

ВИЗНАЧЕННЯ ВІДНОСНОГО КОНТРАСТУ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ РІЗНОЇ ТОНАЛЬНОСТІ

М. М. Луцків, І. В. Барановський

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

Запропоновано вираз для визначення відносного контрасту цифрових зображень різної тональності, який базується на використанні властивостей зорової системи людини, тобто на реакції на зміну яскравості зображення. Для дослідження застосували цифрове зображення, подане степеневим перетворенням, яке описує градаційну характеристику яскравості зображення у діапазоні $0 \leq L \leq 255$, за допомогою показника степеня $0,35 \leq r \leq 2,5$ згенерували зображення різної тональності і визначили їх контрастність на діапазоні тонопередачі.

У пакеті MATLAB: Simulink розробили структурну схему моделі симулятора відносного контрасту, який містить три функціональні блоки математичних функцій F_{cn} , у діалогових вікнах яких записана програма для формування градаційних характеристик і три блоки Subsystem, у яких записані вирази для обчислення відносного контрасту, які дають можливість формувати градаційні характеристики, розраховувати контраст і будувати характеристики контрасту та здійснювати їх аналіз.

Подані результати імітаційного моделювання градаційних характеристик зображень для трьох варіантів світлих і темних тонів та характеристики контрасту. Зауважимо, що відносні контрасти для світлих тонів є від'ємними, а їхні характеристики є випуклими кривими, крутизна яких на початку діапазону залежить від показника степеня. Від'ємний знак контрасту вказує на те, що яскравість L переважає L_0 . Контрасти темних тонів є додатними і протилежними до попередніх. Початкові значення контрасту дорівнюють одиниці незалежно від показника степеня. Характеристики контрасту є випуклими кривими, кривизна яких відповідає показнику степеня. Верхня крива, яка відповідає показнику степеня $r=2,5$, має найменшу кривизну. Нижня характеристика відповідає показнику степеня $r=1,5$ і має найбільшу кривизну на усьому інтервалі тонопередачі. Визначили контраст для темних тонів на початку діапазону для $L_0 = 50$, які мають такі значення C : 0,3862; 0,6721; 0,8402 одиниць, що кількісно оцінює зорове сприйняття цифрових зображень. Найбільший контраст мають темні зображення. Отже, чорний колір надзвичайно важливий для забезпечення контрасту.

Результати досліджень та імітаційного моделювання можуть застосовувати дизайнери спеціалізованих видавничих систем під час підготовки цифрових зображень до друку для підвищення контрастності зображення.

Ключові слова: контраст, цифрове зображення, градаційна характеристика, моделювання, контрастна характеристика, симулятор, оцінки контрастності.

Постановка проблеми. Контраст є одним із найкращих способів покращення візуального сприйняття зображення і зростання інтересу до відбитка. Наше око знаходить контрасти, які виникають при зіставленні двох різних елементів. Якщо два елементи мало розрізняються, то контраст відсутній. Одного погляду на зображення достатньо, щоб глядач зорієнтувався, про що йдеться на зображенні та які воно має недоліки. Існують різні методи і способи визначення та оцінки контрасту. У традиційному підході визначення контрасту базується на характеристиці оптичної густини. Наприклад, визначають відносний приріст оптичної густини коефіцієнтом нахилу кривої $K=\Delta D/D$ у заданій точці чи діапазоні. Однак вони малоефективні та застосовуються лише іноді [1, 4, 7].

З появою цифрових зображень розроблено різні типи і класи виразів, які описують функції контрастів [2]. При цьому базуються на використанні властивостей зорової системи людини, тобто її реакції на зміну яскравості зображення. Для цього переважно застосовують психофізичний закон Вебера-Фехнера, а також пороговий і відносний контраст. Розроблено декілька десятків виразів, які описують функції контрастів, зокрема на основі трикутних норм [2], які слугують для визначення відносних зважених контрастів елементів зображення, а також для обчислення узагальненого контрасту напівтонового зображення, які дають можливість порівняння кількісних оцінок зображення для різних галузей науки, техніки і виробництва. Однак, незважаючи на це, ще немає достатньо усталених і широко використовуваних підходів до визначення поняття контрастності зображення загалом [1, 2, 4, 7].

