

УДК 004.932

## КОРЕКЦІЯ КОЛІРНОГО БАЛАНСУ ЦИФРОВОГО ЗОБРАЖЕННЯ НА ОСНОВІ СТАТИСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

**Григор'єв О.В.**

к.т.н., професор, кафедра «Медіасистеми та технології»,  
Харківський національний університет радіоелектроніки

**Колесникова Т.А.**

к.т.н., доцент, кафедра «Медіасистеми та технології»,  
Харківський національний університет радіоелектроніки

**Яценко Л.О.**

старший викладач, кафедра «Медіасистеми та технології»,  
Харківський національний університет радіоелектроніки

***Анотація.** Кольорові спотворення цифрових зображень пов'язані з освітленням сцени, що знімається, з неправильним завданням балансу білого і сірого, помилками в експозиції. Недоекспанування або зменшення фокусування призводять до пом'якшення насиченості кольорів, а при перетримці виходять пастельні кольори. Все це призводить до необхідності програмної настройки кольору.*

***Ключові слова:** БАЛАНС СІРОГО, КОРЕКЦІЯ, КОЛІРНИЙ БАЛАНС, КОЛІРНА КОРЕКЦІЯ, КОЛІРНІ МОДЕЛІ, ЦИФРОВІ ФОТОГРАФІЇ.*

### **Вступ**

Постійність кольору – це здатність розпізнавати справжній колір об'єктів незалежно від освітленості сцени знімання. Попри те, що зорова система людини є значною мірою постійності кольору, цифрові камери змушені покладатися на швидкі алгоритми балансування кольору, інтегровані в їх конвеєр обробки сигналу зображення (ISP), щоб оцінити освітленість сцени та коригувати її в цифровому вигляді.

В даному дослідженні ми розглядаємо відомі програмні методи корекції колірного балансу, і пропонуємо алгоритм корекції колірного балансу, заснованого на простих статистичних характеристиках цифрового зображення для поліпшення його якості. В ході роботи були проаналізовані набори кольорових гам природного освітлення, з використанням великої бази даних природних зображень, в поєднанні з інформацією про справжнє освітлення, і пропонуємо швидкий алгоритм балансу кольору, заснованого на простих статистичних характеристиках цифрового зображення. На відміну від існуючих методів, наш алгоритм використовує тільки частину гами сцени, яка може відповідати нейтральному сірому кольору для оцінки освітлення.

Колір – властивість об'єктів світу, сприймається як зорове відчуття. Той чи інший колір «присвоюється» людиною об'єктам в процесі їх зорового сприйняття.

У переважній більшості випадків колірне відчуття виникає в результаті впливу на око людини потоків електромагнітного випромінювання з діапазону довжин хвиль від 380 до 760 нм, в якому це випромінювання сприймається оком. Іноді колірне відчуття виникає без впливу променистого потоку на око – при тиску на очне яблуко, ударі, електричному роздратуванні, а також по уявній асоціації з іншими відчуттями - звуку, тепла, і в результаті роботи уяви.

Різні колірні відчуття викликають різно пофарбовані предмети, їх різне освітлення ділянок, а також джерела світла і створюване ними освітлення. При цьому сприйняття кольорів можуть відрізнятися (навіть при однаковому відносному спектральному складі потоків випромінювання) в залежності від того, чи потрапляє в око випромінювання від джерел світла або від не самосвітних об'єктів.

Однак використовуються одні й ті ж терміни для позначення кольору цих двох різних типів об'єктів. Основну частку предметів, що викликають колірні відчуття, становлять об'єкти, які лише відбивають або пропускають світло, що випромінюється джерелами. У загальному випадку колір предмета обумовлений наступними факторами: його забарвленням і властивостями його поверхні; оптичними властивостями джерел світла і середовища, через яку світло поширюється; властивостями зорового аналізатора та особливостями ще недостатньо вивченого психофізіологічного процесу перероблення зорових вражень в мозкових центрах.

Стійке уявлення, що виробляється і закріплюється у людській свідомості про певні кольори, як невіддільна ознака звичних об'єктів спостереження називається «ефектом приналежності кольору», а сам колір визначають як «предметний» (в поліграфії «пам'ятний»). Ця психологічна особливість зорового сприйняття найбільш сильно проявляється при розгляданні не самосвітних предметів і обумовлена тим, що в повсякденному житті ми одночасно розглядаємо сукупності предметів, підсвідомо порівнюючи їх кольору, або порівнюємо колірні відчуття від різнопофарбованих або різноосвітлених ділянок цих предметів.

