

УДК 655.5+004.942

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК ОСНОВОПОЛОЖНИХ ПОНЯТЬ ТЕОРІЇ КОЛЬОРУ З КОЛЬОРОВІДТВОРЕННЯМ У СУЧАСНИХ ЦИФРОВИХ СИСТЕМАХ

Б. М. Ковальський, В. О. Дудяк, Н. В. Занько, Н. С. Писанчин

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

Описано взаємозв'язок між фундаментальними поняттями з теорії кольору та представленням інформації про колір у сучасних настільних видавничих системах на базі комп'ютерної техніки.

Складено схеми перерахунку координат кольору на прикладі одного пікселя цифрового зображення при різноманітних перетвореннях в процесі переробки графічної інформації.

Показано, що модель CIE XYZ є майстер-моделлю практично всіх інших кольорних моделей, що використовуються в технічних областях, а системи CIE XYZ й CIE LAB служать фундаментом для розрахунків у програмних засобах обробки зображень.

Ключові слова: *теорія кольору, кольоровідтворення, цифрові зображення, системи CIE, колориметричні розрахунки.*

Постановка проблеми. Сьогодні кольоровідтворення в поліграфії являє собою високотехнологічний процес, де відтворення візуальних даних відбувається за допомогою цифрових сигналів.

Проте в основі роботи будь-якої сучасної цифрової системи відтворення кольору є фізіологія його сприйняття людиною, фундаментальні поняття теорії кольору та колориметричні вимірювання й розрахунки. Досконале розуміння цих тем дає можливість стати висококласним спеціалістом та грамотно використовувати можливості сучасної техніки, що бере участь у процесі репродукції зображень, забезпечуючи узгоджене відтворення кольору цифровими камерами, моніторами, принтерами, друкарськими машинами і т.д.

Репродукування якісних кольорових зображень не можливе без реалізації в технологічному процесі засобів контролю та керування кольором, які в своїй роботі безпосередньо використовують колориметричні системи і результати колірних вимірювань.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Загалом існує багато спеціалізованої літератури, звідки можна почерпнути інформацію про закони зорового сприйняття людини і отримати знання з основ теорії кольору [1, 2]. Є статті в спеціалізованих виданнях, написані досвідченими спеціалістами-практиками, що описують різноманітні аспекти використання кольору в поліграфії [3, 4]. Водночас, в процесях

захоплення зображення (фотографування), обробки і відтворення може виникати багато нюансів і проблем, розв'язанню яких буде сприяти розуміння зв'язку основоположних понять теорії кольору зі способами представлення і перетворення колірної інформації в сучасному програмному забезпеченні.

Мета статті – показати роль базових положень про принципи кольоровідтворення в сучасних технологіях цифрового репродукування кольорового зображення. Досягнення цілі передбачає систематизоване наукове викладення матеріалу, що вказує на взаємозв'язок між колориметричними перетвореннями, на основі експериментів міжнародної комісії СІЕ [5] початку минулого століття з представленням інформації про колір в комп'ютерно-видавничих системах (КВС).

Виклад основного матеріалу дослідження. В галузях, що так чи інакше використовують технології кольоровідтворення, існує фундаментальна практика колориметрії, узгоджена з прийнятою в 1931 р. системою міжнародної комісії по освітленню (СІЕ). Система СІЕ є діючим міжнародним стандартом понад вісімдесят років. В результаті роботи СІЕ стало можливим отримати кількісну оцінку кольору, описавши його у вигляді числових значень певних координат. Саме вимірювання колірних відчуттів людини було метою експерименту СІЕ, що почався з дослідів вчених Джона Гілда (John Guild) і Девіда Райта (David Wright) [6, 7].

Було встановлено стандартний комплект функцій колірної відповідності, які перетворено в функції для комплекту вузькополосних кардинальних стимулів RGB з довжинами хвиль 700.0 нм, 546.1 нм і 435.8 нм відповідно. Фізіологічна колірна координатна система, отримана в результаті експериментів СІЕ, носить назву «СІЕ RGB». Система конструктивно основана на принципах трихроматизму і грама-нівських законах адитивного змішування колірних стимулів [1]. Хоча СІЕ RGB лежить в основі науки про колір практично без змін, проте поняття теорії кольору не можливо автоматично застосувати до представлення та перетворення кольорів у програмному забезпеченні.

