

С.С. САДЫКОВ,
Я.Ю. КУЛЬКОВ,
М.Ю. ГОШТАУТАС

**Исследование алгоритма
определения типов объектов в
поле зрения системы
распознавания**

Муромский институт
(филиал) ФГБОУ ВО
«Владимирский
государственный
университет имени
А.Г. и Н.Г. Столетовых»,
г. Муром

В статье приведены результаты экспериментов по исследованию алгоритма определения типов объектов в поле зрения системы распознавания. В работе реализован алгоритм рекурсивной разметки, а так же алгоритм отнесения объекта к тому или иному классу, на основе расчета отклонения площадей бинарного изображения и выпуклой формы этого изображения. Приведены результаты экспериментальных исследований по идентификации объектов.

Введение

В настоящее время перед большинством промышленных предприятий, особенно в машиностроении, встают задачи комплексной автоматизации технологических процессов и операций. К числу подобных операций можно отнести: контроль и отбраковку различных деталей и изделий по внешнему виду, загрузка обрабатывающих станков деталями с конвейеров, сортировка и ориентированная укладка в кассеты деталей и заготовок, в том числе неупорядоченно движущихся по конвейеру или поступающих в таре навалом, сборка и комплектация, электронных узлов и другие. Для автоматизации перечисленных операций создается специализированные распознающие системы (РС).

На конвейере, в бункерах, ящиках и коробках детали могут находиться как отдельно, так и в наложенном состоянии. Поэтому

РС должна иметь в своем составе алгоритмы, позволяющие распознавать отдельные и наложенные детали [1-3].

Анализ состояния задачи автоматизации распознавания наложенных объектов, показал, что на практике эти объекты на входе РС пока располагаются отдельно вручную, что не производительно и дорого.

В связи с вышеизложенным, разработка методов и алгоритмов автоматического распознавания промышленных деталей и изделий, расположенных на ленте конвейера, в бункере и т.д. как по отдельности, так и в наложенном состоянии и создание на их основе РС является актуальной задачей.

В данной статье приведены результаты экспериментальных исследований по распознавания типа поля зрения на входе РС.

Определение типа поля зрения

В поле зрения системы распознавания возможны следующие ситуации:

1. Пустое поле зрения – в кадре нет ни одного объекта;
2. Отдельный объект – в кадре находится один отдельный объект и возможно отдельные помехи;
3. Два отдельных объекта – два изолированных друг от друга объекта.
4. Наложённые объекты – два объекта, которые между собой пересекаются.

На рисунке 1 представлена общая структура программного обеспечения (ПО) разработанной экспериментальной системы распознавания отдельных и наложенных реальных плоских объектов.

