

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБА ИДЕНТИФИКАЦИИ ГРУППЫ ЦВЕТА
ЛЬНЯНЫХ ВОЛОКОН ПО ПРИНЦИПУ СРАВНЕНИЯ
С ЭТАЛОННЫМИ ОБРАЗЦАМИ**

**IMPROVEMENT OF METHOD OF IDENTIFICATION OF LINEN FIBRES COLOUR
GROUP ON PRINCIPLE OF COMPARISON
WITH REFERENCE SAMPLES**

А.В. ОРЛОВ, Е.Л. ПАШИН

A.V. ORLOV, E.L. PASHIN

**(Костромской государственной университет,
Костромская государственная сельскохозяйственная академия)**

**(Kostroma State University,
Kostroma State Agricultural Academy)**

E-mail: evgpashin@yandex.ru

Усовершенствован ранее предложенный инструментальный способ цветометрии льняного волокна, основанный на принципе оценки сходства его цифровых изображений с натуральными стандартными образцами. Такая необходимость возникла вследствие некорректного анализа цифровых, близких по структуре изображений, возникающих при значительном количестве пикселей, находящихся вблизи границ классов, на которые разбиты цветовые координаты. При таких условиях возможны случаи, когда два минимально отличающихся изображения могут быть признаны разными по распределению цветов. Для исключения указанного предлагается распределять вес проявления одного пикселя по соседним классам. Измененный алгоритм цветометрии будет обеспечивать сохранение умеренных требований к вычислительным ресурсам, а также близкую к максимальной чувствительность при расчетах различий изображений по цвету.

The previously proposed instrumental method of flax fiber colorimetry, based on the principle of assessing the similarity of its digital images with natural standard samples, has been improved. This need arose due to the uncorrected analysis of digital images that are similar in structure, which occur when a significant number of pixels are located near the boundaries of the classes into which the color coordinates are divided. Under such conditions, there may be cases when two minimally different images can be recognized as different in color distribution. To avoid this, it is proposed to distribute the weight of the appearance of one pixel among neighboring classes. The modified colorimetry algorithm will maintain moderate computational resource requirements, as well as close to maximum sensitivity when calculating image color differences.

Ключевые слова: льняное волокно, группа цвета, цветометрия, пиксели, класс цветовых координат, граница между классами, распределение пикселей.

Keywords: linen fiber, color group, color geometry, pixels, class of color coordinates, boundary between classes, pixel distribution.

Стандартизация льняного волокна предусматривает контроль его качества, требующий определения свойств, включая цветовую характеристику в виде группы цвета. Их устанавливают посредством сенсорного анализа путем сличения с эталонными образцами, что не может обеспечивать необходимую точность оценки. Поэтому для повышения объективности результатов испытания были предложены методы инструментального определения координат цветности в системе RGB посредством анализа цифровых изображений волокна [1...3].

Практика применения указанных инструментальных методов выявила многомодальность распределения цветовых координат, которая препятствует эффективному использованию их средних значений в качестве оценочного критерия.

Поиск более эффективных вариантов идентификации группы цвета волокна выявил семейство методов, основанных на теории распознавания образов и компьютерной обработке изображений, получаемых в том числе с применением сканеров [4...6]. Например, применяются методы, основанные на анализе многомодальных распределений цветовых координат либо в виде смеси составляющих их распределений по нормальному закону [7], либо с помощью гистограмм значений цветовых координат цвета [6], [8]. Эти алгоритмы обычно используются для сравнения распределений цветов в изображениях объектов реального мира, а потому содержат этапы обработки, необходимые для компенсации различий от внешнего освещения этих объектов. Одним из приемов такой компенсации является преобразование изображения в систему цветности Hue-Saturation-Value (HSV) с дальнейшим анализом распределения значений координаты оттенка Hue, как наименее подверженной воздействию освещения. При этом пиксели, обладающие низким значением Saturation (серые) или Value (черные) либо игнорируются, либо обрабатываются отдельно. Однако эта особенность делает указанную группу алгоритмов малоприменимой для анализа материалов, подобных льняному во-

локну, которое в основном имеет серую палитру тонов. Более выраженные цветовые оттенки появляются у него только в низких группах цвета волокна. Необходимость в переходе в систему цветности HSV также снижается в случае лабораторного анализа с помощью использования сканера, где обеспечивается равномерное и стабильное освещение образца.

Важно также отметить, что указанная группа алгоритмов зачастую рассматривает распределения по каждой цветовой координате независимо, игнорируя информацию о корреляции значений отдельных цветовых координат.