У сучасних технологіях колірна модель RGB є засобом створення та відображення кольорового зображення та дозволяє описати велику кількість відтінків кольору за допомогою цифр. Колір можна математично представити як співвідношення базових компонентів. Опис характеристик кольору, пов'язують з конкретною колірною моделлю. І потрібно відзначити, що RGB-кольори цифрових зображень не мають нічого спільного з кольорами Райта і Гілда.

Простір СІЕ XYZ був побудований з СІЕ RGB простору лінійним математичним перетворенням. Нові функції $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ забезпечили усунення від'ємних координат. Ще в 30-ті роки минулого століття комісія СІЕ вказала формули переходу від основних кольорів Райта і Гілда до кольорів XYZ [2]:

$$\begin{aligned} \mathbf{X} &= 0,49000\mathbf{R} + 0,31000\mathbf{G} + 0,20000\mathbf{B}; \\ \mathbf{Y} &= 0,17697\mathbf{R} + 0,81240\mathbf{G} + 0,01063\mathbf{B}; \\ \mathbf{Z} &= 0,00000\mathbf{R} + 0,01000\mathbf{G} + 0,99000\mathbf{B}. \end{aligned} \quad (1)$$

Рівняння (1) використовувались при перерахунках усереднених трихроматичних кривих зорової системи людини (Стандартного спостерігача), в двоградусні

трихроматичні криві Стандартного спостерігача $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$. Саме так описується взаємозв'язок між XYZ і RGB у навчальних посібниках з основ теорії кольору [2].

Система RGB визначається не ортогональними трьома базовими векторами в XYZ:

$$R = \begin{bmatrix} 0,49000 \\ 0,17697 \\ 0,00000 \end{bmatrix}; G = \begin{bmatrix} 0,31000 \\ 0,81240 \\ 0,01000 \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} 0,20000 \\ 0,01063 \\ 0,99000 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Комп'ютеризація всього комплексу робіт поліграфічного і фоторепродукційного процесу призвела до того, що практично усі етапи обробки кольорових зображень від введення і до редагування й виведення перейшли на цифрові технології. Всі ці технології, за визначенням, працюють з даними в цифровій формі, тобто, будь-яке зображення є сукупністю елементів, колір яких кодується у вигляді чисел. Для числового позначення рівнів тонів використовується мінімальна одиниця кількості інформації, яка дорівнює одному двійковому розряду — біт.

Монітор, для відтворення кольору на екрані, використовує три випромінювання як і система CIE RGB. Колірна модель RGB в цьому контексті — математична модель опису представлення кольорів у вигляді трьох чисел, що називаються координатами кольору. Самі по собі дані RGB нічого не говорять про колірні відчуття без прив'язки до конкретного пристрою. Різні монітори комп'ютерів відтворюють колір по-різному і, до того ж, основні випромінювання моніторів суттєво відрізняються від основних випромінювань системи CIE RGB. Однозначне представлення кольорів дають колірні координатні системи такі як CIE XYZ і CIE L*a*b*.

Таблиця 1

Числові значення координат деяких стандартизованих абстрактних RGB-просторів [8]

RGB-простір редагування	RGB – XYZ [M]	XYZ – RGB [M]-1
Adobe RGB (1998)	0.5767 0.1855 0.1881 0.2973 0.6273 0.0752 0.0270 0.0706 0.9911	2.0413 -0.5649 -0.3446 -0.9692 1.8760 0.0415 0.0134 -0.1183 1.0154
Apple RGB	0.4497 0.3162 0.1844 0.2446 0.6720 0.0833 0.0251 0.1411 0.9224	2.9515 -1.2894 -0.4738 -1.0851 1.9908 0.0372 0.0854 -0.2694 1.0912
sRGB	0.4124 0.3575 0.1804 0.2126 0.7151 0.0721 0.0193 0.1191 0.9503	3.2404 -1.5371 -0.4985 -0.969 1.8760 0.0415 0.055 -0.2040 1.0572

Якщо здійснити перерахунок до системи випромінювачів будь якого конкретного монітору комп'ютера, то коефіцієнти формули (1) будуть іншими. В системах комп'ютерної графіки при візуалізації кольорового зображення на екрані прийнято обирати RGB-робочий простір монітору. Під цим терміном розуміють апаратно-незалежні

