

АНАЛІЗ ДЕМОДУЛЯЦІЇ РАСТРОВОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ З ЕЛЕМЕНТАМИ КВАДРАТНОЇ ФОРМИ

М. М. Луцків, Б. І. Федина, І. Б. Гук, В. Р. Бубен

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

Розроблено симулятор демодуляції растрового перетворення з елементами квадратної форми на основі алгоритму Юла-Нільсена. Побудована структурна схема моделі симулятора в пакеті MATLAB-Simulink, який дає можливість паралельно розраховувати і будувати характеристики демодуляції для лінійної і квадратичної зміни відносної площі растрових елементів та аналізувати їх властивості.

Подано результати імітаційного моделювання у вигляді характеристик демодуляції растрівання, в яких відносна площа змінюється за лінійним і нелінійним алгоритмом растрівання. Запропоновано оцінювати характеристику демодуляції відхиленням від лінійності, яка є несиметричною вгнутою кривою, а її максимальне значення становить 19,1 %. Визначено чутливість растрової густини залежно від форми растрового елемента, максимальні значення якої становлять 7,04 і 13,28 одиниць. Визначено відносний контраст друку для нормованих значень відносних площ, який залежно від інтервалу тонопередачі змінюється в межах від 0,91 до 0,58 та характеризує якість репродукційного процесу.

Ключові слова: демодуляція, растрівання, квадратний елемент, симулятор, характеристики, нелінійність, чутливість, контраст.

Постановка проблеми. Основним методом контролю друкарського процесу є денситометрія, основана на вимірюванні оптичної густини плашок і контрольних растрових полів. Цей зручний оперативний і технологічний спосіб не вимагає великих затрат та кваліфікації персоналу. Денситометрія друкарських відбитків у більшості сучасних денситометрів здійснюється на основі відомих формул Мюррея і Девіса та Юла-Нільсона [1, 3, 4, 6]. Формули демодуляції (дерастрування) служать для визначення растрової густини растрових зображень залежно від відносної площі друкарських елементів та оптичної густини шару фарби і паперу, за якими визначають відносний контраст друку, розтискування тощо. Особливості застосування поданих формул накладають певні обмеження і умови, наприклад, нормоване розтискування для 40 і 80 % растрових полів, який регламентується стандартом ISO 12647-2 (1996 р.), лінійна зміна відносної площі растрових елементів у межах $[0 \leq S \leq 1]$, що ускладнює застосування цих формул, аналіз демодуляції растрового перетворення для елементів різної форми і не повністю оцінює репродукційний процес. Тому аналіз демодуляції растрового перетворення з елементами квадратної форми є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Формула Юла-Нільсона використовується у монографіях [1, 3, 4, 8], однак у них не подані результати розрахунків і побудови характеристик демодуляції, розтискування чи контрасту. Складність використання цих формул полягає в необхідності знати значення n -коефіцієнта Юла-Нільсона, який залежить від розмірів растрового елемента – лініатури растра, що впливає на точність результатів демодуляції, однак достатня для оперативного контролю процесу друкування, що зберігає свою цінність.

В публікації [2] відзначається, що інформація, яка відтворюється різними друкарськими засобами, спотворюється в основному через розтискування, яке збільшує тон відбитка – його оптична густина майже завжди перевищує значення цього показника. Однак, розтискування безпосередньо не фігурує у формулі демодуляції. Сьогодні якість поліграфічної продукції кількісно оцінюють за результатами вимірювань саме оптичної густини на різноманітних шкалах, нанесених на відбитку [7, 8]. Однак проблема вибору таких шкал та інтерпретація даних про їх оптичні властивості не є кінцево вирішена.

Ще одна важлива характеристика – відносний контраст, розрахований для площі $S=0,8$, оцінює відтворення зображень тільки у «тінях», тому контраст вичерпно не характеризує відтворення зображень різних тонів, наприклад, на полі $S=0,4$ він може бути удвічі більший для світлих тонів. Тому денситометричні методи піддаються справедливій критиці [2, 8]. Оскільки тон відбитків збільшується при дії багатьох факторів, то жоден з відомих денситометричних методів не дозволяє окремо визначити локальне розтискування і кількісно охарактеризувати ці ефекти за штриховими чи іншими тестами. У висновках праці [2] відзначається, що при застосуванні денситометричних методів для визначення якості друку за їх результатами можливі некоректні оцінки масштабів розтискування та інших факторів.