Ранее был предложен алгоритм определения группы цвета льняного волокна, основанный на принципе сходства распределений интенсивности цветовых составляющих (величин цветовых координат) [9], [10]. Этот способ может применяться как для индивидуальных гистограмм распределений цветовых координат, так и для гистограмм комбинаций значений координат, что позволяет неявно учитывать корреляцию между отдельными цветовыми каналами изображения. Степень детализации гистограммы в части количества классов по оси каждой координаты была обоснована в [11].

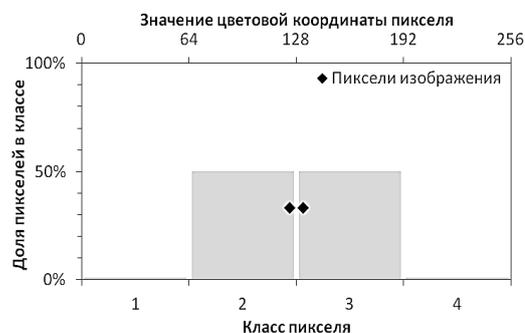


Рис. 1

Однако такой подход обеспечит точные оценки лишь в случаях сравнения изображений, имеющих незначительную долю цветов на границе двух классов. Иначе два минимально отличающихся изображения могут быть признаны совершенно не схожими по распределению цветов. На рис. 1 проиллюстрирована ситуация, когда два пикселя с различием в величине цветовой

координаты порядка 3% попадают в разные цветовые классы пикселей.

В способе [9] вес проявления w одного пикселя изображения назначается одному классу, тем самым увеличивая вес данного класса в итоговом распределении. На рис. 2 приведен пример условного распределения по классам четырех пикселей с разным значением цветовой координаты [7].

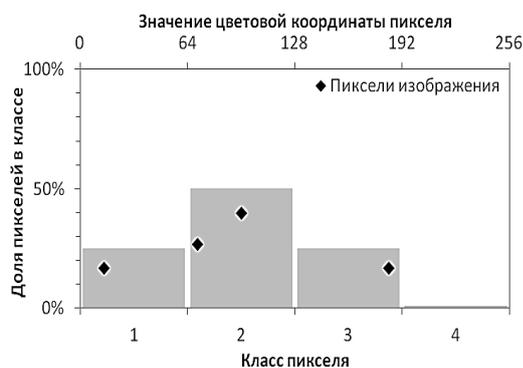


Рис. 2

Для демонстрации ситуации, в которой проявляется указанный недостаток этого способа, был проведен следующий расчетный эксперимент. Синтезировали ряд изображений размером 128 x 128 пикселей. Каждое изображение было заполнено однородным серым цветом. Яркость серого цвета I в ряду изображений равномерно изменялась в диапазоне от 0 до 256. Используя вариант анализа по [9], соседние изображения в полученном спектре оттенков серого попарно сравнивали по ряду градаций цветовой координаты с вычислением показателя различий Δ . Методика определения Δ и количество градаций заимствована из [11]. Результаты эксперимента представлены на рис. 3 (показатель различий схожих по цвету пар изображений при использовании алгоритма по способу [9]). Как следует из графика, в ситуации, когда цвета двух схожих изображений оказываются по разные стороны границ классов, существующий алгоритм расчета определяет их как совершенно разные ($\Delta = 2$). В то же время схожие изображения, попадающие в один класс, определяются как идентичные ($\Delta = 0$).

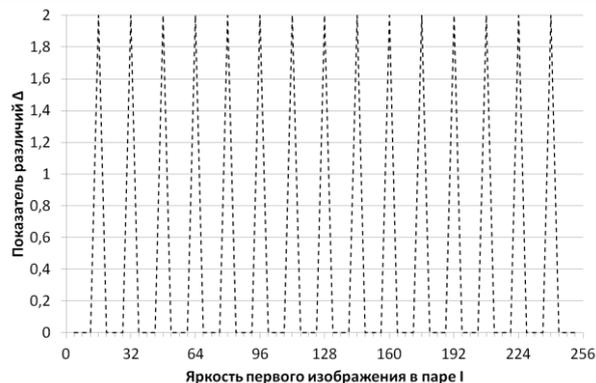


Рис. 3

Таким образом, появилась необходимость совершенствования алгоритма отнесения изображения к определенному классу интенсивности цветовых составляющих, что явилось задачей исследования.