Ефект приналежності кольору не настільки сильний для джерел світла, оскільки їх рідко зіставляють з іншими джерелами, і зоровий аналізатор значною мірою адаптується до умов освітлення.

При якісному описі кольору використовують три його атрибути: колірний тон, насиченість і світлин.

Поділ ознаки кольору на ці взаємопов'язані компоненти є результат уявного процесу, істотно залежить від досвіду і навчання. Найбільш важливий атрибут кольору – колірний тон (відтінок кольору) – асоціюється в людській свідомості з обумовленістю забарвлення предмета.

Сірі тони (білі та чорні) називаються ахроматичними (безбарвними) і вважають, що вони не мають насиченості та розрізняються лише по світлості. Світлість свідомість зазвичай пов'язує з кількістю чорного або білого пігменту, рідше – з освітленістю.

Світлість пофарбованих об'єктів оцінюють, зіставляючи їх з ахроматичністю об'єктів. Ахроматичність не самосвітних об'єктів обумовлена рівномірним відбиванням ними випромінювань всіх довжин хвиль в межах видимого спектра. Колір ахроматичних поверхонь, що відбивають максимум світла, називається білим.

Насиченість і світлість не самосвітних об'єктів взаємопов'язані, тому що посилення виборчого спектрального поглинання при збільшенні кількості (концентрації) фарбника завжди супроводжується зменшенням інтенсивності відбитого світла, що викликає відчуття зменшення світлини. Так, троянда більш насиченого пурпурного кольору сприймається най темною, ніж троянда з тим же, але менш вираженим колірним тоном.

Одночасне розглядання одних і тих же не самосвітних предметів або джерел світла кількома спостерігачами з нормальним колірним зором (в однакових умовах розглядання) дозволяє встановити однозначну відповідність між спектральним складом порівнюваних випромінювань і викликаються ними колірними відчуттями. На цьому засновані колірні вимірювання (колориметрія). Хоча таке відповідність і однозначно, але не взаємно однозначно: однакові колірні відчуття можуть викликати потоки випромінювань різного спектрального складу.

Протягом 20-го століття кілька досліджень і експериментів по підборі кольорів показали, що зорова система людини значною мірою є постійність кольору [1] – ми здатні розпізнавати кольори з високою точністю при широкому діапазоні природного освітлення. У своїх фундаментальних роботах по колірному зору, включаючи розробку теорії Retinex в кінці 70-х років [2], Едвін Ленд показав, що при інтерпретації кольору певного об'єкта зорова система людини спирається не на абсолютний склад довжин хвиль, що виходять від нього, а радше на його відносний спектральний склад у порівнянні з навколишнім середовищем. Він також запропонував алгоритм, який пророкує колір об'єкта, рівномірно освітленого об'єктом, об'єкту, рівномірно освітленого джерелом світла з довільним спектром як моделі для зорової системи людини [3]. Теорія та експерименти Ленда привели до розробки безлічі алгоритмів, які намагаються оцінити компонент освітленості по вхідному зображенню і домогтися сталості кольору в системах обробки зображень.

### **Мета та задачі дослідження**

Метою даної роботи є аналіз методів колірного балансу зображень, виявлення їх недоліків і пропозиція процедури корекції колірного балансу, заснованої на виявленні паразитного відтінку і видаленні його з зображення за допомогою автоматизованої пакетної обробки зображення.

## Основна частина

Основу професійної обробки цифрових зображень складає настройка їх тонових рівнів і колірних параметрів. Комп'ютерне подання цих характеристик має багато спільного. Так, тон зображення визначається яскравістю пікселів. Дані зображення пов'язане з тоновими рівнями окремих кольорів колірних моделей, сукупність яких призводить до показу на екрані кольорового зображення.

Кольорові спотворення знімків крім багатьох інших причин пов'язані також і з освітленням сцени, що знімається, неправильним завданням балансу білого, помилками в експозиції. Різні джерела світла створюють освітлення з різними колірними характеристиками. Тому якщо при зніманні неправильно встановлений баланс білого, то в знімках з'являється колірний відтінок, який підлягає коригуванню. Недоекспонування або зменшення фокусування призводять до пом'якшення насиченості кольорів, а при перетримці виходять пастельні кольори. Все це призводить до необхідності програмної настройки кольору.

