

УДК 004.9+543.08

**ЦВЕТОВАЯ КОРРЕКЦИЯ RGB-ДАТЧИКА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ЦИФРОВОМ
ЦВЕТОМЕТРИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ**

К.А. Садыхов

Научный руководитель: доцент, к.т.н. С.В. Силушкин
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: kurban201196@gmail.com

RGB-SENSOR COLOR CORRECTION FOR USING IN DIGITAL COLOR ANALYSIS

K.A. Sadykhov

Scientific Supervisor: Associate professor, Ph.D. S.V. Silushkin
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: kurban201196@gmail.com

***Abstract.** This report presents the development of a system for reproducing the color of an object and performing color correction using digital RGB-sensor TCS34725 and finding a nonlinear regression that describes the sensitivity function of an RGB-sensor with a minimum error using inverse reexpression Moore-Penrose. Optimal definition of color correction allows you to reduce the errors when conducting digital color analysis. The achieved result makes it possible to make a compact and affordable system for reproducing the color of an object and performing color correction.*

Введение. Цветовая коррекция является основным этапом восстановления цвета объекта при его определении. Причина необходимости проведения цветовой коррекции – функция чувствительности RGB-датчика не может быть представлена с помощью линейной регрессии. Линейная модель цветовой коррекции, которая применялась в ряде исследований, например, в работе [1] показано, что она может давать 8-битные RGB-коды со значительной погрешностью (25%). Альтернативным и более эффективным методом цветовой коррекции является полиномиальная модель регрессии для описания функции чувствительности RGB-датчика. Нелинейные модели регрессии позволяют получить значения RGB-кодов с меньшей погрешностью и применить их для преобразования в коды другого цветового пространства, к примеру, в XYZ систему.

В работе были поставлены следующие задачи: разработка быстродействующей системы определения цвета исследуемого объекта на базе цифрового RGB-датчика TCS34725 для цифрового цветометрического анализа (ЦЦА) [2]; проведение цветовой коррекции; нахождение оптимальной нелинейной модели регрессии, описывающей функцию чувствительности RGB-датчика со средней погрешностью не более 5%.

Актуальными факторами для выполнения поставленных задач является: невысокая стоимость разработки по сравнению с профессиональными системами обработки цвета; корректное определение коэффициентов функции чувствительности RGB-датчика для уменьшения погрешности измерения при проведении ЦЦА.

Методы исследования. Система проведения цветовой коррекции состоит из аппаратной и программной частей. Макет аппаратной части этой системы был собран на базе платы Arduino Uno. Модуль с RGB-датчиком и белым светодиодом подключается к плате Arduino по двухпроводной шине I2C. Плата Arduino в свою очередь подключается к персональному компьютеру (ПК) по шине USB. Программная часть системы цветовой коррекции реализована на ПК и написана на языке программирования JAVA с применением библиотек: Swing – для создания графического интерфейса, jSSC – для информационного обмена с платой Arduino; JAMA – для проведения алгебраических операций с матрицами. Также для проведения цветовой коррекции использовались 24-х цветовые мишени Манселла ColorChecker Classic. RGB-коды мишеней приведены в источнике [3].

Проведение цветовой коррекции заключается в вычислении матрицы цветовых коэффициентов (МЦК) K с помощью инверсного преобразования Мура-Пенроуза:

$$K = Q \cdot M^T \cdot (M \cdot M^T)^{-1},$$

где Q – матрица, определяемая RGB-кодами полей Манселла; M – матрица, определяемая откликом RGB-датчика при измерении стандартных цветов мишени Манселла. Количество столбцов этих матриц определяется количеством образцовых цветов (цветовых координат), и равно 24, количество строк зависит от применяемого уравнения регрессии.

После того как МЦК была определена расчет RGB-кодов выполняется согласно функции чувствительности: $q = K \cdot m$, где m – вектор, определяемый откликом RGB-датчика по измеренным «сырым» r , g , и b сигналам с трех каналов RGB-датчика; q – вектор их соответствующих откалиброванных значений. Размеры этих векторов зависят от уравнения регрессии.

В процессе разработки данной системы было проведено исследование по нахождению оптимальной модели регрессии для вычисления МЦК среди следующих векторов:

$$\{r, g, b, r^2, g^2, b^2, 1\}^T; \quad (1) \quad \{r, g, b, \sqrt{rg}, \sqrt{gb}, \sqrt{br}, 1\}^T; \quad (2)$$

$$\{r, g, b, r^2, g^2, b^2, rg, gb, br, 1\}^T; \quad (3) \quad \{r, g, b, r^2, g^2, b^2, r^3, g^3, b^3, 1\}^T; \quad (4)$$

$$\{r, g, b, \sqrt{rg}, \sqrt{gb}, \sqrt{br}, \sqrt[3]{r^2g}, \sqrt[3]{g^2b}, \sqrt[3]{b^2r}, \sqrt[3]{rg^2}, \sqrt[3]{gb^2}, \sqrt[3]{br^2}, \sqrt[3]{rgb}, 1\}^T; \quad (5)$$

$$\{r, g, b, r^2, g^2, b^2, rg, gb, br, r^3, g^3, b^3, r^2g, g^2b, b^2r, rg^2, gb^2, br^2, rgb, 1\}^T. \quad (6)$$

