

УДК 655.226

## ВИЗНАЧЕННЯ КОНТРАСТНОЇ ЧУТЛИВОСТІ ГАМА-ПЕРЕТВОРЕНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ТЕМНИХ ТОНІВ

Ю. Ю. Сердюк

Українська академія друкарства,  
вул. Під Голоском, 19, Львів, 79020, Україна

Розроблено математичну модель гама-перетворених зображень, яка дає можливість розрахувати градаційні характеристики цифрових зображень різної тональності, відхилення характеристик від лінійної, їх зсуву у сторону світів, визначати контрастну чутливість зображень, аналізувати і порівнювати їх властивості. У пакеті MATLAB: Simulink розроблено структурну схему моделі симулятора гама-перетворених зображень різної тональності, який паралельно розраховує і будує градаційні характеристики їх відхилення від лінійної. Для оцінки властивостей гама-перетворених зображень запропоновано визначати контрастну чутливість цифрових зображень для різних показників степеня перетворення.

Подано результати імітаційного моделювання градаційних характеристик перетворення для показників степеня  $r = 1,4; 2,0; 2,5; 3,0$ , які відповідають темним тонам. Встановлено, що на початку діапазону крутість градаційних характеристик є найменшою, внаслідок чого є втрати в темних тонах зображення, натомість у кінці інтервалу крутість збільшується, внаслідок чого краще розрізняються світлі деталі зображень. Визначили контрастну чутливість зображення, початкове значення яких дорівнює нулеві, плавно збільшується до кінцевих значень від 1,394 до 3,00, яка кількісно оцінює якість зображення на інтервалі тонопередачі.

Збільшення показника степеня  $r$  переміщує градаційну характеристику праворуч і вниз, відбувається зсув зображень у темні тони, натомість підвищується контраст зображень у світах, краще розрізняються світлі деталі на зображенні. При малих показниках степеня  $1,2 \leq r \leq 2,0$  контрастна чутливість зменшується, внаслідок чого зображення стає нечітким. Подані характеристики відхилення градаційних характеристик від лінійної для різних показників степеня гама, які є вгнутими кривими, амплітудне значення яких знаходиться в межах  $-30$  до  $-100$  і мають зсув праворуч у сторону світів.

Встановлено, що запропонована контрастна чутливість об'єктивно оцінює властивості гама-перетворених цифрових зображень різної тональності. Результати аналізу та імітаційного моделювання можна застосувати при гама-коригуванні цифрових зображень у комп'ютерних видавничих системах під час їх підготовки до друку, сприятимуть покращенню якості друкованих зображень видань.

**Ключові слова:** модель, гама-перетворення, симулювання, градаційні характеристики, властивості, контрастна чутливість, якість.

**Постановка проблеми.** Сучасні процеси додрукарської підготовки засновані на цифровому перетворенні інформації, які складаються з трьох основних стадій: введення інформації, цифрової обробки, виведення інформації. Під час опрацювання інформації необхідно забезпечити достатньо високу якість зображень, яка у багатьох випадках втрачається через незадовільні умови її отримання, недосконалості окремих ланок і апаратів, їх нелінійність, появу різних завод і спотворень [1, 2, 3]. У сучасних графічних редакторах, таких як Photoshop та інші, які застосовуються у комп'ютерних видавничих системах для підготовки зображень до друку, основним видом обробки є тонове коригування зображень інструментом Curves (криві). У більшості випадків оператор не має оригіналу, тому коригує зображення та підбирає форми кривої у вікні редактора на власний розсуд, тому кориговане зображення не може бути оптимальним. Інструменти редагування здійснюють тонове коригування на основі так званого гама-коригування і за допомогою показника степеня підбирають необхідну форму градаційної характеристики. Можна розтягувати одні ділянки зображень завдяки скорочення інших ділянок. Наприклад, можна притемнити зображення завдяки світлим ділянкам, збільшити їх контраст [1, 5, 10]. Зауважимо, що гама-перетворення призводить до перерозподілу у градації яскравості і зсуву зображень у сторону світлих чи темних тонів. Однак при цьому є втрати у темних тонах або світах [5, 10]. У доступних джерелах відсутні кількісні оцінки результатів перетворення при зміні показника степеня більше одиниці чи трьох, і як впливає відхилення градаційної характеристики від лінійної на якість коригованого зображення.