Звернемо увагу на те, що в поліграфії проблема визначення контрасту загалом не висвітлена. Оператор (дизайнер) комп'ютерної видавничої системи, який проводить коригування цифрових зображень і оцінює якість зображення на моніторі та його контраст, здебільшого немає оригіналу і оцінює якість та його контраст «на око», на власний розсуд, залежно від знань, досвіду і майстерності, тому якість зображення не може бути оптимальною [6, 11, 12]. У комп'ютерній графіці Photoshop та інших не передбачена програма для побудови градаційної характеристики цифрового зображення та контрасту. В оператора мало інформації про зображення, що обмежує його можливість щодо якісної підготовки зображення до друку.

Отже, визначення відносного контрасту цифрових зображень, яке дає можливість визначити і побудувати характеристику відносного контрасту та її аналіз, є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У поліграфії багато пишуть і часто застосовують термін «контраст» та здебільшого його оцінюють словесно — «високий контраст», «середній» та «низький контраст». У навчальному посібнику [4] подано визначення терміна «контраст» (від фр. *contraste* — різна відмінність, протиставлення) — інтервал оптичної густини між найсвітлішими та

найтемнішими ділянками зображення чи фотографії (0,3–2,7). В умовах поточного виробництва для оцінки якості друкованого зображення застосовують контраст друку (Print Contrast) як важлива характеристика друкованого зображення, який визначають за коефіцієнтом Ширмера [7, 8]:

$$K = (D_s - D_r) / D_s \cdot 100\%, \quad (1)$$

де D_s — оптична густина плашки і D_r — інтегральна оптична густина растрової ділянки контрольної шкали.

Коефіцієнт контрасту визначають з оптичними густинами відбитків 100 % і 80 % або 75 % елементами шкали. Значення коефіцієнта контрасту залежить від фарби і різних видів паперу і становить $0,50 \pm 0,04$ для крейдованого глянцевого, $0,25 \pm 0,07$ — некрейдований (газетний). Нульове значення коефіцієнта контрасту засвідчує повну втрату градацій в темних ділянках зображення. На сучасних денситометрах коефіцієнт контрасту розраховується автоматично. Зауважимо, що при цьому оцінюється тільки контраст темних тонів, не подаючи його значення для світлих [7]. Звернемо увагу на те, що значне підвищення контрасту у тінях може провокувати виникнення постеризації (сходинчастість) в областях глибоких тонів, яка є ще однією проблемою, що спотворює якість зображення [6, 10].

Під час обробки зображень вважають, що контраст — це кількісна чи якісна різниця двох частин поля зору, яка є реакцією ока людини на світлове яскраве збудження [2]. Аналіз контрасту зображення ґрунтується на основі психофізичного закону Вебера-Фехнера і закону контрастного сприйняття світла Нестерука-Парфир'євої, близький до логарифмічної форми опису реакції зорової системи людини, на основі яких запропоновано різні способи формування явного виразу контрасту, як функції різниці через побудову специфічної операції віднімання і визначення різних типів контрасту [2]. Досить широко використовують пороговий контраст, що базується на законі Вебера-Фехнера [2]:

$$K = (L_1 - L_0) / L_0, \quad (2)$$

де L_0 і L_1 — значення яскравостей двох елементів зображень.

