილია მე-13 ცხრილში. განხილულ შემთხვევაში კომპრესიის F ფაქტორით ფასდება ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების სხვაობითი მნიშვნელობების კომპრესიის არსებულ ვარიანტთან შედარებით შემოთავაზებული ადაპტური კოდირებისას მიღწეული დამატებითი კომპრესიის ეფექტი. ამიტომ:

$$F = m_2 / m_1, \quad (7)$$

სადაც m_2 ბიტების ის რაოდენობაა, რომელიც იხარჯება ტრანსფორმანტების მთავარი კოეფიციენტების ეკონომიური კოდირების (კომპრესიის) უარესი ვარიანტის შემთხვევაში, ხოლო m_1 – ბიტების ის რაოდენობაა, რომელიც საკმარისია კომპრესიის უკეთესი ვარიანტის გამოყენების შემთხვევაში. უნდა აღინიშნოს ის გარემოება, რომ კომპრესიის F ფაქტორის განსაზღვრისას მხედველობაშია მიღებული ადაპტური კოდირების პროცესში სხვაობების გამოთვლის ვარიანტის შესახებ 1 საინფორმაციო ბიტის დამატება ფერადი გამოსახულების თითოეული შემდგენისათვის (სულ 3 ბიტი).

მე-14 ცხრილში მოყვანილია Δm -სა და F -ია მონაცემები ზემოთ აღნიშნული მსჯელობის გათვალისწინებით.

ცხრილი 14. ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების მასივის ადაპტური უდანაკარგო კოდირების ეფექტურობა

გამოსახულებები	Δm , ბიტი	F	გამოსახულებები	Δm , ბიტი	F
“ლენა”	2319	1,29	“კროსი”	1533	1,17
“ბიონსე”	235	1,03	“პარკი”	1991	1,24
“ნაგაზი”	1119	1,16	“კენკრა”	227	1,03
“ბავშვები”	421	1,05	“კოლიზუმი”	603	1,06
“ალუბლები”	409	1,04	“ტელეანბა”	221	1,04

როგორც აღნიშნული ცხრილიდან ჩანს, ადაპტური კოდირების შემოთავაზებული მეთოდის საფუძველზე კოდირებული საცდელი გამოსახულებებიდან კომპრესიის თვალსაზრისით შედარებით მნიშვნელოვანი ეფექტი მიიღწევა გამოსახულებებისათვის “ლენა”, “ნაგაზი”, “კროსი” და “პარკი”. კერძოდ, ამ გამოსახულებებისათვის ადაპტური კოდირების შემოთავაზებული მეთოდის შედეგად მოგებულ ბიტების რაოდენობებია შესაბამისად 2319, 119, 1533 და 1991, რაც ადასტურებს კოდირების პროცესისადმი ადაპტური მიდგომის მიზანშეწონილობას.

საინტერესოა იმის დადგენაც, თუ რამდენად ეფექტურად (მთავარი ელემენტების სხვაობების ენტროპიასთან მიახლოების თვალსაზრისით) ხორციელდება კომპრესია წარმოდგენილი ადაპტური კოდირების

შემთხვევაში. ამ მიზნით უდანაკარგო კოდირების ორივე ვარიანტისათვის და გამოსახულებების თითოეული შემდგენისათვის გამოთვლილი იქნა ტრანსფორმანტას ერთ მთავარ ელემენტზე გათვლილი ბიტების რაოდენობა $m_{საშ.}$. შესაბამისი გამოთვლებისას მხედველობაშია მიღებული ის გარემოება, რომ 256×256 ზომის გამოსახულებების სიკაშკაშის Y შემდგენს შეესაბამება $32 \times 32 = 1024$, ხოლო ფერსხვაობითი C_r და C_b შემდგენებიდან თითოეულს – $16 \times 16 = 256$ მთავარი ელემენტი. ფერსხვაობითი შემდგენების შესაბამისი მთავარი ელემენტების აღნიშნული რაოდენობა განპირობებულია გამოსახულების ამ შემდგენების პიქსელების შემცირებული რაოდენობით, რაც გამოსახულებათა კოდირების JPEG და MPEG სტანდარტებითაა დადგენილი. აღნიშნული სტანდარტების მიხედვით ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების სხვაობითი მნიშვნელობების უდანაკარგო კოდირებისათვის გამოიყენება ჰაფმანის უნარული კოდების ცხრილი (ცხრილი 15), სადაც R და C ცხრილის სტრიქონისა და სვეტის ნომრებია [14].

ცხრილი 15. ჰაფმანის უნარული კოდების განსაზღვრა

R	C										უნარული კოდები
0:	0										0
1:	-1	1									10
2:	-3	-2	2	3							110
3:	-7	-6	-5	-4	4	5	6	7			1110
4:	-15	-14	...	-9	-8	8	9	10	...	15	11110
5:	-31	-30	-29	...	-17	-16	16	17	...	31	111110
6:	-63	-62	-61	...	-33	-32	32	33	...	63	1111110
7:	-127	-126	-125	...	-65	-64	64	65	...	127	11111110
8:	-255	-254	-253	...	-129	-128	128	129	...	255	111111110

მე-16 ცხრილში საცდელი ფერადი გამოსახულებებისათვის წარმოდგენილია $m_{საშ.}$ -ს და მასსა და შესაბამის ენტროპიას შორის (იხ. ცხრილი 8) $\Delta m_{საშ.}$ სხვაობების მონაცემები თითოეული შემდგენისათვის. ცხრილის მონაცემების საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ

ადაპტური უდანაკარგო კოდირების შედეგად იზრდება კოდირების ეფექტურობა, ვინაიდან უფრო მეტად ხდება ენტროპიასთან მიახლოვება (ცხრილის ხაზგასმული მონაცემები), 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; “გარნიტურე” – 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.

აღსანიშნავია საცდელი ფერადი გამოსახულებების ფერსხვაობითი C_r და C_b შემდგენებისათვის აღნიშნული სხვაობების შედარებით მცირე მნიშვნელობები სიკაშკაშის Y შემდგენთან შედარებით.

მე-17 ცხრილში ნაჩვენებია საცდელი გამოსახულებების Y, Cr და Cb შემდგენების კომპრესიის შედეგად მიღებული საკმარისი ბიტების რაოდენობები M_{13} და M_{13} მთავარი ელემენტების სხვაობების გამოთვლის ორივე შემთხვევისათვის და შესაბამისი კომპრესიის ფაქტორის მონაცემები F_3 და F_3 . ამ შემთხვევაში კომპრესიის ფაქტორი განისაზღვრება პირველადი გამოსახულების ანათვლების კოდირებისათვის გამოყენებული ბიტების M რაოდენობისა და კომპრესიის შედეგად შესაბამისი მასივის კოდირებისათვის საკმარისი ბიტების M_1 რაოდენობის ფარდობით.

$$F_1=M/M_1 \quad (8)$$

ცხრილი 16. ადაპტური უდანაკარგო კოდირების ეფექტურობის შედარება ენტროპიულ მასხისათებლებთან

გამოსახულებები	Y				C _r				C _b			
	m _{Yჰსაშ} ბიტი	m _{Yგსაშ} ბიტი	Δm _{Yჰსაშ} იტი	Δm _{Yგსაშ} იტი	m _{C_rჰსაშ} ბიტი	m _{C_rგსაშ} ბიტი	Δm _{C_rჰსაშ} ბიტი	Δm _{C_rგსაშ} ბიტი	m _{C_bჰსაშ} ბიტი	m _{C_bგსაშ} ბიტი	Δm _{C_bჰსაშ} ბიტი	Δm _{C_bგსაშ} ბიტი
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
“ღენა”	7,546	<u>5,784</u>	1,726	<u>0,873</u>	4,684	<u>4,004</u>	0,808	<u>0,541</u>	5,285	<u>3,941</u>	1,012	<u>0,487</u>
“ბიონსე”	6,673	<u>6,495</u>	1,283	<u>1,150</u>	4,434	<u>4,207</u>	0,596	<u>0,510</u>	<u>4,504</u>	4,496	<u>0,761</u>	0,709
“ბუნება”	<u>6,405</u>	6,792	<u>1,224</u>	1,434	<u>3,160</u>	3,684	<u>0,360</u>	0,475	<u>3,488</u>	4,223	<u>0,342</u>	0,628
“ნაგაზი”	6,704	<u>5,570</u>	1,279	<u>0,779</u>	3,051	<u>2,288</u>	0,428	<u>0,293</u>	3,387	<u>2,276</u>	0,500	<u>0,299</u>
“თი-ბი-სი”	<u>4,684</u>	4,968	<u>0,421</u>	0,633	<u>1,434</u>	1,496	<u>0,118</u>	0,046	<u>1,652</u>	1,793	<u>0,336</u>	0,343
“კატა”	<u>5,600</u>	6,267	<u>0,778</u>	1,006	<u>3,207</u>	3,746	<u>0,200</u>	0,467	<u>3,621</u>	4,074	<u>0,310</u>	0,476
“ციხესიმაგრე”	<u>4,423</u>	4,833	<u>0,511</u>	0,723	<u>2,262</u>	2,301	<u>0,225</u>	0,171	<u>2,934</u>	3,246	<u>0,241</u>	0,278
“ბაეშეები”	<u>6,849</u>	7,149	<u>1,445</u>	1,739	<u>3,926</u>	4,231	<u>0,447</u>	0,592	5,066	<u>4,941</u>	0,786	<u>0,797</u>
“ალუბლები”	<u>7,245</u>	7,574	<u>1,568</u>	1,786	<u>6,004</u>	6,270	<u>1,372</u>	1,420	4,536	<u>4,488</u>	0,832	<u>0,698</u>
“კროსი”	7,358	<u>6,606</u>	1,671	<u>1,359</u>	5,809	<u>4,184</u>	1,188	<u>0,633</u>	5,785	<u>4,418</u>	1,129	<u>0,709</u>
“ფერმა”	<u>7,690</u>	8,209	<u>1,798</u>	2,026	<u>3,645</u>	3,793	<u>0,448</u>	0,519	4,184	<u>4,238</u>	0,586	<u>0,667</u>
“პარკი”	7,167	<u>5,792</u>	1,454	<u>0,788</u>	4,988	<u>4,043</u>	0,829	<u>0,482</u>	6,145	<u>4,793</u>	1,368	<u>0,602</u>
“კენკრა”	<u>6,747</u>	6,886	<u>1,541</u>	1,627	3,004	<u>2,856</u>	0,285	<u>0,237</u>	2,527	<u>2,332</u>	0,206	<u>0,183</u>
“დაისი”	<u>4,659</u>	5,378	<u>0,637</u>	0,891	<u>4,949</u>	6,137	<u>0,909</u>	1,505	<u>3,832</u>	5,012	<u>0,551</u>	1,128

ცხრილი 16 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
“ზამთარი”	<u>4.974</u>	5,597	<u>0.725</u>	1,021	<u>2.902</u>	3,395	<u>0.319</u>	0,390	<u>3.652</u>	4,082	<u>0.524</u>	0,616
“გარნიტუნი”	<u>4.927</u>	6,298	<u>0.546</u>	1,088	<u>3.637</u>	4,824	<u>0.391</u>	0,970	<u>3.145</u>	4,309	<u>0.279</u>	0,735
“შროშანი”	<u>7.802</u>	7,999	<u>1.936</u>	2,031	<u>4.871</u>	5,145	<u>0.786</u>	0,926	<u>6.574</u>	6,965	<u>1.669</u>	1,924
“მთები”	<u>1.710</u>	3,470	<u>0.371</u>	1,186	<u>1.465</u>	3,559	<u>0.438</u>	1,215	<u>1.559</u>	3,645	<u>0.385</u>	1,445
“ტბა”	<u>3.581</u>	4,890	<u>0.214</u>	0,670	<u>2.902</u>	4,848	<u>0.209</u>	0,849	<u>2.738</u>	4,152	<u>0.195</u>	0,598
“მაღაზია”	<u>5.567</u>	6,466	0,823	<u>0.682</u>	<u>3.574</u>	4,691	<u>0.246</u>	0,700	<u>2.988</u>	3,652	<u>0.244</u>	0,484
“კარუსელი”	<u>4.364</u>	4,702	<u>0.568</u>	0,819	<u>3.738</u>	4,027	<u>0.366</u>	0,514	<u>4.481</u>	4,816	<u>0.562</u>	0,721
“შემოდგომა”	<u>6.526</u>	6,560	1,458	<u>1.356</u>	<u>3.168</u>	3,590	<u>0.380</u>	0,800	<u>3.613</u>	4,027	<u>0.582</u>	0,929
“კოშკი”	<u>5.819</u>	6,672	0,937	<u>0.681</u>	<u>2.731</u>	3,645	<u>0.328</u>	0,511	<u>2.879</u>	3,777	<u>0.287</u>	0,517
“კოლიზეუმი”	<u>7.315</u>	7,458	<u>1.656</u>	1,810	4,270	<u>3.410</u>	0,539	<u>0.303</u>	4,660	<u>3.723</u>	0,696	<u>0.355</u>
“ტექსტი”	<u>3.718</u>	6,179	<u>0.324</u>	1,497	<u>1.293</u>	1,652	0,798	<u>0.588</u>	<u>1.301</u>	1,668	<u>0.569</u>	0,632
“ფონი”	<u>2.048</u>	2,474	<u>0.321</u>	0,797	<u>1.504</u>	1,582	0,442	<u>0.414</u>	<u>1.574</u>	1,598	<u>0.412</u>	0,918
“ღრუბელი”	<u>4.044</u>	4,540	<u>0.345</u>	0,489	<u>2.738</u>	3,082	0,285	<u>0.259</u>	<u>3.074</u>	3,449	<u>0.272</u>	0,314
“მამადავითი”	<u>5.431</u>	5,503	<u>0.992</u>	1,041	<u>2.699</u>	2,887	0,339	<u>0.314</u>	<u>3.309</u>	3,349	<u>0.413</u>	0,552
“ფუნიკულორი”	<u>4.587</u>	5,212	<u>0.444</u>	0,675	<u>2.113</u>	2,637	<u>0.246</u>	0,251	<u>2.863</u>	3,731	<u>0.322</u>	0,564
“ტელეანბა”	<u>3.595</u>	3,663	<u>0.181</u>	0,242	2,543	<u>2.316</u>	<u>0.174</u>	0,224	3,293	<u>2.914</u>	<u>0.221</u>	0,282

ცხრილი 17. საცდელი გამოსახულებების შემდგენების დაკვანტული ტრანსფორმანტების მთავარი სხვაობითი და არამთავარი ელემენტების უდანაკარგო კოდირებისათვის საჭირო ბიტების რაოდენობები და კომპრესიის ფაქტორები

გამოსახუ- ლებები	Y				C _r				C _b			
	M _{1Y3} , ბიტი	M _{1Y3} , ბიტი	F _{Y3}	F _{Y3}	M _{1Cr3} , ბიტი	M _{1Cr3} , ბიტი	F _{Cr3}	F _{Cr3}	M _{1Cb3} , ბიტი	M _{1Cb3} , ბიტი	F _{Cb3}	F _{Cb3}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
“ლენა”	55771	<u>53967</u>	9,401	<u>9,715</u>	4108	<u>3934</u>	127,626	<u>133,271</u>	4323	<u>3979</u>	121,279	<u>131,764</u>
“ბიონსე”	52668	<u>52486</u>	9,955	<u>9,989</u>	4046	<u>3988</u>	129,582	<u>131,466</u>	4597	<u>4595</u>	114,050	<u>114,099</u>
“ბუნება”	<u>69692</u>	70088	<u>7,523</u>	7,480	<u>2756</u>	2899	<u>190,235</u>	181,415	<u>3160</u>	3348	<u>165,912</u>	156,597
“ნაგაზი”	52845	<u>51683</u>	9,921	<u>10,144</u>	2215	<u>2071</u>	236,699	<u>253,157</u>	2598	<u>2414</u>	201,805	<u>217,186</u>
“თი-ბი-სი”	<u>45018</u>	45308	<u>11,646</u>	11,572	<u>1220</u>	1236	<u>429,744</u>	424,181	<u>1321</u>	1357	<u>396,887</u>	386,358
“კატა”	<u>61743</u>	62429	<u>8,492</u>	8,398	<u>3030</u>	3168	<u>173,032</u>	165,492	<u>3692</u>	3808	<u>142,007</u>	137,681
“ციხესიმაგრე”	<u>62916</u>	63337	<u>8,333</u>	8,278	<u>1891</u>	1901	<u>277,254</u>	275,796	<u>3534</u>	3614	<u>148,355</u>	145,071
“ბავშვები”	<u>82773</u>	83081	<u>6,334</u>	6,331	<u>4131</u>	4209	<u>126,916</u>	124,564	5711	<u>5679</u>	91,803	<u>92,321</u>
“აღუბლები”	<u>64684</u>	65022	<u>8,105</u>	8,063	<u>7524</u>	7592	<u>69,682</u>	69,058	5174	<u>5162</u>	101,331	<u>101,567</u>
“კროსი”	94288	<u>93518</u>	5,561	<u>5,606</u>	5921	<u>5505</u>	88,547	<u>95,239</u>	6142	<u>5792</u>	85,361	<u>90,519</u>
“ფერმა”	<u>76646</u>	77178	<u>6,840</u>	6,793	<u>3423</u>	3461	<u>153,166</u>	151,485	<u>3961</u>	3975	<u>132,363</u>	131,896
“პარკი”	62080	<u>60672</u>	8,445	<u>8,641</u>	5440	<u>5200</u>	96,377	<u>100,825</u>	8874	<u>8528</u>	59,081	<u>61,478</u>
“კენკრა”	<u>104691</u>	104833	<u>5,008</u>	5,001	4700	<u>4662</u>	111,551	<u>112,460</u>	3221	<u>3170</u>	162,772	<u>165,391</u>
“დაისი”	<u>29594</u>	30330	<u>17,716</u>	17,286	<u>5503</u>	5807	<u>94,273</u>	90,286	<u>3375</u>	3677	<u>155,345</u>	142,586

ცხრილი 17 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
“ზამთარი”	<u>66563</u>	67201	<u>7,877</u>	7,802	<u>3017</u>	3143	<u>173,778</u>	166,811	<u>4286</u>	4396	<u>122,326</u>	119,265
“გარნიტური”	<u>44381</u>	45785	<u>11,813</u>	11,451	<u>3582</u>	3886	<u>146,367</u>	134,917	<u>3099</u>	3397	<u>169,180</u>	154,339
“შროშანი”	<u>80953</u>	81155	<u>6,476</u>	6,460	<u>5460</u>	5530	<u>96,023</u>	94,808	<u>9310</u>	9410	<u>56,315</u>	55,716
“მთები”	<u>16811</u>	18613	<u>31,187</u>	28,168	<u>1655</u>	2191	<u>316,790</u>	239,292	<u>1627</u>	2161	<u>322,242</u>	242,614
“ტბა”	<u>35982</u>	37322	<u>14,571</u>	14,048	<u>3219</u>	3717	<u>162,873</u>	141,051	<u>3108</u>	3470	<u>168,690</u>	151,092
“მაღაზია”	<u>68379</u>	69299	<u>7,667</u>	7,566	<u>5052</u>	5338	<u>103,778</u>	98,218	<u>3387</u>	3557	<u>154,794</u>	147,396
“კარუსელი”	<u>49322</u>	49668	<u>10,630</u>	10,556	<u>4889</u>	4963	<u>107,238</u>	105,639	<u>7952</u>	8038	<u>65,932</u>	65226
“შემოდგომა”	<u>103086</u>	103120	<u>5,086</u>	5,084	<u>3118</u>	3226	<u>168,149</u>	162,520	<u>3998</u>	4104	<u>131,138</u>	127,751
“კოშკი”	<u>77958</u>	78831	<u>6,725</u>	6,651	<u>2651</u>	2885	<u>197,770</u>	181,729	<u>2779</u>	3011	<u>188,661</u>	174,124
“კოლიზეუმი”	<u>79561</u>	79707	<u>6,590</u>	6,578	3360	<u>3140</u>	156,038	<u>166,971</u>	4039	<u>3799</u>	129,806	<u>138,007</u>
“ტექსტი”	<u>39484</u>	42004	<u>13,279</u>	12,482	<u>1966</u>	2058	<u>266,678</u>	254,756	<u>1959</u>	2053	<u>267,630</u>	255,377
“ფონი”	<u>8307</u>	8743	<u>63,114</u>	59,967	<u>1164</u>	1184	<u>450,419</u>	442,811	<u>1180</u>	1186	<u>444,312</u>	442,064
“ღრუბელი”	<u>22520</u>	23028	<u>23,281</u>	22,767	<u>2076</u>	2164	<u>252,547</u>	242,277	<u>2305</u>	2331	<u>227,457</u>	224,920
“მამადავითი”	<u>43326</u>	43400	<u>12,101</u>	12,080	<u>2047</u>	2095	<u>256,125</u>	250,257	<u>2649</u>	2685	<u>197,919</u>	195,266
“ფუნიკულორი”	<u>39769</u>	40409	<u>13,183</u>	12,975	<u>1758</u>	1892	<u>298,230</u>	277,108	<u>2681</u>	2903	<u>195,557</u>	180,602
“ტელეანბა”	<u>23863</u>	23933	<u>21,971</u>	21,907	1958	<u>1900</u>	267,767	<u>275,941</u>	2472	<u>2376</u>	212,091	<u>220,660</u>