Баланс кольорів – це співвідношення кольорів в зображенні. Регулювання колірною балансу дозволяє посилити або послабити один колір за рахунок іншого додаткового (компліментарного) йому. Наприклад, червоний колір компліментарне (протилежний на колірному колі) блакитному, зелений – пурпурному, жовтий – синього.

Баланс білого – це своєрідна точка відліку для всіх інших кольорів. В основі роботи системи балансу білого лежить простий принцип: якщо в певних умовах освітлення будь-якої частина білого кольору буде виглядати білим, значить, і всі інші кольори будуть передані точно. Тобто система балансу білого повинна коригувати кольору зображення, ґрунтуючись на тому «переконанні», що білий колір дійсно білий.

Правильна настройка балансу білого дозволяє отримувати зображення природних кольорів. Ідеальний баланс білого – це коли зображення має виглядати, як якщо всі об'єкти висвітлювалися нейтрально-білим світлом.

У поліграфії баланс «по-сірому» – засіб для отримання на відбитку правильних кольорів, включаючи нейтральні світлі, сірі й темні тони, в основі якого лежить процедура створення в колірному просторі друкованого синтезу шкали нейтральних сірих тонів.

Кольорові відбитки мають вигляд краще не за рахунок правильного хроматичного балансу, а коли сірий надрукований сірим – це є управління, що приводить зображення в цілому до сірого. Таким чином, середній колір фотографії повинен бути сірим, якщо знайти реальний усереднений колір, то він покаже паразитний відтінок. Паразитний відтінок – це небажаний колірне зрушення зображення. Наприклад, знімок, зроблений в приміщенні фотокамерою без спалаху, може мати жовтуватий відтінок.

Людське сприйняття влаштовано таким чином, що саме діапазон середніх тонів (яскравість) є для нас найбільш інформативним. У середніх тонах наше зір

має максимальний колірний обхват, саме там сприймаємо кольору найбільш насиченими, краще розрізняємо яскравості контрасти та дрібні деталі.

Установка колірного балансу в середніх тонах забезпечує нас найбільшою інформацією про колір. Якщо у світлах та тінях немає проблем, паразитні відтінки не особливо сильні, а зображення близько до повно контрастного, то такий установи буде достатньо для отримання прийнятної якості зображення.

Розглянемо найбільш відомі та популярні алгоритми балансу кольору: баланс точки сірого, «ідеальний відбивач», баланс по точках білого і чорного, баланс сірого в моделі LAB.

В алгоритмі балансу точки сірого висувається припущення, що сума всіх кольорів на зображенні природної сцени дає сірий колір. Необхідно провести підрахунок середніх яскравостей по всіх каналах:

$$\bar{R} = \frac{1}{N_x \times N_y} \sum R(x, y); \bar{G} = \frac{1}{N_x \times N_y} \sum G(x, y); \bar{B} = \frac{1}{N_x \times N_y} \sum B(x, y); Avg = \frac{\bar{R} + \bar{G} + \bar{B}}{3}, \quad (1)$$

де  $R(x, y)$ ,  $G(x, y)$ ,  $B(x, y)$  – колірні характеристики зображення (червоний, зелений і синій);

$N_x, N_y$  – розмір зображення в пікселях;

$Avg$  – середні значення.

Масштабувати яскравості пікселів за такими коефіцієнтами:

$$R' = R \cdot \frac{Avg}{\bar{R}}; \quad G' = G \cdot \frac{Avg}{\bar{G}}; \quad B' = B \cdot \frac{Avg}{\bar{B}}. \quad (2)$$

Метод «ідеальний відбивач» передбачає, що найбільш яскраві області зображення належать до відблисків на поверхнях, модель відбивання яких, така, що колір відблиску дорівнює кольору освітлення (дихроматична модель). Необхідно виявити максимуми по кожному з каналів:  $R_{max}, G_{max}, B_{max}$ . Потім масштабувати яскравості пікселів:

$$R \times \frac{255}{R_{max}}; \quad G \times \frac{255}{G_{max}}; \quad B \times \frac{255}{B_{max}}. \quad (3)$$

Ідея алгоритму розтягнення контрастності ("autolevels") полягає в розтягуванні інтенсивності по кожному з каналів на весь динамічний діапазон. Для цього необхідно знайти мінімум, максимум по кожному з каналів  $R_{min}, R_{max}, G_{min}, G_{max}, B_{min}, B_{max}$  [3].