Під час обробки зображень у фізиці і поліграфії застосовується зважений або відносний контраст:

$$C_1 = (L_1 - L_0) / L_1 - L_0. \quad (3)$$

Існує низка підходів до визначення контрасту двох елементів зображення. Наприклад, степеневе перетворення, експоненціальне перетворення, логарифмічне перетворення та багато різних функцій, які можна застосувати для формування нових виразів визначення контрасту шляхом перетворення базових виразів [2]. Для формування функцій контрасту широко застосовують функції, які називають трикутними нормами [2]. Згенеровано декілька десятків функцій контрасту на основі генераторів трикутних норм, які застосовуються у різних галузях науки, техніки і виробництва [2]. У поліграфії проблема визначення контрасту цифрових зображень під час підготовки до друку ґрунтовно не вивчена.

Отже, визначення відносного контрасту цифрових зображень різної тональності є актуальним завданням, яке дає можливість розраховувати, будувати і аналізувати характеристики контрасту для різних тонів зображення під час підготовки їх до друку.

Мета статті — визначити відносний контраст цифрового зображення заданими градаційними характеристиками різної тональності, здійснити їх імітаційне моделювання і проаналізувати їх властивості на діапазоні тонопередачі.

Виклад основного матеріалу дослідження. Першим завданням для вирішення поставленої задачі є вибір функції, яка застосовується для формування градаційної характеристики цифрового зображення. Оскільки у комп'ютерних видавничих системах для коригування зображень, наприклад у програмах комп'ютерної графіки Photoshop та інших, використовують степеневе коригування, то степеневе перетворення можна застосовувати для розв'язку поставленої задачі. За вхідне зображення приймаємо лінійну шкалу, яка є в межах $[0 \leq L_0 \leq 255]$. При заданих припущеннях сформуємо степеневе перетворення зображення на основі лінійної шкали [6]:

$$L = KL_0^r \cdot 255, \text{ якщо } 0 \leq L \leq 255, \quad (4)$$

де масштаб $K=1/255$, r — показник степеня.

Якщо показник степеня менший ніж одиниця, то зображення світле, якщо r більший — темне. Оскільки у поліграфії застосовують відносний контраст, то подаємо вираз відносного контрасту аналогічно (3):

$$C_1 = (L_1 - L_0) / (L_1 + L_0). \quad (5)$$

Після підстановки (4) у (5) одержимо вираз для визначення відносного контрасту:

$$C = (KL_0^r \cdot 255 - L_0) / (KL_0^r \cdot 255 + L_0), \quad (6)$$

Спочатку визначимо відносний контраст для цифрових зображень світлих тонів. Задавши показники степеня $r = 0,40; 0,50; 0,60$, одержимо три вирази для визначення типових відносних контрастів:

$$C = (KL_0^{0,4} \cdot 255 - L_0) / (KL_0^{0,4} \cdot 255 + L_0),$$

$$C = (KL_0^{0,5} \cdot 255 - L_0) / (KL_0^{0,5} \cdot 255 + L_0),$$

$$C = (KL_0^{0,6} \cdot 255 - L_0) / (KL_0^{0,6} \cdot 255 + L_0), \text{ якщо } 0 \leq L \leq 255. \quad (7)$$

Аналогічно, задавши показники степеня $r=1,5; 2,0; 2,5$, одержимо три вирази для визначення типових відносних контрастів зображень темних тонів. На основі викладеного виразу (7) можна розрахувати градаційні характеристики степеневого перетворення зображень і визначити відносний контраст для різних показників степеня. Для спрощення розв'язання задачі застосували імітаційне моделювання в пакеті MATLAB: Simulink. У вікні моделі із операційних блоків бібліотек Simulink розробили структурну схему моделі триканального симулятора відносного контрасту, схема якого подана на рис. 1. Блок Ramp генерує лінійну контрастну шкалу L_0 , яка масштабується блоком Gain і подається на входи блоків математичних функцій $F_{cn} - F_{cn2}$, у діалогових вікнах яких записується програма (вираз (4) степеневого перетворення зображень). Обчислені степеневі перетворення L_1, L_2, L_3 для різних показників степеня подаються на входи мультиплексора M_{ux} і візуалізуються блоками Scope та Display. Обчислені степеневі перетворення зображення паралельно подаються на входи блоків Atomic Subsystem, у яких за виразами (7) визначається типові відносні контрасти різних тонів, які подаються на входи мультиплексора і візуалізуються блоками Scope1 і Display1. У діалогових вікнах

блоків математичних функцій подані показники степеня $r = 0,40; 0,50; 0,60$. Результати імітаційного моделювання типових градаційних характеристик для світлих тонів подані на рис. 2.