У публікаціях авторів [6, 7] побудовано характеристики демодуляції для лінійної растрової шкали і моделювання впливу лініатури растрової шкали на оптичну густину.

Мета статті – опрацювати симулятор демодуляції растрового перетворення з елементами квадратної форми, який дає можливість розраховувати і будувати характеристики демодуляції, визначати її параметри, аналізувати їх властивості і якість репродукційного процесу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Формула демодуляції (дерастровання) одноколірових відбитків автотипних видів друку призначена для визначення растрової густини зображень залежно від відносної площі друкарських елементів та оптичних густин паперу і фарби. Вона широко використовується у денситометрії друкарських відбитків і виконується на основі формули Юла-Нільсона [1, 3, 4, 5]:

$$D_r = -n \lg \left[S \cdot 10^{-D_\phi/n} + (1 - S) \cdot 10^{-D_n/n} \right], \quad (1)$$

де D_ϕ — оптична густина фарбового шару плашки; D_n — оптична густина паперу; D_r — растрова густина ділянки растрового зображення; S — відносна площа растрових елементів; n — коефіцієнт Юла-Нільсона, який враховує лініатуру растра.

На основі викладеної формули Юла-Нільсона (1) розроблено симулятор демодуляції растрового перетворення з елементами квадратної форми. Побудована структурна схема моделі симулятора в пакеті MATLAB-Simulink, схема якого подана на рис. 1.

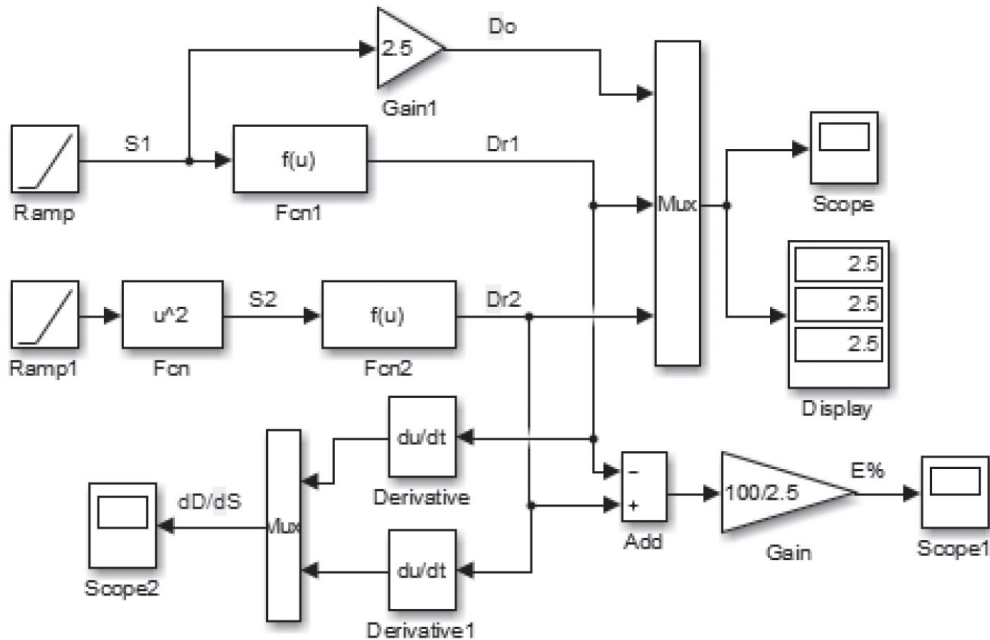


Рис. 1. Структурна схема симулятора демодуляції растрового перетворення з елементами квадратної форми

