



ИПМ им.М.В.Келдыша РАН • Электронная библиотека

Препринты ИПМ • Препринт № 87 за 2024 г.



ISSN 2071-2898 (Print)  
ISSN 2071-2901 (Online)

В.А. Карташев, С.С. Нестеров

Выбор цвета кассеты для  
подачи деталей в зону сборки

Статья доступна по лицензии  
[Creative Commons Attribution 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



**Рекомендуемая форма библиографической ссылки:** Карташев В.А., Нестеров С.С. Выбор цвета кассеты для подачи деталей в зону сборки // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2024. № 87. 12 с.

<https://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2024-87>

**Ордена Ленина  
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ  
имени М.В. Келдыша  
Российской академии наук**

**В.А. Карташев, С.С. Нестеров**

**Выбор цвета кассеты для подачи  
деталей в зону сборки**

**Москва — 2024**

***Карташев В.А., Нестеров С.С.***

### **Выбор цвета кассеты для подачи деталей в зону сборки**

Прежде чем робот захватит деталь, необходимо убедиться в правильности её положения. Контроль может быть выполнен с помощью системы технического зрения.

В работе рассматривается возможность упрощения задачи бинаризации изображения за счёт выбора цвета кассеты, значительно отличающегося от цвета детали не только при штатном освещении, но и при небольших его изменениях. Предложены способы представления изображения сцены, которые позволяют выбрать требуемый цвет поверхности кассеты.

Выполненные эксперименты показывают, что при надлежащем выборе цвета можно обеспечить достаточно точное выделение образа детали с помощью простых условий бинаризации.

***Ключевые слова:*** роботизация, система технического зрения, бинаризация изображения, кассета для хранения деталей

***Vladimir Alekseevich Kartashev, Stanislav Sergeevich Nesterov***

### **Color choosing for cassette with parts in assembly zone**

Before the robot captures the part, it is necessary to make sure that its position is correct. The control can be performed by computer vision system. The speed and accuracy of highlighting the visual image of part are important criteria for evaluating of the computer vision algorithm.

The paper investigates the possibility to simplify the task of image binarization by choosing the color of cassette for parts, which differs significantly from the color of the parts not only in normal lighting, but also with small changes. The methods of scene image presenting are proposed, that allow to select the cassette color. The experiments show that proper color selection makes possible to became accurate part image by simple binarization conditions.

***Key words:*** robotization, computer vision, binarization algorithm, color of cassette for parts

## **Оглавление**

Введение .....	3
Кассета для временного хранения деталей.....	3
Изображение сцены при разных условиях освещения.....	5
Условие бинаризации.....	7
Выбор цвета кассеты.....	10
Заключение.....	11
Литература .....	11

## **Введение**

Достаточно часто подача деталей в рабочую зону робота осуществляется в кассете. При этом не всегда обеспечивается их однозначная ориентация. Некоторые детали могут отсутствовать или находиться вне выделенного для них углубления. Смещение детали может привести к поломке робота-манипулятора в процессе захвата или выполнения технологической операции.

Исключить эти ситуации можно путём контроля положения деталей с помощью системы технического зрения.

Важными критериями оценки качества работы алгоритмов распознавания являются скорость и точность выделения бинарного образа деталей на изображении кассеты.

В значительном числе представленных алгоритмов решения этой задачи явно или неявно предполагается, что освещённость сцены неизменна [1-5].

В условиях реального производства достаточно трудно обеспечить постоянство освещения ввиду изменения цветовой температуры направленного источника света с течением времени эксплуатации [6] и зависимости цветовой гаммы сцены от случайных засветок.

В работе рассматривается способ обеспечения требуемой точности выделения бинарного образа детали путём выбора такого цвета кассеты, чтобы её цветовая гамма значительно отличалась от цвета детали. Предложены способы представления изображения сцены, которые позволяют обосновать выбор цвета.

Результаты экспериментов показывают, что при надлежащем цвете поверхности кассеты, можно обеспечить достаточно точное выделение образа детали даже при небольших изменениях освещённости с помощью простых условий бинаризации.

## **Кассета для временного хранения деталей**

Кассета – это приспособление для хранения деталей в рабочей зоне робота. Её использование также позволяет сохранить ориентированное положение деталей при транспортировании, что важно для последующей сборки, когда детали должны поступать к рабочим органам сборочного автомата в предварительно ориентированном положении.