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. მაშასადამე, განხილულ შემთხვევაში

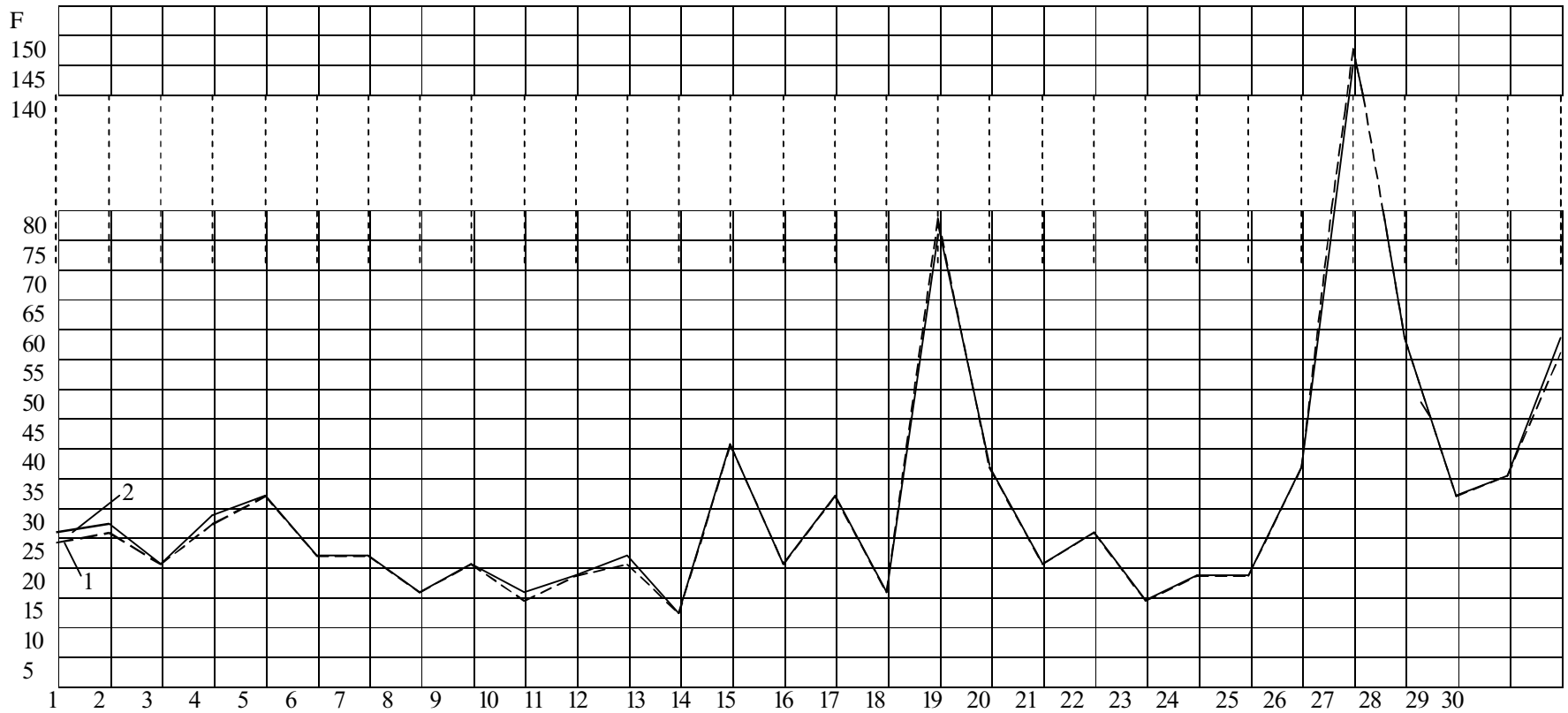
$$F_{Y_3} = M/M_{1_3}, F_{Y_6} = M/M_{1_6}, F_{Cr_3} = M/M_{1_3}, F_{Cr_6} = M/M_{1_6}, F_{Cb_3} = M/M_{1_3}, F_{Cb_6} = M/M_{1_6} \quad (9)$$

მე-19 ცხრილში მოყვანილია საცდელი ფერადი გამოსახულებების სრული სიგნალის შესაბამისი დაკვანტული ტრანსფორმანტების შესაბამისი მთავარი ელემენტების სხვაობითი მნიშვნელობების უდანაკარგო კოდირებისათვის საჭირო ბიტების რაოდენობები გამოსახულებათა არსებული JPEG და MPEG სტანდარტების ($M_{არს}$) გამოყენებისა და სხვაობითი მნიშვნელობების გამოთვლის ადაპტაციის შემთხვევებისათვის (M_1) და შესაბამისი კომპრესიის ფაქტორები ($F_{არს}$ და F_1). ისინი გამოთვლილია მე-16 ცხრილის მონაცემების საფუძველზე და ამავე დროს გათვალისწინებულია სიკაშკაშისა და ფერსხვაობითი შემდგენებისათვის ადაპტური კოდირების პროცესში დამატებითი (საინფორმაციო) 3 სიმბოლო (ბიტი) კოდირების 6 ვარიანტის შესახებ. ცხრილიდან ჩანს, რომ კომპრესიის არსებულ ვარიანტთან შედარებით გაუმჯობესებული შედეგები მიიღება გამოსახულებებისათვის “ლენა”, “ბიონსე”, “ნაგაზი”, “ბავშვები”, “ალუბლები”, “კროსი”, “პარკი”, “კენკრა”, “კოლიზეუმი” და “ტელეანძა”.

მე-18 ცხრილის მონაცემების მიხედვით აგებულია კომპრესიის F_a და F_1 ფაქტორების განაწილების გრაფიკები საცდელი გამოსახულებებისათვის (იხ. ნახ. 11). ნახ. 11-ზე ჰორიზონტალური მიმართულებით ნახვენებია გამოსახულებების რიგითი ნომრები (იხ. ცხრილი 18). ნახაზიდან ნათლად ჩანს ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების კოდირების პროცესისადმი ადაპტური მიდგომის მიზანშეწონილობა (კომპრესიის გაუმჯობესების თვალსაზრისით) არაადაპტურ კოდირებასთან შედარებით, როდესაც მთავარი კოეფიციენტების ორგანოზომილებიანი მასივის ელემენტებს შორის სხვაობები გამოითვლება მხოლოდ ჰორიზონტალური მიმართულებით.

ცხრილი 18. 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)

№	გამოსახულებები	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	“მაღაზია”	<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	“ბავშვები”	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	“ეროსი”	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>



ნახ. 11. საცდელი ტესტური გამოსახულებების სრული სიგნალის შესაბამისი კომპრესიის ფაქტორები JPEG და MPEG სტანდარტებითა (გრაფიკი 1) და სხვაობების გამოთვლის ადაპტური მეთოდით კოდირებისას (გრაფიკი 2)

თავი 4. დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის
ტრანსფორმანტების მთავარი სხვაობითი ელემენტების
ადაპტური კოდირება სკანირების ვარიანტების შერჩევით

4.1. დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის ტრანსფორმანტების
მთავარი სხვაობითი ელემენტების სკანირების ვარიანტების დამუშავება

როგორც ცნობილია, იმის გამო, რომ გარდასახვის ტრანსფორმანტების დაკვანტული არამთავარი ელემენტები უმთავრესად ნულის ტოლია, ამიტომ ჰაფმანის კოდებით მათი დამუშავებისას იყენებენ არამთავარი ელემენტებისაგან შედგენილი ორგანზომილებიანი მასივის ელემენტების ზიგზაგ-სკანირებას [14].

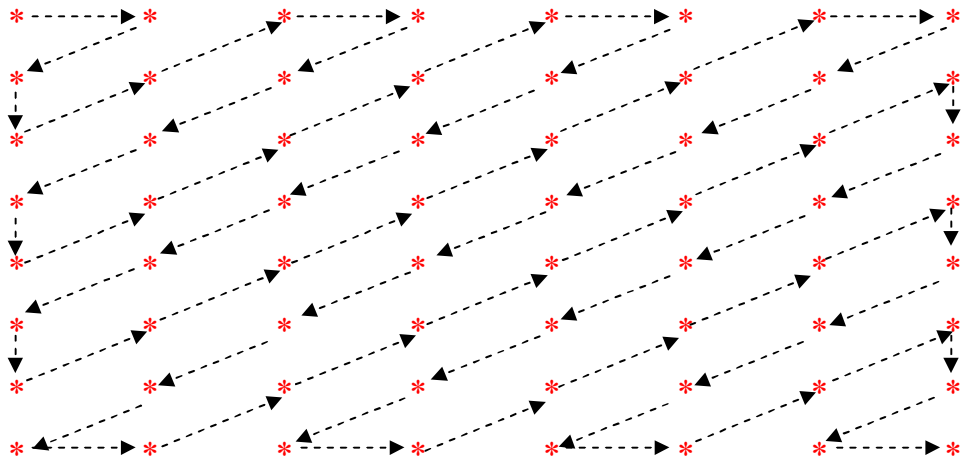
წინამდებარე ნაშრომის მესამე თავში მოყვანილი მასალიდან ჩანს, რომ გარდასახვის მთავარი ელემენტების სხვაობითი მნიშვნელობების მასივი შეიძლება შეიცავდეს ნულის ტოლ სიდიდეებს, რის გამოც, გარდა JPEG და MPEG სტანდარტებით გათვალისწინებული მათი სკანირების გარეშე კოდირებასთან ერთად შესაძლებელია აღნიშნული ორგანზომილებიანი მასივის ელემენტებისათვის გამოყენებული იყოს სკანირების ესა თუ ის ვარიანტი, კერძოდ: ზიგზაგ-ჰორიზონტალური სკანირება; ზიგზაგ-ვერტიკალური სკანირება; ჰორიზონტალური (სტრიქონული) სკანირება; ვერტიკალური (სვეტური) სკანირება (სულ 5 ვარიანტი სკანირების გარეშე კოდირებასთან ერთად) [56].

საცდელი ფერადი გამოსახულებების სამივე შემდგენის შესაბამისი ტრანსფორმანტების მთავარი სხვაობითი ელემენტების ჰაფმანის ცხრილების გამოყენებით უდანაკარგო კოდირებისას შეიძლება შეირჩეს განხილული (1 არსებული და 4 შემოთავაზებული) ვარიანტიდან ერთ-ერთი, რომელიც უკეთეს შედეგს მოგვცემს კომპრესიის თვალსაზრისით.

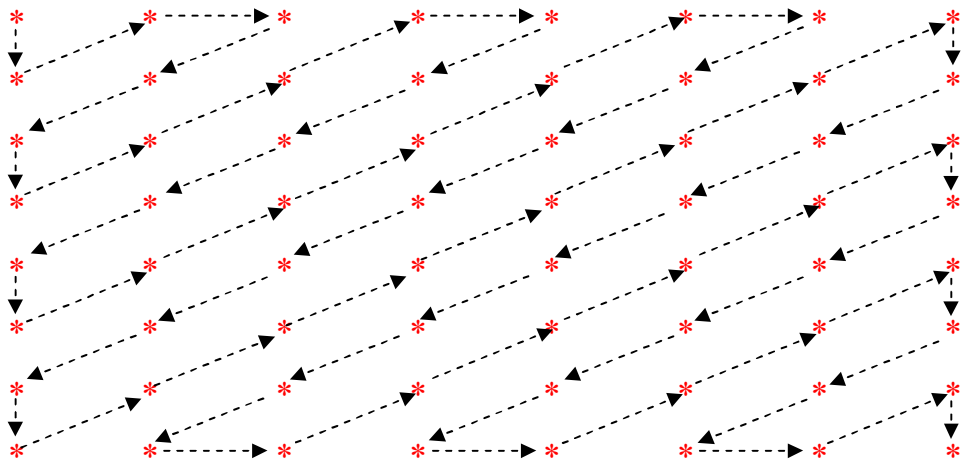
ამ მიზნით, გარდა საცდელი გამოსახულებების (სურ. 3) სხვაობითი ელემენტების სკანირების გარეშე უდანაკარგო კოდირებისა, რომლის ეფექტურობის მაჩვენებლები სხვაობების გამოთვლის ორივე (ჰორი-

ზონტალური და ვერტიკალური) ვარიანტისათვის მოყვანილია წინამდებარე ნაშრომის მესამე თავში, გამოკვლეული იქნა უდანაკარგო კოდირების ეფექტურობა სხვაობითი ელემენტების 32x32 ზომის მასივის სკანირების ოთხივე ვარიანტისათვის.

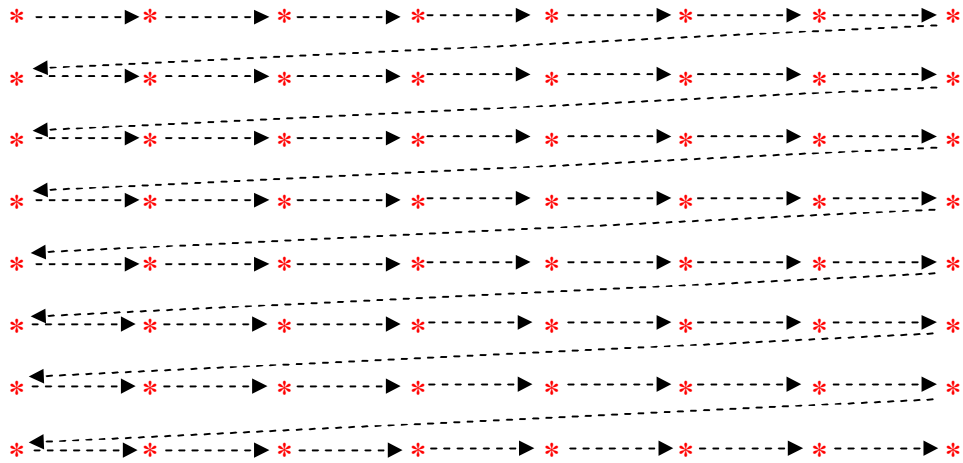
ნახ. 12-ზე წარმოდგენილია ზიგზაგ-ჰორიზონტალური, ნახ. 13-ზე – ზიგზაგ-ვერტიკალური, ნახ. 14-ზე – ჰორიზონტალური (სტრიქონული), ხოლო ნახ. 15-ზე – ვერტიკალური (სვეტური) სკანირებების ნიმუშები. სიმარტივის მიზნით ნახაზებზე მოყვანილია სკანირების ვარიანტები მხოლოდ 8x8 ზომის მასივისათვის.



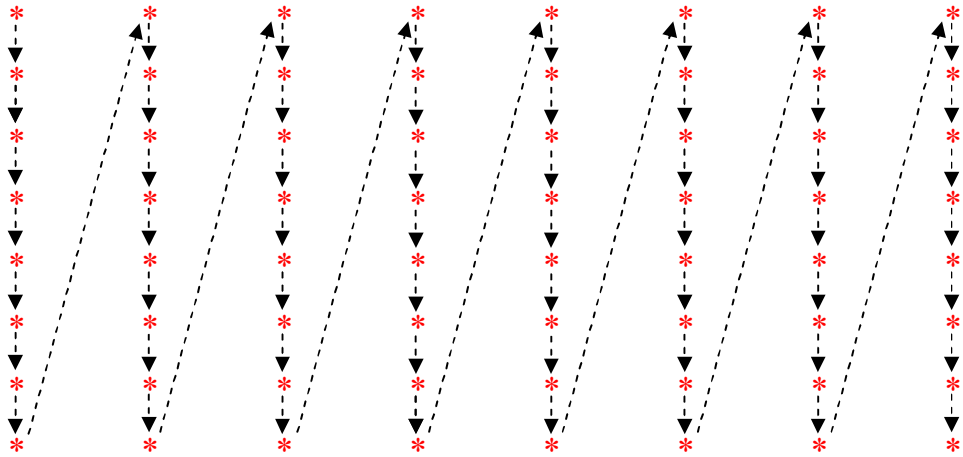
ნახ. 12. ტრანსფორმანტების მთავარი სხვაობითი ელემენტების ზიგზაგ-ჰორიზონტალური სკანირება



ნახ. 13. ტრანსფორმანტების მთავარი სხვაობითი ელემენტების ზიგზაგ-ვერტიკალური სკანირება



ნახ. 14. ტრანსფორმანტების მთავარი სხვაობითი ელემენტების
ჰორიზონტალური (სტრიქონული) სკანირება



ნახ. 15. ტრანსფორმანტების მთავარი სხვაობითი ელემენტების ვერტიკალური
(სვეტური) სკანირება

4.2. ტრანსფორმანტების მთავარი სხვაობითი ელემენტების მასივის ადაპტური კოდირების ეფექტურობა მთავარი ელემენტების სხვაობების გამოთვლისა და მათი სკანირების ადაპტური მეთოდების შესამებით

ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების სხვაობების გამოთვლის ადაპტური და მათი შესაბამისი მასივის ასევე ადაპტური სკანირების მეთოდების შესამებით რეალიზებული უდანაკარგო კოდირების ეფექტურობა ფერად გამოსახულებათა სამივე (სიკაშკაშის Y და ფერსხვაობითი C_r და C_b) შემდგენისათვის შეიძლება შევავსოთ თითოეული მათგანისათვის კოდირების დღემდე არსებულ ვარიანტში გამოყენებული სიმბოლოების რაოდენობისა და შემოთავაზებული ადაპტური მეთოდების შესამების შემთხვევაში სიმბოლოების საჭირო რაოდენობათა განსაზღვრით და მათგან კომპრესიის თვალსაზრისით საუკეთესოს შერჩევით.

მე-19, მე-20 და 21-ე ცხრილებში მოყვანილია ეკონომიური კოდირების (კომპრესიის) არსებული და შემოთავაზებული მეთოდების შესაბამისი რიცხობრივი მაჩვენებლები გამოსახულებების სიკაშკაშის (ცხრილი 19) და ფერსხვაობითი შემდგენებისათვის (ცხრილი 20 და ცხრილი 21), რომელთაგან საუკეთესონი წითლადაა მონიშნული. მწვანედ კი მონიშნულია ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების სხვაობების ადაპტური გამოთვლის ვარიანტის შესაბამისი მონაცემები. 22-ე ცხრილში მოყვანილია მონაცემები კომპრესიის არსებული და შემოთავაზებული შესამებულის ვარიანტების შესახებ გამოსახულებათა სამივე შემდგენისათვის, კერძოდ კი ორივე (არსებული და საუკეთესო) შემთხვევისათვის საჭირო სიმბოლოების რაოდენობები (m_{1Y} და m_{1Y_b}), შემცირებული (მოგებული) სიმბოლოების რაოდენობები (Δm_1) და დამატებითი კომპრესიის ფაქტორები (F_1).

