

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-78-12>

УДК 004.94+655.5

ПІСКОЗУБ Йосиф

Українська академія друкарства

<https://orcid.org/0000-0001-7978-4052>

e-mail: kpmf.uad@gmail.com

Краківський Політехнічний Університет ім. Т. Костюшко

e-mail: yosyf.piskozub@pk.edu.pl

КУДРЯШОВА Альона

Українська академія друкарства

<https://orcid.org/0000-0002-0496-1381>

e-mail: kudriashovaaliona@gmail.com

ОЛІЯРНИК Тарас

Українська академія друкарства

e-mail: oltaig3@gmail.com

МОДЕЛЬ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ЯКІСТЬ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Досліджено особливості формування якості цифрових зображень. Виокремлено та описано основні фактори, що впливають на якість растрових зображень: роздільна здатність, глибина кольору, кольорова модель, формат файлу, розмір файлу, розмір зображення, компресія, яскравість, насиченість, різкість. Продемонстровано прямі та опосередковані впливи і залежності між факторами. Для визначення рівнів пріоритетності виокремлених факторів використано метод математичного моделювання ієрархій. Розроблено матрицю досяжності, у якій наявність зв'язків між факторами позначено одиницею, а відсутність — нулем. Побудовано ітераційні таблиці, які містять порядковий номер фактора, підмножини досяжних вершин, підмножини вершин попередниць та перетини вершин підмножин. Визначено рівні пріоритетності факторів. Побудовано модель пріоритетного впливу факторів на якість растрових зображень.

Ключові слова: цифрове зображення, фактор, пріоритетність, ітерація, модель.

PISKOZUB Yosyf

Ukrainian Academy of Printing, Cracow University of Technology

KUDRIASHOVA Alona, OLIYARNYK Taras

Ukrainian Academy of Printing

THE MODEL OF FACTORS INFLUENCING THE QUALITY OF DIGITAL IMAGES

The peculiarities of quality formation of digital images have been investigated. The main factors influencing the quality of raster images have been identified and described: resolution, color depth, color model, file format, file size, image size, compression, brightness, saturation, sharpness. Direct and indirect influences and dependencies between factors have been demonstrated. To determine the priority levels of the identified factors, a method of hierarchical mathematical modeling has been used. A reachability matrix has been developed, where the presence of connections between factors is indicated by one, and absence by zero. Iterative tables have been constructed, containing the ordinal number of the factor, subsets of reachable vertices, subsets of predecessor vertices, and intersections of subsets of vertices. Priority levels of factors have been determined. A model of the priority influence of factors on the quality of raster images has been constructed.

Keywords: digital image, factor, priority, iteration, model.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Сучасні дослідження свідчать про неабияке значення цифрових зображень у різних галузях, зокрема у медицині [1, 2], освіті [3], архітектурі [4], поліграфії [5] та ін. Для прикладу, у медицині цифрові зображення дозволяють лікарям з високою точністю виявляти та діагностувати захворювання, травми та аномалії. Порівняння зображень, отриманих у різні моменти часу, демонструє прогрес лікування або рецидив хвороби. Крім того, цифрові зображення можуть передаватися через Інтернет, завдяки чому пацієнтам доступні консультації фахівців з усього світу. Використання цифрових зображень в освітній галузі сприяє покращенню навчального процесу та розширенню можливостей як для викладачів, так і для учнів чи студентів завдяки візуалізації складних концепцій, інтерактивному навчанню, доповненню дистанційного навчання та ефективнішому оцінюванню знань. В архітектурі цифрові зображення відіграють ключову роль у створенні детальних візуалізацій проєктів, дозволяючи архітекторам і клієнтам краще розуміти дизайн та просторові рішення. Вони також використовуються для моделювання та аналізу структур, забезпечуючи точність і ефективність на всіх етапах будівництва, сприяють просуванню архітектурних проєктів, роблячи їх привабливішими для потенційних інвесторів і замовників. У видавничо-поліграфічній галузі цифрові зображення є невід'ємною складовою більшості оригінал-макетів: книжок, буклетів, альбомів, етикеток тощо, а їх якість здійснює неопосередкований вплив на якість готової друкованої

продукції. Наведений перелік не є вичерпним, що свідчить про неабияку важливість та актуальність теми дослідження.