Также использование кассеты позволяет обеспечить автоматическую загрузку и разгрузку с помощью манипуляторов или роботов, так как робот может брать детали, находящиеся в определённом положении в ячейках кассеты, в заранее известных координатах пространства, закодированных в управляющей программе.

Местоположение каждой детали зафиксировано конструкцией кассеты. Конструктивные параметры выбирают в зависимости от требований

технологического процесса. Для этого могут использоваться углубления, отверстия и выступающие элементы специальной формы (рис. 1).



Рис. 1. Цилиндрические заготовки перед обработкой на станке ЧПУ

В зависимости от требований технологического процесса в кассете деталь может находиться в неориентированном положении (рис. 1, 2).



Рис. 2. Кассета для подачи заготовок диска календаря

Также возможно требование расположения детали в ориентированном положении (рис. 3).



Рис. 3. Циферблаты часов перед надпечаткой цифр на станке

Если в кассете детали находятся только в определённом положении, то после захвата детали робот может сразу перейти к выполнению технологической операции.

Необходимость установки детали в заданной ориентации увеличивает сложность оборудования при автоматическом выполнении операции или трудоёмкость при ручной установке. Кроме того, нельзя исключить возникновение ошибок и связанных с ними поломок.

Отсутствие требований к ориентации упрощает задачу установки деталей в кассету, однако для деталей сложной формы может потребоваться выяснение фактической пространственной ориентации перед процедурой захвата. Для этой цели используется компьютерная система технического зрения. Известно достаточно много алгоритмов, которые успешно определяют ориентацию и положение детали [7-9].

Наибольший интерес представляют те из них, которые наименее требовательны к вычислительной производительности и устойчивы к небольшим изменениям освещённости.

Если кассета изготавливается из пластика, то появляется возможность выбора цвета (рис. 4). Этим можно воспользоваться для упрощения алгоритмов системы технического зрения и увеличения надёжности их работы.

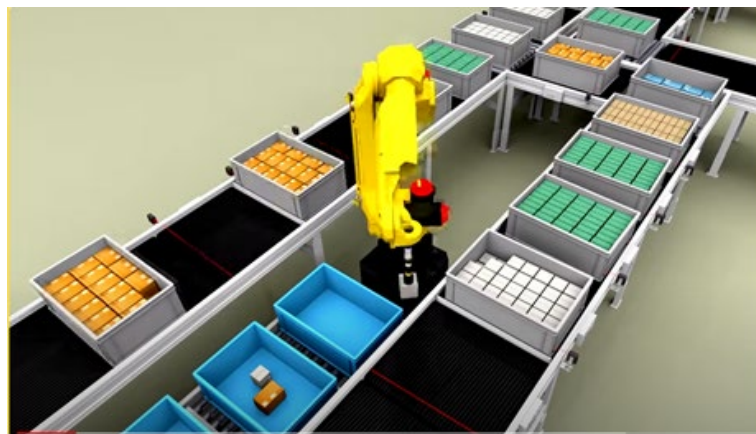


Рис. 4. Робот формирует наборы из предметов, которые находятся в ящиках. На линии используются ящики голубого и серого цветов

### **Изображение сцены при разных условиях освещения**

Точность выделения точек изображения предмета, который расположен перед камерой, зависит от контрастности цвета пикселей по отношению к фону. Чем больше цвет пикселей образа предмета на изображении отличается от цвета фона, тем выше вероятность того, что при бинаризации изображения будут выделены все точки предмета и образ не будет содержать точек фона.

В настоящей работе рассматривается способ обеспечения большой контрастности путём выбора цвета кассеты. При этом учитывается



дополнительное условие, чтобы большая контрастность сохранялась даже при небольших изменениях в освещённости сцены.

В описываемых экспериментах используются фотографии детали на нескольких контрастных фонах с освещением сцены светильниками с лампами накаливания. Изменение условий освещения достигается дополнительным освещением от фотовспышки.

Фотографии крышки редуктора на трёх исследованных фонах показаны на рисунке 5.

