

УДК 004.932.2

UDC 004.932.2

**АНАЛИЗ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ  
ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ ЦВЕТОВЫМИ  
КОМПОНЕНТАМИ МОДЕЛИ RGB ДЛЯ  
ЗАДАЧ ВЫДЕЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ НА  
ИЗОБРАЖЕНИИ****ANALYSIS AND USAGE OF DEPENDENCES  
BETWEEN COMPONENTS OF RGB FOR  
TASKS OF OBJECTS SELECTION ON THE  
IMAGES**

Шичкин Дмитрий Александрович

Shichkin Dmitry Aleksandrovich

Малыхина Мария Петровна  
к.т.н., профессор  
ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный  
технологический университет», Краснодар,  
Россия

Malykhina Maria Petrovna  
Cand.Tech.Sci., professor  
Kuban State Technological University, Krasnodar,  
Russia

В статье рассматривается сегментация объектов на изображениях при помощи анализа зависимости цветových компонентов модели RGB

In the article we have considered the analysis of the dependence of RGB components for segmentation of objects on images

Ключевые слова: ЦВЕТ, СЕГМЕНТАЦИЯ  
ОБЪЕКТОВ, RGB, РАСПОЗНАВАНИЕ  
ОБЪЕКТОВ

Keywords: COLOR, SEGMENTATION OF  
OBJECTS, RGB, RECOGNITION OF OBJECTS

Распознавание образов и графических изображений с использованием ЭВМ одна из фундаментальных проблем в прикладной науке. Стоит отметить качественно работающие алгоритмы «высокого уровня», которые прорабатывают взаимосвязи между отдельными объектами на изображении и отнесении этих объектов к определенному классу или группе классов. Однако та информация, с которой им приходится работать, не представляет ценности и не содержит избыточных данных для ее классификации. Остро стоит проблема в выделении объектов на растровом изображении и их контуров для последующего их распознавания.

Существуют множество методов по нахождению контуров объектов на растровых изображениях, но все эти методы, как правильно, основаны на перепаде яркости между соседними пикселями или на поиске модуля градиента яркости по свертке растрового изображения (1). На рисунке 1 представлен растр изображения, где множеством  $f[x,y]$  представлено изображение, а  $x,y$  координаты каждой точки по вертикали и горизонтали. В C# такой растр можно представить прямоугольным массивом «Color [,] rastr = new Color [x,y];», значения которого можно хранить в БД [7,8].



Рисунок 1 – Представление растрового изображения

Часто используемый оператор Собеля базируется на свёртке изображения фильтрами в вертикальном и горизонтальном направлениях  $G_y$  и  $G_x$  для поиска модуля градиента яркости.

$$G_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +2 & +1 \end{bmatrix} \cdot A \text{ и } G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix} \cdot A, \quad (1)$$

где  $A$  – исходное изображение;

$G_y, G_x$  – два изображения, где каждая точка содержит приближенные производные по  $x$  и по  $y$ .

Результатом применения оператора Собеля к каждой точке изображения является либо вектор градиента яркости в этой точке, либо его норма. Для получения результирующего изображения необходимо провести проверку модуля градиента яркости (2) вокруг результирующей точки по пороговому значению (3) [5].

$$|\nabla A(x, y)| = \sqrt{\left(\frac{\partial A(x, y)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial A(x, y)}{\partial y}\right)^2} \quad (2)$$

$$f'(m, n) = \begin{cases} |\nabla A(x, y)| \leq t; \\ |\nabla A(x, y)| > t, \end{cases} \quad (3)$$

где  $f'(m, n)$  – значение пикселя результирующего изображения,

$t$  – пороговое значение, разбивающее результирующее изображение на фон и контур.

Поиск модуля градиента яркости с использованием оператора Собеля или с использованием других подходов позволяет выделить ключевой признак объекта – его контур. Однако существуют задачи, где необходимо выделить не только контур, но и объект (рисунок 2). Для выделения объекта используют процесс бинаризации.



а) выделение объекта бинаризацией

б) выделение контуров объекта на основе поиска градиента яркости в точке

Рисунок 2 – Сравнение бинаризации и определение градиента яркости

Процесс бинаризации основан на обнаружении достижения яркостной характеристики объекта, где выбранной точке назначается один из двух цветов по формуле (4).

$$f'(m,n) = \begin{cases} 0, & f(m,n) \leq t; \\ 1, & f(m,n) > t, \end{cases} \quad (4)$$

где  $f(m,n)$  – яркость пикселя на исходном изображении,  $f(m,n) \in [0, 2^k - 1]$ ,

$f'(m,n)$  – значение пикселя результирующего изображения,  $f'(m,n) \in [0, 1]$ ,

$t$  – порог бинаризации.

