

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

*Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису*

КАВИН СВЯТОСЛАВ ЯРОСЛАВОВИЧ

УДК 004.942:655.22

**ДИСЕРТАЦІЯ
ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ СТЕПЕНЕВО-ЛІНІЙНОГО
ПЕРЕТВОРЕННЯ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ У ДОДРУКАРСЬКИХ
ПРОЦЕСАХ**

126 «Інформаційні системи та технології»

12 «Інформаційні технології»

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Кавин С. Я.

Науковий керівник:
Гук Ігор Богданович
кандидат технічних наук, доцент

АНОТАЦІЯ

Кавин С. Я. Інформаційна технологія ступенево-лінійного перетворення цифрових зображень у додрукарських процесах. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології». – Національний університет «Львівська політехніка», Міністерство освіти і науки України, Львів, 2025.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуального науково-прикладного завдання з розроблення інформаційної технології ступенево-лінійного перетворення, синтезу і коригування тоновідтворення зображень для підвищення технологічних і функціональних можливостей підготовки до друку та для підвищення якості поліграфічної продукції.

У вступі обґрунтовано актуальність проблеми, сформульовано мету і постановку завдань дисертаційного дослідження, наукову новизну, практичне значення одержаних результатів, подано кількість наукових праць, структуру й обсяг дисертації.

У першому розділі «Стан і розвиток інформаційних технологій, систем і методів підготовки зображень до друку» наведено аналіз літературних джерел на основі яких встановлено, що в теорії цифрової обробки зображень розроблено різні методи перетворення зображень та побудовані відповідні моделі, які безпосередньо не можна застосовувати для підготовки зображень до друку. Відповідно це вимагає їх розвитку та розроблення нових. Встановлено, що традиційне для поліграфії коригування цифрових зображень на основі гама перетворення має обмеження коригування темних тонів внаслідок чого виникає постеризація (ступінчатість) - на темних ділянках зображень pojawiaються візуально помітні переходи. Це є суттєвим недоліком гама коригування, тому виникає потреба розроблення нових методів обробки цифрових зображень.

У доступних растрових процесорах і програмах комп'ютерної графіки не передбачена програма для побудови характеристики растрування, що обмежує можливості оператора, технолога та друкара щодо здійснення растрування і налагодження фарбового апарата на заданий наклад. Отже, задача розвитку і розроблення інформаційної технології ступенево-лінійного перетворення і коригування тоновідтворення для підготовки цифрових зображень до друку і відповідно підвищення якості поліграфічної продукції є актуальним завданням.

У другому розділі «Моделювання ступеневого перетворення цифрових зображень та їх аналіз» основним завданням дослідження було визначення факторів, які викликають появу постеризації зображень і розроблення способів їх аналізу. Розроблено трьохканальний симулятор гама перетворення, що дає можливість розраховувати і будувати неперервні та дискретизовані градаційні характеристики цифрових зображень різних тонів, графіки оптичної густини та контрастної чутливості на основі яких кількісно проаналізовано явище постеризації.

Для аналізу постеризації запропоновано дискретизацію (квантування) градаційних характеристик на початковому діапазоні $0 \leq L_0 \leq 40$ рівнів. Встановлено, що явище постеризації обумовлено крутизною градаційної характеристики на початковому діапазоні тонопередачі.

Розроблено модель і симулятор модифікованого гама перетворення у яких шляхом зміщення градаційної характеристики усунено початкові стрибки, що усуває явище постеризації. Визначено їх контрастну чутливість яка на початку діапазону має пікові значення у 2-3 рази більші ніж у традиційному гама перетворенні. В сукупності модифіковане гама перетворення має показники якості відтворення світлих і темних тонів дещо кращі, але їх реалізація складна для практичних застосувань.

У третьому розділі «Розроблення і аналіз ступенево-лінійного перетворення цифрових зображень» вперше розроблено математичну модель ступенево-лінійного перетворення цифрових зображень на основі сумування градаційних

характеристик лінійного і степеневого перетворень із наступним масштабуванням.

Розроблено та побудовано структурну схему моделі трьохканального симулятора степенево-лінійного перетворення, який дає можливість розраховувати і будувати градаційні характеристики, графіки оптичної густини, абсолютний контраст і аналізувати їх властивості. В цьому контексті проаналізовано властивості запропонованого степенево-лінійного перетворення, які розширяють функціональні можливості степенево-лінійного перетворення. Для дослідження і практичних застосувань розроблено типові варіанти степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих та темних тонів. Визначено оптичну густину перетворення цифрових зображень їх контрастну чутливість і шляхом дискретизації доведено, що розроблене степенево-лінійне перетворення усуває постеризацію зображень. Встановлено, що степенево-лінійне перетворення цифрових зображень дає можливість змінювати (розтягувати чи стискувати) контраст у широких межах і відповідно є способом підвищення візуальної якості зображень через підсилення контрастів. Одержані у розділі результати розвивають степеневий метод перетворення цифрових зображень на основі сумування градаційних характеристик. Це дає можливість формувати градаційні характеристики, які усувають постеризацію зображень, тому можуть бути використані при підготовці зображень до друку щодо покращення якості зображень.

У четвертому розділі «Розроблення інформаційної технології растрівання степенево-лінійного перетворення» розроблено модель та симулятор растрового перетворення степенево-лінійного перетворення і проаналізовано властивості.

Розроблена математична модель і чотирьохканальний симулятор растрового перетворення степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих та темних тонів. Здійснено растрівання типових алгоритмів степенево-лінійного перетворення цифрових зображень, визначено різницю характеристик растрівання від лінійної та оптичну густину растрового перетворення. Доведено, що растрове степенево-лінійне перетворення усуває постеризацію на темних

ділянках зображення, що є його перевагою. Встановлено, що максимальні значення різниць відхилення характеристик растрівання для темних тонів більші на 10-15% від різниць відхилення для світлих тонів, що додатково підтверджує, що в поліграфії чорний колір є головний. Порівнюючи графіки оптичної густини для світлих і темних тонів, зроблено висновок, що на початку діапазону при $L_0=50$ рівнів оптична густина темних тонів удвічі більша ніж світлих. Отже розроблене ступенево-лінійне перетворення забезпечує широкий діапазон відтворення оптичної густини зображень.

Розроблено моделі алгоритмів растрівання ступенево-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих та темних тонів заданої лінійності і чотирьохканальний симулятор растрівання. Встановлено, що при низьких лінійностях 30-40 лін/см характеристики растрівання мають меншу крутизну, що погіршує якість зображень. Підвищення лінійності викликає збільшення крутизни характеристики, що покращує якість зображення. На основі результатів моделювання растрівання зображень різної лінійності зроблено висновок, що розроблене ступенево-лінійне перетворення забезпечує якісне тоновідтворення для різної лінійності і усуває постеризацію на темних ділянках зображень. Це є його перевагою над традиційним гамма перетворенням.

Результати розробленого ступенево-лінійного перетворення можна використати на стадії підготовки зображень до друку і налагодження фарбового апарату офсетних друкарських машин на заданий наклад.

На основі виконаних досліджень отримано такі результати:

вперше:

- розроблено математичні моделі типових варіантів модифікованого ступенево-лінійного перетворення цифрових зображень, що усуває постеризацію на темних ділянках зображень, Описано градаційні характеристики перетворень, оптичну густину, абсолютний контраст, що дає можливість аналізувати ступенево-лінійне перетворення. Це розширяє його можливості щодо аналізу різних технологічних впливів факторів;

- розроблено математичну модель растрування степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих і темних тонів. Вона включає градаційні характеристики типових алгоритмів растрування, оптичну густину, різниці відхилення площ растрових елементів від лінійної, які кількісно оцінюють сприйняття зображень зоровою системою людини. Це дає можливість аналізувати і оцінювати властивості растрового перетворення зображень різної тональності;
- створено інформаційну технологію аналізу та синтезу тоновідтворення зображень до якої входять базові компоненти: математичні моделі степенево-лінійного перетворення, моделі типових варіантів степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих і темних тонів, моделі растрування і типові алгоритми растрування, градаційні характеристики, графіки оптичної густини і різниць відхилення, які кількісно і якісно оцінюють їх властивості. Це в сукупності забезпечує високу ефективність підготовки зображень до друку і відповідно підвищення якості друкованої продукції.

удосконалено:

- методи растрування цифрових зображень на основі типових алгоритмів растрування і симулятора растрування, які дають можливість розраховувати і будувати характеристики растрування для заданої лініатури, розтягувати чи стискувати характеристики. Це підвищує розрізнення деталей сірих і світлих тонів зображення;

розвинуто:

- методи перетворення цифрових зображень на основі сумування градаційних характеристик степеневого перетворення і лінійної складової з наступним їх масштабування до номінального рівня. Це спрощує математичну модель, робить її більш ефективною для приготування зображень до друкування ніж традиційні моделі.

На основі розроблених у дисертаційній роботі методів і математичних моделей, а також інформаційної системи та технології аналізу і синтезу

тоновідтворення цифрових зображень при їх підготовці до друку отримані такі практичні результати:

- розроблено багатоканальні симулятори, які дають можливість паралельно обчислювати і будувати градаційні характеристики ступенево-лінійного перетворення цифрових зображень, оптичної густини, абсолютний контраст та аналізувати їх властивості;
- розроблена інформаційна технологія аналізу і синтезу растрового тоновідтворення для різних алгоритмів растрування, які є носіями інформаційного змісту зображення;
- розроблено симулятор растрування типових варіантів ступенево-лінійного перетворення зображень заданої лініатури, що дає можливість формувати характеристику растрування, яка є основним носієм інформації про тональний зміст зображення;
- результати дослідження значно розширюють інформативність процесів перетворення цифрових зображень і рекомендуються операторам і технологам комп'ютерних видавничих систем для вибору оптимальних градаційних характеристик і характеристик растрування на стадії підготовки цифрових зображень до друк.

Ключові слова: обробка зображень, модель, контрастність, інтелектуальні технології, моделювання, нейронні мережі, інформаційні системи, цифрові зображення, кольоровідтворення, колірні перетворення, градаційні характеристики, оптична щільність, математична модель, симулятор

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні результати дисертації:

1. Я.М.Кавин, Б.Я.Кавин, С.Я.Кавин, О.М.Кавин Модель цифрових зображень Комп'ютерні технології друкарства. Українська академія друкарства, Львів: №2(44). 2020. С.81-88.

2. Гук І.Б., Кавин С.Я. Моделювання растрівання степеневого перетворення цифрових зображень різної тональності Комп'ютерні технології друкарства. Українська академія друкарства, Львів: №1(51). 2024. С.176-186.
3. Кавин С.Я. Модифіковане гама перетворення зображень темних тонів Комп'ютерні технології друкарства. Українська академія друкарства, Львів: №2(52). 2024. С.126-137.
4. Кавин С.Я. Моделювання степенево - лінійного перетворення світлих зображень Вчені записки ТНУ імені В.І.Вернадського. Серія: Технічні науки, Київ: Том 36 (75). № 1 2025. С.90-95.
5. Kavyn, S. (2025). Development of a model of power-linear conversion of digital images for dark tones. Technology Audit and Production Reserves, 2 (2 (82)), 32–36.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

6. С.Я.Кавин, Б.Я.Кавин, Я.М.Кавин. «Вибір програмного забезпечення для цифрової обробки зображень», Abstracts of III International Scientific and Practical Conference «E-Learning and Education» ISG International Science Group Lisbon, Portugal, February 2 – 5, 2021 pp.381-385
ISBN - 978-1-63684-354-4 DOI - 10.46299/ISG.2021.I.III
7. С.Я.Кавин, Б.Я.Кавин, Я.М.Кавин. «Методи представлення цифрових зображень в інтерактивних програмних середовищах», Abstracts of XVI International Scientific and Practical Conference «Science and society, patterns and trends of development» ISG International Science Group Vienna, Austria March 30 – April 02, 2021 pp.263-266
ISBN - 978-1-63848-672-5 DOI -10.46299/ISG.2021.I.XVI
8. С.Я.Кавин, Б.Я.Кавин, Я.М.Кавин. «Особливості цифрової обробки теплових зображень», Abstracts of II International Scientific and Practical Conference «Science and practical Technologies» ISG International Science Group Luxembourg, Luxembourg January 26 – 29, 2021 pp.527-531
ISBN - 978-1-63684-353-7 DOI - 10.46299/ISG.2021.I.II

ANNOTATION

Kavyn S. Ya. Information Technology of Power-Linear Image Transformation in Prepress Processes – Qualification scientific work as a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 126 "Information Systems and Technologies". – Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2025.

The dissertation is devoted to solving an urgent scientific and applied task related to the development of information technology for power-linear transformation, synthesis, and correction of image tone reproduction in order to enhance technological and functional capabilities in print preparation and improve the quality of printed products.

The introduction substantiates the relevance of the problem, formulates the purpose and objectives of the dissertation research, presents scientific novelty, the practical significance of the obtained results, the number of scientific works, the structure, and the volume of the dissertation.

The first chapter, "State and Development of Information Technologies, Systems and Methods for Image Prepress Preparation", provides a literature review that shows that, within digital image processing theory, various image transformation methods have been developed, along with corresponding models. However, these models cannot be directly applied to image prepress preparation. Therefore, there is a need for their advancement and for developing new methods. It has been established that traditional image correction in printing, based on gamma transformation, has limitations in correcting dark tones, which leads to posterization (banding)—visually noticeable transitions appearing in dark areas of images. This is a significant drawback of gamma correction and highlights the need for new digital image processing methods.

Existing raster image processors and computer graphics programs do not include tools for building rasterization characteristics, which limits the capabilities of operators, technologists, and printers in performing rasterization and setting up the ink unit for the required print run. Thus, developing information technology for power-

linear transformation and tone reproduction correction for digital image prepress, with the goal of enhancing print quality, is a relevant and timely task.

The second chapter, "Modeling of Power Transformation of Digital Images and Its Analysis", focuses on identifying the factors causing posterization in images and developing methods for their analysis. A three-channel gamma transformation simulator was developed, allowing for the calculation and construction of both continuous and discretized gradation characteristics of digital images in various tonal ranges, as well as graphs of optical density and contrast sensitivity. These were used to quantitatively analyze the posterization phenomenon.

To analyze posterization, a discretization (quantization) of gradation characteristics was proposed for the initial range of $0 \leq L_0 \leq 40$ levels. It was found that posterization is caused by the steepness of the gradation curve in the initial tone reproduction range.

A model and simulator for a modified gamma transformation were developed, in which the initial abrupt changes in the gradation curve were removed through offsetting, thereby eliminating posterization. Their contrast sensitivity was determined to be 2–3 times higher in the initial range compared to traditional gamma correction. Overall, the modified gamma transformation provides slightly better tone reproduction quality in both light and dark areas, though its practical implementation is more complex.

The third chapter, "Development and Analysis of Power-Linear Transformation of Digital Images", introduces for the first time a mathematical model of power-linear transformation for digital images. This model is based on summing the gradation characteristics of linear and power transformations, followed by scaling.

A structural diagram of the three-channel simulator model for power-linear transformation has been developed and constructed, enabling the calculation and construction of gradation characteristics, optical density graphs, absolute contrast, and analysis of their properties. In this context, the properties of the proposed power-linear transformation were analyzed, which expand the functional capabilities of traditional power transformations. For research and practical applications, typical variants of

power-linear transformation of digital images for light and dark tones have been developed. The optical density of digital image transformation and their contrast sensitivity were determined, and through discretization, it was demonstrated that the developed power-linear transformation eliminates image posterization. It was found that power-linear transformation of digital images allows contrast to be stretched or compressed within a wide range, thereby improving the visual quality of images through enhanced contrast. The results obtained in this section further develop the power transformation method of digital images based on the summation of gradation characteristics. This makes it possible to form gradation characteristics that eliminate image posterization and can thus be used in image prepress processing to improve print quality.

In Chapter 4, "Development of the Halftoning Information Technology Based on Power-Linear Transformation," a model and simulator for the halftone transformation using power-linear transformation were developed and their properties analyzed.

A mathematical model and a four-channel simulator for halftoning based on power-linear transformation of digital images for light and dark tones were developed. Halftoning of typical power-linear transformation algorithms was carried out, and the difference in halftone characteristics from the linear ones and the optical density of the halftone transformation were determined. It was proven that halftone power-linear transformation eliminates posterization in the dark areas of an image, which is one of its advantages. It was established that the maximum deviation differences in halftone characteristics for dark tones are 10–15% greater than for light tones, further confirming that black is the dominant color in printing. By comparing optical density graphs for light and dark tones, it was concluded that at the beginning of the range, at $L_0 = 50$ levels, the optical density of dark tones is twice that of light tones. Thus, the developed power-linear transformation ensures a wide range of optical density reproduction in images.

Models of halftoning algorithms for power-linear transformation of digital images with a given screen ruling (lineature) and a four-channel halftone simulator were developed for both light and dark tones. It was found that at low screen rulings of 30–

40 lines/cm, the halftone characteristics have a lower steepness, which degrades image quality. Increasing the screen ruling leads to increased steepness of the characteristic, which improves image quality. Based on the results of halftoning simulation for different screen rulings, it was concluded that the developed power-linear transformation ensures high-quality tonal reproduction across various screen rulings and eliminates posterization in dark areas. This is a clear advantage over traditional gamma correction.

The results of the developed power-linear transformation can be used at the prepress stage and for setting up the ink system of offset printing presses for a specific print run.

Based on the conducted research, the following results were obtained:

For the first time:

- Mathematical models of typical variants of the modified power-linear transformation of digital images have been developed. This transformation eliminates posterization in dark areas of images. The gradation characteristics of the transformations, optical density, and absolute contrast are described, enabling analysis of the power-linear transformation and expanding its capabilities for assessing the influence of various technological factors.

- A mathematical model of halftoning for the power-linear transformation of digital images for both light and dark tones has been developed. It includes the gradation characteristics of typical halftoning algorithms, optical density, and the deviations in halftone dot area from linearity, which provide a quantitative assessment of how images are perceived by the human visual system. This allows for the analysis and evaluation of the properties of halftone image transformations with different tonalities.

- An information technology system for the analysis and synthesis of image tonal reproduction has been created. It includes key components such as mathematical models of power-linear transformation, models of typical variants of power-linear image transformation for light and dark tones, halftoning models and typical halftoning algorithms, gradation characteristics, graphs of optical density and deviation

differences that quantitatively and qualitatively evaluate their properties. Altogether, this ensures high efficiency in image preparation for printing and thus improves the quality of printed products.

Improved:

- Methods of halftoning digital images based on typical halftoning algorithms and a halftone simulator have been improved. These methods allow for calculating and constructing halftoning characteristics for a given screen ruling, as well as stretching or compressing these characteristics. This enhances the distinguishability of details in gray and light image tones.

Developed:

- Methods for digital image transformation based on the summation of the gradation characteristics of power transformation and a linear component, followed by scaling to a nominal level. This simplifies the mathematical model and makes it more efficient for preparing images for printing than traditional models.

Based on the methods and mathematical models developed in this dissertation, as well as the information system and the technology for analyzing and synthesizing tonal reproduction of digital images during their preparation for printing, the following practical results were obtained:

- Multichannel simulators have been developed, enabling parallel computation and construction of gradation characteristics of power-linear transformations of digital images, optical density, and absolute contrast, as well as the analysis of their properties.

- An information technology system has been developed for the analysis and synthesis of halftone tonal reproduction for various halftoning algorithms, which serve as carriers of the informational content of images.

- A halftoning simulator for typical variants of power-linear image transformation with a given screen ruling has been developed. It enables the formation of a halftoning characteristic that is a primary carrier of information about the image's tonal content.

- The research results significantly enhance the informativeness of digital image transformation processes and are recommended for use by operators and technologists

of computer publishing systems for selecting optimal gradation and halftoning characteristics at the stage of digital image preparation for printing.

Keywords: image processing, model, contrast, intelligent technologies, modeling, neural networks, information systems, digital images, color reproduction, color transformations, gradation characteristics, optical density, mathematical model, simulator

LIST OF PUBLICATIONS OF THE GRANT ON THE THESIS

Scientific works in which the main results of the dissertation are published:

1. Kavyn Ya.M., Kavyn B.Ya., Kavyn S.Ya., Kavyn O.M. (2020) A Model of Digital Images Computer Technologies of Printing 2020/2(44) P. 81-87
2. Huk I.B., Kavyn S.Ya. (2024) Rasterization Simulation of Power Transformation of Different Tone Digital Images Computer Technologies of Printing 2024/1(51) P.176-186
3. S. Ya. Kavyn (2024) Modified Gamma Transformation of Dark Tone Images Computer Technologies of Printing 2024/2 (52) P.126-137
4. Kavyn S. Ya (2025) Modeling of Step-Linear Transformation of Light Images Scientific notes of Taurida National V. I. Vernadsky University, series «Technical Sciences» Tom 36 (75). № 1 2025. P.90-95.
5. Kavyn, S. (2025). Development of a model of power-linear conversion of digital images for dark tones. Technology Audit and Production Reserves, 2 (2 (82)), 32-36.

Scientific works that confirm the approval of the dissertation materials:

6. Kavyn S.Ya., Kavyn B.Ya., Kavyn Ya.M. «Choosing software for digital image processing», Abstracts of III International Scientific and Practical Conference «E-Learning and Education» ISG International Science Group Lisbon, Portugal, February 2 – 5, 2021 pp.381-385
ISBN - 978-1-63684-354-4 DOI - 10.46299/ISG.2021.I.III

7. Kavyn S.Ya., Kavyn B.Ya., Kavyn Ya.M. «Methods of representing digital images in interactive software environments», Abstracts of XVI International Scientific and Practical Conference «Science and society, patterns and trends of development» ISG International Science Group Vienna, Austria March 30 – April 02, 2021 pp.263-266
ISBN - 978-1-63848-672-5 DOI -10.46299/ISG.2021.I.XVI
8. Kavyn S.Ya., Kavyn B.Ya., Kavyn Ya.M. «Features of digital processing of thermal images», Abstracts of II International Scientific and Practical Conference «Science and practical Technologies» ISG International Science Group Luxembourg, Luxembourg January 26 – 29, 2021 pp.527-531
ISBN - 978-1-63684-353-7 DOI - 10.46299/ISG.2021.I.II

ЗМІСТ

ВСТУП	18
РОЗДІЛ 1. Стан і розвиток інформаційних технологій, систем і методів перетворення зображень	25
1.1. Зображення та їх моделі.	25
1.2. Інформаційні технології, системи та методи підготовки зображень до друк	27
1.3. Градаційне коригування зображень	28
1.4. Растрове перетворення зображень	30
Висновки до розділу 1	33
РОЗДІЛ 2. Розроблення моделі модифікованого степеневого перетворення цифрових зображень та її аналіз	34
2.1. Лінійні перетворення цифрових зображень	34
2.2. Моделювання і аналіз властивостей степеневого перетворення цифрових зображень	38
2.3. Розроблення модифікованого гама перетворення цифрових зображень для світлих тонів	48
2.4. Розроблення модифікованого гама перетворення цифрових зображень для темних тонів	55
2.5. Розроблення агрегатованого модифікованого гама перетворення цифрових зображень	59
Висновки до розділу 2	72
РОЗДІЛ 3. Розроблення і аналіз степенево-лінійного перетворення цифрових зображень	74
3.1. Постановка задачі	74
3.2. Моделювання степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих тонів	75
3.3. Моделювання степерево-лінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів	81

3.4. Визначення абсолютного контрасту степеневно-лінійного перетворення цифрових зображень	86
Висновки до розділу 3	94
РОЗДІЛ 4. Розроблення інформаційної технології растрового степеневно-лінійного перетворення цифрових зображень	95
4.1. Постановка задачі	99
4.2. Розроблення моделі растрового степеневно-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих тонів	103
4.3. Розроблення моделі растрового степеневно-лінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів	110
4.4. Моделювання растрового степеневно-лінійного перетворення цифрових зображень різної лініатури	116
Висновки до розділу 4	133
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	135
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	138
Додаток 1	
Додаток 2	
Додаток 3	
Додаток 4	

ВСУП

Актуальність теми: Розроблені і впроваджені інформаційні технології обробки зображень і систем CtP та RIP компютеризували різноманітні складні процеси підготовки до друку і виготовлення друкарських форм та забезпечили стабільну якість відбитків. Однак суттєво вони не вплинули на підвищення якості зображень. Для виходу на новий рівень якості розроблено новітні технології приготування зображень і растрування. Розроблено ряд новітніх методів растрування, зокрема частотно-модульований, гібридні растри, стохастичне растрування та растри окремих фірм виробників CtP. Основною перевагою новітніх способів растрування є відсутність явища муару та розеток, що важливо для кольорової продукції. Звичайно використання новітніх методів растрового перетворення забезпечують хорошу візуальну якість друкованого відбитку, але жорсткі умови стандартизації всього комплексу додрукарського процесу підготовки є фактором, що обмежує широке промислове їх впровадження.

На сьогодні підготовка зображень до друку і коригування тоновідтворення здійснюється у КВС. Оператор здійснює коригування сканованих зображень за допомогою тих чи інших інструментів, наприклад Curves (Криві) і спостерігає зображення на екрані монітора здебільшого при відсутності оригінала. Якість скоригованого зображення в значній мірі залежить від людського фактору, тобто від знань, вмінь та досвіду оператора компютерних видавничих систем. Тому результати не гарантують високої якості друкованих відбитків. не може бути оптимальною. Якщо йдеться про підвищення якості друкованого зображення, то процедура підготовки зображення ускладнюється тим, що процес включає пробний друк, сканування зображення і додаткове коригування, що вимагає затрат часу і матеріалів.

У доступних програмах компютерної графіки і растрових процесорах не має функціональних можливостей здійснювати побудову градаційних характеристик зображень та характеристик растрування, що значно обмежує можливості оператора і технолога при підготовці зображень до друку.

Значний внесок у розроблення технології підготовки зображень до друку, методів обробки і синтезу зображень здійснили українські та зарубіжні науковці, зокрема: С.Айриг, І.Барановський, Д.Блантер, О.Величко, М.Верхола, Р.Воробель, С.Гавенко, Б.Дурняк, Р.Гонсалес, Ю.Кузнецов, Б.Камінські, Б.Ковальський, Г.Кінхан, Е.Лазаренко, М.Луцків, В.Мартинюк, Д.Оквін, П.Пашуля, В.Репета, В.Сенківський, М.Шовгенюк, Б.Япе, С.Ярема та інші. Аналіз наукових досліджень показав, що у більшості робіт мало уваги приділялось моделюванню процесів підготовки зображень до друку, аналізу і синтезу перетворення зображень та алгоритмам растровання, що не вирішує проблеми синтезу тоновідтворення та якості офсетної журнальної продукції.

Таким чином, розроблення інформаційної технології підготовки цифрових зображень до друку на основі математичних моделей та симуляторів модифікованого степеневі-лінійного перетворення, а також градаційних характеристик і алгоритмів растровання для підвищення ефективності репродукції технологічних і функціональних можливостей та якості поліграфічної продукції є актуальним науково-прикладним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами: Дисертаційна робота відповідає пріоритетному напрямку розвитку інформаційних технологій визначеному на законодавчому рівні та новим і перспективним напрямкам кафедри комп'ютерних технологій у видавничо поліграфічних процесах Інституту поліграфії та медійних технологій НУ «Львівської політехніки». Дослідження проводились також в рамках науково-дослідної теми «Моделювання і розроблення інформаційних технологій визначення витрат фарби на друкування накладу та удосконалення налагодження фарбодрукарських систем» (державний реєстраційний номер 0120U101751, Інв. Б №590-2020).

Мета і задачі дослідження: Розроблення і створення інформаційної технології підготовки цифрових зображень до друк на основі математичних моделей і симуляторів модифікованого степеневі-лінійного перетворення, градаційних характеристик та алгоритмів растровання для підвищення

ефективності репродукції, технологічних і функціональних можливостей, а також підвищення якості друкованих зображень. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- провести огляд публікацій і проаналізувати інформаційні технології, системи та моделі підготовки зображень до друку;
- розробити математичні моделі і симулятори ступенево-лінійного перетворення цифрових зображень світлих і темних тонів, побудувати їх градаційні характеристики, графіки оптичної густини та контрастної чутливості, визначити абсолютний контраст і проаналізувати їх властивості;
- розробити інформаційну технологію і симулятори растрування ступенево-лінійного перетворення, побудувати характеристики для растрових елементів квадратної форми;
- розробити інформаційну технологію і симулятори растрового перетворення заданих алгоритмів растрування для світлих і темних тонів зображень, побудувати характеристики растрування, графіки оптичної густини, різниць відхилення та проаналізувати їх властивості;
- розробити інформаційну технологію і симулятори растрового перетворення різної лінійності, для елементів квадратної форми;
- розробити моделі і симулятори алгоритмів растрування різної лінійності для світлих і темних тонів зображень, побудувати характеристики растрування, графіки оптичної густини та графіки різниць і проаналізувати їх властивості;

Об'єктом дослідження є технологічний процес і системи додрукарської підготовки цифрових зображень до друку.

Предмет дослідження – моделі, методи, засоби та інформаційна технологія аналізу і синтезу тоновідтворення зображень.

Методи дослідження: В процесі виконанні наукових досліджень було використано: методи математичного моделювання для побудови математичних моделей типових варіантів ступенево-лінійного перетворення цифрових зображень різної тональності; теорію цифрового формування зображень для аналізу, синтезу та коригування зображень різної тональності; теорію цифрового

перетворення сигналів для опису модуляції растрових елементів, розробки алгоритмів растрування різної лініатури, які є основним носієм інформації про зображення та аналіз їх властивостей; об'єктно-орієнтоване програмування для розробки інтерактивних програмних засобів – симуляторів для імітаційного моделювання, аналізу і синтезу ступенево-лінійного перетворення, які забезпечують якісне тоновідтворення зображень різної лініатури.

Наукова новизна одержаних результатів: Наукова новизна полягає у тому, що в результаті проведених досліджень вирішена науково-прикладна задача розроблення інформаційної технології аналізу і синтезу тоновідтворення цифрових зображень для офсетного друку на основі їх математичних моделей. В процесі виконання дисертаційної роботи на основі проведених досліджень отримано нові наукові результати:

Вперше:

- розроблено математичну модель модифікованого ступенево-лінійного перетворення цифрових зображень, що усуває постеризацію на темних ділянках зображень.
- розроблено математичну модель растрування ступенево-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих і темних тонів, яка дає можливість аналізувати і оцінювати властивості растрового перетворення зображень різної тональності;
- створено інформаційну технологію аналізу та синтезу тоновідтворення цифрових зображень, що забезпечує підвищення ефективності підготовки зображень до друку і відповідно підвищення якості друкованої продукції.

Удосконалено:

- методи растрування цифрових зображень на основі типових алгоритмів растрування і симуляторів растрування, які дають можливість розраховувати і будувати характеристики растрування заданої лініатури, розтягувати чи стискувати характеристики.

Розвинуто:

- методи перетворення цифрових зображень на основі сумування градаційних характеристик степеневого перетворення і лінійної складової та наступним їх масштабуванням до номінального рівня.

Практичне значення одержаних результатів: Практичне значення дисертаційного дослідження полягає в тому, що на основі розроблених математичних моделей функціональних елементів тоновідтворення цифрових зображень при їх підготовці до друку було отримано результати практичного застосування:

- розроблено багатоканальні симулятори, які дають можливість паралельно обчислювати і будувати градаційні характеристики степенєво-лінійного перетворення, графіки оптичної густини, абсолютний контраст та аналізувати їх властивості;
- розроблено інформаційну технологію аналізу і синтезу растрового тоновідтворення для різних алгоритмів растрування, які є носіями інформаційного змісту зображення;
- розроблено симулятор растрування типових варіантів степенєво-лінійного перетворення заданої лініатури, який дає можливість формувати характеристику растрування, яка є основним носієм інформації про тональний зміст зображення;
- результати дослідження значно розширюють інформативність процесів перетворення цифрових зображень і рекомендуються операторам і технологам комп'ютерних видавничих систем для вибору оптимальних градаційних характеристик і характеристик растрування на стадії підготовки цифрових зображень до друку.

Результати дисертаційного дослідження впроваджено у:

- ТзОВ «Репроцентр Захід» для вибору типового варіанту градаційної характеристики тоновідтворення зображення та растрування; (Додаток 3)

- Навчальному процесі Української академії друкарства в лекційних курсах з дисципліни комп'ютерного забезпечення поліграфічно-видавничих процесів (Додаток 4)

Акти впровадження підтверджені відповідними документами.

Особистий внесок здобувача: Результати наукових досліджень (теоретичних і експериментальних) отримані здобувачем самостійно. Висновки, що становлять наукову новизну дисертаційної роботи, розроблені автором безпосередньо. У наукових працях написаних у співавторстві дисертанту належить: [19] – розроблення окремих компонент моделі обробки цифрового зображення; розроблення структурної схеми окремих компонент симулятора ступеневого перетворення зображення; розрахунок та побудова дискретизованих характеристик перетворення цифрового зображення; [22] – розроблення математичної моделі растрового перетворення, побудова структурної схеми моделі симулятора растрового перетворення цифрових зображень різної тональності; розроблення імітаційної моделі растрування цифрових зображень в процесі підготовки їх до друку.

Апробація результатів дисертації: Результати досліджень отриманих в рамках виконання дисертаційної роботи доповідались на науково-практичних конференціях та були висвітлені і опубліковані в робочих матеріал конференцій та тезах доповідей, зокрема: The III International Science Conference on E-Learning and Education, February 2 – 5, 2021 Lisbon, Portugal; The XVI International Science Conference «Science and society, patterns and trends of development», March 30 – April 02, 2021, Vienna, Austria; The II International Scientific Conference on Science and practical Technologies January 26 – 29, 2021 Luxembourg, Luxembourg.

Публікації: за темою дисертаційної роботи опубліковано 8 наукових праць, зокрема: 5 публікацій (з яких 3 одноосібно) у фахових видань України, 3 публікації у матеріалах і тезах конференцій.

Структура і обсяг дисертації: Дисертація складається із вступу, 4 розділів, анотації і висновків, списку використаних джерел із 86 найменувань, 4 додатків.

Загальний обсяг рукопису 145 сторінок, зокрема: 120 сторінок основного тексту, 80 рисунків. В додатках наведені акти впровадження.

РОЗДІЛ 1

СТАН І РОЗВИТОК ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ, СИСТЕМ І МЕТОДІВ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ

1.1. Зображення та їх моделі

На сьогоднішній день і в умовах розвитку інформаційного суспільства інформація про реально існуючі об'єкти та процеси представляється у вигляді зображень – двомірних проекцій, які візуально спостерігаються. Для відтворення такої інформації, важливою умовою є необхідність у забезпеченні високої візуальної якості зображень. Тому актуальною є проблема перетворення і обробки зображень за допомогою комп'ютерних систем з використанням відповідного програмного забезпечення.

Коли говорять про зображення, то найчастіше виникає образ того, що може побачити людина. Якщо йдеться про відтворення зображень, то виникає необхідність оцінки якості зображення за їх візуальним сприйняттям. Обробка зображень має особливість, що є її метою – вона використовується для певного користувача який визначає вимоги до неї. Основним користувачем є людина і технічна система тої чи іншої галузі. Наприклад, обробка зображень в медицині чи космічних технологіях суттєво різняться, відтак існують різні методи обробки зображень [2, 7, 8, 74, 75] Обробка і перетворення в поліграфії має свою специфіку, яка у більшості зводиться до покращення зорової візуальної якості друкованих зображень що сприймається зоровою системою людини. [4, 15, 27, 28, 29]

В теорії цифрової обробки зображень, залежно від їх призначення, використовують різні методи і моделі зображень [32, 63, 76, 80] Під моделю зображення розуміють комплекс характеристик, які описують даний клас зображень. [81, 85, 86] Модель повинна задовільняти протирічливі вимоги щодо опису зображення і простоту математичного аналізу.

Інформація яка міститься в зображеннях може бути подана різними способами. Для поліграфії найбільше використовують просторовий спосіб подачі

зображення. Він застосовується у комп'ютерній графіці і подається матрицею пікселів, які відповідають інтенсивності тону відповідних елементів, мають ціле числове значення в межах 0,....., 255, що відповідає розміру матриці 16×16 і становить 256 рівнів сірого. Цифрове зображення зберігається в комп'ютері, як двовимірний масив числових даних, поданий певним форматом. [43, 44]

Сучасна підготовка зображень до друку базується на цифровому представленні інформації. Початковим етапом є введення текстової інформації і зображень, одержаної апаратними засобами, такими як сканери, цифрові камери і фотоапарати, мережі тощо. Одержаний цифровий файл поступає на стадію опрацювання інформації, на якій використовуються серійні комп'ютери з відповідним програмним забезпеченням. Основне опрацювання зображень полягає в градаційному перетворенні та растріванні. Під час комп'ютерного опрацювання зображень вирішуються широкий спектр завдань і коригувань для поліпшення якості зображень. [12, 30, 81]

В теорії цифрової обробки зображень розроблено різні методи, моделі перетворення зображень: просторове перетворення зображень, дискретні унітарні перетворення, перетворення Фур'є, перетворення Хара, лінійна та нелінійна фільтрація зображень, геометричні перетворення, афінні перетворення зображень, морфологічні операції та інші. [62, 77, 80] Їх можна вибрати і застосувати відповідно до мети і задачі перетворення, але їх безпосередньо не можна застосовувати в поліграфії. Основною метою аналізу і перетворення зображень в поліграфічній галузі є поліпшення візуальної якості сприйняття зображень зоровою системою людини. Для підготовки зображень до друку застосовують відповідні способи і методи перетворення: аналіз гістограм, градаційне коригування, нелінійне коригування, частотне коригування, фільтрація зображень, підвищення контрасту. [2, 8, 82, 32, 83, 58, 55] Їх можна вибрати виходячи із якості вхідного зображення і мети перетворення [50, 65, 66, 67].

1.2. Інформаційні технології, системи та методи підготовки зображень до друку.