Основними функціональними блоками схеми є блоки математичних функцій $Fcn1$ і $Fcn2$, у діалогових вікнах яких записана формула Юла-Нільсона (1). Блок $Ramp$ генерує лінійну відносну площу растрових елементів $S1$, яка подається на вхід блока математичних функцій $Fcn1$, у якому розраховується растрова густина $Dr1$. Другий блок математичних функцій $Fcn2$ розраховує растрову густина $Dr2$ для растрових елементів квадратної форми $S2$, яку формує блок математичних функцій Fcn . Результати розрахунків растрових густин подаються на мультиплексор і візуалізуються блоком $Scope$. Для порівняння растрові густини подаються на блок додавання, на виході якого одержується відхилення від лінійної зміни відносної площі в процентах (%).

Налагодимо симулятор на номінальну оптичну густина фарбового шару плашки $D_{\phi}=2,5$ і оптичну густина паперу $D_n=0,02$, й тоді коефіцієнт $n=3$. Результати імітаційного моделювання растрових оптичних густин у вигляді характеристик демодуляції растрового перетворення подані на рис. 2.

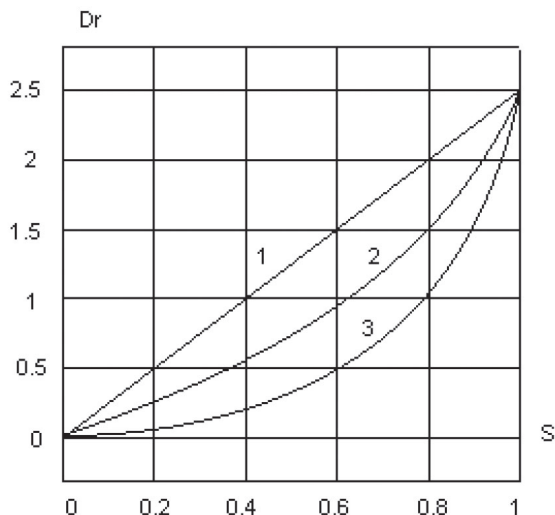


Рис. 2. Характеристики демодуляції растрового перетворення

Для порівняння на рисунку подана лінійна характеристика демодуляції растрового перетворення. Нижче розташована традиційна характеристика для лінійної зміни відносної площі (2) та характеристика демодуляції із квадратичною зміною відносної площі, які є вгнутими кривими. Отже, вигляд кривої зміни площі у растровому перетворенні значно впливає на характеристику демодуляції. Для порівняння характеристик демодуляції на рис. 3 подано відхилення растрових густин для різної зміни площі при растровому перетворенні у відносних одиницях.

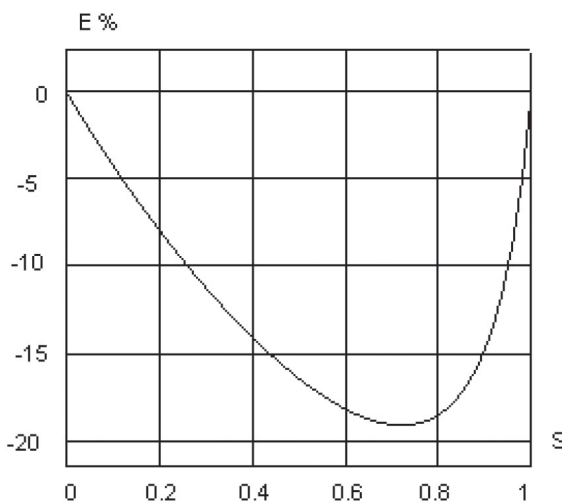


Рис. 3. Відхилення растрових густин для квадратичної зміни площі

Відхилення растрових густин є несиметричною U -подібною кривою, максимальне відхилення якої при площі $S=0,75$ становить 19,1 %. Отже, вигляд кривої зміни площі растрових елементів суттєво впливає на характеристику демодуляції растрового перетворення з елементами квадратної форми.

