

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

УДК 004.932.2

МОДЕЛЬ И МЕТОД ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ЦВЕТНЫХ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ РАДИАЛЬНОЙ СИММЕТРИИ

Р. М. Шакирзянов, аспирант КНИТУ-КАИ, Казань, Россия;
orcid.org/0000-0002-8162-0310, e-mail: rmshakirzyanov@kai.ru

М. П. Шлеймович, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой АСОИУ КНИТУ-КАИ, Казань, Россия;
orcid.org/0000-0002-3021-5139, e-mail: shlch@mail.ru

Большое значение имеют задачи распознавания с высокой точностью объектов заданной формы и цвета на сложном фоне в условиях помех. В связи с этим разработка эффективных алгоритмов выделения объектов, позволяющих уменьшить влияние шумовой составляющей и сократить вычислительные затраты на выполнение операций, при которых результат будет пригоден для последующего анализа в рамках решаемых задач, является актуальной задачей.

В настоящей работе представлены модель объектов и метод на основе преобразования радиальной симметрии для задач распознавания цветных объектов круглой формы на цветных изображениях. В качестве примеров таких объектов можно привести зрачки глаз, сигналы светофоров, автомобильных фонарей и световых маркеров.

Целью работы является повышение точности обнаружения цветных объектов круглой формы на изображениях в условиях помех с использованием модифицированного преобразования радиальной симметрии. В работе описаны модель и метод для обнаружения объектов на изображениях, представлены результаты численных экспериментов, которые позволяют оценить границы применимости предложенного метода.

Ключевые слова: распознавание образов, машинное зрение, метод Хафа, преобразование радиальной симметрии, цветовая сегментация, весовая модель, детектор Канни, цифровой шум.

DOI: 10.21667/1995-4565-2021-77-101-112

Введение

Существуют различные подходы для решения задач обнаружения и распознавания на изображениях в системах компьютерного зрения объектов заданной формы. Одним из развивающихся направлений в рассматриваемой области научных исследований является применение подходов, основанных на моделях объектов интереса. При этом часто рассматриваются радиально-симметричные объекты, такие как дорожные знаки, светофоры, автомобильные фонари, зрачки человека, маркеры для привязки к цели и т.д.

Большой вклад в разработку соответствующих моделей и методов обнаружения внесли такие ученые, как Г. Лой, А. Зелинский, Н. Барнес, Е. Скодрас, А. Могельмоус, Н. Беймс, К. Балман, П. Плогер, С. Эйкелер и др. Результаты их исследований применяются для решения задач в биометрических системах, интеллектуальных транспортных системах, системах промышленного контроля и т.д. [1-5].

Необходимость уменьшения влияния помех на результат работы систем компьютерного зрения обуславливает необходимость повышения эффективности применяемых методов обнаружения объектов в части устойчивости к шуму, что делает актуальной научно-

техническую задачу разработки новых методов обнаружения объектов для выполнения последующего анализа.

Предложенные в данной работе методы могут быть применены для решения задач, связанных с анализом объектов круглой формы на цветных изображениях. Среди таких задач можно выделить распознавание на цветных изображениях таких объектов, как дорожные знаки, светофоры, автомобильные фонари, зрачки глаз, маркеры для привязки к цели и т.д.

Весовая модель цветных объектов круглой формы

Весовая модель представления цветных объектов круглой формы на цветном изображении содержит совокупность хроматических и геометрических характеристик объектов.

Хроматические характеристики модели определяют допустимый диапазон цветов объекта. Для определения цвета объекта используется цветовая модель HSV, которая имеет ряд преимуществ для описания хроматических характеристик предлагаемой модели объектов перед другими широко применяемыми цветовыми моделями (такими как RGB, $L^*a^*b^*$ и др.). Названная модель позволяет с достаточной точностью задавать диапазон искомых цветов путём указания одного только интервала значений канала H (хроматическая составляющая), что значительно упрощает реализацию метода по сравнению с рядом других цветовых моделей.

Например, основным фактором, ограничивающим и усложняющим применение цветовой модели RGB для проведения цветовой сегментации, является то, что освещённость объекта не отделена от цветовой составляющей, и это затрудняет чёткое задание диапазонов искомых цветов. Неоспоримым достоинством цветовых моделей $L^*a^*b^*$ и $L^*u^*v^*$ является наличие отдельного канала L^* , отвечающего за освещённость, и плоскостей $((a^*, b^*)$ и (u^*, v^*) соответственно), отвечающих за цветность. Однако в этих моделях диапазоны цветов (хроматические характеристики) придётся задавать в виде геометрической фигуры на плоскости, возможно, имеющей сложное уравнение. Данный факт усложняет построение модели распределения цвета для проведения сегментации.

Цветовое пространство HSV относится к так называемой психологической группе цветовых пространств [6], т.е. основывается на особенности восприятия цвета человеком. Как уже упоминалось, оно имеет три канала: H – цветовой тон (hue), S – насыщенность (saturation), V – значение, яркость (value). Цветовое пространство зависит от устройства, т.е. является аппаратно-зависимым, поскольку является нелинейным преобразованием пространства RGB. Канал V отвечает за контраст и не содержит информацию о хроматической составляющей. Насыщенность S определяет чистоту цвета, или, иначе, степень приближения цвета к нейтральности.