Сучасна технологія додрукарських процесів набула нового змісту, усі процеси повністю компютеризовані і базуються на інформаційних технологіях та цифровому представленні інформації. Початковим станом є введення тексту і зображень за допомогою апаратних засобів – сканерів, цифрових камер і фотоапаратів, мереж та програмного забезпечення для них. Одержані цифрові файли поступають на стадію опрацювання інформації на якій використовуються серійні компютери із відповідним програмним забезпеченням. [10, 53, 56, 61]

Сучасні друкарські системи обробки і випуску продукції за технологією та технічним оснащенням включають компютерно-видавничі системи (КВС). Зокрема це комплекс технічного і програмного забезпечення необхідного для створення і підготовки інформації до виведення на матеріальний носій та відповідно друкування. [68, 16, 51, 66, 72] Можна виділити основні напрямки використання КВС: газетне виробництво; книговидавнича справа; виготовлення акцидентної продукції та графічного матеріалу, зокрема видавництвами, редакціями і рекламними агенціями. До складу КВС входять сучасні потужні компютери і програмне забезпечення, сканувальні та різноманітні вивідні пристрої. В міру ускладнення технологій, вимоги до устаткування і до фахівців зростають. Основою додрукарської підготовки зображень є репродукція – перетворення ілюстративних матеріалів у проміжні образи, зокрема, числові масиви, опрацювання цифрових зображень, екранна проба, виведення на матеріальний носій. Запис зображень і тексту здійснюється з компютера безпосередньо на друкарську пластину за технологією CtP (Computer the Plate) [69, 14, 17, 53, 72, 73, 79]

Основним елементом якісного вигляду друкованої продукції є висока якість зображень поданих замовником. У багатьох випадках вони мають низьку якість. Тому існує проблема обробки таких зображень. Існує десятки різноманітних засобів, алгоритмів і програм обробки та перетворення цифрових зображень, які дозволяють забезпечити візуальну якість зображень. Якщо після цифрової

обробки на моніторі чи принтері одержано візуально якісне зображення, то воно ще не гарантує якісне відтворення цього зображення на растровому відбитку, оскільки для поліграфічного відтворення необхідно здійснити ряд технологічних операцій. Зокрема це, растрування, виготовлення форми, друкарські процеси, що спричиняє спотворення зображень. [45, 73, 21]

Якщо йдеться про якісний друк зображень, то для цього існують додаткові процедури – здійснення пробного друку, сканування зображення і додаткове його коригування, що вимагає затрат часу і матеріалів [64, 70]

Зауважимо, що стандартні програми опрацювання ілюстрацій і технологій StP забезпечують якісне виготовлення друкарських форм і растрових друкарських відбитків за певних умов. Зокрема: друкарський процес і матеріали мають бути строго стандартизовані, а друкарська система повинна бути обладнана автоматизованою багатоканальною системою зональної подачі фарби на заданий наклад і забезпечувати стабільну товщину фарби на поверхні растрового відбитка. [5, 6, 18, 84, 78]

1.3. Градаційне коригування зображень

Градація (gradation) поступовий перехід від одного до іншого процесу, поділ на послідовно розташовані етапи чи ступені. Для поліграфічного репродукування – це послідовність передавання тонів в оригіналі, цифровому зображенні, друкарській формі, відбитку тощо. Спосіб зміни градаційної характеристики зображення є градаційним коригуванням. [60, 86, 20] На сьогодні коригування проводять за допомогою відповідних функцій, які дають змогу змінювати градаційну характеристику на різних діапазонах сірого. Для цього застосовують логарифмічні, експоненціальні та степеневі функції. [8, 38, 39, 80] У поліграфії широко застосовують степеневу функцію (гама перетворення) яка фактично є стандартом в сканерах, моніторах та при підготовці зображень до друку. Тонове коригування на основі гама перетворення здійснюється за виразом [42, 32, 23]

$$L_{вих} = \left(\frac{L_{вх}}{L_{\max}} \right)^r \cdot L_{\max}, \quad (1.1)$$

де, $L_{вх}$ - неопрацьоване вхідне зображення, $L_{вих}$ - вихідне скориговане зображення, L_{max} - максимально можливе значення, зазвичай 255, r - показник степені.

Якщо показник степені $r < 1$ відбувається розтяг діапазону сірого у сторону світлих тонів, а при $r > 1$ відбувається стискування діапазону у темні тони. На рис.1.1. представлені градаційні характеристики гама перетворення зображень для різних показників степені.

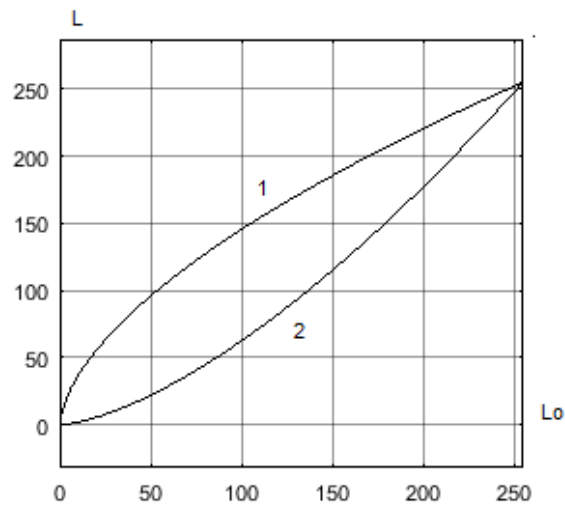


Рис. 1.1. Градаційні характеристики

Перша характеристика відповідає показнику степені $r=0,5$ є вгнутою кривою розтягнутою у світлі тони. На початку діапазону характеристика має велику крутизну, тому добре відтворюються деталі темних тонів зображень. Натомість на кінцевому діапазоні кривизна поступово зменшується внаслідок чого є втрати на світлих ділянках зображень. Градаційна характеристика, що розташована нижче першої з показником степені $r=1,5$ є вгнутою кривою стиснутою у темні тони. На початку діапазону характеристика має досить малу крутизну, тому погано відтворюються темні тони. Крутизна характеристики поступово збільшується, тому добре відтворюються середні і світлі тони. Якщо коригування зображень відбувається у вказаних межах показника степені, то гама перетворення забезпечує хорошу якість зображення. Головною проблемою гама коригування є виникнення постеризації (ступінчатості) - на темних ділянках

зображень появляються візуально помітні переходи від одного рівня сірого до іншого, що є суттєвим недоліком коригування.

Сучасні комп'ютерні видавничі системи обладнані графічними редакторами типу Photoshop та іншими, призначеними для підготовки зображень до друку. В цьому контексті широко використовують різні методи нелінійного коригування – від проведення кривих до переміщення регуляторів (бігунків) налагодження за допомогою яких виконують коригування [7, 29, 48, 31] Розглянемо один із найбільш поширених інструментів коригування Levels (Рівні) та Curves (Криві) за допомогою яких встановлюють рівні світлого і темного тонів та підбирають форму градаційної характеристики. [29, 24, 67, 13] Розглянемо процедуру і особливості коригування. Так оператор спостерігає і коригує зображення на екрані монітора у більшості випадків при відсутності оригінала. Якість скоригованого зображення значною мірою залежить від знань, умінь і виробничого досвіду оператора, відповідно не може гарантуватись оптимальна візуальна якість друкованого відбитку. Зауважимо, що у доступних програмах комп'ютерної графіки не передбачена програма для побудови градаційної характеристики, що значно обмежує можливості оператора і технолога щодо коригування зображень. Тому процес перетворення зображення від монітора до друкарської машини є досить складним, оскільки для цього необхідно здійснити растрування зображення, виготовити друкарську форму, налагодити фарбовий апарат на заданий наклад тощо.

1.4. Растрове перетворення зображень

Процес підготовки зображень до друку є багатостадійним. Після коригування зображень наступною і досить важливою операцією є растрове перетворення – процес перетворення тонових зображень в мікроштрихове у вигляді двомірного масиву крапок або елементами іншої форми. [25, 26, 49] Основним інформативним параметром при растровому перетворенні півтонових зображень є розміри і відносна площа. У світлих тонах площа крапок мала, а

площа темних крапок збільшується. З появою комп'ютерних видавничих систем і комп'ютерної графіки появились нові способи растрового перетворення:

- АМ (амплітудне растрування), при якому перетворення тонів відбувається шляхом зміни розмірів растрових крапок (відносної площі) за умови сталої товщини;
- ЧМ (частотне растрування), коли перетворення тонів відбувається шляхом зміни просторової частоти розташування растрових крапок сталих розмірів;
- АМ/ЧМ (змішане растрування), при якому перетворення півтонів відбувається шляхом зміни розмірів і частоти їх розташування;
- стохастичні растри – спосіб відтворення тону за рахунок випадкового розподілу малих растрових крапок однакового розміру;
- новітні растри фірм виробників KBC, Agfa, Scitex, Linotyp [22, 33]

Відомі основні проблеми, які існують у класичному АМ-раструванні: помітність структури растра при низьких лініатурах, нестабільність репродукції на темних та світлих ділянках зображень та муар. [2, 34]

Якщо растрове перетворення здійснюється ЧМ, то окремі крапки мають розміри 10 або 20 нкм., тому при друкуванні відбувається розтискування фарбових крапок від 25 до 35 % на крейдовому папері і до 50% на некрейдовому папері, що є недоліком ЧМ. [40, 41]

У стахостичному раструванні існують ті самі проблеми, пов'язані із малими розмірами растрових крапок – розтискання.

У монографіях [71, 74] подані проблеми і переваги новітніх растрів фірм KBC, Agfa, Scitex, Linotyp. Новітні растри забезпечують більш високу якість друкованої продукції. Але жорсткі умови стандартизації всього комплексу додрукарського процесу підготовки а також наявність автоматизованої системи зональної подачі фарби на заданий наклад є фактором, що обмежує широке промислове їх впровадження.

На сьогодні растрування зображень здійснюється процесором растрових перетворень (RIP), який перетворює вхідне зображення у растрове зображення високої роздільної здатності і переводиться у растрову бітову карту. У

діалоговому вікні процесора можна задати роздільну здатність, лініатуру растра і вибрати форму растрових елементів (квадратну, круглу, овальну). [46, 37] Але разом з тим існують проблеми вибору методу растрування, відсутність критеріїв оцінки якості растрування та контролю. [36, 47] Звернемо увагу на те, що у доступному растровому процесорі і в програмах комп'ютерної графіки не має функціональних можливостей здійснювати побудову характеристик растрового перетворення, що значно обмежує можливості оператора, технолога і друкара щодо проведення растрування і налагодження фарбового апарата на заданий наклад.

У доступних джерелах мало уваги приділяється вибору форми растрових елементів, яка по суті задає алгоритми растрування. Наприклад, характеристика растрових елементів квадратної форми значно відрізняється від елементів круглої форми.

У результаті аналізу розвитку і сучасного стану інформаційних технологій, систем та методів підготовки зображень до друку, у науковому дослідженні необхідно вирішити наступні завдання:

- розробити математичні моделі і симулятори степенево-лінійного перетворення світлих і темних тонів зображень, побудувати їх градаційні характеристики, характеристики оптичної густини, контрастної чутливості, визначити абсолютний контраст і проаналізувати їх властивості;
- розробити технологію і симулятор растрування степенево-лінійного перетворення, побудувати характеристики для растрових елементів квадратної форми;
- розробити інформаційну технологію і симулятори растрового перетворення заданих алгоритмів растрування для світлих і темних тонів зображень, побудувати характеристики растрування, графіки оптичної густини, графіки різниць відхилення та проаналізувати їх властивості;
- розробити інформаційну технологію і симулятори растрового перетворення різної лініатури для елементів квадратної форми;

- розробити моделі і симулятори алгоритмів растровання різної лінійності для світлих і темних тонів зображень, побудувати характеристик растровання, графіки оптичної густини, графіки різниць і проаналізувати їх властивості.

Висновки до розділу 1

1. Проаналізовано науково-фахові джерела, сучасний стан інформаційних технологій, систем, методів і проблем підготовки зображень до друку, які є основним етапом репродукції та якісного відтворення зображень в поліграфії.
2. В теорії цифрової обробки зображень розроблено різноманітні методи, моделі перетворення зображень які безпосередньо не можна застосовувати в поліграфії, що вимагає їх розвитку і розроблення нових.
3. Встановлено, що традиційне для поліграфії коригування зображень на основі степеневого (гама) перетворення має обмеження при коригуванні темних тонів при яких виникає постеризація. Це є суттєвим недоліком гама коригування, тому виникає потреба розроблення нових методів обробки зображень.
4. Сучасне коригування зображень здійснюється інструментами і програмами комп'ютерної графіки. Але у доступних програмах комп'ютерної графіки не має функціональних можливостей здійснювати побудову градаційних характеристик, що значно обмежує можливості оператора і технолога щодо коригування зображень.
5. У доступних процесорах растрового перетворення відсутній вибір алгоритму растровання і весь процес зводиться тільки до вибору форми растрових елементів і не має функціональних можливостей здійснювати побудову характеристик растрового перетворення, що значнео обмежує можливості оператора, технолога і друкара щодо здійснення растровання і налагодження фарбового апарата на заданий наклад.
6. За результатами аналізу розвитку і сучасного стану інформаційної технології, систем та методів підготовки зображень до друку поставлена мета і сформовані завдання дисертаційного дослідження.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛІ МОДИФІКОВАНОГО СТЕПЕНЕВОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ

2.1. Лінійні перетворення цифрових зображень

Процеси додрукарської підготовки основані на представленні зображень в цифровому форматі, тобто перетворенні неперервного зображення у дискретне (цифрове), яке представлене рівнями сірого, що можуть змінюватися від 0 (чорне) до 255 (біле). Перетворене зображення вводиться в комп'ютер для наступного опрацювання (цифрової обробки). В комп'ютерній графіці тон зображення має 256 градацій яскравості (brightness) – атрибут візуального сприйняття тону – характеризується інтенсивністю випромінювання чи відбивання світлового потоку. Перетворення яскравості відноситься до простих і ефективних методів покращення зображень у поліграфії [57, 59]. Покращення означає таку процедуру перетворення зображень, коли вихідне зображення (тобто після обробки), за рівнем розпізнавання буде краще ніж оригінал. Якщо обробка зображень здійснюється для візуальної інтерпретації, тоді оцінку перетворення дає людина (оператор, технолог), отже оцінка є суб'єктивна, тому візуальна якість може бути не оптимальна [14, 50, 74, 80].

Основні градаційні перетворення, які часто застосовують для покращення зображення: лінійні, логарифмічні і степеневі [8, 30, 85]. Для поліграфічного репродукування важливим є градаційна характеристика перетворення в оригіналі, репродукції чи проміжному зображенні. Зміна градацій характеристики (коригування) здійснюється за допомогою програми комп'ютерної графіки. Майже кожне зображення, що сканується, потребує різноманітних коригувань [52, 70, 54]. У сучасних програмах комп'ютерної графіки типу Adobe Photoshop та інших, існують різні методи та засоби коригування, а також інструменти для забезпечення цього процесу, наприклад, *Curves (Криві)*. Він полягає в тому, що у робочому вікні програми задають градаційну характеристику, а зображення відповідно спостерігають на екрані

монітора. Але таке коригування зображення є не зовсім точне оскільки оператор здійснює процес обробки зображення на основі візуального спостереження керуючись досвідом і в більшості випадків без наявності оригіналу самого зображення. У згаданих програмах комп'ютерної графіки не передбачено програми для побудови градаційної характеристики цифрового зображення, що обмежує їх інформативність.

При підготовці цифрових зображень до друку найчастіше застосовують степеневе (гама) перетворення зображень. У доступних джерелах інформації та інформаційних ресурсах мало уваги приділено аналізу властивостей степеневого перетворення поданих рівнями сірого. Зокрема це стосується закономірностей зв'язку із традиційними для поліграфії параметрами такими як градаційні перетворення, оптична густина, денситометрія, контраст, растрівання тощо, які можна досліджувати за допомогою математичного моделювання.

Для побудови моделей цифрових зображень приймаємо наступні основні положення: вхідне цифрове зображення це лінійна шкала, яскравість якої є в межах від 0 до 255 рівнів. У межах $[0 \leq L_0 \leq 255]$ знаходяться сірі тони від нульвий рівень – чорний тон до 255 рівень – білий тон. У загальному плані лінійне перетворення цифрових зображень, на заданому діапазоні представлено виразом

$$L = F(L_0), \quad \text{якщо} \quad 0 \leq L_0 \leq 255, \quad (2.1)$$

де, L_0 – вхідне зображення, L – вихідне перетворення зображення, $F(\bullet)$ – задана неперервна функція перетворення.

Найпростішим методом перетворення є лінійне перетворення. Перетворення використовуються у програмах комп'ютерної графіки, як стандартні засоби коригування яскравості, якщо на екрані є вихідна лінійна шкала *Curves*. Лінійне перетворення можна здійснити двома способами: переміщаючи лінію графіка вгору або вниз, а також змінюючи кут нахилу цієї лінії. Для прикладу розглянемо лінійні перетворення яскравості на основі виразу (2.1).

$$L = \frac{255}{Li} L_0, \text{ якщо } 1 \leq Li \leq 255. \quad (2.2)$$

Задамо три лінійні перетворення

$$L_1 = \frac{255}{Li} L_0, L_2 = \frac{255}{Li} L_0, L_3 = \frac{255}{Li} L_0, \text{ якщо } 1 \leq Li \leq 255. \quad (2.3)$$

Визначимо оптичну густину лінійного перетворення зображень [33, 37]

$$D = \log_{10} \left[\frac{255}{(L+1)} \right]. \quad (2.4)$$

Для спрощення розв'язання поставленої задачі моделювання перетворення цифрових зображень, проведення розрахунків, визначення і аналізу їх оптичної густини та інших завдань використаємо популярне середовище – матричну лабораторію MATLAB і її пакет MATLAB:Simulink. Зокрема пакет застосуємо для імітаційного моделювання обробки цифрових зображень візуального об'єктно-орієнтованого моделювання. Модель складається із графічних символів, операторів, блоків із заданими властивостями та відповідними параметрами, що знаходяться у бібліотеках програми, звідки в робочому порядку переносяться в активне робоче вікно Simulink та сполучаються між собою лініями зв'язку. На основі викладеного і виразів (2.2) – (2.4) побудована структурна схема моделі симулятора лінійного перетворення цифрових зображень, яка представлена на рис.2.1.

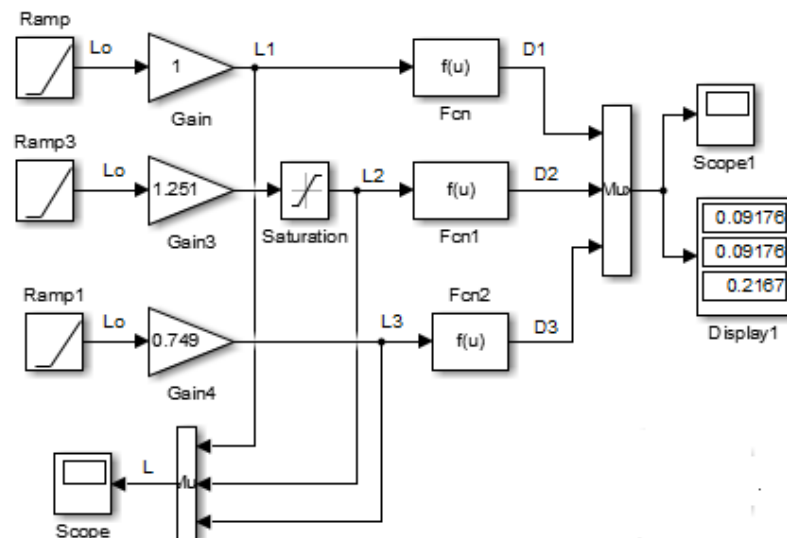


Рис. 2.1. Структурна схема моделі симулятора лінійного перетворення цифрових зображень

Блоки *Ramp* генерують лінійні растрові шкали L_0 , що подаються на вхід блоків *Gain*, які задають коефіцієнти нахилу лінійних перетворень L . Вихідні значення лінійних перетворень L подаються на входи операційних блоків математичних функцій *Fcn* у діалогових вікнах яких записується програма, вирази (2.4) для розрахунку оптичної густини D . Вихідні значення оптичної густини D подаються на вхід мультиплексора *Mux* і візуалізуються блоками *Scope* і *Display*. Аналогічно візуалізується перетворення яскравості L . Блок *Saturation* обмежує яскравість до рівня 255.

Результати моделювання представлені на рис.2.2.

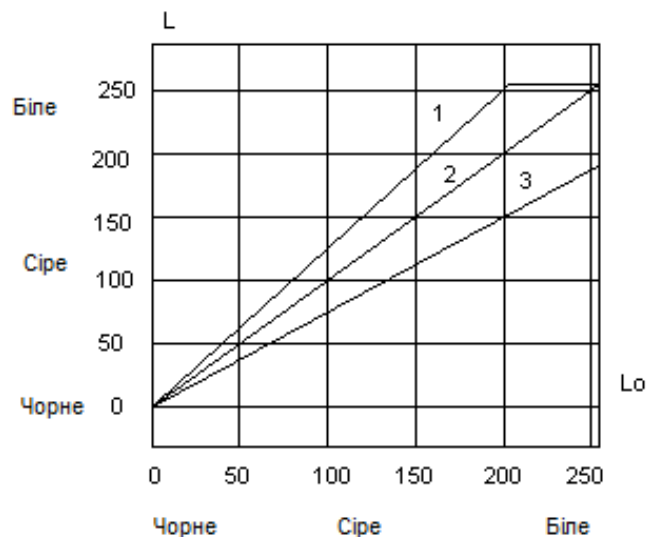


Рис. 2.2. Градаційні характеристики

Градаційні характеристики лінійного перетворення цифрових зображень представляють собою прямі лінії з різним кутом нахилу, який залежить від заданої функції перетворення. При збільшенні кута нахилу градаційної характеристики вихідне зображення стає світлішим і навпаки при зменшенні кута нахилу градаційної характеристики вихідне зображення стає темнішим. Разом з тим зауважимо, що для лінійного перетворення цифрових зображень існують певні обмеження. Відповідно застосування лінійного перетворення для обробки цифрових зображень є менш ефективне і тому менше використовується.

Результати імітаційного моделювання оптичної густини лінійного перетворення цифрових зображень представлені на рис.2.3.

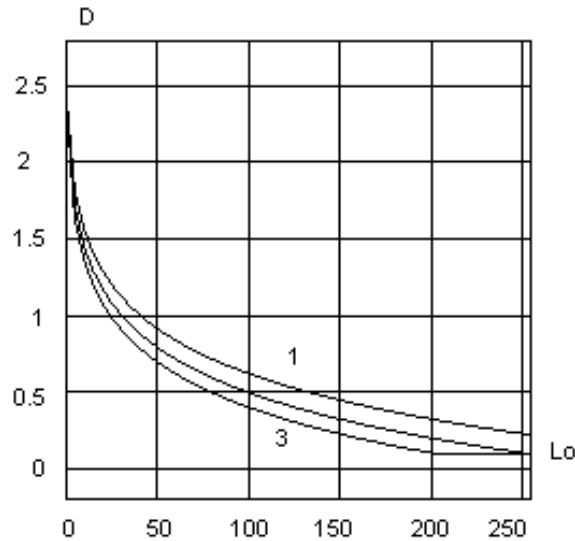


Рис. 2.3. Характеристики оптичної густини лінійного перетворення цифрових зображень

Характеристики оптичної густини є експонентно-подібними кривими. На початку значення оптичної густини є найбільше і рівне $D=2,407$ одиниць, що є досяжним в офсеті. Кінцеві значення оптичної густини близькі до нуля, за виключенням третьої характеристики, кінцеве значення якої становить 0,123 одиниць, що відповідає оптичній густині паперу при лінійному перетворенні. Зокрема має місце найбільший нахил і є наявність обмеження. Порівнюючи характеристики лінійного перетворення цифрових зображень рис.2.2. і характеристики оптичної густини рис.2.3. доходимо висновку, що вони є оберненими кривими.

2.2. Моделювання і аналіз властивостей степеневого перетворення цифрових зображень

Сучасні пристрої, які використовуються для обробки зображень, зокрема при їх візуалізації, в своїй основі базуються на степеневому законі тобто амплітудні характеристики робочого процесу пристроїв відповідають

степеневоме закону. А процедура коригування таких характеристик називається гама перетворенням [71, 74, 85].

Коригування зображень необхідне оскільки отримані варіанти зображень після перетворень в їх пристроях не відповідають оригіналам тобто початкові їх варіанти. Вихідні зображення можуть виглядати або як занадто світлі, або у більшості як занадто темні. [44, 74, 85] У поліграфії для коригування цифрових зображень якраз і використовують степеневе (гама) перетворення. Але в дослідженнях недостатньо проаналізовано властивості степеневого перетворення в процесі підготовки цифрових зображень до друку, зокрема щодо зв'язку з поліграфічними нормативними параметрами – градаційними перетвореннями, оптичною густиною, контрастом та растровим перетворенням, що в результаті обмежує функціональні можливості застосованого перетворення.

Процес додрукарської підготовки зображень, зокрема їх перетворення, сформований на представленні зображень в цифровому форматі з градацією яскравості від 0 до 255 рівнів.

Вираз для гама перетворення цифрових зображень у загальному має вигляд.

$$L = M \cdot L_0^r, \text{ якщо } 0 \leq L_0 \leq 255, \quad (2.5)$$

де, L_0 - лінійна цифрова шкала - вхідне зображення, L – вихідне перетворене зображення, r – показник степені, M – масштабування.

Сімейство кривих можливого градаційного перетворення отримуємо в залежності від різних значень показника степені. Криві, одержані із значенням $r < 1$ відповідають світлим тонам, вузький діапазон малих вхідних значень L_0 перетворюються у широкий діапазон вихідних значень L (розтяг зображення). При $r > 1$ – навпаки великі зміни L_0 відповідають малим вихідним значенням L (стискування зображень). Якщо у виразі (2.5) прийняти $M=1$ (255) та $r=1$, то він перетворюється у тотожність $L=L_0$, якій відповідає пряма лінія (діагональ), що умовно розділяє тон зображення на «світлі», які розташовані вище прямої і «темні» - розташовані знизу. Якщо степеневе перетворення використовується для коригування, то при збільшенні $r > 1$ вихідне зображення буде темнішим ніж

воно було. Все що необхідно для коригування – провести перетворення вхідного зображення. Якщо воно не достатньо темне необхідно збільшити показник степені.

Для кількісної оцінки якості степеневого перетворення визначили контрастну чутливість цифрового зображення. перетворення

$$C = \frac{dL}{dL_0}. \quad (2.6)$$

На основі виразів, степеневого перетворення цифрових зображень (вираз 2.5), оптичної густини (вираз 2.4) і контрастної чутливості (вираз 2.6) можна розрахувати і побудувати нормативні для поліграфії параметри, які характеризують процес обробки цифрових зображень зокрема, їх градаційні характеристики, контрастну чутливість та оптичну густину. Для спрощення розв’язання поставленого завдання аналогічно до попереднього (розрахунок і побудова градаційних характеристик лінійного перетворення цифрових зображень) застосовано пакет MATLAB:Simulink для імітаційного моделювання. На основі викладеного і виразів (2.4) – (2.6) побудовано структурну схему моделі симулятора степеневого перетворення цифрових зображень, яка представлена на рис.2.4.

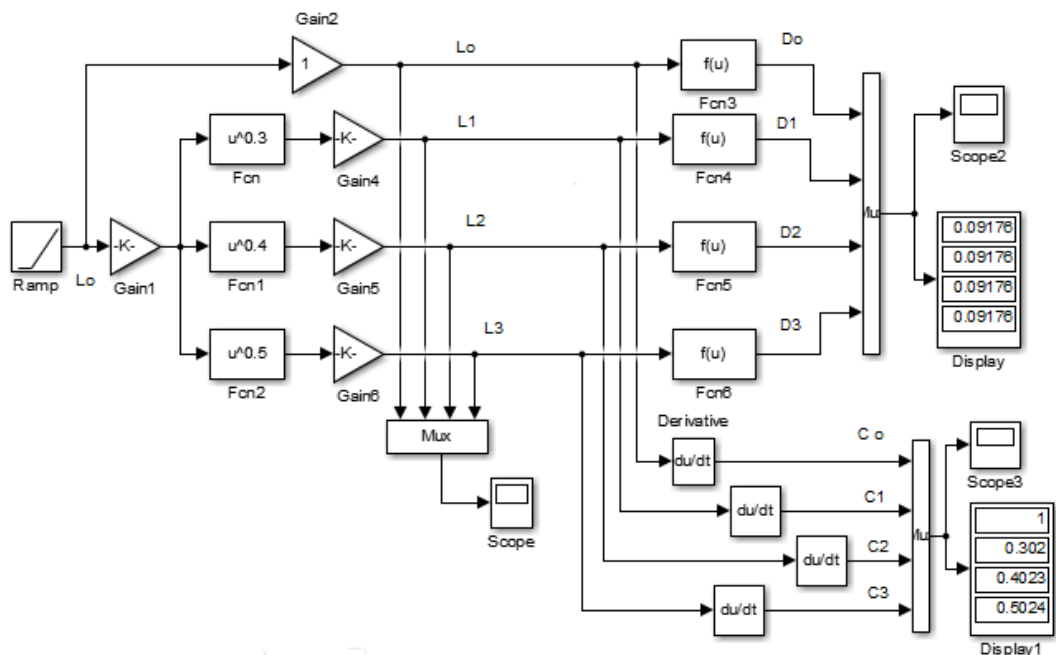


Рис. 2.4. Структурна схема моделі симулятора степеневого перетворення цифрових зображень

Основними блоками моделі симулятора є функціональні блоки математичних функцій Fcn , які здійснюють необхідні розрахунки. Блок $Ramp$ генерує сигнал вхідного зображення, що відповідає лінійній цифровій шкалі, який масштабується блоком $Gain1$ після чого подається на входи блоків $Fcn - Fcn2$. В діалогових вікнах блоків математичних функцій $Fcn - Fcn2$ записана програма (вираз 2.5) для розрахунку яскравості L . Вихідні значення L подаються на входи блоків $Gain4 - Gain6$, де масштабуються (множаться на 255) і на виході яких одержуються степеневі перетворення вихідних зображень $L1 - L3$. Вихідні значення яскравості ($L0$ та $L1 - L3$) подаються на входи мультиплексора Mux і візуалізуються блоком $Scope$. Обчислені степеневі перетворення $L1 - L3$ та $L0$ паралельно подаються на входи блоків $Fcn3 - Fcn6$ - блоки математичних функцій. В діалогових вікнах блоків математичних функцій $Fcn3 - Fcn6$ записана програма (вираз 2.4) для розрахунку оптичної густини D . Вихідні значення $D0$ та $D1 - D3$ подаються на входи мультиплексора $Mux2$ після чого візуалізуються блоками $Scope2$ і $Display$. Разом з тим обчислені степеневі перетворення $L1 - L3$ та $L0$ паралельно подаються на входи операційних блоків $Derevative$, які обмежують контрастну чутливість C . Вихідні значення контрастної чутливості $C1-C3$ та $C0$ подаються на входи мультиплексора $Mux3$ після чого візуалізуються блоками $Scope3$ і $Display1$.

В процесі дослідження, налаштували блоки симулятора на відтворення світлих тонів. Зокрема, у блоці $Gain1$ задали масштаб $M=1/255$, у діалогових вікнах блоків $Fcn - Fcn2$ задали вихідні показники степені: $r1=0,3$; $r2=0,4$; $r3=0,5$, у блоках $Gain4 - Gain6$ задали масштаби $M=255$.

Результати імітаційного моделювання степеневого перетворення цифрових зображень у вигляді градаційних характеристик для трьох заданих варіантів представлені на рис.2.5.

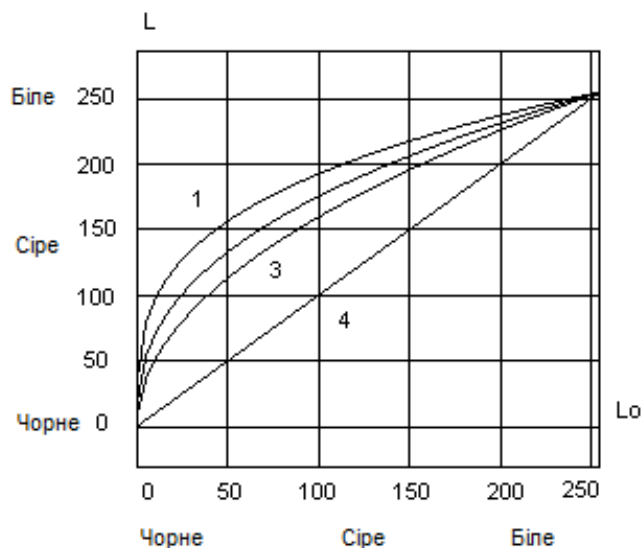


Рис. 2.5. Градаційні характеристики степеневого перетворення цифрових зображень для світлих тонів

Для порівняння на рисунку представлена лінійна шкала. Перша зверху крива відповідає показнику степені $r1=0,3$ і найбільш світлому тону зображення. Звернемо увагу на те, що на початку діапазону градаційні характеристики мають велику крутизну, що викликає постеризацію (ступінчасті переходи), що є однією з проблем степеневого перетворення [44]. Занадто велика крутизна (кут нахилу кривої) викликає візуально помітні переходи від одного до іншого рівнів сірого, що спотворює зображення. Щоб краще проаналізувати вплив крутизни, на рис.2.6. представлені градаційні характеристики (криві) в крупному плані на початку діапазону $0 \leq L_0 \leq 255$.

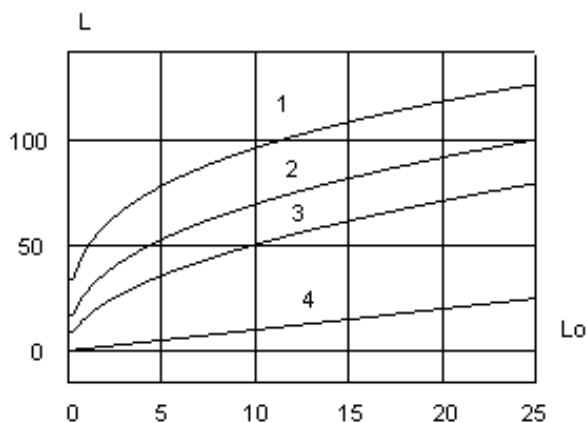


Рис. 2.6. Градаційні характеристики степеневого перетворення цифрових зображень для світлих тонів на початку діапазону

На початку діапазону існують стрибки яскравості, які становить: 33; 18; 9 рівнів сірого, після чого зображення «розтягується» у світлі тони. Зорова система людини може зауважити тони, які різняться, близько 3 - 6 рівнів сірого і значно переважає виявлені стрибки рівнів. Отже величина стрибка кількісно характеризує явище постеризації.

Результати імітаційного моделювання оптичної густини степеневого перетворення цифрових зображень для світлих тонів представлені на рис.2.7.

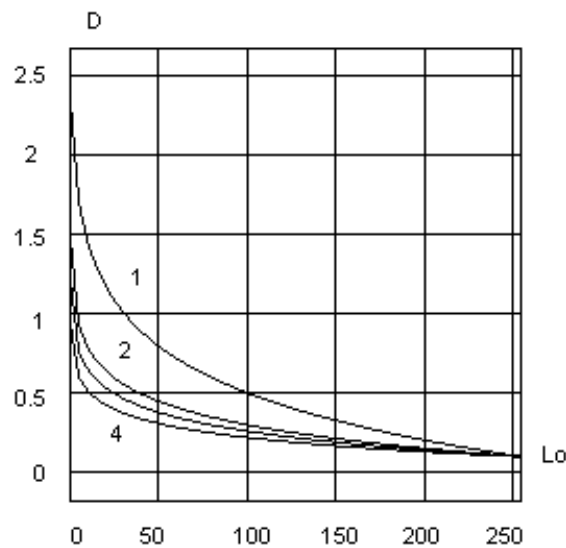


Рис. 2.7. Графіки оптичної густини степеневого перетворення цифрових зображень для світлих тонів

Графіки оптичної густини є експонентно-подібними вгнутими кривими. Максимальні початкові її значення становлять: 2,386; 2,511; 1,24; 0,959 одиниць. Найбільше початкове значення оптичної густини має лінійна цифрова шкала. Зауважимо, що більшому початковому стрибку яскравості відповідає менше значення оптичної густини. Отже оптична густина є обернена яскравості зображення.

Результати імітаційного моделювання контрастної чутливості степеневого перетворення цифрових зображень для світлих тонів представлені на рис.2.8.

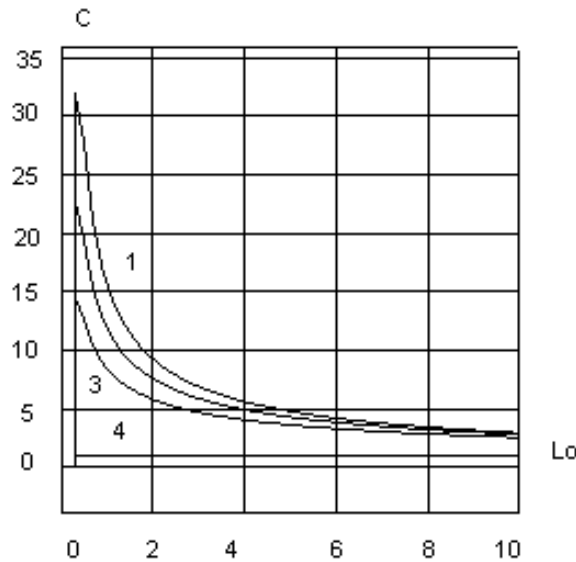


Рис. 2.8. Графіки контрастної чутливості степеневого перетворення цифрових зображень для світлих тонів

Графіки мають початковий стрибок контрастної чутливості, що обумовлений великою крутизною їхніх градаційних характеристик, а їх максимальні значення становлять: 33; 22,5; 14,5 одиниць. Градаційні характеристики є вгнутими кривими з кінцевими значеннями: 0,502; 0,402; 0,32 одиниць. Перша зверху крива відповідає показникові степені $r=0,30$, наступні криві (друга і третя) відповідають значенням показника степені 0,40 та 0,50. Контрастна чутливість лінійної шкали (крива 4) має стає одиничне значення на усьому інтервалі. З огляду на вище сказане, можна зауважити, що контрастна чутливість якісно і кількісно характеризує сприйняття степеневого перетворення світлих тонів зображення зоровою системою людини.

