

УДК 535.6

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПОЄДНАННЯ КОЛЬОРІВ У ПРОСТОРІ ICaS

М. Р. Семенів, В. В. Семенів

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

Важливим етапом при створенні дизайну поліграфічної продукції є вибір гармонійного поєднання кольорів. Популярні вебресурси для визначення кольорових палітр створюють палітри кольорів за певною кольірною схемою та з домінантних кольорів на зображенні. Здійснено аналіз функцій вебресурсів гармонійного поєднання кольорів. Найширшими можливостями роботи з палітрою кольорів володіють AdobeColor та Pantone Connect. Colormunki працює з кольорами системи Munsell та PANTONE, тому такий ресурс рекомендовано використовувати дизайнеру при підготовці до друку видання. Застосовано яскравісно-хроматичну модель у методиці підбору кольорів. Здійснено перерахунок отриманих кольорів у простір ICaS, який забезпечує спрощений та прискорений перерахунок кольірних даних. Описано математичну модель поєднання кольорів у просторі ICaS та розроблено блок-схему алгоритму її реалізації. Використання саме простору ICaS забезпечує створення палітри гармонійного поєднання кольорів, розміщених чітко в одній хроматичній площині, яка характеризується постійним значенням яскравості.

Ключові слова: гармонійне поєднання кольорів, палітра кольорів, кольорна схема, домінантні кольори на зображенні, кольірний простір ICaS, математична модель.

Постановка проблеми. Вибір кольорової палітри є одним з найважливіших етапів у процесі створення дизайну поліграфічної продукції, а особливо рекламної. На сьогодні існує понад 50 ресурсів, присвячених створенню кольорових палітр, підбору домінантних кольорів на зображенні. Більшість з цих ресурсів розраховані на вебдизайнерів. Такі ресурси представляють колір в шістнадцятковому кольоровому коді, в моделі RGB, HSV, пропонують переглянути варіанти дизайну сайтів у відповідній гамі кольорів. Проте створені ними палітри кольорів можна застосовувати і в дизайні інтер'єрів та різноманітної продукції, зокрема поліграфічної. Популярні серед вебресурсів підбору кольорових палітр AdobeColor, Colordb, ColorExplorer, Colormunki Design, Copaso, Photocora та інші. Ці ресурси мають найширший спектр функцій, які можна поділити на дві категорії: створення палітри кольорів за певною кольірною схемою (аналогічна, комплементарна, спліт-комплементарна, тріадна та інші) та палітри кольорів з домінантних кольорів зображення. Створення палітри кольорів за певною кольірною схемою буде актуальним для векторної графіки, а

саме логотипів, графічного оформлення та дизайну етикеток та упаковки. Палітра з домінантних кольорів зображення забезпечить якісний дизайн афіш, рекламних буклетів, журналів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питання гармонійного поєднання кольорів привертає увагу багатьох дослідників, які вивчають естетичні концепції та оцінку зображень. У статті [1] була здійснена класифікація гармонійного поєднання кольорів за допомогою основних концепцій колірних схем. Кольорокорекція зображень є популярним, проте трудомістким процесом. Автори [2] розробили інноваційний інструмент для редагування зображень, який базується на теорії гармонійного поєднання кольорів. Метод, реалізований у роботі [3], може точно та ефективно відобразити гармонійне поєднання кольорів складних зображень. Гармонійне поєднання кольорів застосовують як один з найважливіших естетичних стандартів у дослідженні просторового контексту об'єктів [4]. Особливістю алгоритму гармонійного поєднання кольорів США [5] є моделювання пошукової поведінки шляхом поєднання кольорів на основі їх взаємного розташування у системі кольорів Манселла. Дизайн за колірними схемами є важливим процесом при розробці образотворчої інформації. У статті [6] пропонується метод автоматичного створення набору варіантів кольорових макетів шляхом налаштування кількох ретельно підібраних колірних параметрів з гармонійним поєднанням.

Отже, застосування гармонійного поєднання кольорів та колірних схем має не тільки практичну цінність для вирішення конкретних завдань, але й надає широкі можливості використання в наукових дослідженнях, які сприяють створенню нових методів та моделей пошуку, просторового контексту та редагування зображень.

Відомо, що органи зору людини менш чутливі до колірному тону, ніж до яскравості. Тому застосування яскравісно-хроматичної моделі в методиці підбору кольорів забезпечує кращі результати. Застосування колірному простору ICaS, який відповідає вимогам видавничої системи, забезпечить спрощений та прискорений перерахунок колірних даних та об'єднання двох систем подання кольору RGB та CMYK на колірній діаграмі.

Мета статті – аналіз роботи вебресурсів зі створення палітр кольорів та розробка алгоритму гармонійного поєднання кольорів з використанням простору ICaS. Відповідно до мети сформульовані наступні завдання: здійснити аналіз функціональних можливостей вебресурсів поєднання кольорів; представити у просторі ICaS результати гармонійного поєднання кольорів одного з вебресурсів; описати математичну модель гармонійного поєднання кольорів у просторі ICaS за основними колірними схемами.