абстрактні простори RGB, які використовують для редагування зображень. Застосування абстрактних просторів RGB, зумовив той факт, що конкретний монітор KBC може не відтворювати усіх кольорів, що містить цифровий оригінал, через властиві йому технічні обмеження. Існує багато RGB-робочих просторів монітору: Adobe RGB (1998), sRGB, Apple RGB, CIE RGB, ProPhoto RGB, ColorMatch RGB і т.д. Тільки в програмі Adobe Photoshop є доступними для вибору більше ніж п'ятнадцять. RGB-значення в файлі зображення є координатами кольору в координатній системі якогось стандартизованого монітору. Для будь-якого стандартизованого монітору є визначенні координати основних кольорів в системі CIE XYZ і координати опорного білого світла в системі CIE XYZ (табл. 1).

Для стандартних RGB-просторів є відомі специфікації [8], де вказано координати x , y їх основних випромінювачів (табл. 2).

Таблиця 2

Назва	Первинний червоний			Первинний зелений			Первинний синій		
	x	y	Y	x	y	Y	x	y	Y
Adobe RGB	0.6400	0.3300	0.297361	0.2100	0.7100	0.627355	0.1500	0.0600	0.075285
Apple RGB	0.6250	0.3400	0.244634	0.2800	0.5950	0.672034	0.1550	0.0700	0.083332
sRGB	0.6400	0.3300	0.212656	0.3000	0.6000	0.715158	0.1500	0.0600	0.072186
CIE RGB	0.7350	0.2650	0.176204	0.2740	0.7170	0.812985	0.1670	0.0090	0.010811
ECI RGB	0.6700	0.3300	0.320250	0.2100	0.7100	0.602071	0.1400	0.0800	0.077679

Маючи дані таблиці 2, можемо побудувати охоплення, що створені колірностями основних кольорів обраних RGB-просторів на колірній діаграмі CIE.

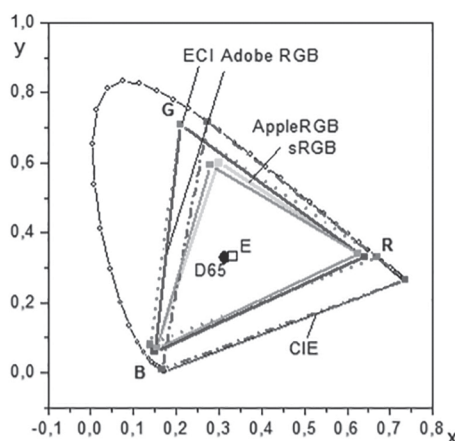


Рис. 1. Колірні охоплення абстрактних RGB-просторів на діаграмі CIE

Як видно з рисунку 1, колірні охоплення абстрактних моніторів Apple RGB (стандарт на платформі Macintosh) і sRGB (стандарт на платформі PC) є майже

однаковими. Так само і розширені колірні охоплення Adobe RGB і ECI є майже однаковими. Adobe RGB рекомендовано корпорацією Adobe для вибору в якості стандартного простору редагування цифрових оригіналів при підготовці до поліграфічного відтворення. ECI workspace — рекомендований комітетом ECI, який відомий тим, що створює стандартні профілі для офсетного друку, для вибору, як стандартний профіль монітору. При підготовці зображення до публікації в Інтернет варто обирати sRGB.

І найширше колірне охоплення має простір CIE RGB розроблений міжнародною комісією CIE, але це робить його незручним для роботи з зображеннями, бо при друці не може бути відтворено більше половини його кольорів. Опорне джерело освітлення E. Якщо з рисунку 1 дані про простір CIE RGB перенести на окремий графік, то отримаємо графік колірності CIE 1931p.

