УДК 655.225

МОДЕЛЮВАННЯ НАФАРБЛЕННЯ РАСТРОВЕ ПЕРЕТВОРЕНИХ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ ТЕМНИХ ТОНІВ

А. В. Янчинський

Українська Академія Друкарства
вул. Під Голоском, 19, м. Львів, 79020, Україна

Розроблено модель типових варіантів растрове перетворених цифрових зображень темних тонів, їх нафарблення, визначено градаційні характеристики та чутливість. Побудовано структурну схему моделі симулятора нафарблення растрове перетворених цифрових зображень темних тонів в пакеті MATLAB:Simulink, який паралельно розраховує і будує характеристики растрування, здійснює їх нафарблення, обраховує і створює градаційні характеристики типових варіантів растрового перетворених цифрових зображень та контрастну чутливість.

Подані результати імітаційного моделювання. Побудовано характеристики типових варіантів растрового перетворених цифрових зображень. Встановлено, що при показнику степені r=1,0 характеристика растрування є лінійною та відповідає раструванню лінійної растрової шкали. При зменшенні показника степені характеристики є випуклими кривими, розтягнутими у бік темних тонів. Подані результати моделювання характеристик растрового перетворення типових варіантів цифрових зображень темних тонів є випуклими кривими, мають малу початкову крутизну, яка поступово збільшується. Характеристики растрування рівномірно розтягнуті в сторону темних тонів. Графіки нафарблення растрового перетворення при коефіцієнті нафарблення K_v=1 відповідають характеристикам растрування.

Графіки градаційних характеристик растрового перетворення типових варіантів цифрових зображень мають початкові значення 255 рівнів та є випуклими кривими рівномірно розтягнутими у сторону темних тонів. Початкова крутизна характеристик є малою величиною і поступово збільшується, і в кінці діапазону є досить велика. Зменшуючи показник степені r, можна формувати різні градаційні характеристики растрового перетворених нафарблених цифрових зображень, що розширює функціональні можливості приготування зображень до друкування

Встановлено, що контрастна чутливість є від'ємною. Початкові значення чутливості: -1,0; -0,75; -0,48; -0,34 одиниць, помалу зменшуються, на світлих тонах в околі L0≥230 перетворюються у випуклі криві з великою крутизною та в кінці діапазону становлять: C1=-1,0; C2=-1,95; C3=-3,82; C4=-6,4 одиниць. Контрастна чутливість характеризує чутливість ока людини до сприйняття зображень є найбільшою на світлих ділянках. Визначено контрастну чутливість нафарблених растрового перетворених цифрових зображень, яка є від'ємним значенням і характеризує сприйняття зображення зоровою системою людини.

Ключові слова: *модель, растрове перетворення, цифрове зображення, нафарблення, симулятор, характеристики растрування, властивості растрування.*

Постановка проблеми. У комп'ютерно-видавничих системах та програмах комп'ютерної графіки широко використовують різні методики обробки зображень для поліпшення якості. Наступною операцією є растрування, яке здійснюється за допомогою растрового процесора (RTP), у якому оператор задає роздільну здатність, лініатуру растра, вибирає форму растрового елемента. [7]. Оператор, який готує цифрове зображення до друкування у більшості випадків не має оригіналу і коригує зображення на екрані монітора, якість якого залежить від його знань, виробничого досвіду, отже не може бути оптимальним. Для підвищення якості застосовують друк зображень на принтерах, пробо друкарських верстатах і за пробними відбитками оцінюють якість. Якщо якість відбитка не відповідає вимогам, то здійснюють додаткове коригування зображення, що вимагає додаткових витрат часу і матеріалів [1,4,7].

Зауважимо, що у комп'ютерних видавничих системах і програмах комп'ютерної графіки на растрових процесорах (RIP) не передбачена програма побудови характеристики растрового перетворення цифрових зображень, що значно обмежує можливості оператора оцінювати властивості растрування при приготування зображень до друкування.

На основі викладеного робимо висновок, що розроблення моделей нафарблення растрового перетворених цифрових зображень та їх аналіз є актуальним завданням.

