

УДК 681.3.06

НЕЧІТКА МОДЕЛЬ ІНТЕРВАЛУ ОПТИЧНИХ ГУСТИН ОРИГІНАЛІВ І РЕПРОДУКЦІЙ

М. М. Луцків

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

Розглянуто задачу застосування нечітких множин для математичного описання інтервалів оптичної густини оригіналів і репродукцій. Подано результати імітаційного моделювання у вигляді графіків функції належності та проаналізовано їхні властивості.

Ключові слова: *оптична густина, інтервал, діапазон, фузифікація, нечітка модель, параметри, функції належності, лінгвістичні змінні, симулювання.*

Постановка проблеми. Сучасні процеси підготування зображень до друкування ґрунтовані на цифровій обробці зображень, які базуються на класичній математиці аналізу й синтезу зображень [2, 4, 5]. Однак під час вибору того чи іншого методу або інтервалу тонопередавання та його діапазонів часто є вирішальними людська інтуїція, досвід і аналіз. Такий підхід хибує тим, що вибір здійснено на основі суб'єктивного й візуального оцінювання, котрі слабо корелюють із класичною математикою, яка є точною наукою.

Здебільшого інтервал оптичної густини оригіналів і репродукцій умовно розбиваються на три діапазони: світлі тони, півтони і тіні [2]. Межі інтервалу і діапазонів залежать від тиражу та сюжету і можуть змінюватися в широких границях, тому словесні оцінки «світлі тони» чи «тіні» є неточними.

Останнім часом нагромаджено практичний досвід застосування нечітких множин у різних галузях діяльності людства, інтуїції та знань для розв'язання багатьох проблем на неточних представленнях [6, 7, 8]. Тому використання нечітких методів для математичного описання інтервалів оптичної густини зображень є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Уміння належно оцінити оригінал дає можливість зробити висновок щодо інтервалу і діапазонів тонопередавання. Для цього на характеристиці тоновідтворення виділяють сім діапазонів, що допомагає під час проведення тонової корекції зображення, й подають тони в процесах: світлі ділянки — 2–10 %, чвертьтони — від 18 % до 35 % з центром 25 %, середні тони — від 35 до 65 % з центром 5 %, тричвертні тони — від 65 до 80 % із середнім значення 75 %, тіні — темні ділянки, які для якісного офсету можуть становити до 97 %, що відповідає інтервалу оптичних густин відбитка 0–1,4 Б [1, 4]. Із появою цифрових зображень їхній інтервал подають числом дискретних рівнів (градації сірого 0–255), які називають восьмибітовими [2, 5].

Окремі застосування нечітких множин для контрасту зображень у загальному плані подані в монографії [2], там само описано й застосування нечітких множин для просторової фільтрації на простому прикладі чотирьох сусідів і подано ілюстрацію, яка підтверджує ефективність просторової фільтрації, основаної на правилах нечіткої логіки.

Мета статті — опрацювати нечітку модель інтервалу оптичних густин оригіналів і репродукції й побудувати імітаційну модель для графічної інтерпретації функції належності необхідних для аналізу подальших застосувань.

Виклад основного матеріалу дослідження. Існують різні нечіткі моделі, які описують різні явища, процеси, об'єкти і системи. Вибір типу моделі залежить від об'єкта, мети дослідження, точності та наявної інформації про об'єкт. Оскільки графічні характеристики тонопередавання оригіналів, репродукцій та растрових відбитків відомі або їх можна визначити експериментальним шляхом, то вважаємо, що модель об'єкта відома. У такому випадку побудову нечіткої моделі називають фузифікацією (розмиванням) вихідної моделі. Для фузифікації інтервалу оптичних густин застосуємо одну з найпопулярніших моделей — модель Мамдани [2, 7, 8], яка повинна відтворювати вхід (моделі векторних густин X) у вихід у вигляді множини правил, кожне з яких визначає одну розмитую точку (fuzzy point). Множини розмитих точок створюють розмитий рисунок (fuzzy graph), в якому інтерполяція між точками залежить від прийнятого апарату нечіткої логіки, зокрема функції належності, котра може бути відрізково-лінійною або неперервною [7, 8].

Розглянемо градаційну характеристику відтворення сірої шкали, пов'язаної з технологічними перетвореннями у вигляді графічної залежності оптичної густини відбитка ($D_{вд}$) від оптичної густини оригіналу ($D_{ор}$) для випадку, коли максимальна оптична густина офсетного відбитка нижча від максимальної оптичної густини оригіналу (рис. 1а) [1].