Тепер розглянемо відтворення темних тонів знову ж таки за допомогою степеневого перетворення. У діалогових вікнах відповідних функціональних елементів симулятора задали значення показника степені більше одиниці, тобто значення, які відповідають темним тонам, зокрема 1,5; 2; 3,.

Результати імітаційного моделювання степеневого перетворення цифрових зображень у вигляді градаційних характеристик для трьох заданих варіантів темного тону представлені на рис.2.9.

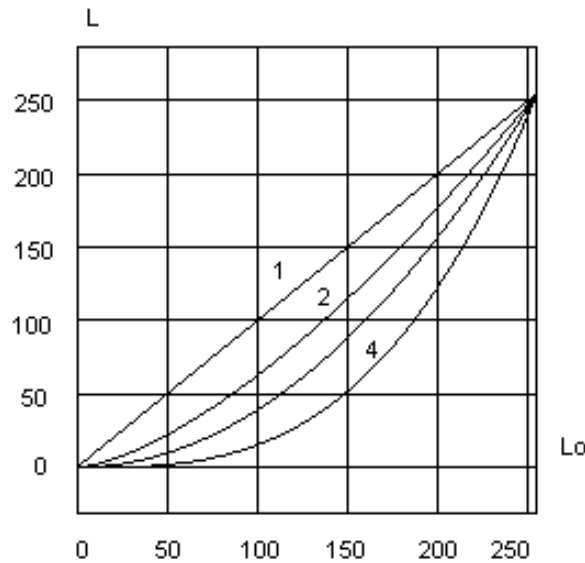


Рис. 2.9. Градаційні характеристики степеневого перетворення цифрових зображень для темних тонів

Характеристика 1 на рисунку - лінійна шкала. Друга зверху крива відповідає показнику степені $r=1.5$. Збільшення показника степені зміщує характеристики вниз, що підсилює темний тон. Оскільки на початку градаційні характеристики мають малу крутизну то на зображеннях є приситня постеризація (зорово помітні ступінчаті переходи від одного рівня сірого до іншого). Зауважимо, що для спрощення аналізу степеневе перетворення (вираз 2.5) представлене неперервною функцією, натомість в комп'ютері цифрове зображення зберігається і обробляється дискретними цілими числами, що відповідають значенням рівнів сірого $(0, \dots, 255)$. Тому для детального аналізу степеневого перетворення цифрових зображень здійснили квантування градаційних характеристик і побудували дискретизовані градаційні характеристики.

Результати моделювання квантування градаційних характеристик представлені на рис.2.10.

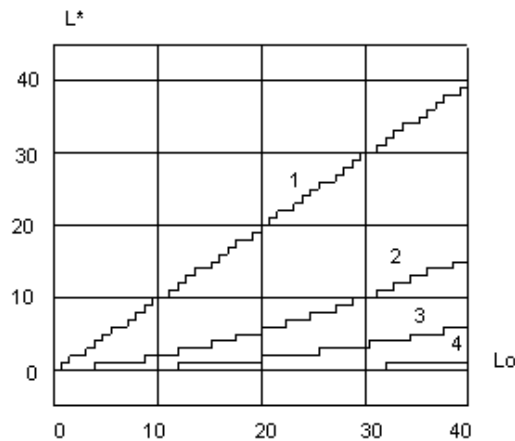


Рис. 2.10. Дискретизовані градаційні характеристики степеневого перетворення цифрових зображень для темних тонів

Дискретизовані градаційні характеристики мають початкове зміщення дискрет, які залежать від показника степені. Характеристики з більшим показником степені мають більші початкові зміщення дискрет, зокрема при показнику степені $r=1.5$ початкове зміщення дискрети $Lzp=4$ рівнів, при $r=2$ - $Lzp=12$ рівнів, при $r=3.0$ - $Lzp=33$ рівнів що у більшості випадків є граничним показником степені. Величина почткового зміщення дискрет в характеристиках з показником степені 2 і 3 одиниці становить $L^*(0-12)$ і $L^*(0-33)$ відповідно, що вказує про наявність постеризації в зображеннях і їх спотворення.

Результати моделювання оптичної густини представлені на рис.2.11.

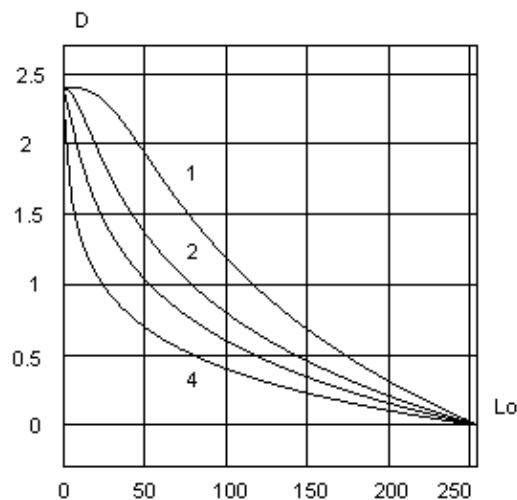


Рис. 2.11. Графіки оптичної густини степеневого перетворення цифрових зображень для темних тонів

Графіки є вгнутими кривими. Максимальні початкові значення оптичної густини становлять: 2.436; 2.427; 2.422; 2.294 одиниць. Графік оптичної густини 1 з показником степені $r=3.0$ розташована зверху і відповідає максимальному значенні оптичної густини. Графік оптичної густини 4 відповідає лінійній шкалі.

Результати імітаційного моделювання контрастної чутливості степеневого перетворення цифрових зображень для темних тонів представлені на рис.2.12.

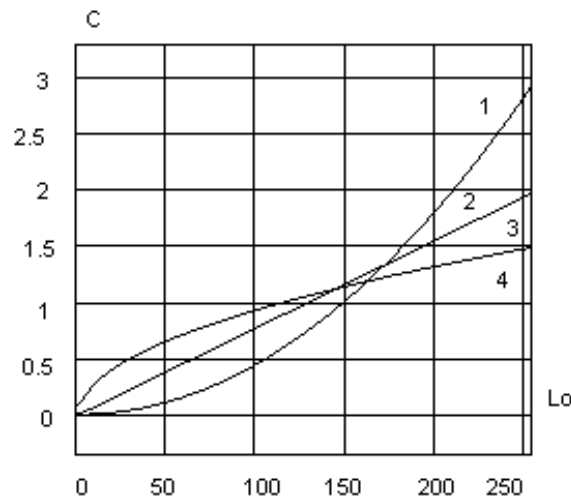


Рис. 2.12. Графіки контрастної чутливості степеневого перетворення цифрових зображень для темних тонів

При зменшенні показника степені зменшується і контрастна чутливість степеневого перетворення цифрових зображень для темних тонів, зокрема при показнику степені $r=3.0$ оптична густина прямує до кінцевого значення 2.94 одиниць (графік 1), при $r=2.0$ оптична густина прямує до кінцевого значення 1.422 одиниці (графік 2), і при $r=1.5$ оптична густина прямує до кінцевого значення 1.251 одиниць (графік 3). Контрастна чутливість лінійної шкали незмінна і рівна одиниці.

Порівнюючи графік контрастної чутливості степеневого перетворення цифрових зображень для темних тонів (рис.2.12.) і графік контрастної чутливості степеневого перетворення цифрових зображень для світлих тонів (рис.2.8.), робимо висновок, що степеневе перетворення цифрових зображень для світлих тонів має на порядок більшу контрастну чутливість, що відповідає кращому сприйнятті зоровою системою світлих тонів. Отже, контрастна чутливість якісно

і кількісно оцінює степеневе перетворення щодо сприйняття тонів зоровою системою людини.

Для порівняння властивостей степеневого перетворення цифрових зображень для світлих і темних тонів та їх градацій на рис.2.13. представлені градаційні характеристики із граничними показниками степені, а на рис.2.14. представлені характеристики оптичної густини для граничних показників степені

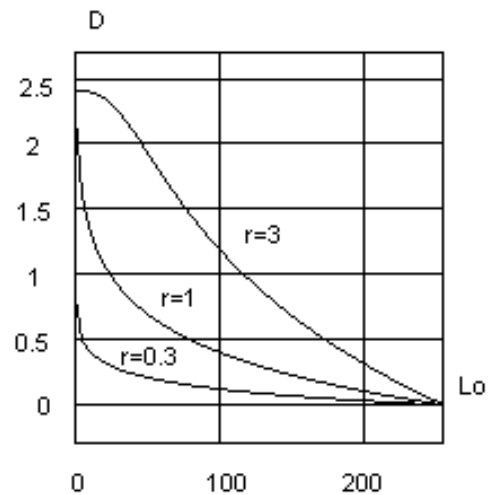
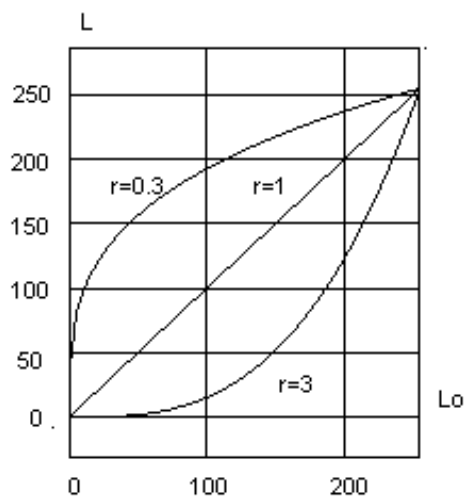


Рис. 2.13. Градаційні характеристики із граничними показниками степені Рис. 2.14. Характеристики оптичної густини для граничних показників степені

Порівнюючи представлені характеристики (рис.2.13. та рис.2.14.), робимо висновок, що площа градаційного перетворення цифрових зображень виражена яскравістю з 256 рівнями сірого. Натомість оптична густина в офсеті сягає 2.5 одиниць. Розподіл оптичної густини на площині є обернений до розподілу яскравості. Отже, існують некомфортні психологічні сприйняття «яскравість–оптична густина» зображень ($L-D$) представити яку важко.

2.3. Розроблення модифікованого гама перетворення цифрових зображень для світлих тонів

У попередньому підрозділі проведено аналіз властивостей класичного степеневого (гама) перетворення зображень щодо усунення постеризації, яка є однією із проблем, що виникає у вигляді візуально помітних переходів від одного

до іншого рівнів сірого і спотворює зображення. В цьому контексті має місце обмеження можливостей щодо застосування степеневого перетворення. Для усунення впливу постеризації і розширення функціональних можливостей степеневого перетворення щодо градацій сірого на початку інтервалу тонопередачі запропоновано модифікацію традиційного степеневого перетворення (вираз 2.5) за допомогою зміщення початку діапазону градаційної характеристики і зсуву до нуля. Для цього видалено перші два рівні градаційної характеристики, внаслідок чого отримано зміщене степеневе перетворення

$$Lz = \left[K \cdot L_0^r + Lzp \right] \cdot 255, \text{ якщо } 0 \leq L_0 \leq 255, \quad (2.7)$$

де, $K = 1/255$ – коефіцієнт масштабу, Lzp – початкове зміщення рівнів, які залежать від показника степені r , L_0 – лінійна шкала.

Для усунення початкового зміщення перемістимо початок градаційної характеристики (вираз 2.7) до початку координат на величину Lzp (початкове зміщення рівнів), і одержимо модифіковане степеневе перетворення.

$$L = \left[K \cdot L_0^r \cdot 255 + (Lzp/255) \right] \cdot M_2, \text{ якщо } 0 \leq L_0 \leq 255, \quad (2.8)$$

де, M_2 – масштаб донастроювання.

Для повноти аналізу на основі викладеного і схеми моделі симулятора степеневого перетворення цифрових зображень (рис.2.4.) розроблено структурну схему моделі чотирьохканального модифікованого (видозміненого) гама перетворення цифрових зображень для світлих тонів, яка представлена на рис.2.15. Структурна схема моделі видозміненого (модифікованого) гама перетворення цифрових зображень аналогічна схемі моделі симулятора степеневого перетворення цифрових зображень (рис.2.4.) В процесі дослідження налаштувати симулятор на традиційне степеневе перетворення. Задали показники степені r : 0.30; 0.40; 0.50. Для видалення початкових перших двох рівнів градаційних характеристик степеневого перетворення у діалоговому вікні блоку *Ramp* задали опцію *Output* = 2.

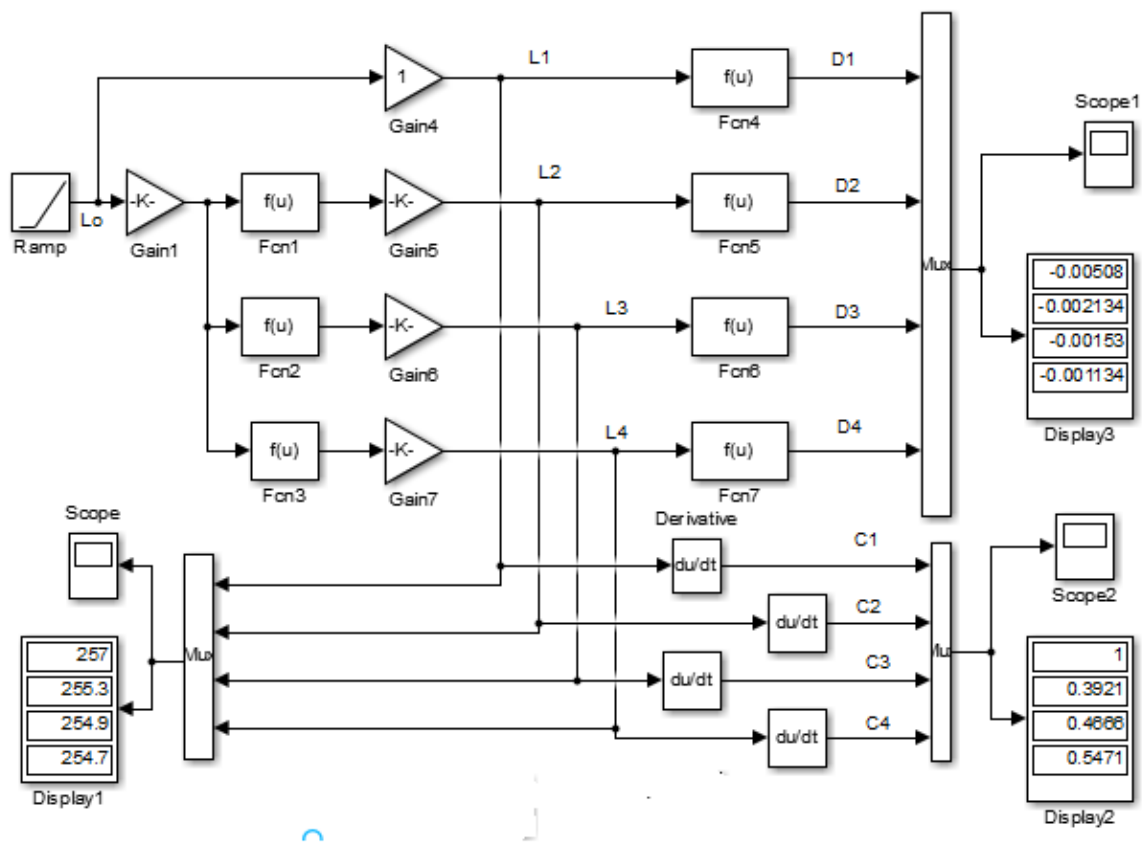


Рис. 2.15. Структурна схема моделі видозміненого гама перетворення цифрових зображень для світлих тонів

Результати імітаційного моделювання у вигляді градаційних характеристик аналогічні результатам імітаційного моделювання степеневого перетворення цифрових зображень у вигляді градаційні характеристики степеневого перетворення для світлих тонів (рис.2.5) Велика початкова крутизна характеристик викликає постеризацію, що спотворює зображення.

Результати імітаційного моделювання видозміненого (модифікованого) гама перетворення цифрових зображень (після видалення перших двох рівнів) представлені на рис.2.16.

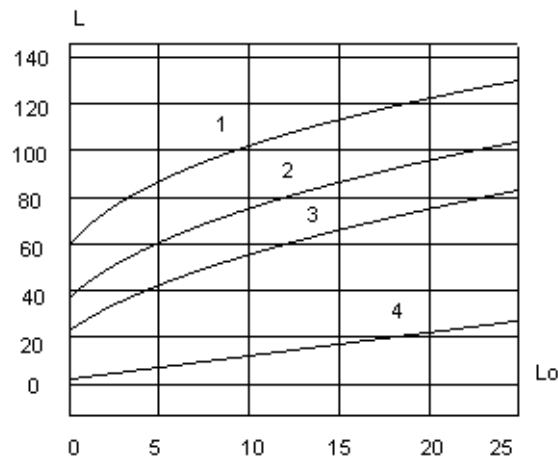


Рис. 2.16. Градаційні характеристики видозміненого гама перетворення цифрових зображень для світлих тонів (після видалення двох рівнів)

Початкові зміщення перших трьох градаційних характеристик L_{zp} становлять 60.0; 37.0; 23.0 одиниць, величина яких залежить від показника степені, що обумовлюють явище постеризації яке спотворює зображення. Зауважимо, що четверта характеристика лінійної шкали не має зміщення.

В процесі дослідження налаштували блоки математичних функцій F_{cn1} – F_{cn3} на усунення зміщень $L_{zp}/255$, внаслідок чого одержали модель модифікованих степеневих перетворень (вираз 2.8).

Визначили масштаби донастроювання моделей до номінальних значень (255 рівнів) M_2 : 1.305; 1.165; 1.093 і налагодили симулятор.

Результати імітаційного моделювання видозмінених градаційних характеристик для різних значень зміщення представлені на рис.2.17.

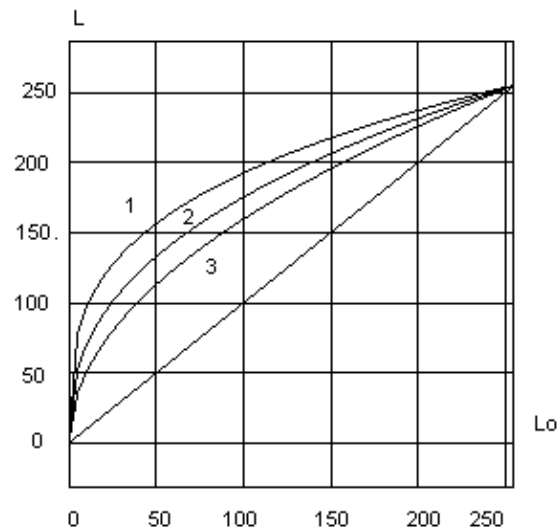


Рис. 2.17. Градаційні характеристики видозміненого гама перетворення цифрових зображень для світлих тонів

Перша зверху градаційна характеристика є випуклою кривою і відповідає показнику степені $r=0,3$, вона не має початкового зміщення, тому добре розрізняються деталі на темних ділянках зображень і мають малі втрати на світлих ділянках зображень. Друга і третя характеристики розташовані нижче першої з показниками степені $r = 0.40; 0.50$, які відповідають більш темним тонам зображення. Порівнюючи градаційні характеристики видозміненого (модифікованого) степеневого перетворення (рис.2.17.) і традиційного степеневого перетворення (рис.2.5.), зроблено висновок: градаційні характеристики видозміненого (модифікованого) гама перетворення є плавними і мають значно меншу крутизну, як наслідок це усуває явище постеризації на зображеннях. Це є перевагою застосування розробленого видозміненого (модифікованого) перетворення при обробці цифрових зображень..

Результати імітаційного моделювання оптичної густини видозміненого (модифікованого) гама перетворення цифрових зображень представлені на рис.2.18.

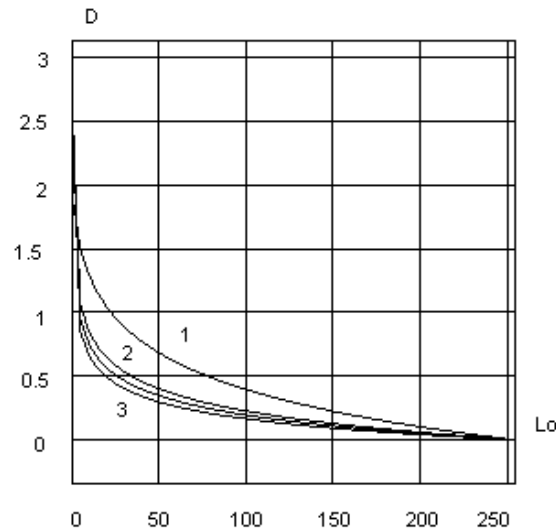


Рис. 2.18. Графіки оптичної густини видозміненого гама перетворення цифрових зображень для світлих тонів

Графік 1 – характеристика оптичної густини, що відповідає лінійній шкалі, максимальне значення якої становить $D1=2.61$ одиниць, вона є вгнутою кривою і швидко зменшується на початку діапазону (темні тони) та прямує до нульового кінцевого значення. Початкові значення оптичної густини для різних показників степені становлять $D2=2.582$; $D3=2.596$; $D4=2.582$ одиниць, вони швидко зменшуються і на початковому діапазоні $L0=50$ становлять $D2=0.399$; $D3=0.345$; $D4=0.295$ одиниць. Порівнюючи графіки оптичної густини видозміненого (модифікованого) степеневого перетворення (рис.2.18.) і традиційного степеневого перетворення (рис.2.7.), робимо висновок, що початкові значення оптичної густини видозміненого (модифікованого) степеневого перетворення майже удвічі менші, що обумовлено початковим стрибком градаційних характеристик. Зокрема більшому стрибку градаційної характеристики відповідає менша оптична густина оскільки оптична густина є обернена яскравості зображень.

Результати моделювання контрастної чутливості представлені на рис.2.19.

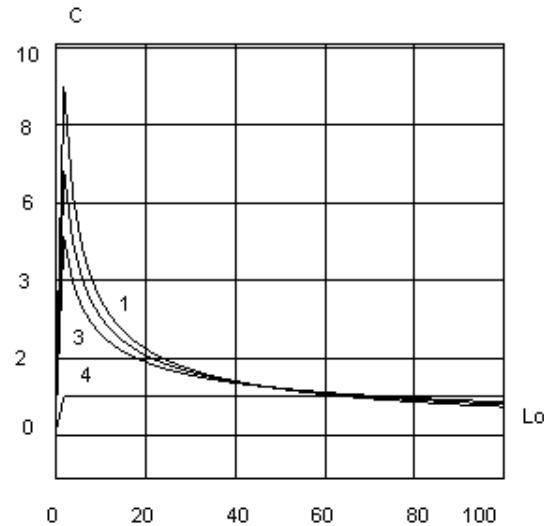


Рис. 2.19. Графіки контрастної чутливості видозміненого гама перетворення цифрових зображень для світлих тонів

Контрастна чутливість має явно виражені пікові значення на початку діапазону, максимальні значення яких залежать від показника степені і становлять $C_m = 9.90$; 6.7 ; 4.4 одиниць, вони швидко зменшуються і прямують до кінцевих значень $C_m = 0.3921$; 0.4666 ; 0.5471 . Контрастна чутливість лінійної шкали незмінна і рівна одиниці.

Порівнюючи графіки контрастної чутливості видозміненого (модифікованого) степеневого перетворення (рис.2.19.) і традиційного степеневого перетворення (рис.2.8.), відзначимо, що її початкові максимальні стрибки при традиційному степеневому перетворенні у 2-3 рази більші. Це обумовлено великою крутизною градаційних характеристик і наслідком постеризації в області глибоких темних ділянок зображення.

Отже, модифіковане степеневе перетворення усуває постеризацію і в сукупності дає можливість краще відтворювати зображення, зокрема деталі на темних ділянках зображень і одночасно при невеликих втратах на світлих ділянках зображень. Це є перевагою видозміненого (модифікованого) гама перетворення.

2.4. Розроблення модифікованого гама перетворення цифрових зображень для темних тонів

У попередньому підрозділі встановлено, що градаційні характеристики у традиційному степеневому перетворенні цифрових зображень (рис.2.10.) мають початкові зміщення нульових дискрет L^* величина яких залежить від показника степені і становить $10 \leq Lzp \leq 40$ рівнів сірого. Це викликає постеризацію і спотворює темні ділянки зображень. Щоб усунути постеризацію запропоновано змістити градаційні характеристики ліворуч до початку координат, це можна здійснити за допомогою модифікації степеневого перетворення

$$Lm = \left[K \cdot L_0^r + (Lzp/255) \right] \cdot M, \text{ якщо } 0 \leq L_0 \leq 255 \quad (2.9)$$

де, Lzp – початкове зміщення, M – масштаб донастроювання.

Аналогічно, як при дослідженні степеневого перетворення цифрових зображень, задали показники степені $r_1=1.5$; $r_2=2.0$; $r_3=3.0$, яким відповідають початкові зміщення градаційних характеристик $Lzp_1=4.0$; $Lzp_2=12.0$; $Lzp_3=33.0$. Враховуючи вище зазначене отримали вирази видозміненого перетворення цифрових зображень для темних тонів.

$$L_1 = \left[1/255 \cdot L_0^{1.5} + (Lzp/255) \right] \cdot M_1, \text{ якщо } 0 \leq L_0 \leq 255 \quad (2.10)$$

$$L_2 = \left[1/255 \cdot L_0^{2.0} + (Lzp/255) \right] \cdot M_2, \text{ якщо } 0 \leq L_0 \leq 255 \quad (2.11)$$

$$L_3 = \left[1/255 \cdot L_0^{3.0} + (Lzp/255) \right] \cdot M_3, \text{ якщо } 0 \leq L_0 \leq 255 \quad (2.12)$$

Аналогічно до попереднього дослідження і виразів (2.10) – (2.12) для аналізу побудовано структурну схему моделі симулятора видозміненого (модифікованого) гама перетворення цифрових зображень для темних тонів в пакеті MATLAB:Simulink, яка подана на рис.2.20.

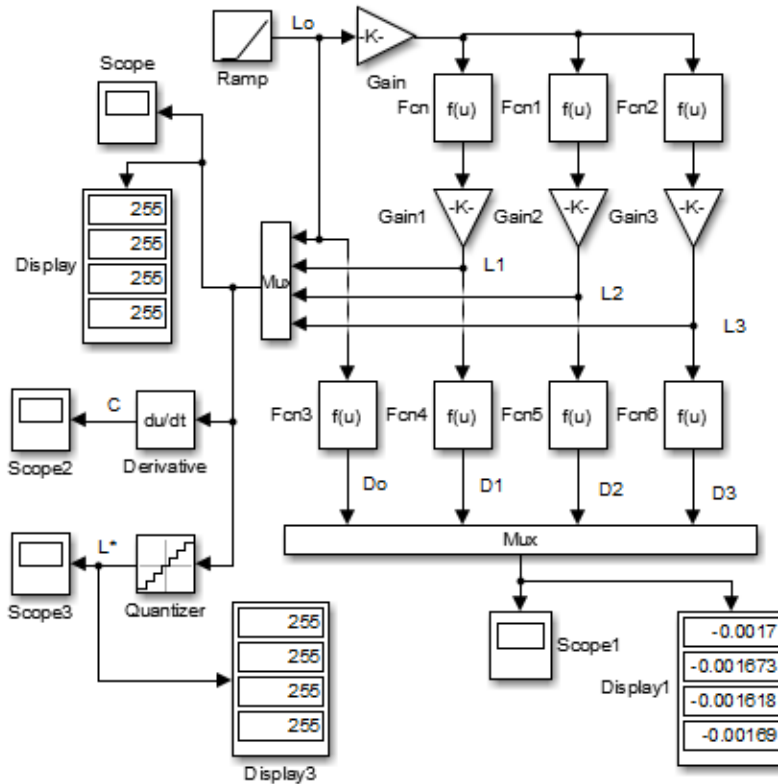


Рис. 2.20. Структурна схема моделі симулятора видозміненого гама перетворення цифрових зображень для темних тонів

Схема моделі симулятора є чотирьохканальною, що є необхідною умовою для здійснення порівняльно-характеристичного аналізу. Блок *Ramp* генерує сигнал вхідного зображення, що відповідає лінійній шкалі L_0 . Отримане вихідне значення подається на вхід блока *Gain*, де масштабується (множить на $K = 1/255$), після чого подається на входи *Fcn* – *Fcn2*. (блоки математичних функцій), в яких записані програми - (вирази 2.10 - 2.12) для обчислення модифікованого степеневого перетворення L_i . Масштабовані у блоках *Gain1* - *Gain3* вихідні значення обчислених величин поступають на мультиплексор *Mux1*, після чого візуалізуються блоками *Scope* і *Display*. У діалогових вікнах блоків математичних функцій *Fcn3* та *Fcn4* – *Fcn6* записані програми - (вираз 2.4) для обчислення обчислення оптичної густини D . Вихідні обчислені величини оптичної густини подаються на входи мультиплексора *Mux2* після чого візуалізуються блоками *Scope1* і *Display1*. Обчислені величини яскравості поступають паралельно на блок диференціювання *Derivative* та на блок квантування *Quantizer*. У блоці

диференціювання *Derevative* визначається контрастна чутливість C вихідне обчислене значення якої візуалізується блоком *Scope2*. У блоці квантування *Quantizer* здійснюється дискретизація градаційної характеристики обчислена величина візуалізується блоком *Scope3*.

В процесі дослідження налаштували симулятор на традиційне степеневе перетворення. Задали показники степені $r = 1,5; 2,0; 3,0$ і масштаб $M = 1$. На основі вище зазначеного початкові зміщення градаційних характеристик становлять $L_{zp} = 4,0; 12,0; 33,0$, а масштаби донастроювання становлять: $M1 = 249,1; M2 = 232,55; M3 = 177$.

Результати моделювання градаційних характеристик представлені на рис.2.21.

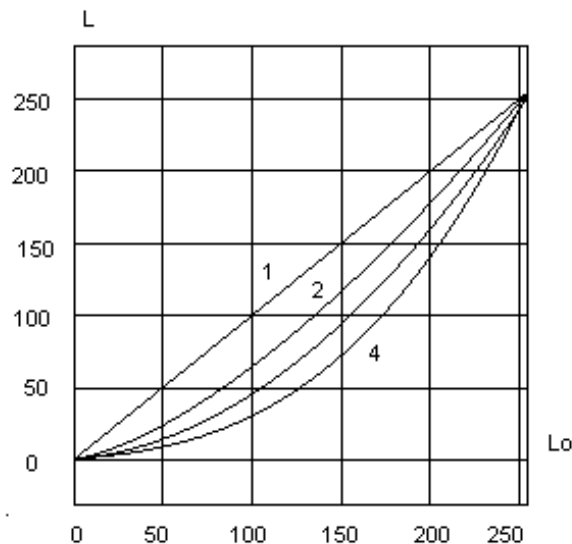


Рис. 2.21. Градаційні характеристики видозміненого гама перетворення цифрових зображень для темних тонів

Градаційна характеристика (крива 1) – відповідає лінійній шкалі. Інші характеристики є вигнутими кривими в сторону темних тонів. Чим більший показник степені тим більше характеристики витягуються в сторону темних тонів. Порівнюючи градаційні характеристики видозміненого (модифікованого) гама перетворення цифрових зображень (рис.2.21.) і традиційного степеневого перетворення цифрових зображень (рис.2.9.) робимо висновок, що градаційні характеристики видозміненого (модифікованого) гама перетворення цифрових

зображень є плавними, і разом з тим мають більший кут нахилу на початку діапазону, відповідно усувається явище постеризації на темних ділянках зображень. Це є перевагою видозміненого (модифікованого) перетворення.

Результати моделювання оптичної густини видозміненого (модифікованого) гама перетворення цифрових зображень для темних тонів представлені на рис.2.22.

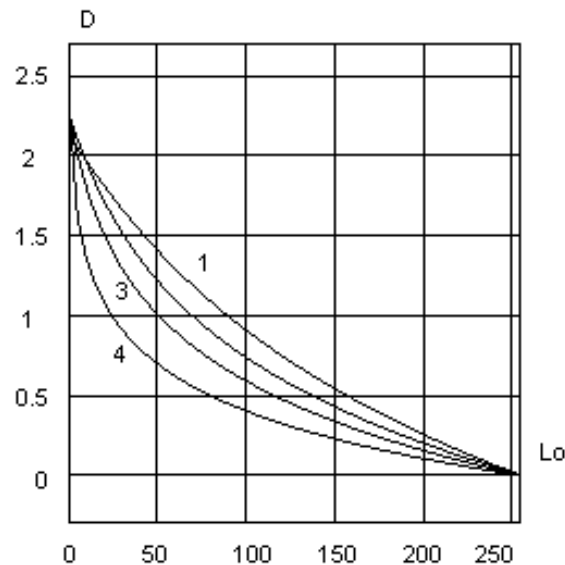


Рис. 2.22. Графіки оптичної густини видозміненого гама перетворення цифрових зображень для темних тонів

Графіки оптичної густини (крива 4) відповідає лінійній шкалі. Інші графіки оптичної густини, що відповідають різним показникам степені розташовані вище нульової. Характеристикам з більшим показником степені відповідає більше початкове значення оптичної густини. Порівнюючи графіки оптичної густини видозміненого (модифікованого) гама перетворення цифрових зображень для темних тонів (рис.2.22.) з графіками оптичної густини традиційного степеневого перетворення цифрових зображень для темних тонів (рис.2.11.) робимо висновок, що оптична густина видозміненого (модифікованого) гама перетворення цифрових зображень на початку і в середині діапазону є менша, отже зображення стає світлішим.

Результати моделювання контрастної чутливості видозміненого гама перетворення цифрових зображень для темних тонів представлені на рис.2.23.

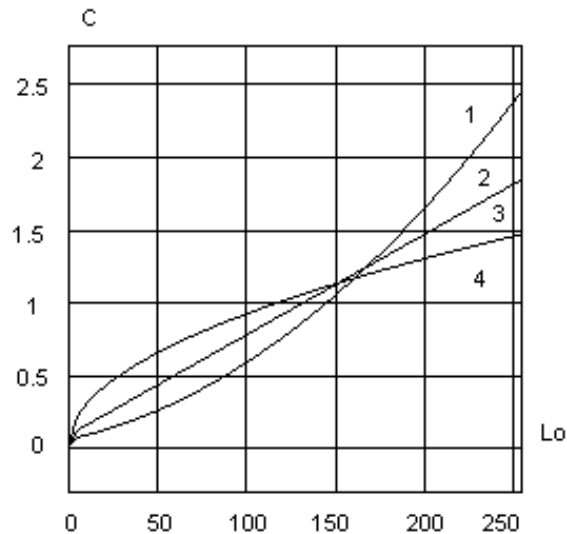


Рис. 2.23. Графіки контрастної чутливості видозміненого гама перетворення цифрових зображень для темних тонів

При зменшенні показника степені зменшується контрастна чутливість перетворення цифрових зображень при чому контрастна чутливість, що відповідає лінійній шкалі є незмінною і становить 1. Відповідно, темний тон підсилює контрастну чутливість, яка кількісно і якісно оцінює зображення в контексті сприйняття тонів зоровою системою людини. Це є перевагою модифікованого перетворення.

2.5. Розроблення агрегатованого модифікованого гама перетворення цифрових зображень

Щоб покращити сприйняття зображення, зокрема окремих елементів на темних ділянках у модифікованому степеневому перетворенні потрібно здійснити відповідні процедури початкового зміщення рівнів L_{zp} (вираз 2.8) і зменшити показники степені до $r=0,3$, що обмежує можливості модифікованого степеневого перетворення щодо тоновідтворення більш світлих тонів. Подібна ситуація є із тоновідтворенням більш темних тонів зображення. Для розширення

функціональних можливостей степеневого модифікованого перетворення щодо відтворення більш світлих і більш темних тонів зображень розроблено агрегування двох модифікованих степеневих перетворень, представлених у загальному плані

$$La = (L_0 + L_1) \cdot M, \text{ якщо } 0 \leq La \leq 255 \quad (2.13)$$

де, L_0, L_1 – модифіковані степеневі перетворення, M – масштаб, номінальне значення якого $M = 255 \times 0.5$, що забезпечує агрегування перетворення в межах $0 \leq La \leq 255$.

На основі модифікованого степеневого перетворення (вираз 2.4) і (вираз 2.7) розроблено агрегатоване модифіковане степеневе перетворення цифрових зображень

$$La = \left[K \cdot L_0^{r_1} + K \cdot L_0^{r_2} - (L_{zp}/255) \right] \cdot M, \text{ якщо } 0 \leq La \leq 255 \quad (2.14)$$

де, $K = 1/255$ – коефіцієнт масштабування, L_{zp} – початкове зміщення рівнів, яке залежить від заданих показників степені.