Із викладеного робимо висновок, що визначення контрастної чутливості гама-перетворених зображень є актуальною задачею.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Перетворення яскравості належить до простих і ефективних методів покращення якості зображень, які оперують рівняннями сірого [0, 255] і потребують менше обчислювальних ресурсів під час їх реалізації. Для перетворення вхідних рівнів сірого у вихідні застосовують різні функції, які називають функціями перетворення яскравості [5, 10].

$$L_{\text{вих}} = F(L_{\text{вх}}), \quad (1)$$

де  $L_{\text{вх}}$  і  $L_{\text{вих}}$  означають вхідні і вихідні значення яскравості.

Залежно від вибраної функції  $F(\cdot)$  ефектом перетворення може бути покращення якості чи більш високий контраст, порівняно з вхідним зображенням чи оригіналом. Розрізняють три основні типи перетворень, які найчастіше застосовують для покращення зображення: лінійні перетворення, логарифмічні і степеневі, які описуються виразом [4, 5, 10]

$$L_{\text{вих}} = cL_{\text{вх}}^r, \quad (2)$$

де  $c$  — константа (масштаб);  $r$  — показник степеня, який за традицією називаються гама.

Процедури для коригування степеневих характеристик називають коригуванням. Криві можливого перетворення здійснюють простою змінною показника  $r$ .

Якщо  $r < 1$ , то криві випуклі, а якщо  $r > 1$ , то криві вгнуті. Градаційні характеристики багатьох пристроїв виводу (сканери, цифрові камери) та візуалізації (монітори, принтери) відповідають степеневому закону [5, 8]. Однак зменшення показника має певні обмеження, може призвести до спотворень зображення, впливає на перерозподіл градацій яскравості та інтервал тонопередачі, що призводить до зсуву тональності в області світлого, загалом зображення стає більш світлим, характеристика має насичений вигляд, тому є втрати деталей зображень у світах. У випадку, коли показник більше 2–3, зсув буде в область темного, в результаті чого зображення загалом стає темнішим. Однак в наявних та інших публікаціях відсутні кількісні оцінки зсуву зображень при гама-перетворенні.

У поліграфії в комп'ютерних видавничих системах для коригування зображень у графічних редакторах передбачено низку інструментів, зокрема Curves (Криві) [5, 6, 7]. Змінюючи характеристику у вікні редактора, можна на власний розсуд змінювати вигляд характеристики і розтягувати одні ділянки діапазону зображень завдяки скороченню інших ділянок, намагаючись досягти покращення зображень, збільшення контрасту найважливіших ділянок зображення, залежно які тони визначають зміст оригіналу [7, 9, 10]. Наприклад, потрібно виділити темні оригінали обгорілих будинків чи світлі оригінали засніжених гір. Загалом методи кількісної оцінки гама-коригування для різних показників степеня мало вивчені. У зв'язку з цим актуальним є визначення контрастної чутливості гама перетворених зображень.

**Мета статті** — розробити математичну модель гама-перетворення зображень і симулятор для побудови градаційних характеристик для різної тональності, визначити їх контрастну чутливість для різних показників степеня й діапазонів тоновідтворення та проаналізувати їх властивості.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Розглянемо вхідне оцифроване не оброблене зображення, яке описується рівнями сірого у діапазоні  $[0 \dots 255]$ , у якому нуль означає чорне, 255 — світле, в межах якого розташовані сірі зображення різної яскравості, над якими будемо здійснювати різні перетворення. Для зміни яскравості зображення нові значення яскравості обчислюються за формулою (2), яку подано виразом [5, 9]

$$L = kL_0^r * L_{\max}, \text{ якщо } 0 \leq L_0 \leq 255, \quad (3)$$

де  $L_0$  — неопрацьоване вхідне зображення;  $L$  — перетворене вихідне зображення в полі зображення;  $L_m$  — максимальна яскравість, зазвичай 255;  $k=1/255$  — масштаб.

