

ПРОЦЕСИ

УДК 655.225

МОДЕЛЬ ІНТЕНСИВНОСТІ ЗОРОВОГО ВІДЧУТТЯ ОПТИЧНОЇ ГУСТИНИ

Луцків М.М.

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

Розглянуто задачу побудови моделі інтенсивності зорового відчуття оптичної густини монохромного напівтонового зображення. Розроблена структурна схема моделі. Приведені результати імітаційного моделювання у вигляді залежності інтенсивності зорового відчуття від оптичної густини на заданому інтервалі тонопередачі для різної кількості порогів розрізнення і сталих умов спостереження її проаналізованого її властивості.

Ключові слова: модель, оптична густина, сприйняття, кількість порогів, розрізнення, параметри, симулювання, аналіз, властивості.

Постановка проблеми. Характерною особливістю відтворення напівтонових зображень поліграфічними засобами полягає в тому, що воно сприймається зоровою системою людини у відбитому або пропущеному світлі зовнішніх джерел, тому світлота зображень визначається не тільки властивостями самого зображення, але і його освітленням. Оскільки поліграфічне зображення фізично відтворюється не світлом, а «чорнотою» фарби, що унеможливило застосування широко розвинутих і ефективних методів цифрової обробки зображень, які відтворюються 250 рівнями світла на темному (чорному) екрані монітора [2,3,6].

В історичному плані у фотографічних процесах вперше застосовано визначати ступінь почорніння фоточутливої плівки значеннями оптичної густини, яку з часом почали застосовувати в поліграфії для визначення ступеня зачорнення зображень на відбитку, щоб описати поліграфічне зображення однозначно і незалежно від інтенсивності освітлення при якому воно спостерігається чи вимірюється, його описують коефіцієнтом відбивання світла від поверхні зображення і кількістю оцінюють за оптичною густиною як від'ємний десятковий логарифм коефіцієнта відбивання [1,4,5], що широко використовується в денситометрії і служить для оперативного контролю відбитків та налагодження фарбових апаратів на заданий наклад [4,8]. Вираз для розрахунку оптичної густини за логарифмом коефіцієнта відбивання подано у ряді відомих джерел, підручників, монографій [1,4,5,7] та інших, однак аналіз цього виразу чи графічних характеристик у цих джерелах немає і практично він не застосовується для аналізу чи обробки поліграфічних зображень до друкування. Натомість методи цифрової обробки зображень, зокрема контрасту зображень та логарифмічні моделі обробки зображень широко застосовують [2,3,6], для покращення якості зображень, зокрема посилення контрасту його елементів. Отже, аналіз оптичної густини зображень

в поліграфії значно відстає від теорії цифрової обробки зображень в інших галузях. Тому моделювання інтенсивності зорового відчуття оптичної густини монохромного напівтонового зображення є актуальною задачею, що дозволить враховувати властивості зорової системи людини при підготованні зображення до друкування, що підвищить його ефективність і якість.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Основані сучасні методи і моделі обробки зображень базуються на властивостях закону Вебера-Фехнера сприйняття світла зоровою системою людини [2,3,5]. Аналогічно інтуїтивно використовують критерії оцінки якості зображень за їх візуальним сприйняттям. Складність проблеми зумовлена також тим, що ці досліди є комплексними: як фізичними (оптичними), так і психологічними (психофізичними). Око людини реагує на світловий потік. При збільшенні світлового потоку зростає рівень реакції зору випромінювання сприймаються як більш світле [2,3]. Рівень зорового сприйняття – світлість – залежить від потоку світла, що діє на око, що спрямований до зіниць. Складність завдання полягає в тому, що органи відчуття не можуть фіксувати рівень відчуття. Вони дають можливість встановлювати тільки тотожність чи відмінність двох відчуттів, що зіставляються, зокрема світлових. На цьому базується метод зміни світлості – метод порогових відчуттів. На основі експериментальних досліджень одержано психофізичний закон Вебера-Фехнера, поданий логарифмічним виразом, описаний у різних формах [2,3,5]. Традиційно поріг сприйняття характеризують різницею яскравостей суміжних полів при експериментальних оптичних дослідженнях [2,5]

$$\Delta L = L_0 - L_1, \quad (1)$$

де ΔL - поріг – найменша різниця яскравостей, що забезпечує зорову відмінність більшої яскравості L_0 до меншої L_1 . У 1858 році Фехнер встановив, що мінімально виявлена яскравість залежить не від порогу ΔL , а від його відношення до початкової яскравості [2,5]