Согласно стандарту разработчика модели Элви Рэй Смита в цветовом пространстве значения тона определены как значения угла в градусах в диапазоне $[0; 360]$. Ввиду того, что размер канала в 1 байт не позволяет записывать туда значения больше 255, при реализации метода с использованием вычислительной техники удобно сделать так, чтобы два соседних значения в канале H соответствовали смещению тона на 2 градуса. Красный цвет при необходимости следует задавать кусочно в диапазонах $[0; \beta]$ и $[180 - \alpha; 180]$, где α и β – некоторые значения, определяющие ширину разброса требуемых оттенков красного цвета, другие цвета можно задавать одним сплошным диапазоном.

Весовая модель объекта круглой формы характеризуется относительным уровнем веса точки, рассчитываемым как уровень яркости изображения проекций направлений и модулей градиентов при заданном радиусе или диапазоне радиусов. Подробное описание алгоритма построения весового изображения на основе преобразования радиальной симметрии представлено в работе [7]. Весовая модель позволяет оценить то, насколько данная точка может являться центром окружности с заданным радиусом. Центр окружности характеризуется как точка с максимальным весом, т.е. является локальным максимумом функции яркости.

Для большого круга задач оправдано учитывать только форму искомого объекта, преобразуя исходные цветные изображения в изображения в оттенках серого цвета. Поэтому часто

модели объектов не содержат цветовых составляющих. Однако для решения ряда задач требуется учитывать цвет анализируемых объектов. Для описания таких объектов в модели учтены и геометрические, и хроматические характеристики объектов.

Метод выделения объектов круглой формы на изображении

Метод обнаружения объектов на основе детектора радиальной симметрии и цветовой сегментации даёт точность отслеживания, достаточную с технической точки зрения, с быстрым временем выполнения, малой чувствительностью к близлежащим частицам и применимостью к любому радиально-симметричному распределению интенсивности света объекта.

Метод основан на применении преобразования радиальной симметрии и цветовой сегментации изображения. Он заключается в формировании весового изображения, в котором с каждым пикселем будет ассоциировано значение, отражающее его вес в качестве центра радиальной симметрии объекта.

В зависимости от параметров метода возможны различные варианты интерпретации результатов его применения. В частности, можно отметить способ определения границ объекта, а также определения центра круглого объекта с искомым радиусом.

Для обнаружения объектов на изображении $I = f(x, y)$ можно применить к исходному изображению некоторое преобразование $g(f(x, y))$, в результате получить весовое изображение, содержащее некоторые отличительные признаки, присущие объектам на исходном изображении.

Известны реализации на основе рассматриваемого метода для обнаружения дорожных знаков, локализации центров зрачков, световых пятен от различных источников света, таких как цветовые сигналы светофоров, огни на автомобилях. Указанные объекты характеризуются цветом. Поэтому в предложенном базовом методе предлагается выполнить предварительную сегментацию с использованием цветовой модели HSV.

При выполнении сегментации осуществляется анализ цветовых координат модели HSV и выделяются фрагменты, наиболее соответствующие диапазону цветов объектов интереса.

Далее описываются основные этапы разработанного метода обнаружения объектов, обладающих круглой формой. Разработанный метод состоит из следующих основных этапов.

Шаг 1. Проведение цветовой сегментации по всем заданным цветам.

Шаг 2. Построение весовой модели изображения с использованием применения метода на основе быстрого преобразования радиальной симметрии.

Шаг 3. Нормализация весового изображения и подавление точек со слабым весом.

Шаг 4. Поиск контуров на получившемся весовом изображении.

Шаг 5. Вычисление моментов фигур, заданных найденными контурами, и их центров масс.

Шаг 6. Шаги 2-5 повторить для каждого заданного цвета.

Примеры реализации этого метода описаны в работах [8, 9]. Далее описан каждый из представленных шагов метода.

На шаге «Проведение цветовой сегментации по всем заданным цветам» в описываемом методе используется цветовая модель HSV. Диапазоны цветов для проведения сегментации определены опытным путём.

На шаге «Построение весовой модели изображения с использованием применения метода на основе быстрого преобразования радиальной симметрии» для построения весовой модели изображения в качестве базового предлагается применить метод на основе модели, описанной ранее. Суть его заключается в следующем. На первом этапе производится вычисление градиентов на изображении по направлению x и по направлению y . Затем производится вычисление O_n и M_n (являются изображениями проекций направлений и модулей градиентов). На их основе вычисляется S_n . Далее осуществляется свёртка гауссовым фильтром G_n .

Примеры выполнения работы метода показаны на рисунке 1. На рисунке 1 справа представлена разница «однонаправленных» модификаций базового преобразования, заключающаяся в том, что формируется облако точек либо ближе к центру симметрии, либо дальше от него.