Задаючи різні показники степені r_1 і r_2 , одержимо множину різних варіантів агрегатованого модифікованого степеневого перетворення цифрових зображень. Для обмеження числа варіантів виділено дві підмножини агрегатованого перетворення цифрових зображень для світлих тонів з базовим показником степені $r_1 = 0,5$ і для темних з базовим показником $r_1 = 1,5$. Спочатку розглянемо агрегатоване модифіковане степеневе перетворення цифрових зображень для світлих тонів

$$La = \left[K \cdot L_0^{0,5} + K \cdot L_0^{r_2} - (L_{zp}/255) \right] \cdot M, \text{ якщо } 0 \leq La \leq 255 \quad (2.15)$$

Для прикладу опрацювали і задали показники степені r_2 : 0,30; 0,40; 0,50, одиниць. Одержали три варіанти агрегатованого модифікованого степеневого перетворення цифрових зображень для світлих тонів.

$$La_1 = \left[K \cdot L_0^{0,5} + K \cdot L_0^{0,4} - (38/255) \right] \cdot M_1, \text{ якщо } 0 \leq La_1 \leq 255 \quad (2.16)$$

$$La_2 = \left[K \cdot L_0^{0,5} + K \cdot L_0^{0,6} - (12/255) \right] \cdot M_2, \text{ якщо } 0 \leq La_2 \leq 255 \quad (2.17)$$

$$La3 = \left[K \cdot L0^{0.5} + K \cdot L0^{1.0} - (4/255) \right] \cdot M3, \quad \text{якщо} \quad 0 \leq La3 \leq 255 \quad (2.18)$$

На підставі вище зазначеного та виразів (2.16) – (2.18) для проведення моделювання і здійснення аналізу побудовано структурну схему моделі симулятора агрегативного видозміненого (модифікованого) гама перетворення цифрових зображень для світлих тонів в пакеті MARLAB:Simulink, яка представлена на рис.2.24.

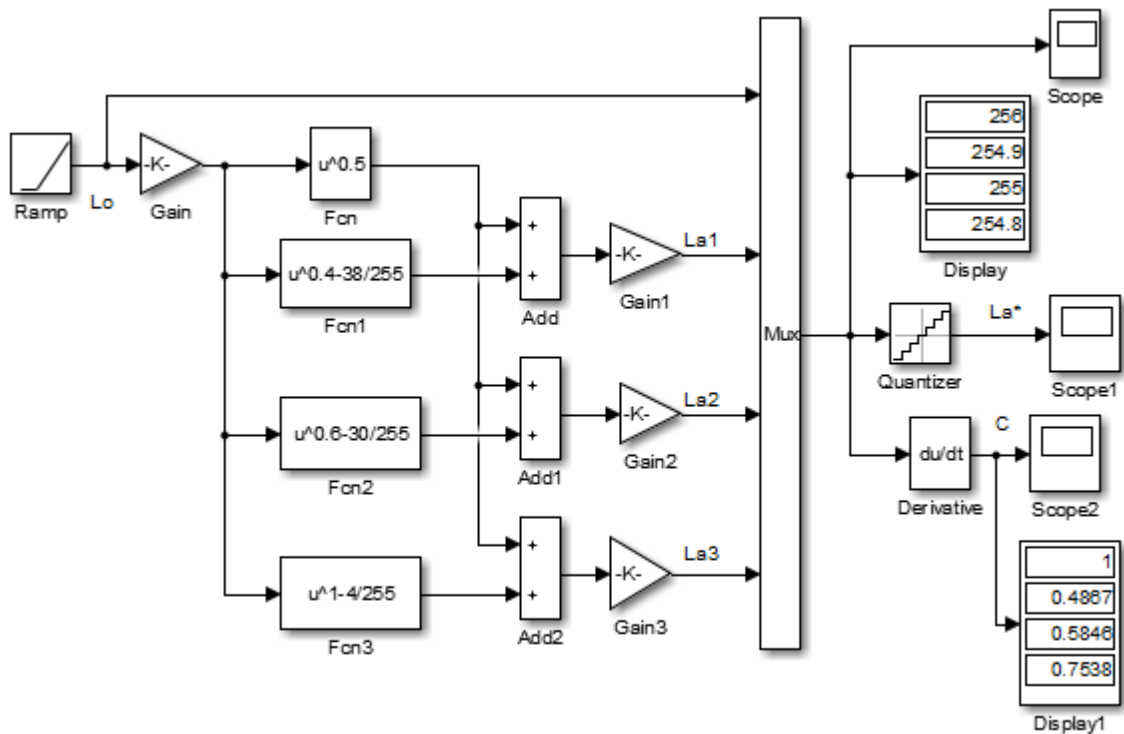


Рис. 2.24. Структурна схема моделі симулятора агрегативного видозміненого гама перетворення цифрових зображень для світлих тонів

Блок *Ramp* генерує сигнал вхідного зображення (лінійна цифрова шкала $L0$), яка масштабується блоком *Gain* (множиться на коефіцієнт $K = 1/255$), після чого обчислена величина поступає на *Fcn* – *Fcn3* (операційні блоки математичних функцій). У діалоговому вікні блоку математичних функцій *Fcn* записана програма (вираз 2.15) з базовим показником степені $r1=0.5$. В наступних блоках математичних функцій *Fcn1* – *Fcn3* записані програми (вирази 2.16 - 2.18), а

обчисленні значення з їх виходів подаються на другі входи блоків додавання *Add* - *Add2*. Натомість на перші входи *Add* - *Add2*, подається вихідна обчислена величина з блоку *Fcn* з базовим показником степені $r1=0.5$. Вихідні величини блоків додавання *Add* - *Add2* масштабуються блоками *Gain1* - *Gain3* до $0 \leq La \leq 255$ рівнів сірого, які подаються на входи мультиплексора *Mux*. Блок *Scope* візуалізує аналогові варіанти агрегатованих модифікованих перетворень $La1-La3$. Блок квантування *Quantizer* здійснює дискретизацію аналогових виходів зображень La^* . Блок диференціювання *Derivative* визначає контрастну чутливість S агрегатованих модифікованих зображень, яка візуалізується блоком *Scope2*.

В процесі дослідження налагодили на задані параметри блоки математичних функцій агрегатованого модифікованого степеневого перетворення (вирази 2.16 – 2.18). В інтерактивному режимі роботи симулятора донастроїли масштаби $M1=0,539$; $M2=0,530$; $M3=0,205$.

Результати імітаційного моделювання агрегатованого видозміненого (модифікованого) гама перетворення цифрових зображень для світлих тонів у вигляді градаційних характеристик представлені на рис.2.25.

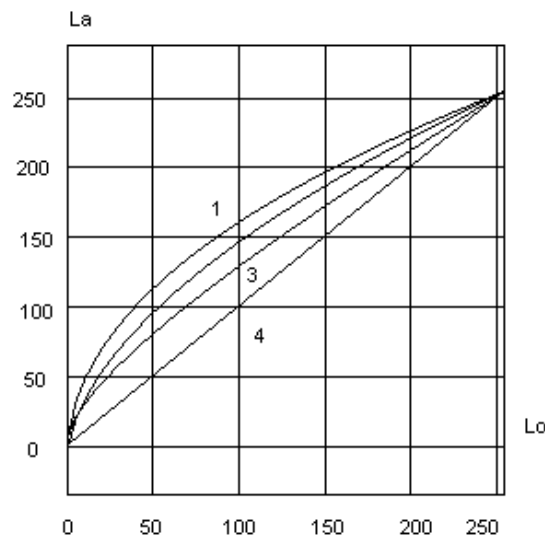


Рис. 2.25. Градаційні характеристики агрегатованого видозміненого гама перетворення цифрових зображень для світлих тонів

Для порівняння на рисунку представлена лінійна цифрова шкала. Перша зверху градаційна характеристика агрегатованого видозміненого

(модифікованого) гама перетворення цифрових зображень (рис.2.25.) є досить випуклою кривою, має більшу початкову крутизну і розташована вище порівняно з градаційною характеристикою модифікованого степеневого перетворення (рис.2.17.). Вона має майже не помітне початкове зміщення, тому краще розрізняються деталі на темних ділянках зображень і мають малі втрати на світлих ділянках зображень. Друга і третя характеристики розташовані нижче першої і відповідають більш темним тонам зображення. Зауважимо, що зменшення базового показника $r1=0,4$ значно зміщує градаційні характеристики в сторону світлих тонів, натомість збільшення показника $r1=0,5$ зміщує градаційні характеристики вниз у сторону темних тонів практично без додаткового доналагодження параметрів моделі, що є перевагою.

Для кращого виявлення і оцінки зміщень градаційних характеристик здійснили дискретизацію аналогових зображень за допомогою блока квантування *Quantizer*, результати якого представлені на рис.2.26.

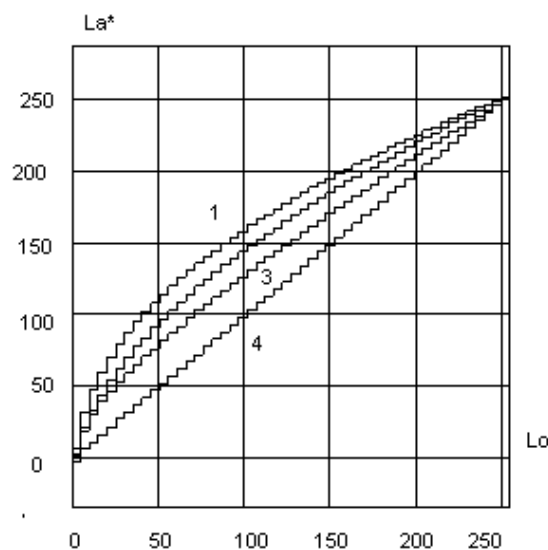


Рис. 2.26. Дискретизовані градаційні характеристики агрегативного видозміненого гама перетворення цифрових зображень для світлих тонів

Для порівняння на рисунку представлена дискретизована лінійна цифрова шкала з одиничними приростами 255 дискрет. На початку діапазону градаційні характеристики мають дискрети величиною 4, 5 і 6 рівнів сірого. Відповідно до

закону Вебера – Фехнера [8] розрізнення яскравостей зоровою системою людини є залежне від умов сприйняття і за різними даними становить 10-20 рівнів. Тоді поріг розрізнення цифрового зображення із 256 рівнями сірого становить $256/(10-20)=3-4$ рівнів. Отже зорова система людини не зауважить (3-4) рівнів розробленого агрегатованого модифікованого степеневого перетворення зображень, тому відсутня постеризація.

Результати моделювання контрастної чутливості агрегатованого видозміненого (модифікованого) гама перетворення цифрових зображень для світлих тонів представлені на рис.2.27.

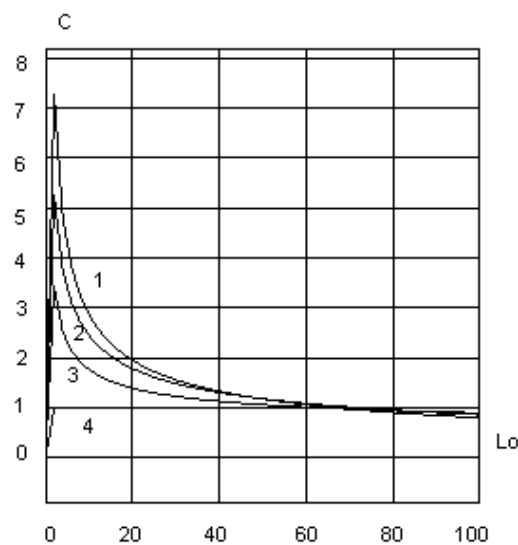


Рис. 2.27. Графіки контрастної чутливості агрегатованого видозміненого гама перетворення цифрових зображень для світлих тонів

Графіки контрастної чутливості мають початкові пікові значення, величина яких залежать від показника степені і становлять C_m : 7,1; 5,3; 3,3 одиниць. Вони швидко зменшуються і в межах $L=55$ пересікають одиничну лінію і поступово прямують до кінцевих значень $S_k = 0,486; 0,587; 0,754$ одиниць. Порівнюючи графіки контрастної чутливості агрегатованого видозміненого (модифікованого) степеневого перетворення цифрових зображень (рис.2.27.) і видозміненого (модифікованого) гама перетворення цифрових зображень (рис.2.19.) робимо висновок, що початкові пікові значення модифікованого степеневого перетворення є більші і становлять $C_m = 9,90; 6,7; 4,4$ одиниць, що обумовлено

більшою крутизною градаційних характеристик в області глибоких темних ділянок зображень. Разом з тим контрастна чутливість, що відповідає лінійної шкали (крива 4) є незмінною і рівна одиниці. Отже, агрегатоване модифіковане степеневе перетворення усуває постеризацію зображень і в сукупності забезпечує краще відтворення деталей на темних ділянках зображень при невеликих втратах на світлих ділянках зображень що є перевагою розробленого агрегатованого перетворення.

Тепер розглянемо агрегатоване модифіковане степеневе перетворення цифрових зображень для темних тонів з базовим показником степені $r1=1,5$

$$La = \left[K \cdot L_0^{1,5} + K \cdot L_0^{r^2} \right] \cdot M, \quad \text{якщо} \quad 0 \leq La \leq 255 \quad (2.19)$$

Для прикладу опрацювали і задали показники степені $r2$: 1,4; 2,5; 3,0, відповідно одержали варіанти агрегатованого модифікованого степеневого перетворення цифрових зображень для темних тонів.

$$La1 = \left[K \cdot L_0^{1,5} + K \cdot L_0^{1,4} \right] \cdot M_1, \quad \text{якщо} \quad 0 \leq La1 \leq 255 \quad (2.20)$$

$$La2 = \left[K \cdot L_0^{1,5} + K \cdot L_0^{2,5} \right] \cdot M_2, \quad \text{якщо} \quad 0 \leq La2 \leq 255 \quad (2.21)$$

$$La3 = \left[K \cdot L_0^{1,5} + K \cdot L_0^{3,0} \right] \cdot M_3, \quad \text{якщо} \quad 0 \leq La3 \leq 255 \quad (2.22)$$

На основі викладеного налаштували модель симулятора агрегатованого модифікованого степеневого перетворення цифрових зображень для темних тонів. (рис.2.24) Налагодили на задані параметри блоки математичних функцій (вирази 2.20 – 2.22). Масштаби донастроювання становлять $M1=M2=M3=255/2$.

Результати імітаційного моделювання агрегатованого видозміненого (модифікованого) гама перетворення цифрових зображень для темних тонів у вигляді градаційних характеристик представлені на рис.2.28.

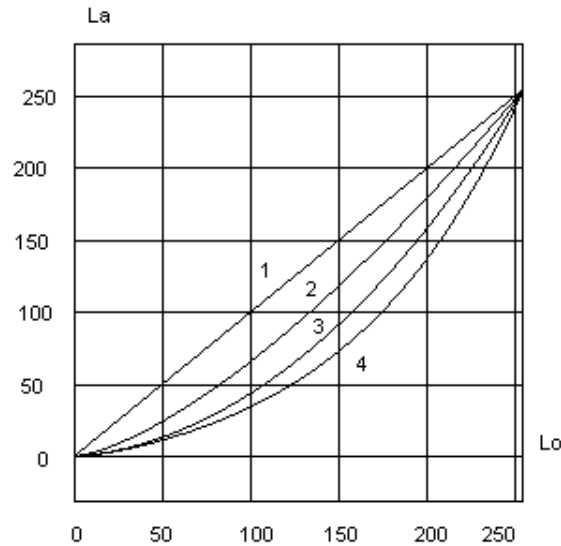


Рис. 2.28. Градаційні характеристики агрегатованого видозміненого гама перетворення цифрових зображень для темних тонів

Перша характеристика є пряма і відповідає лінійній шкалі. Решта градаційних характеристик агрегатованого видозміненого гама перетворення цифрових зображень (криві 2, 3 і 4) є вгнутими кривими. Порівнюючи їх із характеристиками видозміненого гама перетворення цифрових зображень (рис.2.21) відзначимо, що на початку градаційні характеристики агрегатованого видозміненого перетворення мають меншу крутизну, що усуває постеризацію зображення. Друга градаційна характеристика (рис.2.28) відповідає показнику степені $r_2=1,4$. При збільшенні показника криві стають більш вгнутими. Четверта характеристика найбільш вгнута і відповідає показнику степені $r_2=3,0$. Зауважимо, що на середніх тонах градаційні характеристики агрегатованого видозміненого перетворення цифрових зображень для темних тонів (рис.2.28) є більш вгнутими ніж градаційні характеристики видозміненого перетворення цифрових зображень для темних тонів (рис.2.21), що зменшує втрати на світлих ділянках зображень.

Щоб оцінити величину початкових зміщень градаційних характеристик агрегатованого видозміненого гама перетворення цифрових зображень на рис.2.29. предсталені дискретизовані характеристики.

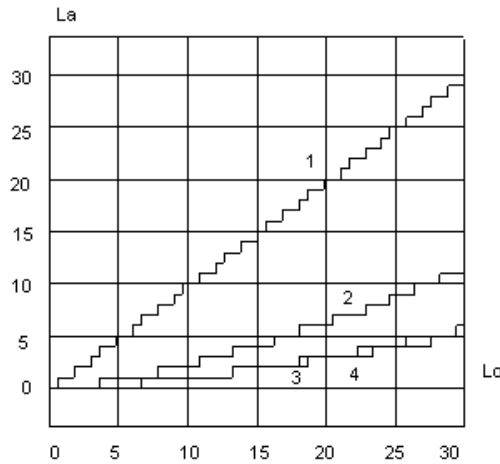


Рис. 2.29. Дискретизовані градаційні характеристики агреатованого видозміненого гама перетворення цифрових зображень для темних тонів

Перша зверху крива - дискретизована лінійна шкала і має рівномірну східкову характеристику. Зауважимо, що усі наступні характеристики агреатованого модифікованого степеневого перетворення цифрових зображень мають початкові зміщення праворуч, які становлять 4, 6 і 7 рівнів сірого, що відповідає порогу розрізнення зорової системи (3-4) рівнів, натомість у модифікованому степеневому перетворенні початкові зміщення удвічі більші.

Результати моделювання контрастної чутливості агреатованого видозміненого гама перетворення цифрових зображень для темних тонів представлені на рис.2.30.

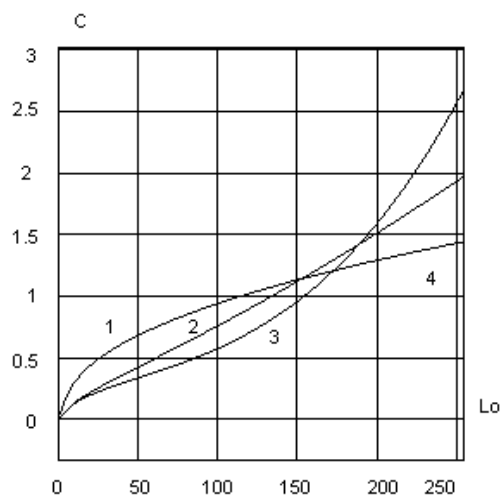


Рис. 2.30. Графіки контрастної чутливості агреатованого видозміненого гама перетворення цифрових зображень для темних тонів

Крива 1 відповідає показнику степені $r1=3,0$ і на початку діапазону є значно випуклою кривою та плавно прямує до кінцевого значення $1,443$ одиниць. Крива 2 відповідає показнику степені $r2=2.5$, на початку діапазону є ледь вгнутою кривою і плавно прямує до 1.978 одиниць. Крива 3 відповідає показнику степені $r3=1,4$, є вгнутою кривою з кінцевим значенням 2.687 одиниць. Контрастна чутливість, що відповідає лінійній шкалі є незмінна і рівною одиниці. Порівнюючи графік контрастної чутливості агрегатованого видозміненого гама перетворення цифрових зображень (рис.2.30 (крива 4)) з графіком контрастної чутливості видозміненого гама перетворення цифрових зображень (рис.2.23 (крива 4)), зроблено висновок, що вони є подібні, однак графік контрастної чутливості агрегатованого модифікованого степеневого перетворення зміщений вгору, відповідно чутливість збільшилася приблизно на 0.22 одиниць, що покращує сприйняття зображення.

У частини реальних зображень не використовується весь діапазон яскравості, часто зустрічаються збалансовані зображення, в яких найбільш інформативні деталі займають більш-менш рівномірний розподіл яскравості які в спрощеному варіанті представляються лінійною градаційною шкалою. Недоліком такого представлення є те, що її контрастна чутливість дорівнює одиниці на усьому інтервалі тонопередачі, оскільки зорова система людини краще сприймає контрастне зображення. Щоб покращити якість зображення із рівномірним розподілом яскравості застосуємо просту концепцію: якщо зображення є темне, то зробити його світлішим, а світліше зробити темнішим. Такий підхід реалізовано за допомогою агрегатованого модифікованого степеневого перетворення (вирази 2.16 і 2.18) у загальному плані представлено виразом

$$La = \left[K \cdot L_0^{r1} - K \cdot L_{zp} + K \cdot L_0^{r2} - 0,6 \cdot K \cdot L_0 \right] \cdot M \quad (2.23)$$

Для прикладу опрацювали три варіанти агрегатованого модифікованого степеневого перетворення із рівномірним розподілом тону зображень.

$$La1 = \left[K \cdot L0^{0,4} - (30/255) + K \cdot L0^{2,5} - 0,6 \cdot K \cdot L0 \right] \cdot M1, \text{ якщо } 0 \leq La1 \leq 255 \quad (2.24)$$

$$La2 = \left[K \cdot L0^{0,5} - (10/255) + K \cdot L0^3 - 0,6 \cdot K \cdot L0 \right] \cdot M2, \text{ якщо } 0 \leq La2 \leq 255 \quad (2.25)$$

$$La3 = \left[K \cdot L0^{0,6} - (10/255) + K \cdot L0^3 - 0,6 \cdot K \cdot L0 \right] \cdot M3, \text{ якщо } 0 \leq La3 \leq 255 \quad (2.26)$$

На основі викладеного і виразів (2.25) – (2.26) побудовано структурну схему моделі симулятора агрегатованого модифікованого степеневого перетворення цифрових зображень із рівномірним розподілом яскравості, яка представлена на рис.2.31.

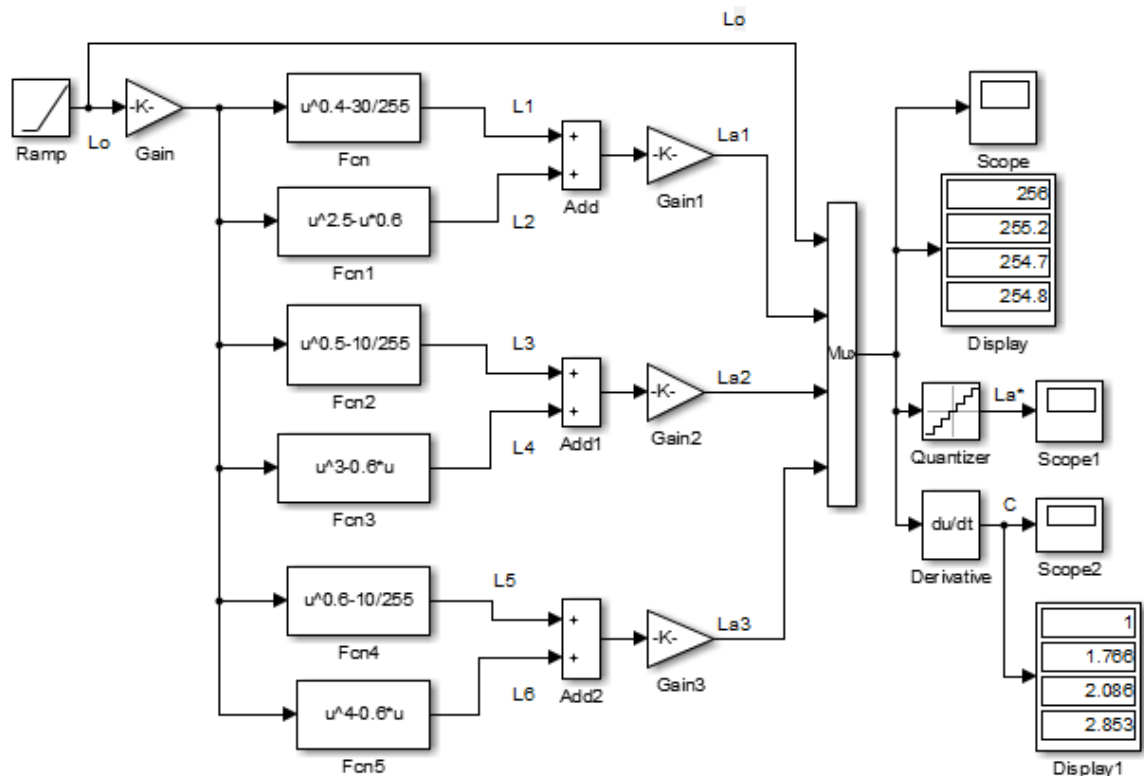


Рис. 2.31. Структурна схема моделі симулятора агрегатованого видозміненого гама перетворення цифрових зображень із рівномірним розподілом яскравості

Блок *Ramp* генерує цифрову лінійну шкалу $L0$, яка масштабується блоком *Gain* (множиться на $K=1/255$), після чого подається на входи функціональних блоків математичних функцій *Fcn* – *Fcn5*. Для зручності, налагодження моделі симулятора (вирази 2.25 - 2.27) реалізуються двома блоками математичних функцій, які формують дві складові ($L1-L2$); ($L3-L4$); ($L5-L6$) і подаються

відповідно на входи блоків додавання $Add ((L1-L2) \rightarrow Add); (L3-L4) \rightarrow Add1); (L5-L6) \rightarrow Add2))$. Вихідні обчисленні значення подаються на входи блоків $Gain1-Gain3$, де масштабуються, а на їх виходах одержуються задані варіанти агрегатованого модифікованого степеневого перетворення $La1-La3$, що подаються на вхід мультиплексора Mux і візуалізуються блоком $Scope$ та $Display$

У діалогових вікнах блоків математичних функції $Fcn - Fcn5$ записані програми (вирази 2.24 - 2.26) агрегатованого модифікованого степеневого перетворення цифрових зображень з рівномірним розподілом тону. В цьому контексті налаштували показники степені $r1$ і $r2$ на задані значення. В інтерактивному режимі роботи симулятора налаштували масштаби $M1=0,769$; $M2=0,728$; $M3=0,726$. Блок квантування $Quantizer$ здійснює дискретизацію аналогових виходів зображення La^* . Блок диференціювання $Derevative$ визначає контрастну чутливість C агрегатованих степеневих перетворень цифрових зображень.

Результати моделювання градаційних характеристик агрегативного видозміненого гама перетворення цифрових зображень з рівномірним розподілом яскравості представлені на рис.2.32.

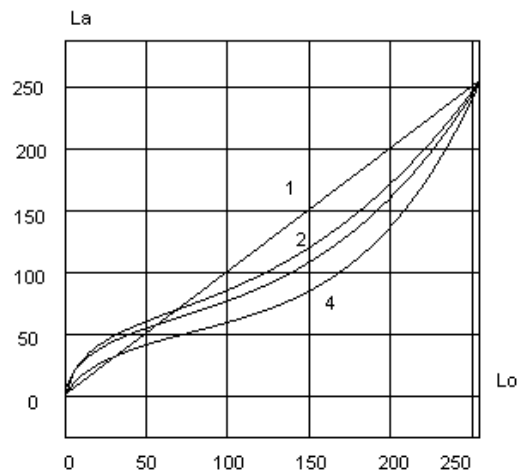


Рис. 2.32. Градаційні характеристики агрегатованого видозміненого гама перетворення цифрових зображень з рівномірним розподілом яскравості

Для порівняння на рисунку представлена лінійна шкала. На початку діапазону градаційні характеристики агрегатованого модифікованого

ступеневого перетворення цифрових зображень є випуклими кривими і розташовані вище лінійної, тому краще розпізнаються деталі на темних ділянках зображення. На світлому діапазоні градаційні характеристики мають значно більшу крутизну ніж лінійна шкала, це забезпечує краще відтворення на світлих ділянках зображень, що є перевагою застосування агрегатованого модифікованого ступеневого перетворення.

Щоб оцінити величину початкових зміщень градаційних характеристик на рис.2.33. представлені дискретизовані градаційні характеристики агрегатованого видозміненого (модифікованого) гама перетворення цифрових зображень з рівномірним розподілом тону.

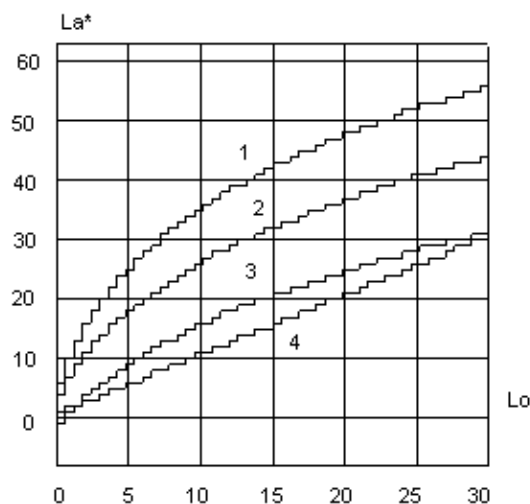


Рис. 2.33. Дискретизовані градаційні характеристики агрегатованого видозміненого гама перетворення цифрових зображень з рівномірним розподілом яскравості

Градаційні характеристики агрегатованого видозміненого гама перетворення цифрових зображень з рівномірним розподілом яскравості мають початкові значення 4, 3, 1 рівнів, що є менше порогу розрізнення зорової системи (3–4) рівнів, отже відсутня постеризація зображень на темних ділянках зображень, що є перевагою застосування агрегатованого модифікованого ступеневого перетворення.

Результати моделювання контрастної чутливості агрегатованого видозміненого гама перетворення цифрових зображень з рівномірним розподілом тону представлені на рис.2.34.

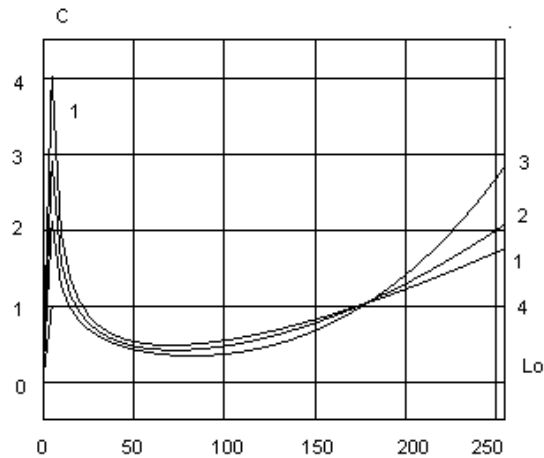


Рис. 2.34. Графіки контрастної чутливості агрегатованого видозміненого гама перетворення цифрових зображень з рівномірним розподілом яскравості

На початку діапазону градаційні характеристики агрегатованого видозміненого гама перетворення цифрових зображень мають початкові стрибки контрастної чутливості, що становлять 4,1; 2,8; 2,2 одиниць. Вони швидко зменшуються і в межах $L_0=75$ досягають мінімальних значень $C_{min} = 0,48; 0,36$ одиниць, після чого поступово збільшуються і досягають кінцевих значень 2,85; 2,08; 1,26 одиниць. Зауважимо, що контрастна чутливість лінійної цифрової шкали є сталою і дорівнює одиниці на усьому інтервалі тонопередачі. Отже, контрастна чутливість агрегатованого видозміненого гама перетворення цифрових зображень з рівномірним розподілом тону у два – три рази більша, що покращує якість зображення.

Висновки до розділу 2.

1. Степеневе перетворення є просте і широко застосовується для коригування цифрових зображень при їх підготовці до друку. Однак у доступних джерелах мало уваги приділено його аналізу і зв'язку із традиційними класичними для поліграфії параметрами, зокрема зв'язку градаційних перетворень яскравості,

оптичної густини, контрасту, денсометрії, растрування тощо, які можна розвивати за допомогою моделювання.

2. Розроблено структурну схему трьохканального симулятора степеневого перетворення, що дає можливість розраховувати і будувати неперервні та дискретизовані градаційні характеристики цифрових зображень, графіки оптичної густини і контрастної чутливості. На основі імітаційного моделювання встановлено, що явище постеризації обумовлено початковим стрибком тону зображення і початковим зміщенням темних нульових дискрет, що погіршує якість зображення.
3. Розроблено математичні моделі і симулятори модифікованого степеневого перетворення цифрових зображень для світлих і темних тонів у яких усунені початкові стрибки тону зображення і відповідно відсутнє явище постеризації.
4. Проаналізовано результати моделювання модифікованого степеневого перетворення цифрових зображень для світлих тонів. Встановлено, що градаційні характеристики не мають початкових зміщень, тому добре розрізняються деталі на темних ділянках зображень і мають малі втрати на світлих ділянках зображень.
5. Проаналізовано результати моделювання модифікованого степеневого перетворення цифрових зображень для темних тонів. Встановлено, що градаційні характеристики мають початкові зміщення, що перевищує поріг розрізнення зорової системи (3-4) рівнів і у 3-5 разів менший ніж у традиційного степеневого перетворення.
6. Розроблено математичну модель агрегатованого модифікованого степеневого перетворення цифрових зображень на основі суми двох степеневих перетворень, яке розширяє їх функціональні можливості. На основі імітаційного моделювання проаналізовано їх аналогові і дискретизовані градаційні характеристики, графіки контрастної чутливості та встановлено, що в сукупності агрегатоване модифіковане степеневе перетворення має дещо кращі показники якості відтворення світлих і темних тонів зображень, але їх реалізація занадто складна для практичних застосувань.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБЛЕННЯ І АНАЛІЗ СТЕПЕНЕВО-ЛІНІЙНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

3.1. Постановка задачі

У попередньому розділі проведений важливий аналіз властивостей традиційного степеневого (гама) перетворення цифрових зображень щодо постеризації, яка є однією з проблем, що виникає у вигляді візуально помітних переходів від одного до іншого рівня сірого і спотворює зображення, що обмежує можливості його застосування. Проведено моделювання і аналіз традиційного степеневого перетворення та вперше опрацьовано методи і засоби аналізу постеризації.

Для усунення впливу постеризації розроблено модель модифікованого і агрегатованого степеневого перетворення зображень за допомогою зміщення початку діапазону, величина якого Lz_p залежить від показника степені перетворення. Разом з тим величина зміщення початку діапазону додатково масштабується, що ускладнює процедуру зміщення та його застосування операторами комп'ютерних видавничих систем. Отже, існує проблема розроблення простого і менш критичного перетворення зображень.

Для усунення постеризації і розширення функціональних можливостей степеневого перетворення розроблено степенево-лінійне перетворення цифрових зображень на засадах додавання зображень, що здійснюється на основі сумування степеневого і лінійного перетворень. Відповідні арифметичні операції в процесі цифрового перетворення зображень будемо здійснювати на основі сумування градаційних характеристик степеневого і лінійного перетворень, яке у загальному плані представлено виразом

$$L = L_c - L_l, \quad (3.1)$$

де, L_c - градаційна характеристика степеневого перетворення зображення, L_l - лінійне перетворення.

При сумуванні зображень відбувається збільшення граничних значень $L \gg 255$ рівнів внаслідок чого настає обмеження і спотворення. Для усунення цього явища обмежимо лінійну складову і змасштабуємо суму зображень. Оскільки градаційні характеристики зображень для світлих тонів і темних є протилежними, тому розглядатимемо задачу додавання окремо для світлих і темних тонів.

3.2 Моделювання степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих тонів

На основі викладеного і виразу (3.1) розглянемо степенево-лінійне перетворення цифрових зображень для світлих тонів. Для спрощення розв'язання поставленого завдання застосовано відносну форму перетворення зображень із наступним масштабуванням до 255 рівнів на основі чого сформовано степенево-лінійне перетворення цифрових зображень у загальному плані

$$L = \left[2 \cdot L_0 - L_0^r \right] \cdot 255, \quad \text{якщо} \quad 0 \leq L \leq 255, \quad (3.2)$$

де, L_0 - лінійна шкала, r - показник степені, 255 - масштаб.

Задаючи різні значення показника степені перетворення $r > 1$, можна одержати множину степенево-лінійного перетворення цифрових зображень. На основі викладеного для дослідження і аналізу розроблено три типові варіанти степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих тонів:

$$L_1 = \left[2 \cdot L_0 - L_0^2 \right] \cdot 255, \quad (3.3)$$

$$L_2 = \left[2 \cdot L_0 - L_0^{1.6} \right] \cdot 255, \quad (3.4)$$

$$L_3 = \left[2 \cdot L_0 - L_0^{1.3} \right] \cdot 255, \quad \text{якщо} \quad 0 \leq L_0 \leq 1 \quad \text{та} \quad 0 \leq L_i \leq 255. \quad (3.5)$$

Для дослідження визначимо оптичну густину степенево-лінійного перетворення цифрових зображень за виразом [33]

$$D = \log_{10} \left[255 / (L + 1) \right]. \quad (3.6)$$

Щоб кількісно оцінити якість степенево-лінійного перетворення цифрових зображень визначили їх контрастну чутливість для типових варіантів перетворення

$$C = \frac{dL_i}{dL_0} \quad (3.7)$$

Для аналізу явища постеризації застосували дискретизацію градаційних характеристик степенево-лінійного перетворення цифрових зображень. На основі викладеного і виразів (3.3) – (3.7) можна розрахувати типові варіанти градаційних характеристик степенево-лінійного перетворення цифрових зображень, оптичну густину та контрастну чутливість і проаналізували їх властивості. Для спрощення розв'язань поставлених завдань застосували об'єктно-орієнтоване програмування в пакеті MATLAB:Simulink. Застосували готові операційні блоки із функції бібліотек Simulink, розробили структурну схему моделі симулятора степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих тонів, яка представлена на рис. 3.1.