В ході дослідження було проведено аналіз алгоритму корекції цифрових зображень заснований на корекції балансу сірого. В даному алгоритмі розглядається корекції балансу по-сірому зображення в колірному просторі.

Науково встановлено, що око більш критичний до помилок відтворення тонів (порушень колірного контрасту або контрасту сірих тонів), ніж до помилок у відтворенні кольору. Іншими словами, мозок може коригувати колір, ґрунтуючись на загальноприйнятих поняттях, але він не може створити контраст між окремими колірними відтінками, якщо його немає на відбитку. Часто кажуть, що тіні на відбитку «завалені», а особа плоске. І це не що інше, як

відсутність деталей зображення внаслідок малого тонового або кольорового контрасту. І чим насиченішим тон і колір фону, але це важливо при друку тексту на кольоровому тлі (друк по виворотці) тим більшим має бути контраст, щоб розрізнити деталі на цьому тлі, особі. Те, що очей менш критичний до помилок відтворення кольору, ніж тонового контрасту, наочно доводиться існуванням високоякісних чорно-білих або одно фарбових репродукцій з кольорових оригіналів, у яких кольорові деталі відтворюються на відбитку нейтрально сірими тонами (або тонами однієї фарби) тільки за рахунок контрасту світлоти.

Таким чином, середній колір фотографії повинен бути сірим, якщо знайти реальний усереднений колір, то він покаже паразитний відтінок. Паразитний відтінок – це небажаний колірне зрушення зображення. Наприклад, знімок, зроблений в приміщенні фотокамерою без спалаху, може мати жовтуватий відтінок.

Для представлення кольорових цифрових зображень широко використовуються колірний RGB-простір і колірні координатні RGB-системи. RGB-уявлення відповідає фізіології людського зору, але не є інтуїтивним. У розмові про колір природніше оперувати поняттями світлота (яскравість), насиченість, колірний тон.

Стандартизовані RGB-простори, широко використовуються при поданні цифрових зображень, такі як sRGB, Adobe RGB і ін., ні є лінійними (використовують нелінійну гамма-корекцію), що робить некоректну операцію складання колірних векторів за правилом паралелограма в цих просторах. Отже, стають некоректними з фізичної точки зору такі перетворення зображень як розмиття, просторові перетворення (зміна розміру, корекція спотворень і т.п.), що використовують інтерполяцію. Тим часом такі некоректні дії практикуються в багатьох програмах обробки зображень.

Проведемо побудову ортогональної колірної координатної системи. Однією з осей координатної системи виберемо вісь світлоти (L). Дві інші осі координат повинні розташовуватися в площині, перпендикулярній осі L. На цій площині можна буде ввести полярну систему координат «насиченість - тон». Точки колірного простору, відповідні ахроматичним (сірим) квітам повинні розташовуватися на осі L.

Будемо виконувати побудову нової координатної системи, відшукуючи перетворення в цю систему колірних даних, представлених в sRGB – поширеною в практиці цифрової фотографії та обробки зображень колірної координатної системи [1]. Розглянемо формули перетворення sRGB-координат в лінійні координати CIEXYZ. Перетворення виконується у два етапи. Спочатку дані sRGB лінеаризуються:

$$C_{\text{лин}} = \begin{cases} \frac{C_{\text{srgb}}}{12.92}, & C_{\text{srgb}} \leq 0.4045, \\ \left(\frac{C_{\text{srgb}}}{1+a}\right)^{2.4}, & C_{\text{srgb}} > 0.4045, \end{cases} \quad (4)$$

де  $a = 0.055$ ;

$C_{srgb}$  – вихідні (наприклад, лічені з файлу зображення) гамма-кориговані (нелінійні) sRGB-значення R, G або B (формули для перетворення R, G і B однакові);

$C_{лин}$  – лінеаризовані значення R, G або B. Тут і далі передбачається, що потрібно було, щоб колірні координати виражалися числами в діапазоні від 0.0 до 1.0.