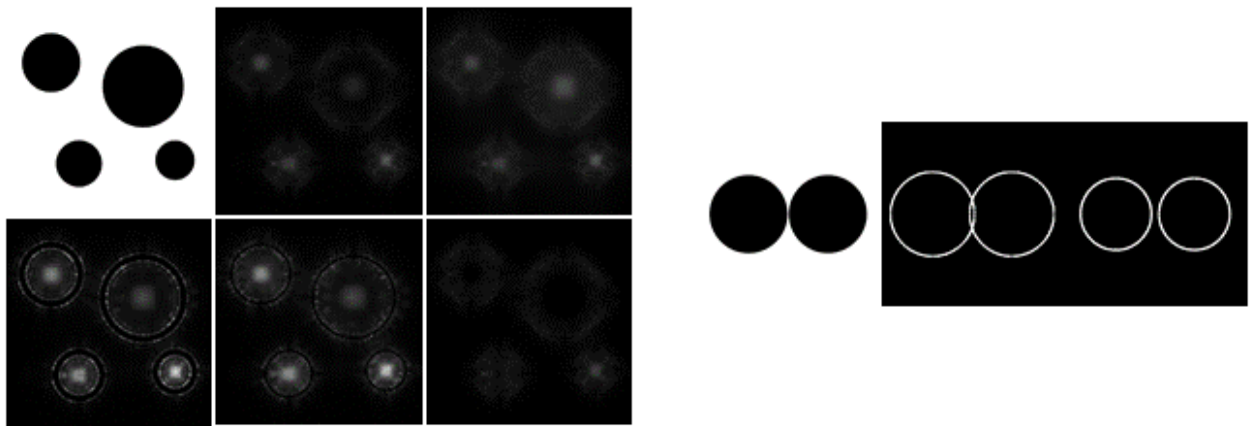


Рисунок 1 – Примеры выполнения метода над изображением
Figure 1 – Examples of performing the method on an image

Блок-схема метода представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Блок-схема метода
Figure 2 – Method flowchart

При реализации данного преобразования можно варьировать следующими параметрами:

1. Параметр радиальной жёсткости.
2. Параметры гауссовых фильтров для каждого радиуса.
3. Диапазон значений радиусов.
4. Направления градиентов (прямое, обратное, прямое и обратное).

Данные возможности преобразования позволяют применять его в качестве инструмента для решения различных задач анализа изображений в системах управления на основе компьютерного зрения.

На шаге «Нормализация весового изображения и подавление точек со слабым весом» при выполнении нормализации изменяется диапазон пиксельных значений интенсивности цвета для улучшения контрастности. Нормализацию нередко называют растяжением контраста или растяжением гистограммы. Основной целью этого шага является приведение изображения в более удобный диапазон. Нормализация преобразует n -мерное изображение в градациях серого (или отдельный канал многоканального изображения) $I : \{X \subseteq \mathbb{R}^n\} \rightarrow \{Min1, \dots, Max1\}$ со значениями интенсивности цвета в диапазоне $[Min1, Max1]$ в новое изображение $I_N : \{X \subseteq \mathbb{R}^n\} \rightarrow \{Min2, \dots, Max2\}$ со значениями интенсивности в диапазоне $[Min2, Max2]$. Нормализация может быть линейной и нелинейной.

Затем для подавления точек со слабым весом используется операция порогового разделения, дающая бинарное изображение. Целью операции является радикальное уменьшение количества информации, содержащейся в весовом изображении. В процессе бинаризации исходное полутоновое изображение, имеющее некое количество уровней яркости, преобразуется в чёрно-белое. Пороговая обработка изображения может проводиться разными способами.

В предложенном методе используется метод Отцу. Метод использует гистограмму распределения значений яркости пикселей растрового изображения. Строится гистограмма по значениям $p_i = n_i / N$, где N – это общее кол-во пикселей на изображении, n_i – это количество пикселей с уровнем яркости i . Диапазон яркостей делится на два класса с помощью порогового значения уровня яркости k , k – целое значение от 0 до L . Каждому классу соответствуют относительные частоты. Далее вычисляется максимальное значение оценки качества разделения изображения на две части.

На шаге «Поиск контуров на весовом изображении» при проведении поиска контуров внутренние пиксели объекта не учитываются, также полагается, что контур содержит достаточную для анализа информацию о форме объекта. Рассмотрение контуров, а не объектов целиком позволяет существенно снизить сложность методов и вычислений.

Стоит отметить, что возможны следующие проблемы при выделении контуров на изображениях.

1. При схожей яркости объекта и фона объект может не иметь чёткой границы, может быть зашумлён помехами, что приводит к невозможности выделения контура.
2. Перекрывание объектов или их группировка приводит к тому, что контур выделяется неправильно и не соответствует границе объекта.

Удачным и часто применяемым методом извлечения контуров является детектор границ Канни. В результате его работы получается бинарное изображение, которое явным образом отображает границы объектов.

Чтобы оперировать полученным контуром, его необходимо закодировать (или описать). Например, может быть применён цепной код Фримана.

Далее следует шаг «Вычисление моментов фигур, заданных найденными контурами, и их центров масс». После нахождения контуров выполняется вычисление их моментов. Моментом называется суммарная характеристика контура, рассчитанная интегрированием (суммированием) всех пикселей контура.

Момент $m(p, q)$ определяется формулой

$$m(p, q) = \sum_{i=0}^n I(x, y) \cdot x^p \cdot y^q,$$

где p и q – порядок возведения в степень соответствующего параметра при суммировании, n – число пикселей контура.

Центральный момент определяется следующим образом:

$$m(p, q) = \sum_{i=0}^n I(x, y) \cdot (x - \bar{x})^p \cdot (y - \bar{y})^q.$$

Центр масс $(\bar{x}, \bar{y})$ определяется как средние координаты x и y всех пикселей контура:

$$\bar{x} = \frac{m(1, 0)}{m(0, 0)}, \quad \bar{y} = \frac{m(0, 1)}{m(0, 0)}.$$

На основе описанного подхода можно предложить метод, позволяющий обеспечить более точное обнаружение окружностей на изображениях с помощью преобразования Хафа, описанного в работах [10-12].

