

ТЕХНОЛОГІЯ І УСТАТКУВАННЯ
ПОЛІГРАФІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА

УДК 004.925.5: 655.26

Х. Б. Кульчицька, Б. М. Ковальський

Українська академія друкарства

М. В. Шовгенюк

Інститут фізики конденсованих систем НАН України

**КОРЕКЦІЯ ЗОБРАЖЕННЯ
ЗА СИСТЕМОЮ КОЛЬОРІВ МАНСЕЛЛА**

Запропоновано технологію корекції кольору при переході між системами з різним колірним охопленням, яка базується на ізохромах Манселла.

Корекція кольору, колірний простір, система Манселла, ізохром, колірне охоплення, координати кольору

У видавничих системах застосовують колірні простори з різним охопленням. Для їх узгодження проводять перерахунки з одного простору в інший, що спричиняє спотворення колірних даних.

Міжнародним консорціумом ICC рекомендується система управління кольором (CMS) на основі стандарту з профілювання ISO 15076-1 [1], який передбачає багатостадійний перерахунок колірних координат при переході з одного колірного простору в інший для кожного типу устаткування та матеріалів. При узгодженні колірних охоплень заміна кольору здійснюється без урахування особливостей оригіналу за стандартними алгоритмами, що базуються на багатовимірних таблицях відповідності профілів пристроїв, які застосовують у програмному забезпеченні та які не завжди забезпечують необхідну якість відтворення кольору.

Проблема перетворення колірних даних пояснюється тим, що наявні програмні засоби заміни кольору — продукти зарубіжних фірм-виробників, які не розкривають суті механізму такої заміни.

Складність полягає також у тому, що у сучасних технологіях корекція та кольороподіл є нероздільними. Ці недоліки спричиняють необхідність розроблення методу заміни кольору з урахуванням реальних умов автотипного синтезу для підвищення точності відтворення кольору у видавничій системі.

Однією з найбільш розповсюджених координатних систем, зокрема у США, є система Манселла, фізично реалізована у вигляді атласу кольорів Манселла (Munsell Book of Color) [2]. Система Манселла є базовою для групи

просторів, створених за сприйняттям кольору людиною, серед яких є модель Наятані, ATD Гута, RLab Фершильда, модель Ханта, які, в свою чергу, дали поштовх для створення CIECAM97s та CIECAM02. Історія виникнення і розвитку манселлівської системи описана Никерсоном (1940, 1976 pp.) [3, 4, 5]. Ідеологічною основою системи є сприйняття кольору за трьома параметрами: колірним тоном (H), світлотою (V), насиченістю (C). Метою Манселла було описати кольори з психофізичних і фізичних позицій.

Досконалість колірної системи Манселла дозволяє застосовувати її для тестування колірних моделей, що було зроблено Сеймом та Вальбергом для моделі CIE L*a*b* (1986 р.), Наятані Натаятані (1990 р.) для однойменної моделі, Гутом для ATD (1991 р.), Фершильдом та Бернсом (1993 р.) для моделі RLab та Хантом (1995 р.). Колірна система А. Манселла вважається відправною точкою систем упорядкування кольору, у тому числі і CIE L*a*b*. Є основною еталонною системою, що застосовується для дослідження колірних систем. Кожний колір Манселла має логічний зв'язок з іншими кольорами та різниться з сусіднім на постійну візуальну відмінність.

Колірна система Манселла пережила багато систем і хоча її замінили сучасніші (CIE L*a*b*, CIECAM02), вона застосовується як у практиці (наприклад, у стандартах ANSI для визначення кольору шкіри і волосся людини, у судовій медицині, геології для порівняння кольору ґрунтів, пивоварінні тощо), а також у наукових дослідженнях для тестування нових колірних систем [6–8]. Тому саме цю систему було вибрано для досліджень.

За зразками манселлівського атласу кольорів було побудовано ізохромні постійної манселлівської насиченості на хроматичній діаграмі простору CIE L*a*b*. Для цього проводили перерахунок координат реальних кольорів Манселла за схемою $xY \rightarrow XYZ \rightarrow CIE L^*a^*b^*$ [9].