23-ე ცხრილში მოყვანილია მონაცემები კომპრესიის არსებული და ადაპტური ვარიანტების შესახებ ფერადი გამოსახულებების შესაბამისი სრული სიგნალისათვის (საჭირო სიმბოლოების რაოდენობები – M_s და $M_{s,d}$, კომპრესიის ფაქტორები F_s და $F_{s,d}$).

ცხრილი 19. მთავარი ელემენტების სხვაობების ჰაფმანის ცხრილების გამოყენებისას საჭირო სიმბოლოების რაოდენობა სხვაობების მასივის სკანირების სხვადასხვა ვარიანტისათვის საცდელი გამოსახულებების სიკაშკაშის Y შემდგენისათვის

გამოსახულებები	კოდირება სკანირების გარეშე		კოდირება ზიგზაგ-ჰორიზონტალური სკანირებისას		კოდირება ზიგზაგ-ვერტიკალური სკანირებისას		კოდირება ჰორიზონტალური სკანირებისას		კოდირება ვერტიკალური სკანირებისას	
	M _{1Y} სკკპ ბიტი	M _{1Y} სკკპ ვ ბიტი	M _{1Y} ზსკპ ბიტი	M _{1Y} ზსკპ ვ ბიტი	M _{1Y} ვსკპ ბიტი	M _{1Y} ვსკპ ვ ბიტი	M _{1Y} ზსკპ ბიტი	M _{1Y} ზსკპ ვ ბიტი	M _{1Y} ვსკპ ბიტი	M _{1Y} ვსკპ ვ ბიტი
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
“ლენა”	7726	<u>5922</u>	7178	5526	7169	5513	7172	<u>5512</u>	7154	5538
“ბიონსე”	6832	<u>6650</u>	6342	6163	6332	6153	6276	<u>6096</u>	6317	6157
“ბუნება”	<u>6558</u>	6954	5989	6383	6008	6377	<u>5990</u>	6348	6001	6382
“ნაგაზი”	6864	<u>5702</u>	6407	5450	6381	5385	6397	5386	6319	<u>5377</u>
“თი-ბი-სი”	<u>4796</u>	5086	4651	4807	4633	4844	4641	4791	<u>4546</u>	4759
“კატა”	<u>5730</u>	6416	5624	6180	<u>5607</u>	6131	5541	6071	5547	6133
“ციხესიმაგრე”	<u>4528</u>	4948	4207	4648	4132	4548	<u>3801</u>	4186	4084	4513
“ბავშვები”	<u>7012</u>	7320	6470	6607	6464	6621	6480	6612	<u>6448</u>	6617
“ალუბლები”	<u>7418</u>	7756	6886	7146	6899	7148	6898	7154	<u>6871</u>	7175
“კროსი”	7534	<u>6764</u>	6976	6204	6982	6180	6971	6179	6941	<u>6167</u>
“ფერმა”	<u>7874</u>	8406	7312	7925	7311	7885	<u>7283</u>	7843	7295	7907
“პარკი”	7338	<u>5930</u>	7023	5586	6981	5571	7002	5586	6933	<u>5539</u>
“კენკრა”	<u>6908</u>	7050	<u>6254</u>	6380	6255	6384	6269	6371	6264	6366

ცხრილი 19 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
“დაისი”	<u>4770</u>	5506	4451	5090	4432	5108	4381	4992	<u>4371</u>	5112
“ზამთარი”	<u>5092</u>	5730	4724	5263	4730	5290	4698	5263	<u>4697</u>	5275
“გარნიტური”	<u>5044</u>	6448	4777	5979	4765	6019	4761	5911	<u>4717</u>	6025
“შროშანი”	<u>7988</u>	8190	7366	7616	7381	7614	7362	7586	<u>7343</u>	7609
“მთები”	<u>1750</u>	3552	1851	3489	1848	3485	1813	3290	1839	3529
“ტბა”	<u>2122</u>	3789	3680	4784	3632	4782	3503	4653	3622	4838
“მაღაზია”	<u>5700</u>	6620	5397	7162	5398	7163	<u>5308</u>	7098	5338	7181
“კარუსელი”	<u>4468</u>	4814	<u>4263</u>	4528	4294	4526	4312	4536	4270	4560
“შემოდგომა”	<u>6682</u>	6716	6154	6086	6158	6075	6154	<u>6049</u>	6175	6107
“კოშკი”	<u>5958</u>	6831	5626	7481	5642	7481	<u>5535</u>	7414	5583	7449
“კოლიზეუმი”	<u>7490</u>	7636	6909	6951	6926	6940	6924	6926	<u>6887</u>	6953
“ტექსტი”	<u>3806</u>	6326	3719	5900	3708	5884	<u>3660</u>	5784	3706	5896
“ფონი”	<u>2096</u>	2532	2249	2641	2269	2643	2268	2635	2227	2760
“ღრუბელი”	<u>4140</u>	4648	4018	4415	4023	4434	3985	4337	<u>3977</u>	4399
“მამადავითი”	<u>5560</u>	5634	5065	5144	5061	5100	5067	5109	<u>5051</u>	5113
“ფუნიკულორი”	<u>4696</u>	5336	4458	4985	4513	4998	4471	4928	<u>4448</u>	5028
“ტელეანძა”	<u>3680</u>	3750	3604	3629	3597	3633	3599	3589	<u>3538</u>	3662

ცხრილი 20. მთავარი ელემენტების სხვაობების ჰაფმანის ცხრილების გამოყენებისას საჭირო სიმბოლოების რაოდენობა სხვაობების მასივის სკანირების სხვადასხვა ვარიანტისათვის საცდელი გამოსახულებების ფერსხვაობითი C_r შემდგენისათვის

გამოსახულებები	კოდირება სკანირების გარეშე		კოდირება ჰორიზონტალური ზიგზაგ-სკანირებისას		კოდირება ვერტიკალური ზიგზაგ-სკანირებისას		კოდირება ჰორიზონტალური სკანირებისას		კოდირება ვერტიკალური ზიგზაგ-სკანირებისას	
	M _{1Cr₃კ₃} ბიტი	M _{1Cr₃კ₃} ბიტი	M _{1Cr₃ზ₃კ₃} ბიტი	M _{1Cr₃ზ₃კ₃} ბიტი	M _{1Cr₃ზ₃კ₃} ბიტი	M _{1Cr₃ზ₃კ₃} ბიტი	M _{1Cr₃კ₃} ბიტი	M _{1Cr₃კ₃} ბიტი	M _{1Cr₃კ₃} ბიტი	M _{1Cr₃კ₃} ბიტი
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
“ლენა”	1198	<u>1024</u>	1257	1087	1257	1084	1255	1082	1243	1083
“ბიონსე”	1134	<u>1076</u>	1204	1168	1207	1150	1203	1135	1194	1154
“ბუნება”	<u>808</u>	942	888	1006	882	1010	892	991	888	1015
“ნაგაზი”	780	<u>636</u>	852	694	852	705	858	677	805	691
“თი-ბი-სი”	<u>366</u>	382	371	391	370	395	<u>270</u>	296	335	376
“კატა”	<u>820</u>	958	902	1044	900	1029	888	984	864	1040
“ციხესიმაგრე”	<u>578</u>	588	625	632	625	629	556	<u>533</u>	594	626
“ბავშვები”	<u>1004</u>	1082	1070	1143	1074	1142	1072	1126	1073	1129
“ალუბლები”	<u>1536</u>	1604	1564	1619	1564	1629	1569	1623	1570	1632
“კროსი”	1486	<u>1070</u>	1526	1142	1527	1134	1516	1128	1522	1140
“ფერმა”	<u>932</u>	970	1010	1058	1019	1053	1002	1037	1003	1041
“პარკი”	1274	<u>1034</u>	1332	1088	1341	1090	1328	1097	1326	1092
“კენკრა”	768	730	821	767	813	778	784	761	796	<u>725</u>

ცხრილი 20 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
“დაისი”	<u>1266</u>	1570	1323	1568	1318	1572	1320	1567	1322	1571
“ზამთარი”	<u>742</u>	868	823	947	820	945	836	924	823	951
“გარნიტური”	<u>930</u>	1234	1013	1295	1014	1288	1008	1267	1011	1296
“შროშანი”	<u>1246</u>	1316	1290	1358	1296	1373	1302	1377	1296	1377
“მთები”	<u>374</u>	910	367	972	<u>348</u>	974	372	905	349	989
“ტბა”	<u>742</u>	1240	812	1309	806	1306	804	1265	818	1309
“მალაზია”	<u>914</u>	1200	1017	1252	1025	1259	1017	1259	983	1243
“კარუსელი”	<u>956</u>	1030	987	1050	971	1045	1024	1077	975	1070
“შემოდგომა”	<u>810</u>	918	878	971	874	976	872	958	856	980
“კოშკი”	<u>698</u>	932	780	1012	791	1020	772	992	797	1006
“კოლიზეუმი”	1092	<u>872</u>	1160	954	1159	958	1165	954	1157	949
“ტექსტი”	<u>330</u>	422	324	453	271	379	<u>183</u>	256	307	431
“ფონი”	<u>384</u>	404	371	388	381	385	370	397	<u>363</u>	395
“ღრუბელი”	<u>700</u>	788	751	870	777	861	726	812	755	867
“მამადავითი”	<u>690</u>	738	768	794	768	802	758	782	757	807
“ფუნიკულორი”	<u>540</u>	674	580	754	573	747	578	704	581	756
“ტელეანძა”	650	<u>592</u>	724	651	723	665	711	628	678	656

ცხრილი 21. მთავარი ელემენტების სხვაობების ჰაფმანის ცხრილების გამოყენებისას საჭირო სიმბოლოების რაოდენობა სხვაობების მასივის სკანირების სხვადასხვა ვარიანტისათვის საცდელი გამოსახულებების ფერსხვაობითი C_n შემდგენისათვის

გამოსახულებები	კოდირება სკანირების გარეშე		კოდირება პორიზონტალური ზიგზაგ-სკანირებისას		კოდირება ვერტიკალური ზიგზაგ-სკანირებისას		კოდირება პორიზონტალური სკანირებისას		კოდირება ვერტიკალური ზიგზაგ-სკანირებისას	
	M _{1C_nსკკკ} ბიტი	M _{1C_nსკკვ} ბიტი	M _{1C_nზსკკ} ბიტი	M _{1C_nზსკვ} ბიტი	M _{1C_nვსკკ} ბიტი	M _{1C_nვსკვ} ბიტი	M _{1C_nსკკ} ბიტი	M _{1C_nსკვ} ბიტი	M _{1C_nვსკკ} ბიტი	M _{1C_nვსკვ} ბიტი
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
“ლენა”	1352	<u>1008</u>	1407	1087	1413	1088	1403	1082	1399	1087
“ბიონსე”	1152	<u>1150</u>	1231	1228	1229	1220	1207	1211	1217	1216
“ბუნება”	<u>892</u>	1080	981	1160	967	1153	964	1129	961	1159
“ნაგაზი”	868	<u>684</u>	946	767	942	758	934	753	930	763
“თი-ბი-სი”	<u>422</u>	458	460	474	444	471	438	464	465	427
“კატა”	<u>926</u>	1042	1015	1140	1021	1139	990	1120	1006	1148
“ციხესიმაგრე”	<u>750</u>	830	789	874	791	846	<u>712</u>	797	807	867
“ბავშვები”	1296	<u>1264</u>	1345	1300	1354	1308	1355	1298	1337	1300
“ალუბლები”	1160	<u>1148</u>	1210	1205	1213	1211	1207	1205	1210	1220
“კროსი”	1480	<u>1130</u>	1533	1209	1528	1192	1504	1184	1517	1197
“ფერმა”	<u>1070</u>	1084	1148	1159	1137	1171	1142	1140	1132	1159
“პარკი”	1572	<u>1226</u>	1537	1251	1535	1253	1539	1243	1534	1265
“კენკრა”	646	<u>596</u>	687	639	688	652	665	632	673	<u>627</u>

ცხრილი 21 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
“დაისი”	<u>980</u>	1282	1045	1322	1046	1320	1049	1306	1031	1316
“ზამთარი”	<u>934</u>	1044	1002	1107	995	1110	997	1095	1001	1110
“გარნიტური”	<u>804</u>	1102	886	1172	898	1164	877	1133	874	1174
“შროშანი”	<u>1682</u>	1782	1711	1810	1713	1810	1715	1808	1714	1817
“მთები”	<u>398</u>	932	394	999	392	998	391	946	<u>387</u>	1010
“ტბა”	<u>700</u>	1062	754	1117	755	1114	744	1083	786	1122
“მაღაზია”	<u>764</u>	934	849	998	845	1001	847	984	833	891
“კარუსელი”	<u>1146</u>	1232	1175	1260	1171	1263	1196	1278	1175	1281
“შემოდგომა”	<u>924</u>	1030	998	1104	989	1098	999	1077	980	1107
“კოშკი”	<u>736</u>	968	802	1046	803	1029	798	1029	798	1047
“კოლიზეუმი”	1192	<u>952</u>	1258	1022	1265	1026	1265	1017	1242	1027
“ტექსტი”	<u>332</u>	426	350	466	274	387	<u>180</u>	268	307	432
“ფონი”	<u>402</u>	408	407	402	406	405	397	403	<u>386</u>	389
“ღრუბელი”	<u>786</u>	892	852	955	875	949	833	916	833	937
“მამადავითი”	<u>846</u>	882	923	959	916	955	915	939	905	963
“ფუნიკულორი”	<u>732</u>	954	795	1018	788	1038	786	1005	787	1031
“ტელეანბა”	842	<u>746</u>	914	822	904	807	925	804	885	819

ცხრილი 22. ფერად საცდელ გამოსახულებათა სიკაშკაშის Y და ფერსხვაობითი C_r და C_b შემდგენების მთავარი ელემენტების სხვაობების JPEG და MPEG სტანდარტების მიხედვითა (m_{1a}) და მათი ადაპტური კოდირებისათვის საჭირო ბიტების რაოდენობები (m_{1b}), მათი ჯამური მნიშვნელობები და შესაბამისი დამატებითი კომპრესიის ფაქტორები (F)

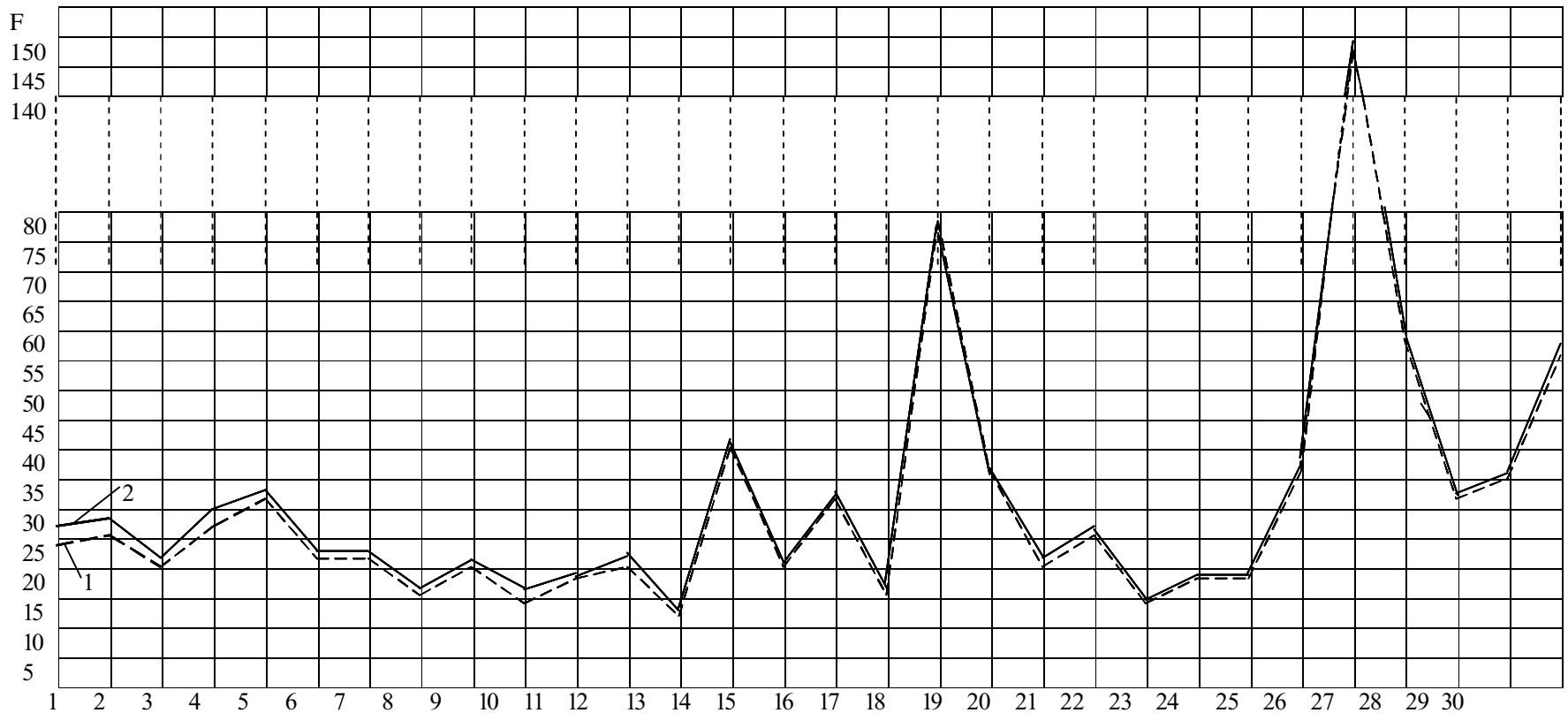
გამოსახუ- ლებები	ადაპტური კოდირებისთვის საჭირო ბიტების რაოდენობები (m ₁), კოდირების ეფექტურობა (Δm ₁ და F)															
	m _{1Ya} , ბიტი	m _{1Yb} , ბიტი	Δm _{1Y} , ბიტი	F _Y	m _{1Cr} , ბიტი	m _{1Cb} , ბიტი	Δm _{1Cr} , ბიტი	F _{Cr}	m _{1Cb} , ბიტი	m _{1Cb} , ბიტი	Δm _{1Cb} , ბიტი	F _{Cb}	m _{1a} , ბიტი	m _{1b} , ბიტი	Δm ₁ , ბიტი	F
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
“ღენა”	7726	<u>5512</u>	<u>2194</u>	<u>1.400</u>	1198	<u>1024</u>	<u>174</u>	<u>1.170</u>	1352	<u>1008</u>	<u>344</u>	<u>1.341</u>	10276	<u>7564</u>	<u>2712</u>	<u>1.358</u>
“ბიონსე”	6832	<u>6096</u>	<u>736</u>	<u>1.121</u>	1134	<u>1076</u>	<u>58</u>	<u>1.054</u>	1152	<u>1150</u>	<u>2</u>	<u>1.002</u>	9118	<u>8322</u>	<u>796</u>	<u>1.096</u>
“ბუნება”	6558	<u>5990</u>	<u>568</u>	<u>1.095</u>	<u>808</u>	<u>808</u>	0	1	<u>892</u>	<u>892</u>	0	1	8258	<u>7690</u>	<u>568</u>	<u>1.074</u>
“ნაგაზი”	6864	<u>5377</u>	<u>1487</u>	<u>1.277</u>	780	<u>636</u>	<u>144</u>	<u>1.226</u>	868	<u>684</u>	<u>184</u>	<u>1.269</u>	8512	<u>6697</u>	<u>185</u>	<u>1.271</u>
“თი-ბი-სი”	4796	<u>4546</u>	<u>250</u>	<u>1.055</u>	366	<u>270</u>	<u>96</u>	<u>1.355</u>	<u>422</u>	<u>422</u>	0	1	5584	<u>5238</u>	<u>346</u>	<u>1.066</u>
“კატა”	5730	<u>5607</u>	<u>123</u>	<u>1.022</u>	<u>820</u>	<u>820</u>	0	1	<u>926</u>	<u>926</u>	0	1	7476	<u>7353</u>	<u>123</u>	<u>1.017</u>
“ციხესიმაგრე”	4528	<u>3801</u>	<u>727</u>	<u>1.191</u>	578	<u>533</u>	<u>45</u>	<u>1.084</u>	750	<u>712</u>	<u>38</u>	<u>1.053</u>	5856	<u>5046</u>	<u>810</u>	<u>1.161</u>
“ბავშვები”	7012	<u>6448</u>	<u>564</u>	<u>1.087</u>	<u>1004</u>	<u>1004</u>	0	1	1296	<u>1264</u>	<u>32</u>	<u>1.025</u>	9312	<u>8716</u>	<u>596</u>	<u>1.068</u>
“ალუბლები”	7418	<u>6871</u>	<u>547</u>	<u>1.080</u>	<u>1536</u>	<u>1536</u>	0	1	1160	<u>1148</u>	<u>12</u>	<u>1.010</u>	10114	<u>9555</u>	<u>559</u>	<u>1.058</u>
“კროსი”	7534	<u>6167</u>	<u>1367</u>	<u>1.222</u>	1486	<u>1070</u>	<u>416</u>	<u>1.389</u>	1480	<u>1130</u>	<u>350</u>	<u>1.309</u>	10500	<u>8367</u>	<u>2133</u>	<u>1.255</u>
“ფერმა”	7874	<u>7283</u>	<u>591</u>	<u>1.081</u>	<u>932</u>	<u>932</u>	0	1	<u>1070</u>	<u>1070</u>	0	1	9876	<u>9285</u>	<u>591</u>	<u>1.064</u>
“პარკი”	7338	<u>5539</u>	<u>1799</u>	<u>1.325</u>	1274	<u>1034</u>	<u>240</u>	<u>1.232</u>	1572	<u>1226</u>	<u>346</u>	<u>1.282</u>	10184	<u>7799</u>	<u>2385</u>	<u>1.305</u>
“კენკრა”	6908	<u>6254</u>	<u>654</u>	<u>1.105</u>	768	<u>725</u>	<u>43</u>	<u>1.059</u>	646	<u>627</u>	<u>19</u>	<u>1.030</u>	8322	<u>7606</u>	<u>716</u>	<u>1.094</u>

