

УДК 621.923.74

Обоснование конструкции и технологии изготовления калибровочной меры из цветных оптических стекол

Сагателян Гайк Рафаэлович

h_sagatelyan@bmstu.ru

SPIN-код: 5277-0435

Пискунова Елизавета Романовна^(*)

piskunovaer@student.bmstu.ru

Кузнецов Алексей Станиславович

askuznetsov@bmstu.ru

SPIN-код: 8909-3004

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. В современном мире возрастает значимость систем дополненной реальности. Для визуализации изображений и распознавания цветов предлагается применять цветовую калибровочную меру. Представлена методика, основанная на теории цвета, с помощью которой удастся распознавать цвета в системах дополненной реальности без использования спектрометра. Оптический микроскоп выдает зависимости, по которым определяются RGB координаты, по которым, в свою очередь, уже рассчитываются координаты xy.

Ключевые слова: цветовая калибровочная мера, RGB координаты, набор светофильтров, цвета изображений

Substantiation of the design and manufacturing technology of a calibration measure made of colored optical glasses

Sagatelian Gaik Rafaelovich

h_sagatelyan@mail.ru

SPIN-code: 5277-0435

Piskunova Elizaveta Romanovna^(*)

piskunovaer@student.bmstu.ru

Kuznetsov Aleksey Stanislavovich

askuznetsov@bmstu.ru

SPIN-code: 8909-3004

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. Augmented reality systems are of great importance in the modern world. It is proposed to use a color calibration measure to visualize images and recognize colors. A technique based on color theory is presented, which makes it possible to recognize colors in augmented reality systems without using a spectrometer. The optical microscope provides dependencies that determine the RGB coordinates, which turn are already used to calculate the xy coordinates.

Keywords: color calibration measure, RGB coordinates, a set of light filters, image colors

Введение. Целью представленного исследования является распознавание и визуализация цветов в дополненной реальности с применением цветовой калибровочной меры [1–4]. Предлагается методика, при которой цвета удает-

ся распознавать на оптическом микроскопе без использования спектрометра по RGB координатам.

Материалы и методы. Для визуализации изображений в дополненной реальности (AR) используются различные методы, систем и алгоритмов, а также применение технологии в разных сферах. Методы привязки технологии дополненной реальности и калибровка цвета связаны через процесс, который позволяет точно выровнять виртуальные элементы и встроить их в реальную среду.

Маркерная AR: объекты накладывают с помощью специальных маркеров. При наведении камеры на маркер на его месте на экране появляется виртуальный объект.

Безмаркерная AR: виртуальные элементы размещают в пространстве на основе местоположения реальных объектов и времени взаимодействия пользователя с дополненной реальностью. Для этого используют данные с камеры, датчиков устройства, GPS и прочих источников.

Визуализация объекта в соответствии с ракурсом. Виртуальный материал накладывают на реальное изображение, чтобы представить объект с разных точек зрения.

Глобальное освещение имитирует эффекты непрямого освещения, вызванные отражением света от поверхностей в окружающей среде. Данный метод повышает реалистичность визуализации.

Пространственное картографирование: устройства AR, которое оснащено датчиками глубины, сканируют окружающую среду, чтобы создать 3D-сетку или облако точек. Эта сетка действует как цифровой двойник реального мира, позволяя приложениям AR понимать геометрию, поверхности и присутствующие объекты.

Калибровка цвета в дополненной реальности требуется для правильного сопоставления виртуальных и реальных объектов. Это необходимо, так как программное обеспечение дополненной реальности должно учитывать относительные размеры, цвета и другие характеристики виртуальных и реальных объектов. Компьютеризированный оптический микроскоп помогает решить задачи, связанные с калибровкой цвета. Так как выдает гистограмм распределения цветов RGB. Калибровка цвета включает настройку цветов, отражаемых на мониторе, в соответствии с известным стандартом. Для этого применяют цветовой эталон IT8, однако этот эталон реализован на пленках, структура полимеров которых зернистая, что вносит искажения при калибровке и идентификации цвета. Поэтому предлагается использовать цветовую калибровочную меру (рис. 1), так как она реализована на цветных оптических стеклах. Цветовая калибровочная мера изготовлена из 98 светофильтров, которые расположены в соответствии с картой расположения цветов.