Виклад основного матеріалу дослідження. Досліджувані вебресурси підбору кольорів – AdobeColor, Colordb, ColorExplorer, Colormunki Design, COTW (Colors on the Web), Colrd, Copaso, Paletton, Pantone Connect, Photocopa. Аналіз здійснено за такими категоріями: 1) можливість власних налаштувань кольору; 2) застосовувані моделі кольору; 3) застосовувані колірні схеми гармонійного поєднання; 4) можливість збереження палітри кольорів у текстовому файлі; 5) наявність симуляції

колірної сліпоти; 6) визначення домінантних кольорів зображення; 7) можливість отримати зразки кольорів; 8) узгодження результатів поєднання кольорів.

Можливість редагування кольорів створеної палітри наявна майже у всіх розглянутих вебресурсах. Колірні моделі представлені широким спектром: найчастіше використовуються моделі RGB, HSV та CIE Lab. У всіх ресурсах є кодування кольору в шістнадцятковій системі числення. Це пояснюється тим, що вебресурси, перш за все, розраховані на визначення гармонійного поєднання кольорів для дизайну вебсторінок, і саме ця система застосовується в HTML-верстці. Вебресурси, які створюють палітру кольорів для базового кольору із застосуванням класичних кольірних схем, виглядають професійно, забезпечують більше варіантів кольорових палітр.

Збереження палітри кольорів є необхідною умовою швидкої і якісної роботи з даними ресурсами. Варто виділити два ресурси: 1) Colrd – зберігає палітру кольорів у бібліотеки програм растрової та векторної графіки (PhotoShop, Illustrator, Gimp); 2) Paletton – зберігає у текстових файлах детальну інформацію про кольори палітри.

Приблизно 8 % чоловіків і 0,5 % жінок страждають від певної форми колірної сліпоти. Візуальні симулятори можуть використовуватися для імітації проблем із зором, що допоможе зробити дизайн доступним для користувачів з вадами зору. Такою функцією володіють лише два з десяти розглянутих ресурсів – AdobeColor та Paletton.

Визначення домінантних кольірних тонів зображення – техніка, яка використовується для вибору кольорової палітри для сайту, елементів користувацького інтерфейсу, а також для сортування зображень за колірною гамою, що спрощує їх пошук.

Наявність такої можливості, як “підбір зразків”, визначає сферу застосування вебресурсу. Так, Colormunki працює виключно з кольорами системи Munsell та PANTONE Goe coated. Обрані зразки кольорів із системи Манселла порівнюються із аналогічними або подібними кольорами атласу PANTONE. А для кольорів з палітри PANTONE знаходяться відповідні кольори моделі СМΥК з різними умовами друку (тип паперу). Тому такий ресурс однозначно має використовувати дизайнер, який, окрім знань з теорії кольору, володіє навиками підготовки до друку видання. І, відповідно, вебресурси Paletton та Colordb допоможуть вебдизайнерові швидко застосувати обрану палітру кольорів в оформленні сайту або його частин.

За підсумками балів наявності тих чи інших функцій розглянутих вебресурсів побудовано гістограму (рис. 1). Найширші можливості роботи з палітрою кольорів пропонують AdobeColor та Pantone Connect. Переваги застосування Paletton – зручний формат файлів збереження даних про палітру кольорів. Для визначення домінантних кольорів на зображенні рекомендуємо застосовувати Colord та AdobeColor, а для професійної роботи з палітрою кольорів, призначених для друку, – Colormunki Design та Pantone Connect.