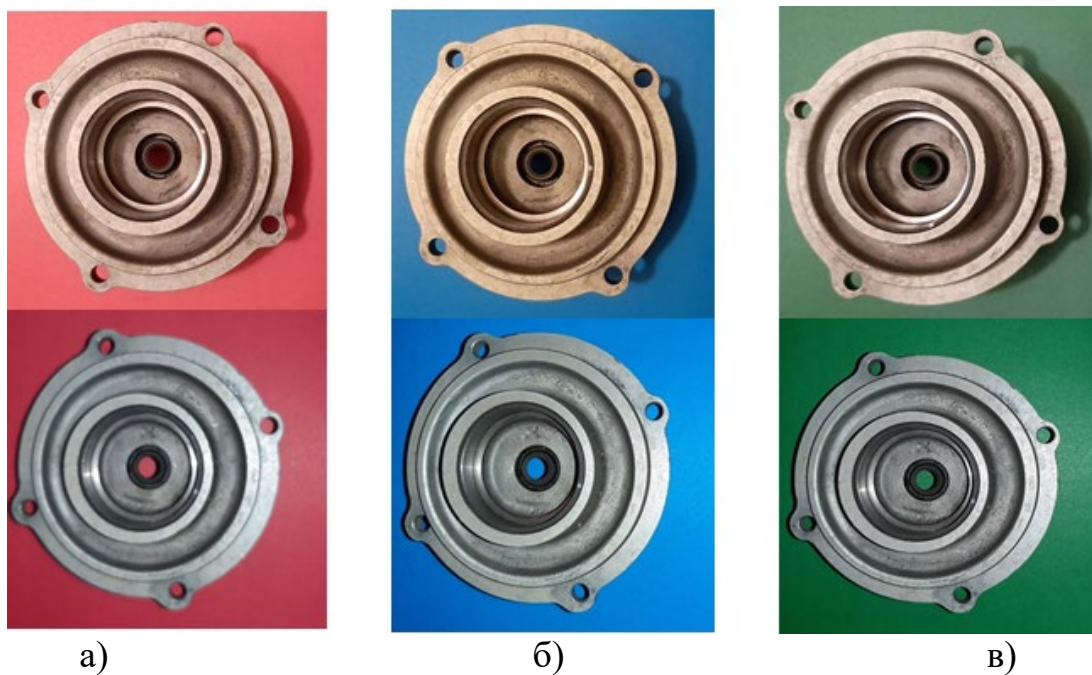


Рис. 5. Крышка на красном (а), синем (б) и зелёном (в) фоне. В верхней части рисунка фотография с освещением сцены лампами накаливания, в нижней части – дополнительное освещение фотовспышкой

Верхний рисунок соответствует освещению сцены лампой накаливания, нижний – дополнительному освещению вспышкой фотоаппарата.

Цвета точек образа крышки близки к оттенкам серого и изменяются от чёрного до белого.

Цвет фона выбирался близким к базовым цветам: красному, зелёному и синему. Такой выбор делает возможным использование простого критерия бинаризации. Например, в случае красного фона к точкам фона относились только такие точки изображения, у которых красная компонента цвета существенно больше зелёной и синей.

Непосредственное сравнение верхних и нижних фотографий показывает, что дополнительное освещение приводит к заметному изменению цветовой гаммы сцены. При освещении лампами накаливания присутствуют тёплые тона. Дополнительное освещение фотовспышкой приводит к тому, что преобладают холодные тона.

Красный и зелёный цвета поверхности, на которой лежит крышка, стали темнее. Синий фон стал более ярким. Использование вспышки привело к исчезновению теней.

Наблюдаемые изменения в изображении сцены свидетельствуют о целесообразности тестирования алгоритмов обработки изображений при разных условиях освещения. Эти эксперименты позволяют сформулировать обоснованные требования к условиям освещения, оценить последствия для результатов обработки изображения при засветках сцены случайными источниками освещения и по возможности минимизировать их последствия.

### Условие бинаризации

Задача бинаризации состоит в выделении точек, которые соответствуют образу крышки. Чем точнее решена эта задача, тем точнее можно определить положение и ориентацию детали.

На фотографии (рис. 6а) крышка лежит на поверхности зелёного цвета. Сцена освещена светильником с лампой накаливания.