Исследования проводились на компьютеризированном оптическом микроскопе Carl Zeiss Axio Imager Z.2 Vario (рис. 2).

Для численной идентификации цвета наблюдаемого изображения необходимо установить характеристики белого цвета в условиях данной оптико-

электронной системы [5–7]. Для настройки ПЗС-матрицы видеокамеры микроскопа предусмотрена команда *White Balance*, при выполнении которой применительно к эталону белого цвета в окне *Properties* формируется картина, представленная на рис. 3. В этом случае красный, синий и зеленый цвета образуют симметричные гистограммы, имеющие идентичные абсциссы максимумов. Это значит, что в цветовом кубе координаты цветов выведены на главную диагональ [5, 6]. Для получения наибольшей возможной глубины цветов увеличивают интенсивность освещения, смещая гистограммы вправо до достижения верхними границами гистограмм уровня 100%-ной яркости.

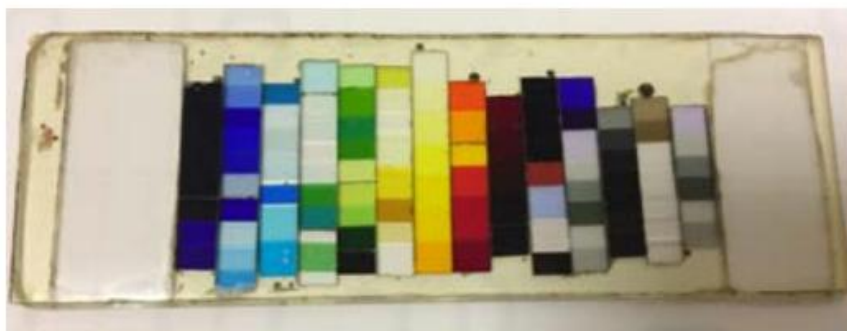


Рис. 1. Цветовая калибровочная мера



Рис. 2. Оптический микроскоп

Большая часть оптико-микроскопических исследований производится в проходящем свете. Очевидно, что на характеристики сигнала влияют особенности юстировки той части оптической системы, которая обеспечивает формирование изображения в проходящем свете. При выполнении команды *White Balance* в пучке проходящего света (без размещения в нем наблюдаемого объекта) формировались гистограммы глубин цветов, представленные на рис. 4.

Были исследованы три стекла марок КС-10, ЗС-8, СС-1. На рис. 5 представлены полученные RGB гистограммы.