Чтобы компенсировать выявленный недостаток, вес одного пикселя рекомендуется распределять по соседним классам с учетом выполнения следующих условий.

Во-первых, если величина цветовой координаты пикселя находится вблизи границы двух классов, то его вес должен быть примерно поровну распределен между ними. Только в этом случае будет исключена оценка двух схожих по цвету изображений как полностью различных.

Во-вторых, если величина цветовой координаты пикселя совпадает с центром класса, то его вес должен полностью принадлежать данному классу. Это объясняется необходимостью исключить чрезмерное «размывание» веса пикселя по классам. Кроме того, чем больше классов затрагивает каждый пиксель, тем более сложным и вычислительно затратным будет итоговый алгоритм расчета.

В-третьих, если цветовые координаты пикселя оказываются вблизи минимума (0) для одного из соседних классов или максимума (255) для другого, то доля влияния этого пикселя должна целиком принадлежать первому или последнему классу соответственно. При этом не должно также происходить снижения общего веса пикселя, что важно для исключения ошибок при анализе очень светлых или очень темных изображений.

С учетом выполнения указанных условий предложили следующую методику расчета.

На начальном этапе определяем нижнюю и верхнюю границы интервала влияния пикселя:

$$X_{\min} = \max(0, X - \frac{1}{2}d),$$

$$X_{\max} = \min(255, X + \frac{1}{2}d),$$

$$R_i = \begin{cases} \min(D_{\max i}, X_{\max}) - \max(D_{\min i}, X_{\min}), & \text{если } [D_{\min i}; D_{\max i}] \cap [X_{\min}; X_{\max}] \neq \emptyset, \\ 0, & \text{если } [D_{\min i}; D_{\max i}] \cap [X_{\min}; X_{\max}] = \emptyset. \end{cases}$$

В этом случае доля w веса пикселя, назначаемая классу D_i , составит:

$$w = \frac{R_i}{X_{\max} - X_{\min}}.$$

Дальнейшие расчеты, включающие нормализацию весов классов, осуществляем согласно методике, описанной в [11].

Применив новую методику к синтезированному набору пикселей, представленному на рис. 2, получили результаты итогового распределения весов классов, а также интервальное влияние каждого пикселя (рис. 4 – распределение весов классов согласно предложенной методике расчета). Сформированные распределения подтверждают, что доли влияния пикселя, находящегося вблизи границы классов, и пикселя в средней части класса, различаются и зависят от их расположения относительно центра класса.

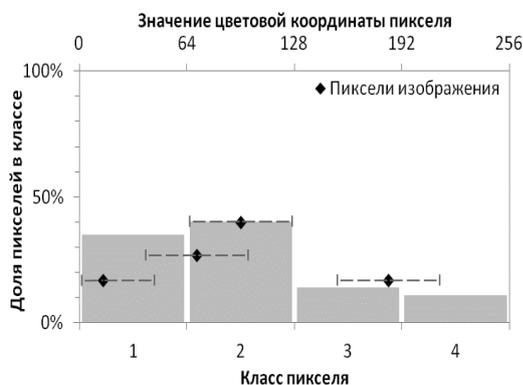


Рис. 4

где X – значение цветовой координаты пикселя, d – ширина одного класса, $[X_{\min}; X_{\max}]$ – интервал влияния пикселя.

Затем для каждого класса D_i , занимающего интервал значений $[D_{\min i}; D_{\max i}]$, находим величину R_i пересечения интервала влияния пикселя с интервалом значений класса.

Для оценки эффективности новой методики в устранении описанного выше недостатка была проведена повторная оценка величины показателя Δ (уровня различий между двумя изображениями) для шкалы оттенков серого. На рис. 5 приведен результат сравнения оригинальной и предлагаемой методик оценки.

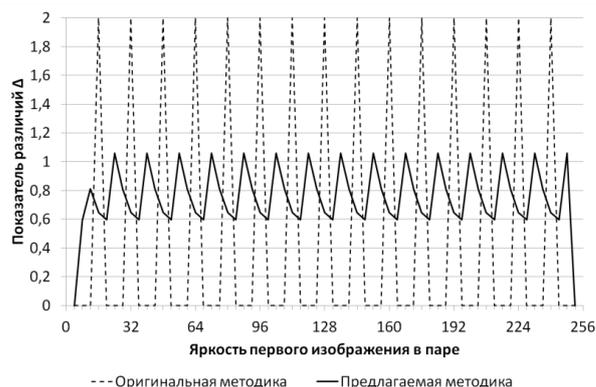


Рис. 5

Полученные данные свидетельствуют о существенном снижении негативного эффекта перехода через границу класса благодаря новой методике, хотя его полного устранения не достигается. Тем не менее, применение этой методики позволяет снизить погрешность в ситуации, когда статистически значимая доля пикселей изображения находится на границе двух классов цвета.