При відтворенні зображень поліграфічними засобами інформація спотворюється під дією різних факторів, в основному через розтискування, тому її растрова густина майже завжди збільшується [2, 3, 7]. Сьогодні якість поліграфічної продукції зазвичай оцінюють за результатами вимірювань оптичної густини на плашках і спеціальних полях [3, 4, 8]. Вплив різних факторів на демодуляцію растрового перетворення запропоновано визначати чутливістю демодуляції за виразом:

$$Z_r = \frac{dD_r}{dS}. \quad (2)$$

Для визначення чутливості демодуляції у симулятор (рис. 1) додатково введено операційні блоки диференціювання *Derivative*, на входи яких подаються растрові густини, а на їх виході одержується чутливість, яка візуалізується блоком *Scope*. Результати імітаційного моделювання чутливості демодуляції растрового перетворення для різної зміни площі растрових елементів подані на рис. 4.

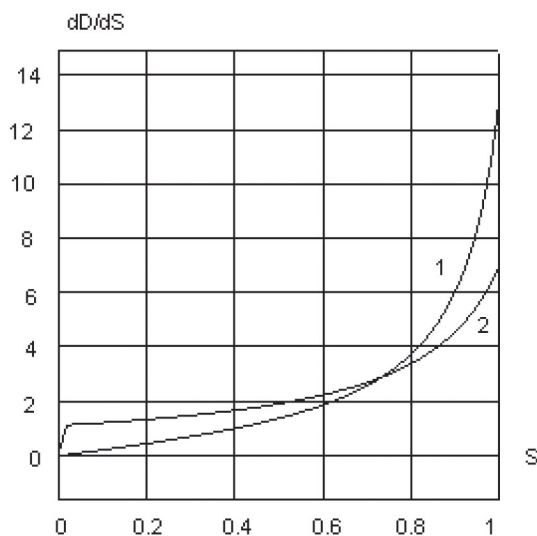


Рис. 4. Графіки чутливості демодуляції растрового перетворення для різної зміни площі растрових елементів

На початку інтервалу тонопередачі криві чутливості демодуляції є пологими і мало залежать від зміни площі. При переході на діапазон темних тонів [$S>0,7$] чутливість (1) для лінійної зміни площі швидко збільшується і наприкінці інтервалу тонопередачі прямує до максимального значення 7,043. Натомість крутизна кривої демодуляції (2) для растрових елементів квадратної форми значно збільшується і наприкінці інтервалу становить 13,28. Отже, чутливість демодуляції для растрових елементів квадратної форми удвічі більша традиційної. Велика крутизна характеристики

демодуляції забезпечує якісне відтворення темних зображень, натомість погіршує якість світлих зображень, що вимагає коригування тонопередачі.

Важливою характеристикою друкованого зображення є контраст друку, втра-ти якого можуть бути спричинені різними факторами. Відносний контраст друку визначається за коефіцієнтом Ширмера [7, 8]:

$$K = \frac{D_n - D_r}{D_n}, \quad (3)$$

де D_n — оптична густина плашки; D_r — растрова густина растрового поля контрольної шкали.

Відносний контраст визначають за зональними оптичними густинами відбитків плашки (100 % покриттям) і 80 % елементів шкали (компанія ТЕСИКОН), або 75 % (компанія X-Rite) та 50 % [8]. Значення коефіцієнта контрасту залежить від типу і товщини фарби на різних видах паперу і може знаходитися в межах 0,5 до 0,25 [8]. Сучасні денситометри розраховують коефіцієнт контрасту автоматично, а також визначають відхилення контрасту друку від заданого значення. На основі вищевикладеного розглянемо вплив демодуляції растрового перетворення з лінійною і квадратичною зміною відносної площі на відносний контраст. На основі виразу (3) за допомогою симулятора ми розрахували відносний контраст для різних значень відносної площі растрових елементів, результати яких зведені в таблиці.