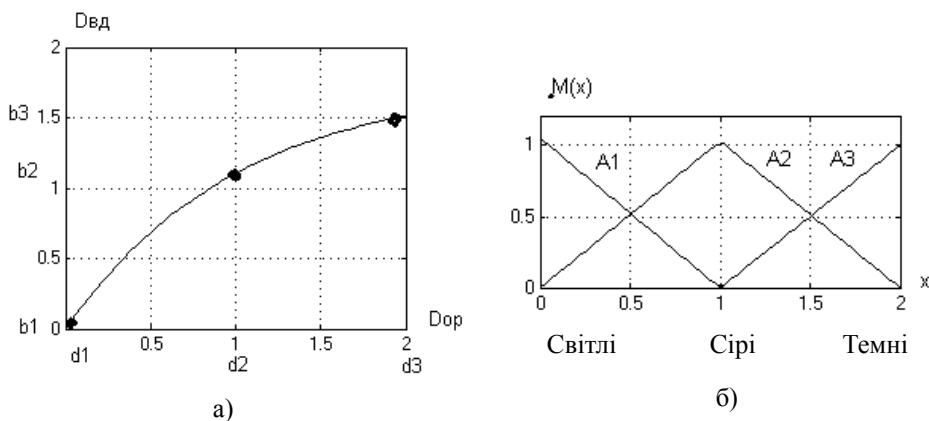


Рис. 1. Графічна характеристика залежності оптичної густини відбитка від оптичної густини оригіналу (а) та її нечітка модель (б)

Максимальна оптична густина оригіналу дорівнює 2 Б, натомість оптична густина відбитка зменшується від 2 до 1,5 Б. Окрім того, градаційна характеристика є нелінійною, що спотворює зображення. Багаторазові дослідження авторитетних спеціалістів підтвердили, що переважно для поліграфічного репродукування є оптимальним прямопропорційне передавання світлостей репродукції відносно оригіналу [2].

Відповідно до процедури побудови нечіткої моделі [7], на градаційній характеристиці вибрано три характерні точки з координатами $[d_1, b_1]$, $[d_2, b_2]$, $[d_3, b_3]$. Першій точці відповідає початкове значення інтервалу оптичної густини, другій — середнє, а третій — кінцеве значення. Вибраним точкам відповідають нечіткі множини: $A_1 =$ окіл нуля, $A_2 =$ окіл 1, $A_3 =$ окіл 2. Тоді побудована модель Мамдані для інтервалів тонопередавання описується множиною правил:

$$\begin{aligned} R_1 &: \text{ЯКЩО } (x \in A_1) \text{ ТО } (y \in B_1) \\ R_2 &: \text{ЯКЩО } (x \in A_2) \text{ ТО } (y \in B_2) \\ R_3 &: \text{ЯКЩО } (x \in A_3) \text{ ТО } (y \in B_3), \end{aligned} \quad (1)$$

де x — вхідна змінна моделі (оптична густина оригіналу), яка перебуває в межах $[0, 2]$, y — вихід моделі (оптична густина відбитка), що перебуває в межах $[0, 1,5]$.

Кожне правило визначає типові властивості тонопередавання, яке геометрично відповідає точці на площині X^*Y . Результати відтворення нечіткою моделлю (виходи) відповідають нечітким множинам: $B_1 =$ окіл нуля, $B_2 =$ окіл 1,1, $B_3 =$ окіл 1,5. Результатом побудови нечіткої моделі тонопередавання є відрізково-лінійні функції належності трикутної форми нечіткої множини для виділених трьох діапазонів змінної x :

$$\begin{aligned} \mu_{A_1}(x), P_1 & [0, 0, 1] \\ \mu_{A_2}(x), P_2 & [0, 1, 2] \\ \mu_{A_3}(x), P_3 & [1, 2, 2], \end{aligned} \quad (2)$$

де $P_i[\cdot]$ — параметри функції належності трикутної форми.

Функція належності підпорядковує кожному значенню оптичної густини x певне значення із границі $[0, 1]$:

$$\mu_A(x): X \rightarrow [0, 1], \quad \forall x \in X. \quad (3)$$

Математичні вирази трикутних функцій належності визначимо з рис. 1б:

$$\begin{aligned} \mu_{A_1}(x) &= \begin{cases} 1-x & \text{якщо } 0 \leq x \leq 1 \\ 0 & \text{поза тим} \end{cases} \\ \mu_{A_2}(x) &= \begin{cases} x & \text{якщо } 0 \leq x \leq 1 \\ 2-x & \text{якщо } 1 \leq x \leq 2 \\ 0 & \text{поза тим} \end{cases} \\ \mu_{A_3}(x) &= \begin{cases} -1+x & \text{якщо } 1 \leq x \leq 2 \\ 0 & \text{поза тим} \end{cases} \end{aligned} \quad (4)$$