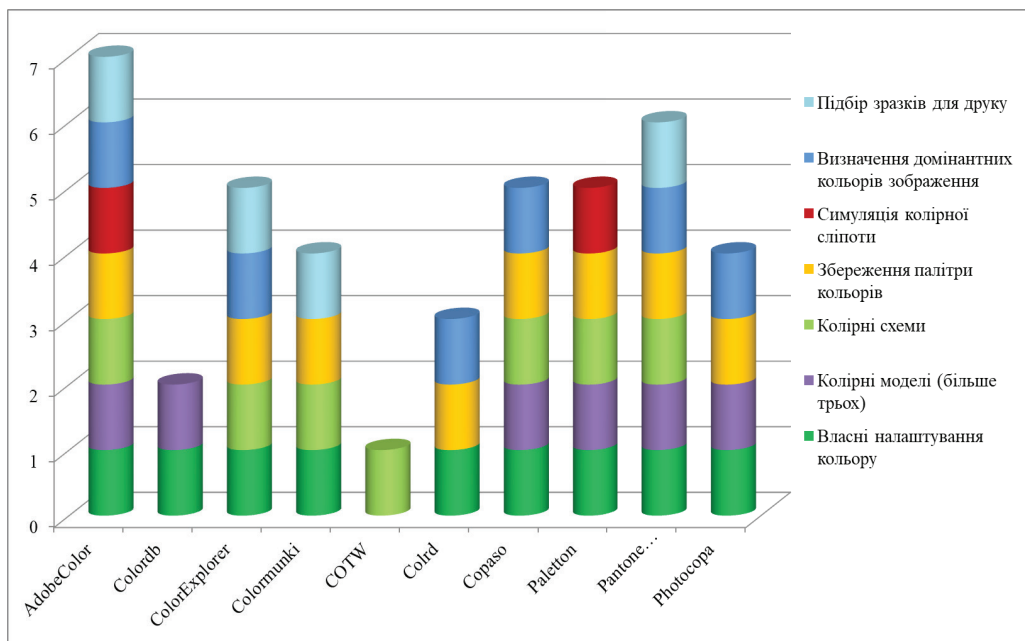


Рис. 1. Функції вебресурсів для створення кольорових палітр

Для створення палітр кольорів з різними колірними схемами використано вебресурс AdobeColor, який в результаті аналізу набрав найбільшу суму балів. Гармонійне поєднання кольорів у AdobeColor здійснюється за такими колірними схемами: комплементарна (Complementary), спліт-комплементарна (Split-Complementary), аналогічна (Analogous), тріадна (Triad), подвійна спліт-комплементарна (Double Split-Complementary), квадратна (Square), монохроматична (Monochromatic). Комплементарна колірна схема (Complementary) є основою всіх гармонійних поєднань кольорів. Доповнювальні (комплементарні) кольори — це кольори, розташовані на протилежних кінцях колірного круга; вони можуть бути основними, вторинними або третинними кольорами. Розділені доповнювальні поєднання (Split-Complementary) мають один ключовий колір і два суміжні кольори. Аналогічні колірні схеми (Analogous) складаються з трьох кольорів, які розташовані один біля одного на колірному крузі. Тріадні поєднання кольорів (Triad) складаються з трьох кольорів, рівномірно розташованих на колірному крузі. Подвійна спліт-комплементарна схема має чотири окремі кольори: ключовий колір і три кольори, які розміщені на однаковій відстані від основного кольору на колірному крузі. Квадратні кольорові схеми складаються з чотирьох кольорів, рівномірно розташованих навколо колірного круга. Монохроматичні колірні схеми використовують єдиний базовий відтінок і розширюють колірну схему за допомогою різних тонів і відтінків цього сімейства кольорів [7, 8].

Розглянуті колірні схеми гармонійного поєднання кольорів використовуємо для визначення палітри кольорів у ортогональному просторі ICaS. У результаті

дослідження неортогональних колірних просторів отримано загальне матричне рівняння хроматичних координат кольору, яке відповідає сприйняттю кольору людиною. Загальне рівняння хроматичних координат після врахування умови ортогональності зводиться до матриці простору ICaS [9]. Рівномірність ICaS простору перевірено за допомогою ізохром Манселла та ізохром, отриманих за візуальними даними [10].

Колір на екрані монітора представлений у моделі RGB. Перехід від моделі RGB до простору ICaS здійснюється за наступними формулами (1–2):

$$r = \left(\frac{R}{255} \right)^{\gamma}; \quad g = \left(\frac{G}{255} \right)^{\gamma}; \quad b = \left(\frac{B}{255} \right)^{\gamma}, \quad (1)$$

де R, G, B – лінійні координати простору RGB; r, g, b – координати кольору в одній з колірних систем RGB (Adobe RGB (1998), sRGB, CIE RGB); γ – значення гамма колірної системи RGB (для більшості рівна 2,2).

Перехід до колірного простору ICaS здійснюється за допомогою матриці Хартлі:

$$\begin{bmatrix} I \\ C \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.57735 & 0.57735 & 0.57735 \\ 0.57735 & 0.21132 & -0.78867 \\ 0.57735 & -0.78867 & 0.21132 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix}, \quad (2)$$

де I, C, S – координати простору ICaS.

Для опису кольору в просторі ICaS використовуються три координати: ахроматична координата I та дві хроматичні – C і S . Ахроматична координата I однозначно і повністю описує ахроматичну (нейтрально-сіру) компоненту кольору [11]. Хроматичні координати C і S на хроматичній CaS-площині однозначно і повністю описують для довільно вибраного кольору $R_r G_r B_r$ його характеристики – хроматичність Cr_i (Chroma) і колірний тон H_i (Hue), які визначаються за формулами:

$$Cr_i = \sqrt{C_i^2 + S_i^2}; \quad H_i = \begin{cases} \left(\arccos \frac{C_i}{Cr_i} \right) \times \frac{180}{\pi}, & \text{if } S_i \geq 0 \\ 360 - \left(\arccos \frac{C_i}{Cr_i} \right) \times \frac{180}{\pi}, & \text{if } S_i < 0 \end{cases} \quad (3)$$