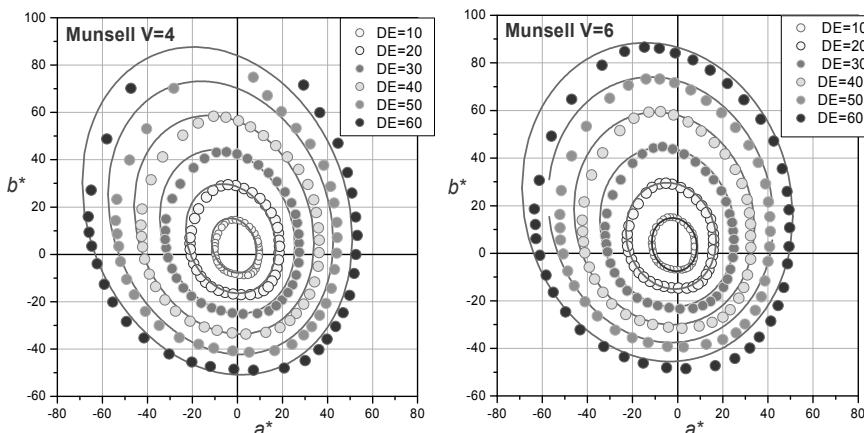


Рис. 1. Ізохромні кольорів Манселла на a^*b^* -діаграмі для двох величин $V = 4, 6$

Як видно з рис. 1, система кольорів Манселла є рівномірною, зокрема за параметрами колірної тону і насиченості. Можна припустити, що контури постійної манселлівської насиченості набуватимуть форму еліпсів і прямих ліній постійного колірної тону від центра діаграми. Отримані еліпси, нахилені до осі під кутом, мають зміщений центр та описуються рівнянням

$$\Delta E^2 = (a^* - a_{disp}^*)^2 + \beta^2 (ka^* + b^* - b_{disp}^*)^2, \quad (1)$$

де a_{disp}^* , b_{disp}^* — зміщення центра еліпса, пропорційне насиченості C ; β — діаметр еліпса по осі b^* ; k — орієнтація (поворот) еліпса, $\Delta E = 10C/2$. Встановлено, що еліпси Манселла характеризуються однією величиною деформації $k = 0,2$.

Розроблено комп'ютерну програму, за допомогою якої за даними Манселла, перерахованими в координати СІЕ $L^*a^*b^*$, розраховано параметри еліпсів, які описують ізохром Манселла для різних насиченостей ($C = 2,4,6,8,10,12,14,16$) та рівнів світлоти ($V = 3,4,5,6,7$). Встановлено залежність зміщення еліпсів a_{disp}^* , b_{disp}^* від насиченості для різних рівнів світлоти (рис. 2).

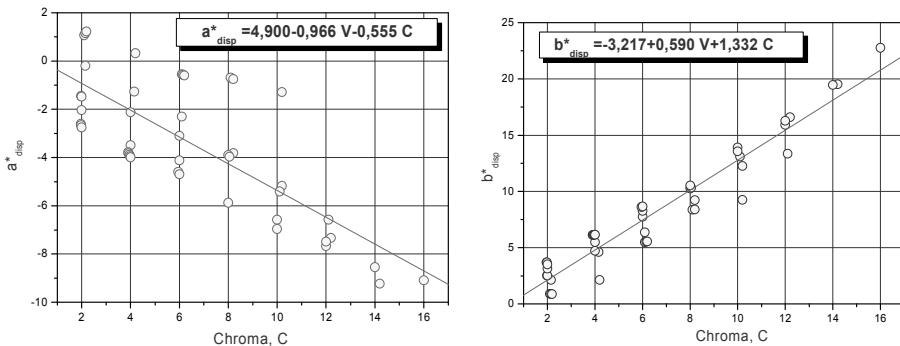


Рис. 2. Апроксимована залежність зміщення a_{disp}^* , b_{disp}^* еліпсів від насиченості для різних рівнів світлоти V

Чисельними розрахунками встановлено, що зміщення еліпсів по хроматичних осях a^* та b^* є пропорційним до зростання насиченості та світлоти:

$$\begin{aligned} a_{disp}^* &= 4,9 - 0,966 \cdot V - 0,555 \cdot C; \\ b_{disp}^* &= -3,217 + 0,590 \cdot V + 1,332 \cdot C. \end{aligned} \quad (2)$$

Для отримання кольорів Манселла на CaS -діаграмі проведено перерахунок координат за схемою $xyY \rightarrow XYZ \rightarrow \text{Adobe RGB} \rightarrow \text{ICaS}$ [10]. На CaS -діаграмі насиченість (C_M) і колірний тон (H) кольорів Манселла описуються хроматичними координатами C , S :

$$H = \cos \theta = C / C_M, \quad C_M = \sqrt{C^2 + S^2}. \quad (3)$$

Як на перерізах Манселла, на CaS -діаграмі кольори з однаковою яскравістю знаходяться на одній площині й з однаковою насиченістю утворюють ізохромні, які нахилені до осей під постійним кутом. Насиченість кольорів зростає від центра діаграми до краю (рис. 3). Отже, ізохромні Манселла на колірній діаграмі можна застосовувати як критерій оцінювання рівномірності просторів.