ცხრილი 22 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
“დაისი”	4770	<u>4371</u>	<u>399</u>	<u>1,091</u>	<u>1266</u>	<u>1266</u>	0	1	<u>980</u>	<u>980</u>	0	1	7016	<u>6617</u>	<u>399</u>	<u>1,060</u>
“ზამთარი”	5092	<u>4697</u>	<u>395</u>	<u>1,084</u>	<u>742</u>	<u>742</u>	0	1	<u>934</u>	<u>934</u>	0	1	6768	<u>6373</u>	<u>395</u>	<u>1,062</u>
“გარნიტური”	5044	<u>4717</u>	<u>327</u>	<u>1,069</u>	<u>930</u>	<u>930</u>	0	1	<u>804</u>	<u>804</u>	0	1	6778	<u>6451</u>	<u>327</u>	<u>1,051</u>
“შროშანი”	7988	<u>7343</u>	<u>645</u>	<u>1,088</u>	<u>1246</u>	<u>1246</u>	0	1	<u>1682</u>	<u>1682</u>	0	1	10916	<u>10271</u>	<u>645</u>	<u>1,063</u>
“მთები”	<u>1750</u>	<u>1750</u>	0	1	374	<u>348</u>	<u>26</u>	<u>1,075</u>	398	<u>387</u>	<u>11</u>	<u>1,028</u>	2522	<u>2485</u>	<u>37</u>	<u>1,015</u>
“ტბა”	<u>2122</u>	<u>2122</u>	0	1	<u>742</u>	<u>742</u>	0	1	<u>700</u>	<u>700</u>	0	1	<u>3564</u>	<u>3564</u>	0	1
“მაღაზია”	5700	<u>5308</u>	<u>392</u>	<u>1,074</u>	<u>914</u>	<u>914</u>	0	1	<u>764</u>	<u>764</u>	0	1	7378	<u>6986</u>	<u>392</u>	<u>1,056</u>
“კარუსელი”	4468	<u>4263</u>	<u>205</u>	<u>1,048</u>	<u>956</u>	<u>956</u>	0	1	<u>1146</u>	<u>1146</u>	0	1	6570	<u>6365</u>	<u>205</u>	<u>1,032</u>
“შემოდგომა”	6682	<u>6049</u>	<u>633</u>	<u>1,105</u>	<u>810</u>	<u>810</u>	0	1	<u>924</u>	<u>924</u>	0	1	8416	<u>7828</u>	<u>588</u>	<u>1,075</u>
“კოშკი”	5958	<u>5535</u>	<u>423</u>	<u>1,076</u>	<u>698</u>	<u>698</u>	0	1	<u>736</u>	<u>736</u>	0	1	7392	<u>6969</u>	<u>423</u>	<u>1,061</u>
“კოლიზეუმი”	7490	<u>6887</u>	<u>603</u>	<u>1,089</u>	1092	<u>872</u>	<u>220</u>	<u>1,252</u>	1192	<u>952</u>	<u>240</u>	<u>1,252</u>	9774	<u>8711</u>	<u>1063</u>	<u>1,122</u>
“ტექსტი”	3806	<u>3660</u>	<u>146</u>	<u>1,040</u>	330	<u>183</u>	<u>147</u>	<u>1,803</u>	332	<u>180</u>	<u>152</u>	<u>1,844</u>	4468	<u>4023</u>	<u>445</u>	<u>1,111</u>
“ფონი”	<u>2096</u>	<u>2096</u>	0	1	384	<u>363</u>	<u>21</u>	<u>1,058</u>	402	<u>386</u>	<u>16</u>	<u>1,041</u>	2882	<u>2845</u>	<u>37</u>	<u>1,013</u>
“ღრუბელი”	4140	<u>3977</u>	<u>163</u>	<u>1,041</u>	<u>700</u>	<u>700</u>	0	1	<u>786</u>	<u>786</u>	0	1	5626	<u>5463</u>	<u>163</u>	<u>1,030</u>
“მამადავითი”	5560	<u>5051</u>	<u>509</u>	<u>1,101</u>	<u>690</u>	<u>690</u>	0	1	<u>846</u>	<u>846</u>	0	1	7096	<u>6587</u>	<u>509</u>	<u>1,077</u>
“ფუნიკულორი”	4696	<u>4448</u>	<u>248</u>	<u>1,056</u>	<u>540</u>	<u>540</u>	0	1	<u>732</u>	<u>732</u>	0	1	5968	<u>5720</u>	<u>248</u>	<u>1,043</u>
“ტელეანბა”	3680	<u>3538</u>	<u>142</u>	<u>1,040</u>	650	<u>592</u>	<u>58</u>	<u>1,098</u>	842	<u>746</u>	<u>96</u>	<u>1,128</u>	5172	<u>4876</u>	<u>296</u>	<u>1,061</u>

ცხრილი 23. საცდელი გამოსახულებების სრული სიგნალის შესაბამისი დაკვანტული ტრანსფორმანტების უდანაკარგო კოდირებისათვის საჭირო ბიტების რაოდენობები გამოსახულებათა არსებული JPEG და MPEG სტანდარტებისა (M_s) და ადაპტური კოდირების დამუშავებული მეთოდის შემთხვევებისათვის ($M_{s,d}$) და შესაბამისი კომპრესიის ფაქტორები (F_s და $F_{s,d}$)

№	გამოსახულებები	M_s	$M_{s,d}$	F_s	$F_{s,d}$	№	გამოსახულებები	M_s	$M_{s,d}$	F_s	$F_{s,d}$
1	“ლენა”	64202	<u>61500</u>	24,498	<u>25,575</u>	16	“გარნიტური”	<u>51062</u>	<u>50745</u>	<u>30,804</u>	<u>30,995</u>
2	“ბიონსე”	61311	<u>60525</u>	25,653	<u>25,987</u>	17	“მროშანი”	<u>95723</u>	<u>95088</u>	<u>16,432</u>	<u>16,541</u>
3	“ბუნება”	<u>75608</u>	<u>75050</u>	<u>20,805</u>	<u>20,958</u>	18	“თეები”	<u>20093</u>	<u>20066</u>	<u>78,279</u>	<u>78,385</u>
4	“ნაგაზი”	57658	<u>55853</u>	27,279	<u>28,161</u>	19	“ტბა”	<u>42309</u>	42319	<u>37,176</u>	37,167
5	“თი-ბი-სი”	<u>47559</u>	<u>47223</u>	<u>33,072</u>	<u>33,307</u>	20	“მაღაზია”	<u>76818</u>	<u>76436</u>	<u>20,475</u>	<u>20,578</u>
6	“კატა”	<u>68465</u>	<u>68352</u>	<u>22,974</u>	<u>23,011</u>	21	“კარუსელი”	<u>62163</u>	<u>61968</u>	<u>25,302</u>	<u>25,382</u>
7	“ციხესიმაგრე”	<u>68341</u>	<u>67541</u>	<u>23,016</u>	<u>23,288</u>	22	“შემოდგომა”	<u>110202</u>	<u>109624</u>	<u>14,274</u>	<u>14,348</u>
8	“ბავშვები”	92615	<u>92029</u>	16,983	<u>17,091</u>	23	“კოშკი”	<u>83388</u>	<u>82975</u>	<u>18,861</u>	<u>18,956</u>
9	“ალუბლები”	77382	<u>76833</u>	20,325	<u>20,471</u>	24	“კოლიზეუმი”	86960	<u>85907</u>	18,087	<u>18,309</u>
10	“კროსი”	106351	<u>104228</u>	14,790	<u>15,091</u>	25	“ტექსტი”	<u>43409</u>	<u>42974</u>	<u>36,234</u>	<u>36,600</u>
11	“ფერმა”	<u>84030</u>	<u>83449</u>	<u>18,718</u>	<u>18,848</u>	26	“ფონი”	<u>10651</u>	<u>10624</u>	<u>147,674</u>	<u>148,048</u>
12	“პარკი”	77114	<u>74019</u>	20,397	<u>21,250</u>	27	“ღრუბელი”	<u>26901</u>	<u>26748</u>	<u>58,469</u>	<u>58,803</u>
13	“კენკრა”	112612	<u>111906</u>	13,968	<u>14,055</u>	28	“შამადავითი”	<u>48022</u>	<u>47523</u>	<u>32,754</u>	<u>33,097</u>
14	“დაისი”	<u>38472</u>	<u>38083</u>	<u>40,884</u>	<u>41,301</u>	29	“ფუნიკულორი”	<u>44208</u>	<u>43970</u>	<u>35,580</u>	<u>35,771</u>
15	“ზამთარი”	<u>73866</u>	<u>73482</u>	<u>21,294</u>	<u>21,405</u>	30	“ტელეანძა”	28293	<u>28007</u>	55,593	<u>56,160</u>



ნახ. 16. საცდელი ტესტური გამოსახულებების სრული სიგნალის შესაბამისი კომპრესიის ფაქტორები JPEG და MPEG სტანდარტებისა (გრაფიკი 1) და ადაპტური კოდირების დამუშავებული მეთოდის (გრაფიკი 2) გამოყენებისას

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_{ad} რაოდენობასთან კი განისაზღვრება კომპრესიის ფაქტორები ფერად საცდელ გამოსახულებათა სრული სიგნალისათვის. ამრიგად,

$$F_s=M/M_s \text{ და } F_{ad}=M/M_{ad} \quad (10)$$

ფერადი გამოსახულების თითოეული შემდგენის კომპრესიის შემოთავაზებული ადაპტური მეთოდით კოდირებისას ფერადი გამოსახულებების თითოეულ შემდგენს შეესაბამება 10 ვარიანტი. სრული სიგნალისათვის (ერთად სამივე შემდგენისათვის) კი ვარიანტების რაოდენობა იქნება $10^3=1000$, რომლის კოდირებისთვის საჭიროა 10-თანრიგა ორობითი რიცხვი. ამიტომ კოდირების საუკეთესო ვარიანტისათვის კომპრესიის ფაქტორის გამოთვლისას გათვალისწინებულია საინფორმაციო (ჭარბი) 10 სიმბოლოს გადაცემის (შენახვის) აუცილებლობა (იხ. ცხრილი 24). ცხრილში შავად ნაჩვენებია კომპრესიის უარესი მონაცემები არსებულ ვარიანტთან შედარებით, მწვანედ – მთავარი კოეფიციენტების სხვაობების ადაპტაციისას მიღწეული საუკეთესო, ხოლო წითლად – ეკონომიური კოდირების ჰიბრიდული მეთოდის გამოყენებისას მიღებული შედეგები. ცხრილის მიხედვით საცდელი გამოსახულებებისათვის აგებულია კომპრესიის ფაქტორების განაწილების მრუდები (იხ. ნახ. 16) ეკონომიური კოდირების არსებული და წინამდებარე ნაშრომში შემოთავაზებული ადაპტური მეთოდების გამოყენების ვარიანტებისათვის, საიდანაც ნათლად ჩანს შემოთავაზებული ადაპტური კოდირების ეფექტურობა არსებულ მეთოდთან შედარებით. ადაპტური 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-დღე, 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.

ამრიგად, 256x256 ზომის ფერადი გამოსახულებების სიკაშკაშის Y და ფერსხვაობითი C_r და C_b შემდგენების შესაბამისი ციფრული მასივის 8x8 ზომის ფრაგმენტების დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის შედეგად ფორმირებული ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების სხვაობების (32x32 ზომის – Y შემდგენისათვის და 16x16 ზომის – ფერსხვაობითი C_r და C_b შემდგენებისათვის) მასივის კოდირებისათვის არსებული და სადისერტაციო ნაშრომში შემოთავაზებული ვარიანტებია:

1. მთავარი ელემენტების სხვაობების გამოთვლა მასივის ჰორიზონტალური მიმართულებით + მათი არასკანირებული მონაცემების კოდირება მთავარი ელემენტების სხვაობებისთვის განკუთვნილი ჰაფმანის ცხრილით (არსებული ვარიანტი);

წინამდებარე ნაშრომში შემოთავაზებული ვარიანტები:

2. მთავარი ელემენტების სხვაობების გამოთვლა მასივის ვერტიკალური მიმართულებით + მათი არასკანირებული მონაცემების კოდირება მთავარი ელემენტების სხვაობებისთვის განკუთვნილი ჰაფმანის ცხრილით;

3. მთავარი ელემენტების სხვაობების გამოთვლა მასივის ჰორიზონტალური მიმართულებით + მათი ზიგზაგ-ჰორიზონტალურად სკანირებული მონაცემების კოდირება არამთავარი და მთავარი ელემენტების სხვაობებისთვის განკუთვნილი ჰაფმანის ცხრილებით;

4. მთავარი ელემენტების სხვაობების გამოთვლა მასივის ვერტიკალური მიმართულებით + მათი ზიგზაგ-ჰორიზონტალურად სკანირებული მონაცემების კოდირება არამთავარი და მთავარი ელემენტების სხვაობებისთვის განკუთვნილი ჰაფმანის ცხრილებით;

5. მთავარი ელემენტების სხვაობების გამოთვლა მასივის ჰორიზონტალური მიმართულებით + მათი ზიგზაგ-ვერტიკალურად სკანირებული მონაცემების კოდირება არამთავარი და მთავარი ელემენტების სხვაობებისთვის განკუთვნილი ჰაფმანის ცხრილებით;

6. მთავარი ელემენტების სხვაობების გამოთვლა მასივის ვერტიკალური მიმართულებით + მათი ზიგზაგ-ვერტიკალურად სკანირებული მონაცემების კოდირება არამთავარი და მთავარი ელემენტების სხვაობებისთვის განკუთვნილი ჰაფმანის ცხრილებით;

7. მთავარი ელემენტების სხვაობების გამოთვლა მასივის ჰორიზონტალური მიმართულებით + მათი ჰორიზონტალურად სკანირებული მონაცემების კოდირება არამთავარი და მთავარი ელემენტების სხვაობებისთვის განკუთვნილი ჰაფმანის ცხრილებით;

8. მთავარი ელემენტების სხვაობების გამოთვლა მასივის ვერტიკალური მიმართულებით + მათი ჰორიზონტალურად სკანირებული მონაცემების კოდირება არამთავარი და მთავარი ელემენტების სხვაობებისთვის განკუთვნილი ჰაფმანის ცხრილებით;

9. მთავარი ელემენტების სხვაობების გამოთვლა მასივის ჰორიზონტალური მიმართულებით + მათი ვერტიკალურად სკანირებული მონაცემების კოდირება არამთავარი და მთავარი ელემენტების სხვაობებისთვის განკუთვნილი ჰაფმანის ცხრილებით;

10. მთავარი ელემენტების სხვაობების გამოთვლა მასივის ვერტიკალური მიმართულებით + მათი ვერტიკალურად სკანირებული მონაცემების კოდირება არამთავარი და მთავარი ელემენტების სხვაობებისთვის განკუთვნილი ჰაფმანის ცხრილებით.

როგორც უკვე იყო ნაჩვენები, გამოსახულებათა სრული სიგნალის შემოთავაზებული ადაპტური მეთოდით კოდირებისას საჭიროა დამატებითი საინფორმაციო 10 სიმბოლოს გადაცემა (შენახვა) კოდირების ვარიანტის შესახებ. მონაცემები საინფორმაციო სიმბოლოების ვარიანტების შესახებ საცდელი გამოსახულებებისათვის მოყვანილია 24-ე ცხრილში.