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

Коефіцієнт пропорційності K вказує співвідношення яскравості, при якому їх світлості ледь різняться, його називають диференціальним порогом, чи пороговим контрастом. На основі закону Вебера Фехнер запропонував вважати одиницею вимірювання яскравостей сприйняття порогового розрізнення між двома світловими полями, які названі диференціальним порогом і встановив, що відчуття зростають пропорційно логарифму яскравостей [2]

$$W = K \lg (L_n - L_0) = K (1 L_n - \lg L_0), \quad (3)$$

де W – інтенсивність відчуття, а вираз (3) є виразом основного психофізичного закону Вебера-Фехнера, що пов'язує світлості з яскравістю.

Відомий інший вираз для визначення контрасту за приростом оптичної густини [2]

$$\Delta D = -W/K, \text{ або } W = -K\Delta D = -(lgL_m - lgL_m), \quad (4)$$

де W – приріст світлості.

Недоліком цього виразу є те, що в ньому фігурує тільки приріст оптичної густини ΔD , що обмежує його можливості. У поданих публікаціях у законах відсутній зв'язок зорового сприйняття з оптичною густиною монохроматичного напівтонового зображення, що не дає можливості встановити сприйняття зорової системи оптичної густини зображення, яке широко застосовується в поліграфії.

Мета статті. Побудувати модель інтенсивності зорового відчуття оптичної густини монохромного напівтонового зображення. Визначити і побудувати залежність інтенсивності відчуття від оптичної густини на заданому інтервалі для різної кількості порогів розрізнення і проаналізувати її властивості.

Виклад основного матеріалу дослідження. Оскільки відтворення зображення поліграфічними засобами здійснюється не світлом, а чорнотою фарби, тому в поліграфії для визначення ступеня зачорнення зображень на відбитку його кількісно оцінюють за оптичною густиною відповідно до міжнародного стандарту ISO 5-2 [7]. Методи і технологія приготування зображення до друкування, налагодження фарбового апарата і контроль якості відбитків здійснюється на основі оптичної густини і безпосередньо не враховують властивості зорової системи людини для якої призначено зображення, яке вона сприймає і оцінює. Натомість закон Вебера-Фехнера встановлює зв'язок між інтенсивністю відчуття зору і яскравістю. Звернемо увагу на умови проведення психо-фізичних експериментальних досліджень при виведенні цього закону, оснований на спосібності зору людини розрізняти зміни порогу яскравості [2]. У загальному плані ці результати відносяться до числа різних рівнів яскравостей, яке людина здатна розрізняти в довільній точці (елементарній площині) монохромного зображення.

Для розв'язання поставленої задачі запропоновано здійснити нові умови проведення психо-фізичних експериментальних досліджень. Припускаємо, що зображення є багатопольна рівноконтрастна тестова шкала типу UGRA_FOGRA1982 із наперед заданими відомими рівнями оптичних густин $D_0, D_1, D_2 \dots D_n$, схема якої подана на рис. 1.