Стоит отметить, что в технических системах, использующих аддитивный принцип цветопередачи, функция яркости получается путем умножения цветовых компонентов трех каналов R(красного), G(зеленого), B(синего) на фиксированные коэффициенты. В работе [6] описываются

потери, возникающие при использовании функции яркости. Подтверждение данному выводу можно обнаружить и в работах, посвященных анализу эволюционных процессов. Так, например, Шиффман Х. отмечает, что те виды животных, у которых в результате эволюции развивалось цветное зрение, приобрели и определенные биологические преимущества [9]. Таким образом, переход от распознавания черно-белого или с градациями серого изображения к цветному оправдан даже эволюцией, поскольку цветное изображение, как правило, более информативное.

В работе [6] было предложено использование цветового различия (5), как альтернативного подхода к выделению контуров объектов на изображении. Подход позволил увеличить качество выделяемых контуров объектов. На рисунке 3 представлено сравнение методов, где: а – исходное изображение (фрагмент из среды разработки Visual Studio), б – результат использования цветового отличия, в – поиск градиента яркости с оператором Собеля.

Формула цветового различия по стандарту CIE2000 в пространстве LCH( $L^*, C^*, h^*$ ) имеет вид [1,3]:

$$\Delta E_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{S_H}\right)^2 + R_T \frac{\Delta C' \Delta H'}{S_C S_H}} \quad (5)$$

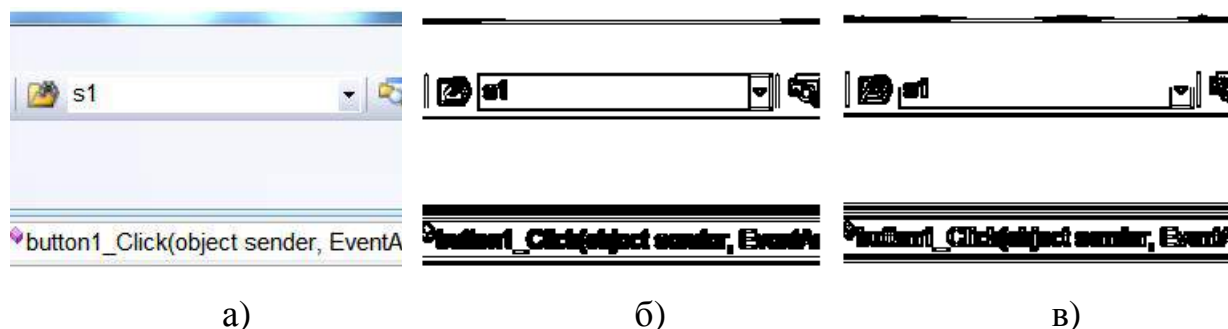


Рисунок 3 – Сравнение результатов использования формулы цветового отличия и яркостной характеристики изображения

При уменьшении порогового коэффициента в процентах (таблица 1) для яркостной характеристики не удается устранить потери в выделении контуров по яркости (рисунок 4) и появляются дополнительные шумы (рисунок 3в).



Рисунок 4 – Фрагмент с разрывом контура

Таблица 1 – Изменение порогового коэффициента

Порог в%	50	35	25	21
$f'1(m,n) / f'2(m,n)$	1,315	1,209	1,108	0,997

$f'1(m,n) / f'2(m,n)$  – отношение количества пикселей контура результирующего изображения, полученного по формуле цветового отличия, и изображения, полученного в результате применения оператора Собеля для нахождения контура.

Несмотря на улучшения при использовании формулы цветового отличия при выделении контуров на изображении, по-прежнему остро стоит вопрос выбора порогового коэффициента и связанные с ним проблемы: невозможность точно установить контуры на всем изображении и разрыв контуров (рисунок 5).

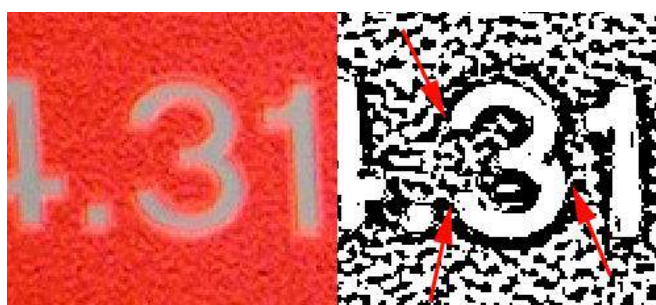


Рисунок 5 – Демонстрация разрыва контура объекта

Для решения такого рода проблем был разработан алгоритм (рисунок 6), включающий двухэтапное сканирование цветного изображения. На первом этапе определяются контуры объектов по

формуле цветового отличия. На втором этапе определяются цветовые характеристики изображения внутри контура объекта, осуществляется выделение объекта по соответствующему цвету.