Результаты. Сравнение полученных результатов цветовой коррекции, выполненных с применением, выше указанных регрессий, между полями Манселла и их восстановленными цветами проводилось по среднеквадратическому отклонению $RMSE$. Результаты вычисления $RMSE$ для трех каналов приведены в Таблице 1. На рис. 1 изображена диаграмма сравнения цветового различия в цветовом пространстве adobeRGB с применением векторов регрессии (3), (4) и (6), так как цветовая коррекция с этими векторами дает меньшее значение отклонения. Ось абсцисс соответствует номерам цветов мишени Манселла, а ось ординат – цветовому различию, так как в ЦЦА, для расчета концентрации веществ, применяется цветовое различие, предложенное авторами в работах [2, 4]:

$$\Delta E = \sqrt{[(R_0 - R_i)^2 + (G_0 - G_i)^2 + (B_0 - B_i)^2]},$$

где R_0, G_0, B_0 – стандартные коды полей Манселла; R_i, G_i, B_i – их восстановленные коды после цветовой коррекции.

Таблица 1

Сравнение RMSE

Стандарт RGB	Канал	Применяемый вектор для цветовой коррекции					
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
sRGB	R	12,203	14,338	9,383	17,499	9,624	3,083
	G	5,389	12,082	4,909	4,165	8,281	2,187
	B	8,180	8,938	4,734	9,442	6,749	1,792
adobeRGB	R	5,156	9,973	4,772	3,095	8,321	1,414
	G	4,810	11,256	4,447	3,250	7,856	2,061
	B	6,367	7,974	3,755	5,762	5,805	1,809

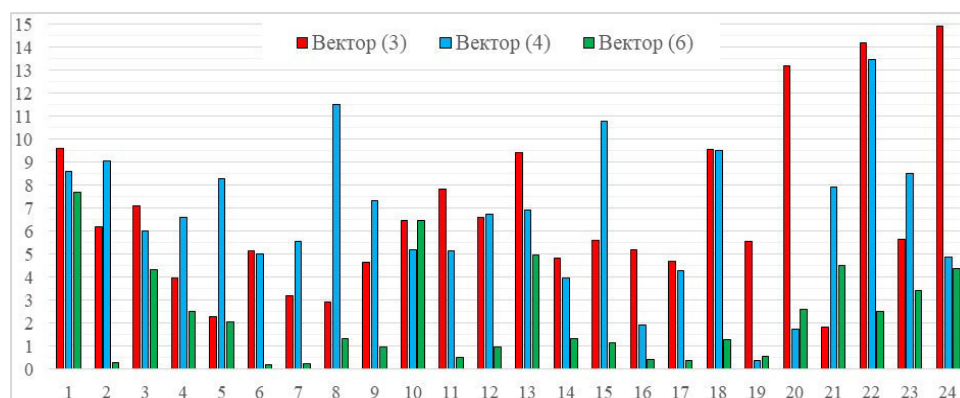


Рис.1. Диаграмма цветового различия

Заключение. В ходе проведения экспериментальных исследований было определено, что для RGB-датчика TCS34725 погрешность восстановления цвета составляет не более 5 % при проведении цветовой коррекции с применением полиномиальной регрессии, используя вектор (6) в цветовом пространстве adobeRGB. Преимуществом разрабатываемой системы является её невысокая стоимость по сравнению с промышленными образцами и интуитивно воспринимаемый пользователем графический интерфейс. Так как программное обеспечение реализуется на языке JAVA, то в дальнейшем, предполагается адаптировать предлагаемое авторами решение на платформу Android. Рассмотренное решение возможно применять для проведения калибровки RGB-датчиков в ЦЦА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Спиридонова А.С. Полиметакрилатные оптоды в многокомпонентном цифровом цветометрическом экспресс-анализе состава веществ: Дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 2019. – С. 59–61.
2. Силушкин С.В. Цифровой цветометрический анализатор для определения состава веществ на основе полимерных оптодов: Дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 2011. – С. 40–44.
3. RGB coordinates of the Macbeth ColorChecker [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.babelcolor.com/index_htm_files/RGB%20coordinates%20of%20the%20Macbeth%20ColorChecker.pdf. (дата обращения 28.02.2021)
4. Gavrilenko N.A., Muravyov S.V., Silushkin S.V., Spiridonova A.S. Polymethacrylate optodes: A potential for chemical digital color analysis // Measurement. – 2014. – V. 51. – P. 464–469.