Далі лінеаризовані значення RGB піддаються лінійному перетворенню для отримання координат XYZ. У векторно-матричній формі це перетворення виражається так:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.4124 & 0.3576 & 0.1805 \\ 0.2126 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9505 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} R_{лин} \\ G_{лин} \\ B_{лин} \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Величина Y в CIEXYZ дорівнює фотометричній яскравості, а, якщо значення нормується на діапазон [0,0, 1.0], то його можна розглядати як світлоту. Таким чином, світлота L в новій системі координат буде обчислюватися як:

$$L=Y=0.2126 R_{лин} + 0.7152G_{лин} + 0.0722B_{лин}. \quad (6)$$

Зауважимо, що якщо значення  $R_{лин}$ ,  $G_{лин}$ ,  $B_{лин}$  належать відрізку [0,0, 1.0], значення L також будуть перебувати в цьому діапазоні, оскільки сума позитивних коефіцієнтів в (6) дорівнює 1.

Знайдемо положення осей  $R_{лин}$ ,  $G_{лин}$ ,  $B_{лин}$  в новій ортогональній системі. Для спрощення надалі будемо позначати  $R = R_{лин}$ ,  $G = G_{лин}$ ,  $B = B_{лин}$ . Поодинокі напрямні вектори осей R, G, B, що утворюють базис цієї координатної системи, позначимо R, G і B, а одиничний вектор осі L - L.

Відповідно до (6) значення  $L_R = 0.2126$ ,  $L_G = 0.7152$  і  $L_B = 0.0722$  - це L-координати векторів R, G і B в новій ортогональній системі. Звідси можна визначити кути (косинуси кутів) нахилу осей R, G і B до осі L нової координатної системи (рис. 1):

$$\begin{aligned} \cos \alpha_R &= L_R = 0.2126; \alpha_R = 78.45^\circ, \\ \cos \alpha_G &= L_G = 0.7152; \alpha_G = 45.57^\circ, \\ \cos \alpha_B &= L_B = 0.0722; \alpha_{BR} = 84.26^\circ. \end{aligned} \quad (7)$$

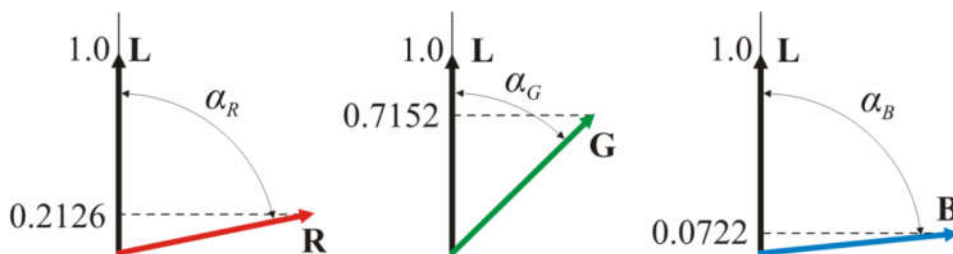


Рисунок 1 – Кути нахилу осей R, G, B до осі L

Тепер необхідно визначити проєкції векторів R, G і B на площину, перпендикулярну осі L, точніше, кути між цими проєкціями. Обставиною, що дозволяє це зробити, є вимога збалансованості RGB-простору, коли

ахроматичності (сірі) кольору мають рівні координати R, G і B. У новій системі координат ахроматичності кольору можуть мати ненульовий тільки L-координату. Це виражається наступним співвідношенням між поодинокими напрямними векторами осей R, G, B і L:

$$R + G + B = L. \quad (8)$$

У проєкції на вісь L умова (8) виконується в силу (6). Розглянемо проєкцію (8) на площину, перпендикулярну осі L. Використовуємо на цій площині координатні осі a і b, що утворюють разом з віссю L правостороннім ортогональну систему координат. Тоді рівняння (8) у проєкціях на осі a і b буде виглядати так:

$$\begin{aligned} \sin \alpha_R \cos \beta_R + \sin \alpha_G \cos \beta_G + \sin \alpha_B \cos \beta_B &= 0, \\ \sin \alpha_R \sin \beta_R + \sin \alpha_G \sin \beta_G + \sin \alpha_B \sin \beta_B &= 0. \end{aligned} \quad (9)$$

Тут  $\sin \alpha_R, \sin \alpha_G, \sin \alpha_B$  – довжини проєкцій одиничних векторів R, G і B на площину a-b, а  $\beta_R, \beta_G$  и  $\beta_B$  – невідомі кути між цими проєкціями та віссю a (рис. 2).