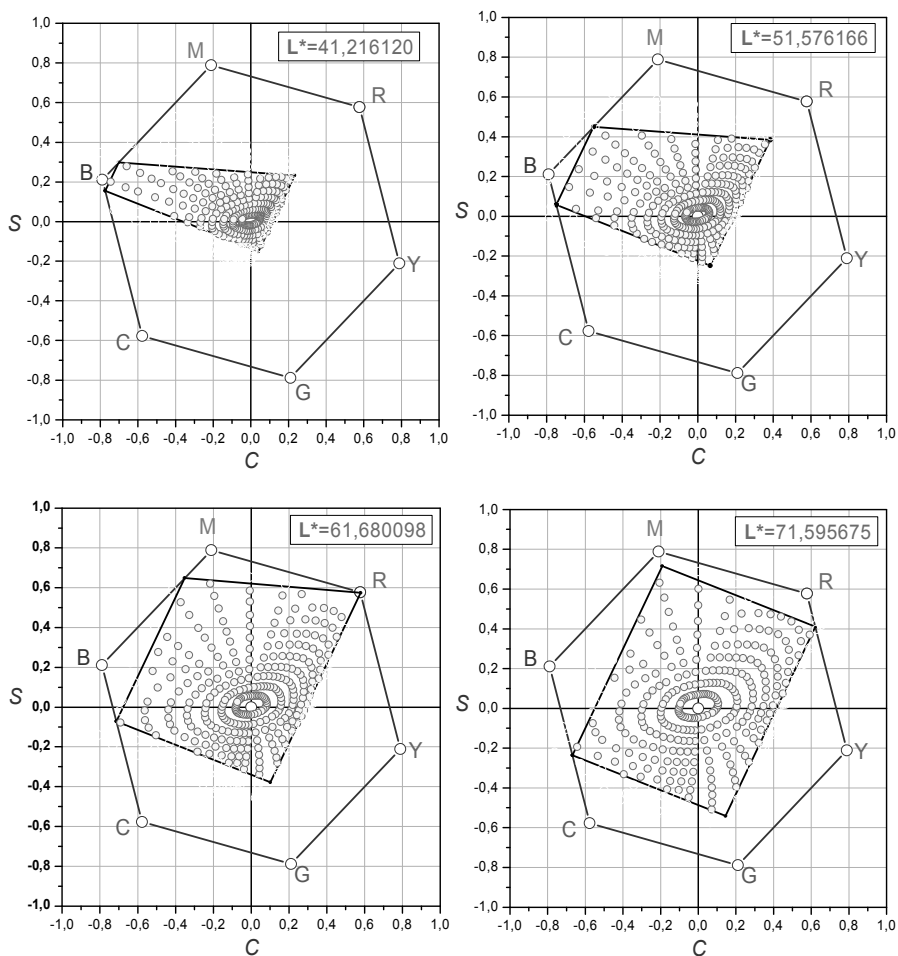


Рис. 3. Ізохромні кольорів Манселла на CaS -діаграмі для світлот $V = 4,5,6,7$

Модель ізохром Манселла для досліджуваних просторів прогнозує кольори, відсутні в атласі Манселла. Адекватність моделі перевірено за величиною колірних відмінностей між даними Манселла та отриманими аналітично. Значення ΔE не перевищують допустимі колірні відмінності відповідно до ISO 12647-2 для плоского друку, що дозволяє їх застосовувати в технології

корекції кольору для перерахунку колірних даних при переході між колірними системами з різним охопленням.

На основі результатів проведених досліджень запропоновано метод не-радіальної заміни невідтворюваних кольорів цифрового оригіналу на відбитку за колірним тоном і насиченістю, із застосуванням отриманих ізохром Манселла на CaS -діаграмі та розроблено модель перетворення колірних даних з колірного охоплення цифрового оригіналу до охоплення поліграфічного відбитка. Концепція моделі включає вибір робочого простору та методу перетворення колірних даних. Основні етапи моделювання:

1. Створення бази даних кольорів Манселла, векторів фарб C , $C+M$, M , $M+Y$, Y , $Y+C$ та колірного охоплення RYGBM.