Огляд останніх досліджень та публікацій. Класичне растрування є основане на формування растрових елементів квадратної, круглої або ромбічної форми площа яких є основним носієм тону зображення [1,2,5,6,7]. З появою комп'ютерної графіки розроблено різні алгоритми растрування: АМ – амплітудне растрування; ЧМ – частотне растрування; АМ/ЧМ – змішане (гібридне) растрування; стохастичне растрування – спосіб відтворення тону за рахунок випадково розподілу малих растрових крапок однакового розміру 5 або 10 мкм. [6,7].

У більшості новітні способи растрування характеризуються зовсім іншими параметрами і мають інші властивості ніж традиційні, що утрудняє їх порівняння, кількісний аналіз і визначення, який із них кращий. У публікації [9] подані проблеми, які виникають у офсетному друці при застосуванні новітніх способі растрування на основі експериментальних даних і шкал UGRA і друку на якісному глянцевому папері. Новітні способи растрування забезпечують кращу якість друкованих зображень, у тому числі кольорових. Однак, вони вимагають якісного паперу, фарби, строгої нормалізації усіх стадій технологічно процесу, якісних друкарських машин і систем зонального автоматичного налагодження фарби, що значно обмежує застосування новітніх растрів не тільки в Україні, але і на заході [9]. Отже, існує проблема розроблення ефективного алгоритму растрування, нафарблення растрове перетворених цифрових зображень та аналіз їх властивостей.

Мета статті – розробити моделі типових варіантів растрове перетворених цифрових зображень, розробити симулятор нафарблення растрового перетворення цифрових зображень, здійснити імітаційне моделювання растрового перетворення

градаційних характеристик нафарблення, проаналізувати їх властивості, які розширяють функціональні можливості приготування до друкування.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розглянемо цифрове зображення, подане аналоговим виразом L-градаційної характеристики у якому тон виражається числовими значеннями в межах [0 ≤ *L* ≤ 255] у якому нуль відповідає чорному кольору, а «255» білому. Для дослідження приймаємо нормоване зображення L_n= L/255 у загальному вигляді:

$$S = F\left(L_n,\ r\right), \tag{1}$$

де *F*( ) – степенева функція, яка забезпечує заданий алгоритм растрування цифрового зображення, *r* – показник степені.

Основні вимоги і властивості функції: *F*( ) – неперервна спадаюча функція, якщо аргумент L_n = 0, то функція *F*( ) = 1, кінцеве значення *F*( ) = 0, якщо L_n =1, при масштабуванні не змінює форму. Відповідно до поставлених вимог до функції растрового перетворення опрацьовано зміщену нормовану степеневу функцію:

$$S = \left(1 - L_n\right)^r, \text{ якщо } 0 \le L_n \le 1, \text{ то } 1 \le S \le 0, \tag{2}$$

де L_n – нормоване цифрове зображення, *S* – відносна площа растрового елемента.

Для дослідження розробили типові варіанти растрового перетворення цифрових зображень темних тонів:

$$S_1 = \left(1 - L_n\right)^{1,0}, \tag{3}$$

$$S_2 = \left(1 - L_n\right)^{0,8}, \tag{4}$$

$$S_3 = \left(1 - L_n\right)^{0,6}, \tag{5}$$

$$S_4 = \left(1 - L_n\right)^{0,45}, \text{ якщо } 0 \le L_n \le 1, \text{ то } 1 \le S \le 0. \tag{6}$$

Якщо у виразах (3)-(6) лінійно змінювати цифрове зображення в межах [0 ≤ *L* ≤ 1], то при заданих показника степені *r*, одержимо різні алгоритми типових варіантів растрового перетворення цифрових зображень темних тонів.

Тепер розглянемо покриття растрових елементів (3)-(6) фарбою, визначивши кількість фарби (нафарблення).

$$V = S_i K_v, \tag{7}$$

де коефіцієнт нафарблення K_v-H/H_n в якому *H* – задана товщина шару фарби, H_n – номінальне значення товщини.

Для чорного кольору максимальна значення товщина знаходяться в межах [0,8-1,6]мкм і залежить від типу паперу (крейдовий, глянцевий, матовий і некрейдований) [5]. Якщо відомо нафарблення (7) растрових елементів, то на його основі визначимо нафарблення растрово перетворених цифрових зображень.

$$L_{vi} = 255 V_i. \tag{8}$$

Для кількісної оцінки нафарбленого растрового перетворення цифрових зображень визначено його чутливість.

$$S_i = \frac{dL_{vi}}{dL_0}. \tag{9}$$

На основі викладеного і виразів (2)-(9) розроблено структурну схему моделі чотирьох канального симулятора нафарбленого растрового перетворення типових варіантів цифрових зображень темних тонів, яка подана на рис.1.