В этом случае нужно к описанным этапам добавить следующие два шага:

Шаг 7. Выполнение поиска окружностей с помощью преобразования Хафа для каждого заданного цвета.

Шаг 8. Сравнение найденных объектов на шагах 2-6 и 7, отбор тех, которые были обнаружены обоими методами.

Данная модификация метода описана в работе [13].

Затем на шаге «Выполнить поиск окружностей с помощью преобразования Хафа для каждого заданного цвета» применяется метод Хафа – распространённый метод поиска объектов заданной геометрической формы, являющийся важным звеном в работе метода, служащий для уточнения работы предлагаемого метода.

В заключение следует шаг «Сравнение найденных объектов на шагах 2 – 6 и 7, выбор тех объектов, которые соответствуют обоим критериям». На этом этапе производится сравнение результатов работы (т.е. обнаруженных объектов) обоими методами, и отбираются те объекты, которые были обнаружены с допустимой погрешностью и методом Хафа, и с помощью детектора радиальной симметрии.

Достоинством данного алгоритма является относительно высокая скорость работы. Однако он весьма чувствителен к шуму и к изменению значений настроечных параметров, к которым относятся:

- разрешение аккумулятора для детектирования центров окружностей;
- минимальное расстояние между центрами окружностей;
- верхний порог детектора Канни;
- нижний порог детектора Канни;
- минимальный радиус окружности;
- максимальный радиус окружности.

На рисунке 3 показаны примеры правильного и неправильного детектирования окружностей с одними и тем же параметрами.

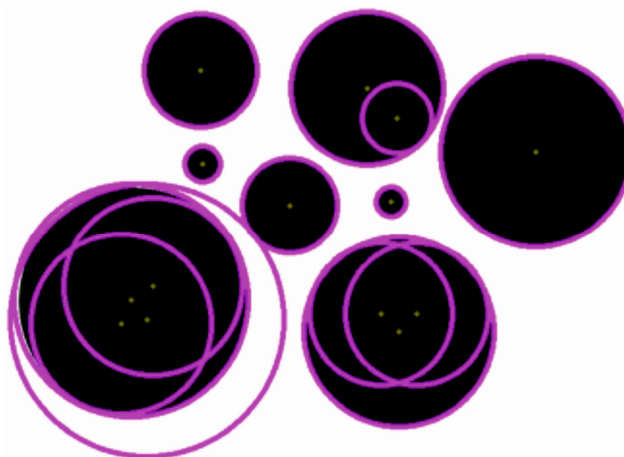


Рисунок 3 – Результат работы метода Хафа
Figure 3 – The result of Hough method

Снизить трудоёмкость подбора значений настроечных параметров для детектирования окружностей на изображении градиентным методом Хафа можно с помощью алгоритма определения центров радиально-симметричных объектов, описанного выше. Применение последнего позволит уточнить окружность по степени близости центра, полученного с помощью метода Хафа, к одному из центров, полученных на основе преобразования радиальной симметрии.

Процедура уточнения представляет собой последовательное выполнение трёх шагов:

1. Применение алгоритма на основе метода Хафа для обнаружения положения окружностей на изображении.
2. Применение алгоритма детектирования центров на основе преобразования радиальной симметрии.
3. Фильтрация окружностей по степени близости центров, найденных при выполнении двух предыдущих шагов.

Пример выполнения предложенной модификации описанного ранее метода для изображения на рисунке 3 (с теми же параметрами для метода Хафа) показан на рисунке 4, где приведены также результаты преобразования радиальной симметрии.

Таким образом, сочетание быстрого преобразования радиальной симметрии, цветовой сегментации и преобразования Хафа позволяет повысить точность обнаружения цветных объектов круглой формы на изображениях.