Оцінювання якості графічного матеріалу відіграє важливу роль у системах візуальної комунікації, що обумовлено можливою втратою якості на етапах отримання, стиснення, передачі та відображення візуального сигналу. Існує чимало об'єктивних та суб'єктивних підходів до оцінювання якості зображень, однак більшість із них ґрунтується на аналізі готового оригіналу, що значно сповільнює процес отримання високоякісних результатів відтворення. Суб'єктивне оцінювання може бути абсолютним та порівняльним. При абсолютному оцінюванні проводиться аналіз зображення на основі його власних характеристик, натомість при порівняльному зображенні порівнюється з іншими у певній групі, а висновок формується на основі його відповідності показникам групи. Таке оцінювання залежить від зовнішнього середовища, зокрема освітлення, якості пристроїв виведення інформації (монітора, графічного планшета тощо), сприйняття спеціалістом, що здійснює оцінювання і т. д. Цей підхід потребує значних затрат часу та наявності професійних експертів. Об'єктивне оцінювання, як і суб'єктивне, може бути абсолютним та порівняльним. Абсолютне здійснюється на основі кількісних значень параметрів конкретного зображення, наприклад, різкості та контрасту. Найпоширенішими об'єктивними порівняльними методами є визначення середньоквадратичної помилки та пікового відношення сигналу/шуму. Крім того застосовується також порівняння різкості, структурної схожості для півтонових зображень тощо [6].

Як доповнення до класичних методів, доцільно здійснювати прогностичне оцінювання якості цифрових зображень на основі відомостей про фактори, які її формують. Перевагою є можливість коригування вхідних параметрів на основі отриманого прогнозу задля досягнення бажаного рівня якості [7, 8].

Запропоноване дослідження є початковим етапом наукових розвідок щодо прогностичного оцінювання якості цифрових зображень за теорією нечітких множин, який полягає у виокремленні множини факторів впливу на якість цифрових зображень, визначенні пріоритетності факторів та побудові моделі пріоритетного впливу факторів на якість цифрових зображень.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Цифрові зображення — це представлення візуальної інформації у вигляді цифрових даних. Залежно від методу дискретизації оригіналу, цифрові зображення можуть бути растровими, векторними або комбінованими.

Растрові зображення складаються з масивів пікселів (точок), кожен з яких має своє унікальне значення кольору, інтенсивності і є найменшим елементом растрового зображення. Як правило, це зображення, які було зафіксовано або створено за допомогою цифрових пристроїв, наприклад, цифрових камер чи сканерів. Якість растрових зображень формується на основі таких параметрів, як: роздільна здатність (міра деталізації чи чіткості зображення, що визначається кількістю пікселів на одиницю довжини або площі); глибина кольору (кількість бітів, що використовуються для кодування кольору кожного пікселя); колірна модель (визначає спосіб представлення та комбінування кольорів, наприклад: RGB, CMYK, HSB, Lab та ін.); формат файлу (спосіб, у який інформація зображення зберігається у файлі, наприклад: JPEG, PNG, BMP, TIFF тощо); розмір файлу (обсяг дискового простору, який займає файл зображення); розмір зображення (кількість пікселів по ширині та висоті зображення); компресія (ступінь стиснення файлу для зменшення розміру); яскравість (міра світлової інтенсивності кольору, яка визначає наскільки світлим чи темним виглядатиме колірний тон); насиченість (міра чистоти та інтенсивності кольору); різкість (характеристика, що визначає чіткість та деталізацію зображення).

Растрові зображення забезпечують високу деталізацію та реалістичність, що є важливим для фотографій та зображень з великою кількістю деталей. Однак, особливо при великій роздільній здатності, вони можуть бути дуже об'ємними, що вимагає значної кількості пам'яті для зберігання та опрацювання. Також при збільшенні або зменшенні розмірів таких зображень може виникати втрата якості.

Векторні зображення представлені векторами, тобто математичними об'єктами, такими як точки, лінії, криві та полігони. Інформація зберігається у вигляді математичних формул, завдяки чому векторні зображення можна легко масштабувати без втрати чіткості і деталей. Крім того, векторні файли зазвичай займають менше місця, оскільки зберігають тільки інформацію про об'єкти та їхні властивості. Незважаючи на багато переваг, векторні зображення мають обмеження та недоліки: нереалістичність, складність відтворення текстур та тіней тощо.

Комбіновані зображення — це поєднання растрових і векторних елементів в одному файлі. Наприклад, векторний текст може бути вбудований в растрове зображення. Це дає можливість використовувати переваги обох типів зображень, забезпечуючи гнучкість та ефективність за різних умов використання [9].