Мірою відмінності яскравості є певні значення показника степеня  $r$ . Якщо значення показника менше за 1, зображення світліше, а якщо більше 1 — темніше. Зауважимо, що незалежно від заданого значення показника степеня гама-перетворення, яскравість зображення не виходить за межі 0 і 255, при чому чорні елементи з яскравістю 0 залишаються такими й після перетворення. Чорний тон надзвичайно важливий для забезпечення контрасту зображення.

Для об'єктивної кількісної оцінки гама-перетворення запропонували контрастну чутливість для різних показників степеня і діапазону:

$$C_1 = dL / dL_0, \text{ якщо } 0 \leq L_0 \leq 255. \quad (4)$$

Для визначення зсуву коригованих зображень знаходили відхилення скоригованого зображення від лінійного для різних показників степеня і діапазону:

$$E = L_0 - L. \tag{5}$$

Кількісну оцінку зсуву гама-перетворення визначали максимальним значенням відхилення.

На основі викладеного і виразів (3)...(5) можна розрахувати градаційні характеристики гама-перетворених зображень, визначити їх контрастну чутливість, відхилення скоригованого зображення від лінійного і визначити контрастну чутливість зсуву до різних показників степеня. Для спрощення розв'язання поставленої задачі застосували імітаційне моделювання в пакеті MATLAB: Simulink. У вікні моделі із операційних блоків бібліотек Simulink розробили структурну схему моделі симулятора контрастної чутливості гама-перетворених зображень, схема якого подана на рис. 1.

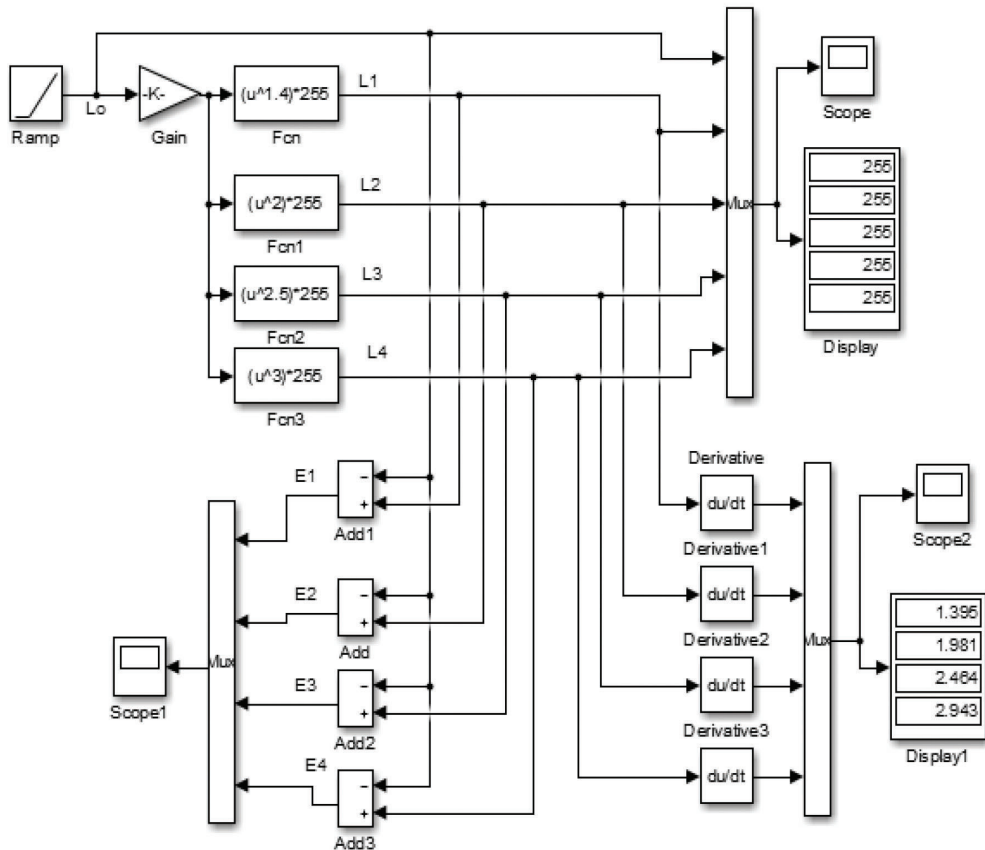


Рис. 1. Структурна схема моделі симулятора контрастної чутливості гама-перетворених зображень