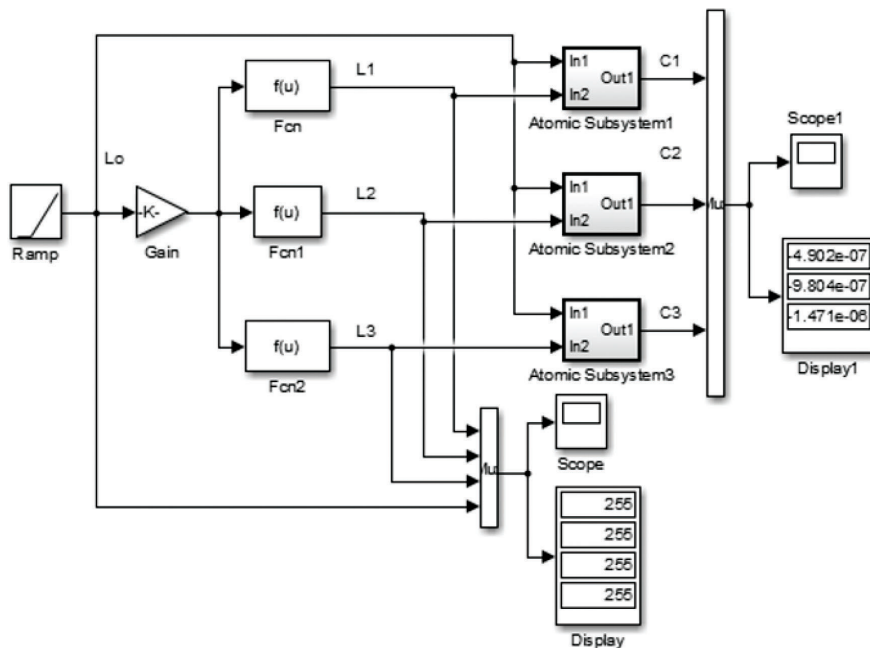


Рис. 1. Структурна схема моделі симулятора відносного контрасту

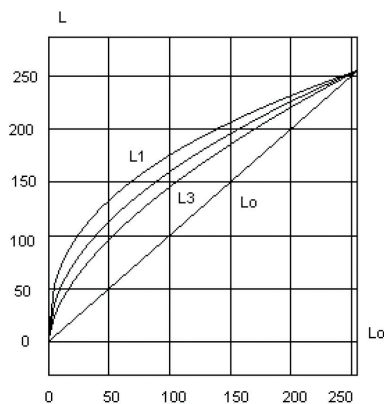


Рис. 2. Типові градаційні характеристики для світлих тонів

Для порівняння на рис. 2 подана лінійна шкала L_0 . Традиційні характеристики є випуклими кривими, які на початку діапазону мають велику крутизну, що забезпечує добре відтворення деталей на темних ділянках зображення. Найбільшій крутизні відповідає показник степеня $r = 0,40$, найменшій — $r = 0,50$. Визначили прирости вихідного зображення на початку діапазону $L_0 = 50$, які становлять 96;

113; 133 рівнів, що залежать від показників степеня. Результати імітаційного моделювання типових контрастних характеристик для світлих тонів подані на рис. 3.