Зважаючи на те, що цифрові зображення поділяються на кілька основних видів, описаних вище, які дуже різняться за властивостями та характеристиками, вважаємо за доцільне у даному дослідженні розглянути один з найбільш широко застосовуваних — растрові зображення.

Сформуємо множину факторів, що здійснюють вплив на якість растрових зображень: $I = \{I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6, I_7, I_8, I_9, I_{10}\}$, де I_1 — роздільна здатність, I_2 — глибина кольору, I_3 — колірна модель, I_4 — формат файлу, I_5 — розмір файлу, I_6 — розмір зображення, I_7 — компресія, I_8 — яскравість, I_9 — насиченість, I_{10} — різкість.

Продемонструємо зв'язки між факторами, використовуючи такі структурні елементи: « \wedge » — логічне «і»; « \rightarrow » — наявність прямого впливу; « \leftrightarrow » — наявність опосередкованого впливу; « \leftarrow » — наявність прямої залежності; « $\leftarrow ()$ » — наявність опосередкованої залежності; « \leftrightarrow » — відсутність впливів чи залежностей від інших факторів [10].

Впливи факторів: $I_1 \rightarrow I_5 \wedge I_1 \rightarrow I_6 \wedge I_1 \rightarrow (I_5) \wedge I_1 \rightarrow I_{10}$; $I_2 \rightarrow I_5 \wedge I_2 \rightarrow I_8 \wedge I_2 \rightarrow I_9$; $I_3 \rightarrow I_2 \wedge I_3 \rightarrow (I_5, I_8, I_9) \wedge I_3 \rightarrow I_4 \wedge I_3 \rightarrow (I_5, I_7, I_8, I_{10}) \wedge I_3 \rightarrow I_9$; $I_4 \rightarrow I_5 \wedge I_4 \rightarrow I_7 \wedge I_4 \rightarrow (I_5, I_{10}) \wedge I_4 \rightarrow I_8 \wedge I_4 \rightarrow I_{10}$; $I_5 \leftrightarrow I_5$; $I_6 \rightarrow I_5$; $I_7 \rightarrow I_5 \wedge I_7 \rightarrow I_{10}$; $I_8 \leftrightarrow I_8$; $I_9 \leftrightarrow I_9$; $I_{10} \leftrightarrow I_{10}$.

Залежності факторів: $I_1 \leftarrow I_1$; $I_2 \leftarrow I_3$; $I_3 \leftarrow I_3$; $I_4 \leftarrow I_3$; $I_5 \leftarrow I_1 \wedge I_5 \leftarrow I_2 \wedge I_5 \leftarrow (I_3) \wedge I_5 \leftarrow I_4 \wedge I_5 \leftarrow (I_3) \wedge I_5 \leftarrow I_6 \wedge I_5 \leftarrow (I_1) \wedge I_5 \leftarrow I_7 \wedge I_5 \leftarrow (I_4)$; $I_6 \leftarrow I_1$; $I_7 \leftarrow I_4 \wedge I_7 \leftarrow (I_3)$; $I_8 \leftarrow I_2 \wedge I_8 \leftarrow (I_3) \wedge I_8 \leftarrow I_4 \wedge I_8 \leftarrow (I_3)$; $I_9 \leftarrow I_2 \wedge I_9 \leftarrow (I_3) \wedge I_9 \leftarrow I_3$; $I_{10} \leftarrow I_1 \wedge I_{10} \leftarrow I_4 \wedge I_{10} \leftarrow (I_4) \wedge I_{10} \leftarrow I_7 \wedge I_{10} \leftarrow (I_4)$.

Для визначення рівнів пріоритетності виокремлених факторів використаємо метод математичного моделювання ієрархій, який полягає у виконанні таких етапів:

1. Розроблення матриці досяжності, елементи якої формуються за правилом:

$$I_{nm} = \begin{cases} 1, & \text{якщо з вершини } n \text{ можна потрапити у вершину } m \\ 0, & \text{в іншому випадку} \end{cases} \quad (1)$$

2. Побудова ітераційних таблиць на основі матриці досяжності. При цьому, ітераційні таблиці складаються з чотирьох стовпців: порядковий номер фактора (n); підмножини досяжних вершин ($D(I_n)$) — дані, наведені у рядках матриці досяжності; підмножини вершин попередниць ($P(I_n)$) — дані, наведені у стовпцях матриці досяжності; перетин вершин підмножин $S(I_n) = D(I_n) \cap P(I_n)$ — спільні фактори для $D(I_n)$ та $P(I_n)$. Співпадіння даних щодо фактора у третьому та четвертому стовпцях конкретної ітераційної таблиці свідчить про відповідний рівень його пріоритетності. Фактор із визначеною пріоритетністю відкидається та не приймає участь у подальшій ітерації [11].