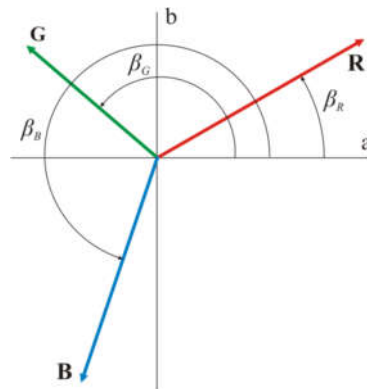


Рисунок 2 – Кути між проєкціями векторів R, G, B на площину a-b і віссю a

Чи не зменшуючи спільності розгляду, можна прийняти, що напрямок проєкції вектора R на площину a-b збігається з позитивним напрямком осі a (рис. 3). Тоді:

$$\cos \beta_R = 1; \sin \beta_R = 0 \quad (10)$$

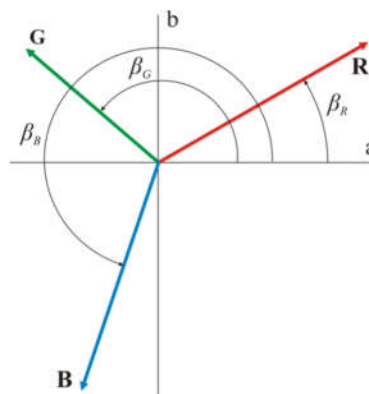


Рисунок 3 – Невідомі кути між проєкціями R, G і B на площину a-b

З (9) отримуємо:

$$\begin{aligned} \sin \alpha_R + \sin \alpha_R \cos \beta_R + \sin \alpha_R \cos \beta_R &= 0, \\ \sin \alpha_G \sin \beta_G + \sin \alpha_B \cos \beta_B &= 0. \end{aligned} \quad (11)$$

Співвідношення (11) являють собою систему двох трансцендентних рівнянь з двома невідомими  $\beta_G$  і  $\beta_B$ , вирішуючи яку знаходимо:

$$\begin{aligned} \cos \beta_R &= \frac{\sin^2 \alpha_B - \sin^2 \alpha_R - \sin^2 \alpha_G}{2 \times \sin \alpha_G \times \sin \alpha_R}, \\ \cos \beta_B &= \frac{\sin^2 \alpha_G - \sin^2 \alpha_R - \sin^2 \alpha_B}{2 \times \sin \alpha_B \times \sin \alpha_R}, \\ \sin \beta_G &= \sqrt{1 - \cos^2 \beta_G}, \\ \sin \beta_B &= \sqrt{1 - \cos^2 \beta_B}. \end{aligned} \quad (12)$$

Підставляючи в (12) значення з (7), визначаємо кути:  $\beta_G = 109.2$ ,  $\beta_B = 221$ .

Таким чином, ми визначили положення базисних векторів системи координат RGB (лінеаризоване sRGB) в новій ортогональній системі координат з осями L, a і b. Тим самим, визначена і ця нова координатна система.

Існує, традиція, яка, зокрема, дотримується в CIELAB, коли колірному тону  $0^\circ$  відповідає пурпурового кольору, а колірний тон жовтого  $-90^\circ$ . У зв'язку з цим змінимо напрямки координатних осей на площині, перпендикулярній осі L, так, щоб колірний тон жовтого кольору становив  $90^\circ$ . Жовтий колір утворюється рівними частками червоного і зеленого. Відповідно, колірний тон жовтого може бути визначений з розгляду проекції на площину a-b вектора  $Y = R + G$  (рис. 4).

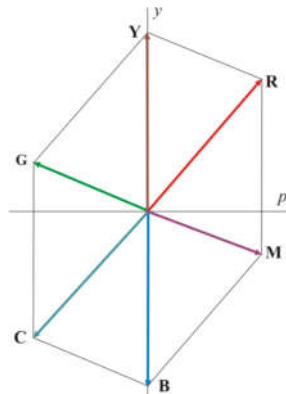


Рисунок 4 – Площина p-y колірної координатної системи Lру Y - жовтий (yellow);  
C - бірюзовий (cyan); M - пурпурний (magenta)

Остаточно як ортогональної системи координат, яка пропонується для використання, вибираємо координатну систему Lру. Осі p і y цієї системи повернені щодо осей a і b за годинниковою стрілкою на кут, який проекція вектора Y на площину a-b утворює з віссю b. Для sRGB цей кут складає  $48.6^\circ$ . Назви осей p і y нової координатної системи утворені від слів purple – пурпурний і yellow – жовтий. Ось L – lightness (світлин).