Блок Ramp генерує лінійну цифрову шкалу L0, яка масштабується (множиться на 1/255) за допомогою блока Gain, а одержана нормована шкала Ln паралельно подається на входи функціональних блоків математичних функцій Fcn-Fcn3, у їх діалогових вікнах записана програми-вирази (3)-(6) растрового перетворення, водночас обчислення площі Si растрових елементів подаються на входи мультиплексора, візуалізується блоком Scope і паралельно подаються на входи першого стовпця блоків Gain, де множаться на 255, в наслідок чого на їх виходах одержується растрове перетворені нафарблені цифрові зображення Lv, які подаються на вхід мультиплексора, а його вихід візуалізований та подається на вхід блока Derivative (Диференціювання), на виході якого одержується відносна чутливість нафарблених цифрових зображень Lv та демонструються блоками Scope2 і Display.

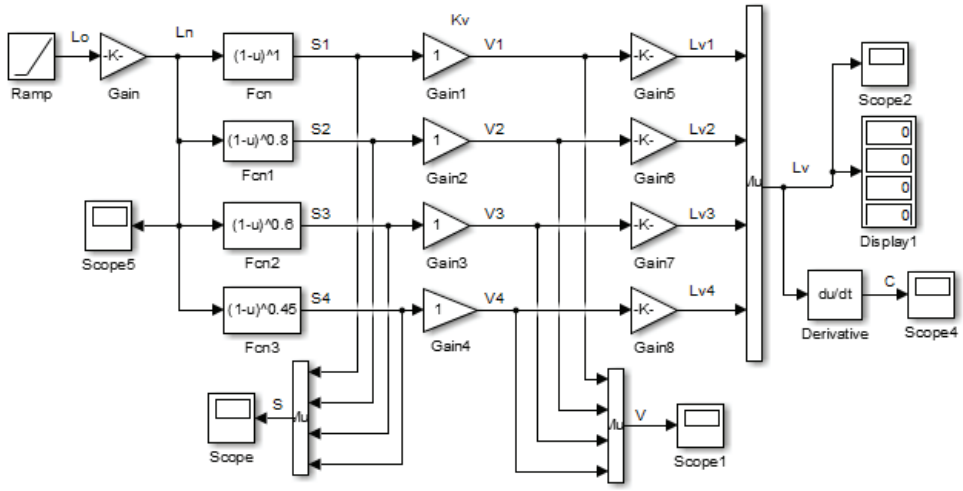

Рис. 1 Структурна схема моделі симулятора нафарбленого растрового перетворення типових варіантів цифрових зображень

Налаштували симулятор, записали програми-вирази (3)-(6) у діалогових вікнах блоків математичних функцій F_{cn}-F_{cn3} з показниками степені r: 1,0; 0,80; 0,60; 0,45, які відповідають темним тонам.

У блоках Gain першого стовпця задали коефіцієнт нафарблення Kv=1,0, у блоках Gain другого стовпця задали 255. Результати моделювання типових варіантів растрового перетворення темних тонів цифрових зображень подані на рис.2.

Лінійна характеристика $S1$ відповідає лінійному перетворенню. Характеристики типових варіантів растрового перетворення цифрових зображень мають початкові значення площі рівні одиниці та є випуклими кривими. Початкова кривизна характеристик є мала і поступово збільшується. Найбільша крутизна характеристик є у кінці діапазону. Характеристики рівномірно розтягнуті у сторону темних тонів. Отже, зменшуючи показник степені r, одержується різні алгоритми растрового перетворення цифрових зображень темних тонів, що розширяє функціональні можливості щодо тоновідтворення.

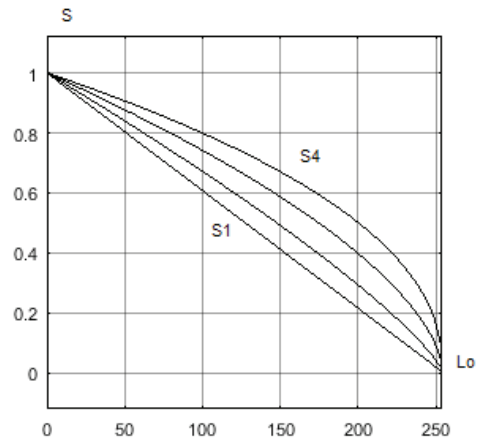

Рис. 2. Характеристики типових варіантів растрового перетворення цифрових зображень

Результати моделювання нафарблення типових варіантів растрового перетворення цифрових зображень темних тонів подані на рис.3.