На основі наведених тверджень, побудуємо матрицю досяжності факторів впливу на якість растрових зображень. Для зручності, представимо її у табличному вигляді.

Таблиця 1

Матриця досяжності

	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7	I_8	I_9	I_{10}
I_1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1
I_2	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0
I_3	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0
I_4	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1
I_5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
I_6	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
I_7	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1
I_8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
I_9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
I_{10}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Сформуємо ітераційні таблиці, використовуючи дані, представлені у матриці досяжності.

Таблиця 2

Перший рівень ітерації

n	$D(I_n)$	$P(I_n)$	$D(I_n) \cap P(I_n)$
1	1, 5, 6, 10	1	1
2	2, 5, 8, 9	2, 3	2
3	2, 3, 4, 5, 7, 8, 9	3	3
4	4, 5, 7, 8, 10	3, 4	4
5	5	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	5
6	5, 6	1, 6	6
7	5, 7, 10	3, 4, 7	7
8	8	2, 3, 4, 8	8
9	9	2, 3, 9	9
10	10	1, 4, 7, 10	10

Таблиця 3

Другий рівень ітерації

n	$D(I_n)$	$P(I_n)$	$D(I_n) \cap P(I_n)$
2	2, 5, 8, 9	2	2
4	4, 5, 7, 8, 10	4	4
5	5	2, 4, 5, 6, 7	5
6	5, 6	6	6
7	5, 7, 10	4, 7	7
8	8	2, 4, 8	8
9	9	2, 9	9
10	10	4, 7, 10	10

Таблиця 4

Третій рівень ітерації

n	$D(I_n)$	$P(I_n)$	$D(I_n) \cap P(I_n)$
5	5	5, 7	5
7	5, 7, 10	7	7
8	8	8	8
9	9	9	9
10	10	7, 10	10

Таблиця 5

Четвертий рівень ітерації

n	$D(I_n)$	$P(I_n)$	$D(I_n) \cap P(I_n)$
5	5	5	5
10	10	10	10

За результатами ітерації отримано такий розподіл факторів за рівнями пріоритетності:

- 1-й рівень: I_1 — роздільна здатність, I_3 — колірна модель;
- 2-й рівень: I_2 — глибина кольору, I_4 — формат файлу, I_6 — розмір зображення;
- 3-й рівень: I_7 — компресія, I_8 — яскравість, I_9 — насиченість;
- 4-й рівень: I_5 — розмір файлу, I_{10} — різкість.

Відповідно, модель пріоритетного впливу факторів на якість цифрових (растрових) зображень матиме вид:



Рис. 1. Модель пріоритетного впливу факторів на якість цифрових (растрових) зображень

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО РОЗВИТКУ У ДАНОМУ НАПРЯМІ

У запропонованому дослідженні на основі експертного оцінювання виокремлено множину факторів впливу на якість растрових зображень, що містить такі фактори: роздільна здатність, глибина кольору, колірна модель, формат файлу, розмір файлу, розмір зображення, компресія, яскравість, насиченість, різкість. Сформовано матрицю досяжності, що відображає взаємозв'язки між факторами. Визначено рівні пріоритетності факторів за допомогою ітераційних таблиць. Побудовано модель пріоритетного впливу факторів на якість растрових зображень, згідно якої найвищий рівень пріоритетності належить факторам роздільна здатність та колірна модель, а найнижчий — розмір файлу та різкість, що є логічним з технологічної точки зору.

Перспективи подальшого розвитку полягають у оптимізації вагових значень факторів за методами багатокритеріальної оптимізації та попарних порівнянь, побудові багаторівневої моделі нечіткого логічного виведення процесу формування інтегрального показника якості цифрових зображень, формуванні нечітких множин щодо кожної лінгвістичної змінної, побудові нечітких баз знань, матриць знань та нечітких логічних рівнянь задля визначення інтегрального показника якості цифрових зображень.