Остаточно як ортогональна система координат, яка пропонується для використання, вибираємо координатну систему Lру. Осі p і y цієї системи

повернені щодо осей  $a$  і  $b$  за годинниковою стрілкою на кут, який проекція вектора  $Y$  на площину  $a$ - $b$  утворює з віссю  $b$ . Для sRGB цей кут складає  $48.6^\circ$ .

Назви осей  $p$  і  $y$  нової координатної системи утворені від слів purple – пурпурний і yellow – жовтий. Ось  $L$  – lightness (світлоти).

Співвідношення (7), (10) і (12), а також облік повороту осей координат в положення, коли напрямок осі  $p$  збігається з напрямком проекції вектора  $Y$  на площину, перпендикулярну осі  $L$ , дозволяє визначити координати базисних одиничних векторів координатної системи RGB в новій координатній системі Lру. Ці координати є елементами матриці перетворення з координатної системи RGB в координатну систему Lру. Перетворення запишеться так:

Співвідношення (7), (10) і (12), а також облік повороту осей координат в положення, коли напрямок осі  $p$  збігається з напрямком проекції вектора  $Y$  на площину, перпендикулярну осі  $L$ , дозволяє визначити координати базисних одиничних векторів координатної системи RGB в новій координатній системі Lру. Ці координати є елементами матриці перетворення з координатної системи RGB в координатну систему Lру. Перетворення запишеться так:

$$\begin{pmatrix} L \\ P \\ Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} L_R L_G L_B \\ P_R P_G P_G \\ Y_R Y_R Y_R \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}. \quad (13)$$

Виконавши обчислення, для sRGB отримаємо:

$$\begin{pmatrix} L \\ P \\ Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,2126 & 0,7151 & 0,0722 \\ 0,6468 & -0,6468 & 0,0000 \\ 0,7325 & 0,2649 & -0,9974 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}. \quad (14)$$

Нагадаємо, що в правій частині (14) фігурує вектор лінеаризованих sRGB-координат. Перетворення з Lру в лінеаризовану sRGB може бути записано, якщо використовувати звернену матрицю перетворення (14):

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1,0000 & 1,1355 & 0,0724 \\ 1,0000 & -0,4107 & 0,0724 \\ 1,0000 & 0,7248 & -0,9302 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} L \\ P \\ Y \end{pmatrix}. \quad (15)$$

Необхідно порахувати середні яскравості по всіх каналах:

$$\bar{L} = \frac{1}{N_x \times N_y} \sum L(x, y); \quad a, b = 0, \quad (16)$$

де  $L(x, y)$  – освітленість. Це сукупність понять яскравість (lightness) і інтенсивність (chrome);

$a, b$  – два хроматичних компонента;

$N_x, N_y$  – розмір зображення в пікселях.

Масштабування яскравостей пікселів проводиться за такими коефіцієнтами:

$$L' = L \cdot \frac{Avg}{L}; \quad A' = A \cdot \frac{Avg}{A}; \quad B' = B \cdot \frac{Avg}{B}. \quad (17)$$

де Avg – середні значення яскравості;

$A(x,y)$  – колірна гамма від зеленого до пурпурного;

$B(x,y)$  – колірна гамма від блакитного до жовтого.

Використовуючи даний метод варто враховувати що вихідна картинка необов'язково матиме середню яскравість. Якщо зображення в цілому темніше середнього, результат застосування фільтра усереднення так само буде темніше середнього, а інвертована версія виявиться світліше середнього і разом з позбавленням від паразитного відтінку картинка отримає непотрібне освітлення.

Працюючи з колірною моделлю Lab варто враховувати, піднімаючи колірну насиченість в Lab, крива в каналі b повинна мати меншу крутість, ніж в каналі a. Інакше теплі тони починають йти в жовтизну.

## Результати дослідження

При розробці алгоритму корекції колірного балансу вирішуються наступні завдання:

- визначення і видалення паразитного відтінку, наявні в зображенні;
- розробка скрипту для автоматизації даного алгоритму.