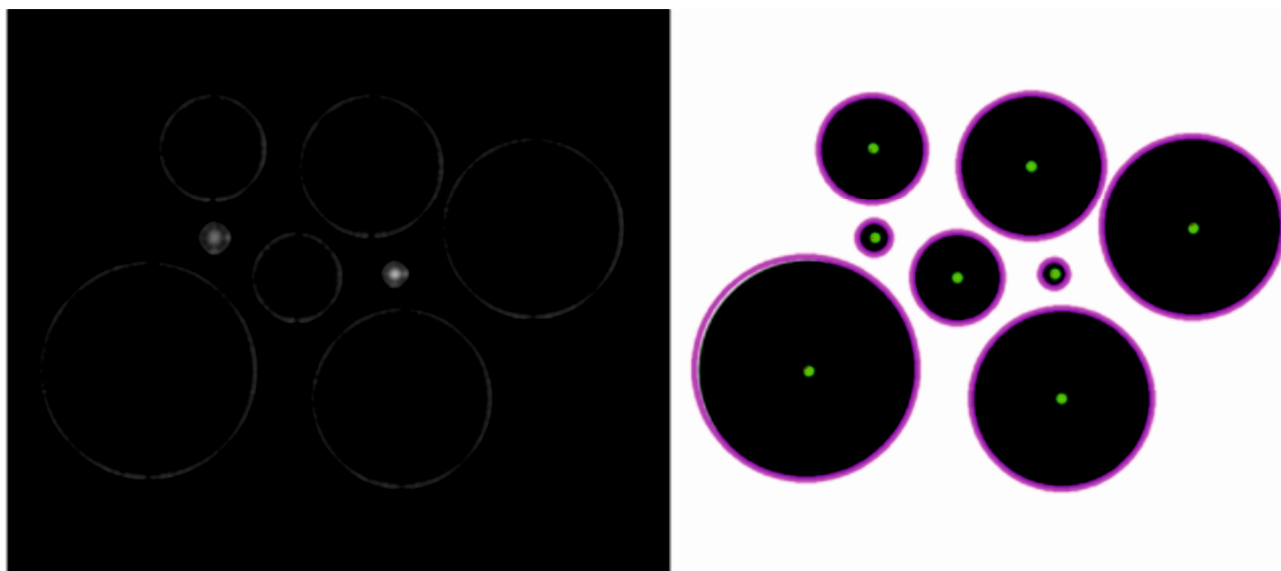


Рисунок 4 – Пример обнаружения окружностей с уточнением центров
Figure 4 – Example of circle detection with center refinement

Результаты численных экспериментов

Далее представлены основные результаты исследований, проведённые на синтезированных изображениях. Приведено обоснование выбора значений соответствующих параметров для методов. Рассмотрены границы применимости исследуемых методов. Для проведения вычислительных экспериментов было построено изображение, содержащее 100 окружностей с радиусами от 1 до 100 пикселей (20 строк, 5 столбцов), центры которых находятся в узлах сетки с шагом 400 пикселей для того, чтобы исключить взаимное влияние окружностей друг на друга при обработке. Размер исходного изображения 2400×8400 пикселей. В ходе экспериментов производился поиск заданных объектов при различных условиях (в том числе на изображениях с искусственно наложенным шумом).

На рисунке 5 представлен график зависимости корреляции величин заданных искомых радиусов и обнаруженных окружностей с помощью предложенного метода при различных значениях параметра жёсткости, построенный в результате вычислительных экспериментов.

Установлено, что целесообразно использование параметра, равного 2, так как при меньших значениях существенно снижается точность работы метода, а при больших – существенных улучшений не наблюдается.

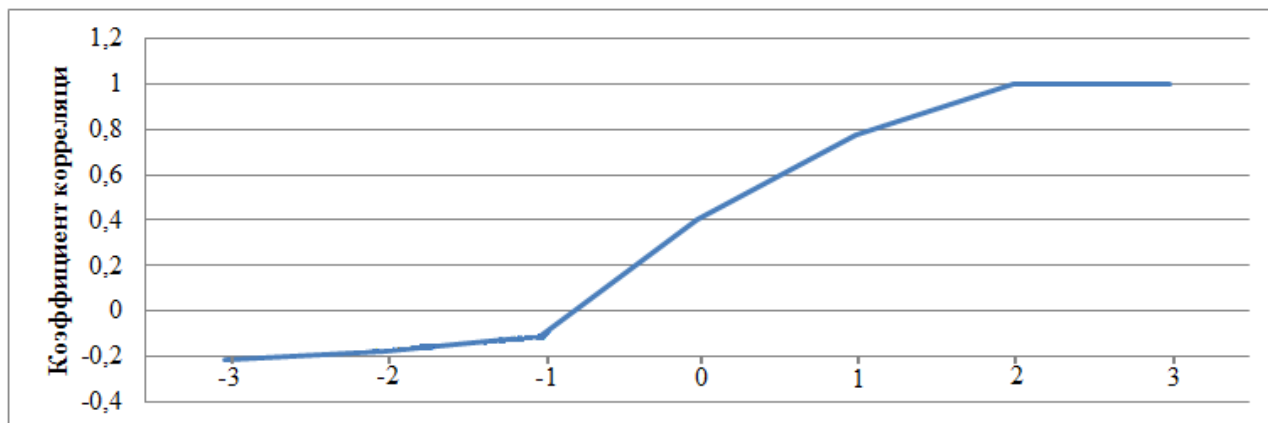


Рисунок 5 – График зависимости корреляции величин заданных искомых радиусов и обнаруженных окружностей с помощью предложенного метода при различных значениях параметра жёсткости

Figure 5 – Graph of correlation for the values of specified desired radii and those obtained using the proposed method for different values of rigidity parameter

Для исследования влияния шума типа «соль и перец» на работу предложенного метода исходное изображение было зашумлено помехами типа «соль» и типа «перец» с интенсивностью 25 % и 10 % площади изображения.

Указанные изображения были подвергнуты обработке детектором радиальной симметрии с параметром радиальной жёсткости, равным 2, и диапазоном искомых окружностей, имеющим размер в 5 последовательно заданных радиусов с шагом 1. На рисунке 6 представлены графики зависимости корреляции величин заданных искомых радиусов и обнаруженных окружностей с помощью предложенного метода.