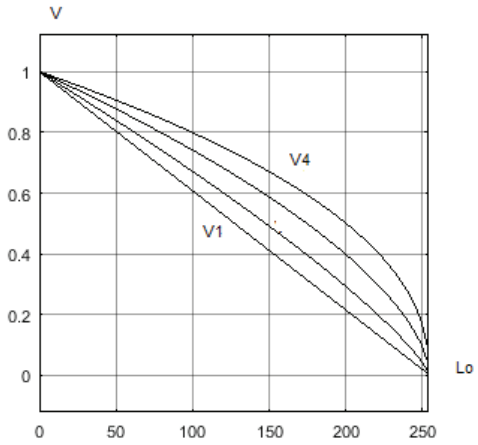

Рис.3. Графіки нафарблення типових варіантів растрово перетворених цифрових зображень

Лінійно характеристика нафарблення V_1 відповідає лінійному перетворенню. Характеристики нафарблення типових варіантів растрове перетворених цифрових зображень є випуклими кривими рівномірно розтягнутими у сторону темних тонів. На початку діапазону характеристики мають малу крутизну, яка поступово збільшується та у кінці діапазону є досить великою.

Результати моделювання градаційних характеристик нафарбленого растрове перетворених типових варіантів цифрових зображень темних тонів подані на рис.4.

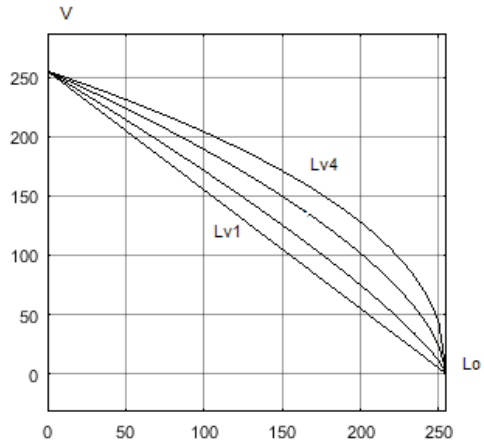

Рис.4. Графіки градаційних характеристик типових варіантів нафарбленого растрове перетворених типових варіантів цифрових зображень

Лінійна характеристика L_{v1} відповідає нафарбленню лінійної растрової шкали. Початкові значення градаційних характеристик нафарбленого растрового перетворення становлять 255 рівнів, є випуклими кривими рівномірно розтягнутими у сторону темних тонів. Початкова крутизна характеристик є малою та поступово збільшується, та в кінці діапазону кривизна є досить великою. Зменшення показника степені зміщує характеристики у сторону світлих тонів. Показнику степені r=0,45 відповідає градаційна характеристика L_{v1}. Отже, змінюючи показник степені r, одержуємо різні градаційні характеристики нафарблених цифрових зображень, що розширює функціональні можливості щодо тоновідтворення.

Встановлено, що зменшення коефіцієнта нафарблення K_v викликає значне зменшення кількості фарби на растрових елементах і значні втрати на чорних ділянках зображень, які становлять: 26; 51; 64 рівнів сірого тону, що робить зображення більш світлим.

Результати моделювання контрастної чутливості нафарбленого растрового перетворення типових варіантів цифрових зображень темних тонів подано на рис. 5.

Контрастна чутливість нафарбленого растрового перетворення є від'ємною. Початкові значення контрастної чутливості становлять: -1,0; -0,75; -0,48; -0,34 одиниць та поволі зменшуються на світлих та середніх тонах, та в околі $L_0 \geq 230$ стають випуклими кривими, та в кінці діапазону становлять: C_1=-1,0; C_2=-1,95; C_3=-3,82; C_4=-6,4 одиниць. Зауважимо, що контрастна чутливість нафарбленої лінійної растрової шкали дорівнює мінус одиниці на усьому інтервалі тонопередачі. Контрастна чутливість характеризує чутливість окап людини до сприйняття зображень [3], яка у нашому випадку є найбільша на світлих ділянках зображень.