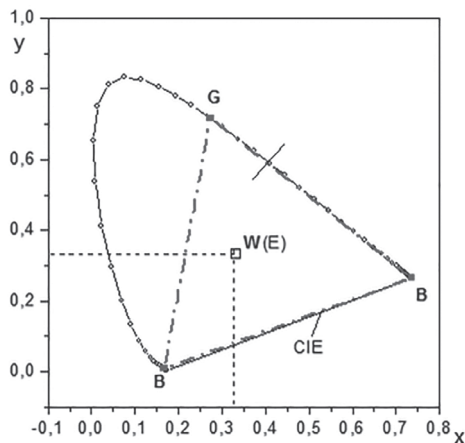


Рис.2. Графік колірності CIE 1931p

Можна стверджувати, що всі сучасні RGB-колірні простори редагування, які користувач обирає в спеціалізованому програмному забезпеченні КВС, в тій чи іншій мірі засновані на першочерговій моделі CIE 1931 року.

У сучасному репродукційному процесі інформація про колір передається з простору цифрової камери в абстрактний RGB-простір редагування, обраний користувачем, а далі в простір друкарської системи СМΥК. Часто виникає потреба перетворення кольору з координат одного абстрактного RGB-простору редагування в інший, для прикладу з Adobe RGB в sRGB. Потрібно відзначити, що перерахунок координат кольору кожного пікселя зображення з колірного простору конкретного пристрою в інший відбувається через один з апаратно-незалежних просторів, якими є колориметричні колірні простори CIE XYZ або CIE $L^*a^*b^*$. Це дозволяє врахувати індивідуальні особливості обладнання, що бере участь в технологічному ланцюзі поліграфічного відтворення і, тим самим, репродукувати колір максимально наближений до оригіналу.

Розглянемо схему переходу від координат абстрактного RGB-простору редагування Adobe RGB в sRGB:

$$R_{AdobeRGB} G_{AdobeRGB} B_{AdobeRGB} \xrightarrow{XYZ} R_{sRGB} G_{sRGB} B_{sRGB}$$

Коефіцієнти матриці переходу від простору Adobe RGB до XYZ і від XYZ до sRGB відомі (табл.1). Перерахунок здійснюється за наступними матричними рівняннями:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.5767 & 0.1855 & 0.1882 \\ 0.2974 & 0.6273 & 0.0753 \\ 0.0270 & 0.0707 & 0.9911 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R_{AdobeRGB} \\ G_{AdobeRGB} \\ B_{AdobeRGB} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} R_{sRGB} \\ G_{sRGB} \\ B_{sRGB} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.2408 & -1.5372 & -0.4985 \\ -0.9693 & 1.8760 & 0.0416 \\ 0.0557 & -0.2040 & 1.0573 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (4)$$

Відомо, що при вимірюванні колірних відчуттів повинна бути строго задана «точка білого», тобто те, що спостерігач приймає за білий, частіше за все це джерело освітлення. В описі експерименту CIE було вказано, що як сама колірна координатна система CIE RGB, так і всі її численні математичні похідні будуть залежати від вибору т.зв. «Опорного білого кольору».

Колірні відчуття, що виникають у нас, залежать не тільки від властивостей поверхні, але і від спектрального складу світла, що освітлює цю поверхню. CIE прийняла кілька стандартів джерел білого світла. Два з них покладені в основу роботи комп'ютерних систем, що відтворюють колір: стандарти D50 і D65. Цифри 50 і 65 вказують на колірну температуру джерел білого світла, відповідно, 5000 ° K і 6500 ° K [9].

З цього є зрозумілим, що у всіх розрахунках між колірними системами потрібно брати до уваги «опорне біле світло».

Монітори сучасних КВС відтворюють задане колірне відчуття, але не мають самостійного джерела опорного білого світла. Користувач вибирає світло того джерела, котре буде задавати рівень колірної адаптації в процесі роботи з даним монітором. Більшість моніторів калібруються до колірної температури 6500 K (D65). А до колірної температури (D50) 5000 K калібрують друкарське обладнання, призначене для кольоровідтворення в поліграфії. Координати кольору в системі XYZ визначені для джерела D50.