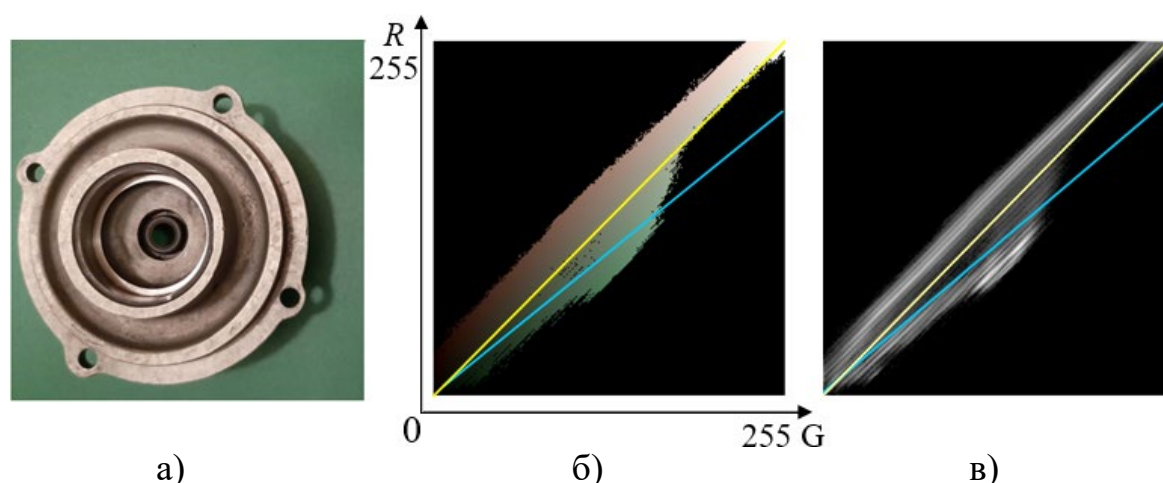


Рис. 6. Фотография крышки и результат исследования изображения:  
а) исходное изображение, б) образ в осях  $RG$ , в) плотность точек в осях  $RG$

Для разделения точек образов крышки и фона учитываются только красная ( $R$ ) и зелёная ( $G$ ) компоненты ввиду того, что для большинства пикселей отношение  $G$  к величине синей компоненты  $B$  мало отличается от константы.

На рисунке 6б показаны оттенки цветов исходного изображения в декартовой системе координат ( $G, R$ ). Каждый из них изменяет свои значения от 0 до 255. Маленькие значения соответствуют точкам, лежащим в тени, большие – тем, которые находятся в хорошо освещённых местах. Цвет точки соответствует цвету на исходном изображении (рис. 6а).

Любопытно, что некоторые цвета на фотографии отсутствуют. Например, точки чёрного цвета, соответствующие им, можно обнаружить в центре (рис. 6б).



На рисунке бв показана плотность распределения пикселей исходного изображения. Чем светлее точка на рисунке бв, тем больше пикселей сцены имеют одинаковые значения базовых цветов  $G$  и  $R$ .

Сравнение рисунков бб и бв позволяет сделать вывод, что точки, находящиеся в нижней части рисунка бв, формируются поверхностью кассеты, а точки в верхней части – образом крышки.

Будем считать, что точки в системе координат  $(G, R)$ , которые лежат ниже линии голубого цвета ( $R = 0.8G$ ), принадлежат поверхности кассеты. Точки, которые относятся к крышке, лежат выше линии жёлтого цвета ( $R = 1.0G$ ).

Точки, находящиеся между линиями, расположены вблизи границы, которая разделяет образы поверхности и крышки. Они удовлетворяют условию  $R = kG$ , в котором коэффициент  $k$  может быть любым в интервале  $(0.8, 1.0)$ . Наличие этих точек связано с особенностями алгоритма кодирования изображений стандарта JPEG [10] на границе резкого изменения цвета или освещённости.

Из сказанного выше можно сделать вывод, что условие  $R > kG$ , где коэффициент  $k$  может быть любым в интервале  $(0.8, 1.0)$ , выделяет образ крышки и небольшое число точек поверхности, которые лежат рядом с её краем.

Большинство точек поверхности попадает в область ниже голубой линии, которая на рисунке бв окрашена в ярко белый цвет.