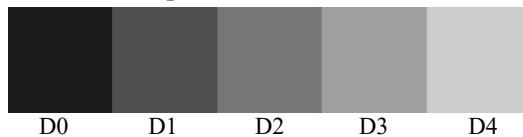


Рис. 1. Схема тестової багатопольної рівноконтрастної шкали

Приймаємо, що максимальне значення оптичної густини поля, яке можна досягнути в офсеті $D_m = D_0 = 2$. Для прикладу приймаємо, що шкала має 10 полів із кроком (приростом) $\Delta D = 0.2$. Типовий спостерігач здатний легко розрізнити 10 ступенів оптичної густини і зауважити перепади оптичних густин суміжних

полів. Поступово збільшуватимемо число полей 10, 11, 12,...,20, зменшуючи прирости оптичних густин від $\Delta D = 0.2, \dots, 0.1$. Припустимо, що при прирости оптичної густини $\Delta D = 0.1$, спостерігач не розрізняє прирости шкали, тобто сприймає шкалу, як неперервне зображення. Отже, у даному випадку маємо число ступеней $n=20$, які ледь зауважує спостерігач і поріг сприйняття $\Delta D=0.1$.

На основі викладеного за аналогією до закону Вебера-Фехнера поріг сприйняття оптичної густини подамо пороговою різницею значень оптичних густин

$$\Delta D = D_1 - D, \quad (5)$$

де ΔD – найменша різниця оптичних густин, що забезпечує зорову відмінність ледь помітну різницю більшої густини D від меншої D_1 .

За аналогією до закону Вебера-Фехнера [2,5] мінімальне відчуття оптичних густин залежить не тільки від подразника ΔD , а його відношення до попереднього

$$\frac{\Delta D}{D} = K = \frac{D_1 - D}{D}. \quad (6)$$

Відношення $\Delta D/D=K$ називають диференціальний поріг, чи пороговим контрастом, добре відомим в поліграфічній галузі [1,4,5,7]. Якщо диференціальний поріг (контраст) постійний, це означає, що деякий приріст відчуття світлості ΔW можна описати певною кількістю порогів

$$\Delta W = -nK. \quad (7)$$

Приріст густини ΔD взятий із знаком мінус впливає з того, що із збільшенням оптичної густини світлість зменшується. Застосувавши припущення Фехнера [2,5] проте, що мінімальний виражений приріст стимула, у нашому випадку приріст оптичної густини і викликане ним відчуття ΔW , можна розглянути нескінченим (неперервними) величинами, тоді із (6) і (7) одержимо

$$dw = -n \frac{dD}{D}. \quad (8)$$

Інтегруючи цей вираз, одержимо узагальнене співвідношення між стимулом – оптичною густиною і рівнем викликаного нею інтенсивності зорового відчуття світлості

$$W = C - n \lg(1 + D). \quad (9)$$

У цьому виразі n – кількість порогів розрізнення, C – сталі початкові умови інтегрування, які залежить від D_{\min} і D_{\max} . Оскільки початкове значення оптичної густини $D_{\min} = 0$, то для зміщення характеристики додатково введена одиниця.

Кількість порогів розрізнення залежить від умов спостереження. Наприклад, при нормальній яскравості. Що відповідає розсіяному денному освітленню типовий спостерігач за різними даними здатний розрізнити 15-20 порогів оптичної густини [3,5]. При цьому при однакових відносних приростах $\Delta D/D$ кількість порогів залишається сталою величиною у доволі широкому діапазоні змін оптичних густин.

Розв'язання поставленої задачі побудови характеристики інтенсивності зорового сприйняття від оптичної густини на заданому інтервалі тонопередачі традиційним методом складання комп'ютерної програми та її налагодження ускладнює задачу. Тому для спрощення задачі застосовуємо імітаційне моделювання. На основі викладеного і парадигми об'єктно-орієнтованого програмування побудовано структурну схему моделі інтенсивності зорового відчуття оптичної густини в пакеті Matlab:Simulink (рис. 2).