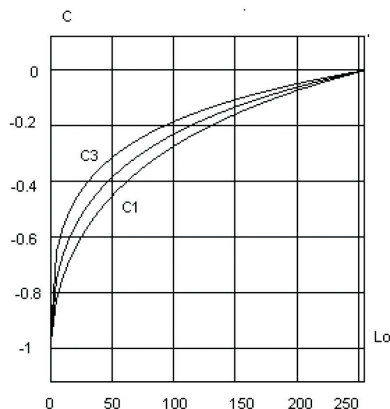


Рис. 3. Типові контрастні характеристики для світлих тонів

Звернемо увагу на те, що контрастні характеристики для світлих тонів є від'єдними. Знак контрасту вказує на те, яка з яскравостей переважає — L чи L_0 (рис. 2). Порівнюючи рис. 2 і рис. 3, робимо висновок, що за формою контрастні характеристики відповідають градаційним. На початку діапазону характеристики мають достатню крутизну і є випуклими кривими. Верхній кривій відповідає показник степеня $r = 0,6$, нижній — $0,40$. На початку діапазону контраст найбільший і близький до одиниці $C \leq 1$, натомість у кінці діапазону $L = 255$ відсутній контраст $C \geq 0$. Отже, чорний колір є надзвичайно необхідний для забезпечення контрасту зображення.

Налаштували симулятор на темні зображення. У діалогових вікнах блоків математичних функцій задали показники степеня $r = 1,50; 2,00; 2,50$. Результати імітаційного моделювання типових градаційних характеристики для темних тонів подані на рис. 4.

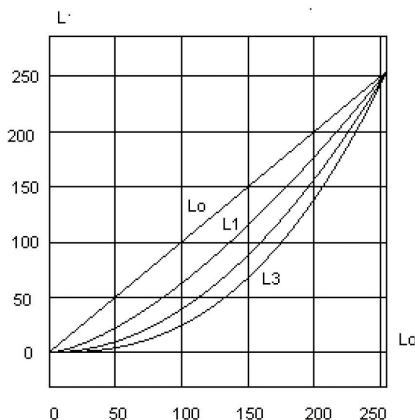


Рис. 4. Типові градаційні характеристики для темних тонів

Для порівняння на рис. 4 подана лінійна шкала L_0 . Градаційні характеристики є вгнутими кривими, які на початку діапазону мають малу крутизну, що погіршує відтворення темних ділянок зображення. Збільшення показника степеня зсуває градаційну характеристику вниз і праворуч, тому відбувається зсув темних тонів. Визначали прирости вихідного зображення на початку діапазону $L_0 = 50$, які становлять 4,34; 9,80; 22,20 рівнів, які залежать від показників степеня. Зауважимо, що прирости вихідного зображення є на порядок менші, ніж у світлих тонах, що погіршує сприйняття деталей на темних ділянках зображення. Результати імітаційного моделювання типових контрастних характеристик до темних тонів подані на рис. 5. Порівнюючи рис. 3 і рис. 5, робимо висновок, що контрастні характеристики для темних тонів є протилежними від попередніх, а їх контраст є значно більший. Незалежно від показника степеня початкові значення контрасту дорівнюють одиниці та є вгнутими кривими і добре розміщені на площині. Верхня крива відповідає показнику степеня $r = 2,5$, нижня $r = 1,5$. У кінці діапазону $L = 255$ контраст відсутній. Отже, при показниках степеня r більше ніж одиниця значно збільшується кількість чорного кольору, який забезпечив підвищення контрастності зображення і краще відтворення темних деталей на зображенні.

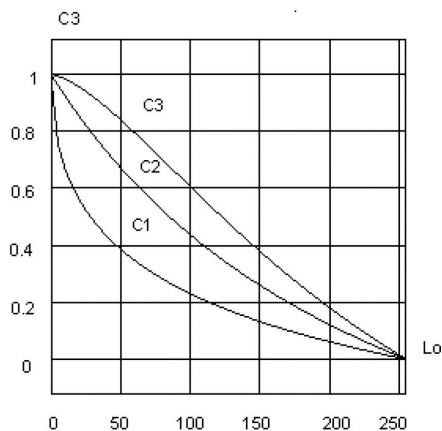


Рис. 5. Типові контрастні характеристики для темних тонів

Результати дослідження можна використати у комп'ютерних видавничих системах для формування оптимальної градаційної характеристики з підвищеним контрастом.