Середній колір фотографії повинен бути сірим, якщо знайти реальний усереднений колір, то він покаже паразитний відтінок. Паразитний відтінок – це небажаний колірне зрушення зображення. Наприклад, знімок, зроблений в приміщенні фотокамерою без спалаху, може мати жовтуватий відтінок.

Для тестування запропонованого алгоритму та налаштування параметрів використовувалися пакет прикладних програм Matlab і графічний редактор Adobe PhotoShop версії CS.

В якості тестових зображень були використані цифрові зображення з високою роздільною здатністю. Розміри оброблюваних зображень  $5184 \times 3456$  пікселів. Формат зображень – JPEG, колірний простір – RGB. Для дослідження було використано 750 зображень. Ми виключили область сірого з даних зображення, доступних для оцінки. В max-RGB ми відкидали пікселі вище порога у 242 (95% динамічного діапазону), щоб уникнути нелінійності через обрізання сигналу. У відтінках сірого ми використовували значення норми Маньківського  $p = 6$ . Для кожного зображення обчислювали оцінювальний вектор освітленості  $L$  з компонентів  $R$ ;  $G$ ;  $B$ , нормалізували його і порівняли його з істинними значеннями  $r$ ;  $g$ ;  $b$  для кожного зображення. Ми використовували загальну кутову метрику помилки в просторі RGB, щоб виміряти, наскільки точні оцінки.

В ході проведення експерименту було виявлено, що при використанні запропонованого алгоритму відбувається зміщення колірного балансу зображення в сторону червоного кольору. Після застосування квадратичної корекції до зображення, колірний баланс значно покращився.

Запропонований нами алгоритм досяг нижчих середніх і медіанний помилок, а також найменшого стандартного відхилення серед розглянутих методів. Застосування максимального і мінімального обмежень на оцінку поліпшило результати у всіх випадках.

Для автоматизації запропонованої процедури був написаний script на мові Javascript і впроваджений в програму Adobe Photoshop. Програмна реалізація була виконана в програмі за допомогою фільтра Average (Усереднення) здійснюється підрахунок і усереднення значень яскравості пікселів зображення.

Скрипт виконує наступні дії:

- переклад в колірну модель LAB;
- створення дублікату активного шару;
- застосування фільтра Average (Усереднення);
- обчислення кольору пікселя цього шару;
- обчислення середньої яскравості;
- видалення шару з фільтром Average (Усереднення);
- створення коректує кривої з потрібними параметрами;
- переклад в колірну модель RGB.

## Висновки

У нашому дослідженні ми запропонували алгоритм корекції цифрового зображення, а також пояснили необхідність автоматичного балансу сірого. В ході експериментальної частини отримані результати моделювання, які підтверджують ефективність запропонованого алгоритму.

Потім ми розглянули можливість реалізації запропонованої процедури в графічному редакторі Adobe PhotoShop.

Експериментальні дослідження показали, що не для всіх типів цифрових зображень така процедура корекції підходить. Зображення, що містять яскраві відтінки кольору або зображення, що містять багато тонких відтінків одного кольору, наприклад шкіра на портретах, рекомендується обробляти іншими методами.

Здійснена автоматизація запропонованої процедури дозволяє здійснювати пакетну обробку зображень, скорочуючи час на обробку зображень.

### Список літератури

1. Kenney A. Digital Benchmarking for Conversion and Access // Moving Theory into Practice: Digital Imaging for Libraries and Archives. 2018. Ch. 3. P. 24-60.
2. Frey F., Susstrunk S. Color Issues to Consider in Pictorial Image Data Bases // Technology. 2017. SPIE Vol. CR61. P. 120-152.
3. Маргулис Д. Photoshop LAB Color. Загадка каньона и другие приключения в самом мощном цветовом пространстве / пер. с англ. под ред. В. Погорелого. М.: Интелбук, 2019. 480 с.
4. Barnard K., Cardei V., Funt B. A comparison of computational color constancy algorithms – part I: Methodology and experiments with synthesized data // IEEE Transactions on Image Processing. 2017. vol 11. no. 9.
5. Колесникова Т.А., Жук Е.Ю., Синотин А.М. Процедура коррекции цветового баланса цифровых изображений в цветовом пространстве LAB // Системы обработки информации. 2014. №1 (38). С. 122-124.