На рисунке 7а показана сцена при дополнительном освещении фотовспышкой.

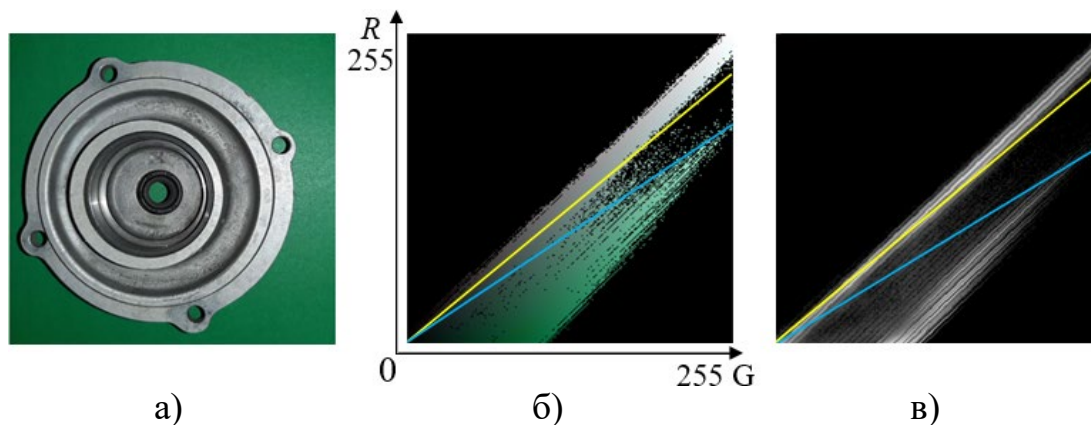


Рис. 7. Фотография крышки и результат исследования изображения  
 а) исходное изображение, б) образ в осях  $RG$ , в) плотность точек в осях  $RG$

Область изображения, которая расположена ниже линии голубого цвета, соответствует фону. Точки, лежащие выше жёлтой линии, относятся к образу крышки.

Решающим правилом для выделения образа крышки является выполнение условия  $R > kG, k \in (0.7, 0.87)$ .

Условие принадлежности пикселей к изображению крышки при обоих условиях освещения даётся неравенством  $R > kG$ ,  $k \in (0.8, 0.87)$ . Коэффициент  $k$  целесообразно взять равным численному значению середины интервала, т.е. равным 0.84. Такой выбор увеличит устойчивость работы алгоритма бинаризации к изменению освещённости сцены.

На рисунке 8 приведены результаты выделения образа крышки для  $k = 0.84$ .

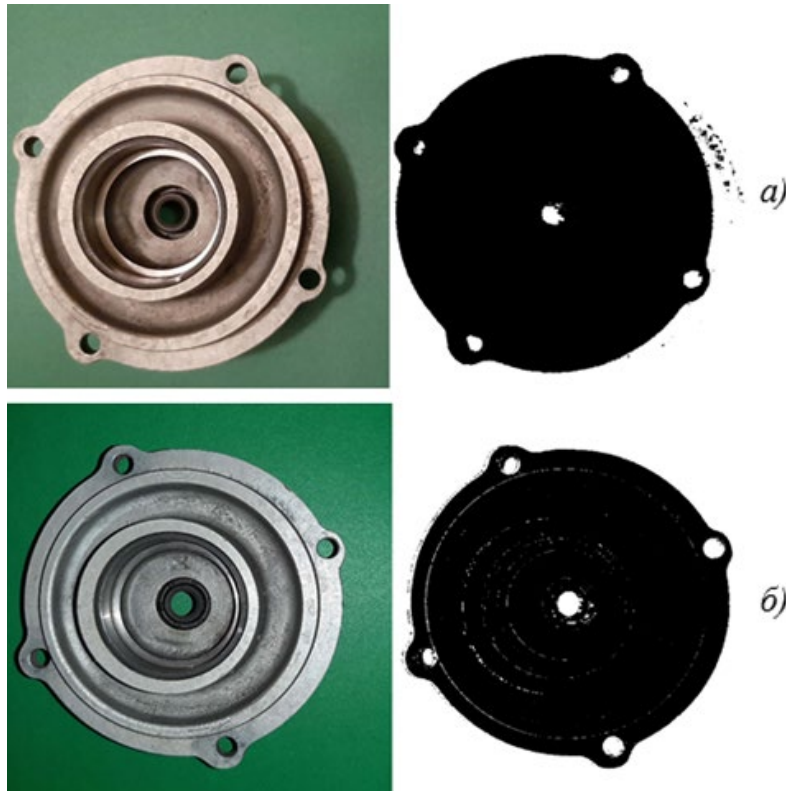


Рис. 8. Результат бинаризации для условия  $R > 0.84G$ . а) при освещении лампой накаливания, б) при дополнительном освещении фотовспышкой