Висновки. Запропоновано вираз для визначення вхідного контрасту степеневі перетворених цифрових зображень різної тональності. Розроблено вирази для визначення типових варіантів відносних контрастів для різних показників степеня, які кількісно і якісно оцінюють контрастність. Здійснено аналіз його властивостей. У пакеті MATLAB: Simulink розроблено структурну схему моделі триканального симулятора відносного контрасту цифрових зображень, який паралельно розраховує і будує типові градаційні характеристики для світлих і темних тонів.

Подані результати імітаційного моделювання типових градаційних характеристик для світлих тонів, які є випуклими кривими і на початку діапазону мають велику крутизну, яка оцінена при $L_0 = 50$ приростами вихідних зображень, які становлять 96; 113; 133 рівнів, тому добре розрізняються деталі на темних ділянках зображення. Встановлено, що відносний контраст світлих тонів є від'ємним. На початку діапазону контраст найбільший і близький до одиниці ($C \leq 1$), натомість у кінці діапазону близький до нуля (відсутній). Отже, чорний колір необхідний для забезпечення контрасту зображення.

Типові градаційні характеристики темних тонів є вгнутими кривими, які по початку діапазону мають надто малу крутизну, яку при $L_0 = 50$ оцінено приростами 4,34; 9,80; 22,20, які на порядок менші, ніж у світлих тонах. Встановлено, що типові характеристики контрасту темних тонів є протилежними від попередніх, а їх контраст значно більший. Незалежно від показника степеня початкові значення контрасту дорівнюють одиниці, є вигнутими кривими, які добре розташовані на площині контрасту. Доведено, що за показника степеня r більше ніж одиниця значно збільшується щільність чорного кольору, який забезпечує підвищення контрасту зображення і краще сприйняття темних деталей на зображенні. Отже, чорний колір надзвичайно важливий для забезпечення контрасту і сприйняття зображення зоровою системою людини.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Барановський І. В., Яхимович Ю. П. Поліграфічна переробка образотворчої інформації : навч. посіб. Київ-Львів : ІЗМН, 1998. 420 с.
2. Воробель Р. А. Логарифмічна обробка зображень. Київ : «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. Лотошинська Н. Д., Івахів О. В. Теорія кольору та кольоротворення : навч. посіб. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2014. 204.
5. Луцків М. М. Цифрові технології друкарства : монографія. Львів : УАД, 2016. 488 с.
6. Мартинюк В. Т. Основи додрукарської підготовки образотворчої інформації: Основи опрацювання образотворчої інформації : підруч. Київ : Університет «Україна», 2009. 291 с.
7. Предко Л. С. Проектування додрукарських процесів : навч. посіб. Львів : УАД, 2009. 352 с.
8. Buczynski L. Skanery i skanowanie. Warszawa : Wydawnictwo Mikoma, 2005. 85 s.
9. Poligrafia: procesy i technika / Panak J., Ceppan M., Dvonka V., Karpinsky L., Kordos P., Mikula M., Jakuciewicz S. Warszawa : COBRPE, 2009. 278 s.
10. Gonzales R. C., Woods R. E. Digital image Processing: International Version 3rd Edition, Inc publishing as Prentice Hall. Copyright, 2008. 1104 p.
11. Donnie O'Quinn. Print Publishing : A Hayden Shop Manual. Indianapolis, Indiana. 2003. 590 p.