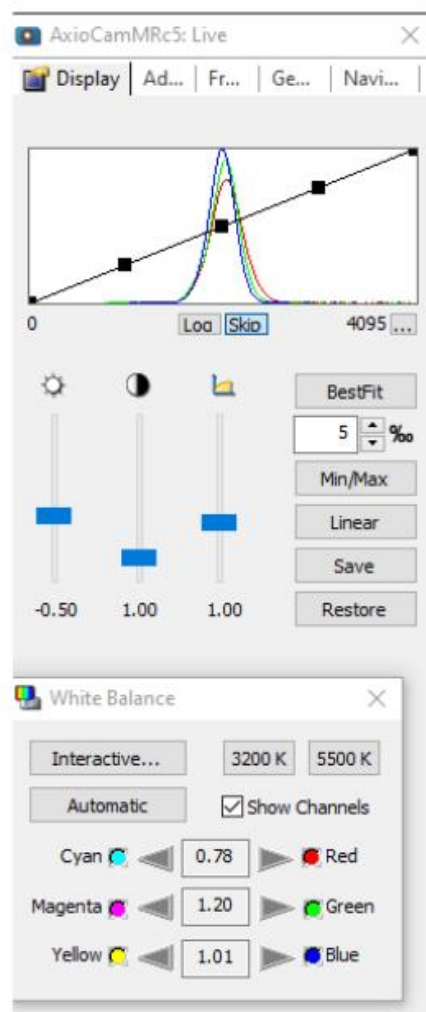


Рис. 3. Команда White Balance микроскопа

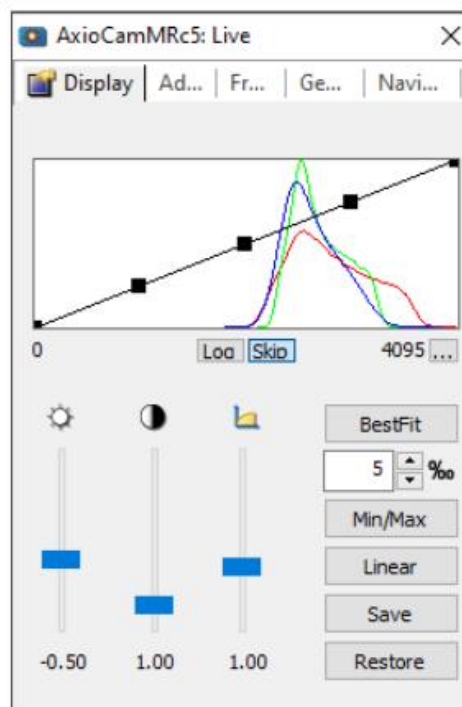


Рис. 4. White Balance в пучке проходящего света

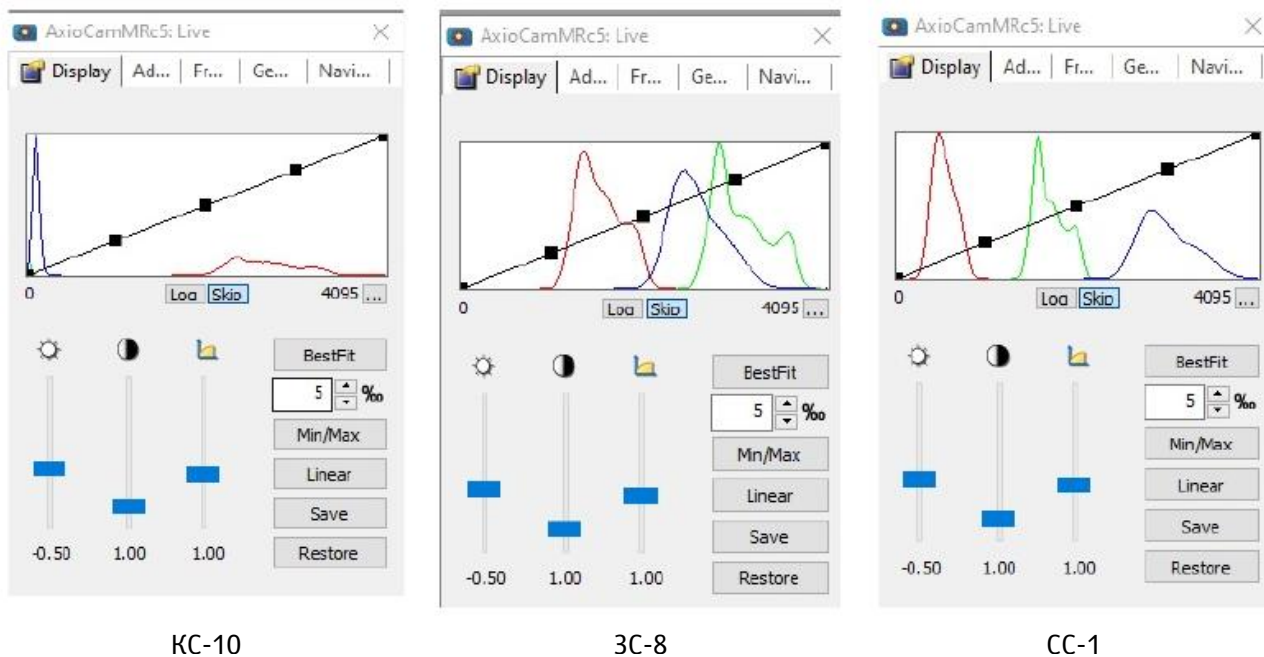


Рис. 5. Исследование оптических цветных стекол

Результаты. В ходе проделанной работы согласно полученным графикам (рис. 6) удастся вывести формулы (1)–(3) для расчета RGB координат изображения:

$$I_R = \text{absc} \left\{ \max \left[N^2 (I_R) \right] \right\}; \quad (1)$$

$$I_G = \text{absc} \left\{ \max \left[N^2 (I_G) \right] \right\}; \quad (2)$$

$$I_B = \text{absc} \left\{ \max \left[N^2 (I_B) \right] \right\}, \quad (3)$$

где I — интенсивность света; N — количество пикселей.

По данным формулам удалось получить значения I_R , I_G и I_B , далее с помощью матрицы (4) были рассчитаны координаты X , Y , Z , а затем координаты x , y , z были переведены по формулам (5), (6) в x , y .

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,4887 & 0,3107 & 0,2006 \\ 0,1762 & 0,8130 & 0,0108 \\ 0,0000 & 0,0102 & 0,9898 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}; \quad (4)$$

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}; \quad (5)$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}. \quad (6)$$

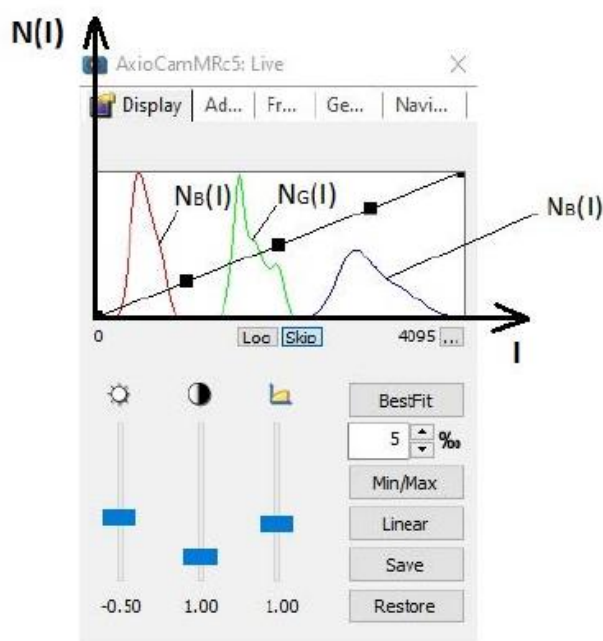


Рис. 6. График, полученный на микроскопе Carl Zeiss Axio Imager Z.2 Vario

Приведем расчет координат стекол марок СС1, ЗС8, КС 10.

Стекло СС1 формулы (7), (8), (9), (10):

$$\begin{vmatrix} X \\ Y \\ Z \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0,4887 & 0,3107 & 0,2006 \\ 0,1762 & 0,8130 & 0,0108 \\ 0,0000 & 0,0102 & 0,9898 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 0,12 \\ 0,49 \\ 0,71 \end{vmatrix}; \quad (7)$$

$$X = 0,35; Y = 0,43; Z = 0,71; \quad (8)$$

$$x = \frac{0,35}{0,35 + 0,43 + 0,71} = 0,24; \quad (9)$$

$$y = \frac{0,43}{0,35 + 0,43 + 0,71} = 0,28. \quad (10)$$

Стекло ЗС8 формулы (11), (12), (13), (14):

$$\begin{vmatrix} X \\ Y \\ Z \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0,4887 & 0,3107 & 0,2006 \\ 0,1762 & 0,8130 & 0,0108 \\ 0,0000 & 0,0102 & 0,9898 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 0,34 \\ 0,71 \\ 0,61 \end{vmatrix}; \quad (11)$$

$$X = 0,51; Y = 0,65; Z = 0,61; \quad (12)$$

$$x = \frac{0,51}{0,51 + 0,65 + 0,61} = 0,29; \quad (13)$$

$$y = \frac{0,65}{0,51 + 0,65 + 0,61} = 0,39. \quad (14)$$

Стекло КС10 формулы (15), (16), (17), (18):