ცხრილი 24. საცდელი ფერადი გამოსახულებების შემდგენების შესაბამისი ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების ეკონომიური კოდირებისათვის გამოყენებადი ადაპტური კოდირების ვარიანტის ნომრები და შესაბამისი ორობითი საინფორმაციო რიცხვი

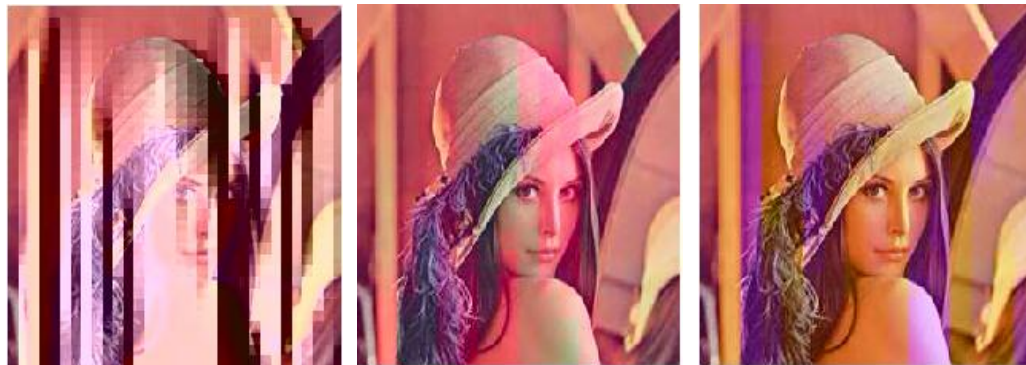
№	გამოსახულებები	Y	C _r	C _b	10-თანრიგა ორობითი რიცხვი	№	გამოსახულებები	Y	C _r	C _b	10-თანრიგა ორობითი რიცხვი
1	“ლენა”	8	2	2	0000000000	16	“გარნიტური”	9	1	1	0000001000
2	“ბიონსე”	8	2	2	0000000000	17	“შროშანი”	9	1	1	0000001000
3	“ბუნება”	7	1	1	0000000001	18	“მთები”	1	5	9	0000001001
4	“ნაგაზი”	10	2	2	0000000010	19	“ტბა”	1	1	1	0000001010
5	“თი-ბი-სი”	9	7	1	0000000011	20	“მაღაზია”	7	1	1	0000000001
6	“კატა”	5	1	1	0000000100	21	“კარუსელი”	3	1	1	0000001011
7	“ციხესიმაგრე”	7	8	7	0000000101	22	“შემოდგომა”	8	1	1	0000001100
8	“ბავშვები”	9	1	2	0000000110	23	“კოშკი”	7	1	1	0000000001
9	“აღუბლები”	9	1	2	0000000110	24	“კოლიზეუმი”	9	2	2	0000001101
10	“კროსი”	10	2	2	0000000010	25	“ტექსტი”	7	7	7	0000001110
11	“ფერმა”	7	1	1	0000000001	26	“ფონი”	1	9	9	0000001111
12	“პარკი”	10	2	2	0000000010	27	“ღრუბელი”	9	1	1	0000001000
13	“კენკრა”	3	10	10	0000000111	28	“მამადავითი”	9	1	1	0000001000
14	“ლაისი”	9	1	1	0000001000	29	“ფუნიკულორი”	9	1	1	0000001000
15	“ზამთარი”	9	1	1	0000001000	30	“ტელეანძა”	9	2	2	0000001101

ცხრილიდან ჩანს, რომ მხოლოდ გამოსახულების “ტბა” კომპრესიისათვისაა მიზანშეწონილი კოდირების არსებული მეთოდის გამოყენება (მისი სამივე შემდგენის კოდირების ვარიანტია 1). ცხრილიდან აგრეთვე ჩანს, რომ ზოგიერთი საცდელი გამოსახულების შემდგენების ადაპტური კოდირებისათვის ერთი და იგივე ვარიანტის გამოყენება გახდა საჭირო. მაგალითად, გამოსახულებების “ლენა” და “ბიონსე” შემდგენებისათვის ადაპტური კოდირების ვარიანტების ნომრებია 8, 2 და 2 (სრული სიგნალისათვის ვარიანტის ნომერი 0, შესაბამისი 10-თანრიგა ორობითი საინფორმაციო რიცხვი 0000000000), გამოსახულებების “ბუნება”, “ფერმა”, “მაღაზია” და “კოშკი” შემდგენებისათვის – 7, 1 და 1 (სრული სიგნალისათვის 1, 0000000001), გამოსახულებების “ნაგაზი”, “კროსი” და “პარკი” შემდგენებისათვის – 10, 2 და 2 (2, 00000000100), გამოსახულებების “ბავშვები” და “ალუბლები” შემდგენებისათვის – 9, 1 და 2 (6, 0000000110), გამოსახულებების “დაისი”, “ზამთარი”, “გარნიტური”, “შროშანი”, “ღრუბელი”, “მამადავითი” და “ფუნუკულორი” შემდგენებისათვის – 9, 1 და 1 (8, 0000001000), ხოლო გამოსახულებების “კოლიზეუმი” და “ტელეანბა” შემდგენებისათვის – 9, 2 და 2 (13, 0000001101).

4.3. შეცდომების გავლენა ტრანსფორმანტების მთავარი სხვაობითი ელემენტების ადაპტური კოდირებისას

გამოსახულებათა სიგნალების ეკონომიური კოდირების ეფექტიანობა ფასდება, აგრეთვე, კომპრესირებული ციფრული სიგნალის ხელშემწამდგრადობით და, შესაბამისად, აღდგენილი გამოსახულების ხარისხით შეცდომების არსებობის პირობებში. შეცდომების გავლენა განსაკუთრებით საგრძნობია საინფორმაციო სიმბოლოების დამახინჯების შემთხვევაში. აღნიშნულიდან გამომდინარე შევაფასოთ გამოსახულებების ხარისხი მათი ადაპტური კოდირების შემთხვევაში, როდესაც დამახინჯდება საინფორმაციო სიმბოლოები. საილუსტრაციოდ მე-17 სურათზე ნაჩვენებია კომპრესირებული გამოსახულება “ლენა” მისი სიკაშკაშის Y და ფერსხვაობითი Cr და Cb შემდგენების მთავარი ელემენტების სხვაობების გამოთვლის მიმართულების შესახებ

ინფორმაციის დამახინჯებისას იმ შემთხვევაში, როდესაც სხვაობების გამოთვლა მოხდება მთავარი ელემენტების შესაბამისი მასივის ჰორიზონტალური (ა) და ვერტიკალური (ბ) მიმართულებით.



Y

C_r

C_b

ა



Y

C_r

C_b

ბ

სურ. 17. შეცდომების გაველენა საინფორმაციო სიმბოლოებზე ტრანსფორმანტების მთავარ ელემენტთა სხვაობების ჰორიზონტალური (ა) და ვერტიკალური (ბ) მიმართულებით გამოთვლისას გამოსახულება “ლენას” მხოლოდ სიკაშკაშის Y და მხოლოდ ფერსხვაობითი C_r ან C_b შემდგენებისათვის

მე-18 სურათზე ილუსტრირებულია ის შემთხვევა, როდესაც ერთდროულად მახინჯდება ინფორმაცია მხოლოდ სიკაშკაშისა Y და ფერსხვაობითი C_r შემდგენების შესახებ, მხოლოდ სიკაშკაშისა Y და ფერსხვაობითი C_b შემდგენების შესახებ და მხოლოდ ფერსხვაობითი C_r და C_b შემდგენების შესახებ მათი მთავარი კოეფიციენტების სხვაობების ჰორიზონტალური (ა) და ვერტიკალური (ბ) მიმართულებით გამოთვლისას.



Y, C_r

Y, C_b

C_r, C_b

ა



Y, C_r

Y, C_b

C_r, C_b

ბ

სურ. 18. შეცდომების გავლენა საინფორმაციო სიმბოლოებზე ტრანსფორმანტების მთავარ ელემენტთა სხვაობების ჰორიზონტალური (ა) და ვერტიკალური (ბ) მიმართულებით გამოთვლისას გამოსახულება “ლენას” მხოლოდ სიკაშკაშის Y და ფერსხვაობითი C_r, მხოლოდ სიკაშკაშის Y და ფერსხვაობითი C_b და მხოლოდ ფერსხვაობითი C_r და C_b შემდგენებისათვის

მე-19 სურათზე ნაჩვენებია ის შემთხვევა, როდესაც ერთდროულად მახინჯდება ინფორმაცია სამივე შემდგენის შესახებ კოდირებისას მათი მთავარი კოეფიციენტების სხვაობების ჰორიზონტალური (ა) და ვერტიკალური (ბ) მიმართულებით გამოთვლისას.



ა



ბ

სურ. 19. შეცდომების გავლენა საინფორმაციო სიმბოლოებზე ტრანსფორმანტების მთავარ ელემენტთა სხვაობების პორიზონტალური (ა) და ვერტიკალური (ბ) მიმართულებით გამოთვლისას გამოსახულება “ლენას” სამივე შემდგენისათვის

უნდა აღინიშნოს, რომ ანალოგიური იქნება აღდგენილი დამახინჯებული გამოსახულებების სურათი მთავარი ელემენტების სხვაობების სკანირების ვარიანტის შესახებ ინფორმაციის დამახინჯებისას.

როგორც წარმოდგენილი სურათებიდან ჩანს, გამოსახულებები განსაკუთრებით მახინჯდება სიკაშკაშის შემდგენის შესახებ ინფორმაციის დამახინჯებისას.

გამოსახულებათა დამახინჯებები შეიძლება თავიდან ავიცილოთ საინფორმაციო სიმბოლოების (ბიტების) რამდენჯერმე (მაგალითად, 3-ჯერ) გამეორების (გადაცემის, შენახვის) შემთხვევაში. მაშინ გამოსახულებათა აღდგენისას (დეკოდირებისას) სამი კომბინაციიდან დავეყრდნობით ორ ერთნაირ (მაღალი ალბათობით დაუმახინჯებელ) კომბინაციას.

4.4. ეკონომიურად კოდირებულ გამოსახულებათა ხარისხის
შეფასება სუბიექტური კრიტერიუმის საფუძველზე

1.3. პარაგრაფში მოყვანილია JPEG და MPEG რეკომენდაციების საფუძველზე კომპრესირებული საცდელი გამოსახულებების (იხ. სურ. 4) ხარისხის ობიექტური შეფასების პარამეტრები. რაც შეეხება მათი ხარისხის სუბიექტურ შეფასებას, იგი ემყარება სუბიექტურ-სტატისტიკური ანალიზით მიღებულ შედეგებს.



ა



ბ



გ



დ



၁



၂



၃



၄



၅



၆



Б



В



Б



В



В



В



㉞



㉟



㊱



㊲



㊳



㊴



в



г



а



б



в



д



წ

ჭ

სურ. 20. ეკონომიურად კოდირებული (კომპრესირებული) საცდელი გამოსახულებები და შესაბამისი კომპრესიის საუკეთესო ფაქტორები (F_c):

“ლენა (ა)” ($F_c=25,577$), “ბიონსე (ბ)” ($F_c=25,989$), “ბუნება (გ)” ($F_c=20,959$), “ნაგაზი (დ)” ($F_c=28,163$), “თი-ბი-სი (ე)” ($F_c=33,311$), ”კატა (ვ)” ($F_c=23,013$), “ციხესიმაგრე (ზ)” ($F_c=23,289$), “ბავშვები (თ)” ($F_c=17,092$), “ალუბლები (ი)” ($F_c=20,473$), “კროსი (კ)” ($F_c=15,091$), ”ფერმა (ლ)” ($F_c=18,849$), “პარკი (მ)” ($F_c=21,251$), “კენკრა (ნ)” ($F_c=14,054$) , ”დაისი (ო)” ($F_c=41,306$), “ზამთარი (პ)” ($F_c=21,407$), “გარნიტური (ჟ)” ($F_c=30,999$), ”კროსი (რ)” ($F_c=16,542$), “მთები (ს)” ($F_c=78,404$), “ტბა (ტ)” ($F_c=37,171$), ”მაღაზია (უ)” ($F_c=20,579$), “კარუსელი (ფ)” ($F_c=25,384$), “შემოდგომა (ქ)” ($F_c=14,348$), ”კოშკი (ღ)” ($F_c=18,957$), “კოლიზეუმი (ყ)” ($F_c=18,310$), “ტექსტი (შ)” ($F_c=36,605$), ”ფონი (ჩ)” ($F_c=148,118$), “ღრუბელი (ც)” ($F_c=58,816$), “მამადავითი (ძ)” ($F_c=33,100$), ”ფუნიკულიორი (წ)” ($F_c=35,775$) და ”ტელეანბა (ჭ)” ($F_c=56,169$)

ნაწილობრივი დანაკარგებით კოდირებული (კომპრესირებული) საცდელი გამოსახულებების (იხ. სურ. 20) ხარისხის შეფასებისათვის სუბიექტური კრიტერიუმების საფუძველზე სადისერტაციო ნაშრომის ფარგლებში გამოყენებული იყო სამი კრიტერიუმი (კრიტერიუმი 1, კრიტერიუმი 2 და კრიტერიუმი 3) , რომელთაგან თითოეულ მათგანს გააჩნია გარკვეული წონითი კოეფიციენტი: გამოსახულების სიმკვეთრეს – 0,3, კონტრასტს – 0,4; შემწნევალობის ზღუდეს – 0,3. თითოეული კრიტერიუმის მიხედვით წარმოდგენილი გამოსახულება ფასდებოდა 7-ბალიანი სისტემით: 7 – ძალიან მაღალი; 6 – მაღალი; 5 – საშუალოზე უკეთესი; 4 – საშუალო; 3 – საშუალოზე უარესი; 2 – ცუდი; 1 – ძალიან ცუდი. აღნიშნული გამოსახულებების ხარისხის საბოლოო შეფასებისათვის ჯერ გამოითვლებოდა ცალკეული კრიტერიუმის მიხედვით შეფასებათა საშუალო მნიშვნელობა და შემდეგ მათი

კრიტერიუმების კოეფიციენტებზე გამრავლებითა და მიღებული შედეგების შეკრებით – საბოლოო შეფასება L [57].

კომპრესირებული (აღდგენილი) გამოსახულებების ხარისხის აღნიშნული მეთოდით შეფასებისას ექსპერიმენტში მონაწილეობდა 7 დამკვირვებელი (მათგან 3 იყო სპეციალისტი), რომლებიც წინასწარ გაეცნენ გაზომვების თავისებურებებს. ექსპერიმენტის ჩატარებისას დამკვირვებლები შესაფასებელი გამოსახულებიდან განლაგდნენ მათი სიმაღლის ექვსჯერ მეტ მანძილზე. გამოსახულებათა მაქსიმალური სიკაშკაშე იყო 40 კდ/მ², ხოლო ოთახის განათებულობა – 100 ლუქსი [57].

ექსპერიმენტი, ინსტრუქტაჟის ჩათვლით, გაგრძელდა ორი საათი. შესაფასებელ გამოსახულებას დამკვირვებლები აკვირდებოდნენ 10 წმ-ის განმავლობაში. შუალედებში კი ეკრანზე დაახლოებით 15 წმ-ის განმავლობაში წარმოდგენილი იყო ეგრეთ წოდებული “ნაცრისფერი ფონი”. აღწერილი მეთოდის საფუძველზე ჩატარებული აღდგენილი გამოსახულებების ხარისხის ექსპერტიზის შედეგები საცდელი გამოსახულებებისათვის წარმოდგენილია 25-ე ცხრილში.

ცხრილი 25. საცდელი კომპრესირებული გამოსახულებების ხარისხის შეფასება სუბიექტურ-სტატისტიკური ანალიზის საფუძველზე

გამოსახუ- ლებები	შემფასებლები																					L
	1			2			3			4			5			6			7			
	კრიტ.			კრიტ.			კრიტ.			კრიტ.			კრიტ.			კრიტ.						
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
“ლენა”	6	7	6	7	7	6	5	7	6	7	6	7	7	7	6	6	6	7	6	7	7	6,5
“ბიონსე”	6	7	7	6	7	6	6	6	7	6	7	7	7	7	7	7	7	6	6	6	7	6,6
“ბუნება”	7	7	7	6	7	7	6	7	6	7	6	6	7	6	7	6	7	7	7	6	6	6,6
“ნაგაზი”	7	6	7	7	7	6	6	7	7	7	7	6	6	7	7	7	6	7	6	7	7	6,7
“თი-ბი-სი”	6	7	7	6	7	7	5	6	7	7	7	7	7	6	6	6	7	7	7	6	7	6,7
“კატა”	7	7	6	7	6	7	6	6	7	6	7	6	7	7	6	6	6	7	7	7	7	6,7
“ციხესიმაგრე”	7	7	7	7	7	6	7	6	6	7	6	7	7	7	7	7	7	6	7	6	7	6,7
“ბაეშვები”	6	7	6	6	7	7	7	7	6	6	7	7	6	7	6	7	6	6	6	7	7	6,6
“აღუბლები”	7	7	7	7	6	7	6	7	7	6	7	6	7	7	6	7	7	7	6	7	7	6,7
“კროსი”	6	6	7	6	7	6	5	6	7	6	7	7	6	7	6	7	6	7	6	7	7	6,5

ცხრილი 25 (გაგრძელება)

“ფერმა”	7	7	6	6	7	6	6	6	7	7	7	6	7	7	7	6	7	7	6	7	6,6	
“პარკი”	7	7	7	7	6	7	7	7	6	7	6	7	6	7	7	7	6	7	7	7	6	6,7
“კენკრა”	6	7	7	6	7	6	6	7	7	7	7	7	6	7	6	7	7	6	6	7	7	6,7
“დაისი”	7	7	7	7	7	7	7	6	7	7	6	6	7	6	7	6	7	7	7	6	7	6,6
“ზამთარი”	6	6	7	6	7	7	6	7	6	7	7	6	6	7	7	5	6	6	6	7	7	6,7
“გარნიტური”	7	7	7	7	6	7	7	6	6	7	7	7	7	6	7	7	6	7	7	6	7	6,5
“შროშანი”	7	6	7	7	6	6	6	7	6	7	6	6	7	7	6	7	7	6	7	7	7	6,6
“მთები”	7	7	7	7	7	7	6	7	7	7	6	7	7	7	7	6	7	7	7	6	7	6,8
“ტბა”	6	7	6	7	6	7	6	7	7	6	7	7	6	7	6	7	6	6	7	7	6	6,5
“მაღაზია”	6	6	7	6	7	6	7	6	7	7	7	6	7	6	7	6	7	7	6	7	7	6,6
“კარუსელი”	7	7	6	7	6	7	7	7	7	6	7	7	6	7	6	7	6	7	7	7	6	6,7
“შემოდგომა”	6	7	7	7	7	6	6	7	7	7	7	6	7	6	6	6	7	6	6	7	7	6,6
“კოშკი”	7	7	6	7	6	7	6	6	7	7	6	6	7	7	6	7	6	7	7	7	7	6,6
“კოლიზეუმი”	7	7	7	6	7	7	7	6	6	6	7	7	7	6	7	6	7	7	7	6	7	6,7
“ტექსტი”	6	7	7	7	7	7	6	7	7	7	6	6	6	7	7	7	6	6	6	7	7	6,6
“ფონი”	7	7	7	7	7	6	7	6	7	7	7	6	7	7	7	6	7	7	7	6	7	6,8
“ღრუბელი”	7	6	7	7	7	7	6	7	7	7	7	7	6	7	7	7	6	7	6	7	6	6,8
“მამადავითი”	6	6	7	7	6	6	6	5	7	7	7	6	7	6	7	7	7	6	7	7	7	6,5
“ფუნიკულორი”	7	6	7	7	7	7	6	7	6	7	6	6	7	7	6	7	6	6	6	7	7	6,6
“ტელეანძა”	6	7	7	6	7	6	6	7	7	7	7	7	6	7	7	6	6	7	7	7	6	6,6

სუბიექტურ-სტატისტიკური ანალიზის მიხედვით კომპრესირებულ გამოსახულებათა ხარისხის შეფასების საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ ყველა 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.

დასკვნები

ძირითადი შედეგები, რომლებიც მიღებულია სამუშაოს თემატიკასთან დაკავშირებით, შემდეგია:

1. ნაჩვენებია, რომ ფერად გამოსახულებათა როგორც სიკაშკაშის, ასევე ფერსხვაობითი შემდგენების შესაბამისი მთავარი დაკვანტული 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 C_r შემდგენის მთავარი ელემენტების სხვაობითი მნიშვნელობებისათვის ენტროპიაა შესაბამისად 3,9 და 3,5 ბიტი ელემენტზე, ხოლო C_b 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 მანქენებლები მნიშვნელოვნად მატულობს და შეადგენს 111,713 ერთეულსა და 24,386 დბ-ს. გამოსახულებისათვის “ალუბლები” შესაბამისი მანქენებლებია 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 სიგნალის 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 შესამეზობელი 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 გაუვნებელყოფის 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 კოდირების შემოთავაზებული ადაპტური მეთოდის მოდელირების საფუძველზე ნაჩვენებია, რომ მათი ტრანსფორმანტების მთავარი ელემენტების ორგანიზაციებიანი 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 კომპრესირებული 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 ექსპერტის 7-ბალიანი სისტემის მაჩვენებელია 6,5 ბალი, რაც მაღალზე (6 ბალზე) მეტია და ძალზე მაღალზე (7 ბალი) ნაკლებია.

18. // , 1983. – . 68-103.
19. , 1982. – 136 .
20. , 1986. – 140 .
21. // δ , 1980. – . 13-14.
22. , 1985, . 73, 4, . 87-107.
23. , 1985, . 61-63. , . 28, 5, , 1985, . 61-63.
24. // , 1985, . 73, 4, . 87-107.
25. Kharatishvili N. G., Zumburidze O.G., Gurgenidze Z.A. Image vector quantization//Sig. Proc/International Conference. – Riga. April, 1990–pp. 24-26.
26. , 1992. – 88 .
27. Ding Chengjun, Zumburidze o. g. Fast algoritms in TV image vector quantization//International Conference on Communication Technology//Beijing, China, 1992.
28. Kharatishvili N. G., Ronsin J., Chkheidze I. M., Diynova V. G., Abzianidze N. E. Orthogonal and Non orthogonal Methods of the Pyramid Coding of TV Signals in Satellite Communication// Russian CIS and East European Authors ISFOC-93, St. Petersburg, Russia, 1993. –pp. 20-28.
29. , 1996. – 192 .
30. , 1981. – 240 .
31. / , 1980–263 .
32. // , 1972, . 60, . 69-83.
33. / , 1990. – 528 .
34. Feig E.N., Linzer E. Discrete Cosine Transform Algoritms for Image Data Compression// Proceedings Electronic Imaging '90 East. – Boston, MA, 1990. – pp. 84-87.