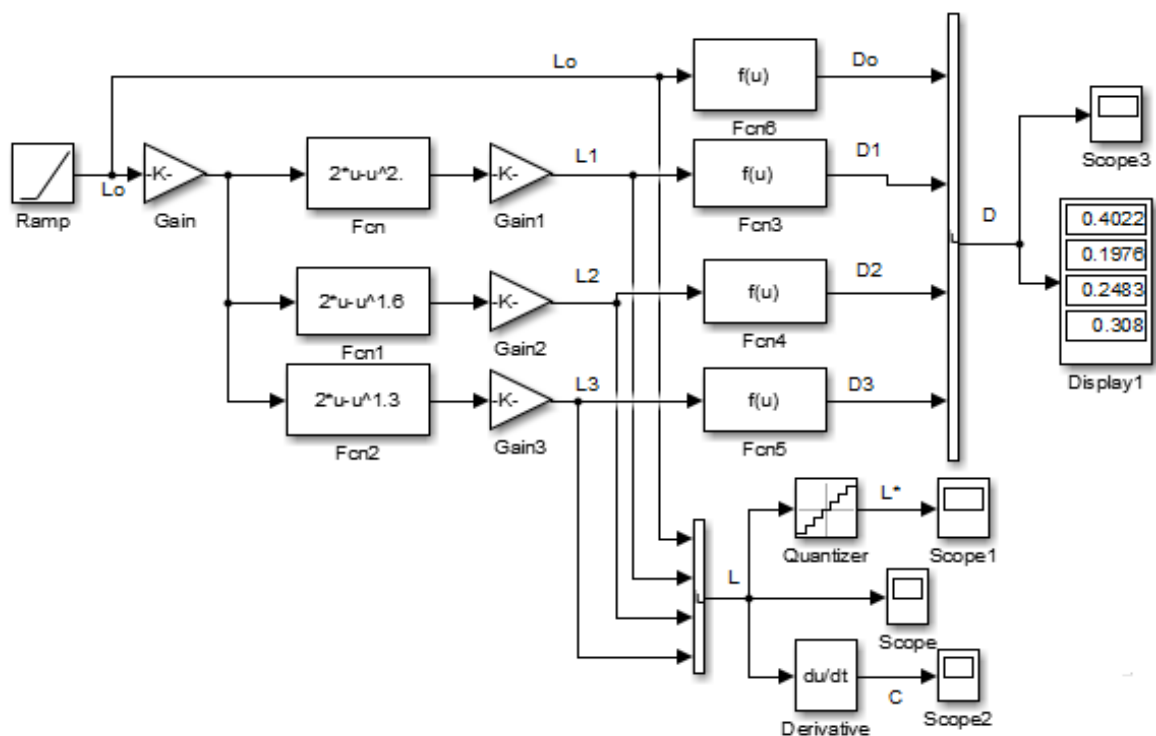


Рис 3.1. Структурна схема моделі симулятора степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих тонів

Основними блоками симулятора є операційні блоки математичних функцій $Fcn1 - Fcn6$, які обчислюють градаційні характеристики ($Fcn - Fcn2$) і оптичну густину зображень. ($Fcn3 - Fcn6$) Блок *Ramp* генерує сигнал вхідного зображення (лінійна шкала $L0$) Обчислена величина блоком *Gain* масштабується, і поступає на $Fcn - Fcn2$ (операційні блоки математичних функцій) у діалогових вікнах яких записано програми вирази (3.3); (3.4); (3.5) для розрахунку градаційних характеристик $L1, L2, L3$. Обчислені вихідні величини у блоках $Gain1 - Gain3$ масштабуються до номінальних значень 255 рівнів, після чого подаються на мультиплексор *Mux* і візуалізуються блоком *Scope* та паралельно подаються на вхід блока диференціювання *Derevative*. В блоці диференціювання визначається контрастна чутливість C степенево-лінійного перетворення і візуалізується блоком *Scope2*. Разом з тим, обчислені вихідні величини $L1, L2, L3$ паралельно подаються на вхід операційних блоків математичних функцій $Fcn3 - Fcn6$ у діалогових вікнах яких записана програма – вираз (3.6) для визначення оптичної густини D степенево-лінійного перетворення цифрових зображень. Обчислена вихідна величина оптичної густини подається на мультиплексор *Mux* і візуалізуються блоком *Scope3*. Для аналізу постеризації степенево-лінійного перетворення цифрових зображень застосовано блок квантування *Quantizer* градаційних характеристик L^* , які візуалізуються.

В процесі дослідження налаштували блоки математичних функцій симулятора на типові варіанти степенево-лінійного перетворення цифрових зображень. Задали масштаби градаційних характеристик $M=255$. Результати моделювання градаційних характеристик типових варіантів степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих тонів представлені на рис. 3.2.

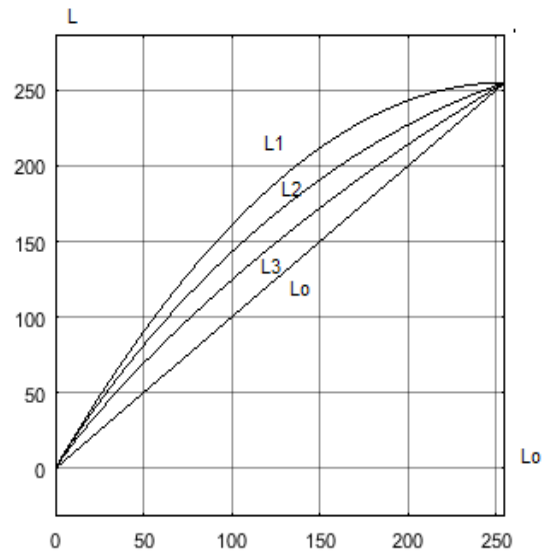


Рис. 3.2. Градаційні характеристики типових варіантів степеневого-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих тонів

Перша зверху крива $L1$ відповідає найбільш світлому зображенню. На початку діапазону градаційні характеристики степеневого-лінійного перетворення цифрових зображень мають відносно малу крутизну, що усуває постеризацію на темних ділянках зображень. На середньому діапазоні і на світлих ділянках зображень градаційні характеристики мають достатню крутизну, тому немає втрат на світлих ділянках зображень. Порівнюючи градаційні характеристики степеневого-лінійного перетворення цифрових зображень (рис. 3.2.) і традиційного степеневого перетворення цифрових зображень, (рис.2.5.) робимо висновок, що на початку темного діапазону градаційні характеристики степеневого-лінійного перетворення цифрових зображень не мають стрибків, відповідно усувається постеризація на темних ділянках зображень, що є перевагою.

Результати моделювання оптичної густини типових варіантів степеневого-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих тонів представлені на рис. 3.3.

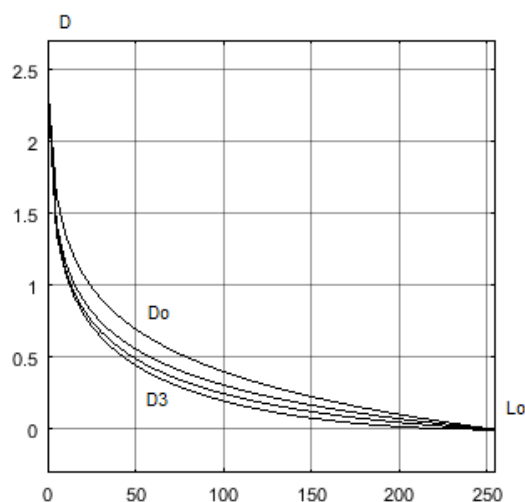


Рис. 3.3. Графіки оптичної густини типових варіантів степеневі-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих тонів.

Початкові значення оптичної густини близькі 2,364 одиниць, графіки є сильно вгнутими кривими, швидко зменшуються і на початку діапазону, при $L_0=50$ рівнів становить: $D_0=0,696$; $D_1=0,558$; $D_2=0,491$; $D_3=0,446$ одиниць. На початку середнього діапазону характеристики зміщені у світлі тони і плавно прямують до нульового кінцевого значення. Отже, степеневі-лінійне перетворення цифрових зображень добре відтворює світлі тони зображень.

Результати моделювання контрастної чутливості степеневі-лінійного перетворення цифрових зображень представлені на рис. 3.4.

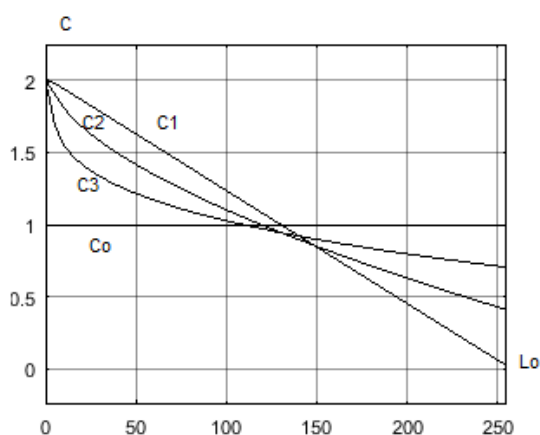


Рис. 3.4. Графіки контрастної чутливості типових варіантів степеневі-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих тонів.

Початкові значення контрастної чутливості ступенево-лінійного перетворення цифрових зображень становлять 2 одиниці, швидко зменшуються, перетинають одиничну лінію. Їх кінцеві значення становлять: $C1=0,02$; $C2=0,41$; $C3=0,7$ одиниць. Контрастна чутливість, що відповідає лінійній шкалі є незмінна і становит одиницю. Ступенево-лінійному перетворенні властива добра контрастна чутливість, яка кількісно оцінює реакцію зорової системи людини до зміни яскравості зображень на обмеженому діапазоні тонопередачі.

Для аналізу явища постеризації ступенево-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих тонів здійснено квантування градаційних характеристик на початку темного діапазону. Результати моделювання дискретизованих градаційних характеристик ступенево-лінійного перетворення цифрових зображень представлені на рис. 3.5.

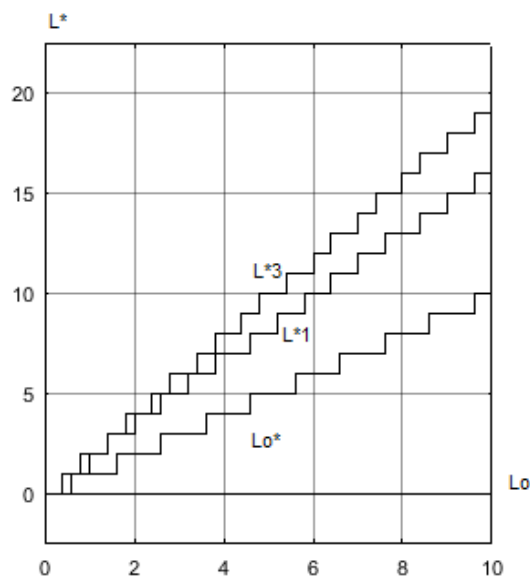


Рис. 3.5. Графіки дискретизованих градаційних характеристик типових варіантів ступенево-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих тонів

Для порівняння знизу подана дискретизована лінійна шкала L^* , яка має рівномірну ступеневу характеристику із довжиною 1 рівень, а висота ступенів становлять 1, 2, 3, 4, ..., 10 рівнів. Дискретизовані градаційні характеристики ступенево-лінійного перетворення цифрових зображень L^*_1 та L^*_3 розташовані

вище лінійної, мають рівномірні ступені характеристики довжиною 1 рівень та висотами 1, 2, 3, 4, ..., 20 рівнів. Отже, дискретизовані градаційні характеристики степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих тонів не мають початкових стрибків рівнів більше одиниці, тому не виникає постеризація зображень.

3.3 Моделювання степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів

На основі викладеного і виразу (3.1) сформовано степенево-лінійне перетворення цифрових зображень для темних тонів у загальному вигляді

$$L = \left[0,5 \cdot L_0 - L_0^r \right] \cdot 255 \cdot M, \text{ якщо } 0 \leq L_0 \leq 1 \text{ та } 0 \leq Li \leq 255 \quad (3.8)$$

де, L_0 - лінійна шкала, r - показник степені, M - масштаб.

Задаючи різні значення показника степені $r > 1$, можна одержати множину степенево - лінійного перетворення цифрових зображень. На основі викладеного для дослідження і аналізу розроблено три типові варіанти степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів:

$$L_4 = \left[0,5 \cdot L_0 - L_0^4 \right] \cdot 255 \cdot M_4 \quad (3.9)$$

$$L_5 = \left[0,5 \cdot L_0 - L_0^{2,5} \right] \cdot 255 \cdot M_5 \quad (3.10)$$

$$L_6 = \left[0,5 \cdot L_0 - L_0^{1,5} \right] \cdot 255 \cdot M_6, \text{ якщо } 0 \leq L_0 \leq 1 \text{ та } 0 \leq Li \leq 255 \quad (3.11)$$

Для дослідження визначили масштаби: $M_4=0,67$; $M_5=0,66$; $M_6=0,66$. Аналогічно до попереднього аналізу визначили оптичну густину (вираз 3.6) і контрастну чутливість (вираз 3.7) для типових варіантів степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів, а для аналізу явища постеризації здійснили дискретизацію градаційних характеристик типових варіантів степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів.

Для дослідження і аналізу степенево-лінійного перетворення цифрових зображень розробили модель симулятора степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів, яка представлена на рис. 3.6.

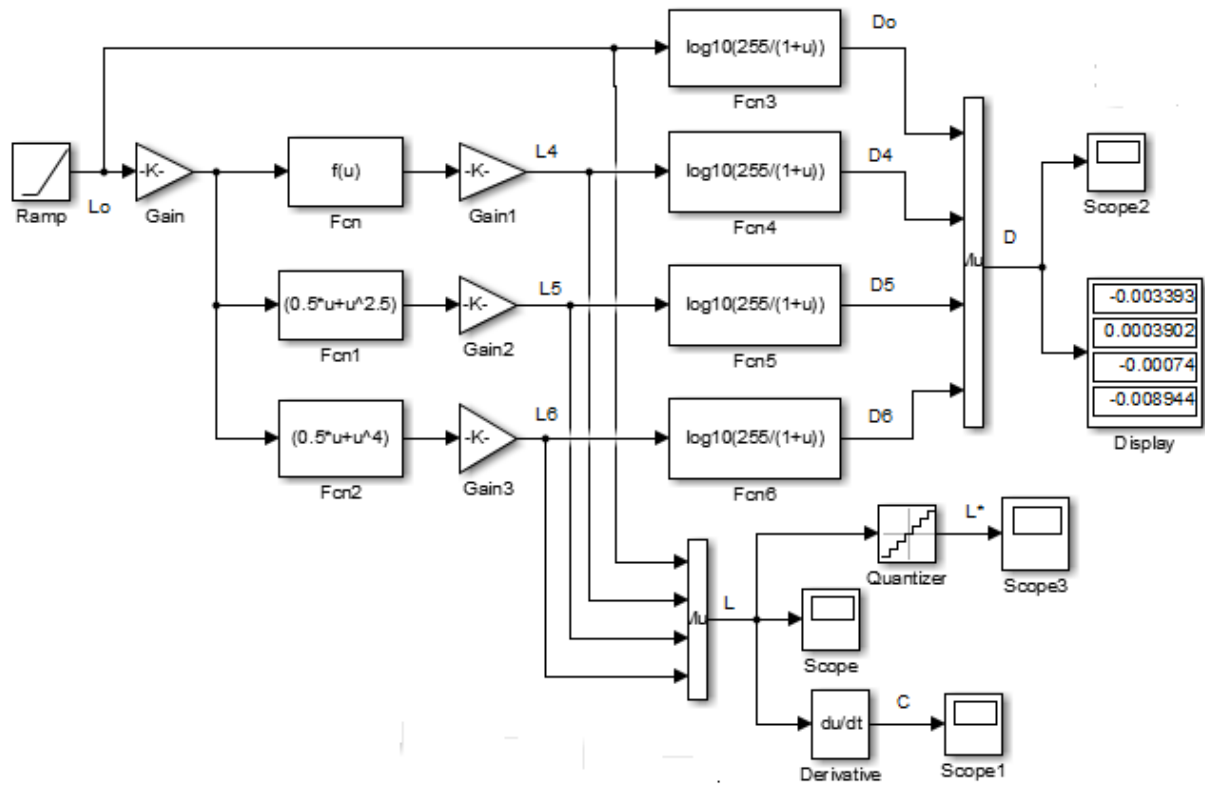


Рис. 3.6. Структурна схема моделі симулятора степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів

У діалогових вікнах блоків математичних функцій Fcn , $Fcn1$, $Fcn2$ записані програми – вирази (3,9); (3,10); (3,11) для обчислення градаційних характеристик $L4$, $L5$, $L6$, які в блоках $Gain1$ – $Gain3$ масштабуються на $M4$, $M5$, $M6$ до номінальних значень 255 рівнів. Параметри інших блоків залишаються незмінними. після чого подаються на мультиплексор Mux і візуалізуються блоком $Scope$ та паралельно подаються на вхід блока диференціювання $Derivative$ в якому визначається контрастна чутливість C степенево-лінійного перетворення цифрових зображень і візуалізується блоком $Scope1$. Разом з тим,

обчислені вихідні величини L_4 , L_5 , L_6 паралельно подаються на вхід операційних блоків математичних функцій $Fcn3$ - $Fcn6$. У діалогових вікнах блоків математичних функцій $Fcn3$ - $Fcn6$ записана програма – вираз (3.6) для визначення оптичної густини D степенево-лінійного перетворення цифрових зображень. Обчислена вихідна величина оптичної густини подається на мультиплексор Mux і візуалізуються блоком $Scope2$. Для аналізу постеризації степенево-лінійного перетворення цифрових зображень застосовано блок квантування $Quantizer$ градаційних характеристик L^* , які візуалізуються.

В процесі дослідження налаштували блоки математичних функцій симулятора на типові варіанти степенево-лінійного перетворення цифрових зображень. В інтерактивному режимі роботи симулятора визначили масштаби $M_4=0,67$; $M_5=0,66$; $M_6=0,66$ Параметри інших блоків залишили незмінними.

Результати моделювання градаційних характеристик типових варіантів степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів представлені на рис. 3.7.

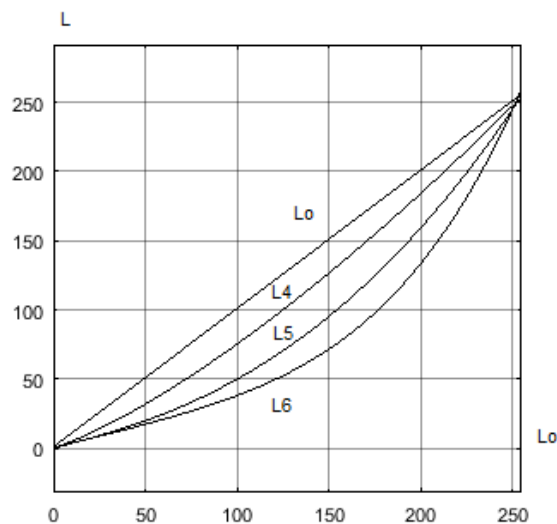


Рис. 3.7. Градаційні характеристики типових варіантів степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів

Для порівняння зверху представлена градаційна характеристика лінійної шкали L_0 . Градаційні характеристики степенево-лінійного перетворення

цифрових зображень є вгнутими кривими розтягнутими вниз у темні тони. Нижня характеристика $L6$ має найбільший розтяг на середньому діапазоні, достатню крутизну на початку діапазону, що відповідно усуває постеризацію ступенево-лінійного перетворення і велику крутизну на кінцевому діапазоні, що забезпечує якісне відтворення деталей світлих тонів зображень. Наступні характеристики $L5$, $L4$ розташовані вище, мають більшу крутизну на початку діапазону, що також усуває постеризацію на кінцевому діапазоні та забезпечує якісне відтворення на світлих ділянках зображень.

Результати моделювання оптичної густини типових варіантів ступенево-лінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів представлені на рис. 3.8.

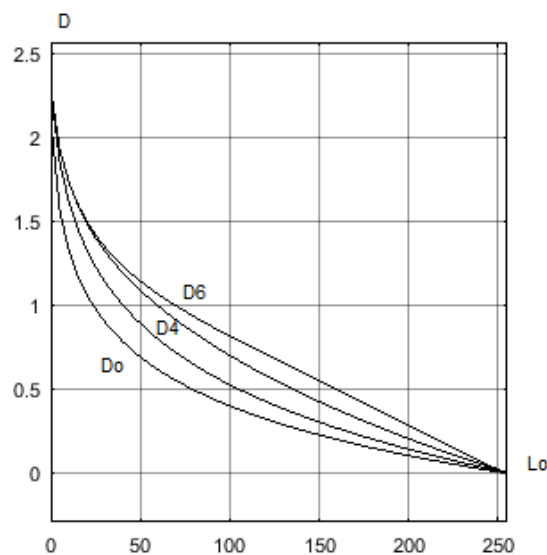


Рис. 3.8. Графіки оптичної густини типових варіантів ступенево-лінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів

Початкові значення оптичної густини становлять 2,5 одиниць. Знизу розташована характеристика оптичної густини $D0$ лінійної шкали, яка є досить вгнутою кривою. Характеристики оптичної густини ступенево-лінійного перетворення цифрових зображень є слабо вгнутими кривими зміщені у сторону темних тонів (вгору). Значення оптичної густини на початку діапазону в межах

$L_0=50$ рівнів становлять: 0,691; 0,889; 1,088; 1,45 одиниць, після чого плавно прямують до нульового кінцевого значення. Отже, степенево-лінійне перетворення цифрових зображень добре відтворює темні ділянки зображення.

Результати моделювання контрастної чутливості типових варіантів степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів представлені на рис. 3.9.

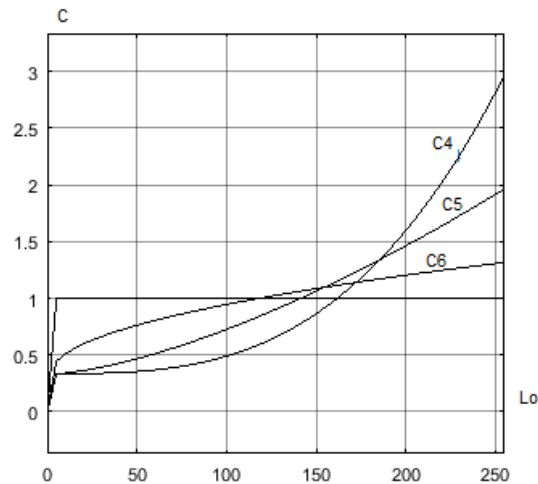


Рис. 3.9. Графіки контрастної чутливості типових варіантів степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів

Початкові значення контрастної чутливості степенево-лінійного перетворення цифрових зображень близькі до нульового значення, пересікають одиничну лінію і досягають кінцевих значень: $C_4=2,9$; $C_5=1,9$; $C_6=1,6$ одиниць. Зауважимо, що контрастна чутливість лінійної шкали дорівнює одиниці на усьому інтервалі тонопередачі. Отже, степенево-лінійному перетворенні цифрових зображень для темних тонів властива добра контрастна чутливість, яка кількісно і якісно оцінює реакцію зорової системи людини на зміну яскравості на обмеженому діапазоні тонопередачі.

Побудовані дискретизовані градаційні характеристики степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів, які представлені на рис. 3.10.

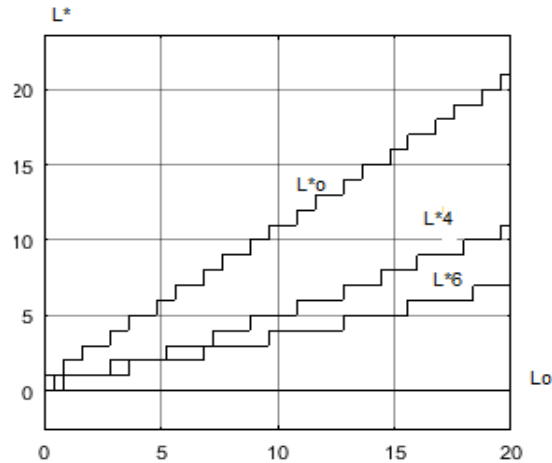


Рис. 3.10. Дискретизовані градаційні характеристики типових варіантів степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів

Дискретизовані градаційні характеристики є ступінчастими (сходковими). Дискретизована характеристика L^*_6 має довжину ступенів 5 рівнів, а їх висота становить 1, 2, 3, 4, 5 рівнів, які не помічає зорова система людини. Наступна дискретизована характеристика L^*_4 має ще меншу довжину ступенів 3 рівнів, які не помічає зорова система людини. Для порівняння зверху розташована дискретизована характеристика лінійної шкали L^*_0 яка має довжину ступенів 1 рівень. Отже, шляхом математичного моделювання доведено, що степенево-лінійне перетворення цифрових зображень для темних тонів усуває постеризацію.

3.4 Визначення абсолютного контрасту степенево-лінійного перетворення цифрових зображень.

Розвиток методів обробки цифрових зображень обумовив необхідність виконання локальних перетворень, що використовують градаційні характеристики і параметри сусідніх елементів зображень, що дає можливість ефективно і більш детально аналізувати цифрові зображення на елементному рівні.

Розроблено різні вирази для визначення функцій контрасту двоелементного цифрового зображення, який у більшості випадків пропорційний абсолютній різниці рівнів сірого цих елементів [8]

$$K = L_1 - L_2, \quad (3.12)$$

де, L_1, L_2 – елементи (характеристики) зображень, K – нормований абсолютний контраст.

Абсолютний контраст (вираз 3.12) описує кількісні сприйняття зорової системи на кількість рівнів сірого [8]. Значення контрасту залежить від складових L_1, L_2 чи їх параметрів. Формуючи різні характеристики та параметри цифрових зображень, можна одержати різні звичення контрасту.

На основі викладеного визначено абсолютний контраст двоелементного степеневно-лінійного перетворення цифрових зображень як різницю градаційних характеристик двох елементів, який визначатиметься відповідною кількістю рівнів.

$$K = L_0 - L_i, \quad \text{якщо} \quad 0 \leq L_0 \leq 1 \quad \text{та} \quad 0 \leq L_i \leq 255, \quad (3.13)$$

де, L_0 – відносна лінійна шкала, L_i – задане степеневе перетворення.

Спочатку для аналізу визначимо абсолютний контраст цифрових зображень для світлих тонів. На основі виразів степеневно-лінійного перетворення (3.3) – (3.5) та (3.12) визначимо абсолютний контраст типових варіантів для світлих тонів:

$$K_1 = L_0 - \left[2 \cdot L_0 - L_0^2 \right] \cdot 255 \quad (3.14)$$

$$K_2 = L_0 - \left[2 \cdot L_0 - L_0^{1.6} \right] \cdot 255 \quad (3.15)$$

$$K_3 = L_0 - \left[2 \cdot L_0 - L_0^{1.3} \right] \cdot 255, \quad \text{якщо} \quad 0 \leq L_0 \leq 1 \quad \text{та} \quad 0 \leq L_i \leq 255 \quad (3.16)$$

На основі викладеного і виразів (3.12) – (3.16) можна розрахувати типові варіанти градаційних характеристик та абсолютний контраст цифрових зображень і проаналізувати його властивості. Для спрощення розв'язання поставленого завдання застосували об'єктно-орієнтоване програмування в пакеті MATLAB:Simulink. За допомогою блоків математичних функцій бібліотеки Simulink розробили схему моделі симулятора контрасту степеневно-лінійного

перетворення цифрових зображень для світлих тонів, яка представлена на рис. 3.11.

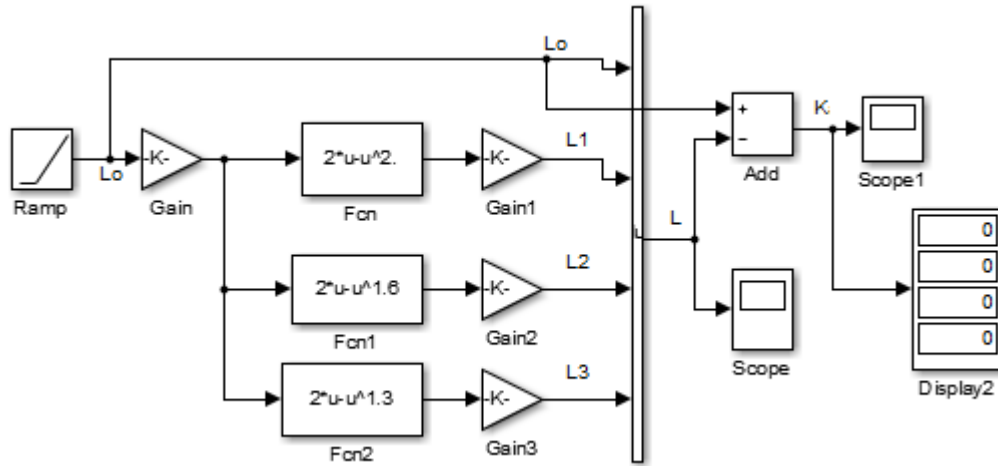


Рис. 3.11. Структурна схема моделі симулятора контрасту степеневолінійного перетворення цифрових зображень для світлих тонів

Основними блоками симулятора є операційні блоки математичних функцій Fcn , $Fcn1$, $Fcn2$, та блок Add на виході якого одержується контраст. Блок $Ramp$ генерує лінійну цифрову шкалу L_0 , яка масштабується блоком $Gain$ після чого поступає на входи Fcn - $Fcn2$ (операційні блоки математичних функцій) у діалогових вікнах яких записані програми – вирази (3.14); (3.15); (3.16) для розрахунку градаційних характеристик $L1$, $L2$, $L3$. Обчислені вихідні величини масштабуються у блоках $Gain1$ – $Gain3$ до номінального значення 255 рівнів і подаються на вхід мультиплексора Mux , на виході якого одержується градаційна характеристика L , що подається на відємний вхід блоку Add , а на його додатній вхід подається значення лінійної шкали L_0 . На виході блоку Add одержується абсолютний контраст K типових варіантів степеневолінійного перетворення цифрових зображень для світлих тонів які візуалізуються блоками $Scope1$ і $Display2$.

В процесі дослідження налаштували симулятор на обчислення абсолютного контрасту. В інтерактивному режимі роботи симулятора визначили масштаби градаційних характеристик.

Результати моделювання абсолютного контрасту типових варіантів степеневі-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих тонів представлені на рис. 3.12.

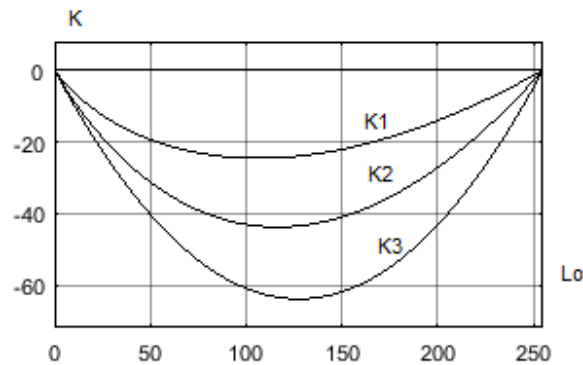


Рис. 3.12. Графіки абсолютного контрасту типових варіантів степеневі-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих тонів

Контраст є від'ємний, знак мінус вказує на те, що градаційні характеристики $L1$, $L2$, $L3$ переважають лінійну шкалу $L0$. Контраст виражається рівнями сірого. Початкові і кінцеві значення контрасту мають нульові значення. Графіки контрастів є вгнутими U -подібними кривими, мають екстремум, мінімальні значення яких становлять: $K1 = -24,3$; $K2 = -43,7$; $K3 = -64,5$ рівнів сірого. Зауважимо, що екстремуми абсолютних значень контрасту є в межах $L0=123$ рівнів сірого і практично є симетричні. Таким чином степеневі-лінійне перетворення цифрових зображень дає можливість змінювати (розтягувати) контраст у широких межах яке оцінюється кількістю рівнів сірого, відповідно і є методом підвищення візуальної якості зображення через підсилення абсолютних контрастів.

Для порівняння аналогічно до виразу (3.14) визначили абсолютний контраст традиційного степеневі-лінійного перетворення для світлих тонів

$$Ks = \left[L_0 - L_0^{0,4} \right] \cdot 255, \text{ якщо } 0 \leq L_0 \leq 1 \text{ та } 0 \leq Li \leq 255. \quad (3.17)$$

В процесі дослідження налаштували симулятор контрасту рис. 3.11., задавши у діалоговому вікні блоку математичних функцій *Fcn1* програму – вираз (3.16) для визначення абсолютного контрасту. Усі інші блоки залишаються незмінними.

Результати моделювання абсолютного контрасту степеневого перетворення і степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих тонів представлені на рис. 3.13.

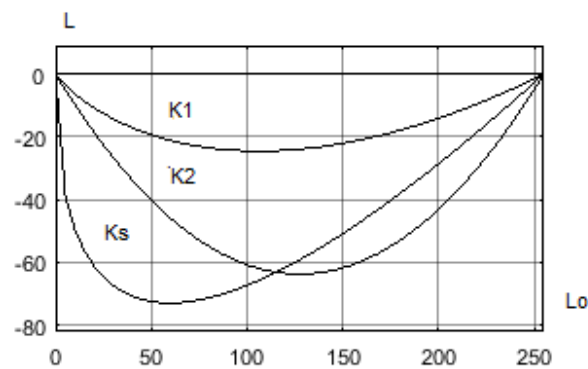


Рис. 3.13. Графіки абсолютного контрасту степеневого і степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих тонів

Контраст є від'ємний, знак мінус вказує на те, що градаційні характеристики зображень переважають лінійну шкалу L_0 . Початкові значення обчислюваних контрастів дорівнює нулеві. На початку діапазону $L_0=1$ контраст традиційного степеневого перетворення має стрибок – 20 рівнів, швидко зменшується і при $L_0 = 50$ досягає екстремуму $Ks = -72,8$ рівнів після цього поступово зменшується і прямує до кінцевого нульового значення. Наявність початкового стрибка – 20 рівнів викликає явище постеризації – появу помітних темних переходів на чорних ділянках зображення. Отже, контраст дає можливість визначити появу постеризації зображення.

Для порівняння на рисунку подані графіки абсолютних контрастів степенево-лінійного перетворення, які розташовані зверху, екстремальні значення яких становлять: $K1 = -24,3$; $K3 = -43,7$ рівнів.

Тепер визначимо і проаналізуємо абсолютний контраст цифрових зображень для темних тонів. На основі виразів степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів (3.8) – (3.10) і (3.12) визначимо абсолютний контраст типових варіантів степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів:

$$K4 = L0 - \left[0,5 \cdot L0 + L0^4 \right] \cdot 255 \cdot M4, \quad (3.18)$$

$$K5 = L0 - \left[0,5 \cdot L0 + L0^{2,5} \right] \cdot 255 \cdot M5, \quad (3.19)$$

$$K6 = L0 - \left[0,5 \cdot L0 + L0^{1,5} \right] \cdot 255 \cdot M6, \text{ якщо } 0 \leq L0 \leq 1 \text{ та } 0 \leq Li \leq 255. \quad (3.20)$$

Визначили масштаби: $M4=0,67$; $M5=0,66$; $M6=0,66$.

На основі виразів (3.17) – (3.20) аналогічно до схеми моделі симулятора контрасту степенево-лінійного перетворення зображень для світлих тонів (рис.3.11) розробили структурну схему моделі симулятора контрасту степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів, яка представлена на рис. 3.14.

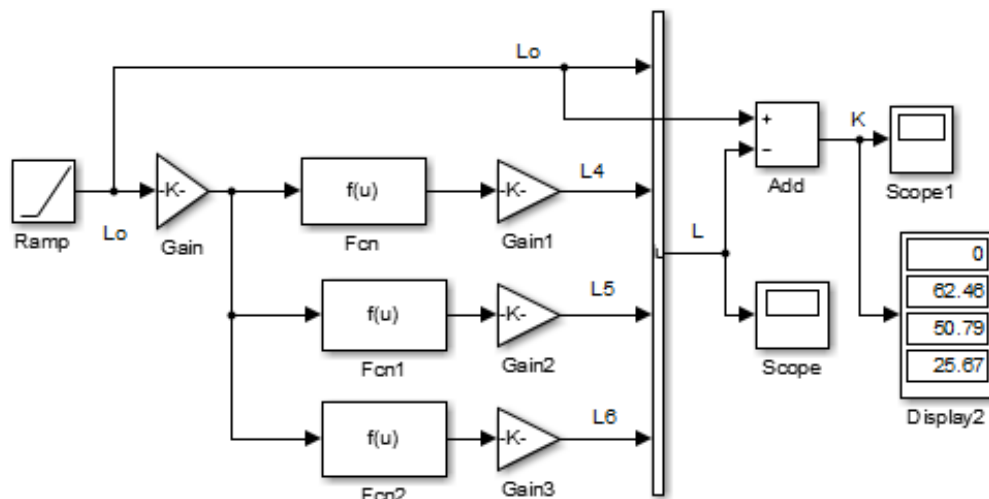


Рис. 3.14. Структурна схема моделі симулятора контрасту степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів

У діалогових вікнах функціональних блоків математичних функцій F_{cn} , F_{cn1} , F_{cn2} задали програму – вирази (3.18); (3.19); (3.20) для обчислення абсолютних контрастів типових варіантів степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів. Усі інші блоки залишаються незмінними.

В процесі дослідження налаштували симулятор на обчислення абсолютного контрасту. В інтерактивному режимі роботи симулятора визначили масштаби градаційних характеристик: $M_4=0,67$; $M_5=0,66$; $M_6=0,66$.

Результати моделювання абсолютного контрасту типових варіантів степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів представлені на рис. 3.15.

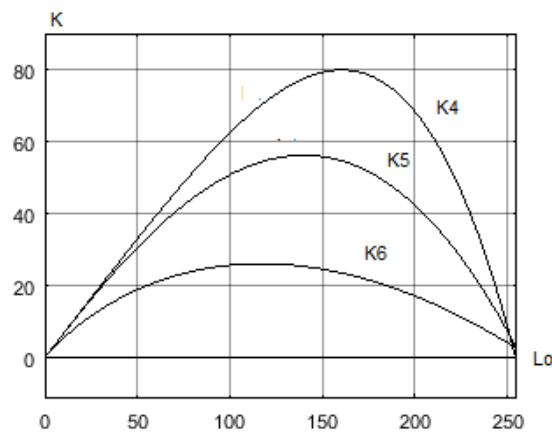


Рис. 3.15. Графіки абсолютного контрасту типових варіантів степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів

Контраст є додатній. Отже, лінійна шкала L_0 переважає градаційні характеристики L_4 , L_5 , L_6 . Початкові і кінцеві значення контрасту дорівнюють нулеві. Графіки контрасту є опуклими дзвоноподібними кривими зміщеними праворуч, мають екстремуми, максимальні значення яких становлять: $K_6 = 25,8$; $K_5 = 45,8$; $K_4 = 79,3$ рівнів сірого. Таким чином, степенево-лінійне перетворення цифрових зображень для темних тонів дає можливість змінювати (розтягувати) контраст у широких межах, відповідно і є способом підвищення візуальної якості зображень через підсилення контрастів.