Каждый объект можно представить одним цветом (трава зеленого цвета, небо синего...). Но трава не имеет фиксированного цвета, в зависимости от освещения, цвет листьев варьируется, но для человека этот цвет все равно является зеленым. Такой феномен психологи называют цветовым постоянством или константностью восприятия цвета. Явление, в соответствии с которым цвет предмета остается постоянным, несмотря на изменение спектрального состава падающего на него света, называется **константностью восприятия цвета** [9].

Моделирование подобного феномена будет способствовать улучшению процесса распознавания объекта, так как существующие методы и способы в колориметрии (например, использование формул цветового различия) не позволяют выделить необходимый цвет и объект соответственно. При низком пороге различий удастся выделить части цвета, при высоком пороге захватываются области, отличающиеся от искомого цвета за пределами объекта.

В ходе научных экспериментов при использовании линейной цветовой модели RGB [2] была установлена взаимосвязь между изменяющимся цветом объекта и изменением цветовых компонентов красного, зеленого и синего цветов (таблица 2).

В таблице 2 представлены 15 замеров кожи человека в RGB с разными яркостными характеристиками. При каждом замере высчитывалась средняя составляющая в окрестности выбранной точки по каждому компоненту RGB.

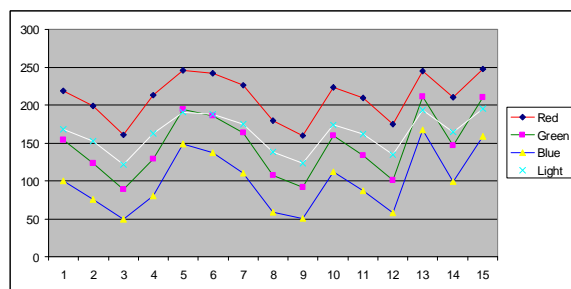
Построены диаграммы зависимостей между компонентами цвета объекта в линейной модели RGB (рисунки 7, 8).



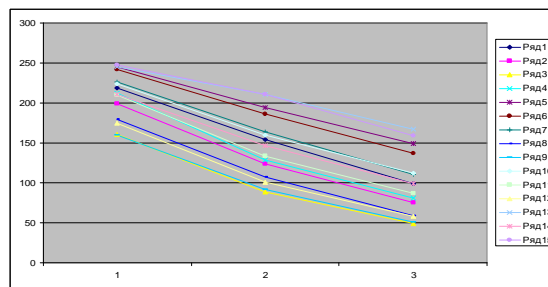
Рисунок 6 – Алгоритм выделения объектов

Таблица 2 – Замеры цвета кожи человека

№	R	G	B	Яркость
1	218,8889	153,8889	99,55556	167,901
2	199,4444	123,4444	75,44444	152,0079
3	160,4444	88,66666	49,55556	121,8123
4	212,6667	128,6667	80,77778	162,2686
5	245,3333	194,6667	148,7778	190,6094
6	242,1111	186,4444	137,1111	187,9239
7	226,3333	163,5556	110,4444	175,1987
8	179,6667	107,6667	58,66667	137,9963
9	159,8889	91,77778	50,44444	122,9142
0	223,7778	159,7778	112,1111	173,7356
1	209,5556	133,5556	86,55556	161,8829
2	174,7778	101,2222	58,22222	134,8842
3	245,1111	210,7778	166,8889	193,3121
4	210,4444	147,1111	99,11111	164,1336
5	247,3333	210,3333	159,2222	195,2948



а) диаграмма изменения цвета объекта от яркости



б) диаграмма зависимости между компонентами RGB субъективно объекта одного цвета

Рисунок 7 – Диаграммы, построенные по экспериментальным данным

В соответствии с линейностью передачи цвета моделью RGB был проведен линейный регрессионный анализ зависимостей между характеристиками цвета. Использовали функцию линейной регрессии (6) вычисляли дополнительные параметры (таблица 3-5) (среднеквадратичное отклонение, определение степеней своды, ошибку и т.д.) [4].

$$f(x,b) = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k \tag{6}$$

Таблица 3 – Результаты регрессионного анализа

Коэфф.	a0	a1	a2	a3
Значение	6,351	0,6697	0,09291	0,01909
Ст.ошиб.	3,724	0,0397	0,09663	0,08155
Значим.	0,1133	2,039E-6	0,6408	0,8134

Таблица 4 – Результаты регрессионного анализа

Источник	Сум.квадр.	Степ.св	Средн.квадр.
Регресс.	8466	3	2822
Остаточн.	9,504	11	0,864
Вся	8476	14	

Таблица 5 – Результаты регрессионного анализа

Множеств R	R^2	R^2прив	Ст.ошиб.	F Значим
0,99944	0,99888	0,99857	0,92953	1,981E-7



Гипотеза 1: <Регрессионная модель адекватна экспериментальным данным>

Опираясь на результаты регрессионного анализа, проведен эксперимент по выделению объектов по цвету. Существуют цвета, имеющие близкий коэффициент корреляции между красным, зеленым и синим.