Тому, в процесі перерахунку координат R, G, B, у яких наведена інформація про колір у координати X, Y, Z за матрицями переходу [8], ми отримаємо не значення координат кольору розрахованих відносно D50, а значення, розраховані відносно D65, що є помилкою. Те саме стосується і зворотнього перетворення. Щоб вирішити це завдання коректно потрібно скористатись одним з методів хроматичної адаптації, що дозволяють узгодити колориметричні дані, отримані при різних джерелах світла. Найкращу оцінку одержала матриця колірної адаптації, яка називається трансформацією Bradford або скорочено BFD [8]. З врахуванням матриці BFD запишемо перехід $R_{AdobeRGB} G_{AdobeRGB} B_{AdobeRGB} \rightarrow XYZ$:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} RGB_{AdobeRGB} & \Rightarrow & XYZ \\ & 3 \times 3 & \\ & \text{матриця} & \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} D_{65} & \Rightarrow & D_{50} \\ & BDF & \\ & \text{матриця} & \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R_{AdobeRGB} \\ G_{AdobeRGB} \\ B_{AdobeRGB} \end{bmatrix} = \\ &= [\mathbf{M}] \times [\mathbf{M}_{Bredford}] \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (5)$$

Підставимо значення коефіцієнтів матриць у формулу (5):

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.5767 & 0.1855 & 0.1882 \\ 0.2974 & 0.6273 & 0.0753 \\ 0.0270 & 0.0707 & 0.9911 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1.0478 & 0.0228 & -0.0501 \\ 0.0295 & 0.9905 & -0.0170 \\ -0.0092 & 0.0150 & 0.7521 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R_{AdobeRGB} \\ G_{AdobeRGB} \\ B_{AdobeRGB} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Перехід $XYZ \rightarrow R_{sRGB}G_{sRGB}B_{sRGB}$ буде мати вигляд:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} R_{sRGB} \\ G_{sRGB} \\ B_{sRGB} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} XYZ & \Rightarrow & RGB_{sRGB} \\ & 3 \times 3 & \\ & \text{матриця} & \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} D_{50} & \Rightarrow & D_{65} \\ & BDF & \\ & \text{матриця} & \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \\ &= [\mathbf{M}]^{-1} \times [\mathbf{M}_{Bredford}] \times \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (7)$$

Підставимо значення коефіцієнтів матриць в формулу (7):

$$\begin{bmatrix} R_{sRGB} \\ G_{sRGB} \\ B_{sRGB} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.2408 & -1.5372 & -0.4985 \\ -0.9693 & 1.8760 & 0.0416 \\ 0.0557 & -0.2040 & 1.0573 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.9555 & -0.0230 & 0.0631 \\ -0.0282 & 1.0099 & 0.0210 \\ 0.0123 & -0.0205 & 1.3299 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (8)$$

Потрібно також відзначити, що в процесі візуалізації зображення на екрані монітора існує своя специфіка обробки масивів числових значень яскравостей пікселів кожного з каналів півтонового оригіналу, пов'язаних з нелінійністю кодування зображень, що є вимушеним кроком через особливості сприйняття шкали світлоти людиною та процедурою компенсації нелінійності монітора.

Отже, порядок розрахунку вхідних значень для візуалізації файлу зображення в координатах абстрактного RGB-простору редагування буде виглядати наступним чином:

1. Нормування даних файлу зображення. Потрібно врахувати, що в колориметричних розрахунках прийнято виражати значення кольорних координат RGB у вигляді десяткових дробів від 0 до 1, де 0 відповідає чорному, а 1 — білому кольору, в той час, коли в цифрових системах обробки зображень ці координати, як правило, зберігаються у вигляді 8-розрядних цілочисельних змінних у діапазоні від 0 (чорний) до 255 (білий).

2. Гамма-компенсація спотворення (зворотня гамма-корекція).
3. Складання і розв'язок рівняння матричного переходу.
4. Гамма-корекція — внесення в зображення нелінійного спотворення.
5. Ренормування даних і відправлення кінцевих значень на відеокарту.

На прикладі одного пікселя зображення (рис.3) проведемо розрахунки за описаною вище схемою при вирішенні завдання переходу від координат абстрактного RGB-простору редагування Adobe RGB в sRGB.

Колір листя у просторі Adobe RGB: 236 R 208 G 228 B.

Нормуємо 8-бітні значення: 236/255 R; 208/255 G; 228/255 B і отримуємо коефіцієнти $r_{\gamma,Adobe}$; $g_{\gamma,Adobe}$; $b_{\gamma,Adobe}$, де індекс γ вказує на наявність гамми, що була внесена при кодуванні зображення: $r_{\gamma,Adobe} = 0.9294$; $g_{\gamma,Adobe} = 0.8157$; $b_{\gamma,Adobe} = 0.8902$.