2. Пошук невідтворюваного у СМҮК кольору та визначення ізохроми Манселла за значеннями V та C .

3. Вибір крайових точок пошуку за колірним тоном H та насиченістю S .

4. Заміна кольору за ахроматичною та хроматичними складовими з дотриманням умови $0 \leq S_i \leq 100$, де S_i — площа растрових елементів на відбитку.

5. Перевірка адекватності моделі за допомогою розробленої комп'ютерної програми корекції кольору.

За аналогією до технології опрацювання зображення, яка включає два найважливіших етапи – опрацювання за градацією та за кольором, технологію заміни невідтворюваних кольорів проведено також у два етапи:

корекція ахроматичної координати кольору;

корекція хроматичних координат.

У поліграфії друкування зображення за системою СМҮК веде до утворення більш темного зображення порівняно з монітором. Кількісно це позначається на ахроматичній координаті: вона приймає від'ємні значення. Корекцію ахроматичної складової здійснено шляхом отримання додатного значення координати чорної фарби, за допомогою якої синтезується будь-який колір при технології заміни кольорових фарб. Схема заміни кольору наведена на рис. 4.

Коректування ахроматичної та хроматичних координат кольору відповідно до запропонованого методу проведено за однаковою методикою. Для цього визначено ізохрому ($V = \text{const}$, $C = \text{const}$), на якій знаходиться невідтворюваний у СМҮК колір. Основною умовою пошуку кольору для заміни є знаходження значень S_i у діапазоні від 0 до 100. Якщо на даній ізохромі Манселла колір відсутній, пошук здійснюють по наступній ізохромі з насиченістю, меншою на 0,5, при $V = \text{const}$ з кроком 0,01 колірного тону. Отже, пошук проведено в трьох напрямках: по ізохромі вліво та вправо від невідтворюваного у СМҮК кольору та в сторону зменшення насиченості (рис. 4).

Коректування ахроматичної та хроматичних координат кольору відповідно до запропонованого методу проведено за однаковою методикою. Для цього визначено ізохрому ($V = \text{const}$, $C = \text{const}$), на якій знаходиться невідтворюваний у СМҮК колір. Рухаючись ізохромою Манселла з кроком 0,01 вправо

та вліво, визначали координати двох кольорів, які порівнювали між собою. Вибирали колір, в якого значення ахроматичної координати невідтворюваного кольору знаходилось у діапазоні від 0 до 100, якщо ж ні — то колір, в якого ахроматична координата за значенням наближається до 0 або 100. Напрямок розміщення цього кольору на ізохромі Манселла визначав напрямок пошуку. Якщо після десяти кроків на даній ізохромі Манселла колір відсутній, тобто: не входить у діапазон від 0 до 100, то пошук здійснювали по наступній ізохромі Манселла з насиченістю, меншою на 0,5 при $V = \text{const}$ з кроком 0,01 колірного тону.

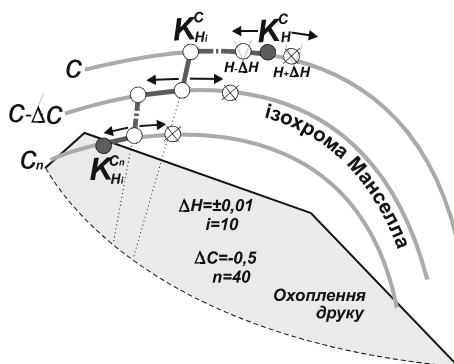


Рис. 4. Схема нерадіальної заміни невідтворюваного кольору K_N^C за допомогою ізохром Манселла

Отже, крайовими точками пошуку кольору для заміни за колірним тоном прийнято 10 кроків зі значенням кроку 0,01 одиниці колірного тону, тобто максимальна різниця між кольорами до заміни та після за колірним тоном становить 0,1. Крайовими точками пошуку кольору для заміни за насиченістю прийнято 40 кроків по 0,5 одиниці, що становить 20 одиниць насиченості за Манселлом. Прийняті обмеження в моделі перерахунку колірних даних за колірним тоном і насиченістю визначаються візуальними відмінностями між кольорами в системі Манселла. Отже, пошук здійснено в трьох напрямках: ізохромою вліво та вправо від невідтворюваного у СМΥК кольору та в напрямку зменшення насиченості.