Пример реализации выделения с анализом зависимости, представлен на рисунке 8, который дает представление о том, что абсолютного и точного выделения добиться не удалось, шум и низкое качество изображения вносят значительные ошибки в сам процесс выделения. Однако повысилось качество выделения объектов.



Рисунок 8 – Пример работы алгоритма на изображении с шумом

**Вывод.** Использование регрессионного анализа позволяет добиться лучшего качества выделения объектов на растровых изображениях, где коэффициент корреляции между красным, зеленым и синим компонентом цвета выделяемых объектов различен. Устранение недостатка близости коэффициента корреляции возможно при помощи ввода дополнительных правил взаимодействия цветовых характеристик друг между другом.

### Литература

1. CIE - INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION. [Электронный ресурс]/ Web page of INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION — Режим доступа: <http://www.cie.co.at/index.php>, свободный. — Загл. с экрана.
2. IEC 61966-2-1:1999 is the official specification of sRGB. It provides viewing environment, encoding, and colorimetric details.
3. Sharma, Gaurav; Wencheng Wu, Edul N. Dalal. The CIEDE2000 color-difference formula: Implementation notes, supplementary test data, and mathematical observations

[Электронный ресурс]/Color Research & Applications (Wiley Interscience) - April 2004. – Режим доступа: <http://www.ece.rochester.edu/~gsharma/ciede2000/ciede2000noteCRNA.pdf>, свободный. — Загл. с экрана.

4. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере [Электронный ресурс] : научное издание / В. П. Боровиков. - 2-е изд. - М. ; СПб. ; Нижний Новгород : Питер, 2003. - 1 эл. опт. диск (CD-ROM). - (Для профессионалов).

5. Дуда Р. Распознавание образов и анализ сцен : пер. с англ. / Р.Дуда, П. Харт ; под ред. В. Л. Стефанюка. – М.: Мир, 1976. – 509 с.

6. Малыгина М.П. Аспекты практического применения цветового различия для распознавания и выделения границ изображений / Малыгина М.П., Шичкин Д.А. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – №05(89).

7. Малыгина М.П., Частикова В.А. Программирование на языке высокого уровня с#: учеб. пособие /Кубан. гос. технол. ун-т. – Краснодар: Изд. КубГТУ, 2011.

8. Малыгина М.П. Базы данных: основы, проектирование, использование: Учеб. пособие - СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 375с.

9. Шиффман Х.Р. Ощущение и восприятие / Х.Р. Шиффман ; перевод с англ. З. Замчук. - 5-е изд. – СПб. : Питер, 2003. - 928 с. – (Серия «Мастера психологии»).

## References

1. CIE - INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION. [Электронный ресурс]/ Web page of INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION — URL: <http://www.cie.co.at/index.php>.

2. IEC 61966-2-1:1999 is the official specification of sRGB. It provides viewing environment, encoding, and colorimetric details.

3. Sharma, Gaurav; Wencheng Wu, Edul N. Dalal. The CIEDE2000 color-difference formula: Implementation notes, supplementary test data, and mathematical observations [Jelektronnyj resurs]/Color Research & Applications (Wiley Interscience) - April 2004. – Rezhim dostupa: <http://www.ece.rochester.edu/~gsharma/ciede2000/ciede2000noteCRNA.pdf>, svobodnyj. — Zagl. s jekrana.

4. STATISTICA. Iskusstvo analiza dannyh na komp'jutere [Jelektronnyj resurs] : nauchnoe izdanie / V. P. Borovikov. 2-e izd. M. ; SPb. ; Nizhnij Novgorod : Piter, 2003. 1 jel. opt. disk (CD-ROM). (Dlja professionalov).

5. Duda R. Raspoznavanie obrazov i analiz scen : per. s angl. / R.Duda, P. Hart ; pod red. V. L. Stefanjuka. – М.: Мир, 1976. – 509 с.

6. Malyhina M.P. Aspekty prakticheskogo primenenija cvetovogo razlichija dlja raspoznavanija i vydelenija granic izobrazhenij / Malyhina M.P., Shichkin D.A. // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2013. – №05(89).

7. Malyhina M.P., Chastikova V.A. Programirovanie na jazyke vysokogo urovnja c#: ucheb. posobie /Kuban. gos. tehnol. un-t. – Krasnodar: Izd. KubGTU, 2011.

8. Malyhina M.P. Bazy dannyh: osnovy, proektirovanie, ispol'zovanie: Ucheb. posobie - SPb.: BHV-Peterburg, 2004. – 375с.

9. Shiffman H.R. Oshhushhenie i vospriyatie / H.R. Shiffman ; perevod s angl. Z. Zamchuk. 5-e izd. – SPb. : Piter, 2003. 928 s. – (Serija «Mastera psihologii»).