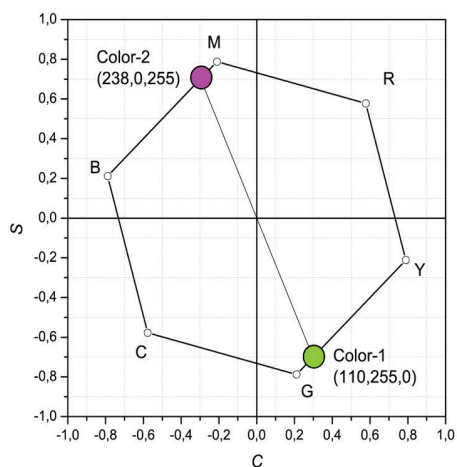
Значення хроматичності доповнювальних кольорів у різних колірних схемах дорівнює хроматичності базового кольору. Розглянемо застосування класичних колірних схем поєднання кольорів у просторі ICaS. Більшість колірних схем мають один базовий колір та від одного до чотирьох кольорів, знайдених за однією з колірних схем. За допомогою Adobe Color визначаємо кольори для поєднання з базовим кольором з використанням шести колірних схем. Здійснюємо перерахунок отриманих кольорів у простір ICaS, визначаємо їх хроматичність та колірний тон (табл.).

Таблиця

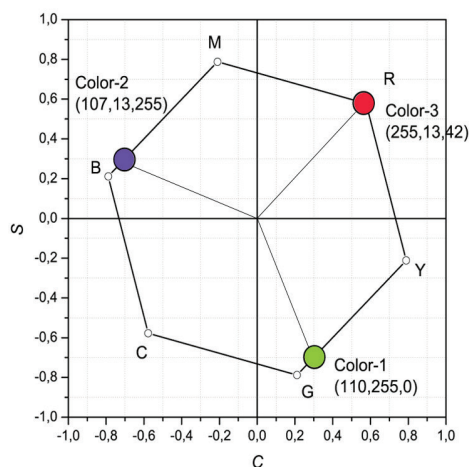
Гармонійне поєднання кольорів

Колірна схема	Значення RGB	Координати простору ICaS	Хроматичність, Cr	Колірний тон, H
	Базовий колір			
	110;255;0	0.67;0.30;-0.70	0.76	293
	Доповнювальні кольори			
Комплементарна	238;0;255	1.07;-0.29;0.71	0.77	112
Спліт-комплементарна	107;13;255	0.66;-0.70;0.30	0.76	157
	255;13;42	0.59;0.56;0.58	0.81	46
Аналогічна	184;232;12	0.75;0.45;-0.36	0.58	322
	30;232;12	0.47;0.18;-0.64	0.66	285
Тріада	25;60;255	0.60;-0.78;0.18	0.8	167
	255;84;25	0.63;0.59;0.51	0.78	41
Подвійна спліт-комплементарна	13;255;65	0.61;0.17;-0.78	0.80	283
	115;25;255	0.68;-0.69;0.31	0.75	156
	255;25;53	0.60;0.55;0.58	0.80	46
	255;246;13	1.11;0.77;-0.15	0.79	349
Квадратна	25;181;255	0.85;-0.69;-0.16	0.70	193
	240;25;255	1.09;-0.28;0.71	0.77	112
	255;146;13	0.75;0.64;0.35	0.73	29

Значення ахроматичної компоненти (координати I) отриманих доповнювальних кольорів в межах 0.47–1.1 вказує на те, що кольори знаходяться на різних хроматичних площинах в просторі ICaS. Дисперсія хроматичності 0.05 підтверджує досить точний підрахунок кольорів за їх хроматичною складовою. Саме колірний тон H визначає розміщення точки доповнювального кольору на колірному крузі, аналогічно колірному тону в системі HSB. Положення точок кольорів у просторі ICaS на хроматичній площині показано на рисунках 2–4. В схемі комплементарних кольорів колірний тон буде зміщений на 180° відносно базового на колірному крузі (рис. 2а). В спліт-комплементарній – між базовим і вторинними векторами кольорів кут 113° та 136° , між вторинними – кут 111° (рис. 2б). Вектори аналогічних кольорів на хроматичній площині будуть зміщені один відносно одного на 8° та 29° (рис. 3а). В кольоровій тріаді вектори кольорів зміщені на 126° та 108° (рис. 3б).