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,4887 & 0,3107 & 0,2006 \\ 0,1762 & 0,8130 & 0,0108 \\ 0,0000 & 0,0102 & 0,9898 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0,57 \\ 0,00 \\ 0,03 \end{bmatrix}, \quad (15)$$

$$X = 0,26; Y = 0,10; Z = 0,03, \quad (16)$$

$$x = \frac{0,26}{0,26 + 0,10 + 0,03} = 0,67; \quad (17)$$

$$y = \frac{0,10}{0,26 + 0,10 + 0,03} = 0,27. \quad (18)$$

Для стекол, указанных марок были получены следующие координаты: СС1 (0,24; 0,28), ЗС8 (0,29; 0,38), КС10 (0,67; 0,27).

Расчеты координат стекол по спектрам, приведенным в паспорте набора светофильтров, проводились по следующим формулам (19), [6, 7]:

$$\begin{aligned} X &= k_c \int_0^{\infty} P_{\lambda}(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda, \\ Y &= k_c \int_0^{\infty} P_{\lambda}(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda, \\ Z &= k_c \int_0^{\infty} P_{\lambda}(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda, \end{aligned} \quad (19)$$

где $P_{\lambda}(\lambda)$ — спектральное распределение излучения источника; $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ — кривые сложения цветов, k_c — множитель, рассчитывается по формуле (20)

$$k_c = \frac{100}{\int_0^{\infty} P_{\lambda}(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda}. \quad (20)$$

Затем координаты X , Y , Z были переведены по формулам (5), (6) в x , y .

По спектрам, приведенным в паспорте, получились следующие координаты: СС1 (0,22; 0,23), ЗС8 (0,34; 0,48), КС10 (0,68; 0,32).

Обсуждение. Координаты стекол, полученные в ходе проведенного исследования, имеют небольшое расхождение со значениями координат стекол,

рассчитанных по спектрам, приведенным в паспорте набора светофильтров. Значение координат стекол, рассчитанных экспериментально и по спектру попадают в одни те же области диаграммы цветности, соответствующие цвету образца.

Заключение. С помощью цветовой калибровочной меры и предложенной технологии расчета координат цвета удастся идентифицировать цвета без использования спектрометра, что ускоряет и усовершенствует процесс визуализации изображений в дополненной реальности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] Махов Д.С., Сагателян Г.Р., Самородов А.В. Цветовая мера для калибровки систем цифровой микроскопии. *Измерительная техника*, 2021, № 10, с. 60–63.
- [2] Сагателян Г.Р., Самородов А.В., Кондратенко В.С., Пискунова Е.Р., Кузнецов А.С. Изготовление цветовой калибровочной меры для компьютеризованного гистологического анализа. XII *Международ. конф. по фотонике и информационной оптике: сб. тр.* Москва, НИЯУ МИФИ, 2022, с. 66–67.
- [3] Сагателян Г.Р., Кондратенко В.С., Пискунова Е.Р., Кузнецов А.С. Разработка конструкции и технологии изготовления набора цветowych эталонов для оптико-микроскопических исследований. *Приборы*, 2023, № 8, с. 40–43.
- [4] Сагателян Г.Р., Пискунова Е.Р., Соломашенко А.Б., Афанасьева О.Л., Кузнецов А.С. Разработка и изготовление цветовой калибровочной меры на основе применения цветных оптических стекол. *Оптический журнал*, 2025, т. 92, № 12, с. 45–56.
- [5] Годен Ж. *Колориметрия при видеообработке*. Москва, Техносфера, 2008, 328 с.
- [6] Горбунова Е.В., Чертов А.Н. *Колориметрия источников излучения*. Санкт-Петербург, Университет ИТМО, 2015, 126 с.
- [7] Горбунова Е.В., Чертов А.Н. *Типовые расчеты по колориметрии источников излучения*. Санкт-Петербург, Университет ИТМО, 2014, 90 с.