35. , 1972, 3, . 30-56.
36. : . - , 1980, . 68, 3, . 76-124.
37. / - ო , ო. , 2000, . 205-207.
38. ვ. აბულაძე. უოლშის გარდასახვა და მისი ნაირსახეობა / სტუ-ს სამეცნიერო შრომების კრებული № 4(428), თბილისი, 1999, გვ. 106-110.
39. - , 1972, 7, . 27-35.
40. " " , 5. . - , 1998.
41. ლ. ხუნწარია, ვ. აბულაძე, ჯ. ხუნწარია. უოლშის გარდასახვის მასივში სიმბოლოთა განლაგების თავისებურებანი/ მეცნიერება და ტექნოლოგიები № 4-6, თბილისი, 2005. – გვ. 62–66.
42. 1 2. - .: , 1982. – 790 .
43. - , 1971, . 59, 11, . 59-89.
44. ხუნწარია ლ. ჯ., გოგბერაშვილი მ. რ. გამოსახულებათა კოდირების პრინციპები წრფივი გარდასახვების საფუძველზე. საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი “ინტელექტუალი” №11, თბილისი, 2009, გვ. 165-168.
45. Gu C., Kunt M. Contour image sequence coding by motion compensation and morphological filtering . Annual Report R 2053/ UPC/GPC/AR/R/002/b1-1993 of the Morpheco project. – August 1993. – pp. 12-15.
46. // , , 1988. – . 66-70.
47. - .: , 1980. – 248 .

48. . . . , 2- – ო ო, 2003. – 1104 .
49. ხუნწარია ჯ. მ., გოგბერაშვილი მ. რ., ჯღამაძე მ. ს., მახალაძე 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.
50. ხუნწარია ჯ. მ., ჯღამაძე მ. ს., გოგბერაშვილი მ. რ., მახალაძე 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.
51. 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.
52. ხუნწარია ჯ. მ., მახალაძე რ. ი. დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის ტრანსფორმანტების დაკვანტვის მატრიცები. *Georgian Engineering News (GEN) No.1 (vol. 61)*, Tbilisi, 2012, pp. 21-27.
53. ჯ. ხუნწარია, მ. გოგბერაშვილი, რ. მახალაძე, 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.
54. ხუნწარია ჯ. მ., ჯღამაძე მ. ს., გოგბერაშვილი მ. რ., მახალაძე 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.
55. 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.
56. გოგბერაშვილი მ. მონაცემთა ორგანზომილებიანი მასივის სკანირების ვარიანტები. – თბილისი, სტუ, “*განათლება*” №1 (4), 2012, გვ. 240-244.
57. Zprava CCIR XI/c. 405-4: Subjective Assessment of the Quality of Television Pictures. – Geneva, 1982.

დანართი 1. გამოსახულებათა კომპრესიის ალგორითმის მოდელირების პროგრამა დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის საფუძველზე

მაქსიმუმი **N=256** **P := 1**

$$q := 1 \dots N - 1 \quad p := 0 \dots N - 1$$

$$DCP_{0,p} := \frac{1}{\sqrt{N}} \quad \frac{1}{\sqrt{N}} = 0.354$$

$$DCP_{q,p} := \sqrt{\frac{2}{N}} \cos \left[\frac{(2 \cdot p + 1) \cdot q \cdot \pi}{2 \cdot N} \right]$$

$$DCP = \begin{pmatrix} 0.354 & 0.354 & 0.354 & 0.354 & 0.354 & 0.354 & 0.354 & 0.354 \\ 0.49 & 0.416 & 0.278 & 0.098 & -0.098 & -0.278 & -0.416 & -0.49 \\ 0.462 & 0.191 & -0.191 & -0.462 & -0.462 & -0.191 & 0.191 & 0.462 \\ 0.416 & -0.098 & -0.49 & -0.278 & 0.278 & 0.49 & 0.098 & -0.416 \\ 0.354 & -0.354 & -0.354 & 0.354 & 0.354 & -0.354 & -0.354 & 0.354 \\ 0.278 & -0.49 & 0.098 & 0.416 & -0.416 & -0.098 & 0.49 & -0.278 \\ 0.191 & -0.462 & 0.462 & -0.191 & -0.191 & 0.462 & -0.462 & 0.191 \\ 0.098 & -0.278 & 0.416 & -0.49 & 0.49 & -0.416 & 0.278 & -0.098 \end{pmatrix}$$

გამოსახულებათა სახელები

- | | |
|-------------|------------|
| ლენა | გარნიტური |
| ბიონსე | შრომანი |
| ბუნება | მთები |
| ნაგაზი | ტბა |
| თი-ბი-სი | მაღაზია |
| კატა | კარუსელი |
| ციხესიმაგრე | შემოდგომა |
| ბავშვები | კოშკი |
| ალუბლები | კოლიზეუმი |
| კროსი | ტექსტი |
| ფერმა | ფონი |
| პარკი | ღრუბელი |
| კენკრა | მამადავითი |
| დაისი | ფუნქულორი |
| ზამთარი | ტელეანმა |

ჩაწერეთ გამოსახულების
სახელი --

სახელი = დაისი

დანართი 1 (გაგრძელება)

$D := \text{READRGB}(\text{name})$ $\text{cols}(D) = 768$ $\text{rows}(D) = 256$

$$w := \frac{\text{cols}(D)}{3}$$

$$w = 256$$

$\text{rhik} := \text{submatrix}(D, 0, \text{rows}(D) - 1, 0, w - 1)$

$\text{ghik} := \text{submatrix}(D, 0, \text{rows}(D) - 1, w, 2 \cdot w - 1)$

$\text{bhik} := \text{submatrix}(D, 0, \text{rows}(D) - 1, 2 \cdot w, 3 \cdot w - 1)$



$\text{rhik}, \text{ghik}, \text{bhik}$



$\text{ghik}, \text{rhik}, \text{bhik}$



$\text{rhik}, \text{ghik}, \frac{\text{bhik}}{2}$



$\text{bhik}, \text{ghik}, \text{rhik}$

დანართი 1 (გაგრძელება)

	0	1	2	3	4	5	6
0	225	225	226	226	227	226	226
1	225	225	225	226	226	224	224
2	227	227	228	227	227	226	224
3	225	225	226	226	226	225	223
4	226	226	226	226	228	228	227
rhik = 5	225	225	225	225	227	227	227
6	227	226	226	226	226	226	226
7	227	227	226	226	226	226	225
8	227	226	226	226	227	227	227
9	226	226	225	226	227	227	227
10	224	224	224	225	226	226	226
11	224	224	224	225	226	227	...

	0	1	2	3	4	5	6
0	135	135	136	136	137	136	134
1	135	135	135	136	136	134	132
2	136	136	135	134	134	133	131
3	134	134	133	133	133	132	130
4	131	131	131	131	131	131	131
ghik = 5	130	130	130	130	130	130	131
6	131	130	130	130	130	130	130
7	131	131	130	130	130	130	129
8	131	130	130	130	131	131	131
9	130	130	129	130	131	131	131
10	129	129	129	130	132	132	132
11	129	129	129	130	132	133	...

bhik

$ENTR_MPAR(HMPAR(rhik)) = 7.3$

$\min(rhik) = 44$
 $\max(rhik) = 255$

$ENTR_MPAR(HMPAR(ghik)) = 7.6$

$\min(ghik) = 0$
 $\max(ghik) = 239$

	0	1	2	3	4	5	6
0	124	124	125	125	126	125	121
1	124	124	124	125	125	123	119
2	118	118	120	119	119	118	113
3	116	116	118	118	118	117	112
4	111	111	111	111	112	112	109
bhik = 5	110	110	110	110	111	111	109
6	109	108	108	108	106	106	106
7	109	109	108	108	106	106	105
8	109	108	108	108	107	107	107
9	108	108	107	108	107	107	107
10	111	111	107	108	107	107	107
11	111	111	107	108	107	108	...

$ENTR_MPAR(HMPAR(bhik)) = 7$

$\min(bhik) = 14$
 $\max(bhik) = 226$

დანართი 1 (გაგრძელება)

სიკაშკაშის სიგნალი

$$Ibw = 0.2989 rhik + 0.5866 ghik + 0.1145 bhik$$

$$\text{rows}(Ibw) = 256$$

$$\text{cols}(Ibw) = 256$$

$$\max(Ibw) = 238.436$$

$$\min(Ibw) = 5.059$$

$$Y := \begin{cases} \text{for } l \in 0 \dots 255 \\ \quad \text{for } k \in 0 \dots 255 \\ \quad \quad A_{k,l} \leftarrow \text{round}(Ibw_{k,l}) \end{cases} \quad A$$



Y *ფერსხვაობითი სიგნალები*

$$Iy_r := 0.5rhik1 - 0.4184 ghik1 - 0.0816 bhik1$$

$$Iy_b := -0.1688 rhik1 - 0.3312 ghik1 + 0.5bhik1$$

ფერსხვაობითი სიგნალების დეციმაცია

$$md2 := 0 \dots 127 \quad nd2 := 0 \dots 127$$

$$DIy_rd2_{md2, nd2} := Iy_r_{2 \cdot md2, 2 \cdot nd2} \quad DIy_bd2_{md2, nd2} := Iy_b_{2 \cdot md2, 2 \cdot nd2}$$

$$Cr := \begin{cases} \text{for } l \in 0 \dots 127 \\ \quad \text{for } k \in 0 \dots 127 \\ \quad \quad A_{k,l} \leftarrow \text{round}(DIy_rd2_{k,l}) \end{cases} \quad A$$

$$Cb := \begin{cases} \text{for } l \in 0 \dots 127 \\ \quad \text{for } k \in 0 \dots 127 \\ \quad \quad A_{k,l} \leftarrow \text{round}(DIy_bd2_{k,l}) \end{cases} \quad A$$

ორიგინალური გამოსახულება



rhik1 , ghik1 , bhik1

დანართი 1 (გაგრძელება)

ტრანსფორმანტების დაკვანტვის მატრიცები

სიკაშკაშის შემდგენისათვის

$$QW_y := P \begin{pmatrix} 16 & 11 & 10 & 16 & 24 & 40 & 51 & 61 \\ 12 & 12 & 14 & 19 & 26 & 58 & 60 & 55 \\ 14 & 13 & 16 & 24 & 40 & 57 & 69 & 56 \\ 14 & 17 & 22 & 29 & 51 & 87 & 80 & 62 \\ 18 & 22 & 37 & 56 & 68 & 109 & 103 & 77 \\ 24 & 35 & 55 & 64 & 81 & 104 & 113 & 92 \\ 49 & 64 & 78 & 87 & 103 & 121 & 120 & 101 \\ 72 & 92 & 95 & 98 & 112 & 100 & 103 & 99 \end{pmatrix}$$

ფერსხვაობითი შემდგენებისათვის

$$QWCrb := \begin{pmatrix} 17 & 18 & 24 & 47 & 99 & 99 & 99 & 99 \\ 18 & 21 & 26 & 66 & 99 & 99 & 99 & 99 \\ 24 & 26 & 56 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 \\ 47 & 66 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 \\ 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 \\ 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 \\ 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 \\ 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 \end{pmatrix}$$

კოდირება

დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის ტრანსფორმანტების გამოთვლა სიკაშკაშის Y შემდგენისათვის

NMAT := DCP

NMAT1 := DCP1

```

R1(Y) :=
  for k ∈ 0 .. round( (rows(Y)) / im ) - 1
    for l ∈ 0 .. round( (cols(Y)) / jm ) - 1
      MZ1 ← submatrix[Y, im·k, im·k + (im - 1), jm·l, jm·l + (jm - 1)]
      A ← (NMAT·MZ1·NMATT) / NC1
      for i ∈ 0 .. im - 1
        for j ∈ 0 .. jm - 1
          WMim·k+i, jm·l+j ← round( (Ai,j) / (QWyi,j) )
  WM
  
```

დანართი 1 (გაგრძელება)

დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის ტრანსფორმანტების გამოთვლა
ფერსხვაობითი Cr შემდგენისათვის

NMAT:= DCP

R2(Cr) :=

PIC ← Cr	NMAT1:= DCP1
for k ∈ 0 .. round($\frac{\text{rows}(Cr)}{\text{im}}$) - 1	
for l ∈ 0 .. round($\frac{\text{cols}(Cr)}{\text{jm}}$) - 1	
MZ2 ← submatrix[Cr, im·k, im·k + (im - 1), jm·l, jm·l + (jm - 1)]	
A ← $\frac{(\text{NMAT1} \cdot \text{MZ2} \cdot \text{NMAT1}^T)}{\text{NC2}}$	
for i ∈ 0 .. im - 1	
for j ∈ 0 .. jm - 1	
WM16 _{im·k+i, jm·l+j} ← round($\frac{A_{i,j}}{\text{QWCrb}_{i,j}}$)	
WM16	

დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის ტრანსფორმანტების გამოთვლა
ფერსხვაობითი Cb შემდგენისათვის

R3(Cb) :=

PIC ← Cb	
for k ∈ 0 .. round($\frac{\text{rows}(Cb)}{\text{im}}$) - 1	
for l ∈ 0 .. round($\frac{\text{cols}(Cb)}{\text{jm}}$) - 1	
MZ3 ← submatrix[Cb, im·k, im·k + (im - 1), jm·l, jm·l + (jm - 1)]	
A ← $\frac{(\text{NMAT1} \cdot \text{MZ3} \cdot \text{NMAT1}^T)}{\text{NC3}}$	
for i ∈ 0 .. im - 1	
for j ∈ 0 .. jm - 1	
WM16 _{im·k+i, jm·l+j} ← round($\frac{A_{i,j}}{\text{QWCrb}_{i,j}}$)	
WM16	

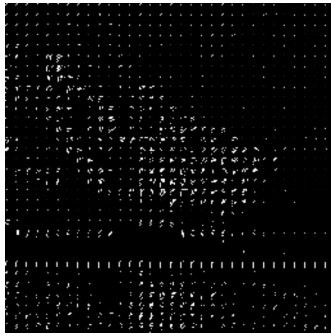
FY:= R1(Y)

FCr:= R2(Cr)

FCb:= R3(Cb)

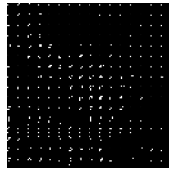
დანართი 1 (გაგრძელება)

cols (FY) = 256
rows(FY) = 256



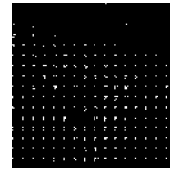
FY

cols (FCr) = 128
rows(FCr) = 128



FCr

cols (FCb) = 128
rows(FCb) = 128



FCb

FY=

	0	1	2	3
0	37	-1	0	0
1	-1	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	39	-1	0	0
9	-1	0	0	0
10	0	0	0	...

FCr=

	0	1	2	3	4
0	17	0	0	0	0
1	-1	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0
8	20	0	0	0	0
9	-1	0	0	0	0
10	0	0	0	0	...

FCb=

	0	1	2	3
0	9	0	0	0
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	8	0	0	0
9	1	0	0	0
10	0	0	0	...

დეკოდირება

სიკაშკაშის Y შემდგენის აღდგენა

```

IMPIC1(RDY_name, nam1) :=
  for k ∈ 0 .. round( (rows(RDY_name) / im) ) - 1
  for l ∈ 0 .. round( (cols(RDY_name) / jm) ) - 1
  MZ1 ← submatrix[RDY_name, im·k, im·k + (im - 1), jm·l, jm·l + (jm - 1)]
  for i ∈ 0 .. im - 1
  for j ∈ 0 .. jm - 1
  Ai,j ← MZ1i,j · QWyi,j
  B ←  $\frac{N^2 \cdot [N\text{MATI}^{-1} \cdot A \cdot (N\text{MATI}^T)^{-1}]}{1} \cdot \text{CNN1}$ 
  for i ∈ 0 .. im - 1
  for j ∈ 0 .. jm - 1
  WMim·k+i, jm·l+j ← min(nam1) if Bi,j ≤ min(nam1)
  WMim·k+i, jm·l+j ← max(nam1) if Bi,j ≥ max(nam1)
  WMim·k+i, jm·l+j ← round(Bi,j) otherwise
  WM
  
```

ფერსხვაობითი Cr შემდგენის აღდგენა

```

IMPIC2(RDCr_name, nam1) :=
  for k ∈ 0 .. round( (rows(RDCr_name) / im) ) - 1
  for l ∈ 0 .. round( (cols(RDCr_name) / jm) ) - 1
  MZ2 ← submatrix[RDCr_name, im·k, im·k + (im - 1), jm·l, jm·l + (jm - 1)]
  for i ∈ 0 .. im - 1
  for j ∈ 0 .. jm - 1
  Ai,j ← MZ2i,j · (QWCrb)i,j
  B ←  $\frac{N^2 \cdot [N\text{MATI}^{-1} \cdot A \cdot (N\text{MATI}^T)^{-1}]}{1} \cdot \text{CNN2}$ 
  for i ∈ 0 .. im - 1
  for j ∈ 0 .. jm - 1
  WMim·k+i, jm·l+j ← min(nam1) if Bi,j ≤ min(nam1)
  WMim·k+i, jm·l+j ← max(nam1) if Bi,j ≥ max(nam1)
  WMim·k+i, jm·l+j ← round(Bi,j) otherwise
  WM
  
```

დანართი 1 (გაგრძელება)

ფერსხვაობითი Cb შემდგენის ალგენა

```

IMPIC3(RDCb_name, nam1) :=
  for k ∈ 0 .. round( $\frac{\text{rows}(\text{RDCb\_name})}{\text{im}}$ ) - 1
  for l ∈ 0 .. round( $\frac{\text{cols}(\text{RDCb\_name})}{\text{jm}}$ ) - 1
  |
  MZ3 ← submatrix[RDCb_name, im·k, im·k + (im - 1), jm·l, jm·l + (jm - 1)]
  for i ∈ 0 .. im - 1
  for j ∈ 0 .. jm - 1
  |
  Ai,j ← MZ3i,j · (QWCrb)i,j
  B ←  $\frac{N^2 \cdot [(\text{NMAT1})^{-1} \cdot A \cdot (\text{NMAT1}^T)^{-1}]}{1} \cdot \text{CNN3}$ 
  for i ∈ 0 .. im - 1
  for j ∈ 0 .. jm - 1
  |
  WMim·k+i, jm·l+j ← min(nam1) if Bi,j ≤ min(nam1)
  WMim·k+i, jm·l+j ← max(nam1) if Bi,j ≥ max(nam1)
  WMim·k+i, jm·l+j ← round(Bi,j) otherwise
  WM
  
```

IM_Y := IMPIC1(FY, Y)

IM_Cr := IMPIC2(FCr, Cr)

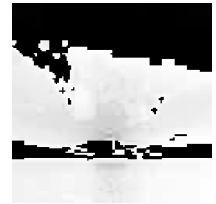
IM_Cb := IMPIC3(FCb, Cb)



IM_Y



IM_Cr



IM_Cb

ფერსხვაობითი სიგნალების ინტერპოლაცია

$m2 := 0 .. 253$ $n2 := 0 .. 253$

$$LOIred_{m2, n2} := \frac{1}{9} \cdot \sum_{c=0}^2 \sum_{v=0}^2 IM_Cr_{\text{floor}\left(\frac{m2+c}{2}\right), \text{floor}\left(\frac{n2+v}{2}\right)}$$