Наступним кроком виконаємо лінеаризацію зображення, шляхом введення гамми компенсації нелінійних спотворень, які були внесені в зображення в результаті нелінійного квантування. Піднімаємо до степені $\gamma=2,2$ значення яскравості пікселя зображення в трьох каналах RGB: $r_{\gamma,Adobe}^{\gamma}$, $g_{\gamma,Adobe}^{\gamma}$, $b_{\gamma,Adobe}^{\gamma} = 0.9294^{2.2}$, $0.8157^{2.2}$, $0.8902^{2.2} = 0.8512r$, $0.6388g$, $0.7742b$. За складеним рівнянням (6) знаходимо координати обраного пікселя в системі XYZ. Отримуємо значення XYZ: 0.7184; 0.7072; 0.6527.

Далі виконуємо перерахунок координат XYZ в координати абстрактного простору sRGB за рівнянням (8) і, для одержаних лінійних значень виконуємо гамма-корекцію $\gamma_{sRGB}=2,4$ за формулою (9).

$$\begin{aligned} r_{\gamma sRGB} &= 1.055 \times r_{sRGB}^{1/2.4} - 0.055; \\ g_{\gamma sRGB} &= 1.055 \times g_{sRGB}^{1/2.4} - 0.055; \\ b_{\gamma sRGB} &= 1.055 \times b_{sRGB}^{1/2.4} - 0.055. \end{aligned} \quad (9)$$

В результаті одержуємо значення:

$$\begin{aligned} r_{\gamma sRGB} &= 0.9804; \\ g_{\gamma sRGB} &= 0.8175; \\ b_{\gamma sRGB} &= 0.9154 \end{aligned}$$

Зауважимо, що у випадку, якщо будь-яка координата має від'ємне значення, то це означає, що вона знаходиться поза межами колірної охоплення даного RGB-простору і тоді її приймаємо рівною нулю.

Потрібно ще провести нормування даних до діапазону 0...255. Отримуємо колір листя у просторі sRGB: 248 R 208 G 233 B. Як видно (рис. 3), дані отримані в результаті розрахунків добре узгоджуються з даними палітри Інфо/Info в Adobe PhotoShop.

Приведений вище алгоритм перерахунку стосовно одного пікселя зображення використовується математичним апаратом КВС при зміні одного абстрактного RGB-простору редагування цифрового зображення на інший.

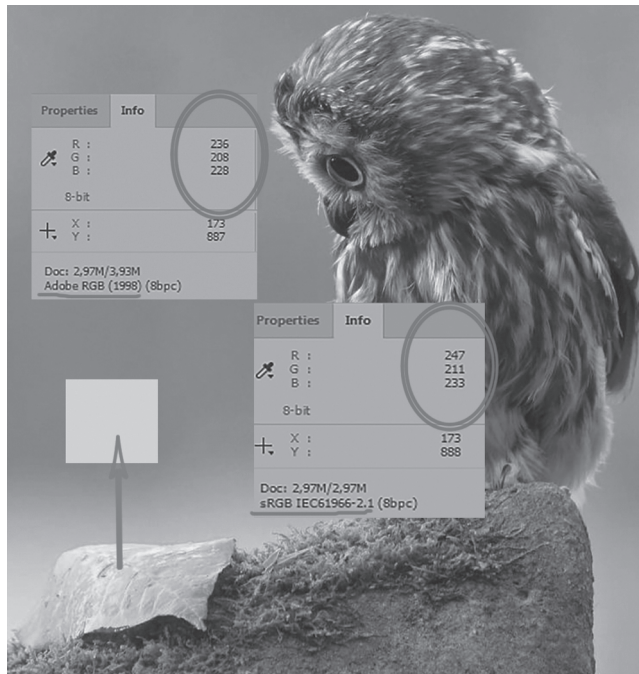


Рис. 3. Значення палітри Інфо/ Info в Adobe PhotoShop досліджуваного пікселя в різних кольірних просторах

За аналогією, можна записати схему переходу від статистичних даних про колір з цифрової камери (чи сканера) в трихроматичне представлення будь-якого з просторів редагування зображень (рис. 4). У випадку перетворення кольору від-сканованих зображень чи отриманих цифровою камерою також СІЕ XYZ гарантує достовірність обміну даними про кольорні відчуття людини.