Непосредственно из рисунка можно сделать вывод, что в обоих случаях освещения бинарный образ крышки достаточно точно отражает её форму и имеет чёткие границы.

На бинарном изображении присутствуют артефакты, которые совпадают с границами теней. Исследование цветовой гаммы артефактов и дуг белого цвета, присутствующих на рисунке 8б, показало, что их наличие связано с особенностями передачи цвета фотокамерой при малом уровне освещённости: чувствительность к красной компоненте несколько больше, чем к зелёной.

Следует заметить, что при необходимости отмеченные дефекты бинаризации могут быть устранены с помощью достаточно простых алгоритмов ввиду того, что они изолированы друг от друга и их линейные размеры, или хотя бы один из размеров, пренебрежимо малы по сравнению с размерами крышки.

## Выбор цвета кассеты

В таблице 1 представлены результаты исследования изображений крышки на поверхностях разных цветов.

Таблица 1

Цвет поверхности	Лампа накаливания	Фотовспышка	Общий интервал разделения	Середина интервала
Зелёный	(0.7, 0.87)	(0.8, 1.0)	(0.8, 0.87)	0.84
Красный	(0.6, 0.7)	(0.6, 0.95)	(0.6, 0.7)	0.65
Синий	(0.55, 1.05)	(0.1, 0.85)	(0.55, 0.85)	0.7

Сравнив строки четвёртого столбца таблицы, можно сделать вывод, что синий цвет кассеты имеет наибольшую величину интервала разделения и, следовательно, допускает наибольшие изменения освещённости сцены.

Следствием большой величины интервала разделения является наименьшее количество артефактов (рис. 9) на бинарном образе, чем у кассет зелёного и красного цветов.

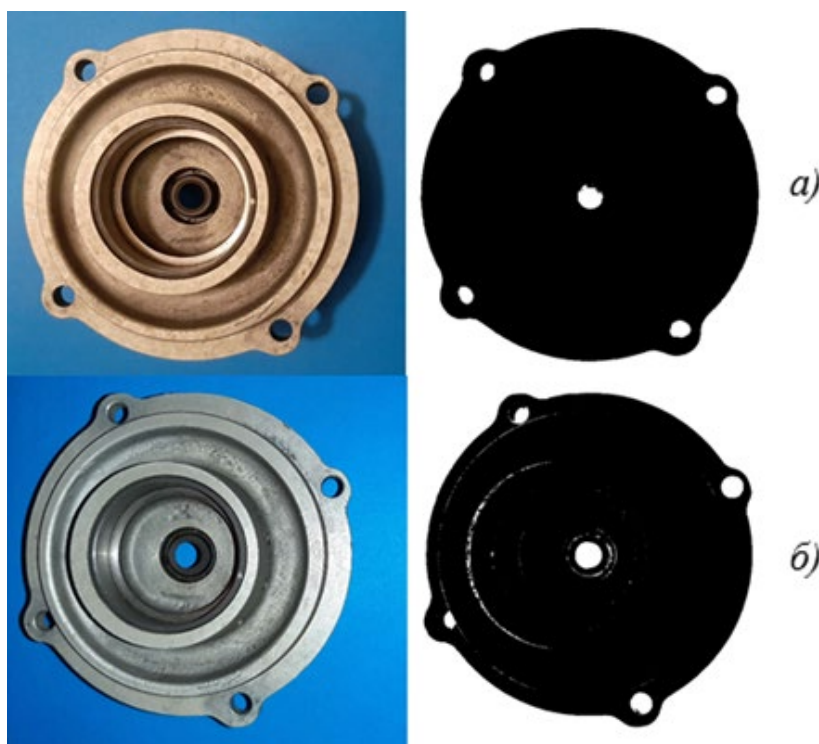


Рис. 9. Результат бинаризации для условия  $R > 0.7B$ . а) при освещении лампой накаливания, б) при дополнительном освещении фотовспышкой