Побудовані моделі можна виразити нечіткими термінами, застосувавши лінгвістичні (словесні) змінні (світлі, сірі, темні) й розбивши інтервал оптичної густини на три діапазони: світлі тони, сірі й темні (рис. 1б). Межі цих діапазонів залежать від загального інтервалу оптичної густини оригіналу та репродукції. Зауважимо, що на відміну від традиційних діапазонів тонопередавання, виділені діапазони є нечіткими і вони пересікаються. Тоді лінгвістичні терміни мають математичну інтерпретацію за допомогою нечітких множин. Лінгвістичні змінні можуть бути подані дійсними числами, які визначають ступінь належності до заданої нечіткої множини.

У лінгвістичних змінних термін «темний» означає «має ступінь оптичної густини в ділянці більш темних значень (100 % чорного означає граничний рівень темного)». Термін «сірий» означає «має ступінь оптичної густини в ділянці середніх значень шкали (100 % сірого є гранична в ділянці середніх значень шкали)». Під ступенем розуміють величину деякого конкретного числового значення, наприклад, 80 % темного є дуже темним. Для підвищення точності моделі треба збільшити кількість лінгвістичних змінних, наприклад: яскраві, світлі, сірі, темні, тіні. Для цього на градаційній характеристиці необхідно вибрати п'ять характерних точок і повторити процедури фузифікації.

Побудова графіків функцій належності нечітких множин (рис. 1) безпосередньо за виразами (4) традиційним шляхом складання алгоритму і програми є трудомісткою і потребує вміння програмування і налагодження. Поставлену задачу розв'язували методом імітаційного моделювання, застосувавши об'єктно-орієнтоване програмування у пакеті Matlab: Simulink [3]. Для графічної інтерпретації нечіткої моделі інтервалу оптичних густин використано операційні блоки нечітких множин, згрупованих у бібліотеці Fuzzy Logic Toolbox, у якій міститься розділ Membership (нечіткі функції) для генерування нечітких функцій належності різної форми, зокрема багатокутної, у якій розміщений операційний блок Trianduvag MF для генерування функції належності трикутної форми. Крім того, з бібліотеки Simulink застосували блок Ramp і Score із розділу Commonly [3].

Шляхом паралельного агрегування операційних блоків функцій належності опрацьовано стимулятор для паралельного генерування трикутних функцій належності різноманітної форми і розміщення на площині (рис. 2).

Операційні блоки Ramp формують неперервну лінійно наростаючу змінну X (шкалу оптичної густини). Операційний блок Triangular MF слугує для генерування функцій належності трикутної форми, він має три параметри налагодження $P = [a \ b \ c]$. Параметри (відрізки) a і c визначають «основу трикутника» і задаються у діалоговому вікні блоку. Блок Score здійснює візуалізацію функцій належності. У верхній частині розміщений операційний блок математичних функцій (Fcn), призначений для формування заданої графічної характеристики тонопередавання.

Симулятор обчислює три функції належності нечітких множин і водночас візуалізує їх. Графіки функцій належності можуть бути роздруковані безпосередньо з вікна стимулятора. Блок індикації Display паралельно висвітлює цифрові значення трьох функцій належності нечітких множин для заданої змінної x (оптичної густини). Налагоджували параметри операційних блоків Triangular MF на визна-

чені вище параметри нечіткої моделі: $P_1 [0, 0, 1]$, $P_2 [0, 1, 2]$, $P_3 [1, 2, 2]$. Результати імітаційного моделювання подані на рис. 1. Порівнюючи рис. 1а і рис. 1б, доходимо висновку, що нечіткі моделі кількісно, а отже, об'єктивно, оцінюють тонопередавання.