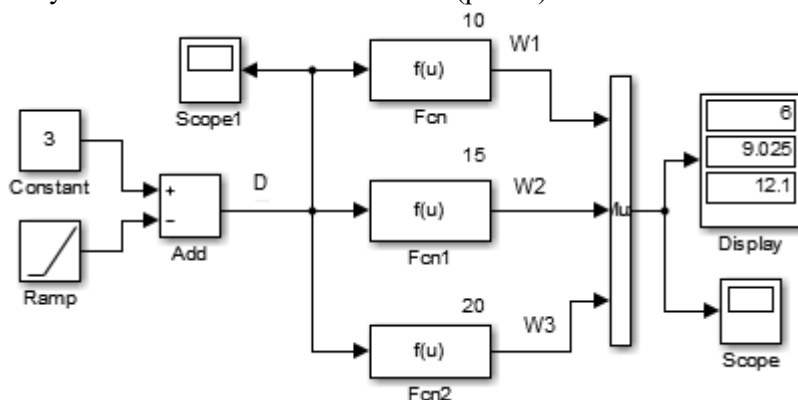


Рис. 2. Структурна схема моделі зорового інтенсивності відчуття оптичної густини

Блок Ramp генерує лінійно наростаючий сигнал, який відповідає оптичній густині і змішується за допомогою блоку Constant у якому задається максимальне значення оптичної густини $D_{\text{макс}}$, внаслідок чого на виході блока додавання формується лінійно-спадаюча оптична густина, яка подається на вхід блоку математичних функцій Fcn. На основі виразу (9) у діалоговому вікні блоку записана програма для обчислення інтенсивності зорового сприйняття оптичної густини. Схема є трьох каналною, складається з трьох блоків математичних функцій, що забезпечує паралельні розрахунки для різних значень порогів та інших параметрів. Для візуалізації результатів імітаційного моделювання застосовано мультиплексор блок Mux, блоки Scope і Display.

Налагодили модель на максимальне значення оптичної густини $D_{\text{макс}} = 3.0$. Результати імітаційного моделювання у вигляді неперервної лінійної рівноконтрастної шкали оптичної густини поданої на рис. 3.

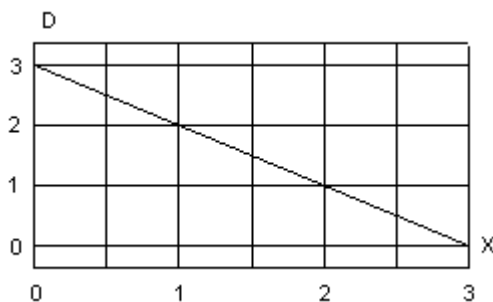


Рис. 3. Графік лінійної шкали оптичної густини

Графік відповідає схемі текстової багатопольної шкали рис. 1 з максимальним значенням оптичної густини $D=3.0$, де змінна x умовно відповідає геометричним розмірам шкали. Налагодили моделі на задане число порогів розрізнення $n=10,15,20$. Результати імітаційного моделювання у вигляді характеристик моделі зорового сприйняття оптичної густини подані на рис. 4.

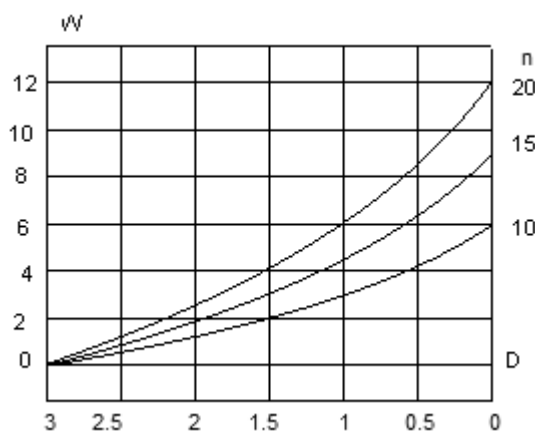


Рис. 4 Характеристики моделі інтенсивності зорового відчуття оптичної густини для різного числа порогів

Характеристики зорового сприйняття оптичної густини є вигнутими кривими. Збільшення числа порогів зміщає характеристики вгору. При збільшенні числа порогів розрізнення збільшується інтенсивність зорового відчуття, тобто збільшується приріст світлості. Чим менший поріг тим менший рівень інтенсивності відчуття. При великих значеннях оптичної густини, яке відповідає темним інтервалам тонопередачі $3.0 \leq D \leq 1.0$ криві інтенсивності відчуттів є пологими на усьому інтервалі і йому відповідає низький рівень інтенсивності зорового відчуття. Отже, зорова система людини погано сприймає і розрізняє деталі зображення на темному інтервалі тону, навіть при великому числі порогів $n=20$. Натомість на світлому інтервалі тонопередачі $0 \leq D \leq 0.3$ криві зорового сприйняття мають значно меншу кривизну і більшу інтенсивність зорового відчуття, отже значно краще сприймаються деталі зображення.