Сравнение цветовой гаммы сцен показало, что у кассеты синего цвета отношение компоненты В к остальным компонентам цвета более чем в 3 раза

превосходит отношение для кассет зелёного и красного цветов. Например, для кассеты зелёного цвета отношение компоненты G к компоненте красного цвета близко к 1.5. Таким образом, исследовавшийся оттенок зелёного цвета оказался неудачным ввиду того, что зелёный цвет недостаточно доминировал над остальными цветами.

У кассеты красного цвета отношение R/G близко к 2. Хороших результатов для поверхности красного цвета не удалось получить в силу особенности работы фотосистемы, которая даёт фотографии с тёплым оттенком.

Результаты экспериментов показывают, что на поверхностях, цветовая гамма которых в достаточной степени близка к одному из базовых цветов RGB, даже простые критерии бинаризации позволяют выделить контур предмета с высокой точностью.

При выборе цвета кассеты целесообразно учитывать особенности работы фотокамеры, которые могут исказить цветовую гамму всей сцены или на некоторых её участках.

## **Заключение**

В работе исследован способ упрощения бинаризации изображения детали за счёт выбора цвета поверхности кассеты одним из базовых цветов изображения RGB.

Показано, что если для всех пикселей сцены отношение выбранного цвета кассеты к остальным базовым цветам достаточно велико, то методом пороговой бинаризации контур детали может быть выделен с высокой точностью даже при небольших изменениях освещения.

При выборе цвета кассеты следует принимать во внимание возможность искажения камерой цветовой гаммы сцены.

## **Литература**

1. Sauvola J., Petikainen M. Adaptive document image binarization // Pattern recognition. – 2000. – № 33. – P. 225-236.
2. Bernsen J. Dynamic thresholding of grey-level images // Proceedings of the Eighth ICPR. – 1986. – P. 1251-1255.
3. Niblack W. An Introduction to Image Processing // Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ. – 1986. – P. 115-116.
4. Gatos B., Pratikakis I., Perantonis S.J. An adaptive binarisation technique for low quality historical documents. In: IAPR Workshop on Document Analysis Systems (DAS2004) // Lecture Notes in Computer Science (3163). – 2004. – P. 102-113.
5. Kapur J.N., Sahoo P.K. and Wong A.K.C., A New Method for Gray-Level Picture Thresholding Using the Entropy of the Histogram // CVGIP. – 1985. – № 29. – P. 273-285.

6. Коваленко О.Ю., Журавлева Ю.А., Микаева С.А., Немов В.В. Исследование изменения светотехнических характеристик полупроводниковых источников света различного конструктивного исполнения в процессе эксплуатации // Вестник МГТУ, 2019, Т. 22, № 4, С. 471-476. [DOI:10.21443/1560-9278-2019-22-4-471-476](https://doi.org/10.21443/1560-9278-2019-22-4-471-476)
7. Жуков Д.В., Григорьева О.В., Саидов А.Г., Спесивцева А., Харжевский Е.В., Алгоритм ориентирования объектов на предварительно сегментированных изображениях // Вестник РГРТУ. 2022. № 81. С. 12-20.
8. Баринов А.Е., Захаров А.А. Разработка алгоритма определения положения и ориентации 3d-объектов на основе извлечения градиентных особенностей изображения // Ползуновский вестник, 2014. С. 50-53.
9. Кудинов И.А., Павлов О.В., Холопов И.С. Реализация алгоритма определения пространственных координат и угловой ориентации объекта по реперным точкам, использующего информацию от одной камеры // Компьютерная оптика, 2015. Т. 39, № 3. С. 413-419. [DOI:10.18287/0134-2452-2015-39-3-413-419](https://doi.org/10.18287/0134-2452-2015-39-3-413-419)
10. Приоров А.Л., Саутов Е.Ю., Хрящев В.В. Неэталонная оценка качества jpeg изображений // Цифровая обработка сигналов 2007. №3. С. 16-20.