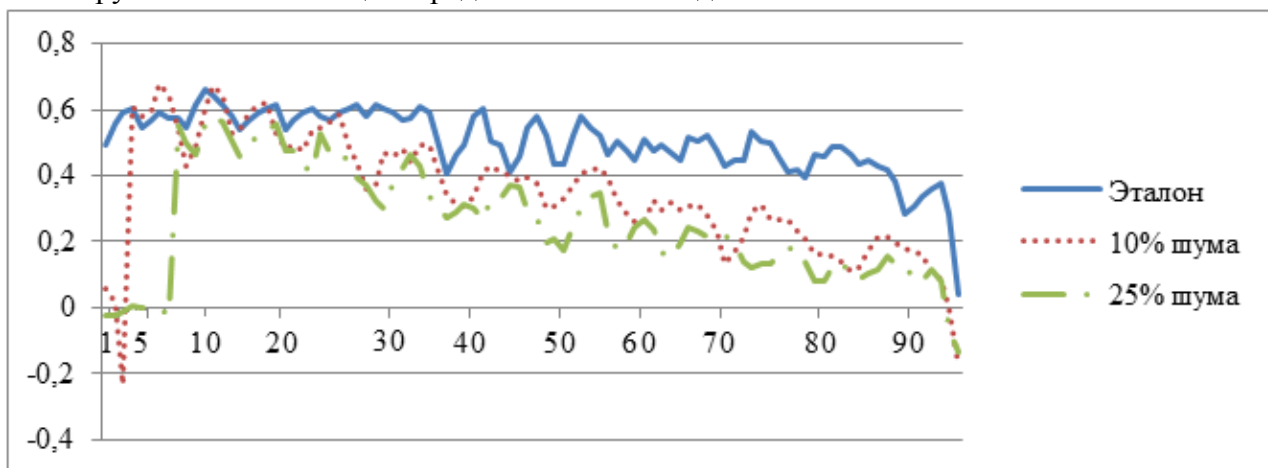


Рисунок 6 – Графики зависимости корреляции величин заданных искомых радиусов и обнаруженных окружностей с помощью предложенного метода

Figure 6 – Graphs of correlation dependence for the values of specified desired radii and those detected using the proposed method

На представленном графике сплошной линией обозначена зависимость коэффициентов корреляции между искомыми и найденными окружностями на изображении без помех. Линией из точек обозначена зависимость коэффициентов корреляции между искомыми и найденными окружностями на изображении с 10 % «зашумленной» информации. Штрих-пунктирной линией обозначена зависимость коэффициентов корреляции между искомыми и

найденными окружностями на изображении с 25 % «зашумленной» информации. Таким образом установлено, что шум типа «соль и перец» значительно влияет на результат распознавания, требуется предварительная обработка.

Для исследования влияния гауссового шума на результат работы предложенного метода исходное изображение было зашумлено с помощью заполнения пикселей изображения нормально распределёнными случайными числами с математическим ожиданием, равным 0, и стандартным отклонением σ .

Указанное изображение было подвергнуто обработке детектором радиальной симметрии с параметром радиальной жёсткости, равным 2, и диапазоном искомых окружностей, имеющим размер в 5 последовательно заданных радиусов с шагом 1. На рисунке 7 представлены графики зависимости корреляции величин заданных искомых радиусов и обнаруженных окружностей с помощью предложенного метода.

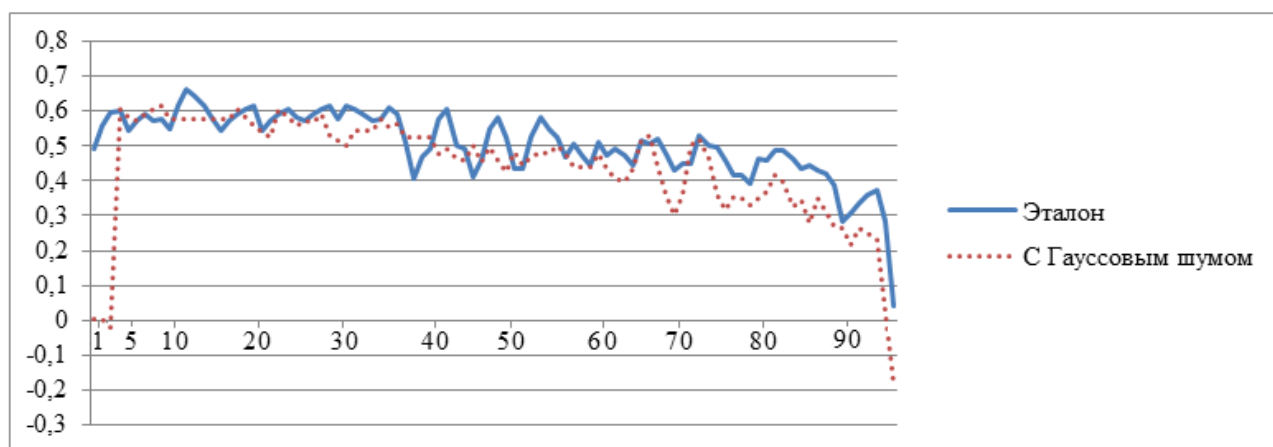


Рисунок 7 – Графики зависимости корреляции величин заданных искомых радиусов и обнаруженных окружностей с помощью предложенного метода
Figure 7 – Graphs of correlation dependence for the values of specified desired radii and those detected using the proposed method

На представленном графике сплошной линией обозначена зависимость коэффициентов корреляции между искомыми и найденными окружностями на изображении без помех. Линией из точек обозначена зависимость коэффициентов корреляции между искомыми и найденными окружностями на изображении с наложенным гауссовым шумом. Таким образом установлено, что гауссов шум значительное влияние оказывает на объекты малых размеров, требуется в этом случае предварительная обработка, для реальных объектов его влияние несущественно.

Для исследования влияния шума в виде размытия изображения путём использования масок различного размера на результат работы предложенного метода исходное изображение было подвергнуто размытию масками размерности 3×3 , 5×5 и 7×7 .