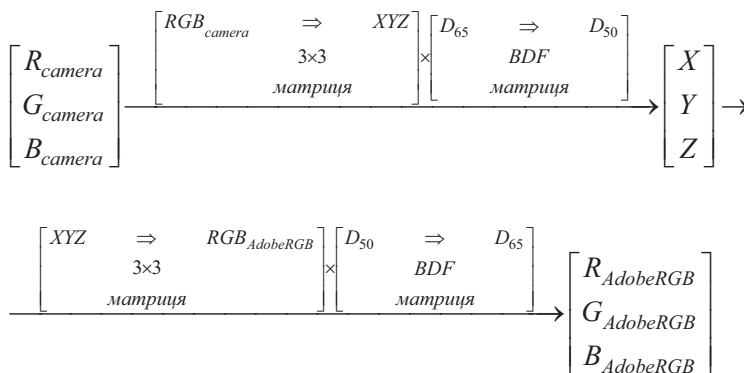


Рис. 4. Схема переходу від числових значень камери до Adobe RGB

Технології друку представляють собою більш складний процес і тому неможливо з достатньою точністю описати перехід від моделі кольорового оригіналу

RGB до моделі СМΥК за допомогою матричного перетворення. З цією метою використовують спеціальні таблиці відповідності кольорів, так звані CLUT-таблиці [10]. Аналогічно до розрахунків з матрицями, перетворення за таблицями здійснюється через колірні простори СІЕ, з тією різницею, що в цьому випадку частіше використовується СІЕ $L^*a^*b^*$ (Рис.5). Взаємозв'язок між координатами кольору в просторах СІЕ описаний відомими формулами [1].

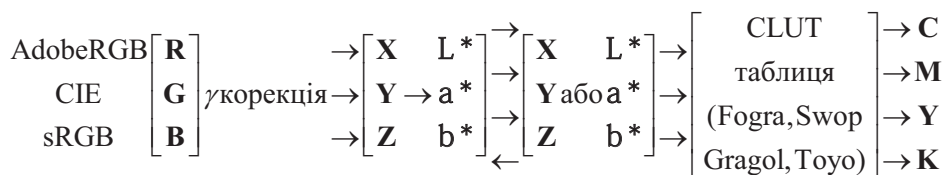


Рис. 5. Схема переходу від значень RGB до СМΥК

Варто відзначити, що усі найсучасніші пристрої для колориметричних вимірювань працюють за принципом непрямого вимірювання, при якому значення координати кольору знаходять після обчислення їх за відомими залежностями від величин значення спектрального коефіцієнта відбивання у діапазоні хвиль світла від 380 нм до 750 нм, що вимірюється прямо. Для прикладу, при вимірюванні кольору вірця спектрофотометром, прилад лише визначає спектральний коефіцієнт відбивання поверхні об'єкта, з якого потім розраховує значення координат кольору СІЕ XYZ і СІЕ $L^*a^*b^*$ все за тими ж класичними формулами, запропонованими міжнародною комісією по освітленню ще у минулому столітті [1].

Висновки. В результаті роботи показано, що колориметричні системи, розроблені міжнародною комісією по освітленню СІЕ, ще на початку минулого століття, виступають в ролі сполучного математичного простору при усіх колірних перетвореннях в процесі репродукування кольорових зображень. Коректне використання сучасних потужних програм, особливо, у випадку вирішення нестандартних задач можливе лише за умов розуміння математичних розрахунків, що стоять за їх роботою і, безумовно, основ науки про колір і можливостей тієї чи іншої технології кольоровідтворення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Марк Д. Фершилд Модели цветового восприятия. Color Appearance models unsell Color Science Laboratory. URL: <http://www.cis.rit.edu/mcsl>.
2. Шашлов Б. А. Цвет и цветовоспроизведение. Москва: Книга, 1986. 280 с.
3. Передача, измерение и контроль за цветом в полиграфии и цифровой обработке изображений [б/а]. URL: www.x-rite.com.
4. Шадрин А., Френкель А. Color Management System (CMS) в логике цветовых координатных систем. Часть 1. URL: <http://www.ukr-print.net/contents/page-1233.htm>.
5. Джадд Д., Вышецки Г. Цвет в науке и технике Color in business, science, and industry. пер. с англ. / под ред. Л. Ф. Артюшина. Москва: Книга, 1978. 590 с.