Для порівняння на основі виразу (3.19) визначено абсолютний контраст традиційного степеневого (гама) перетворення для темних тонів.

$$Ks = \left[L_0 - L_0^{1.5} \right] \cdot 255, \text{ якщо } 0 \leq L_0 \leq 1 \text{ та } 0 \leq Li \leq 255 \quad (3.21)$$

В процесі дослідження налаштували симулятор контрасту, задавши у діалоговому вікні блоку математичних функцій *Fcn1* програму – вираз (3.20) для визначення абсолютного контрасту. Результати моделювання абсолютного контрасту степеневого перетворення і степенєво-лінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів представлено на рис.3.16.

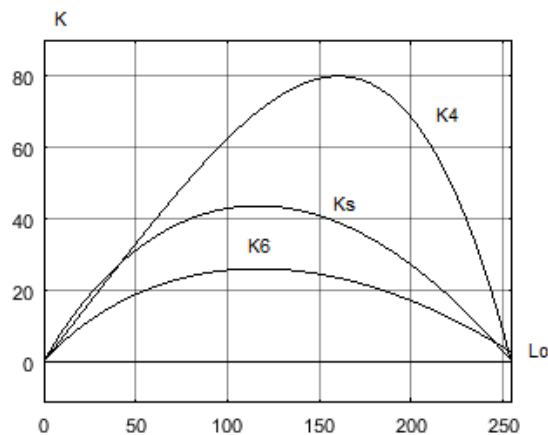


Рис. 3.16. Графіки абсолютного контрасту степенєвого і степенєво-лінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів

На початку діапазону контраст степенєвого (гама) перетворення має велику крутизну, що вказує на те, що степенєве (гама) перетворення є чутливе до постеризації. Максимальне значення контрасту $Ks=43$ рівнів. Для порівняння на рисунку подано графіки абсолютних контрастів степенєво-лінійного перетворення, які розташовані знизу і зверху. Отже, за розтягом контрасту степенєве (гама) перетворення цифрових зображень не переважає степенєво-лінійне перетворення цифрових зображень.

Висновки до розділу 3

1. Вперше розроблено математичну модель степенево-лінійного перетворення на основі сумування градаційних характеристик, яка усуває постеризацію зображень, проаналізовано її властивості які розширяють функціональні можливості перетворення.
2. Розроблено структурну схему моделі симулятора степенево-лінійного перетворення цифрових зображень, який дає можливість визначати і будувати градаційні характеристики, графіки оптичної густини, абсолютний контраст і аналізувати їх властивості.
3. Встановлено, що градаційні характеристики степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих тонів на початку діапазону мають малу крутизну, що усуває постеризацію зображень. Натомість градаційні характеристики степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів мають достатню крутизну, що також усуває постеризацію.
4. Визначено, що абсолютний контраст степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих тонів є від'ємним, Натомість абсолютний контраст степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів є додатнім,
5. Встановлено, що степенево-лінійне перетворення цифрових зображень дає можливість змінювати (розтягати і стискувати) контраст у широких межах і є методом підвищення візуальної якості зображень через підсилення контрастів.
6. Одержані у розділі результати розвивають методи перетворення зображень на основі сумування градаційних характеристик різних типів, що розширяє їх функціональні можливості щодо покращення якості зображень.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ РАСТРОВОГО СТЕПЕНЕВО-ЛІНІЙНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

При підготовці зображень до друк однією із головних технологічних операцій є процес растрування цифрових зображень. Існують різні методи і модерні алгоритми растрування. Зокрема частотно-модульоване, гібридні растри, різні версії стохастичного растрування які забезпечують якість друкованих видань. [30, 71] Вони підвищують якість зображень за умови суворої стандартизації технологічних процесів, матеріалів, устаткування, які значно обмежують застосування новітніх растрів не тільки в Україні, але й у світі [71, 9, 75]

В цьому контексті була побудована структурно-функціональна модель інформаційної технології растрування ступенево-лінійного перетворення цифрових зображень. В моделі виділено основні етапи сформованої інформаційної технології, кожному з яких відповідають конкретні синхронізовані технологічні процедури та операційні інструменти

I Етап

- 1.1 Аналіз технологій та методів растрового перетворення цифрових зображень
- 1.2 Дослідження процесу растрування цифрових зображень на основі застосування ступеневого перетворення

II Етап

- 2.1 Виокремлення факторів впливу технологічних параметрів цифрових зображень (градаційна характеристика, оптична густина, контрастна чутливість) на візуальну якість растрово перетворених зображень.
- 2.2 Синтез ступеневого перетворення та лінійної складової в процесі растрового коригування цифрових зображень при підготовці їх до друку.
- 2.3 Визначення оптимальних технологічних параметрів цифрових зображень, зокрема значень градаційних характеристик та характеристик растрування,

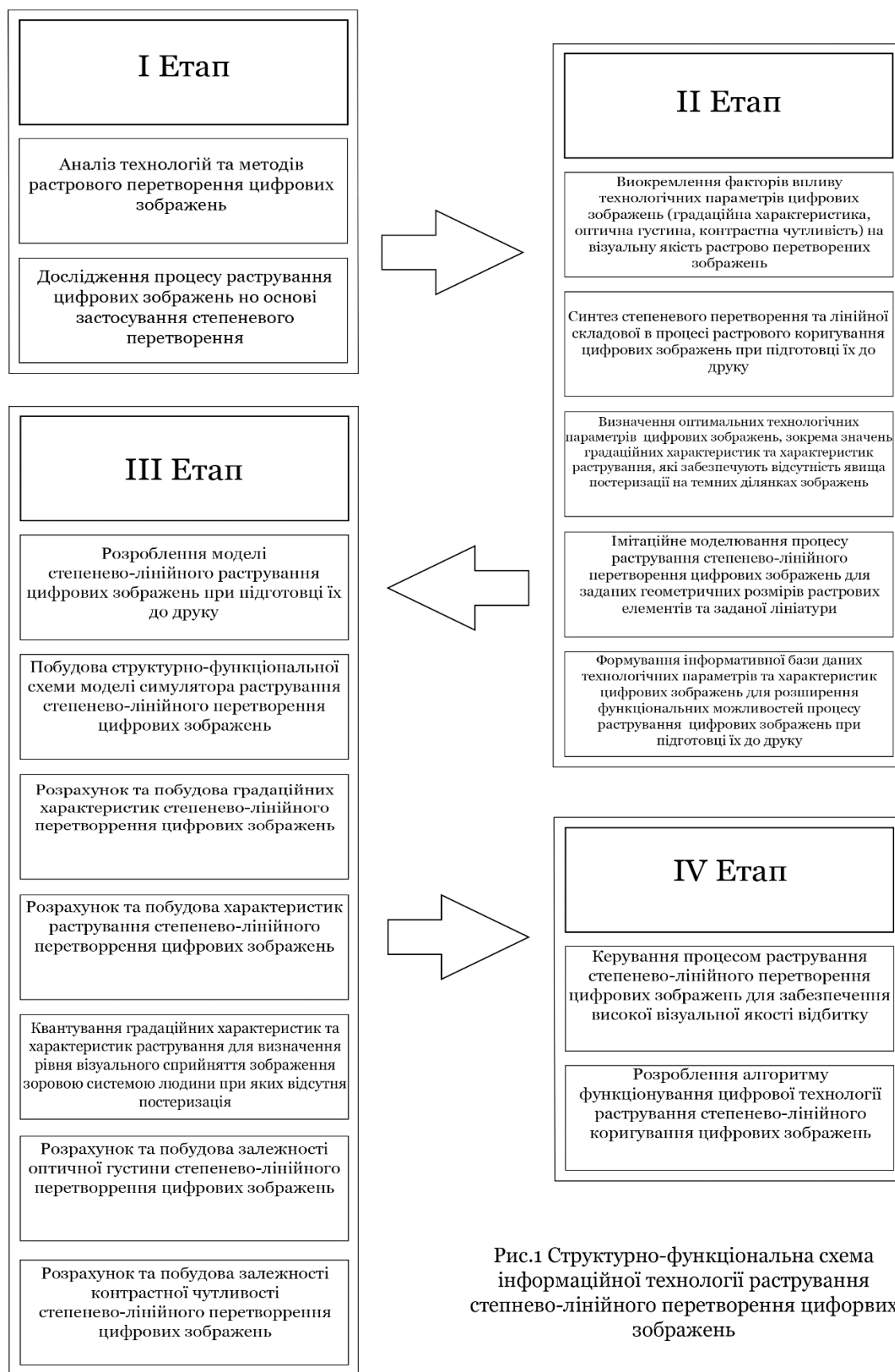


Рис.1 Структурно-функціональна схема інформаційної технології растрування степенево-лінійного перетворення цифрових зображень

які забезпечують відсутність явища постеризації на темних ділянках зображень.

2.4 Імітаційне моделювання процесу растрування ступенево-лінійного перетворення цифрових зображень для заданих геометричних розмірів растрових елементів та заданої лінійності.

2.5 Формування інформативної бази даних технологічних параметрів та характеристик цифрових зображень для розширення функціональних можливостей процесу растрування цифрових зображень при підготовці їх до друку

III Етап

3.1 Розроблення моделі ступенево-лінійного растрування цифрових зображень при підготовці їх до друку.

3.2 Побудова структурно-функціональної схеми моделі симулятора растрування ступенево-лінійного перетворення цифрових зображень

3.3 Розрахунок та побудова градаційних характеристик ступенево-лінійного перетворення цифрових зображень

3.4 Розрахунок та побудова характеристик растрування ступенево-лінійного перетворення цифрових зображень

3.5 Квантування градаційних характеристик та характеристик растрування для визначення рівня візуального сприйняття зображення зоровою системою людини при яких відсутня постеризація.

3.6 Розрахунок та побудова залежності оптичної густини ступенево-лінійного перетворення цифрових зображень

3.7 Розрахунок та побудова залежності контрастної чутливості ступенево-лінійного перетворення цифрових зображень

IV Етап

4.1 Керування процесом растрування ступенево-лінійного перетворення цифрових зображень для забезпечення високої візуальної якості відбитку

4.2 Розроблення алгоритму функціонування цифрової технології растрування ступенево-лінійного коригування цифрових зображень. (рис.)

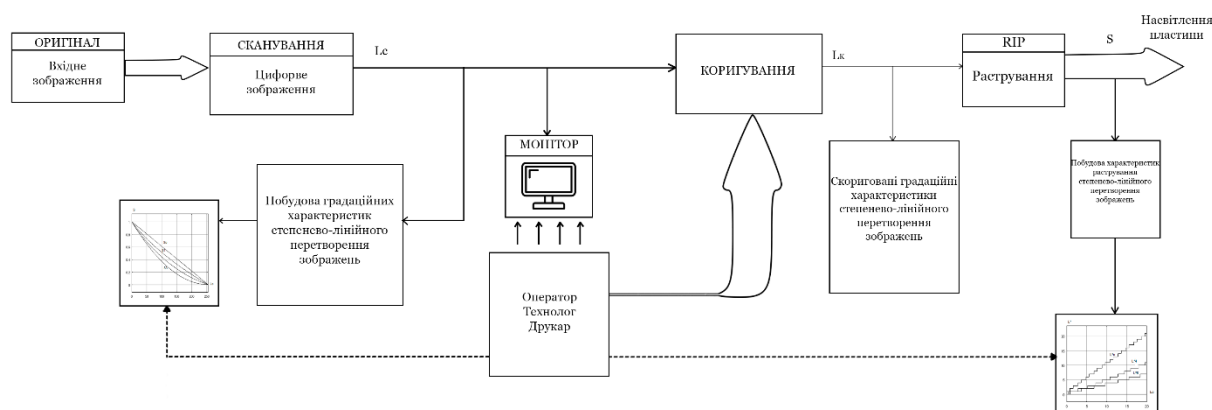


Рис.2 Алгоритми функціонування інформаційної технології растрівання ступенно-лінійного перетворення цифрових зображень

Рис. 2 Алгоритм функціонування інформаційної технології растрівання ступенно-лінійного перетворення цифрових зображень

Сучасне растрівання цифрових зображень здійснюється за допомогою растрового процесора (RIP) у якому можна задати форму растрового елемента, лініатуру, роздільну здатність тощо. В доступних програмах комп'ютерної графіки типу Photoshop та інших і доступних растрових процесорах, що використовуються в комп'ютерних видавничих системах не має функціональної можливості побудови характеристики растрового перетворення цифрових зображень, які є основним носієм інформації про зображення. Отже, оператор не має змоги оцінити результати растрівання, які необхідні для виготовлення друкарських форм. Невдало вибрані чи задані характеристики растрового перетворення призводять до втрати якості зображення на відбитку

4.1. Постановка задачі

Растрівання – процес перетворення тонових зображень у мікроштрихове у вигляді двовірного масиву крапок або елементів іншої форми. Під час візуального спостереження із звичайної відстані крапки настільки малі, що значення тону усереднюється і для ока людини створюється враження сірого тону. У світлих тонах крапки малі, тому видно багато білого паперу. І навпаки якщо площа елементів збільшується, тон темніший. [2, 9, 30] Основним інформативним параметром при растріванні напівтонових зображень є відносна площа растрових елементів. Характеристики растрівання подають залежністю відносної площі від його геометричних розмірів, оптичної густини, градаційної характеристики та заданої форми растрових елементів. Вигляд характеристики растрівання залежить від вибраного алгоритму растрівання і в загальному плані представлено виразом

$$S = F(L, D, X, \dots), \quad (4.1)$$

де, L – градаційна характеристика вхідного зображення, D – оптична густина, X – геометричний розмір растрового елемента

Для дослідження традиційного растрівання цифрових зображень задали квадратну форму растрових елементів, лінійну залежність та проміжну характеристику, відносна площа яких представлена виразами:

$$S_1 = 1 - L_0^2, \quad (4.2)$$

$$S_2 = 1 - L_0^{1.5}, \quad (4.3)$$

$$S_3 = 1 - L_0, \text{ якщо } 0 \leq L_0 \leq 1 \text{ то } 1 \leq S \leq 0, \quad (4.4)$$

де, L_0 – лінійна шкала, r – показник степені за допомогою якого формуються типові характеристики растрового перетворення заданих алгоритмів.

Для аналізу властивостей растрового перетворення визначили їх оптичну густину

$$D = \log_{10}[1,007 - S]. \quad (4.5)$$

Для виявлення постеризації застосували дискретизацію характеристики растрівання

$$S^* = S \cdot 255, \quad (4.6)$$

де, 255 – масштаб растрового перетворення.

На основі викладеного і виразів (4.2) – (4.6) розроблено структурну схему моделі симулятора растрування у пакеті MATLAB:Simulink яка представлена на рис.4.1.

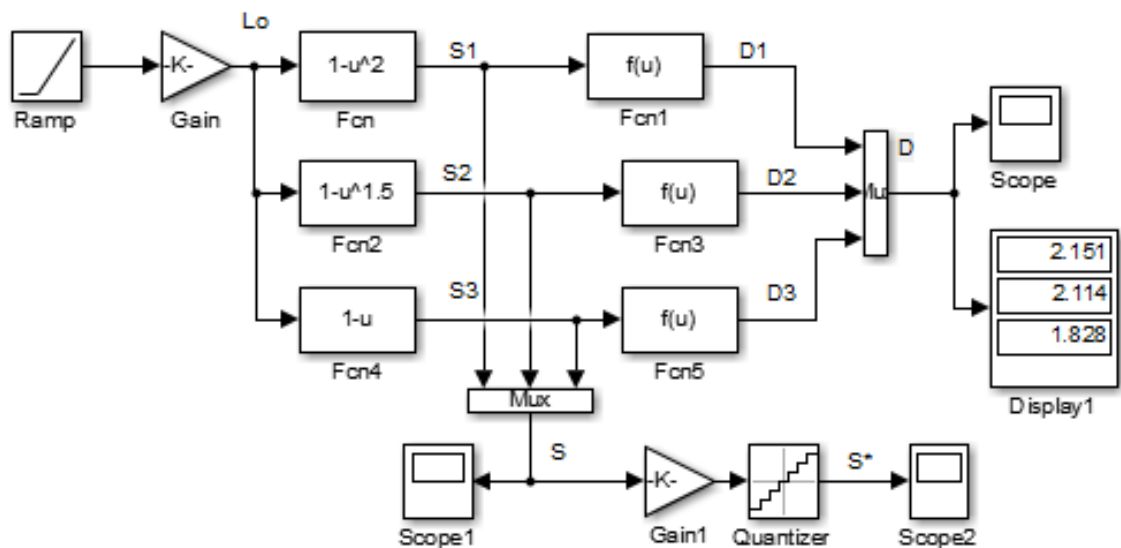


Рис. 4.1. Структурна схема моделі симулятора растрового перетворення

Блок *Ramp* генерує сигнал вхідного зображення (лінійна шкала $L0$) який блоком *Gain* масштабується і поступає на входи *Fcn*, *Fcn2*, *Fcn4* (функціональні блоки математичних функцій). У блоках математичних функцій *Fcn*, *Fcn2*, *Fcn4* записана програма – вирази (4.2) – (4.4) для розрахунку відносних площ $S1$, $S2$, $S3$ заданих алгоритмів растрування. Обчислені величини подаються на вхід мультиплексора *Mux* і візуалізуються блоком *Scope1* та одночасно подаються на входи наступних блоків *Fcn1*, *Fcn3*, *Fcn5*. у яких записана програма – вираз (4,5) для визначення оптичної густини $D1$, $D2$, $D3$ і подаються на вхід мультиплексор *Mux* та візуалізується блоком *Scope*. Для виявлення постеризації відносна площа масштабується і подається на вхід блоку квантування *Quantizer* після чого, дискретизована площа S^* подається на вхід блоку візуалізації *Scope2*.

В процесі дослідження налаштували симулятор і в діалогових вікнах записали відповідні вираз і параметри. Результати моделювання характеристик растрівання заданих алгоритмів представлені на рис.4.2.

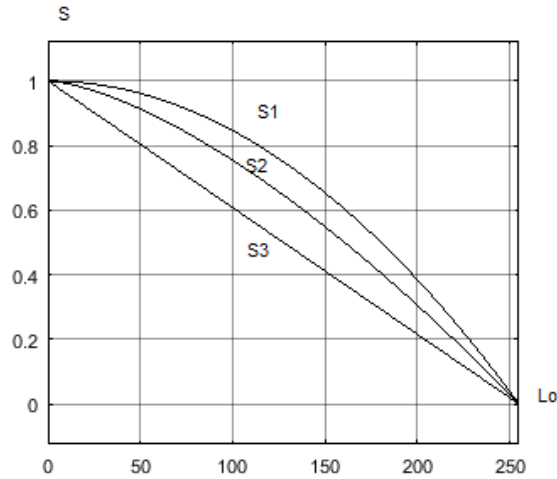


Рис. 4.2. Графіки характеристик растрового перетворення заданих алгоритмів

Початкові значення відносних площ растрових елементів є рівні одиниці, що відповідає чорним тонам. Зверху розташована характеристика $S1$ елементів квадратної форми, вона має малу крутизну на початку діапазону, є значно опуклою кривою, добре відтворює темні тони зображень, натомість має велику крутизну у кінці діапазону тому добре розрізняються світлі деталі зображень. Знизу розташована характеристика растрівання лінійної шкали $S3$, яка рівномірно відтворює зображення на усьому інтервалі тонопередачі. Характеристика $S2$ відповідає традиційному степеневому перетворенні із показником степені $r=1,5$, вона є опуклою кривою розтягнутою у сторону великих площ, що відповідають темним тонам зображень. Зауважимо, що великий розтяг характеристик растрівання $S1$, $S2$ для елементів квадратної форми є критично чутливий до постеризації темних ділянок зображень.

Результати моделювання оптичної густини растрово перетворених цифрових зображень подані на рис.4.3.

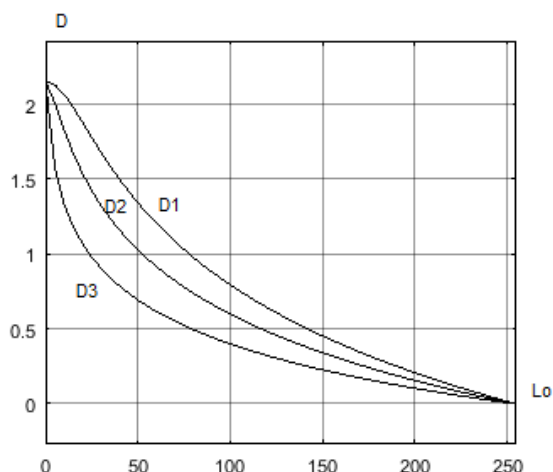


Рис. 4.3. Графіки оптичної густини растрово перетворених цифрових зображень

Початкові значення оптичної густини становлять 2,2 одиниць, вони є сильно вгнутими спадними кривими і в межах $L0=50$ рівнів, становлять: $D1=1,34$, $D2=1,03$, $D3=0,69$ одиниць, після чого плавно прямують до кінцевого нульового значення. Отже, растрове перетворення для елементів квадратної форми добре відтворює темні тони зображень.

Для виявлення явища постеризації розглянемо дискретизовані характеристики растрування, які представлені на рис.4.4.

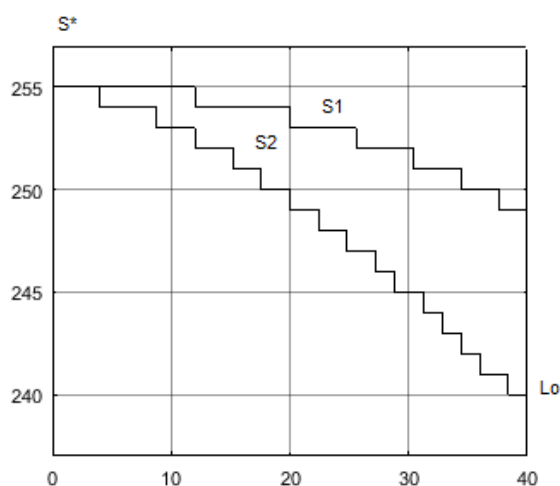


Рис. 4.4. Дискретизовані характеристики растрового перетворення

Зауважимо, що результати растрування цифрових зображень в компютері і растровому процесі (RIP) є дискретні, а площа растрових елементів формується у дискретній формі у вигляді бітових карт. Характеристики растрування є ступінчастими (східковими). Перша дискрета растрового елемента квадратної форми S_1^* має висоту 255 рівнів довжиною 12 рівнів. Наступна дискрета має висоту 254 рівнів довжиною 8 рівнів. Зауважимо, що око людини розрізняє сходинку довжиною 5 – 6 рівнів та більше [43, 74]. Отже ступінчатість характеристики растрування викликає постеризацію – появу зорво помітних переходів на темних ділянках зображення. Перша дискрета степеневого перетворення S_2^* має висоту 255 рівнів і довжиною 5 рівнів. Отже, традиційне степеневе (гама) перетворення із показником степені $r=1,5$ є критично чутлива до постеризації.

4.2 Розроблення моделі растрового степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих тонів

Проведення дослідження класичного традиційного растрування цифрових зображень для елементів квадратної форми довели, що растрування значною мірою впливає на його властивості, тому розглянемо моделювання і аналіз растрування степенево-лінійного перетворення цифрових зображень. Для дослідження використали типові варіанти степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих тонів (вирази (3.2) – (3.4)) і аналогічно до попереднього здійснили їх растрування за виразом

$$S = 1 - ((1/255) \cdot L), \quad (4.7)$$

Після підстановки типових варіантів одержимо:

$$S_0 = 1 - \left[(1/255) \cdot (1 - L_0) \right], \quad (4.12)$$

$$S_1 = 1 - \left[(1/255) \cdot (1 - 2L_0 - L_0^2) \right], \quad (4.11)$$

$$S_2 = 1 - \left[(1/255) \cdot (1 - 2L_0 - L_0^{1,6}) \right], \quad (4.10)$$

Блок *Ramp* генерує сигнал вхідного зображення (лінійна шкала L_0) який у блоці *Gain* масштабується, і поступає на входи Fcn , $Fcn1$, $Fcn2$ (функціональні блоки математичних функцій) в яких записана програма для розрахунку типових градаційних характеристик L_1 , L_2 , L_3 степеневі-лінійного перетворення. Обчислені величини подаються на вхід мультиплексора *Mux* та візуалізуються блоком *Scope* і паралельно поступають на входи $Fcn4$, $Fcn5$, $Fcn6$ у яких записані програми – вираз (4.7) для розрахунку площі S_i растрових елементів які подаються на входи мультиплексора *Mux* і візуалізуються блоком *Scope1*. Разом з тим отримані значення величин S_i паралельно подаються на входи блоків математичних функцій $Fcn7$, $Fcn8$, $Fcn9$, $Fcn10$ у діалогових вікнах яких записано програми – вираз (4.5) для визначення оптичної густини D_1 , D_2 , D_3 яка подається на входи мультиплексор *Mux* і візуалізується блоком *Scope3*. Для визначення різниць відхилення E площ растрових елементів від лінійної S_0 застосували блоки сумування *Add*, на від'ємні входи яких подається площа S_0 , а на додатні входи подаються відносні площі S_1 , S_2 , S_3 . Обчислені величини різниць E_1 , E_2 , E_3 поступають на мультиплексор і візуалізуються блоком *Scope2*. Для виявлення постеризації застосували дискретизацію характеристик растрування S^* , вираз (4.6) яка здійснюється блоком квантування *Quantizer*, після чого візуалізуються блоком *Scope4*.

В процесі дослідження налаштували симулятор, задавши у діалогових вікнах функціональних блоків математичних функцій відповідні вирази. Результати моделювання градаційних характеристик типових варіантів степеневі-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих тонів представлені на рис.4.6.

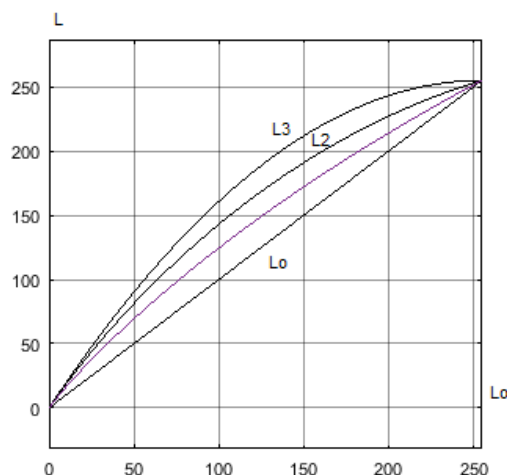


Рис. 4.6. Градаційні характеристики типових варіантів растрування ступенево-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих тонів

Для порівняння знизу представлена лінійна характеристика $L0$. Градаційні характеристики типових варіантів растрування ступенево-лінійного перетворення цифрових зображень є опуклими кривими добре розтягнутими в сторону світлих тонів. На початку діапазону (темний) градаційні характеристики мають достатню крутизну яка поступово зменшується на кінцевому діапазоні (світлий), що забезпечує добре відтворення світлих тонів зображень.

Результати моделювання растрування типових варіантів ступенево-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих тонів представлені на рис.4.7.

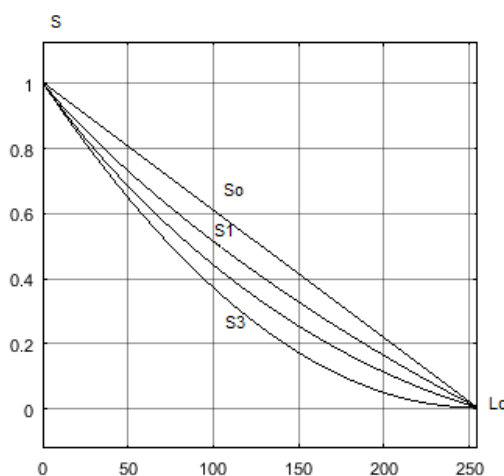


Рис. 4.7. Характеристики растрування типових варіантів ступенево-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих тонів.

Характеристики описують алгоритм растрівання який реалізує степенево-лінійне перетворення. Початкове значення відносної площі дорівнює одиниці, що відповідає чорному тону зображення. Характеристики растрівання є вгнутими кривими добре розтягнутими в сторону світлих тонів. На початку діапазону характеристики мають достатню крутизну яка поступово зменшується на кінцевому світлому діапазоні, що забезпечує добре відтворення світлих тонів.

Результати моделювання оптичної густини типових варіантів растрівання степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих тонів представлені на рис.4.8.

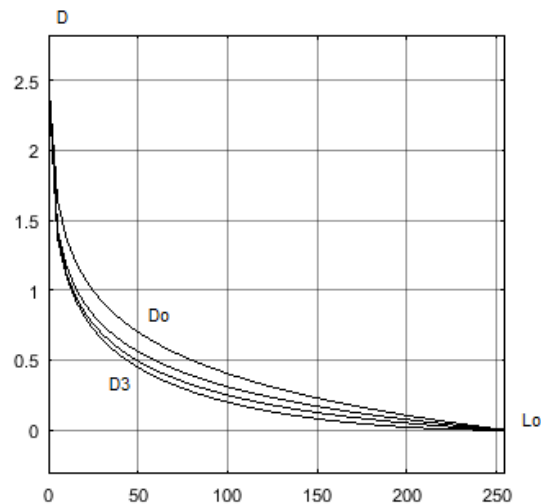


Рис. 4.8. Графіки оптичної густини типових варіантів растрівання степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих тонів.

Початкові значення оптичної густини становлять 2,51 одиниць, що відповідає чорним тонам. Зверху розташована характеристика оптичної густини D_0 лінійної шкали, яка є легко вгнутою кривою. Всі інші характеристики оптичної густини типових варіантів растрівання степенево-лінійного перетворення цифрових зображень розташовані нижче, що відповідає світлим тонам. На початку діапазону характеристики швидко зменшуються і в межах $L_0=50$ рівнів становить: $D_0=0,700$; $D_1=0,561$; $D_2=0,493$; $D_3=0,447$. Характеристики є добре розтягнутими у сторону малих оптичних густин, що

відповідає світлим тонам зображень і в кінці інтервалу прямують до нульового значення.

Результати моделювання різниць відхилення характеристик растрівання степеневно-лінійного перетворення цифрових зображень від лінійної для світлих тонів зображень представлені на рис. 4.9.

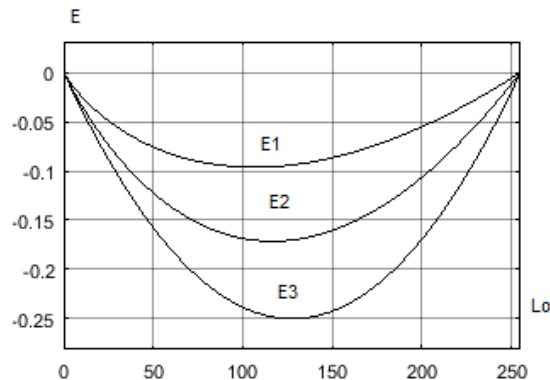


Рис. 4.9 Графіки різниць відхилення характеристик растрівання степеневно-лінійного перетворення цифрових зображень від лінійної для світлих тонів зображень

Графіки різниць відхилення площ є від'ємними. Це означає, що лінійна шкала S_0 переважає характеристики растрівання степеневно-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих тонів. Характеристики різниць є вгнутими U -подібними майже симетричними кривими. Максимальні значення різниць становлять: $E1 = -0,095$; $E2 = -0,171$; $E3 = -0,249$ одиниць площі. Графіки різниць якісно і кількісно оцінюють сприйняття зображень зоровою системою людини.

Для визначення постеризації здійснили дискретизацію характеристик растрового перетворення типових варіантів степеневно-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих тонів. Результати моделювання дискретизованих характеристик растрового перетворення цифрових зображень для світлих тонів представлені на рис.4.10.

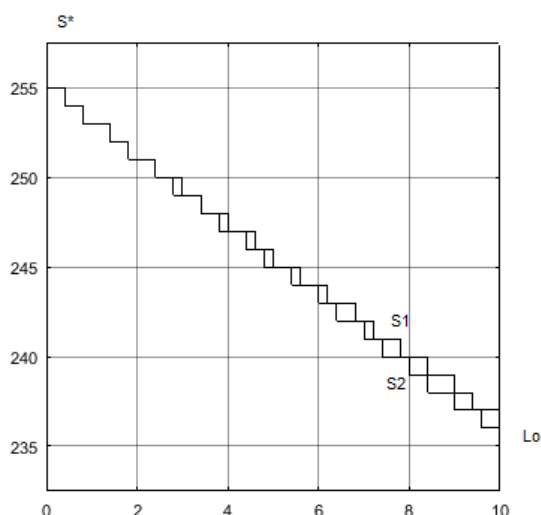


Рис. 4.10. Графіки дискретизованих характеристик растрування типових варіантів степеневого-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих тонів

Дискретизовані характеристики є ступінчастими (східковими). Перші дискрети становлять 255 рівнів мають одиничну довжину. Другі дискрети становлять 254 рівнів і мають також одиничні довжини. Аналогічно наступні дискрети мають одиничні довжини ступенів і т.д. Дискретизована характеристика $S1$ розташована вище $S2$. Оскільки дискретизовані характеристики растрового перетворення на початку діапазону мають одиничні довжини ступенів, то растрове степеневе-лінійне перетворення усуває постеризацію на темних ділянках зображень, що є його перевагою.

4.3. Розроблення моделі растрового степеневого-лінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів

В поліграфії чорний колір є основним і робить зображення темним, натомість білий колір – природній колір паперу. Чорний колір створює найбільшу палітру відтінків і тоновідтворення зображень, яке виражається через градаційну криву та визначає характер перетворень [30]. На основі градаційної характеристики визначаються основні показники перетворених цифрових

зображень, характеристики растрування, контраст, сприйняття зображення зоровою системою тощо.

Для дослідження розглянемо растрування типових варіантів степеневолінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів (вирази (3.9) - (3.11)) і здійснемо растрування за виразом [44]

$$S = 1 - \left((1/255) \cdot L \right), \quad (4.13)$$

де, L – градаційна характеристика степеневолінійного перетворення

Після підстановки типових варіантів одержимо:

$$S_0 = 1 - \left[(1/255) \cdot (1 - L_0) \right], \quad (4.14)$$

$$S_4 = 1 - \left[(1/255) \cdot (0,5 \cdot L_0 + L_0^{1,5}) \right], \quad (4.15)$$

$$S_5 = 1 - \left[(1/255) \cdot (0,5 \cdot L_0 + L_0^{2,5}) \right], \quad (4.16)$$

$$S_6 = 1 - \left[(1/255) \cdot (0,5 \cdot L_0 + L_0^4) \right], \text{ якщо } 0 \leq L_0 \leq 1 \text{ то } 1 \leq S \leq 0 \quad (4.17)$$

де, L_0 – лінійна шкала, S_i – площі растрового перетворення типових варіантів степеневолінійного перетворення зображень для темних тонів.

Для аналізу визначимо оптичну густину (вираз 4.5) растрового перетворення цифрових зображень і різницю відхилення площ растрових елементів від лінійної (вираз 4.12)

Для визначення постеризації застосували дискретизацію характеристик растрування. На основі викладеного і виразів (4.13) – (4.17) розроблено структурну схему моделі симулятора растрування степеневолінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів в пакеті MATLAB:Simulink яка представлена на рис.4.11. Структурна схема моделі симулятора растрування степеневолінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів формально аналогічна моделі симулятора растрування степеневолінійного перетворення цифрових зображень для світлих тонів (рис.4.5) тому не описуємо його роботу.

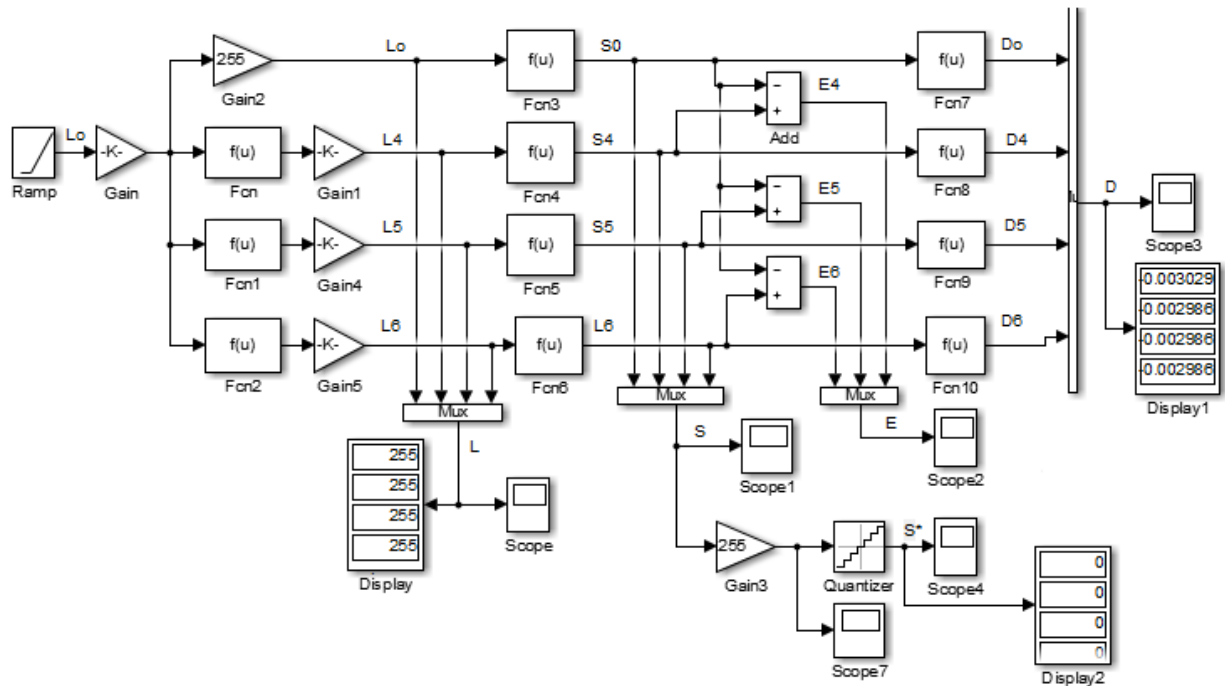


Рис. 4.11. Структурна схема моделі симулятора растровання степеневолінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів

У функціональних блоках математичних функцій Fcn , $Fcn1$, $Fcn2$, у діалогових вікнах записана програма – вираз для обчислення градаційних характеристик $L4$, $L5$, $L6$ степеневолінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів. У діалогових вікнах блоків математичних функцій $Fcn4$, $Fcn5$, $Fcn6$ записана програма – вираз (4.13) для обчислення відносних площ S_i растрових елементів. Усі інші блоки залишили незмінними.