Блок Ramp генерує лінійну цифрову шкалу — вхідне зображення  $L_0$ , яке масштабується блоком Gain і подається на входи операційних блоків математичних

функцій  $F_{cn}$ – $F_{cn3}$ , у діалогових вікнах яких записана програма (вираз (3) гама-перетворення вхідних зображень). Обчислені гама-перетворення L1-L4 для різних показників степеня подаються на входи мультіплектора Mux1 візуалізуються блоком Score і Display. Обчислені гама-перетворені зображення паралельно подаються на входи операційних блоків диференціювання Derivative, на виходах яких одержується контрастна чутливість, яка візуалізується. Окрім цього, гама-перетворені зображення L1-L4 подаються на блоки симулювання Add, на виходах яких одержуються відхилення скоригованого зображення від лінійного для різних показників степеня.

Враховуючи масштабність поставленої задачі, потрібно здійснювати імітаційне моделювання тільки для показників степеня  $\gamma > 1$ , яке відповідає темним тонам. У діалогових вікнах операційних блоків математичних функцій  $F_{cn}$  –  $F_{cn4}$  задали показники степеня  $\gamma = 1.4; 2.0; 2.5; 3.0$ . Результати імітаційного моделювання градаційних характеристик гама-перетворених зображень подані на рис. 2.

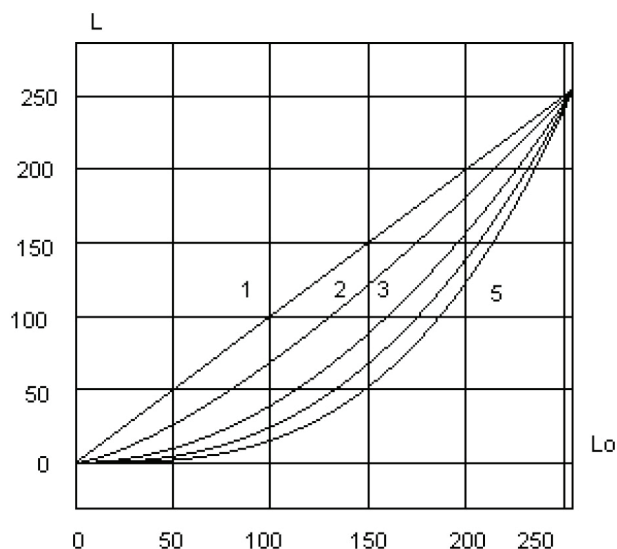


Рис. 2. Градаційні характеристики гама-перетворених зображень

Для порівняння на рис. 2 подана пряма лінія. Градаційні характеристики є вигнутими кривими. Друга характеристика відповідає показнику степеня  $\gamma = 1.4$ ; п'ята крива відповідає  $\gamma = 3.0$ . Збільшення показника степеня зсуває градаційну характеристику вниз і праворуч, внаслідок чого темні тони скоригованого зображення є різні, відбувається зсув тонів. Для їх оцінки визначили контрастну чутливість гама-перетворених зображень. Результати імітаційного моделювання контрастної чутливості подані на рис. 3.