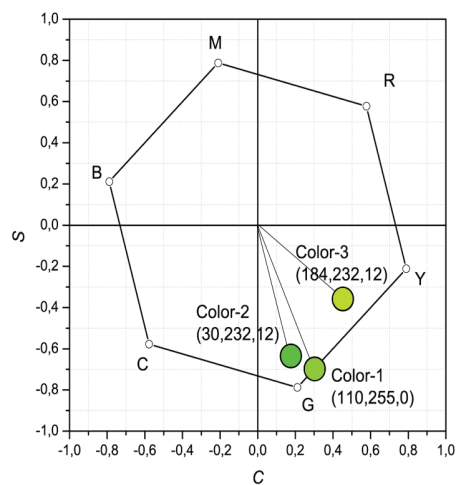


а)

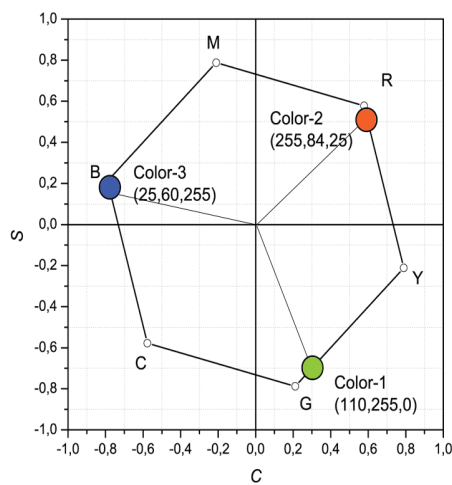


б)

Рис. 2. Комплементарні (а) та спліт-комплементарні кольори (б) в просторі ICaS



а)



б)

Рис. 3. Аналогічні кольори (а) та Тріада кольорів (б) на хроматичній площині простору ICaS

В подвійній спліт-комплементарній схемі кут між векторами кольорів має бути 60° та 120° , проте розраховано 56° , 57° та 110° , 127° (рис. 4а). В квадратній схемі має бути 90° , отримано 81° , 83° , 96° та 100° (рис. 4б).

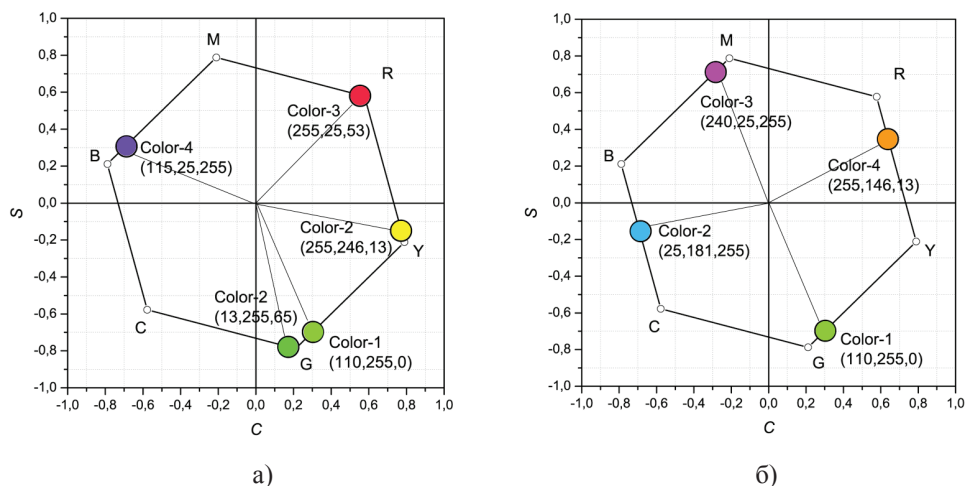


Рис. 4. Подвійні спліт-комплементарні кольори (а) та квадратна схема поєднання кольорів (б) на хроматичній площині простору ICaS

Причина використання саме простору ICaS полягає в тому, що даний простір належить до яскравісно-хроматичних моделей представлення кольору. Нашим першочерговим завданням є розмістити кольори чітко в одній хроматичній площині, яка характеризується постійним значенням яскравості. Проте такий підхід призводить до отримання різного значення хроматичності у зв'язку з різною кількістю кольорів на хроматичній площині постійної яскравості (рис. 5). Тому завжди є компроміс між постійним значенням ахроматичної складової та постійним значенням хроматичності кольорів, які належать до палітри гармонійного поєднання.