На основі розробленого методу створено спеціалізовану комп'ютерну програму «ICaS-СМΥК-Correction» [11] для корекції кольору зображення видавничого оригіналу в інформаційній технології. Вона дозволяє: здійснювати корекцію кольорів, будувати колірне охоплення, як відтворюваних, так і невідтворюваних кольорів цифрового оригіналу в колірному просторі відбитка для заданих характеристик фарб СМΥК та їх кількісно оцінювати до і після процесу корекції, візуалізувати зображення на всіх етапах корекції кольору з урахуванням нелінійності технологічного процесу отримання відбитка згідно з даними FOGRA.

З вищеокресленого випливають наступні висновки:

запропоновано метод нерадіальної заміни невідтворюваних в охопленні відбитка кольорів зображення за колірним тоном і насиченістю із застосуванням ізохром Манселла та колірного простору ICaS для видавничої системи;

у результаті випробувань розробленої технології корекції кольору зображення отримано, що усереднена максимальна кількість невідтворюваних кольорів після корекції за системою Манселла різних за семантикою зображень не перевищує 2%, а відхилення за колірним тоном значень стандарту ISO 12647-2.

1. ISO 15076-1. Image technology colour management [Електронний ресурс]. — Architecture, profile format and data structure, 2005. — Part 1: Based on ICC. —1:2004-10. — Режим доступу : <http://webstore.ansi.org>.
2. Munsell H. Book of Color [Електронний ресурс] : The Munsell Colour Atlas / H. Munsell // Munsell Color Corp. 1915, 1929 etc. — Режим доступу : <http://www.munsellstore.com>.
3. Nickerson D. History of the Munsell Color System and its scientific application / D. Nickerson // J. Opt. Soc. Am., 30. — 1940. — P. 575–586.
4. Nickerson D. History of the Munsell Color System / D. Nickerson // Color Res. Appl., 1. — P. 121–130 (1976 c).
5. Nickerson D. Color Measurement and Its Application to the Grading of Agricultural Products: A Handbook on the Method of Disk Colorimetry / D. Nickerson // U. S. Department of Agriculture. — 1946. — P. 62.
6. David R. Wyble. RIT/MCSL Quantitative Testing of Color Appearance Models Using the Munsell Renotation Data / David R. Wyble, Mark D. Fairchild // RIT Munsell Color Science Laboratory Chester F. : Carlson Center for Imaging Science, 54. — Lomb Memorial Drive Rochester NY 14623-5604 ISCC Baltimore, 1998. — October, 3. — P. 1.
7. Elisabet Chorro. Analyzing the Metrics of the Perceptual Space in a New Multistage Physiological Colour Vision Model / Elisabet Chorro, Francisco Miguel Martinez-Verdu, Dolores de Fez, Pascual Capilla, Maria Jose // Department of Optics, Pharmacology and Anatomy. — University of Alicante, Spain. — 2008.
8. Roy G. D'Andrade* and A. Kimball Romney. This contribution is part of the special series of Inaugural Articles by members of the National Academy of Sciences elected // Department of Anthropology, University of California at San Diego. — 1998. — April, 28.
9. Munsell Renotation Data [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://www.cis.rit.edu/mcsl/online/munselldata/real.dat>.
10. Kulchytska Christina B. Munsell colours presentation on the CaS-diagram / Christina B. Kulchytska, Mykhaylo V. Shovgenyuk // Proc. of the Vth International Scientific and Technical Conference CSIT'2010. — Lviv : Publishing House Vezha&Co, 2010. — P. 23.
11. Реєстраційне свідоцтво № 46371 Державної служби інтелектуальної власності України. Комп'ютерна програма «ICaS-СМУК-Correction», автори : Шовгенюк М. В., Крик М. Р., Кульчицька Х. Б.

КОРРЕКЦІЯ ІЗОБРАЖЕННЯ ПО СИСТЕМЕ ЦВЕТОВ МАНСЕЛЛА

Предложена технология коррекции цвета при переходе между системами с различным цветовым охватом, которая базируется на изохромах Манселла.

CORRECTION IMAGE BY MANSELL COLOR SYSTEM

A technology for color correction for conversion between systems with different color gamut based on isochromes of Munsell has been proposed.

Стаття надійшла 30.10.2014