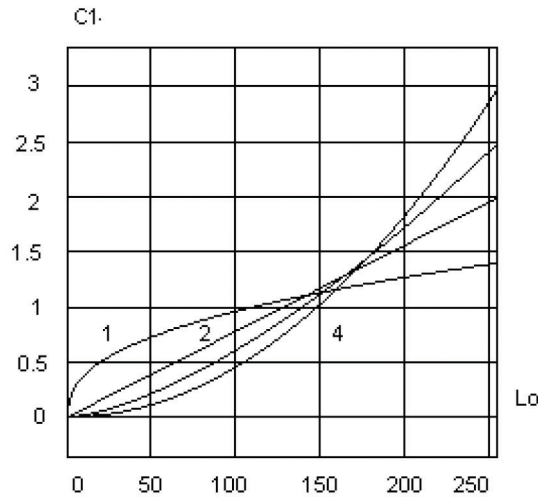


Рис. 3. Залежність контрастної чутливості від показників степеня

Графіки контрастної чутливості є легко вгнутими кривими. Початкові значення чутливості близькі до нуля, поступово збільшуються, а їх кінцеве значення залежить від показника степеня. Найбільша чутливість  $C_1 = 2,99$  є при показникові степеня  $\gamma = 3,0$  і поступово зменшується до 2,494; 1,997; 1,399. Отже, при збільшенні показника степеня  $\gamma$  від 1,4 до 3,0 контрастна чутливість зменшується від 2,99 до 1,399. Найбільша чутливість є на світлих тонах, тому краще відтворюються світлі деталі на зображеннях, натомість значні втрати темних тонів. Результати імітаційного моделювання для малих показників степеня гама-перетворення ( $\gamma = 1,2; 1,4; 1,9; 2,0$ ) подані на рис. 4.

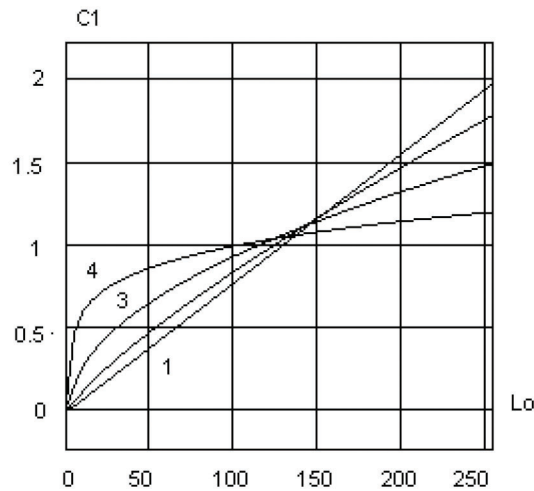


Рис. 4. Залежність контрастної чутливості для малих показників степеня

При зменшенні показника степеня ( $2.0 \leq r \leq 1.2$ ) максимальне значення контрастної чутливості зменшується до 2.0 одиниці. Найбільша чутливість є при показникові степеня  $r = 2.0$  і становить 1.981 одиниць, поступово зменшується до 1,98. При зменшенні показника степеня від 2.0 до 1.2 контрастна чутливість зменшилась і в кінці діапазону становить 1,981; 1,786; 1,493; 1,198. Отже, градаційні характеристики мають низьку контрастність, тому при малих показниках степеня гама-перетворення є значні втрати у тінях.

Результати імітаційного моделювання зсуву градаційної характеристики гама-перетворень від лінійної подані на рис. 5.

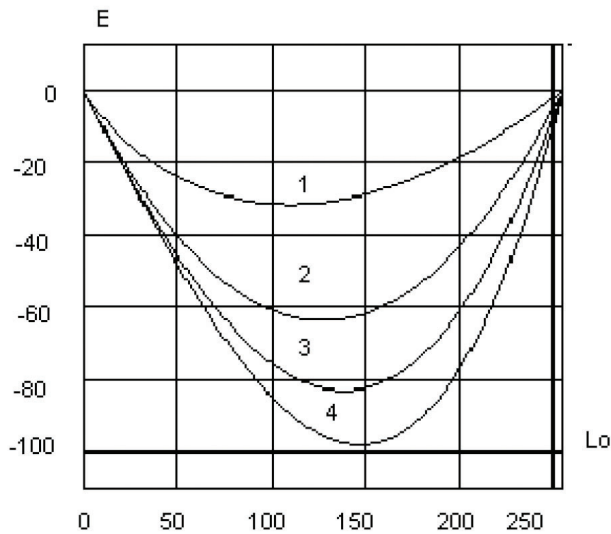


Рис. 5. Відхилення градаційної характеристики від лінійної

Відхилення градаційної характеристики від лінійної є деформованими U-подібними кривими. При збільшенні показника степеня  $r = 1,4; 2,0; 2,5; 3,0$  мінімальне значення відхилення становлять  $E = -30; -62; -82; -100$  рівнів сірого. Збільшення показника степенів викликає зміщення кривих відхилення праворуч, і відбувається зсув зображення у світлі тони. Величина зсуву  $E$  кількісно оцінює зображення, у цьому випадку при збільшенні  $E_m$  краще відтворюються світлі деталі на зображеннях, натомість є значні втрати у темних тонах.