$M1^{(0)} := LOIred^{(253)}$ $cols(LOIred) = 254$ $rows(LOIred) = 254$

$M2 := \text{augment}(LOIred, M1)$

$cols(M2) = 255$

$M3 := \text{submatrix}(M2, 253, 253, 0, 254)$

$M4 := \text{stack}(M2, M3)$

$cols(M4) = 255$ $rows(M4) = 255$

$L1^{(0)} := M4^{(254)}$

$L2 := \text{augment}(M4, L1)$

$cols(L2) = 256$

$L3 := \text{submatrix}(L2, 254, 254, 0, 255)$

$L4red := \text{stack}(L2, L3)$

$cols(L4red) = 256$ $rows(L4red) = 256$

$m2 := 0 .. 253$ $n2 := 0 .. 253$

$$LOIblo_{m2, n2} := \frac{1}{9} \cdot \sum_{c=0}^2 \sum_{v=0}^2 IM_Cb_{\text{floor}\left(\frac{m2+c}{2}\right), \text{floor}\left(\frac{n2+v}{2}\right)}$$

$M1^{(0)} := LOIblo^{(253)}$ $cols(LOIblo) = 254$ $rows(LOIblo) = 254$

$M2 := \text{augment}(LOIblo, M1)$

$cols(M2) = 255$

$M3 := \text{submatrix}(M2, 253, 253, 0, 254)$

$M4 := \text{stack}(M2, M3)$

$cols(M4) = 255$ $rows(M4) = 255$

$L1^{(0)} := M4^{(254)}$

$L2 := \text{augment}(M4, L1)$

$cols(L2) = 256$

$L3 := \text{submatrix}(L2, 254, 254, 0, 255)$

$L4blo := \text{stack}(L2, L3)$

$cols(L4blo) = 256$ $rows(L4blo) = 256$

დანართი 1 (გაგრძელება)

გამოსახულების ფერთი R, G, B შემდგენების შესაბამისი სიგნალების აღდგენა

$$Ir := \frac{(IM_Y + 1.4020076 L4red)}{0.9999038}$$

$$Ib := \frac{(IM_Y + 1.7707345 L4blo)}{0.999867}$$

$$Ig := \frac{(0.836698 IM_Y - 0.5978 L4red - 0.2891646 L4blo)}{0.8367195}$$

```
Fr := | for i ∈ 0 .. 255
      |   for k ∈ 0 .. 255
      |     Ak,i ← round(Irk,i)
      | A
```

```
Fb := | for i ∈ 0 .. 255
      |   for k ∈ 0 .. 255
      |     Ak,i ← round(Ibk,i)
      | A
```

```
Fg := | for i ∈ 0 .. 255
      |   for k ∈ 0 .. 255
      |     Ak,i ← round(Igk,i)
      | A
```

image := augment(Fr, augment(Fg, Fb))

image01 := augment(Fr)

image02 := augment(Fg)

image03 := augment(Fb)



image01



image02

დანართი 1 (გაგრძელება)



image03

$$w := \frac{\text{cols}(\text{image})}{3}$$

rh := submatrix (image , 0 , rows (image) - 1 , 0 , w - 1)

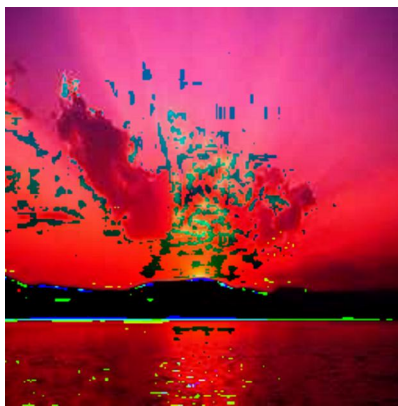
gh := submatrix (image , 0 , rows (image) - 1 , w , 2 · w - 1)

bh := submatrix (image , 0 , rows (image) - 1 , 2 · w , 3 · w - 1)

IM := 0.2989 Fr + 0.5866 Fg + 0.1145 Fb

IMPIC := $\left\{ \begin{array}{l} \text{for } l \in 0 .. 255 \\ \quad \text{for } k \in 0 .. 255 \\ \quad \quad A_{k,l} \leftarrow \text{round}(IM_{k,l}) \\ \quad A \end{array} \right.$

image1 := augment (Fr , augment (Fg , Fb))



Fr, Fg, Fb

დანართი 1 (გაგრძელება)

აღდგენილი უარყოფითი მნიშვნელობების განულება

$$\text{Obnul}(\text{nameMt}) := \begin{cases} \text{for } i \in 0 \dots \text{rows}(\text{nameMt}) - 1 \\ \quad \text{for } j \in 0 \dots \text{cols}(\text{nameMt}) - 1 \\ \quad \quad \begin{cases} K_{i,j} \leftarrow 0 & \text{if } \text{nameMt}_{i,j} < 0 \\ K_{i,j} \leftarrow \text{nameMt}_{i,j} & \text{otherwise} \end{cases} \\ K \end{cases}$$

$\text{FrObnul} := \text{Obnul}(\text{Fr})$

$\text{FgObnul} := \text{Obnul}(\text{Fg})$

$\text{FbObnul} := \text{Obnul}(\text{Fb})$

$\text{image2} := \text{augment}(\text{FrObnul}, \text{augment}(\text{FgObnul}, \text{FbObnul}))$

$\text{image11} := \text{augment}(\text{FrObnul})$

$\text{image12} := \text{augment}(\text{FgObnul})$

$\text{image13} := \text{augment}(\text{FbObnul})$



image11



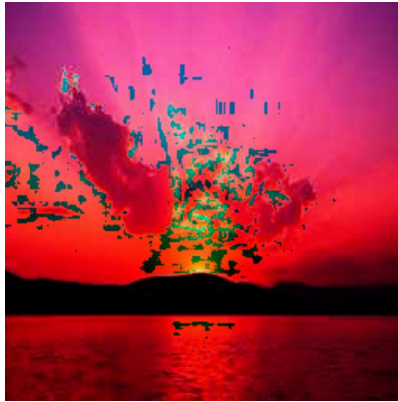
image12



image13

დანართი 1 (გავრძელება)

image1 := augment(Fr, augment(Fg, Fb))



FrObnul, FgObnul, FbObnul



rhik1 , ghik1 , bhik1

იმ ალგენილი მნიშვნელობების გატოლება 255. თან, რომლებიც აღემატებიან 255. ს

$$\text{Ob255}(\text{nameMt}) := \begin{cases} \text{for } i \in 0 \dots \text{rows}(\text{nameMt}) - 1 \\ \quad \text{for } j \in 0 \dots \text{cols}(\text{nameMt}) - 1 \\ \quad \quad \left| \begin{array}{l} K_{i,j} \leftarrow 255 \text{ if } \text{nameMt}_{i,j} > 255 \\ K_{i,j} \leftarrow \text{nameMt}_{i,j} \text{ otherwise} \end{array} \right. \\ \quad \quad \quad K \end{cases}$$

FrOb255 := Ob255(FrObnul)

FgOb255 := Ob255(FgObnul)

FbOb255 := Ob255(FbObnul)

image21 := augment(FrOb255)

image22 := augment(FgOb255)

image23 := augment(FbOb255)



image21



image22

დანართი 1 (გაგრძელება)



image23

$$\text{IMOb255} := 0.2989 \text{ FrOb255} + 0.5866 \text{ FgOb255} + 0.1145 \text{ FbOb255}$$

```

IMPICOb255:=
  for l ∈ 0 .. 255
    for k ∈ 0 .. 255
      Ak,l ← round(IMOb255k,l)
  A

```

$$\text{imageObn255} := \text{augment}(\text{FrOb255}, \text{augment}(\text{FgOb255}, \text{FbOb255}))$$

$$\max(\text{imageObn255}) = 255 \quad \min(\text{imageObn255}) = 0$$



FrOb255, FgOb255, FbOb255

აღდგენილი
გამოსახულება

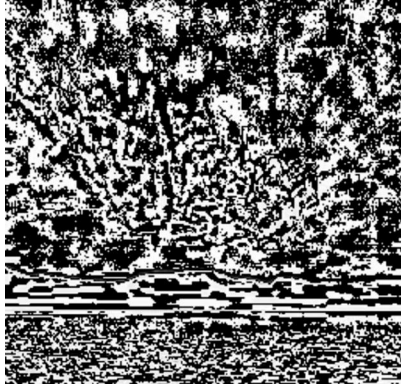
IMPICOb255

$$\text{cols}(\text{IMPICOb255}) = 256 \quad \text{rows}(\text{IMPICOb255}) = 256$$

ცდომილებების შეფასება

`ERROR0 := augment(rhik1 , ghik1 , bhik1) – augment(FrOb255, FgOb255, FbOb255)`

`error := augment(ERROR0)`



`error`
`ERROR1 := Y – IMPICOb255`

`image4 := augment(ERROR1)`

აღდგენილ გამოსახულებათა ცდომილებების შეფასება

rms - კვადრ. ფესვი საშუალოკვადრატული ცდომილებიდან

mpe - საშუალოკვადრატული ცდომილება

nsg - ნორმირებული საშუალოკვადრატული ცდომილება

SNR - სიგნალ/ხმაურის ფარდობა

PSNR - პიკური სიგნალ/ხმაურის ფარდობა

გამოსახულების სიკაშკაშის Y
შემდგენისათვის

Y

`rms(Y, IMPICOb255) = 3.5433563`

`mpe(Y, IMPICOb255) = 12.5553741`

`nsg(Y, IMPICOb255) = 0.0338631`

`SNR(Y, IMPICOb255) = 29.4054623`

`PSNR(Y, IMPICOb255) = 37.1765027`

დანართი 1 (გაგრძელება)

გამოსახულების ფერსხვაობითი **Cr** და **Cb** შემდგენებისათვის

$\text{rms}(\text{Cr}, \text{IM_Cr}) = 4.2610509$	$\text{rms}(\text{Cb}, \text{IM_Cb}) = 2.6389776$
$\text{mpe}(\text{Cr}, \text{IM_Cr}) = 36.3131104$	$\text{mpe}(\text{Cb}, \text{IM_Cb}) = 13.9284058$
$\text{naskg}(\text{Cr}, \text{IM_Cr}) = 0.0857102$	$\text{naskg}(\text{Cb}, \text{IM_Cb}) = 0.18701$
$\text{SNR}(\text{Cr}, \text{IM_Cr}) = 21.3393503$	$\text{SNR}(\text{Cb}, \text{IM_Cb}) = 14.5627041$
$\text{PSNR}(\text{Cr}, \text{IM_Cr}) = 26.5435649$	$\text{PSNR}(\text{Cb}, \text{IM_Cb}) = 30.7051853$

სრული ფერადი **D** გამოსახულებისათვის
RGB

$\text{rms}(\text{D}, \text{imageObn255}) = 7.5212501$
$\text{mpe}(\text{D}, \text{imageObn255}) = 56.5692037$
$\text{naskg}(\text{D}, \text{imageObn255}) = 0.0568761$
$\text{SNR}(\text{D}, \text{imageObn255}) = 24.9014041$
$\text{PSNR}(\text{D}, \text{imageObn255}) = 35.4102112$

დანართი 2. დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის მთავარი ელემენტების ადაპტური კოდირების ალგორითმის მოდელირების პროგრამა

სიგნალის სიკაშკაშის γ შემდგენის მთავარი კოეფიციენტების სხვაობათა გამოთვლა

$$QW := \begin{pmatrix} 100000 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

$$R4(FY) := \begin{array}{l} \text{for } k \in 0 \dots \text{round}\left(\frac{\text{rows}(FY)}{\text{im}}\right) - 1 \\ \quad \text{for } l \in 0 \dots \text{round}\left(\frac{\text{cols}(FY)}{\text{jm}}\right) - 1 \\ \quad \quad \text{MZ1} \leftarrow \text{submatrix}[FY, \text{im} \cdot k, \text{im} \cdot k + (\text{im} - 1), \text{jm} \cdot l, \text{jm} \cdot l + (\text{jm} - 1)] \\ \quad \quad \text{A} \leftarrow \text{MZ1} \\ \quad \quad \text{for } i \in 0 \dots \text{im} - 1 \\ \quad \quad \quad \text{for } j \in 0 \dots \text{jm} - 1 \\ \quad \quad \quad \quad \text{WM}_{\text{im} \cdot k + i, \text{jm} \cdot l + j} \leftarrow \text{round}\left(\frac{A_{i,j}}{QW_{i,j}}\right) \end{array}$$

WM

$$FY3 := R4(FY)$$

$$\text{md8} := 0 \dots 31 \quad \text{nd8} := 0 \dots 31$$

$$DFY2d8_{\text{md8}, \text{nd8}} := FY_{8 \cdot \text{md8}, 8 \cdot \text{nd8}}$$

$$FY00 := \begin{array}{l} \text{for } k \in 0 \dots 31 \\ \quad \text{for } l \in 0 \dots 31 \\ \quad \quad A_{k,l} \leftarrow \text{round}(DFY2d8_{k,l}) \end{array}$$

A

$$\min(FY00) = 4$$

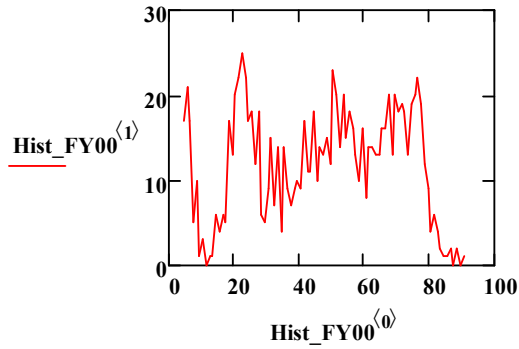
$$\text{CorrX}(FY00 + 1) = 0.99399 \quad \text{CorrY}(FY00) = 1 \cdot \text{CorrX}(FY00^T)$$

$$\text{CorrY}(FY00 + 1) = 0.97948$$

```

SFY000 :=
  for k ∈ 0..31
  for l ∈ 0..31
    Bk,l ← FY00k,l if k = l = 0
    Bk,l ← 0 otherwise
  B
  
```

Hist_FY00 := HMPAR(FY00)



ENTR_MPAR(Hist_FY00) = 6.15505

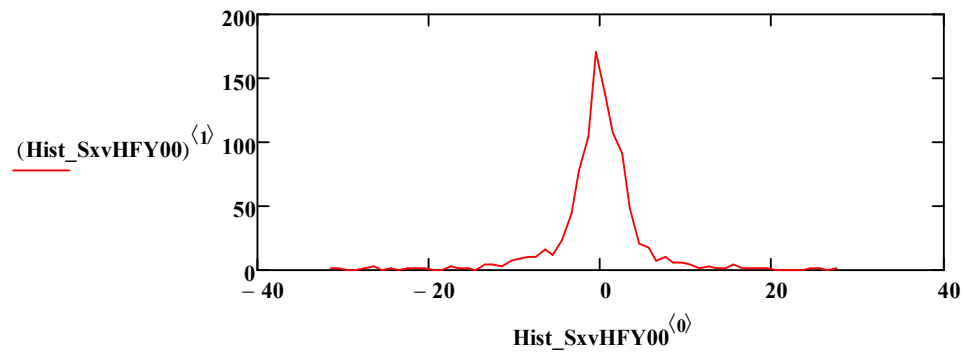
md8 := 0..31 nd8 := 0..30

SxvHFY00_{md8,nd8} := (FY00_{md8,nd8} - FY00_{md8,nd8+1})

md8 := 0..30 nd8 := 0..31

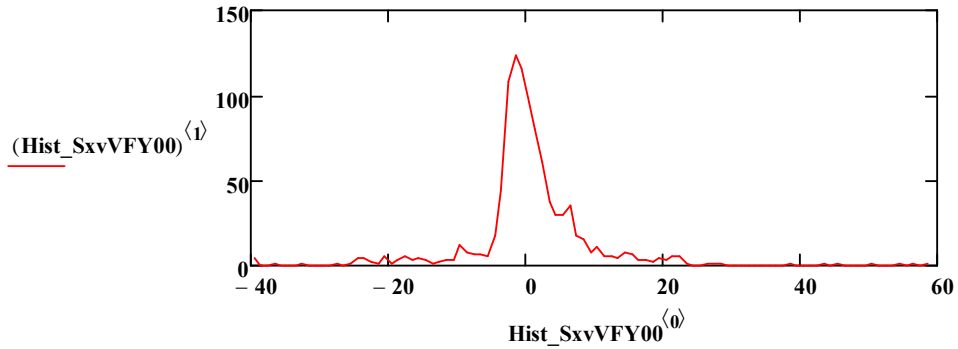
SxvVFY00_{md8,nd8} := (FY00_{md8,nd8} - FY00_{md8+1,nd8})

Hist_SxvHFY00 := HMPAR(SxvHFY00)



ENTR_MPAR(Hist_SxvHFY00) = 3.996

Hist_SxvVfY00:= HMPAR(SxvVfY00)



ENTR_MPARHist_SxvVfY00 = 4.496

md8 := 0 .. 31

nd8 := 0 .. 30

SxvHFY00_{md8,nd8} := (FY00_{md8,nd8} - FY00_{md8,nd8+1})

md8 := 0 .. 30 nd8 := 0 .. 31

SxvVfY00_{md8,nd8} := (FY00_{md8,nd8} - FY00_{md8+1,nd8})

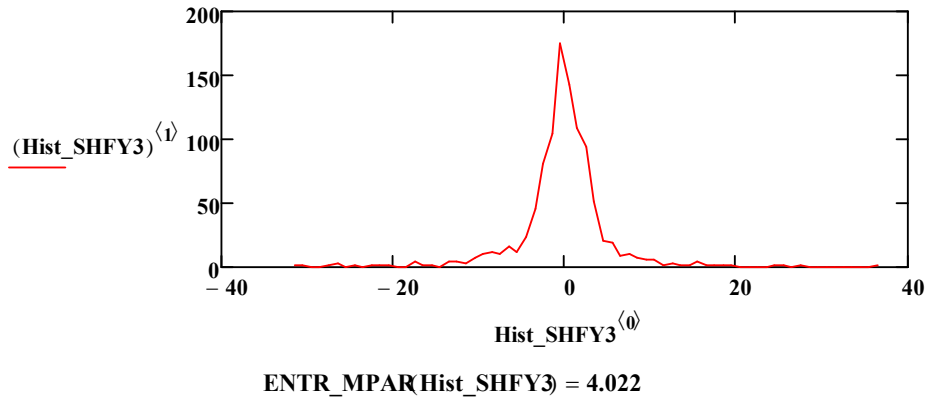
$\text{SHFY1} := \left \begin{array}{l} \text{for } k \in 0..31 \\ \quad \text{for } l \in 0..31 \\ \quad \quad \left \begin{array}{l} B_{k,l} \leftarrow \text{SxvHFY00}_{k,l-1} \text{ if } l > 0 \\ B_{k,l} \leftarrow 0 \text{ if } l = 0 \end{array} \right. \\ B \end{array} \right.$	$\text{SVFY1} := \left \begin{array}{l} \text{for } k \in 0..31 \\ \quad \text{for } l \in 0..31 \\ \quad \quad \left \begin{array}{l} B_{k,l} \leftarrow \text{SxvVfY00}_{k-1,l} \text{ if } k > 0 \\ B_{k,l} \leftarrow 0 \text{ if } k = 0 \end{array} \right. \\ B \end{array} \right.$
---	---

$\text{SHFY2} := \left \begin{array}{l} \text{for } k \in 0..31 \\ \quad \text{for } l \in 0..31 \\ \quad \quad \left \begin{array}{l} B_{k,l} \leftarrow \text{SHFY1}_{k,l} \text{ if } l > 0 \\ B_{k,l} \leftarrow \text{SVFY1}_{k,l} \text{ if } l = 0 \end{array} \right. \\ B \end{array} \right.$	$\text{SVFY2} := \left \begin{array}{l} \text{for } k \in 0..31 \\ \quad \text{for } l \in 0..31 \\ \quad \quad \left \begin{array}{l} B_{k,l} \leftarrow \text{SVFY1}_{k,l} \text{ if } k > 0 \\ B_{k,l} \leftarrow \text{SHFY1}_{k,l} \text{ if } k = 0 \end{array} \right. \\ B \end{array} \right.$
---	---