В процесі дослідження налаштували симулятор, задавши у діалогових вікнах функціональних блоків математичних функцій відповідні вирази. У інтерактивному режимі роботи симулятора визначили масштаб $M = 0,667$ для обчислення градаційних характеристик. Результати моделювання градаційних характеристик типових варіантів степеневолінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів представлено на рис.4.12.

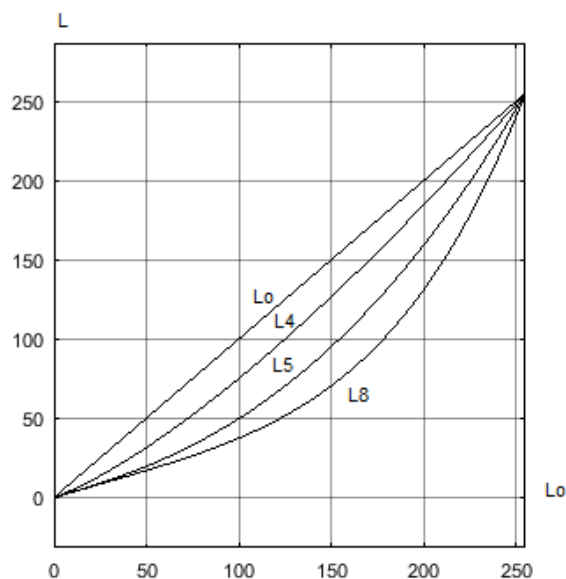


Рис. 4.12. Градаційні характеристики типових варіантів растрівання степеневого-лінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів

Зверху розташована градаційна характеристика L_0 лінійної шкали. Градаційні характеристики типових варіантів степеневого-лінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів є вгнутими кривими рівномірно розтягнутими вниз у сторону темних тонів на початку і середині діапазону тонопередачі. На початку діапазону характеристики мають достатню крутизну (кут нахилу) тому добре відтворюються темні тони зображень. На кінцевому діапазоні крутизна поступово збільшується тому добре відтворюються деталі на світлих ділянках зображень. Порівнюючи градаційні характеристики типових варіантів степеневого-лінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів (рис.4.12.) із градаційними характеристиками типових варіантів степеневого-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих тонів (рис.4.6.) робимо висновок, що градаційні характеристики типових варіантів степеневого-лінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів є протилежними до градаційних характеристик типових варіантів степеневого-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих тонів, які розтягнуті у сторону світлих тонів.

Отже градаційні характеристики описують тоновідтворення зображень на інтервалі тонопередачі.

Результати моделювання растрування типових варіантів степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів представлені на рис.4.13.

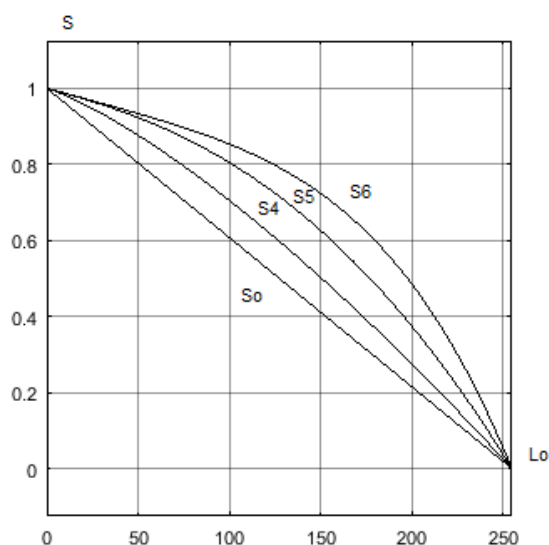


Рис. 4.13. Характеристики растрування типових варіантів степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів

Характеристики описують алгоритм растрування який реалізує степенево-лінійне перетворення. Початкові значення відносних площ растрових елементів є рівними одиниці, що відповідає чорному тону зображень. Знизу розташована характеристика S_0 лінійної шкали. Характеристики растрування є опуклими кривими добре розтягнутими в сторону темних тонів. На початку діапазону характеристики мають достатню крутизну необхідну для відтворення темних тонів зображень. Крутизна кривих поступово збільшується, тому добре відтворюються середні тони зображень.

В кінці інтервалу крутизна є найбільша, тому добре відтворюються світлі деталі зображень. Порівнюючи характеристики растрування типових варіантів степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів (рис.4.13.) із характеристиками растрування типових варіантів степенево-

лінійного перетворення цифрових зображень для світлих тонів (рис.4.7), робимо висновок, що характеристики растрування типових варіантів ступенево-лінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів є протилежними до характеристик для світлих тонів.

Результати моделювання різниць відхилення характеристик растрування ступенево-лінійного перетворення цифрових зображень від лінійної для темних тонів зображень представлені на рис.4.14.

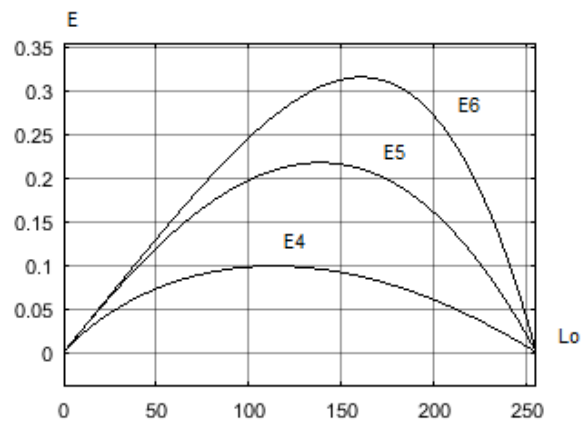


Рис. 4.14. Графік різниць відхилення характеристик растрування ступенево-лінійного перетворення цифрових зображень від лінійної для темних тонів зображень

Графіки різниць відхилення характеристик растрування є додатні. Знак плюс вказує на те, що характеристики растрування ступенево-лінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів переважають лінійну шкалу S_0 . Характеристики різниць є дзвоноподібними кривими дещо розтягнутими у темні тони і мають екстремум. Максимальні значення різниць становлять: $E_4=0,094$; $E_5=0,22$; $E_6=0,31$ одиниць площі. Максимальні значення різниць відхилення характеристик растрування ступенево-лінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів дещо більші (на 10÷15%) від різниць відхилення характеристик растрування ступенево-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих тонів, це додатково підтверджує що в поліграфії чорний колір є головний.

Результати моделювання оптичної густини типових варіантів растрівня степеневно-лінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів представлені на рис.4.15.

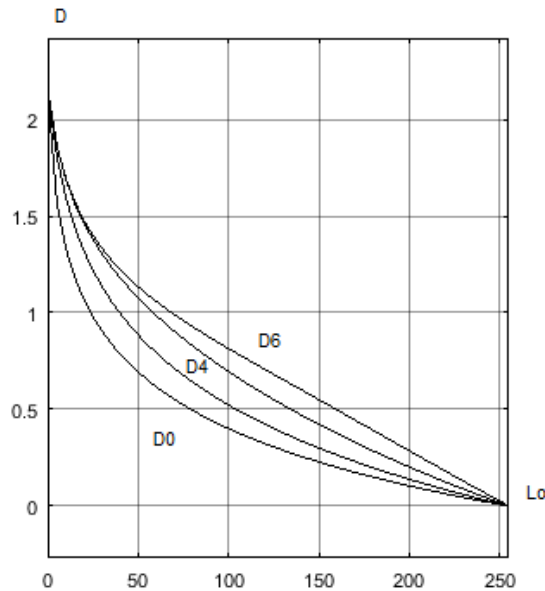


Рис. 4.15. Графіки оптичної густини типових варіантів растрівня степеневно-лінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів.

Початкові значення оптичної густини становлять 2,155 одиниць, що відповідає чорним тонам. Знизу розташована характеристика оптичної густини D_0 лінійної шкали і є легко вгнутою кривою. Наступні характеристики растрівня степеневно-лінійного перетворення цифрових зображень розташовані зверху і є добре розтягнутими у сторону темних тонів. На початку діапазону характеристики зменшуються і в межах $L_0=50$ рівнів становлять: $D_0=0,692$; $D_4=0,886$; $D_5=1,077$; $D_6=1,137$ одиниць. Характеристики є рівномірно розтягнутими кривими в сторону темних тонів і в кінці інтервалу поступово прямують до нульового значення. Порівнюючи графіки оптичної густини типових варіантів растрівня степеневно-лінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів (рис.4.15.) із графіками оптичної густини типових варіантів растрівня степеневно-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих тонів (рис.4.8), робимо висновок, що на початку діапазону

при $L_0=50$ рівнів оптична густини темних тонів у двічі більша ніж світлих, отже розроблене ступенево-лінійне перетворення забезпечує широкий діапазон відтворення оптичної густини зображень.

Для виявлення явища постеризації розглянемо дискретизовані характеристики растрування ступенево-лінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів, які представлені на рис.4.16.

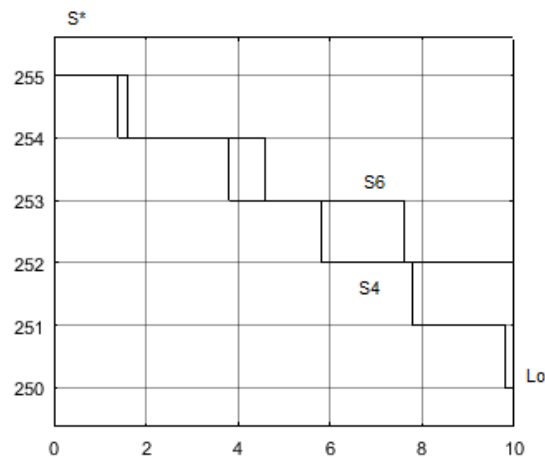


Рис. 4.16. Дискретизовані характеристики растрування типових варіантів ступенево-лінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів

Дискретизовані характеристики растрового перетворення цифрових зображень для темних тонів є ступінчастими (східковими) Перші дискрети S_4^* , S_6^* становлять 255 рівнів і мають довжину 3 рівні. Другі дискрети становлять 254 рівнів і мають довжину також 3 рівні. Наступні дискрети мають довжину 2 та 1 рівнів. Зорова система людини не помічає ступені довжиною 3 рівні, отже розроблене ступенево-лінійне перетворення усуває постеризацію растрових зображень на темних ділянках, що є його перевагою.

4.4 Моделювання растрового ступенево-лінійного перетворення цифрових зображень різної лініатури

Сучасне растрування цифрових зображень здійснюється за допомогою растрового процесора (RIP) у робочому вікні якого можна задавати форму

растрових елементів і лініатуру. [12, 30, 32] Форма растрових елементів (квадратна, кругла, овальна) безпосередньо змінює алгоритм растрування і впливає на скориговане вхідне зображення та якість друкованих зображень. Як уже відзначалося у доступних програмах комп'ютерної графіки і растрових процесорах не передбачена програма побудови характеристик растрування вибраної форми растрових елементів і заданої форми лініатури, тому оператор не має змоги оцінити результати растрування необхідні для виготовлення друкарських форм, що призводить до втрати якості друкованих зображень.

Для прикладу спочатку розглянемо растрування цифрових зображень для растрових елементів квадратної форми. Для спрощення вирішення поставленої задачі застосовано нормоване растрове перетворення. Якщо задана лініатура растра Lin (лін/см) [50], тоді розмір комірки

$$X_k = \frac{10000}{Lin}. \quad (4.18)$$

Визначимо нормований геометричний розмір растрового елемента

$$X_0 = \frac{X}{X_k}, \text{ якщо } 0 \leq X \leq X_k \text{ то } 0 \leq X_0 \leq 1 \quad (4.19)$$

де, X – геометричний розмір

На основі викладеного і виразу (4.2) визначимо растрове перетворення для елементів квадратної форми заданої лініатури

$$S_0 = 1 - X_k^2, \text{ якщо } 0 \leq X_0 \leq 1 \text{ то } 1 \leq S_0 \leq 0. \quad (4.20)$$

Залежно від задачі дослідження растрове перетворення можна подати у різних вимірах, відносних одиницях, процентах шляхом масштабування: $Ml=1$; $Ml=100$; $Ml=X_k^2$. [14, 35, 50] Якщо у виразі (4.20) лінійно змінювати нормований геометричний розмір X_0 у заданих межах тоді за ним можна розрахувати і побудувати характеристику растрування заданої лініатури.

На підставі вище зазначеного та виразів (4.18) – (4.19) розроблено модель симулятора растрового перетворення цифрових зображень заданої лініатури для елементів квадратної форми, яка представлена на рис.4.17.

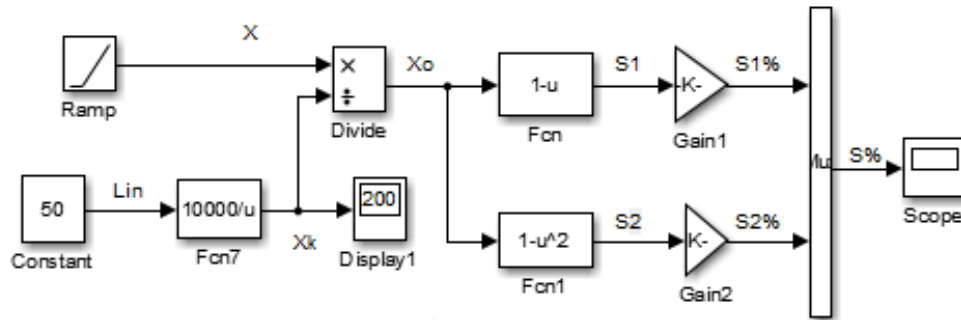


Рис. 4.17. Структурна схема моделі симулятора растрового перетворення для елементів квадратної форми

Блок *Constant* задає задану лініатуру *Lin*, яка подається на вхід функціонального блоку математичних функцій *Fcn7* у діалоговому вікні якого записана програма – вираз (4.18) для визначення геометричного розміру растрової комірки X_k . Обчислена величина X_k подається на вхід ділення блоку *Divide*, на вхід множення якого подається геометричний розмір X що генерує блок *Ramp*. На виході блоку *Divide* одержується нормований геометричний розмір X_0 , який поступає на *Fcn1* (блок математичних функцій) де записана програма – вираз (4.20) для визначення відносної площі $S1$ растрового елемента заданої лініатури. Разом з тим нормований геометричний розмір X_0 паралельно подається на вхід блоку математичних функцій *Fcn1* у діалоговому вікні якого записано програму – вираз (4.20) для визначення відносної площі $S2$ лінійного растрового перетворення. Одержані нормовані растрові перетворення масштабуються у блоках *Gain1* та *Gain2* і подаються на вхід мультиплексора *Mux* після чого візуалізуються блоком *Scope*.

В процесі дослідження налаштували симулятор. Для прикладу у блоці *Constant* задали лініатуру $Lin=50$ лін/см. У діалогових вікнах блоків математичних функцій записали відповідні програми. У блоках *Gain* задали масштаб $M=100$. Результати моделювання растрового перетворення для елементів квадратної форми в процентах представлені на рис.4.18.

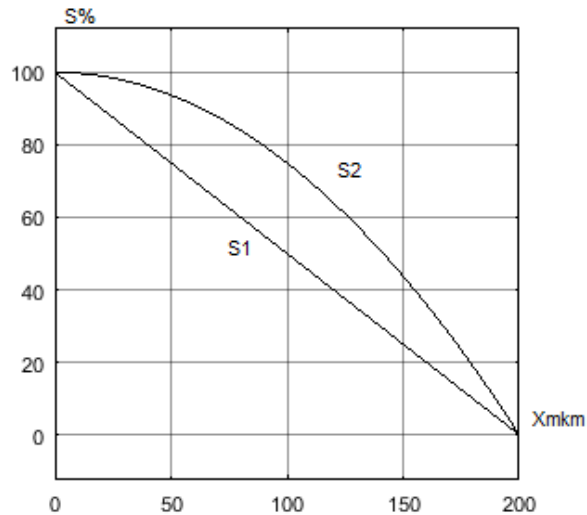


Рис. 4.18. Характеристики растрівання для елементів квадратної форми

Початкові значення площ растрових елементів дорівнюють 100%, що відповідає темним тонам. Для порівняння знизу розташована характеристика растрівання $S1$ лінійної шкали яка рівномірно відтворює зображення на усьому інтервалі тонопередачі. Характеристика $S2$ елементів квадратної форми має малу крутизну на початку діапазону, є опуклою кривою розтягнутою у сторону великих площ, тому добре відтворюються темні тони зображень. У кінці діапазону характеристика має велику крутизну, тому добре відтворюються світлі ділянки зображень.

Тепер розглянемо нормоване растрове перетворення для елементів квадратної форми різної лініатури (для $L1=30$; $L2=40$; $L3=60$; $L4=80$ лін/см.)

$$S_0 = 1 - X_0^2, \text{ якщо } 0 \leq X_0 \leq 1 \quad (4.21)$$

За виразом (4.18) визначили геометричні розміри растрових комірок для заданих лініатур X_k : 333; 250; 166; 125 мкм. На основі викладеного і схеми рис.4.17. розроблено структурну схему моделі чотирьохканального симулятора растрівання елементів квадратної форми різної лініатури яка представлена на рис.4.19.

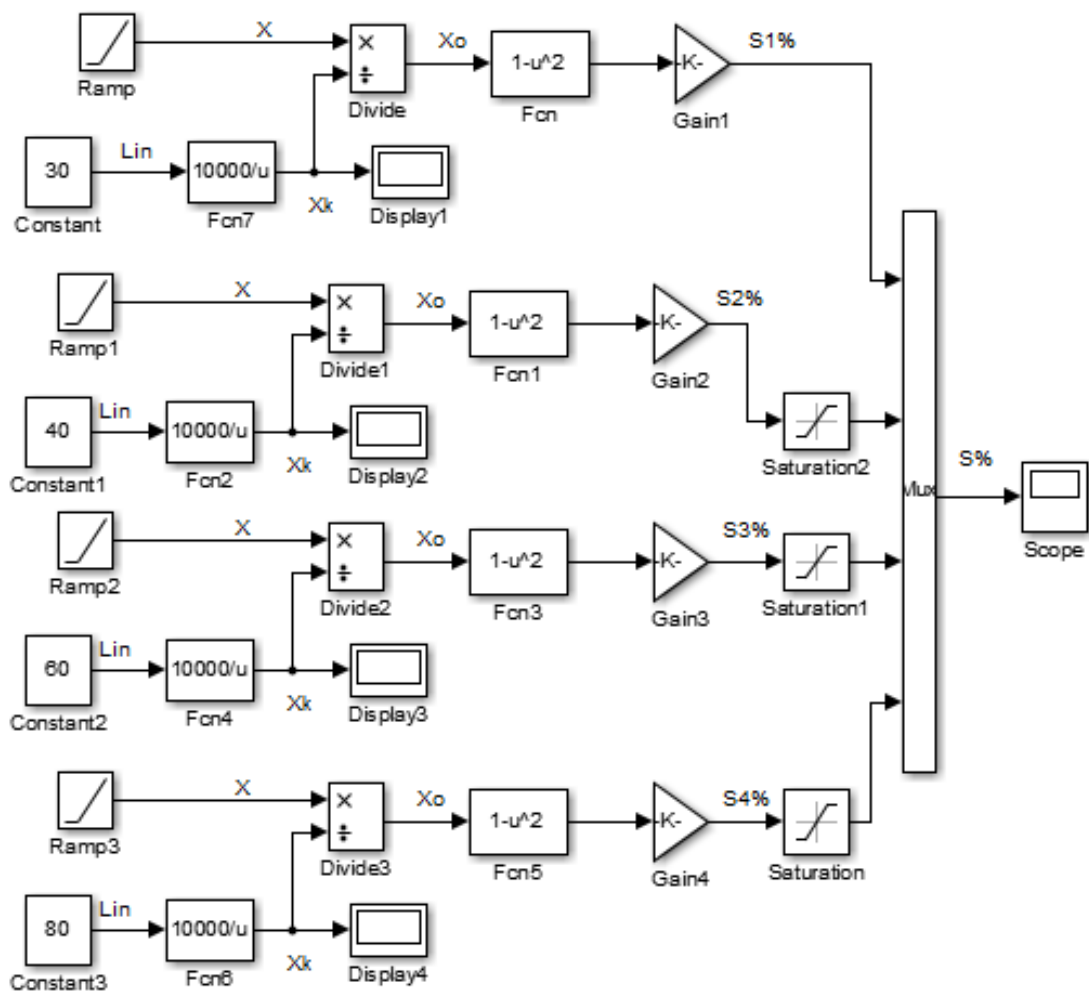


Рис. 4.19. Структурна схема моделі чотирьохканального симулятора елементів квадратної форми різної лініатури

В процесі дослідження налаштували симулятор. У блоках *Constant* задали лініатуру L : 30; 40; 60; 80 лін/см. У блоках *Saturation* задали обмеження характеристик Xk : 333; 250; 166; 125 мкм. Результати моделювання растрового перетворення в процентах для елементів квадратної форми заданих лініатур представлені на рис.4.20.

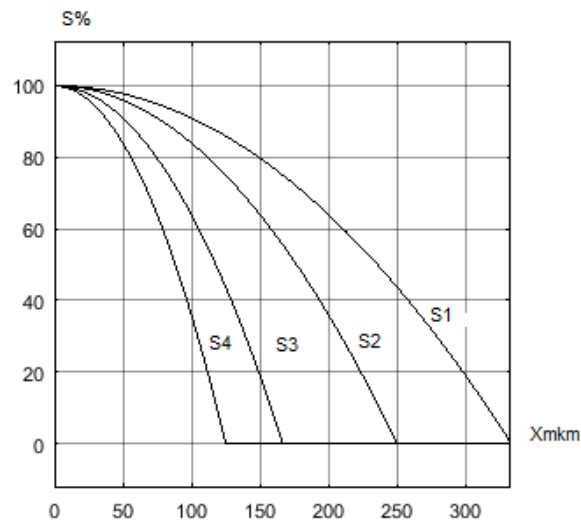


Рис. 4.20. Характеристики растрівання для елементів квадратної форми різної лініатури

Початкові значення площ растрових елементів різної лініатури дорівнюють 100%, що відповідає темним тонам зображень, а кінцеві нульовим значенням, що відповідає світлим тонам. Характеристики растрівання є випуклими кривими добре розтягнутими у сторону великих площ, а їх кінцеві значення є в межах X_k : 125; 166; 256; 300 мкм. На початку діапазону характеристики растрівання мають малу крутизну, яка поступово збільшується, тому добре розрізняються світлі деталі зображень. Збільшення лініатури викликає зменшення крутизни характеристик на початку діапазону, тому низькі лініатури $Lin - 30-60$ лін/см. є більш критичними до постеризації темних ділянок для растрових елементів квадратної форми.

Розглянемо растрівання типових варіантів ступенево-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих тонів заданої лініатури і визначимо їх нормовані градаційні характеристики представлені геометричними розмірами:

$$X_1 = 2 \cdot X_0 - X_0^2, \quad (4.22)$$

$$X_2 = 2 \cdot X_0 - X_0^{1.6}, \quad (4.23)$$

$$X_3 = 2 \cdot X_0 - X_0^{1.3}, \quad \text{якщо } 0 \leq X_0 \leq X_k \text{ то } 0 \leq X_i \leq 1 \quad (4.24)$$

На основі викладеного і виразу (4.20) одержимо вирази растрівання типових варіантів степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих тонів заданої лініатури:

$$S_1 = 1 - (2 \cdot X_0 - X_0^2), \quad (4.25)$$

$$S_2 = 1 - (2 \cdot X_0 - X_0^{1,6}), \quad (4.26)$$

$$S_3 = 1 - (2 \cdot X_0 - X_0^{1,3}), \text{ якщо } 0 \leq X_0 \leq X_k \text{ то } 0 \leq S_i \leq 1. \quad (4.27)$$

А на основі виразів (4.22) – (4.27) та рис.4.19 розроблено структурну схему моделі чотирьохканального симулятора растрівання типових варіантів степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих тонів заданої лініатури яка представлена на рис.4.21.

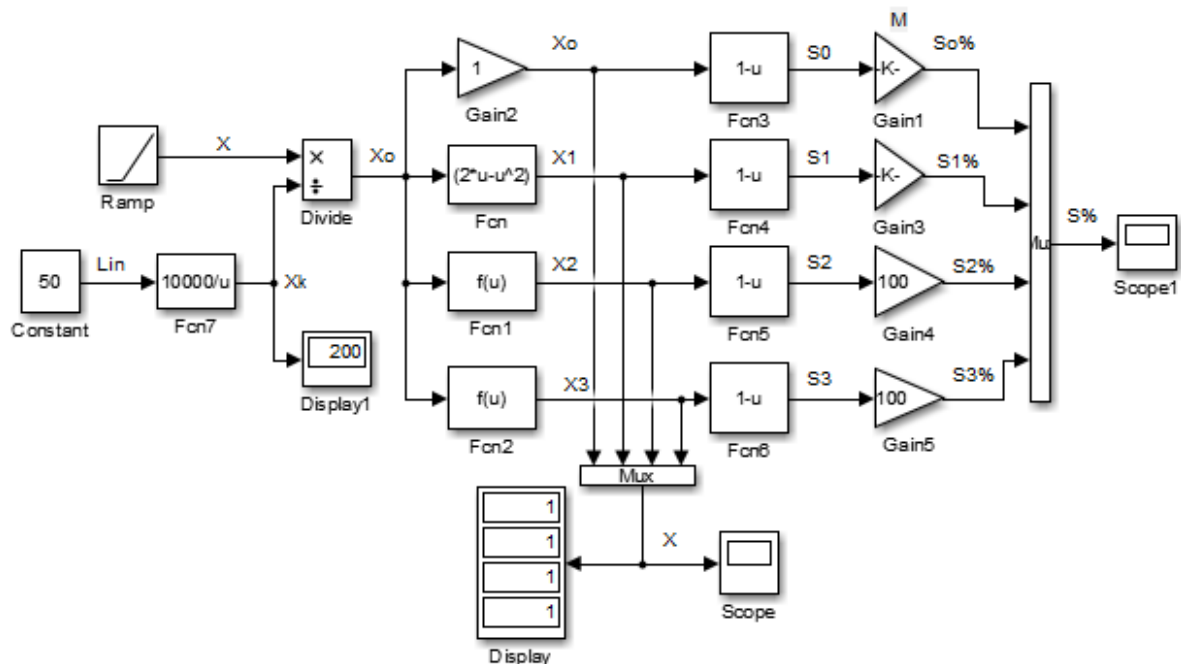


Рис. 4.21. Структурна схема моделі чотирьохканального симулятора растрівання типових варіантів степенево-лінійного перетворення цифрових зображень заданої лініатури для світлих тонів

Для порівняння зверху додатково введено растрівання лінійної геометричної шкали. Блок *Constant* задає лініатуру *Lin* яка подається на вхід функціонального блоку математичних функцій *Fcn7* у діалоговому вікні якого

записана програма – вираз (4.18) для визначення геометричного розміру растрової комірки X_k в мікронах, який подається на вхід ділення блоку *Divide*, на вхід множення якого подається геометричний розмір X що генерує блок *Ramp*. На виході блоку *Divide* одержується нормований геометричний розмір X_0 , який паралельно подається на входи Fcn , $Fcn1$, $Fcn2$ (функціональні блоки математичних функцій) у яких записана програма – вирази (4.22) – (4.24) для визначення геометричних розмірів типових варіантів степеневі-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих тонів заданої лініатури. Обчислені величини X_1 , X_2 , X_3 подаються на вхід мультиплексора *Mux* після чого візуалізуються блоком *Scope*. Разом з тим X_1 , X_2 , X_3 паралельно подаються на входи $Fcn4$, $Fcn5$, $Fcn6$ у яких записана програма (вирази (4.25) - (4.27)) для визначення відносних площ растрових елементів S_0 – S_3 . Одержані площі растрового перетворення масштабуються у блоках *Gain* в % і подаються на вхід мультиплексора *Mux* і візуалізуються блоком *Scope1*.

Для дослідження у блоці *Constant* задали лініатуру $Lin=50$ лін/см. У блоках математичних функцій записали відповідні програми. У блоках *Gain* задали масштаб $M=100$.

Результати моделювання растрування типових варіантів степеневі-лінійного перетворення цифрових зображень для лініатури $Lin=50$ лін/см виражені відносними геометричними розмірами, які представлені на рис.4.22.

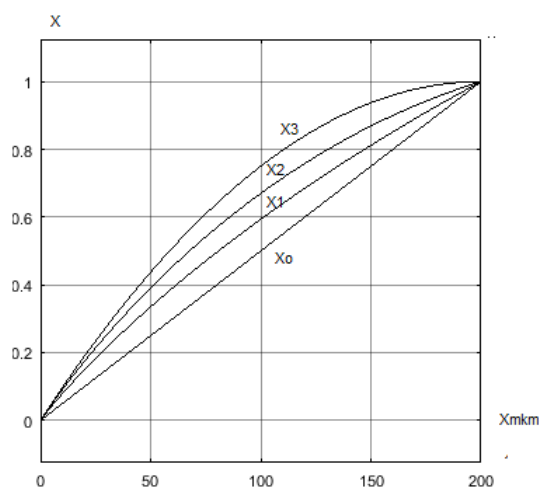


Рис. 4.22. Характеристики типових варіантів степеневі-лінійного перетворення цифрових зображень заданої лініатури для світлих тонів

Знизу розташована характеристика нормованої геометричної лінійної шкали. Характеристики типових варіантів степеневі-лінійного перетворення цифрових зображень є опуклими кривими рівномірно розтягнутими у сторону великих розмірів. На початку діапазону характеристики мають велику крутизну, яка поступово зменшується, тому добре відтворюються деталі сірих та світлих тонів.

Результати моделювання растрівання типових варіантів степеневі-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих тонів заданої лінійності $Lin=50$ лін/см виражені відносною площею у процентах представлені на рис.4.23.

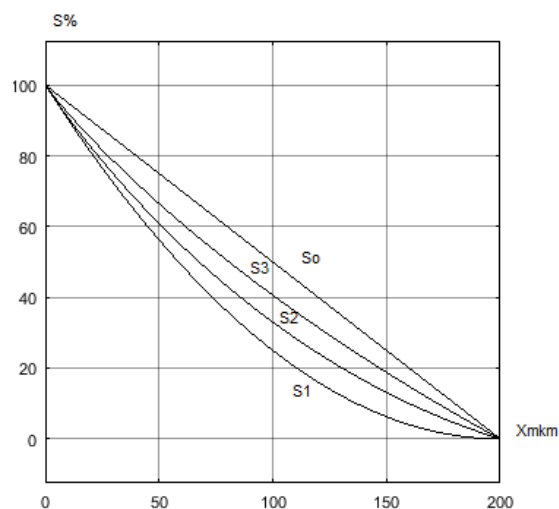


Рис. 4.23. Характеристики растрівання типових варіантів степеневі-лінійного перетворення цифрових зображень заданої лінійності для світлих тонів

Для порівняння зверху представлена характеристика растрівання лінійної шкали S0. Початкові значення площі растрових елементів дорівнюють 100%, що відповідає темним тонам. Характеристики растрівання є вгнутими кривими рівномірно розтягнутими у сторону малих площ, що відповідає світлим тонам зображень. На початку діапазону характеристики растрівання мають велику крутизну яка поступово зменшується на середньому діапазоні, внаслідок чого

добре відтворюються світлі деталі зображень. Представлені характеристики описують алгоритми растрівання типових варіантів нормованих градаційних характеристик (4.22) – (4.24). Отже розроблене степеневе-лінійне перетворення цифрових зображень забезпечує формування різних алгоритмів растрівання зображень для світлих тонів, що є його перевагою.

Тепер розглянемо типові варіанти степеневе-лінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів заданої лініатури та визначимо їх нормовані градаційні характеристики, які представлені геометричним розміром ((4.22) – (4.24)) :

$$X_4 = (0,5 \cdot X_0 + X_0^{1,5}) \cdot M, \quad (4.28)$$

$$X_5 = (0,5 \cdot X_0 + X_0^{2,5}) \cdot M, \quad (4.29)$$

$$X_6 = (0,5 \cdot X_0 + X_0^4) \cdot M, \text{ якщо } 0 \leq X_0 \leq 1 \text{ то } 0 \leq X_i \leq 1 \quad (4.30)$$

На основі викладеного і виразу (4.20) одержано вирази растрівання типових варіантів степеневе-лінійного перетворення цифрових зображень заданої лініатури для темних тонів:

$$S_4 = 1 - (0,5 \cdot X_0 - X_0^{1,5}) \cdot M, \quad (4.31)$$

$$S_5 = 1 - (0,5 \cdot X_0 - X_0^{2,5}) \cdot M, \quad (4.32)$$

$$S_6 = 1 - (0,5 \cdot X_0 - X_0^4) \cdot M, \text{ якщо } 0 \leq X_0 \leq X_k \text{ то } 0 \leq X_i \leq 1. \quad (4.33)$$

А на основі виразів (4.28) – (4.33) та рис.4.2. розробили структурну схему моделі чотирьохканального симулятора растрівання типових варіантів степеневе-лінійного перетворення цифрових зображень заданої лініату для темних тонів, яка представлена на рис.4.24.

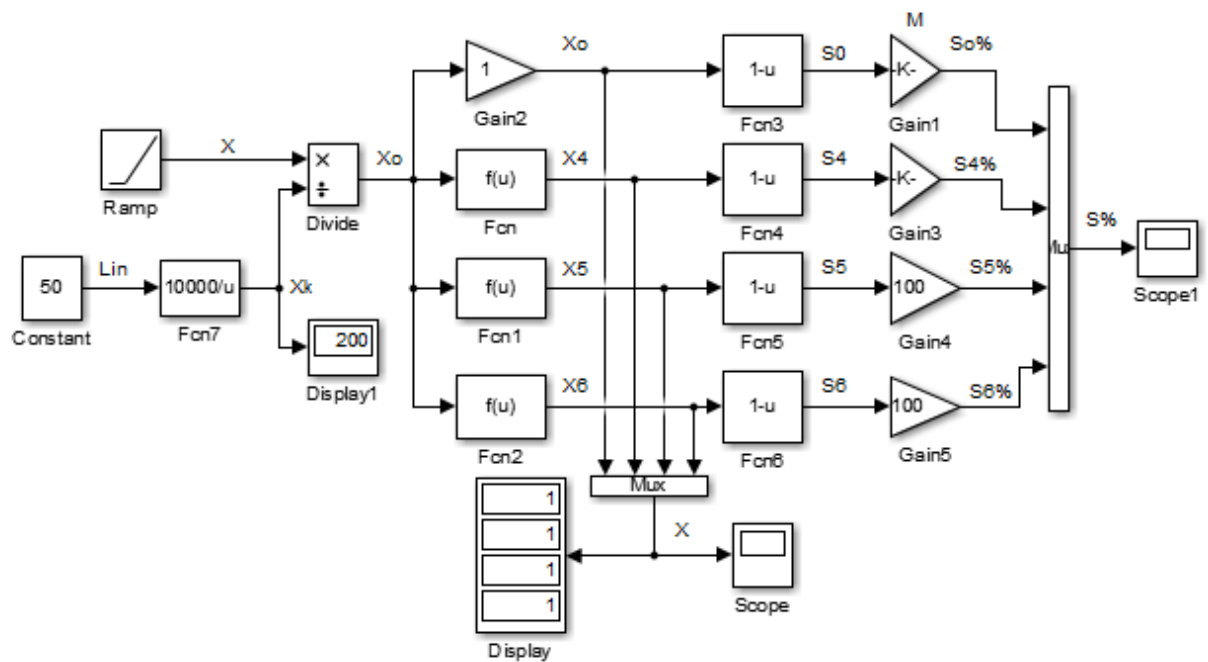


Рис. 4.24. Структурна схема моделі чотириканального симулятора растрівання типових варіантів степеневі-лінійного перетворення цифрових зображень заданої лінійності для темних тонів

Структурна схема моделі чотирьохканального симулятора растрівання типових варіантів степеневі-лінійного перетворення цифрових зображень заданої лінійності для темних тонів (рис.4.24.) формально аналогічна структурній схемі моделі чотирьохканального симулятора растрівання типових варіантів степеневі-лінійного перетворення цифрових зображень заданої лінійності для світлих тонів (рис.4.21) Однак у блоках математичних функцій Fcn , $Fcn1$, $Fcn2$ у діалогових вікнах змінили програму записавши вирази (4.28), (4.29), (4.30) для визначення геометричних розмірів, усі інші блоки залишилися незмінними.

В процесі дослідження налаштували симулятор. Для дослідження у блоці *Constant* задали лінійність $Lin=50$ лін/см. У блоках математичних функцій записали відповідні програми. У інтерактивному режимі роботи симулятора задали масштаб $M=0,6677$. Результати моделювання типових варіантів

степеневो-лінійного перетворення цифрових зображень для лініатури $Lin = 50$ лін/см виражені відносними геометричними розмірами представлені на рис.4.25.