Таблиця

Значення відносного контрасту для різної відносної площі растрових елементів

Густина Контраст	Відносна площа растрових елементів S						
	0,2	0,4	0,5	0,6	0,75	0,8	0,9
$D_r 1$	0,2631	0,5621	0,7421	0,951	1,345	1,508	1,912
$D_r 2$	0,0651	0,2107	0,3316	0,4966	0,8686	1,045	1,543
K_1	0,8948	0,7792	0,7032	0,6196	0,4621	0,3969	0,2354
K_2	0,974	0,9157	0,8673	0,8014	0,6525	0,5821	0,3829

За таблицею спочатку розглянемо відносний контраст для заданих відносних площ різних компаній. Для відносної площі $S=0,5$ растрова густина для лінійної зміни площі становить $D_r 1=0,7421$, а для квадратичної $D_r 2=0,316$ різняться майже удвічі, натомість відносні контрасти є близькими і становлять $K_1=0,7032$, $K_2=0,8673$. Отже, оцінки контрасту демодуляції растрового перетворення відповідають рекомендації компанії. Для відносної площі $S=0,75$ контраст $K_1=0,462$, $K_2=0,6525$ також відповідає рекомендаціям. Аналогічна ситуація для площі $S=0,8$ – при квадратичній зміні площі растрових елементів контраст збільшується на $0,1 \div 0,2$ одиниці.

Якщо йдеться про вплив зміни площі на растрову густина, тоді при квадратичній зміні площі растрова густина майже вдвічі менша. Отже, при демодуляції растрового перетворення із квадратичною зміною площі значно розсвітлюється зображення на усьому інтервалі тонопередачі. Таким чином, відносний контраст не є вичерпною оцінкою демодуляції растрового перетворення.

Висновки. Запропонована формула дерастрування чорно-білих зображень на відбитку шляхом модифікації формули Юла-Нільсона для визначення растрової густини елементів квадратної форми, яка реалізована об'єктно-орієнтованим програмуванням в пакеті MATLAB-Simulink.

Подані результати імітаційного моделювання у вигляді характеристик демодуляції, які є вгнутими кривими, і їх кривизна залежить від форми растрових елементів. Подано відхилення растрових густин для різної зміни площі при растровому перетворенні. Встановлено, що відхилення це несиметрична U -подібна крива, максимальне значення якої є при площі $S=0,75$ і становить 19,1 %.

Визначено чутливість демодуляції растрового перетворення для лінійної і квадратичної зміни площі растрових елементів. Встановлено, що чутливість демодуляції для растрових елементів квадратної форми удвічі більша традиційної, максимальні значення якої наприкінці інтервалу тонопередачі становлять 7,043 та 13,28 одиниць.

Розраховано значення відносного контрасту для заданих відносних площ різних компаній, які відповідають рекомендаціям компаній. Встановлено, що при демодуляції растрового перетворення із квадратичною зміною площ значно розсвілюється зображення на усьому інтервалі тонопередачі. Доведено, що відносний контраст не є вичерпною оцінкою демодуляції растрового перетворення, а демодуляція розсвілює зображення на усьому інтервалі тонопередачі.

Результати проведеного дослідження можна застосувати на стадії підготовки зображень до растрування для компенсації впливу дерастрування на якість зображення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Барановський І. В., Яхимович Ю. П. Поліграфічна переробка образотворчої інформації : навч. посіб. Київ-Львів : ІЗМН, 1998. 400 с.
2. Кузнецов Ю. В. Технология обработки изобразительной информации. Санкт-Петербург : Петербургский ин-т печати, 2002. 312 с.
3. Борисенко Е. А., Виноградов Е. Л. Оценка качества полиграфических продуктов: измерение параметров увеличения тонаоттисков методом рефлектометри. *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета*. 2013. 3 (178). С. 287–293.
4. Логошинська Н. Д., Івахів О. В. Теорія кольору то кольороутворення : навч. посіб. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2014. 204 с.
5. Луцків М. М., Бубен В. Р. Побудова характеристики демодуляції лінійної растрової шкали. *Комп'ютерні технології друкарства*. № 2 (40). С. 109–113.
6. Луцків М. М., Бубен В. Р. Моделювання впливу лініатури растрової шкали на оптичну густину. *Наукові записки [Української академії друкарства]*. 2019. № 2 (59). С. 30–37.
7. Назар І. М., Лазаренко Е. Т., Якущевич С. Параметри відбитків рулонного офсетного друку: фактори управління і впливу. Львів : Українська академія друкарства, 2009. 128 с.
8. Пашуля П. Л. Стандартизація, метрологія, відповідність, якість у поліграфії : підруч. Львів : УАД, 2011. 408 с.