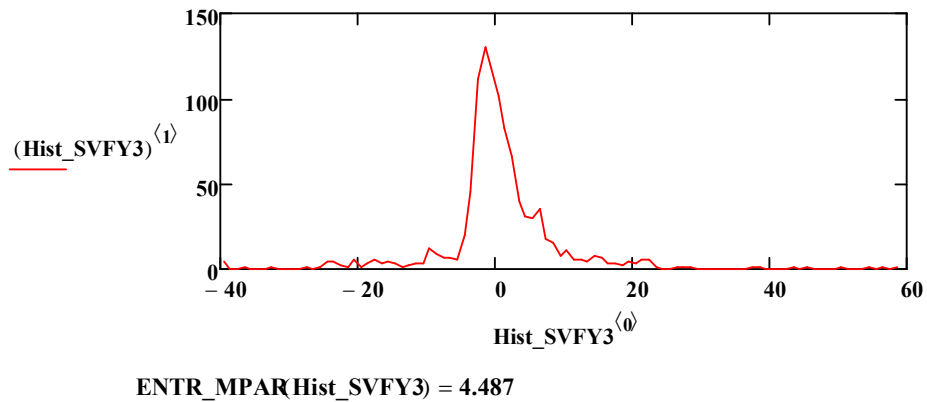
SHFY3 := SHFY2 + SFY000

SVFY3 := SVFY2 + SFY000

Hist_SHFY3 := HMPAR(SHFY3)



Hist_SVfy3 := HMPAR(SVfy3)



SFY00 := $\begin{cases} \text{JQW} \leftarrow \text{SHFY3} & \text{if } \text{CorrX}(\text{FY00} + 1) \geq \text{CorrY}(\text{FY00} + 1) \\ \text{JQW} \leftarrow \text{SVfy3} & \text{otherwise} \\ \text{JQW} \end{cases}$

SSFY00 := $\begin{cases} \text{JQW} \leftarrow \text{SVfy3} & \text{if } \text{CorrX}(\text{FY00} + 1) \geq \text{CorrY}(\text{FY00} + 1) \\ \text{JQW} \leftarrow \text{SHFY3} & \text{otherwise} \\ \text{JQW} \end{cases}$

JSXVfy00 := $\begin{cases} \text{for } k \in 0..31 \\ \quad \text{for } l \in 0..31 \\ \quad \quad \begin{cases} \mathbf{B}_{k,l} \leftarrow 0 & \text{if } k > 0 \wedge l > 0 \\ \mathbf{B}_{k,l} \leftarrow \text{round}(\text{SHFY3}_{k,l}) & \text{otherwise} \end{cases} \\ \mathbf{B} \end{cases}$

მთავარი კოეფიციენტების სხვაობების
გამოთვლის მიმართულების შერჩევა

ჩაწერეთ მთავარი კოეფიციენტების სხვაობების
გამოთვლის მიმართულების აღმნიშვნელი ციფრი: **1 –** sx := 1
სხვაობა ჰორიზონტალური მიმართულებით; **2 –**
სხვაობა ვერტიკალური მიმართულებით

SXVHFY001, SXVHFCr001, SXVHFCb001 - 1
SXVVFY001, SXVVFCr001, SXVVFCb001 - 2

გარდასახვის კოეფიციენტების სხვაობების
უარყოფითი მნიშვნელობების გადადებითება

$$DFY00S_{xv} := \left| \begin{array}{l} \text{for } k \in 0..255 \\ \quad \text{for } l \in 0..255 \\ \quad \quad \left| \begin{array}{l} A_{k,l} \leftarrow \text{round}[FY00S_{xv_{k,l}} \cdot (-1)] \text{ if } FY00S_{xv_{k,l}} < 0 \\ A_{k,l} \leftarrow \text{round}(FY00S_{xv_{k,l}}) \text{ otherwise} \end{array} \right. \\ \quad \quad \quad A \end{array} \right.$$

DFYS_{xv} := DFY00S_{xv}

XXY := DFY00S_{xv}

$$XY := \left| \begin{array}{l} \text{for } k \in 0..255 \\ \quad \text{for } l \in 0..255 \\ \quad \quad A_{k,l} \leftarrow \text{round}(XXY_{k,l}) \\ \quad \quad \quad A \end{array} \right.$$

XY3 := XY

ჩაწერეთ არამთავარი კოეფიციენტების ზიგზაგ-
სკანირების მიმართულების აღმნიშვნელი ციფრი: **1 –** ????? := 1
ჰორიზონტალური ზიგზაგ-სკანირება; **2 –**
ვერტიკალური ზიგზაგ-სკანირება.

$$XY := \left| \begin{array}{l} XY3 \text{ if } ????? = 1 \\ XY3^T \text{ if } ????? = 2 \end{array} \right.$$

მთავარი და არამთავარი კოეფიციენტების
კოდირება ჰაფმანის კოდით

მთავარი კოეფიციენტების
ზიგზაგისებური სკანირება

ZY:= $\left| \begin{array}{l} \text{for } k \in 0..1023 \\ \quad \text{for } l \in 0..63 \\ \quad \quad A_{k,l} \leftarrow \text{round}(XY1024_{k,l}) \text{ if } l \neq 0 \\ \quad \quad A_{k,l} \leftarrow 127 \text{ if } l = 0 \end{array} \right|$
A

მთავარი კოეფიციენტების სხვაობითი მნიშვნელობების აბსოლუტური სიდიდების მასივი

FYM:= $\left| \begin{array}{l} \text{for } k \in 0..1023 \\ \quad \text{for } l \in 0 \\ \quad \quad A_{l,k} \leftarrow \text{round}(XY1024_{k,l}) \end{array} \right|$
A

მისი კოდირება ჰაფმანის კოდით

RYM:= $\left| \begin{array}{l} \text{for } k \in 0 \\ \quad \text{for } l \in 0..1023 \\ \quad \quad A_{k,l} \leftarrow 1 \text{ if } FYM_{k,l} = 0 \\ \quad \quad A_{k,l} \leftarrow 3 \text{ if } FYM_{k,l} = 1 \\ \quad \quad A_{k,l} \leftarrow 5 \text{ if } 2 \leq FYM_{k,l} \leq 3 \\ \quad \quad A_{k,l} \leftarrow 7 \text{ if } 4 \leq FYM_{k,l} \leq 7 \\ \quad \quad A_{k,l} \leftarrow 9 \text{ if } 8 \leq FYM_{k,l} \leq 15 \\ \quad \quad A_{k,l} \leftarrow 11 \text{ if } 16 \leq FYM_{k,l} \leq 31 \\ \quad \quad A_{k,l} \leftarrow 13 \text{ if } 32 \leq FYM_{k,l} \leq 63 \\ \quad \quad A_{k,l} \leftarrow 15 \text{ if } 64 \leq FYM_{k,l} \leq 127 \\ \quad \quad A_{k,l} \leftarrow 0 \text{ otherwise} \end{array} \right|$
A

RYM=		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	0	13	5	5	7	7	9	7	5	3	...

$$NYM := \sum_{k=0}^0 \sum_{l=0}^{1023} RYM_{k,l}$$

NYM= 4770 ბიტი

დანართი 2 (გაგრძელება)

არამთავარი კოეფიციენტების კოდირება ჰაფმანის კოდით

არამთავარი კოეფიციენტების მასივი მთავარი კოეფიციენტების განულებით

$$ZY2 := \begin{cases} \text{for } k \in 0 \dots 1023 \\ \quad \text{for } l \in 0 \dots 63 \\ \quad \quad A_{k,l} \leftarrow \text{round}(XY1024_{k,l}) \text{ if } l \neq 0 \\ \quad \quad A_{k,l} \leftarrow 0 \text{ if } l = 0 \end{cases} \quad A$$

არამთავარი კოეფიციენტების ჯამები 8x8 ზომის ფრაგმენტების მიხედვით

არამთავარი კოეფიციენტების ერთობლიობის კოდირებისათვის საჭირო ბიტების რაოდენობა . 0 ან 1; თუ ფრაგმენტის ყველა არამთავარი კოეფიციენტი ნულია, მაშინ 1 ბიტი, სხვა შემთხვევაში . 0 ბიტი

$$SY0A0 := \begin{cases} \text{for } k \in 0 \dots 1023 \\ \quad \text{for } l \in 0 \dots 63 \\ \quad \quad A_{k,l} \leftarrow \sum_{k=k}^k \sum_{l=0}^{63} ZY2_{k,l} \end{cases} \quad A$$

$$SNY0R0 := \begin{cases} \text{for } k \in 0 \dots 1023 \\ \quad \text{for } l \in 0 \\ \quad \quad A_{l,k} \leftarrow SY0A0_{k,l} \end{cases} \quad A$$

SNY0R0 =

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	2	2	2	1	3	4	2	2	1	...

$$NNY0R0 := \begin{cases} \text{for } k \in 0 \\ \quad \text{for } l \in 0 \dots 1023 \\ \quad \quad A_{k,l} \leftarrow 1 \text{ if } SNY0R0_{k,l} = 0 \\ \quad \quad A_{k,l} \leftarrow 0 \text{ if } SNY0R0_{k,l} \neq 0 \\ \quad \quad A_{k,l} \leftarrow 0 \text{ otherwise} \end{cases} \quad A$$

NNY0R0 =

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...

$$NY0R0 := \sum_{k=0}^0 \sum_{l=0}^{1023} NNY0R0_{k,l} \quad NY0R0 = 97 \text{ ბიტი}$$

დანართი 2 (გაგრძელება)

იმ შემთხვევაში, როდესაც ზიგზაგისებური სკანირების შემდეგ არამთავარი არანულოვანი კოეფიციენტების წინ არაა ნულოვანი კოეფიციენტი, ანუ როდესაც $Z=0$

$$\begin{array}{l}
 \text{SRY} := \left| \begin{array}{l}
 \text{for } k \in 0 \dots 1023 \\
 \quad \text{for } l \in 1 \dots 63 \\
 \quad \quad A_{k,l} \leftarrow 3 \text{ if } ZY_{k,l} = 1 \wedge ZY_{k,l-1} \neq 0 \\
 \quad \quad A_{k,l} \leftarrow 4 \text{ if } 2 \leq ZY_{k,l} \leq 3 \wedge ZY_{k,l-1} \neq 0 \\
 \quad \quad A_{k,l} \leftarrow 6 \text{ if } 4 \leq ZY_{k,l} \leq 7 \wedge ZY_{k,l-1} \neq 0 \\
 \quad \quad A_{k,l} \leftarrow 8 \text{ if } 8 \leq ZY_{k,l} \leq 15 \wedge ZY_{k,l-1} \neq 0 \\
 \quad \quad A_{k,l} \leftarrow 10 \text{ if } 16 \leq ZY_{k,l} \leq 31 \wedge ZY_{k,l-1} \neq 0 \\
 \quad \quad A_{k,l} \leftarrow 13 \text{ if } 32 \leq ZY_{k,l} \leq 63 \wedge ZY_{k,l-1} \neq 0 \\
 \quad \quad A_{k,l} \leftarrow 15 \text{ if } 64 \leq ZY_{k,l} \leq 127 \wedge ZY_{k,l-1} \neq 0 \\
 \quad \quad A_{k,l} \leftarrow 0 \text{ otherwise}
 \end{array} \right. \\
 \text{A}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 \text{NNYR0} := \left| \begin{array}{l}
 \text{for } k \in 0 \dots 1023 \\
 \quad \text{for } l \in 0 \dots 63 \\
 \quad \quad A_{k,l} \leftarrow \sum_{k=k}^k \sum_{l=0}^{63} \text{SRY}_{k,l}
 \end{array} \right. \\
 \text{A}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 \text{SY0R0} := \left| \begin{array}{l}
 \text{for } k \in 0 \dots 1023 \\
 \quad \text{for } l \in 0 \\
 \quad \quad A_{l,k} \leftarrow \text{NNYR0}_{k,l}
 \end{array} \right. \\
 \text{A}
 \end{array}$$

$$\text{SY0R0} = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|}
 \hline
 & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\
 \hline
 0 & 6 & 6 & 6 & 3 & 4 & 6 & 6 & 6 & 0 & \dots \\
 \hline
 \end{array}$$

$$\text{NYR0} := \sum_{k=0}^0 \sum_{l=0}^{1023} \text{SY0R0}_{k,l} \qquad \text{NYR0} = 11111 \text{ ბიტი}$$

დანართი 2 (გაგრძელება)

იმ შემთხვევაში, როდესაც ზიგზაგისებური სკანირების შემდეგ არამთავარი არანულოვანი კოეფიციენტების წინ არის თუნდაც 1 არანულოვანი კოეფიციენტი, ანუ როდესაც $Z > 0$

$$\begin{array}{l}
 \text{SZ2 :=} \left| \begin{array}{l}
 \text{for } k \in 0..1023 \\
 \text{for } l \in 3..63 \\
 A_{k,l} \leftarrow \sum_{k=k}^k \sum_{l=l-2}^{l-1} ZY_{k,l} \\
 \text{A}
 \end{array} \right.
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{l}
 \text{SZ3 :=} \left| \begin{array}{l}
 \text{for } k \in 0..1023 \\
 \text{for } l \in 4..63 \\
 A_{k,l} \leftarrow \sum_{k=k}^k \sum_{l=l-3}^{l-1} ZY_{k,l} \\
 \text{A}
 \end{array} \right.
 \end{array}$$

.....

$$\begin{array}{l}
 \text{SZ61 :=} \left| \begin{array}{l}
 \text{for } k \in 0..1023 \\
 \text{for } l \in 62..63 \\
 A_{k,l} \leftarrow \sum_{k=k}^k \sum_{l=l-61}^{l-1} ZY_{k,l} \\
 \text{A}
 \end{array} \right.
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{l}
 \text{SZ62 :=} \left| \begin{array}{l}
 \text{for } k \in 0..1023 \\
 \text{for } l \in 63..63 \\
 A_{k,l} \leftarrow \sum_{k=k}^k \sum_{l=l-62}^{l-1} ZY_{k,l} \\
 \text{A}
 \end{array} \right.
 \end{array}$$

$$Z := 1$$

$$\begin{array}{l}
 \text{Z1Y :=} \left| \begin{array}{l}
 \text{for } k \in 0..1023 \\
 \text{for } l \in 2..63 \\
 \left| \begin{array}{l}
 A_{k,l} \leftarrow 5 \text{ if } ZY_{k,l} = 1 \wedge ZY_{k,l-1} = 0 \wedge ZY_{k,l-2} \neq 0 \\
 A_{k,l} \leftarrow 7 \text{ if } 2 \leq ZY_{k,l} \leq 3 \wedge ZY_{k,l-1} = 0 \wedge ZY_{k,l-2} \neq 0 \\
 A_{k,l} \leftarrow 11 \text{ if } 4 \leq ZY_{k,l} \leq 7 \wedge ZY_{k,l-1} = 0 \wedge ZY_{k,l-2} \neq 0 \\
 A_{k,l} \leftarrow 13 \text{ if } 8 \leq ZY_{k,l} \leq 15 \wedge ZY_{k,l-1} = 0 \wedge ZY_{k,l-2} \neq 0 \\
 A_{k,l} \leftarrow 16 \text{ if } 16 \leq ZY_{k,l} \leq 31 \wedge ZY_{k,l-1} = 0 \wedge ZY_{k,l-2} \neq 0 \\
 A_{k,l} \leftarrow 22 \text{ if } 32 \leq ZY_{k,l} \leq 63 \wedge ZY_{k,l-1} = 0 \wedge ZY_{k,l-2} \neq 0 \\
 A_{k,l} \leftarrow 23 \text{ if } 64 \leq ZY_{k,l} \leq 127 \wedge ZY_{k,l-1} = 0 \wedge ZY_{k,l-2} \neq 0 \\
 A_{k,l} \leftarrow 0 \text{ otherwise}
 \end{array} \right. \\
 \text{A}
 \end{array} \right.
 \end{array}$$

$$\text{NZ1Y :=} \sum_{k=0}^{1023} \sum_{l=0}^{63} Z1Y_{k,l}$$

$$\text{NZ1Y} = 4091 \quad \text{ბობობ}$$

```


$$\underline{Z} := 2$$

Z2Y := for k ∈ 0 .. 1023
      for l ∈ 3 .. 63
        Ak,l ← 6 if ZYk,l = 1 ∧ SZ2k,l = 0 ∧ ZYk,l-3 ≠ 0
        Ak,l ← 10 if 2 ≤ ZYk,l ≤ 3 ∧ SZ2k,l = 0 ∧ ZYk,l-3 ≠ 0
        Ak,l ← 13 if 4 ≤ ZYk,l ≤ 7 ∧ SZ2k,l = 0 ∧ ZYk,l-3 ≠ 0
        Ak,l ← 16 if 8 ≤ ZYk,l ≤ 15 ∧ SZ2k,l = 0 ∧ ZYk,l-3 ≠ 0
        Ak,l ← 20 if 16 ≤ ZYk,l ≤ 31 ∧ SZ2k,l = 0 ∧ ZYk,l-3 ≠ 0
        Ak,l ← 21 if 32 ≤ ZYk,l ≤ 63 ∧ SZ2k,l = 0 ∧ ZYk,l-3 ≠ 0
        Ak,l ← 22 if 64 ≤ ZYk,l ≤ 127 ∧ SZ2k,l = 0 ∧ ZYk,l-3 ≠ 0
        Ak,l ← 0 otherwise
      A

```

$$NZ2Y := \sum_{k=0}^{1023} \sum_{l=0}^{63} Z2Y_{k,l}$$

NZ2Y = 1458 ბობობ

.....

```


$$\underline{Z} := 62$$

Z62Y := for k ∈ 0 .. 1023
      for l ∈ 63 .. 63
        Ak,l ← 50 if ZYk,l = 1 ∧ SZ62k,l = 0 ∧ ZYk,l-63 ≠ 0
        Ak,l ← 54 if 2 ≤ ZYk,l ≤ 3 ∧ SZ62k,l = 0 ∧ ZYk,l-63 ≠ 0
        Ak,l ← 57 if 4 ≤ ZYk,l ≤ 7 ∧ SZ62k,l = 0 ∧ ZYk,l-63 ≠ 0
        Ak,l ← 60 if 8 ≤ ZYk,l ≤ 15 ∧ SZ62k,l = 0 ∧ ZYk,l-63 ≠ 0
        Ak,l ← 64 if 16 ≤ ZYk,l ≤ 31 ∧ SZ62k,l = 0 ∧ ZYk,l-63 ≠ 0
        Ak,l ← 65 if 32 ≤ ZYk,l ≤ 63 ∧ SZ62k,l = 0 ∧ ZYk,l-63 ≠ 0
        Ak,l ← 66 if 64 ≤ ZYk,l ≤ 127 ∧ SZ62k,l = 0 ∧ ZYk,l-63 ≠ 0
        Ak,l ← 0 otherwise
      A

```

$$NZ62Y := \sum_{k=0}^{1023} \sum_{l=0}^{63} Z62Y_{k,l}$$

NZ62Y = 0 ბობობ

დანართი 2 (გაგრძელება)

$$NZY := NZ1Y + NZ2Y + \dots + NZ62Y$$

$$NZY = 9520 \quad \text{ბიტი}$$

SNend := $\left\{ \begin{array}{l} \text{for } k \in 0 \\ \text{for } l \in 0 \dots 1023 \\ A_{k,l} \leftarrow 4 \end{array} \right.$

SNend =

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	...

$$Nend := \sum_{k=0}^0 \sum_{l=0}^{1023} SNend_{k,l}$$

$$Nend = 4096 \quad \text{ბიტი}$$

$$NNYH := NYM + NY0R0 + NYR0 + NZY + Nend$$

$$NNYH = 29594 \quad \text{ბიტი}$$