Результати дослідження можна використати у комп'ютерних видавничих системах для вибору оптимальної градаційної характеристики при гама-перетворенні цифрових зображень до друку.

**Висновки.** Розроблено математичну модель для визначення контрастної чутливості гама-перетворених зображень із різними градаційними характеристиками, їх відхилення від лінійної та зсув і здійснено об'єктивні кількісні оцінки їх властивостей. В пакеті MATLAB: Simulink розроблено структурну схему моделі симулятора гама-перетворених зображень різної тональності, яка паралельно

розраховує і будує градаційні характеристики, контрастну чутливість і відхилення від лінійної.

Подані результати імітаційного моделювання зображень темної тональності, які є вгнутими, кривизна яких збільшується із збільшенням показника степеня  $\gamma = 1,4; 2,0; 2,5; 3,0$ . Встановлено, що на початку діапазону крутість градаційної характеристики є найменшою, внаслідок цього є втрати у темних тонах, натомість у кінці інтервалу крутість збільшується, тому краще відтворюються світлі тони. Визначено контрастну чутливість гама-перетворення, яка у кінці діапазону має найбільші значення від 1,399 до 3,0, тому краще розрізняються деталі світлих зображень. При зменшенні показника степеня  $\gamma$  від 2,0 до 1,2 контрастна чутливість зменшується від 1,981 до 1,198, тому погіршуються сприйняття зображення на усьому інтервалі тональності. Подані характеристики відхилення градаційних характеристик від лінійної для попередніх показників степеня гама, які є вгнутими кривими, амплітудне значення яких знаходиться в межах  $-30; -62; -100$  рівнів сірого, і мають зсув в сторону світів. Величина зсуву  $E$  кількісно дорівнює зображенню, в цьому випадку краще відтворюються світлі деталі на зображеннях, натомість є значні втрати у темних тонах. Встановлено, що запропонована контрастна чутливість об'єктивно і кількісно описує властивості гама-перетворення цифрових зображень різної тональності.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Айриг С., Айриг Е. Подготовка цифровых изображений. 1997. 176 с.
2. Воробель Р. А. Логарифмічна обробка зображень. Київ : Науково-виробниче підприємство Видавництво «Наукова думка» НАН України, 2012. 232 с.
3. Відтворення зображень растровими пристроями : навч. посіб. / Гавриш Б. М., Дурняк Б. В., Тимченко О. В., Ющик О. В. Львів : УАД, 2016. 180 с.
4. Луцків М. М. Цифрові технології друкарства : монографія. Львів : УАД, 2016. 488 с.
5. Мартинюк В. Т. Основи додрукарської підготовки образотворчої інформації : Кн. 2: Основи опрацювання образотворчої інформації: підручник. Київ : Університет «Україна», 2009. 291 с.
6. Предко Л. С. Проектування додрукарських процесів : навч. посіб. Львів : УАД, 2009. 352 с.
7. Ющик О. В. Основи цифрової обробки зображень : навч. посіб. Львів : УАД, 2009. 352 с.
8. Buczynski L. Skaneryskanowanie. Warszawa : Wydawnictwo MIKOMA, 2005. 88 s.
9. Gonzalez C., Woods E. Digital image Processing: International Version 3<sup>rd</sup> Edition, 1nc publishing as Prentice itall. Copuringht, 2008. 1104 p.
10. O'Quinn Donnie. Print Publishig a Hayden Shop Manual. West 103<sup>rd</sup>Streat, Indianapolis, Indian, 2003. 590 p.

#### REFERENCES

1. Ajrig, S., & Ajrig, E. (1997). Podgotovka cifrovyh izobrazhenij. (in Russian).
2. Vorobel, R. A. (2012). Loharyfmichna obrobka zobrazhen. Kyiv : Naukovo-vyrobnyche pidpriemstvo Vydavnytstvo «Naukova dumka» NAN Ukrainy (in Ukrainian).