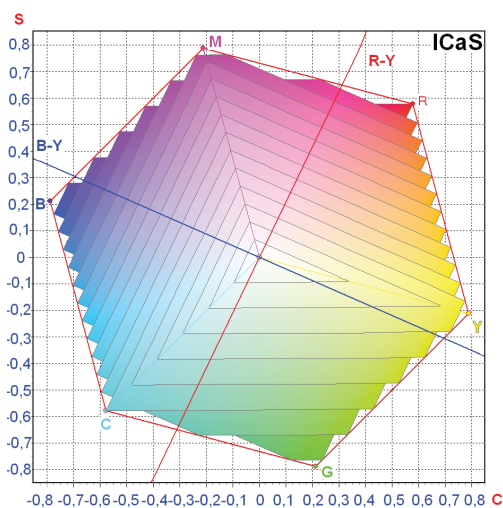


Рис. 5. Площини постійної яскравості на хроматичній CaS-діаграмі

Розроблена блок-схема алгоритму реалізації математичної моделі гармонійного поєднання кольорів у просторі ICaS (рис. 6). Вхідні значення координат кольору RGB лінеаризуємо за допомогою степені гамма. Перемноженням значень RGB на відповідні рядки та стовпці матриці Хартлі отримуємо координати кольору в просторі ICaS. Після чого визначаємо за формулами (3) хроматичність та колірний тон базового кольору. Порядкові номери колірних схем поєднання кольорів: 1 – комплементарні кольори, 2 – спліт-комплементарні кольори; 3 – аналогічні кольори; 4 – тріадні кольори; 5 – подвійні спліт-комплементарні кольори; 6 – квадратна схема поєднання кольорів. Від схеми буде залежати кількість шуканих кольорів та кут між їхніми векторами.

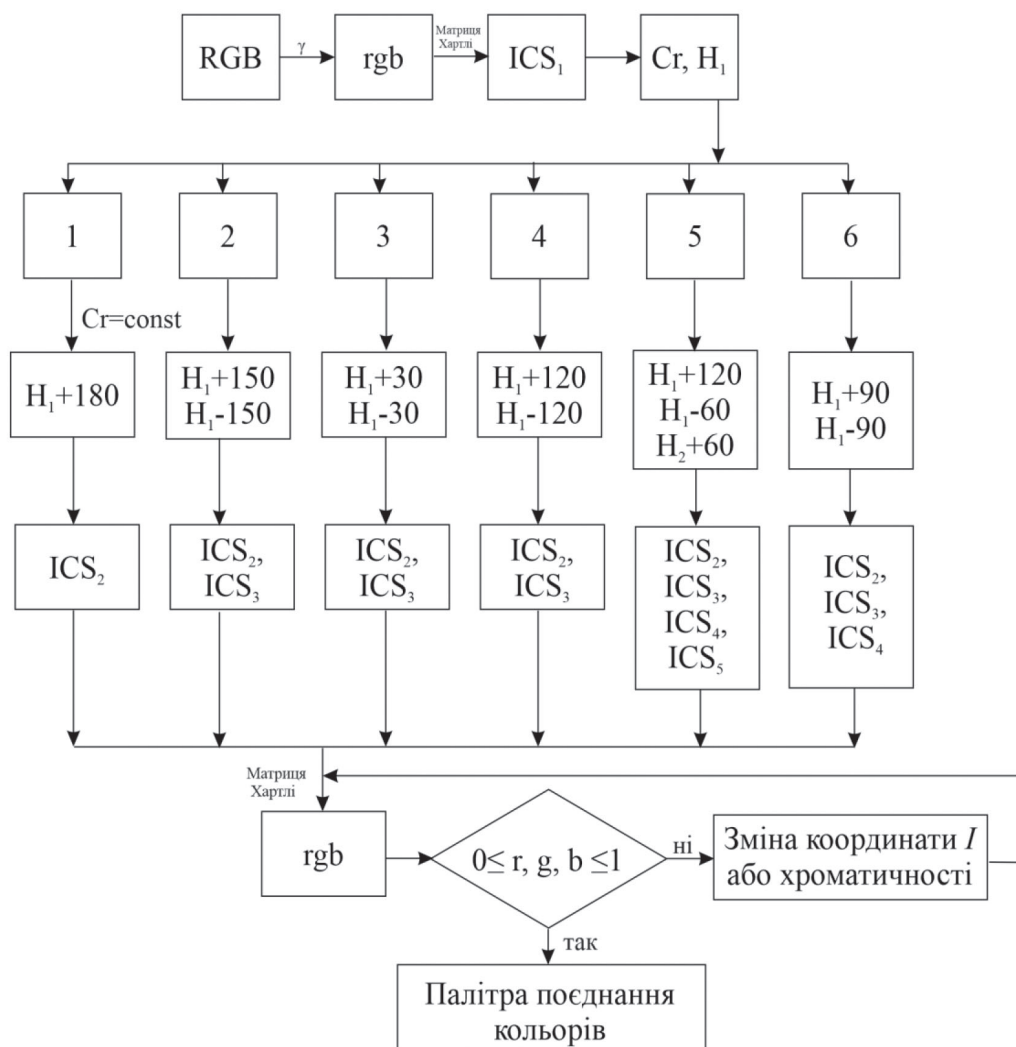


Рис. 6. Блок-схема моделі гармонійного поєднання кольорів у просторі ICaS

Координати I , C , S доповнювальних кольорів розраховуємо за формулами (4):

$$\begin{aligned} C_2 &= \cos(H_2) \times Cr, S_2 = \sin(H_2) \times Cr, & 0 \leq H_2 < 90^\circ \\ C_2 &= \cos(180 - H_2) \times Cr, S_2 = \sin(180 - H_2) \times Cr, & 90^\circ \leq H_2 < 180^\circ \\ C_2 &= \cos(H_2 - 180) \times Cr, S_2 = \sin(H_2 - 180) \times Cr, & 180^\circ \leq H_2 < 270^\circ \\ C_2 &= \cos(360 - H_2) \times Cr, S_2 = \sin(360 - H_2) \times Cr, & 270^\circ \leq H_2 \leq 360^\circ \end{aligned} \quad (4)$$