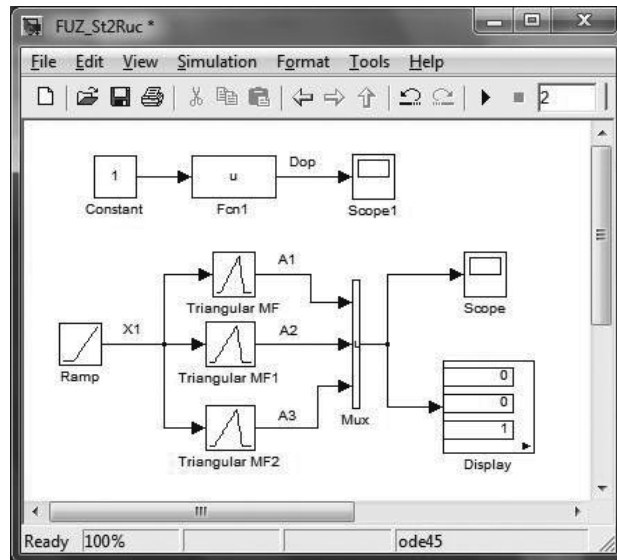


Рис. 2. Вікно симулятора функцій належності моделі інтервалу оптичних густин

Висновки. Опрацьовано нечітку модель інтервалу оптичних густин оригіналів і репродукції для відтворення сірої шкали, пов'язаної з технологічними перетвореннями в офсетному друці. Розроблено симулятор функцій належності нечіткої моделі інтервалу оптичних густин, який паралельно обчислює три функції належності нечіткої моделі та здійснює їх візуалізацію. Подано приклад результатів імітаційного моделювання у вигляді графіків функції належності нечітких множин. Нечіткі моделі кількісно, а отже, об'єктивно, оцінюють тонопередавання, зокрема світлість на трьох нечітких діапазонах оптичної густини, що є перевагою нечітких моделей над традиційними.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Барановський І. В. Поліграфічна переробка образотворчої інформації: навч. посіб. / І. В. Барановський, Ю. П. Яхимович. — Київ, Львів : ІЗММ, 1998. — 400 с.
2. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вуде. — М. : Техносфера, 2002. — 1104 с.
3. Дьяконов В. П. Matlab 6.5 SP 1/7.0 + Simulink S/Б в математике и моделировании / В. П. Дьяконов. — М. : Салон-Прес, 2005. — 756 с.
4. Кузнецов Ю. В. Технология обработки изобразительной информации / Ю. В. Кузнецов. — СПб : Петербургский ин-т печати, 2002. — 312 с.
5. Луцків М. М. Цифрові технології друкарства : моногр. / М. М. Луцків. — Львів : УАД, 2012. — 488 с.

6. Rutkowski L. Metody i techniki sztucznej inteligencji / L. Rutkowski. — Warszawa : Wydawnictwo Naukowe, PWN, 2005. — 436 s.
7. Piogat A. Modelowanie i sterowanie rozmowne / A. Piogat. — Warszawa, Akademicka oficina Wydawnicza EXIT, 2003. — 682 s.
8. Нечіткі множини [Електронний ресурс]. — Режим доступу : [http://www.viktoria.lviv.ua/html\(0i0\)html/themell.htm](http://www.viktoria.lviv.ua/html(0i0)html/themell.htm).

REFERENCES

1. Baranovskyi, I. V., & Yakhymovych, Iu. P. (1998). Polihrafichna pererobka obrazotvorchoi informatsii. Kyiv, Lviv: IZMM (in Ukrainian).
2. Gonsales, R., & Vude, R. (2002). Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy. Moscow: Tehnosfera (in Russian).
3. Dyakonov, V. P. (2005). Matlab 6.5 SP 1/7.0 Simulink S/B v matematike i modelirovanii. Moscow: Salon-Pres (in Russian).
4. Kuznetsov, Yu. V. (2002). Tehnologiya obrabotki izobrazitelnoy informatsii. SPb: Peterburgskiy in-t pechati (in Russian).
5. Lutskiv, M. M. (2012). Tsyfrovi tekhnolohii drukarstva. Lviv: UAD (in Ukrainian).
6. Rutkowski, L. (2005). Metody i techniki sztucznej inteligencji. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe, PWN (in Polish).
7. Piogat, A. (2003). Modelowanie i sterowanie rozmowne. Warszawa, Akademicka oficina Wydawnicza EXIT (in Polish).
8. Нечіткі множини [Електронний ресурс]. — Режим доступу : [http://www.viktoria.lviv.ua/html\(0i0\)html/themell.htm](http://www.viktoria.lviv.ua/html(0i0)html/themell.htm) (in Ukrainian).

A FUZZY MODEL OF OPTICAL DENSITY INTERVAL OF ORIGINALS AND REPRODUCTIONS

M. M. Lutskiv

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

The problem of the use of fuzzy sets for mathematical describing of intervals of optical density of originals and reproductions has been reviewed. The results of the simulation modelling have been presented as graphs of membership functions and their properties have been analysed.

Keywords: *optical density, interval, range, fuzzification, fuzzy model, parameters, membership functions, linguistic variables, simulation.*

*Стаття надійшла до редакції 18.05.2016.
Received 18.05.2016.*