3. Havrysh, B. M., Durniak, B. V., Tymchenko, O. V., & Yushchuk, O. V. (2016). Vidtvorennia zobrazhen rastrovymy prystroiamy. Lviv : UAD (in Ukrainian).
4. Lutskiv, M. M. (2016). Tsyfrovi tekhnolohii drukarstva. Lviv : UAD (in Ukrainian).
5. Martyniuk, V. T. (2009). Osnovy dodrukarskoi pidhotovky obrazotvorchoi informatsii : Kn. 2: Osnovy opratsiuvannia obrazotvorchoi informatsii. Kyiv : Universytet «Ukraina» (in Ukrainian).
6. Predko, L. S. (2009). Proektuvannia dodrukarskykh protsesiv. Lviv : UAD (in Ukrainian).
7. Yushchuk, O. V. (2009). Osnovy tsyfrovoi obrobky zobrazhen. Lviv : UAD (in Ukrainian).
8. Buczynski, L. (2005). Skaneryiskanowanie. Warszawa : Wydawnictwo MIKOMA (in Polish).
9. Gonzalez, C., & Woods, E. (2008). Digital image Processing: International Version 3<sup>rd</sup> Edition, 1nc publishing as Prentice itall. Copuringht (in English).
10. O'Quinn, Donnie. (2003). Print Publishig a Hayden Shop Manual. West 103<sup>rd</sup>Streat, Indianaapolis, Indian (in English).

doi: 10.32403/0554-4866-2023-1-85-22-31

## DETERMINATION OF CONTRAST SENSITIVITY OF GAMMA TRANSFORMED DARK IMAGES

Yu. Yu. Serdyuk

*Ukrainian Academy of Printing,  
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine  
fedynabogdana@gmail.com*

*A mathematical model of gamma-transformed images is developed, which makes it possible to calculate the gradation characteristics of digital images of different tonalities, the deviation of characteristics from linear ones, their shift towards worlds, to determine the contrast sensitivity of images, to analyze and compare their properties. In the MATLAB: Simulink package, a structural diagram of the simulator model of gamma-transformed images of different tonality is developed, which simultaneously calculates and constructs the gradation characteristics of their deviation from the linear one. In order to evaluate the gamma properties of transformed images, it is proposed to determine the contrast sensitivity of digital images for various indicators of the transformation degree.*

*The results of simulated modeling of the gradation characteristics of the transformation for indicators of degree  $r= 1.4$  are presented; 2.0; 2.5; 3.0, which correspond to dark tones. It is found that at the beginning of the range, the steepness of the gradation characteristics is the smallest, as a result of which there are losses in the dark tones of the image, but at the end of the interval, the steepness increases, as a result of which the light details of the images are better distinguished. The contrast sensitivity of the image is determined, the initial value of which is equal to zero, smoothly increases to the final values (from 1.394 to 3.00), which quantitatively evaluates the quality of the image on the tone transfer interval.*

*An increase in  $r$ -degree moves the gradation characteristic to the right and down, the images shift to dark tones, instead, the contrast of the images in the worlds increases, the light details in the image are better distinguished. At low values of the power of  $1.2 \leq r \leq 2.0$ , the contrast sensitivity decreases, as a result of which the image becomes weak and unclear. The presented characteristics of the deviation of the gradation characteristics from the linear one for different indicators of the degree of gamma, which are concave curves, the amplitude value of which is in the range of -30 to -100 and have a shift to the right towards the worlds.*

*It is established that the proposed contrast sensitivity objectively evaluates the gamma properties of transformed digital images of different tonality.*

*The results of the analysis and simulation modeling can be applied in the gamma correction of digital images in computer publishing systems during their preparation for printing, will contribute to the improvement of the quality of printed images of publications.*

**Keywords:** *model, gamma transformation, simulation, gradation characteristics, properties, contrast sensitivity, quality.*

*Стаття надійшла до редакції 27.01.2023.*

*Received 27.01.2023.*