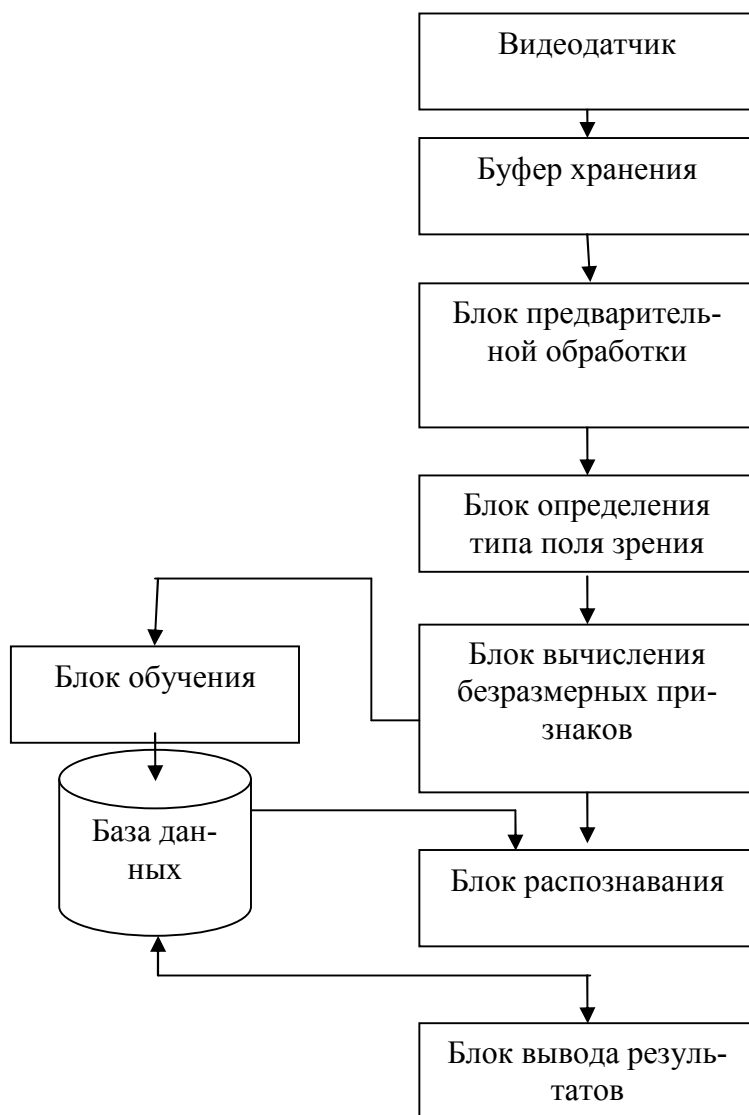


Рис. 1. Общая структура ПО системы распознавания

Видеодатчик предназначен для получения изображений отдельных и наложенных объектов и преобразования их в цифровую форму.

Буфер хранения временно хранит изображения объектов для исследования и распознавания.

Блок предварительной обработки предназначен для приведения полученного с камеры полутонового изображения к виду удобному для анализа и распознавания. Для этого с изображения удаляется шум, они бинаризируются, после чего к нему применяется операция маркировки объектов с целью определения объектов, попавших в поле зрения для распознавания.

Медианная фильтрация позволяет уменьшить количество помех на изображения. В качестве таких помех могут быть частицы пыли, попавшие на поле зрения или на исследуемый объект либо на оптическую систему видеодатчика.

Бинаризация предназначена для выделения областей в поле зрения системы распознавания, принадлежащих объектам. Для этого применяется процедура пороговой сегментации, которая разделяет изображения на области. Точки, яркость которых меньше используемого порога считаются принадлежащими объекту, остальные – фону.

После применения операции бинаризации выполняется процесс маркировки (последовательной разметки связанных компонент), в котором каждой точке каждого объекта присваивается номер связанной компоненты, представляющий собой данный объект.

Алгоритмы распознавания, применяемые в системе, используют безразмерные признаки, вычисляемые по контурам объектов, поэтому для выделяются одноточечные безразрывные контуры объектов.

Следующим шагом является определение типа поля зрения. На рисунке 2 приведена структурная схема модели определения вида объекта в поле зрения системы распознавания.