Зауважимо, що модель зорового відчуття була одержана при певних припущеннях, обумовлених відтворенням зображень поліграфічними засобами, а саме: максимальне значення оптичної густини досягне в офсеті $D_{\text{макс}}=3.0$, мінімальним значенням оптичної густини, умовами модельного експерименту у вигляді тестової багатопольної шкали (рис. 1), а не світлових порогів, прийнято, що приріст густини відповідає приросту яскравості. Узагальнюючи викладене, зазначимо, що основним засобом опису характеристики зорового відчуття є закон Вебера-Фехнера, який в інтегральній формі встановлює залежність приросту відчуття пропорційно логарифму зовнішніх стимулів за умови повної адаптації зорової системи до умов спостереження і справедливий в першому

діапазоні зовнішніх впливів, який значно ширший прийнятих припущень при виведенні запропонованої моделі зорового сприйняття оптичної густини. Аналіз результатів імітаційного моделювання, поданих на рис. 4 підтверджує, що запропонована модель зорового сприйняття оптичної густини відповідає закону Вебера-Фехнера в заданому діапазоні змінних оптичних густин та малих відносних змін густини. Окрім цього одержані характеристики моделі сприйняття оптичної густини достатньо повно відповідають кривим сприйняття поданих у [2] на 2 сторінці для обмеженого інтервалу яскравостей при найбільш сприятливих умовах спостереження.

Оскільки для контролю технологічних стадій приготування зображення до друкування, виготовлення форм і процесу друкування застосовують різноманітні шкали, то знання особливостей людського зору і подана модель інтенсивності зорового відчуття оптичної густини сприятимуть підвищенню ефективності контролю виконання окремих стадій і якості зображень.

Висновки. Побудована модель інтенсивності зорового відчуття оптичної густини монохромного на півтонового зображення для заданого діапазону зміни густин в офсетному друці, що в більш доступній фізично і технологічно зрозумілій формі ніж аналогічний закон Вебера-Фехнера, що дає можливість встановити сприйняття зорової системи оптичної густини, яка широко використовується в поліграфії відповідно до міжнародних стандартів. Подані результати імітаційного моделювання у вигляді характеристик моделі сприйняття оптичної густини для різного числа порогів і проаналізовано їх властивості.

Опрацьована структурна схема симулятора в пакеті Matlab:Simulink, який дає можливість паралельно розраховувати і будувати сімейство характеристик зорового відчуття для заданих значень оптичних густин і різного числа порогів, що зручно для аналізу і практичних застосувань. Оскільки для контролю і управління технологічних стадій приготування зображень до друкування, виготовлення форм і процесу друкування широко використовують денситометричні вимірювання оптичних густин на різноманітних шкалах, то знання особливостей людського зору і подана модель зорового сприйняття сприятимуть підвищенню ефективності контролю і виконання окремих стадій і якості зображень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Барановський І.В. Поліграфічна переробка образотворчої інформації: навч.пос./ І.В. Барановський, Ю.П. Яхимович. – Львів: ІЗНН. 1998 – 400с.
2. Воробель Р.А. Логарифмічна обробка зображень: моногр. / Р.А.Воробель. – Київ. Видавн. «Наукова душа» НАН України. 2012. – 232с.
3. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений: моногр. / Р.Гонсалес, Р.В.Вудс. М: Техносфера. 2012. – 1104с.
4. Кузнецов Ю.В. Технология обработки изобразительной информации/ Ю.В.Кузнецов. – СПб: Петербургский ин-т печати. 2002. – 312с.
5. Лотошинська Н.Д. Теорія кольору та кольороутворення: навч.пос./ Н.Д.Лотошинська, О.В. Івахів. Львів: Видавництво Львівської політехніки. 2014. – 204с.