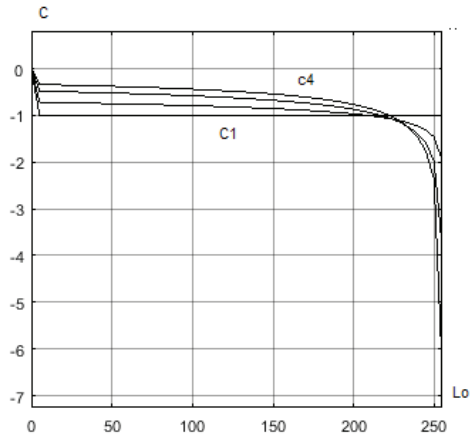

Рис.5. Графіки контрастної чутливості нафарбленого растрового перетворення типових варіантів цифрових зображень

Висновки. Розроблено математичні моделі типових варіантів растрового перетворених нафарблених цифрових зображень темних тонів, які дають можливість одержати різні алгоритми растрування за допомогою зміни показника степені r, визначити нафарблення і градаційні характеристики. Розроблено структурну схему моделі симулятора нафарблення растрового перетворення цифрових зображень, який дає можливість розраховувати і будувати характеристики растрового перетворення, їх нафарблення і градаційні характеристики.

Подані результати імітаційного моделювання. Побудовано характеристики типових варіантів растрового перетворених цифрових зображень. Встановлено, що при показнику степені r=1,0 характеристика растрування є лінійною та відповідає раструванню лінійної растрової шкали. При зменшенні показника степені характеристики є випуклими кривими, розтягнутими у бік темних тонів. Графіки нафарблення растрових елементів при коефіцієнті нафарблення K_y = 1,0 відповідають характеристикам растрування. Побудовані градаційні характеристики нафарбленого растрового перетворення типових варіантів ля показників степені r: 1,0; 0,80; 0,60; 0,45, які мають початкові значення 255 рівнів та є випуклими кривими рівномірно розтягнутими у сторону темних тонів. Отже, зменшуючи показник степені r, можна формувати різні алгоритми растрування і різні градаційні характеристики нафарблених цифрових зображень, що розширює функціональні можливості оператора при приготуванні зображень до друкування.

Зменшення коефіцієнта нафарблення K_y: 0,9; 0,8; 0,74 одиниць викликає значні втрати на темних ділянках зображень, які становлять : 26; 51; 64 рівнів сірого. Натомість зменшення коефіцієнта мало впливає на світлі тони.

Встановлено, що контрастна чутливість є від'ємною. Початкові значення чутливості: -1,0; -0,75; -0,48; -0,34 одиниць, помалу зменшуються, на світлих тонах в околі $L_0 \geq 230$ перетворюються у випуклі криві з великою крутизною та в кінці

діапазону становлять: C_1=-1,0; C_2=-1,95; C_3=-3,82; C_4=-6,4 одиниць. Контрастна чутливість характеризує чутливість ока людини до сприйняття зображень є найбільшою на світлих ділянках.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Барановський І. В., Яхимович Ю. Я. Поліграфічна переробка образотворчої інформації: Навч. посібник. -Київ-Львів: ІЗМН.1998. 400 с.
2. Барановський І. В., Луцків М. М., Філь Л. В., Наукові записки: наук. техн. зб. -Львів: УАД, 2013. №4(45). 131-138с.
3. Воробель Р. А. Логарифмічна обробка зображень. Київ: Науково-виробниче підприємство «Видавництво «Наукова думка» НАН України».2012. 232с.
4. Гавриш Б. М., Дурняк Б. В., Тимченко О. В., Ющак О. В. Відтворення зображень растровими пристроями. Навчальний посібник. Львів: УАД, 2016. 180с.
5. Гунько С. М., Основи поліграфії (додрукарські процеси). Навч. посібн. Львів: УАД, 2010. 160с.
6. Луцків М. М., Цифрові технології друкарства: монографія, Львів: УАД, 2012, 488с.
7. Мартинюк В. Т., Основи додрукарської підготовки образотворчої інформації: Кн.2. Основи опрацювання образотворчої інформації: підручник, Київ: Університет «Україна», 2009, 291с.
8. Філь Л. В. Аналіз нелінійності характеристик растрування для елементів квадратної форми. Квалологія книги: 38. наук. прац., Львів: УАД, 2013, №1(23), 21-28с.
9. PrePlate. AGFA: режим допуску: http://www.agf.com.pl/sublime-xm/.