Реализация предложенного метода сопряжена со сложностями, связанными с сопоставимостью результатов цифровых изображений, полученных с использова-

нием разных сканеров. Для обеспечения сходства результатов сканирования одного и того же волокна предложена методика их нормализации. Ее суть следующая. Перед анализом образца сканируется чистый лист бумаги с определенным уровнем белизны по шкале СIE, например, 146 %. Для изображения листа определяются максимальные наблюдаемые значения координат R, G, B и рассчитываются поправочные коэффициенты, необходимые для приведения этих значений к белому цвету ($R = G = B = 255$). Полученные поправочные коэффициенты затем применяются к следующему изображению цветового эталона, что обеспечивает сравнимость получаемых изображений.

Оценивая полученный результат, следует отметить, что предложенная методика и, основанный на ней, усовершенствованный алгоритм идентификации группы цвета являются более требовательными к вычислительным ресурсам. В этом случае актуально выявление оптимального количества классов пикселей, во многом определяющих трудоемкость расчетов.

Для решения этого вопроса оценили характер изменения показателя Δ соседних пар изображений в зависимости от количества классов. В качестве исходных данных использовали изображения реальных цветных эталонов по ГОСТ 24383 – 89, скорректированные по вышеописанной методике. Для таких изображений рассчитали по каждой цветовой координате значение Δ , то есть: Δ_R , Δ_G , Δ_B . Такие действия осуществили для различного количества классов N . После усреднения в каждом классе Δ_R , Δ_G , Δ_B была получена зависимость $\Delta_{cp}(N)$, представленная на рис. 6 (изменение показателя различий Δ в зависимости от числа классов). Из ее анализа вытекает заключение о целесообразности применения 16 классов. При дальнейшем увеличении их количества чувствительность алгоритма к различиям в цвете изображений, выражающаяся в величине Δ , возрастает незначительно. Поэтому такое количество классов было принято при осуществлении идентификации группы цвета с использованием новой методики распределения долей пик-

селей, расположенных вблизи границ классов.

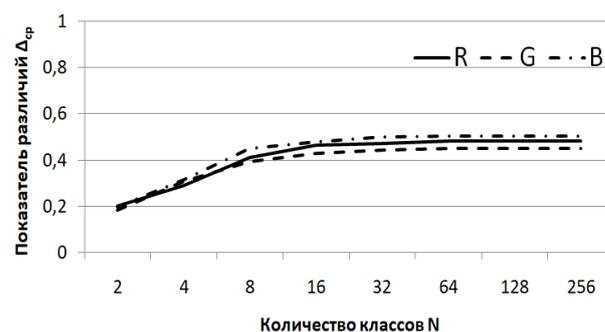


Рис. 6

Также следует отметить, что данная методика может применяться как для анализа изолированных значений цветных координат, так и для анализа совокупностей их значений, наблюдаемых в отдельных пикселях. Использование предложенной методики применительно к многомерным случайным величинам позволяет учесть сведения о корреляции между значениями отдельных цветных координат.

ВЫВОДЫ

1. Применяемая в [9] методика расчетов оценки сходства двух изображений по цвету льна обладает недостатком, связанным с некорректным анализом цифровых изображений, значительное количество пикселей которых имеет значения цветных координат, находящихся вблизи границ классов.

2. Для минимизации случаев, когда два минимально отличающихся изображения могут быть признаны совершенно не схожими по распределению цветов, необходимо распределять вес одного пикселя по соседним классам.

3. Целесообразным количеством классов цвета, на которое разбивается весь массив значений цветных координат, является 16. В этом случае, при сохранении умеренных требований к вычислительным ресурсам, чувствительность предложенного алгоритма расчета к различиям изображений по цвету оказывается близка к максимальной.

1. Способ оценки качества льняной тресты: Патент на изобретение № 2067627 РФ / Кудряшова Т.А. Мухин В.В., Романов В.А.; патентообладатель: ВНИИ льна. – заявл. 06.10.1993; опублик. 10.10.1996.

2. *Виноградова А.Е.* Совершенствование метода оценки качества льняной тресты: Дис. ... канд. техн. наук. – Кострома, 2005.