Указанные изображения были подвергнуты обработке детектором радиальной симметрии с параметром радиальной жёсткости, равным 2, и диапазоном искомых окружностей, имеющим размер в 5 последовательно заданных радиусов с шагом 1. На рисунке 8 представлены графики зависимости корреляции величин заданных искомых радиусов и обнаруженных окружностей с помощью предложенного метода.

На представленном графике сплошной линией обозначена зависимость коэффициентов корреляции между искомыми и найденными окружностями на изображении без помех. Линией из точек обозначена зависимость коэффициентов корреляции между искомыми и найденными окружностями на изображении с размытием маской 3×3 . Пунктирной линией обозначена зависимость коэффициентов корреляции между искомыми и найденными окружностями на изображении с размытием маской 5×5 . Линией из точек обозначена зависимость коэффициентов корреляции между искомыми и найденными окружностями на изображении

с размытием маской 7×7 . Из результатов видно, что размытие не влияет значительно на результат работы.

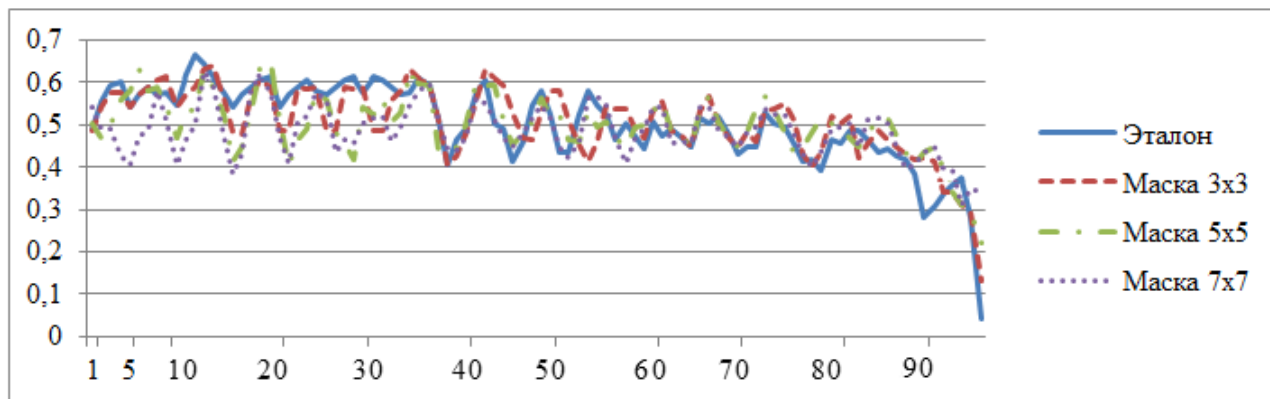


Рисунок 8 – Графики зависимости корреляции величин заданных искомых радиусов и обнаруженных окружностей с помощью предложенного метода
Figure 8 – Graphs of correlation dependence for the values of specified desired radii and those detected using the proposed method

В ходе исследований было установлено, что значение параметра радиальной жёсткости от 2 и выше обеспечивает коэффициент корреляции между множеством искомых и обнаруженных объектов 0,99 и выше, значение данного параметра от 0 до 1 даёт средний уровень коэффициента корреляции между множеством искомых и обнаруженных объектов (на уровне от 0,4 до 0,7); в то же время установлено слабое влияние на результат параметра «стандартное отклонение», применяемого в методе быстрого преобразования радиальной симметрии, достаточный диапазон используемых значений от 0 до 0,2.

Кроме того, при применении импульсного шума (типа «соль и перец») установлено, что для объектов, имеющих размер радиуса до 50 % от уровня шума, метод неприменим ввиду слабой корреляции между множеством искомых и обнаруженных объектов. В остальных случаях корреляция средняя, допустимым можно считать уровень шума в 25 %, при котором сохраняется средний уровень корреляции между множеством искомых и обнаруженных объектов. Гауссов шум имеет малое влияние на обнаружение объектов, однако малые объекты радиусом до 5 пикселей теряются и не обнаруживаются. При размытии изображения с помощью масок 3×3 , 5×5 и 7×7 наблюдаются незначительные изменения в эффективности метода.

Заключение

В результате были разработаны и исследованы модели и методы обнаружения и распознавания цветных объектов с применением преобразования радиальной симметрии и преобразования Хафа, на основе предложенных методов было разработано программное обеспечение, их реализующее и позволяющее производить численные эксперименты.

Библиографический список

1. Loy G. and Zelinsky A. Fast radial symmetry for detecting points of interest // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2003, vol. 25 (8), pp. 959-973.
2. Barnes N. and Zelinsky A. Real-time radial symmetry for speed sign detection // IEEE Intelligent Vehicles Symposium. 2004, pp. 566-571.
3. Barnes N., Loy G., and Shaw D. The regular polygon detector // Pattern Recognition. 2010, vol. 43 (3), pp. 592-602.
4. Barnes N., Loy G., Shaw D. and Robles-Kelly A. Regular polygon detection // IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). 2005, vol. 1, pp. 778-785.
5. Evangelos A. Skodras. Doctoral Dissertation, Electrical and Computer Engineer, University of Patras, Patras. 2016, 152 p.
6. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2012. 1104 с.

7. **Lyasheva S., Shleymovich M., Shakirzyanov R.** The Image Analysis Using Fast Radial Symmetry Transform in Control Systems Base on the Computer Vision // 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon. 2019, pp. 1-6.