REFERENCES

1. Baranovskyi I. V., Yakhymovych Y. I. Polihrafichna pererobka obrazotvorchoi informatsii: Education Handbook, -Kyiv-Lviv: IZMN. 1998. 400p.
2. Baranovskyi I. V., Lutskiv M. M., Fil L. V., Scientific notes: sc. tech. col. -Lviv: UAP, 2013. №4(45). 131-138p.
3. Vorobel R.A. Loharyfmichna obrobka zobrazhen. Kyiv: Naukovo-vyrobnyche pidpryiemstvo «Vydavnytstvo «Naukova dumka» NAN Ukrainy». 2012. 232p.
4. Havrysh B.M., Durniak B.V., Tymchenko O.V., Yushchak O.V. Vidtvorennia zobrazhen rastrovymy prystroiamy. Education Handbook. Lviv: UAP, 2016. 180p.
5. Hunko S. M., Osnovy polihrafii (dodrukarski protsesy). Education Handbook. Lviv: UAP, 2010. 160p.
6. Lutskiv M. M., Tsyfrovi tekhnolohii drukarstva: monography, Lviv: UAP, 2012, 488p.
7. Martyniuk V. T., Osnovy dodrukarskoi pidhotovky obrazotvorchoi informatsii: Book 2. Osnovy opratsiuvannia obrazotvorchoi informatsii: Textbook, Kyiv: University «Ukraine», 2009, 291p.
8. Fil L. V. Analiz neliniisnosti kharakterystyk rastruvannia dlia elementiv kvadratnoi formy. Kvalolohiia knyhy: 38. scient. work., Lviv: UAP, 2013, №1(23), 21-28p.
9. PrePlate. AGFA: access mode: http://www.agf.com.pl/sublime-xm/.

doi: 10.32403/0554-4866-2024-2-88-41-49

MODULATION OF DYEING OF RISTER-CONVERTED DIGITAL IMAGES OF DARK TONESV

A. V. Yanchynskyi

Ukrainian Academy of Printing
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79000, Ukraine

A model of typical variants of raster-converted digital images of dark tones, their coloring, and gradation characteristics and sensitivity were developed. A structural diagram of a simulator model of coloring of raster-converted digital images of dark tones was constructed in the MATLAB:Simulink package, which simultaneously calculates and builds the characteristics of rasterization, performs their coloring, calculates and creates gradation characteristics of typical variants of raster-converted digital images and contrast sensitivity. The results of simulation modeling are presented. The characteristics of typical variants of raster-converted digital images were constructed. It is established that at the power index r=1.0 the rasterization characteristic is linear and corresponds to the rasterization of a linear raster scale. When the power index decreases, the characteristics are convex curves, stretched towards dark tones. The presented results of modeling the characteristics of raster transformation of typical variants of digital images of dark tones are convex curves, have a small initial steepness, which gradually increases. The rasterization characteristics are evenly stretched towards dark tones. The raster transformation tinting graphs at the tinting coefficient Kv=1 correspond to the rasterization characteristics.

The graphs of the gradation characteristics of raster transformation of typical variants of digital images have initial values of 255 levels and are convex curves evenly stretched towards dark tones. The initial steepness of the characteristics is small and gradually increases, and at the end of the range is quite large. By reducing the power index r, it is possible to form different gradation characteristics of raster-transformed colored digital images, which expands the functionality of preparing images for printing.

It has been established that the contrast sensitivity is negative. The initial sensitivity values: -1.0; -0.75; -0.48; -0.34 units, gradually decreasing, in light tones in the vicinity of L0≥230 they turn into convex curves with great steepness and at the end of the range are: C1=-1.0; C2=-1.95; C3=-3.82; C4=-6.4 units. Contrast sensitivity characterizes the sensitivity of the human eye to the perception of images, it is the greatest in light areas. The contrast sensitivity of colored raster-transformed digital images has been determined, which is a negative value and characterizes the perception of the image by the human visual system.

Keywords*: model, raster conversion, digital image, colorization, simulator, rasterization characteristics, rasterization properties.*

Стаття надійшла до редакції 11.06.2024.
Received 11.06.2024.