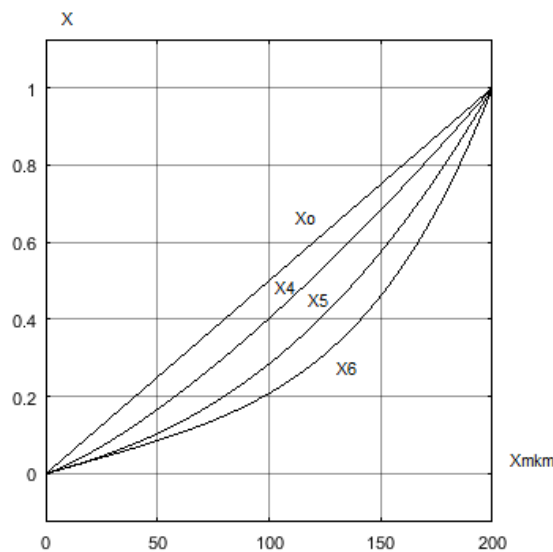


Рис. 4.25. Характеристики типових варіантів степенево-лінійного перетворення цифрових зображень заданої лініатури для темних тонів

Зверху розташована характеристика нормованої лінійної шкали. Характеристики типових варіантів степенево-лінійного перетворення цифрових зображень заданої лініатури є вгнутими кривими рівномірно розтягнутими у сторону малих геометричних розмірів. На початку діапазону характеристики мають достатню крутизну, яка поступово збільшується, відповідно добре відтворюються деталі сірих та темних тонів.

Результати моделювання растрування типових варіантів степенево-лінійного перетворення цифрових зображень заданої лініатури $Lin = 50$ лін/см для темних тонів виражених відносною площею у процентах представлені на рис.4.26.

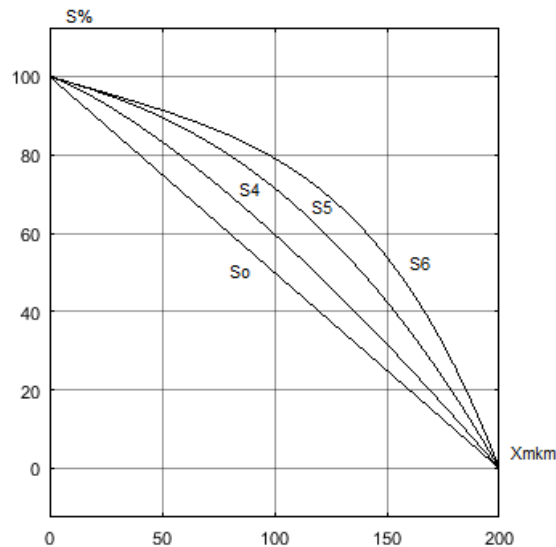


Рис. 4.26. Характеристики растрівання типових варіантів степеневно-лінійного перетворення цифрових зображень заданої лініатури для темних тонів

Для порівняння знизу представлена характеристика растрівання лінійної шкали S_0 . Початкові значення площі растрових елементів дорівнюють 100%, що відповідає темним тонам. Характеристики растрівання типових варіантів степеневно-лінійного перетворення цифрових зображень заданої лініатури є опуклими кривими рівномірно розтягнутими у сторону великих площ, що відповідає темним тонам зображень. На початку діапазону характеристики растрівання мають малу крутизну яка поступово збільшується на середньому діапазоні внаслідок чого добре відтворюються світлі деталі зображень. Представлені характеристики описують алгоритми растрівання типових варіантів нормованих градаційних характеристик (4.31) – (4.33). Отже, розроблене степеневно-лінійне перетворення цифрових зображень забезпечує формування різних алгоритмів растрівання зображень для темних тонів, що є його перевагою.

Тепер розглянемо нормоване растрове перетворення типових варіантів степеневно-лінійного перетворення цифрових зображень різної лініатури для темних тонів. Для прикладу задали лініатуру $Lin = 30; 40; 60; 80$ лін/см. За виразом (4.18) визначили геометричні розміри растрових комірок для заданої

лініатури X_k : 333; 250; 166; 125 мкм. Для вирішення поставленого завдання використано градаційні характеристики степенево-лінійного перетворення виражені геометричними розмірами типових варіантів цифрових зображень різної лініатури для темних тонів (4.28) – (4.30) і виразів їх растрівання (4.31) – (4.33). У загальному плані запишемо вираз растрівання для різної лініатури

$$S = 1 - X, \text{ якщо } 0 \leq X \leq 1 \text{ та } Lin - 30; 40; 60; 80 \text{ лін/см.} \quad (4.34)$$

На основі викладеного і виразів (4.28) – (4.30) та (4.31) – (4.33) і рис.4.19. та рис.4.24. розроблено структурну схему моделі чотирьохканального симулятора растрівання типових варіантів степенево-лінійного перетворення цифрових зображень різної лініатури для темних тонів, яка представлена на рис.4.27.

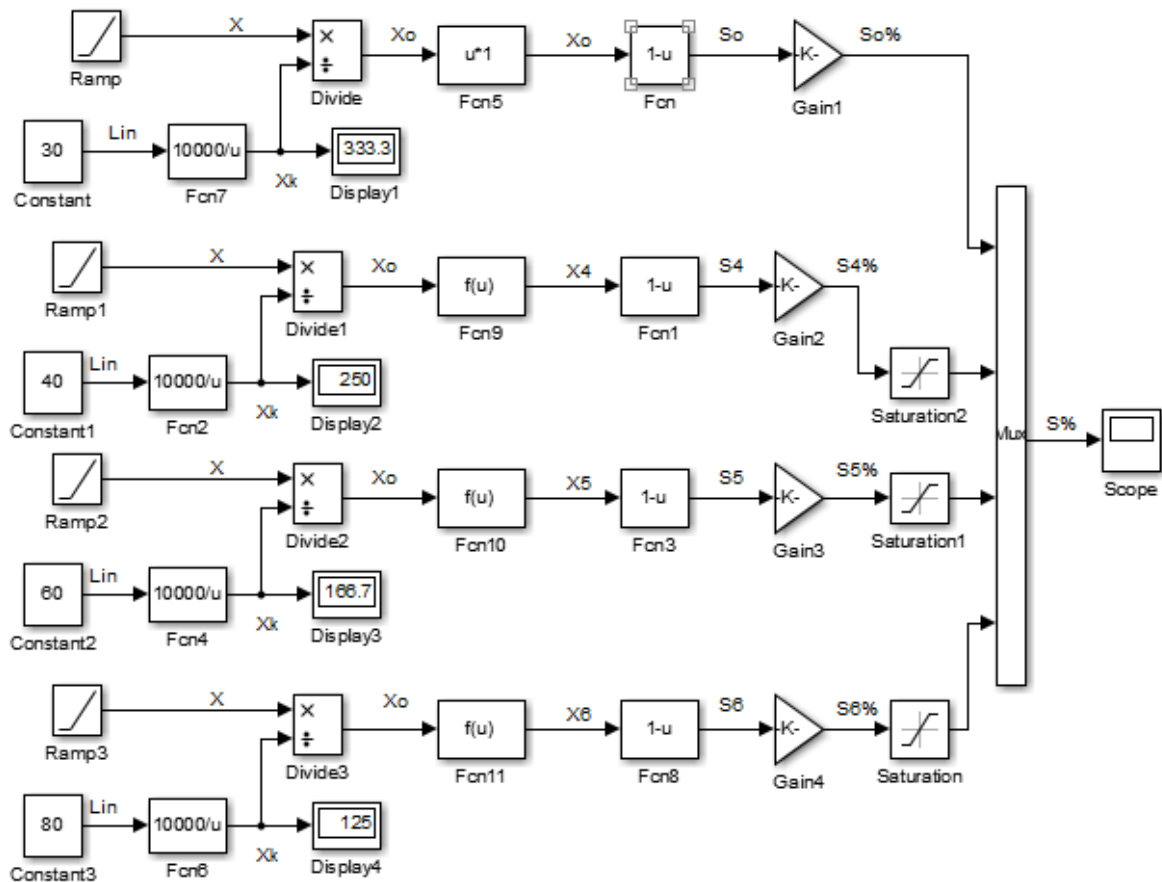


Рис. 4.27. Структурна схема моделі чотирьохканального симулятора растрівання типових варіантів степенево-лінійного перетворення цифрових зображень різної лініатури для темних тонів

У блоках *Constant* задається лініатура растра *Lin* яка подається на входи *Fcn7*, *Fcn2*, *Fcn4*, *Fcn6* (блоки математичних функцій) у яких записана програма – вираз (4.28) для визначення розмірів растрових комірок X_k . Обчислені величини подаються на входи ділення блоків *Divide* – *Divide3*, на входи множення яких подаються лінійні геометричні розміри X згенеровані блоками *Ramp* – *Ramp3*. На виході блоків *Divide* - *Divide3* одержуються нормовані геометричні розміри X_0 які подаються на входи блоків математичних функцій *Fcn9*, *Fcn10*, *Fcn11* у діалогових вікнах яких записані програми – вирази (4.28); (4.29); (4.30) для визначення нормованих градаційних характеристик типових варіантів степеневі-лінійного перетворення цифрових зображень для темних тонів X_4 ; X_5 ; X_6 Обчислені величини подаються на входи блоків математичних функцій *Fcn1*, *Fcn3*, *Fcn8* на виходах яких одержуються результати растрівання S_4 ; S_5 ; S_6 у відносних одиницях. Після чого масштабуються у блоках *Gain*, i одержуються результати растрівання в процентах $S_4\%$; $S_5\%$; $S_6\%$, які подаються на блоки обмеження *Saturation* та на входи мультиплексора *Mux* і візуалізуються блоками *Scope* та *Display*.

В процесі дослідження налаштували симулятор. У блоках *Constant* задали лініатуру растра *Lin* – 30; 40; 60; 80 лін/см. У блоках *Saturation* задали обмеження характеристик X_k : 333; 250; 166; 125 мкм. Для порівняння у першому каналі симулятора задали растрівання лінійної геометричної шкали X_0 . У блоках математичних функцій записали відповідні програми. Результат моделювання растрового перетворення типових варіантів степеневі-лінійного перетворення в процентах для зображень заданих лініатур для темних тонів представлені на рис.4.28.

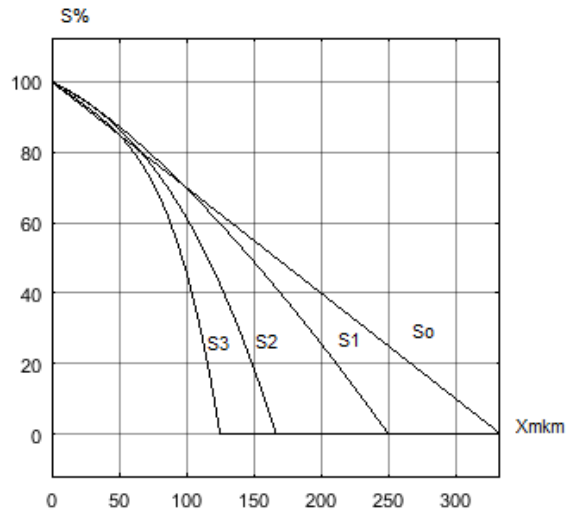


Рис. 4.28 Характеристики растрування типових варіантів ступенево-лінійного перетворення цифрових зображень заданої лінійатури для темних тонів

Початкові значення площ растрових елементів різної лінійатури дорівнює 100%, що відповідає темним тонам зображень, а кінцеві нульові значення залежать від заданої лінійатури і становлять: $X_6=125$; $X_5=166$; $X_4=256$; $X_0=330$ мкм. Характеристики растрування типових варіантів ступенево-лінійного перетворення цифрових зображень заданої лінійатури є опуклими кривими добре розтягнутими у сторону великих площ. На початку діапазону характеристики растрування мають малу крутизну, яка поступово збільшується, тому добре розрізняються деталі сірих і світлих тонів зображень. Підвищення лінійатури викликає збільшення крутизни характеристик і покращення якості зображень. Низька лінійатура 30–40 лін/см. більш чутлива до постеризації темних ділянок зображень.

В кінці розглянемо нормоване растрування ступенево-лінійного перетворення цифрових зображень різної лінійатури $Lin - 30; 40; 60; 80$ лін/см. для світлих тонів. Застосуємо градаційні характеристики, які представлені геометричними розмірами растрових елементів типових варіантів ступенево-лінійного перетворення цифрових зображень різної лінійатури, вирази (4.22), (4.23), (4.24) і вирази їх растрування (4.25), (4.26), (4.27) та у загальному плані запишемо вирази растрування різної лінійатури. (вираз 4.34)

На основі викладеного і виразів (4.22) – (4.24) та (4.25) – (4.27) розроблено структурну схему моделі чотирьохканального симулятора растрівання типових варіантів степеневого-лінійного перетворення цифрових зображень різної лінійності для світлих тонів, який аналогічний моделі чотирьохканального симулятора растрівання типових варіантів степеневого-лінійного перетворення цифрових зображень різної лінійності для темних тонів (рис.4.27.) У блоках математичних функцій другого стовпця у діалогових вікнах записали програму – вирази (4.22), (4.23), (4.24) для визначення нормованих градаційних характеристик, які подані геометричними розмірами растрових елементів. Усі інші блоки залишили незмінними.

В процесі дослідження налаштували симулятор. У блоках *Constant* задали лінійність *Lin* – 30; 40; 60; 80 лін/см. У блоках *Saturation* задали обмеження характеристик *Xk*: 333; 250; 166; 125 мкм. Для порівняння у першому каналі симулятора задали растрівання лінійної геометричної шкали *X0*. У блоках математичних функцій записали відповідні програми.

Результати моделювання растрівання типових варіантів степеневого-лінійного перетворення цифрових зображень заданої лінійності для світлих тонів в процентах представлені на рис.4.29.

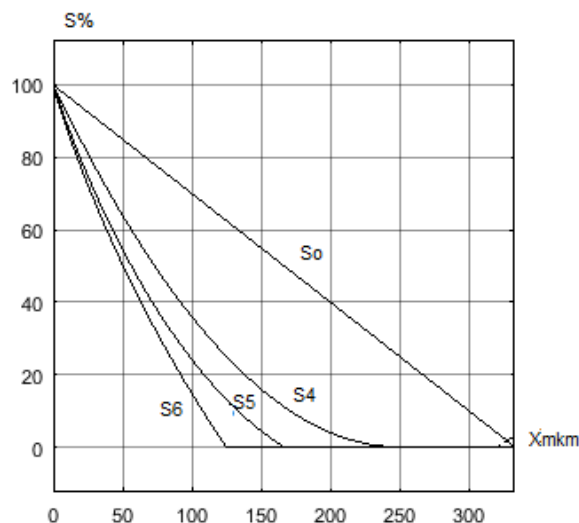


Рис. 4.29. Характеристики растрівання типових варіантів степеневого-лінійного перетворення цифрових зображень різної лінійності для світлих тонів

Початкове значення площ растрових елементів різної лініатури становить 100%, що відповідає темним тонам зображення, а кінцеве нульове значення - зміщені ліворуч і є в межах геометричних розмірів: $X_6=125$; $X_5=166$; $X_4=256$; $X_0=330$ мкм. Характеристики растрування типових варіантів степеневолінійного перетворення цифрових зображень різної лініатури є вгнутими кривими добре розтягнутими у сторону малих площ. На початку діапазону характеристики мають велику крутизну, яка поступово зменшується, тому добре розрізняються деталі сірих і темних тонів зображень. Підвищення лініатури викликає збільшення крутизни характеристик, що покращує якість зображення. Низька лініатура 30 – 40 лін/см. зміщує характеристики праворуч, зменшує їх крутизну, що погіршує якість відтворення зображень. На основі результатів моделювання растрування різної лініатури зроблено висновок, що розроблене степеневолінійне перетворення цифрових зображень різної лініатури забезпечує якісне тоновідтворення зображень при підвищенні лініатури і усуває постеризацію на темних ділянках зображень, що є його перевагою над традиційним степеневим (гама) перетворенням.

Висновки до розділу 4

1. Шляхом математичного моделювання растрування традиційного степеневого (гама) перетворення за допомогою дискретизації характеристики растрування виявлено, що на початку діапазону величина дискрет є значно більші за рівень зорового сприйняття, що викликає постеризацію – зорово помітні переходи на темних ділянках зображення при показниках степені $1,5 \leq r \leq 0,4$, що є недоцільним.
2. Доведено, що растрування розробленого степеневолінійного перетворення учуває постеризацію на темних ділянках зображень, що є його перевагою.
3. Встановлено, що алгоритми растрування степеневолінійного перетворення темних і світлих тонів мають характеристики протилежні, а їх різниці E якісно і кількісно $\pm [0,1 \leq E \leq 0,3]$ описують реакцію зорової системи на растрове зображення.

4. Розроблено моделі алгоритмів растрування степенево-лінійного перетворення темних тонів заданих лініатур Lin лін/см. і чотирьохканальний симулятор, який дає можливість розраховувати і будувати характеристики растрування заданої лініатури Lin : 30; 40; 60; 80 лін/см. Встановлено, що при низьких лініатурах 30 – 40 лін/см. характеристики растрування мають меншу крутизну, що погіршує якість зображення.
5. Розроблено модель алгоритмів растрування світлих тонів різної лініатури і симулятор растрування. Встановлено, що підвищення лініатури викликає збільшення крутизни характеристик растрування, що покращує якість зображення, натомість зменшення лініатури до 30 – 40 лін/см. зміщує характеристики праворуч, зменшуються їх крутизна, що погіршує якість відтвореного зображення.
6. На основі результатів моделювання растрування зображень різної лініатури зроблено висновок, що розроблене степенево-лінійне перетворення забезпечує якісне тоновідтворення зображень різної лініатури і усуває постеризацію на темних ділянках зображення, що є його перевагою над традиційним степеневим гама перетворенням.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано актуальне науково-прикладне завдання, розроблення інформаційної системи та технології ступенево-лінійного перетворення синтезу і коригування тоновідтворення зображення для підвищення технологічних і функціональних можливостей приготування до друкування та підвищення якості поліграфічної продукції.

Отримано такі результати:

1. Подано і проаналізовано стан розвитку інформаційних технологій та комп'ютерно-видавничих систем підготовки зображень до друку. З'ясовано, що традиційне для поліграфії коригування зображень на основі гама перетворень має обмеження щодо коригування темних тонів внаслідок постеризації (ступінчатість) – візуально помітні переходи на темних ділянках зображення, що є його суттєвим недоліком.

2. Сучасну теорію цифрової обробки, моделі, методи і перетворення зображень безпосередньо не можна застосовувати для підготовки зображень до друку, що вимагає їх розвитку та розроблення нових. У комп'ютерних видавничих системах метод обробки і коригування оснований на підборі градаційної кривої і спостереженні зображення на екрані комп'ютера є суб'єктивний оскільки залежить від знань, умінь, виробничого досвіду оператора, тому не може бути оптимальним. У доступних програмах комп'ютерної графіки не передбачена програма для побудови градаційної характеристики і характеристики растрівування, що значно обмежує можливості оператора і технолога щодо підготовки зображень до друку. Отже розроблення інформаційної технології ступенево-лінійного перетворення для коригування підготовки зображень до друку та підвищення якості поліграфічної продукції є актуальним завданням.

3. Розроблено моделі і симулятор гама перетворення, побудовано градаційні характеристики типових варіантів, графіки оптичної густини та контрастної чутливості і проаналізовано їх властивості. Встановлено, що явище постеризації обумовлене надто великою крутизною (кут нахилу) і стрибками градаційної

характеристики, які становлять: 33, 17, 19 рівнів сірого внаслідок яких виникають помітні переходи на темних ділянках зображень, що погіршує якість зображень. Розроблено моделі і симулятор модифікованого гама перетворення у яких шляхом зміщення градаційної характеристики усувається постеризація та проаналізовано їх властивості, які мають кращі показники якості відтворення світлих і темних зображень, але їх реалізація надто складна для практичних застосувань

4. Вперше розроблено математичну модель степенево-лінійного перетворення цифрових зображення на основі сумування градаційних характеристик лінійного і степеневого перетворення, яке усуває постеризації та проаналізовано їх властивості, що розширяє функціональні можливості перетворення. Розроблено три типові варіанти степенево-лінійного перетворення цифрових зображень для світлих і темних тонів. Встановлено, що абсолютний контраст світлих тонів є від'ємний, а графіки контрасту мають екстремум, максимальні значення яких становлять: $K_1 = -24,3$; $K_2 = -43,7$; $K_3 = -64$ рівнів. Натомість контраст темних тонів є додатний, а графіки мають екстремум, максимальні значення яких становлять: $K_6 = 25,8$ $K_5 = 45,8$ $K_4 = 79,6$ рівнів. Отже, степенево-лінійне перетворення дає можливість змінювати (розтягувати чи стискувати) контраст у широких межах є способом підвищення візуальної якості зображення через підсилення контрасту.

5. Розроблено моделі і симулятор растрівання для елементів квадратної форми. Встановлено, що характеристика растрівання є косинусноподібною кривою, а її перша дискрета має висоту 255 рівнів сірого і довжину 12 рівнів, друга дискрета висотою 255 і довжиною 8 рівнів, що викликає постеризацію. Якщо застосувати гама перетворення для формування алгоритмів растрівання зображень, то при показнику степені $r = 1,5$ виникає постеризація, що обмежує його можливості.

6. Створено математичні моделі і чотириканальний симулятор растрівання типових варіантів степенево-лінійного перетворення цифрових зображень, побудовано характеристики растрівання, визначено оптичну густину і різниці

характеристик растрівання від лінійної. Встановлено, що характеристики типових алгоритмів растрівання світлич тонів є вгнутими кривими добре розтягнутими у сторону світлич тонів, що забезпечує добре відтворення тонів. Натомість характеристики растрівання темних тонів є протилежними до світлич є опуклими кривими, тому добре відтворюють деталі на темних ділянках зображень і усувають постеризацію.

7. Розроблено моделі і симулятор алгоритмів растрівання степеневолінійного перетворення цифрових зображень заданих лініатур Lin: 30; 40; 60; 80 лін/см. Характеристики растрівання є розтягнутими у сторону великих геометричних розмірів комірки X_k : 333; 250; 166; 125 мкм. Встановлено, що при низьких лініатурах 30-40 лін/см характеристики растрівання мають меншу крутизну, що погіршує якість зображення. На основі результатів моделювання зроблено висновок, що розроблене степеневолінійне перетворення забезпечує якісне тоновідтворення растрових зображень різної лініатури і усуває постеризацію на темних ділянках зображень, що є його перевагою над традиційним.

8. Результати роботи пропонується використати у комп'ютерно видавничих системах на стадії підготовки зображень до друку і налагодження фарбового апарата офсетних друкарських машин на заданий наклад.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Артюшин Л.М., Дурняк Б.В., Машков О.М., Сівов М.С. Теорія автоматичного керування: навч. посіб. Львів: Вид-во УАД. 2004, 272 с.
2. Барановський І. В., Яхимович Ю. П. Поліграфічна переробка образотворчої інформації /І. В. Барановський, Ю. П. Яхимович. – Київ-Львів: ІЗМН, 1999. – 400 с.
3. Боровицький В. М., Розробка програм для цифрової обробки зображень з застосуванням OpenCV", Навчальний посібник. Київ: "Політехніка". – 2022. – 84 с.
4. Блажкевич Б.І. Топологічні методи аналізу електричних кіл. – К.: Наукова думка, 1971, 316 с.
5. Верхола М.І. Теоретико-методологічні основи розроблення інформаційних технологій для аналізу і налагодження фарбодрукарських систем: автор. дис. док.техн.наук, 05.13.06 – інформаційні технології, Львів, УАД. 2017, 40 с.
6. Верхола М. Інформаційна технологія визначення точності відтворення зображення на відбитках фарбодрукарською системою послідовно паралельної структури / М. Верхола, Б. Дурняк, І. Гук, У. Пановик // Комп'ютерні технології друкарства. 2014. № 31. С. 3-17.
7. Вовк С.М. Методи обробки зображень та комп'ютерний зір : навч. посіб. / С.М. Вовк, В.В. Гнатушенко, М.В. Бондаренко; Дніпропетр. нац. ун-т ім. Олеся Гончара. –Дніпропетровськ : Ліра, 2016, 147 с.
8. Воробель Р.А. Логарифмічна обробка зображень. Київ: Науково-виробниче підприємство «Видавництво «Наукова думка» НАН України» 2012, 322 с.
9. Власій О.О Комп'ютерна графіка. Обробка растрових зображень: Навчально-методичний посібник / О. О. Власій, О. М. Дудка. – ІваноФранківськ: ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника», 2015, 72 с.
10. Величко О. Опрацювання інформаційного потоку взаємодією елементів друкарського контакту. Київ: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет». 2005, 264 с.

11. Гавенко С.В., Гуньо С.М. Принципи моделювання технічних систем у поліграфії: навч. посіб. Львів: Манускрипт, 1996, 134 с.
12. Гавриш В.М., Дурняк Б.В., Тимченко О.В., Ющик О.В. Відтворення зображень растрованими скануючими пристроями: навч. посіб. Львів: Видво УАД. 2016, 180 с.
13. Гук І. Б., Федина Б.І., Шевчук Л.О., Хмельницький Б.І. Модифіковане гамма-перетворення зображень темних тонів. Компютерні технології друкарства. 2023. №2 (50). С.73-86.
14. Гуньо С.М. Основи поліграфії (додрукарські процеси): навч. посіб. Львів: УАД, 2010, 160 с.
15. Дурняк Б.В., Стрепко І.Т., Тітов Г.Н. Пристрої і системи цифрового друку: навч. посіб. Львів: УАД.
16. Дурняк Б.В. Видавничо-поліграфічна галузь України: стан, проблеми, тенденції. Статистично-графічний огляд: монографія / Б. В. Дурняк, А. М. Штангрет, О. В. Мельников. Львів : УАД, 2006, 274 с.
17. Дурняк Б.В., Сенківський В.М., Луцків М.М., Мусійовська М.М. Інформаційна технологія тоновідтворення в коротких фарбодрукарських системах послідовної структури: моног. Львів. УАД. 2021, 176 с.
18. Занько Н.В., Писанчин Н.С., Голубник Т.С., Маїк Л.Я, Ковальський Б.М. Колориметричні методи контролю якості кольоровідтворення в поліграфії
19. Кавин Я.М., Кавин С.Я., Кавин Б.Я., Кавин О.М. Модель цифрових зображень. Компютерні технології друкарства. 2020. № 2 (44). С. 81–88.
20. Кавин Б.Я. Аналіз інверсного поліноміального перетворення цифрових зображень темних тонів. Компютерні технології друкарства. 2024. №1 (51). С.241-251.
21. Кавин Б.Я. Визначення відносного контрасту поліноміального перетворення зображень. Компютерні технології друкарства. 2024. №2 (52). С.150-160.
22. Кавин С.Я., Гук І.Б. Моделювання растровання степеневого перетворення цифрових зображень різної тональності. Компютерні технології друкарства. 2024. № 1 (51). С. 178–186.

23. Кавин С.Я. Модифіковане гама перетворення зображень темних тонів. Комп'ютерні технології друкарства. 2024. № 2 (52). С. 126–137.
24. Кавин С.Я. Моделювання степенево - лінійного перетворення світлих зображень Вчені записки ТНУ імені В.І.Вернадського. Серія: Технічні науки, Київ: Том 36 (75). № 1 2025. С.90-95.
25. Kavyn, S. (2025). Development of a model of power-linear conversion of digital images for dark tones. Technology Audit and Production Reserves, 2 (2 (82)), 32–36.
26. Kavyn, B. (2025). Development of a model for coloring raster elements of polynomial transformation of digital images. Technology Audit and Production Reserves, 2 (2 (82)), 27–31.
27. Ковальський Б.М. Методологічні основи створення та застосування інформаційної технології кольорового друку: автор. дис. док. техн. наук, 05.13.06 – інформаційні технології. Львів: УАД. 2010, 40 с.
28. Ковальський, Б.М, Семенів, М.В., & Шовгенюк, М.В. (2016). Комп'ютерна програма синтезу зображення на відбитку для нової інформаційної та традиційних технологій кольорового друку. Science and Education a New Dimention: Natural and Technical Science, IV(10), ISSUE:91, 72-78
29. Кобилін О. А., Творошенко І. С. Методи цифрової обробки зображень: навч. посібник. Харків: ХНУРЕ, 2021, 124 с.
30. Лотошинська Н.Д., Івахів О.В. Теорія кольору та кольороутворення: навч. посіб. Видавництво Львівська Політехніка. 2014, 204 с.
31. Лавер В.О., Левчук О.М. Обробка зображень: навч.-метод. посіб. Ужгород: Вид-во ПП «АУТДОР - ШАРК», 2021. 51 с.
32. Луцків М.М. Цифрові технології друкарства: моног. Львів: УАД, 2012, 488с.
33. Луцків М.М, Курка П.З. Моделювання автотипної тонопередачі з ромбічними растровими елементами в порожній фарбодрукарській системі послідовної структури: Поліграфія і видавнича справа: 2017, №2(74). С. 13-21

34. Луцків М.М., Карпин Р.В. Моделювання передачі фарби на растровий відбиток в короткій друкарській системі паралельної структури. Компютерні технології друкарства. 2020. №2(44). С. 50-60.
35. Луцків М.М., Сідікі О.С. Модель автотипної тонопередачі растрових зображень флексографічної друкарської системи послідовної структури. Компютерні технології друкарства. 2017. №1(38). С.36-44.
36. Луцків М.М., Заремба О.П. Моделювання еліпсоїдального нормованого перетворення цифрових зображень темних тонів. Компютерні технології друкарства. 2023. №2 (50). С.73-86.
37. Луцків М.М., Федина Б.І., Кавин Б.Я. Поліномінальне перетворення цифрових зображень світлих тонів. Компютерні технології друкарства. 2023. №2 (50). С.122-133.
38. Луцків М.М., Логін В.В. Моделювання растрування експоненціального перетворення цифрових зображень світлих тонів. Компютерні технології друкарства. 2024. №2 (52). С.106-115.
39. Луцків М.М., Логін В.В. Розроблення моделі нормованого експоненціального перетворення зображень Компютерні технології друкарства. 2023. №1 (49). С.135-145.
40. Луцків М.М., Бубен В.Р. Побудова характеристики демодуляції лінійної растрової шкали. Компютерні технології друкарства. 2018. №2 (40), С.109-115.
41. Луцків М.М., Музика О.О. Моделювання растрового перетворення цифрових зображень. Компютерні технології друкарства. 2022. №2 (48). С.257-267.
42. Луцків М.М., Наконечний М.Д. Моделювання і аналіз нафарблення цифрових зображень світлих тонів. Компютерні технології друкарства. 2022. №2 (48). С.245-256.
43. Мартинюк В. Т. Основи додрукарської підготовки образотворчої інформації /В. Т. Мартинюк. – Київ: Варта, 2005.– Кн. 1. – 240 с
44. Мартинюк В.Т. Основи додрукарської підготовки інформації: підручник: Кн.2 – К.: Університет «Україна». 2009. 291 с.

45. Мельничук С. І., Ярема С. М. Офсетний друк: Навчальний посібник: у 2-х кн. Кн. 1.: Технологія та обладнання додрукарських процесів. К.: УкрНДІСВД—Ха Гар, 2000. 467 с.
46. Музика О.О. Визначення растрових тонів рівноконтрастних цифрових зображень для елементів круглої форми. Комп'ютерні технології друкарства. 2023. №1 (49). С.173-184.
47. Наконечний М.Д. Тоновідтворення друкованих цифрових зображень для растрових елементів квадратної форми. Комп'ютерні технології друкарства. 2023. №1 (49). С.161-172.
48. Овсяк В.К., Бритковський В., Овсяк О., Овсяк Ю. Синтез і дослідження алгоритмів комп'ютерних систем. – Львів: УАД. 2004, 276 с.
49. Овсяк В.К. Алгоритми: методи побудови, оптимізація і дослідження вірогідності. – Львів: Світ, 2001, 160 с.
50. Пашуля П.Л. Стандартизація, метрологія, відповідність, якість у поліграфії: підручник – Львів: УАД. 2004, 408 с.
51. Предко Л.С. Проектування додрукарських процесів: навч. посіб. – Львів: УАД, 2009, 352 с.
52. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування. – К.: Либідь, 2007. 656 с.
53. Репета В.Б. Методологічні основи забезпечення якості технологічного процесу флексографічного УФ-друку етикеткової продукції: дис. д-ра. Техн. наук: 05.05.01, «Машини і процеси поліграфічного виробництва». – Львів: УАД, 2019, 40 с.
54. Романенко В.Д. Методи автоматизації прогресивних технологій: підручник. – К: Вища школа, 1995, 519 с.
55. Русин Б.П. Системи синтезу, обробки та розпізнавання складноструктурованих зображень: - Львів: Верикаль, 1992, 264 с.
56. Розум О. Ф. Друкарство ХХІ століття. Технологія і техніка друкарства, 2004. №4. С. 4-9.

57. Сеньківський В.М., Піх І.В. Основи видавничих технологій з використанням системи PageMaker: навч. посіб. Львів: УАД. 2008. 108 с.
58. Сеньківський В.М., Козак Р.О. Автоматизоване проектування книжкових видань: моног. –Львів: УАД. 2008, 200 с.
59. Сердюк Ю.Ю. Моделювання растрування синусоїдально перетворених зображень світлих тонів. Комп'ютерні технології друкарства. 2024. №2 (52). С.116-125.
60. Сердюк Ю.Ю. Аналіз синусоїдного перетворення зображень світлих тонів. Комп'ютерні технології друкарства. 2023. №2 (50). С.59-72.
61. Ткаченко В.П., Манаков В.П. Цифровий оперативний друк: навч. посіб. – Харків: ХНУРЕ, 2007, 236 с.
62. Тотосько О.В. Цифрова обробка сигналів та зображень : навч. посіб. Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2016, 132 с.
63. Філатова Г. Є. Математичні основи обробки сигналів та зображень: теорія та практика . підручник. Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". Харків, 2021. 237 с.
64. Чехман Я.І., Сенкус В.Т., Дідич В.П., Босак В.О. Друкарське устаткування: підручник. –Львів: УАД. 2005, 468 с.
65. Хамула, О. Г. Комп'ютерно-видавничі технології: навч. посібник для спец. видавничо-поліграфічної справи. Ч. 1 / О. Г. Хамула ; Укр. академія друкарства. - Львів : [УАД], 2007, 168 с.
66. Шовгенюк М.В. Білоус В.Є., Миклушка І.З., Дудяк В.О. Ввід і вивід зображень в комп'ютерних видавничих системах. –Львів: УАД, 1998, 144 с.
67. Ющик О.В. Основи цифрової обробки зображень в комп'ютерних видавничих системах. –Львів: 1998, 141 с.
68. Ярема С.М. Карплюк В.А. Прокопчук Р.С. Офсетний друк. Кн.2: Друкарські машини, оздоблювальне та допоміжне обладнання. –К: УкрНДІСВД: ТОВ вид-во "ХАГАР", 2002, 507 с.
69. Ярема С.М. Флексографія. –К.: Либідь, 1998, 310 с.

70. Bush D. Skanowanie cyfrowe dla profesjonalistów. Warszawa: Wydawnictwo RM, 2004, 300 s.
71. Chuck G. System produkcyjne w poligrafii: Praktyczne preporad. Tłumaczenia z angielskiego. Centralny ośrodek badawczo-rozwojowy Przemysłu poligraficznego. Warszawa, 2007. 180 s.
72. Ciupalski S. Maszyny offsetowe zwojowe. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2000. 274 s.
73. Czichon H., Czichon M. Technologia form offsetowych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2012. 264 s.
74. Donnie O'Quinn. Print Publishing a Hayden Shop Manual. 201 West 103 rd. Street, Indiana-polis, Indiana. 2003-594 p.
75. Doros M. Przetwarzanie obrazów. Warszawa, Wydawca Translator s.c., 2010, 352S.
76. Durnyak B., Lutskiv M., Shepita P., Karpyn R. and Savina N. Determination of the Optical Density of Two-Parameter Tone Transfer for a Short Printing System of the Sixth Dimension. Intelligent International Technologies & Systems of Information Security: CEUR Workshop Proceedings. Vob. 2853. 2021. P.134-140.
77. Durnyak B., Lutskiv M., Shepita P., Karpyn R., Pasyeka N. Analysis of Transfer of Modulated Ink Flows in a Short Printing System of Parallel Structure. Lecture Notes on Data Engineering and Communication Technologies. 2022. Vob.134, pp.17-26
78. J.Panak, M.Ceppan, V.Dvonka, L.Karpinski, P.Kovdos, M.Mikula, S.Jakucewicz. Pobigatia: procesy i technika. Wydawnictwo COBR PP, Warszawa, 2002, 278s.
79. Jakucewicz S., Khadzhynovas S. Artystyczne techniki graficzne. Wydawnictwo Politechniki Lodzkiej, 2017. 182 s.
80. Johre Berrd Digitall Image Processing. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg. 2007-584p.
81. Kaminski B. Nowoczesny prepres. Warszawa: Wydawca: Translator s.c. 2001. 352s.

82. Khadzhynovas S., Jakucewicz S. Sposoby drukowania cyfrowego. monografia. Wydawnictwo Politechniki Lodzkiej, 2016. 152 s.
83. Khadzhynovas S. Badania jakosci nadruku w drukowaniu cyfrowym. monografia. Wydawnictwo Politechniki Lodzkiej, 2018. 180 s.
84. Mrozek B., Mrozek Z. MATLAB:Simulink: poradnik uzytkownika. Wydawnictwo Helion, Gliwce, 2020, 394S.
85. Rafael C. Gonzales, Richard E. Woods. Digital image processing: international Version 3rd Edition. Inc publishing as Prentice Hall. Copyright, 2008-1104p.
86. Wrobel Z., Koprowski R. Praktyka przetwarzania obrazow z zadaniem w programie Matlab. Wydawca EXIT. Warszawa. 2008. 278 s.