6. Wright W. D. A re-determination of the trichromatic coefficients of the spectral colours (англ.). *Transactions of the Optical Society*. 1928. Vol. 30. Pp. 141–164. DOI:10.1088/1475-4878/30/4/301.
7. John Guild. The colorimetric properties of the spectrum (англ.). *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. 1931. Vol. A230. Pp. 149–187.
8. RGB/XYZ Matrices [б/а]. URL: <http://www.brucelindbloom.com>.
9. Спектральные характеристики источников света [б/а]. URL: <http://www.lightingmedia.ru/reviews>.
10. Фрейзер Б. Мэрфи К, Бантинг Ф. Управление цветом. Москва: Вильямс, 2006. 560 с.

REFERENCES

1. Mark, D. Fershild Modeli tsvetovogo vospriiatia. Color Appearance models unsell Color Science Laboratory. Retrieved from <http://www.cis.rit.edu/mcsl> (in Russian).
2. Shashlov, B. A. (1986). Tsvet i tsvetovosproizvedenie. Moskva (in Russian).
3. Peredacha, izmerenie i kontrol za tsvetom v poligrafii i tcifrovoi obrabotke izobrazhenii [b/a]. Retrieved from www.x-rite.com (in Russian).
4. Shadrin, A., & Frenkel, A. Color Management System (CMS) v logike tsvetovykh koordinatnykh sistem. Chast 1. Retrieved from <http://www.ukr-print.net/contents/page-1233.htm> (in Russian).
5. Dzhadd, D., & Vyshetcki, G. (1978). Tsvet v nauke i tekhnike Color in business, science, and industry. Moskva: Kniga (in Russian).
6. Wright, W. D. (1928). A re-determination of the trichromatic coefficients of the spectral colours (англ.): *Transactions of the Optical Society*, 30, 141–164. DOI:10.1088/1475-4878/30/4/301 (in English).
7. Guild, J. (1931). The colorimetric properties of the spectrum (англ.): *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, A230, 149–187 (in English).
8. RGB/XYZ Matrices [b/a]. Retrieved from <http://www.brucelindbloom.com> (in English).
9. Spektralnye kharakteristiki istochnikov sveta [b/a]. Retrieved from <http://www.lightingmedia.ru/reviews> (in Russian).
10. Freizer, B. Merfi, K, & Banting, F. (2006). Upravlenie tsvetom. Moskva (in Russian).
doi: 10.32403/0554-4866-2018-1-75-19-30

INTERACTION OF BASIC CONCEPTS OF COLOUR THEORY WITH COLOUR REPRODUCTION IN MODERN DIGITAL SYSTEMS

B. M. Kovalskiy, V. O. Dudiak, N. V. Zanko, N. S. Pysanchyn

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

The article deals with the main tasks of colour reproduction in printing industry, in which data visualization takes place using digital signals.

The relationship between the basic concepts of colour theory and the representation of colour information in modern desktop publishing systems based on computer technology has been described.

Schemes for converting colour coordinates into one pixel of a digital image with various transformations in the processing of graphic information have been made.

It has been shown that the CIE XYZ model is a master model of practically all other color models used in technical areas, while CIE XYZ and CIE LAB systems provide the basis for calculations in image processing software.

The role of basic concepts on the principles of colour reproduction in modern technologies of digital reproduction of colour image has been shown.

The material, which indicates the relationship between colorimetric transformations, has been systematized, based on the experiments of the international commission of the CIE at the beginning of the last century with the representation of colour information in computer-publishing systems.

The order of calculation of input values for the visualization of the image file in coordinates of abstract RGB-space has been presented.

It has been shown that the colorimetric systems developed by the international commission on the illumination of the CIE at the beginning of the last century, act as a connecting mathematical space for all color transformations in the process of reproduction of colour images. But the correct use of modern software is possible only in the understanding of mathematical calculations, the fundamentals of the science of colour and the possibilities of the colour reproduction technology.

Keywords: *colour theory, colour reproduction, digital images, CIE systems, colorimetric calculations.*

Стаття надійшла до редакції 06.02.2018.

Received 06.02.2018.