REFERENCES

1. Baranovskyi, I. V., & Yakymovych, Yu. P. (1998). Polihrafichna pererobka obrazotvorchoi informatsii. Kyiv-Lviv : IZMN (in Ukrainian).
2. Kuznecov, Ju. V. (2002). Tehnologija obrabotki izobrazitel'noj informacii. Sankt-Peterburg : Peterburskij in-t pechati (in Russian).
3. Borisenko, E. A., & Vinogradov E. L. (2013). Ocenka kachestva poligraficheskikh produktov: izmerenie parametrov uvelichenija tonaotiskov metodom reflektometri: Nauchno-tehnicheskie vedomosti Sankt-Peterburskogo gosudarstvennogo politehnicheskogo universiteta, 3 (178), 287–293 (in Russian).
4. Lotoshynska, N. D., & Ivakhiv, O. V. (2014). Teoriia koloru to koloroutvorennia. Lviv : Vydavnytstvo Lvivskoi politehniky (in Ukrainian).
5. Lutskiv, M. M., & Buben, V. R. Pobudova kharakterystyky demodulatsii liniinoi rastrovoy shkaly: Komp'uterni tekhnolohii druzarstva, 2 (40), 109–113 (in Ukrainian).
6. Lutskiv, M. M., & Buben, V. R. (2019). Modeliuvannia vplyvu liniatury rastrovoy shkaly na optychnu hustynu: Naukovi zapysky [Ukrainskoi akademii druzarstva], 2 (59), 30–37 (in Ukrainian).
7. Nazar, I. M., Lazarenko, E. T., & Yakutsevych, S. (2009). Parametry vidbytkiv rulonnoho ofsetnoho druku: faktory upravlinnia i vplyvu. Lviv : Ukrainska akademiia druzarstva (in Ukrainian).
8. Pashulia, P. L. (2011). Standartyzatsiia, metrolohiia, vidpovidnist, yakist u polihrafii. Lviv : UAD (in Ukrainian).

doi: 10.32403/1998-6912-2021-2-63-11-19

ANALYSIS OF RASTER TRANSFORMATION DEMODULATION WITH SQUARE ELEMENTS

M. M. Lutskiv, B. I. Fedyna, I. B. Huk, V. R. Buben

*Ukrainian Academy of Printing,
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine
lutolen@i.ua, fedynabogdana@gmail.com, bogdigo@ukr.net*

A raster transformation demodulation simulator with square elements has been developed based on the Yule-Nielsen algorithm. The block diagram of the simulator model in the MATLAB-Simulink package is constructed, which allows one to calculate and form the demodulation characteristics for linear and quadratic change of the relative area of raster elements at the same time and to analyse their properties.

The results of simulation modelling are presented in the form of raster demodulation characteristics, in which the relative area varies according to linear and nonlinear raster algorithm. It is proposed to assess the demodulation characteristic by the deviation from linearity, which is an asymmetric concave curve, and its maximum value is 19.1%. The sensitivity of the raster density is determined depending on the shape of the raster

element, the maximum values of which are 7.04 and 13.28 units. The relative printing contrast for normalized values of relative areas is determined, which varies from 0.91 to 0.58 depending on the tone transfer interval and characterizes the reproduction process quality.

The values of relative contrast are calculated for the given relative areas of different companies, which correspond to the recommendations of the companies. It is established that when demodulating a raster transformation with a quadratic area change, the image is significantly illuminated throughout the tone transfer interval. It is proved that the relative contrast is not a complete assessment of the raster transformation demodulation, and the demodulation illuminates the image throughout the tone transfer interval.

The results of this study can be used at the stage of preparation of images for rasterization to compensate for the impact of derasterization on the image quality.

Keywords: *demodulation, rasterization, square element, simulator, characteristics, nonlinearity, sensitivity, contrast.*

Стаття надійшла до редакції 27.06.2021.

Received 27.06.2021.