REFERENCES

1. Baranovskyi, I. V., & Yakhymovych, Yu. P. (1998). Polihrafichna pererobka obrazotvorchoi informatsii. Kyiv-Lviv : IZMN (in Ukrainian).
2. Vorobel, R. A. (2012). Loharyfmichna obrobka zobrazen. Kyiv : «Naukova dumka» NAN Ukrainy» (in Ukrainian).
3. Havrysh, B. M., Durniak, B. V., Tymchenko, O. V., & Yushchuk, O. V. (2016). Vidtvorennia zobrazen rastrovymy prystroiamy. Lviv : UAD (in Ukrainian).
4. Lotoshynska, N. D., & Ivakhiv, O. V. (2014). Teoriia koloru ta kolorotvorennia. Lviv : Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki (in Ukrainian).
5. Lutsiv, M. M. (2016). Tsyfrovi tekhnolohii drukarstva. Lviv : UAD (in Ukrainian).
6. Martyniuk, V. T. (2009). Osnovy dodrukarskoi pidhotovky obrazotvorchoi informatsii: Osnovy opratsiuvannia obrazotvorchoi informatsii. Kyiv : Universytet «Ukraina» (in Ukrainian).
7. Predko, L. S. (2009). Proektuvannia dodrukarskykh protsesiv. Lviv : UAD (in Ukrainian).
8. Buczynski, L. (2005). Skanery i skanowanie. Warszawa : Wydawnictwo Mikoma (in Polish).
9. Panak, J., Ceppan, M., Dvonka, V., Karpinsky, L., Kordos, P., Mikula, M., & Jakuciewicz, S. (2009). Poligrafia: procesy i technika. Warszawa : COBRPE (in Polish).
10. Gonzales, R. C., & Woods, R. E. (2008). Digital image Processing: International Version 3rd Edition, Inc publishing as Prentice Hall. Copyright (in English).
11. Donnie, O'Quinn. (2003). Print Publishing : A Hayden Shop Manual. Indianapolis, Indiana (in English).

doi: 10.32403/2411-3611-2023-2-44-9-18

DETERMINATION OF THE RELATIVE CONTRAST FOR DIGITAL IMAGES OF DIFFERENT TONES

M. M. Lutsiv, I. V. Baranovskyi

*Ukrainian Academy of Printing,
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine
ihbar@ukr.net*

An expression for determining the relative contrast for digital images of different tones is proposed, which is based on the use of the properties of the human visual system, that is, on the reaction to changes in image brightness. For the study, a digital image presented by a power transformation is used, which describes the gradation characteristic of the brightness of the image in the range $0 \leq L \leq 255$, with the help of the power indicator $0.35 \leq r \leq 2.5$, images of different tones are generated and their contrast is determined in the tone transfer range.

In the MATLAB: Simulink package, a structural diagram of the relative contrast simulator model is developed, which contains three functional blocks of mathematical functions Fcn, in the dialog windows of which the program for forming gradation characteristics is written and three Subsystem blocks are written, in which expressions

for calculating the relative contrast are written, which make it possible to form gradation characteristics, calculate contrast and construct contrast characteristics and perform their analysis.

The results of simulated modeling of image gradation characteristics for three variants of light and dark tones and contrast characteristics are presented. It is noted that the relative contrasts for light tones are negative, and their characteristics are convex curves, the steepness of which at the beginning of the range depends on the exponent. A negative contrast sign indicates that the luminance of L is greater than that of L_0 . Contrasts of dark tones are positive and opposite to the previous ones. The initial contrast values are equal to one, regardless of the exponent. The contrast characteristics are convex curves, the curvature of which corresponds to the exponent. The upper curve, which corresponds to the exponent $r=2.5$, has the smallest curvature. The lower characteristic corresponds to the power of $r=1.5$ and has the greatest curvature in the entire range of tone transmission. The contrast is determined for dark tones at the beginning of the range at the beginning of the range for $L_0 = 50$, which have the following C values: 0.3862; 0.6721; 0.8402 units, which quantifies the visual perception of digital images. Dark images have the highest contrast. So black is extremely important to provide contrast.

The results of research and simulation modeling can be used by designers of specialized publishing systems when preparing digital images for printing to increase image contrast.

Keywords: contrast, digital image, gradation characteristic, modeling, contrast characteristic, simulator, contrast evaluations.

Стаття надійшла до редакції 06.07.2023.

Received 06.07.2023.