3. *Куликов А.В.* Разработка инструментальной системы определения технологического качества трепаного льна: Дис. ... канд. техн. наук. – Кострома, 2004.

4. *Старовойтов В.В.* Получение и обработка изображений на ЭВМ. – Минск: БНТУ, 2018.

5. *Фисенко В.Т., Фисенко Т.Ю.* Компьютерная обработка и распознавание изображений. – С-П: СПбГУ ИТМО, 2008.

6. *Селянкин В.В., Скороход С.В.* Анализ и обработка изображений в задачах компьютерного зрения. – Таганрог: ЮФУ, 2015.

7. *Пермьютер Х., Франкос Дж., Джермин Я.* Изучение цветowych моделей на основе смеси гауссиан и их применение для классификации и сегментации изображений // *Pattern Recognition*. – №39(4), 2006, С. 695...706.

8. *Степанькова Е.И. и др.* Сравнение цвета объектов на сложных сценах // *Мат. Междунар. конгресса по информатике, БГУ*. – 2013. С. 48...+52.

9. Способ определения группы цвета льняного волокна: Патент на изобретение № 2 691768 РФ / Орлов А.В., Пашин Е.Л., Булатов В.В.; патентообладатель: Костромской ЦСМ. – заявл. 05.12.2017; опублик. 05.06.2019.

10. *Орлов А.В., Пашин Е.Л., Булатов В.В.* Инструментальная оценка цвета текстильных материалов по степени сходства с эталонами // *Контроль качества продукции*. – 2018, № 9. С. 55...57.

11. *Орлов А.В., Пашин Е.Л., Сергеев А.С.* Обоснование критерия и условий оценки цвета льняного волокна по степени сходства с эталонными образцами // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. – 2019, № 4. С. 34...38.

1. Sposob otsenki kachestva l'nyanoy tresty: Patent na izobretenie № 2067627 RF / Kudryashova T.A. Mukhin V.V., Romanov V.A.; patentoobladatel': VNIИ l'na. – zayavl. 06.10.1993; opubl. 10.10.1996.

2. Vinogradova A.E. Sovershenstvovanie metoda otsenki kachestva l'nyanoy tresty: Dis. ... kand. tekhn. nauk. – Kostroma, 2005.

3. Kulikov A.V. Razrabotka instrumental'noy sistemy opredeleniya tekhnologicheskogo kachestva trepanogo l'na: Dis. ... kand. tekhn. nauk. – Kostroma, 2004.

4. Starovoytov V.V. Poluchenie i obrabotka izobrazheniy na EVM. – Minsk: BNTU, 2018.

5. Fisenko V.T., Fisenko T.Yu. Komp'yuternaya obrabotka i raspoznavanie izobrazheniy. – S-P: SPbGU ITMO, 2008.

6. Selyankin V.V., Skorokhod S.V. Analiz i obrabotka izobrazheniy v zadachakh komp'yuternogo zreniya. – Taganrog: YuFU, 2015.

7. Perm'yuter Kh., Frankos Dzh., Dzhermin Ya. Izuchenie tsvetovoykh modeley na osnove smesi gaussian i ikh primeneniye dlya klassifikatsii i segmentatsii izobrazheniy // *Pattern Recognition*. – №39(4), 2006, S. 695...706.

8. Stepan'kova E.I. i dr. Sravneniye tsveta ob"ektov na slozhnykh stsenakh // *Mat. Mezhdunar. kongressa po informatike, BGU*. – 2013. S. 48...+52.

9. Sposob opredeleniya gruppy tsveta l'nyanogo volokna: Patent na izobretenie № 2 691768 RF / Orlov A.V., Pashin E.L., Bulatov V.V.; patentoobladatel': Kostromskoy TsSM. – zayavl. 05.12.2017; opubl. 05.06.2019.

10. Orlov A.V., Pashin E.L., Bulatov V.V. Instrumental'naya otsenka tsveta tekstil'nykh materialov po stepeni skhodstva s etalonami // *Kontrol' kachestva produktsii*. – 2018, № 9. S. 55...57.

11. Orlov A.V., Pashin E.L., Sergeev A.S. Obosnovaniye kriteriya i usloviy otsenki tsveta l'nyanogo volokna po stepeni skhodstva s etalonnymi obraztsami // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. – 2019, № 4. S.34...38.

Рекомендована кафедрой технических систем в АПК Костромской ГСХА. Поступила 27.05.21.