Отримавши необхідні координати $C_1, S_1, \dots, C_n, S_n$, переходимо за допомогою матриці Хартлі до координат простору RGB. Зауважимо, що значення координати I постійне, адже насамперед шукаємо поєднання кольорів у площині однієї яскравості. Перевіряємо, чи допустимі значення r , g , b . Якщо хоча б одна з координат менша за нуль або більша за одиницю, зменшуємо значення хроматичності на крок, рівний 0.01, і повторюємо обчислення. Зменшення значення хроматичності призводить до того, що точка кольору буде знаходитись ближче до центру кольорового круга, а зменшення ахроматичної координати кольору I знижує яскравість кольору. Враховуючи ортогональні властивості простору ICaS, розроблений алгоритм забезпечує точне визначення палітри гармонійного поєднання кольорів для заданого базового кольору.

Висновки. Проаналізовано функції популярних вебресурсів для визначення палітри гармонійного поєднання кольорів. Найширші можливості роботи з палітрою кольорів пропонують AdobeColor та Pantone Connect. Переваги застосування Paletton – зручний формат файлів збереження даних про палітру кольорів. Для визначення домінантних кольорів на зображенні рекомендуємо застосовувати ColorD та AdobeColor, а для професійної роботи з палітрою кольорів, призначених для друку, – Colormunki Design та Pantone Connect.

За допомогою Adobe Color визначено кольори для поєднання з базовим кольором. Здійснено перерахунок отриманих кольорів у простір ICaS, який забезпечує спрощений та прискорений перерахунок кольорних даних та об'єднання двох систем подання кольору RGB та CMYK. Описано математичну модель поєднання кольорів у просторі ICaS. Використання саме простору ICaS забезпечує створення палітри гармонійного поєднання кольорів, які розміщені чітко в одній хроматичній площині, яка характеризується постійним значенням яскравості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Abushmmala F. F., Abughali H. A. Color Harmony Classification using Machine Learning Algorithms: KNN and SVM. *2020 International Conference on Promising Electronic Technologies (ICPET)*, 2020. Pp. 150–154. doi: 10.1109/ICPET51420.2020.00037.
2. Chamaret C., Urban F., Oisel L. Harmony-guided image editing. *2014 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, 2014. Pp. 2171–2173. doi: 10.1109/ICIP.2014.7025437.
3. Gao Y., Zhang J., Wang S., Peng Y., Tang A. Research on Color Harmony Evaluation Method based on Color Complexity Measure. *2020 International Conference on Culture-oriented Science & Technology (ICCST)*, 2020. Pp. 75–79. doi: 10.1109/ICCST50977.2020.00020.
4. Lu H., Lin J., Yang B., Chang Y., Guo Y., Xue X. Leveraging Color Harmony and Spatial Context for Aesthetic Assessment of Photographs. In: Ooi W.T., Snoek C.G.M., Tan H.K.,

- Ho CK., Huet B., Ngo CW. (eds). *Advances in Multimedia Information Processing – PCM 2014. Lecture Notes in Computer Science*. 2014. Vol. 8879. Springer, Cham. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-13168-9_36.
5. Zaeimi M., Ghoddosian A. Color harmony algorithm: an art-inspired metaheuristic for mathematical function optimization. *Soft Comput*, 2020. 24, 12027–12066. <https://doi.org/10.1007/s00500-019-04646-4>.
 6. Miura S., Nishino H. A Color Scheme Explorer Based on a Practical Color Design Framework. In: Barolli L., Terzo O. (eds). *Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems. CISIS 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing*. Vol. 611. Springer, Cham. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-61566-0_70.
 7. Color Harmony: What It Is And Color Harmony Examples. URL: <https://www.colorsexplained.com/color-harmony>.
 8. Иттен И. Искусство цвета. Москва : Издатель Д. Аронов, 2000.
 9. Kulchytska Ch. B., Shovgenyuk M. V. Munsell colours presentation on the CaS-diagram *Computer science and information technologies: Proc. of the Vth International Scientific and Technical Conference CSIT'2010*. Lviv : Publishing House Vezha&Co, 2010. P. 23.
 10. Предко Х. Б., Крик М. Р., Шовгенюк М. В. Рівняння хроматичних координат кольору. *Технологія і техніка друкарства*. 2010. С. 28–37.
 11. Крик М. Р., Шовгенюк М. В. Аналітичний розв'язок рівнянь автотипного синтезу зображення в колірному просторі ICaS. *Доповіді НАН України*. 2012. № 11. С. 81–86.