6. Луцків М.М. Цифрові технології друкарства: моногр./ М.М.Луцків. – Львів: Укр. акад. друкарства. 2012. – 488с.
7. Пашуля П.Л. Стандартизація, метрологія, відповідність, якість у поліграфії: підручник/ П.Л.Пашуля. – Львів: УАД, 2011. – 408с.
8. Czichon H. Technologia form offsetowych / H. Czichon, M.Czichon. Oficyna wydawnicza politechniki Warszawskiej. Warszawa. 2012. – 278s.

REFERENCES

1. Baranovskyi I.V. (1998). Polihrafichna pererobka obrazotvorchoi informatsii: navch. pos./ I.V. Baranovskyi, Yu.P. Yakhymovych. – Lviv: IZNN. – 400s. (in Ukrainian)
2. Vorobel R.A. (2012). Loharyfmichna obrobka zobrazhen: monohr. / R.A.Vorobel. – Kyiv. Vydavn. «Naukova dusha» NAN Ukrainy.– 232s. (in Ukrainian)
3. Gonsales R. (2012). Cifrovaja obrabotka zobrazhenij: monogr. / R.Gonsales, R.V.Vuds. M: Tehnosfera.– 1104s. (in Russian)
4. Kuznecov Ju.V. (2002). Tehnologija obrabotki izobrazitel'noj informacii/ Ju.V.Kuznecov. – SPB: Peterburgskij in-t pechati.– 312s. (in Russian)
5. Lotoshynska N.D. (2014). Teoriia koloru ta koloroutvorennia: navch.pos./ N.D.Lotoshynska, O.V. Ivakhiv. Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki.– 204s. (in Ukrainian)
6. Lutskiv M.M. (2012). Tsyfrovii tekhnolohii drakarstva: monohr./ M.M.Lutskiv. – Lviv: Ukr. akad. drakarstva.– 488s. (in Ukrainian)
7. Pashulia P.L. (2011). Standartyzatsiia, metrolohiia, vidpovidnist, yakist u polihrafii: pidruchnyk/ P.L.Pashulia. – Lviv: UAD.– 408s. (in Ukrainian)
8. Czichon H. (2012). Technologia form offsetowych / H. Czichon, M.Czichon. Oficyna wydawnicza politechniki Warszawskiej. Warszawa.– 278s. (in Polish)

DOI 10.32403/2411-9210-2019-1-41-86-94

MODEL OF INTENSITY OF VISUAL PERCEPTION OF OPTICAL DENSITY

M.M. Lutskiv

*Ukrainian Academy of Printing 19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine
lutolen@i.ua*

A model of the intensity of visual perception of the optical density of monochrome halftone image for a given range of densities change in offset printing has been designed, which is in a more accessible form physically and technologically understandable than a similar Weber-Fechner law, which makes it possible to establish the perception of the visual system of optical density, which is widely used in printing in accordance with international standards. The results of simulation have been presented in the form of characteristics of the optical density perception model for different numbers of thresholds and their properties have been analyzed.

The structural scheme of the simulator in the Matlab: Simulink package has been worked out, which makes it possible to simultaneously calculate and construct

a family of visual perception characteristics for preset optical densities and different thresholds which is convenient for the analysis and practical applications. Since the densitometric measurements of optical densities on various scales are widely used to control and manage the technological stages of image preparation for printing, plate manufacturing and printing, the knowledge of the features of human vision and the presented model of visual perception will help to increase the efficiency of control, execution of individual stages and the image quality.

Keywords: *model, optical density, perception, thresholds number, differences, parameters, simulation, analysis, properties.*

Стаття надійшла до редакції 12.02.2019

Received 12.02.2019