8. **Кирпичников А. П., Ляшева С. А., Шакирзянова А. А., Шлеймович М. П., Шакирзянов Р. М.** Алгоритм обнаружения световых сигналов транспортных средств и светофоров // Вестник Технологического университета. 2019. Т. 22. № 9. С. 130-133.

9. **Шакирзянов Р. М.** Обнаружение сигналов светофоров с использованием цветовой сегментации и детектора радиальной симметрии // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2020. Т. 16. № 6. С. 25-33.

10. **Duda R. O. and Hart P. E.** Use of the Hough Transform to Detect Lines and Curves in Pictures // Comm. ACM. 1972, vol. 15 (1), pp. 11-15.

11. **Ballard D. H.** Generalizing the hough transform to detect arbitrary shapes // Pattern recognition. 1981, vol. 13 (2), pp. 111-12.

12. **Hough P. V.** Method and means for recognizing complex patterns, U.S. Patent 3069654 (1962).

13. **Кирпичников А. П., Ляшева С. А., Шакирзянова А. А., Шлеймович М. П., Шакирзянов Р. М.** Обнаружение окружностей на изображениях с помощью метода Хафа и преобразования быстрой радиальной симметрии // Вестник Технологического университета. 2019. Т. 22. № 8. С. 164-167.

UDC 004.932.2

MODEL AND METHOD FOR DETECTING COLORED OBJECTS USING MODIFIED RADIAL SYMMETRY TRANSFORMATION

R. M. Shakirzyanov, post-graduate student of KNITU-KAI, Kazan, Russia;

orcid.org/0000-0002-8162-0310, e-mail: rmshakirzyanov@kai.ru

M. P. Shleimovich, Ph.D (Tech.), Associate Professor, Head of the Department of ASOIU KNITU-KAI, Kazan, Russia;

orcid.org/0000-0002-3021-5139, e-mail: shlch@mail.ru

Of great importance are the tasks of recognizing objects of a given shape and color on complex background in conditions of interference with high accuracy. In this regard, the development of effective algorithms for selecting objects that reduce the influence of noise component and reduce computational costs of performing operations in which the result will be suitable for subsequent analysis within the framework of the tasks being solved is an urgent task.

This paper presents a model of objects and a method based on radial symmetry transformation for the problems of recognizing round-shaped colored objects in color images. Examples of such objects include the pupils of the eyes, traffic lights, car lights and light markers.

The aim of the work is to increase the accuracy of detecting round-shaped colored objects in the images under interference conditions using modified radial symmetry transformation. The paper describes a model and a method for detecting objects in images, presents the results of numerical experiments that allow us to estimate the limits of applicability of the proposed method.

Key words: pattern recognition, machine vision, Hough method, radial symmetry transformation, color segmentation, weight model, Canny detector, digital noise.

DOI: 10.21667/1995-4565-2021-77-101-112

References

1. **Loy G. and Zelinsky A.** Fast radial symmetry for detecting points of interest. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2003, vol. 25 (8), pp. 959-973.

2. **Barnes N. and Zelinsky A.** Real-time radial symmetry for speed sign detection. *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*. 2004, pp. 566-571.

3. **Barnes N., Loy G., and Shaw D.** The regular polygon detector. *Pattern Recognition*. 2010, vol. 43 (3), pp. 592-602.

4. **Barnes N., Loy G., Shaw D. and Robles-Kelly A.** Regular polygon detection. *IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. 2005, vol. 1, pp. 778-785.
5. **Evangelos A. Skodras.** *Doctoral Dissertation, Electrical and Computer Engineer*. University of Patras, Patras. 2016, 152 p.
6. **R. Gonzalez, R. Woods.** *Cifrovaya obrabotka izobrazhenij* (Digital image processing). Moscow: Tekhnosfera. 2012, 1104 p. (in Russian).
7. **Lyasheva S., Shleymovich M., Shakirzyanov R.** The Image Analysis Using Fast Radial Symmetry Transform in Control Systems Base on the Computer Vision. *International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies*. FarEastCon. 2019, pp. 1-6.
8. **Kirpichnikov A. P., Lyasheva S. A., Shakirzyanova A. A., Shleymovich M. P., Shakirzyanov R. M.** Algoritm obnaruzheniya svetovykh signalov transportnykh sredstv i svetoforov. *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta*. 2019, vol. 22, no. 9, pp. 130-133. (in Russian).
9. **Shakirzyanov R. M.** Obnaruzhenie signalov svetoforov s ispol'zovaniem cvetovoy segmentatsii i dektora radial'noj simmetrii. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2020, vol. 16, no. 6, pp. 25-33. (in Russian).
10. **Duda R. O. and Hart P. E.** Use of the Hough Transform to Detect Lines and Curves in Pictures. *Comm. ACM*. 1972, vol. 15 (1), pp. 11-15.
11. **Ballard D. H.** Generalizing the hough transform to detect arbitrary shapes. *Pattern recognition*. 1981, vol. 13 (2), pp. 111-12.
12. **Hough P. V.** *Method and means for recognizing complex patterns*. U.S. Patent 3069654 (1962).
13. **Kirpichnikov A. P., Lyasheva S. A., Shakirzyanova A. A., Shleimovich M. P., Shakirzyanov R. M.** Obnaruzhenie okruzhnostej na izobrazheniyah s pomoshch'yu metoda Hafa i preobrazovaniya bystroj radial'noj simmetrii. *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta*. 2019, vol. 22, no. 8, pp. 164-167.