REFERENCES

1. Abushmmala, F. F., & Abughali, H. A. (2020). Color Harmony Classification using Machine Learning Algorithms: KNN and SVM. *2020 International Conference on Promising Electronic Technologies (ICPET)*, 150–154. doi: 10.1109/ICPET51420.2020.00037 (in English).
2. Chamaret, C., Urban, F., & Oisel, L. (2014). Harmony-guided image editing. *2014 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, 2171–2173. doi: 10.1109/ICIP.2014.7025437 (in English).
3. Gao, Y., Zhang, J., Wang, S., Peng, Y., & Tang, A. (2020). Research on Color Harmony Evaluation Method based on Color Complexity Measure. *2020 International Conference on Culture-oriented Science & Technology (ICCST)*, 75–79. doi: 10.1109/ICCST50977.2020.00020 (in English).
4. Lu, H., Lin, J., Yang, B., Chang, Y., Guo, Y., & Xue, X. (2014). Leveraging Color Harmony and Spatial Context for Aesthetic Assessment of Photographs. In: Ooi W.T., Snoek C.G.M., Tan H.K., Ho CK., Huet B., Ngo CW. (eds). *Advances in Multimedia Information Processing – PCM 2014. Lecture Notes in Computer Science*, 8879. Springer, Cham. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-13168-9_36 (in English).
5. Zaeimi, M., & Ghoddosian, A. (2020). Color harmony algorithm: an art-inspired metaheuristic for mathematical function optimization. *Soft Comput*, 24, 12027–12066. doi: <https://doi.org/10.1007/s00500-019-04646-4> (in English).
6. Miura, S., & Nishino, H. A Color Scheme Explorer Based on a Practical Color Design Framework. In: Barolli L., Terzo O. (eds). *Complex, Intelligent, and Software Intensive*

- Systems. CISIS 2017. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 611. Springer, Cham. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-61566-0_70 (in English).
7. Color Harmony: What It Is And Color Harmony Examples. Retrieved from <https://www.colorsexplained.com/color-harmony> (in English).
 8. Itten, I. (2000). *Iskusstvo tsveta*. M.: Izdatel D. Aronov (In Russian).
 9. Kulchytska, Ch. B., & Shovgenyuk, M. V. (2010). Munsell colours presentation on the CaS-diagram *Computer science and information technologies: Proc. of the Vth International Scientific and Technical Conference CSIT'2010*. Lviv : Publishing House Vezha&Co, 23 (in English).
 10. Predko, Kh. B., Kryk, M. R., & Shovheniuk, M. V. (2010). Rivniannia khromatychnykh koordynat koloru. *Tekhnolohiia i tekhnika drukarstva*, 28–37 (in Ukrainian).
 11. Kryk, M. R., & Shovheniuk, M. V. (2012). Analitychnyi rozviazok rivnian avtotypnoho syntezu zobrazhennia v kolirnomu prostori ICaS. *Dopovidi NAN Ukrainy*, 11, 81–86 (In Ukrainian).

doi: 10.32403/1998-6912-2021-2-63-134-146

MATHEMATICAL MODEL OF COLOR HARMONY IN ICAS SPACE

M. R. Semeniv, V. V. Semeniv

*Ukrainian Academy of Printing,
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine
krykm@ukr.net*

An important step in creating the design of printed products is the selection of color harmony. Popular web resources for defining color palettes such as AdobeColor, Colordb, ColorExplorer, Colormunki Design, Copaso, Photocopa and others have a wide range of features. These functions are divided into two categories of color palette creation: according to a certain color scheme and from the dominant image colors. The analysis of functions of web resources of color harmony is carried out. AdobeColor and Pantone Connect have the widest possibilities of working with the color palette. Using Colord and AdobeColor is recommended to determine the dominant colors of the image, and Colormunki Design and Pantone Connect for professional work with the color palette. Colormunki works with Munsell and PANTONE colors, so it is recommended the designer to use this resource when preparing a publication.

The brightness-chromatic model in the method of color selection is applied. In Adobe Color colors are defined to match the base color. The resulting colors are converted into ICaS space, which provides simplified and accelerated color data conversion and combines the two RGB and CMYK color rendering systems. The mathematical model of color harmony in ICaS space is described and the block diagram of algorithm of its realization is developed. The use of ICaS space provides a palette of color harmony placed clearly in one chromatic plane, which is characterized by a constant value of

brightness. Due to the different number of colors on the chromatic planes of constant brightness, different chromaticity values are obtained for the complementary colors. Therefore, the algorithm provides a choice of a constant value of the achromatic component or a constant value of chromaticity of colors that belong to the palette of harmonious combination.

Keywords: *color harmony, color palettes, color scheme, dominant image colors, ICaS color space, mathematical model.*

Стаття надійшла до редакції 27.08.2021.

Received 27.08.2021.