Література

1. Jensen C. T., Liu X., Tamm E. P., et al. Image quality assessment of abdominal CT by use of new deep learning image reconstruction: initial experience. *American Journal of Roentgenology*. 2020. 215(1). Pp. 50–57. <https://doi.org/10.2214/AJR.19.22332>.
2. Hermessi H., Mourali O., Zagrouba E. Multimodal medical image fusion review: Theoretical background and recent advances. *Signal Processing*. 2021. 183, 108036. <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2021.108036>.
3. Maas M. J., Hughes J. M. Virtual, augmented and mixed reality in K–12 education: A review of the literature. *Technology, Pedagogy and Education*. 2020. 29(2). P. 231–249. <https://doi.org/10.1080/1475939X.2020.1737210>.
4. Jang H., Kiyun Yu., Yang, J. Indoor reconstruction from floorplan images with a deep learning approach. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2020. 9(2), 65. <https://doi.org/10.3390/ijgi9020065>.
5. Сеньківський В. М., Кудряшова А. В., Козак Р. О. Інформаційна технологія формування якості редакційно-видавничого процесу: Монографія. Львів : УАД, 2019. 272 с.
6. Zhai G., Min X. Perceptual image quality assessment: a survey. *Science China Information Sciences*. 2020. 63. P. 1–52.
7. Сеньківський В. М., Кудряшова А. В. Моделі інформаційної технології проектування післядрукарських процесів: Монографія. Львів : УАД, 2022. 204 с.
8. Senkivskiy V., Kudriashova A., Pikh I., Hileta I., Lytovchenko O. Models of Post-press Processes Designing. 1st International Workshop on Digital Content & Smart Multimedia, DCSSmart 2019, Lviv, Ukraine, December 23–25, 2019. Pp. 259–270.
9. Кобилін О. А., Творошенко І. С. Методи цифрової обробки зображень : Навч. посібник. Харків: ХНУРЕ, 2021. 124 с.
10. Сеньківський В. М., Кудряшова А. В. Формалізоване подання зв'язків між факторами проектування післядрукарських процесів. *Поліграфія і видавнича справа*. 2019. № 1 (77). С. 70–77, <https://doi.org/10.32403/0554-4866-2019-1-77-70-77>.
11. Кудряшова А. В. Модель пріоритетного впливу факторів на якість післядрукарських процесів. *Measuring and Computing Devices in Technological Processes*. 2023. № 1. С. 187–192, <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2023-73-1-25>.

References

1. Jensen C. T., Liu X., Tamm E. P., et al. Image quality assessment of abdominal CT by use of new deep learning image reconstruction: initial experience. *American Journal of Roentgenology*. 2020. 215(1). Pp. 50–57. <https://doi.org/10.2214/AJR.19.22332>.
2. Hermessi H., Mourali O., Zagrouba E. Multimodal medical image fusion review: Theoretical background and recent advances. *Signal Processing*. 2021. 183, 108036. <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2021.108036>.
3. Maas M. J., Hughes J. M. Virtual, augmented and mixed reality in K–12 education: A review of the literature. *Technology, Pedagogy and Education*. 2020. 29(2). P. 231–249. <https://doi.org/10.1080/1475939X.2020.1737210>.
4. Jang H., Kiyun Yu., Yang, J. Indoor reconstruction from floorplan images with a deep learning approach. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2020. 9(2), 65. <https://doi.org/10.3390/ijgi9020065>.
5. Senkivskiy V. M., Kudriashova A. V., Kozak R. O. Information Technology for Quality Formation of the Editorial and Publishing Process : Monograph. Lviv: UAP, 2019. 272 p.
6. Zhai G., Min X. Perceptual image quality assessment: a survey. *Science China Information Sciences*. 2020. 63. P. 1–52.
7. Senkivskiy V. M., Kudriashova A. V. Models of Information Technology for Post-Printing Processes Design : Monograph. Lviv: UAP, 2022. 204 p.
8. Senkivskiy V., Kudriashova A., Pikh I., Hileta I., Lytovchenko O. Models of Post-press Processes Designing. 1st International Workshop on Digital Content & Smart Multimedia, DCSSmart 2019, Lviv, Ukraine, December 23–25, 2019. Pp. 259–270.
9. Kobylun O. A., Tvoroshenko I. S. Methods of Digital Image Processing : Textbook. Kharkiv: NURE, 2021. 124 p.
10. Senkivskiy V. M., Kudriashova A. V. Formalized Presentation of Relations Between Factors of Postpress Processes Design. *Printing and Publishing*. 2019. № 1 (77). Pp. 70–77, <https://doi.org/10.32403/0554-4866-2019-1-77-70-77>.
11. Kudriashova A. V. A Model of the Priority Influence of Factors on the Quality of Post-Printing Processes. *Measuring and Computing Devices in Technological Processes*. 2023. № 1. Pp. 187–192, <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2023-73-1-25>.