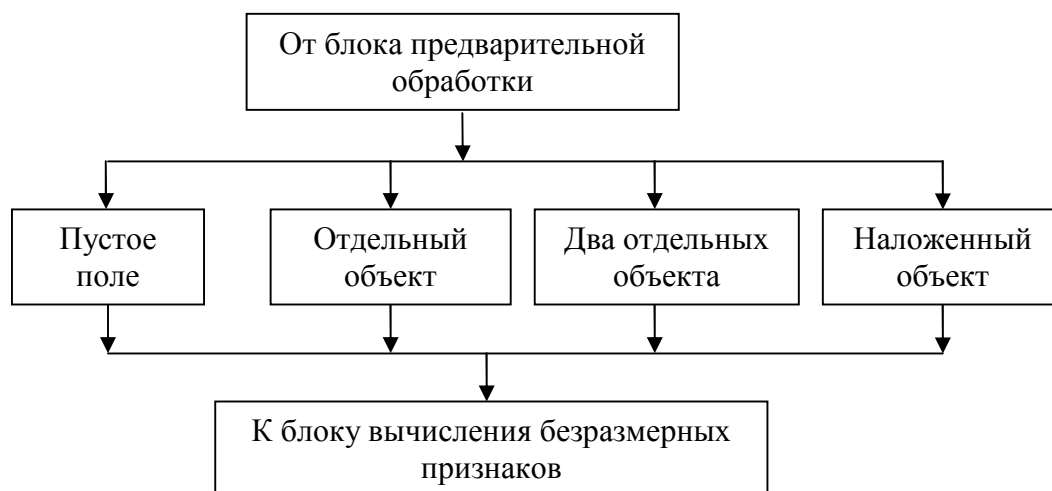


Рис. 2. Структура блока определения типа поля зрения

При работе системы распознавания возможны ситуации, когда в поле зрения видеодатчика находится отдельный объект, два отдельных объекта, либо два объекта в наложенном состоянии.

Также необходимо учитывать ситуацию, когда в поле зрения нет объекта.

Моделирование определения поля зрения

На рисунке 3 приведена общая схема процесса моделирования определения типа поля зрения.

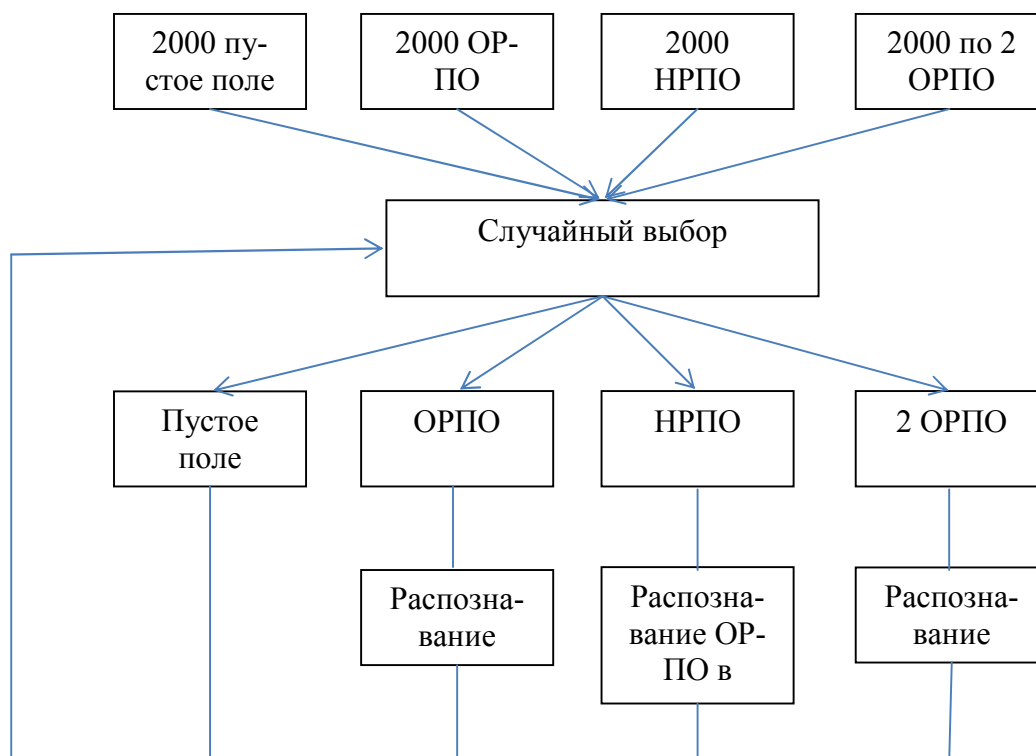


Рис. 3. Модель технологического процесса работы системы распознавания. ОРПО – отдельный реальный плоский объект; НРПО – наложенный плоский объект.

Исходными данными для проведения исследования являются:

1. 2000 изображений пустого поля.
2. 20000 изображений отдельных реальных плоских объектов (ОРПО) и их выпуклая форма.
3. 110000 изображений наложенных реальных плоских объектов (НРПО) и их выпуклые формы.
4. 20000 изображений с двумя ОРПО на рабочем поле.

Массив исходных изображений реальных деталей и изделий , используемых для генерации множества вариантов их расположения в поле зрения РС и формирования НРПО, приведен на рисунке 4.

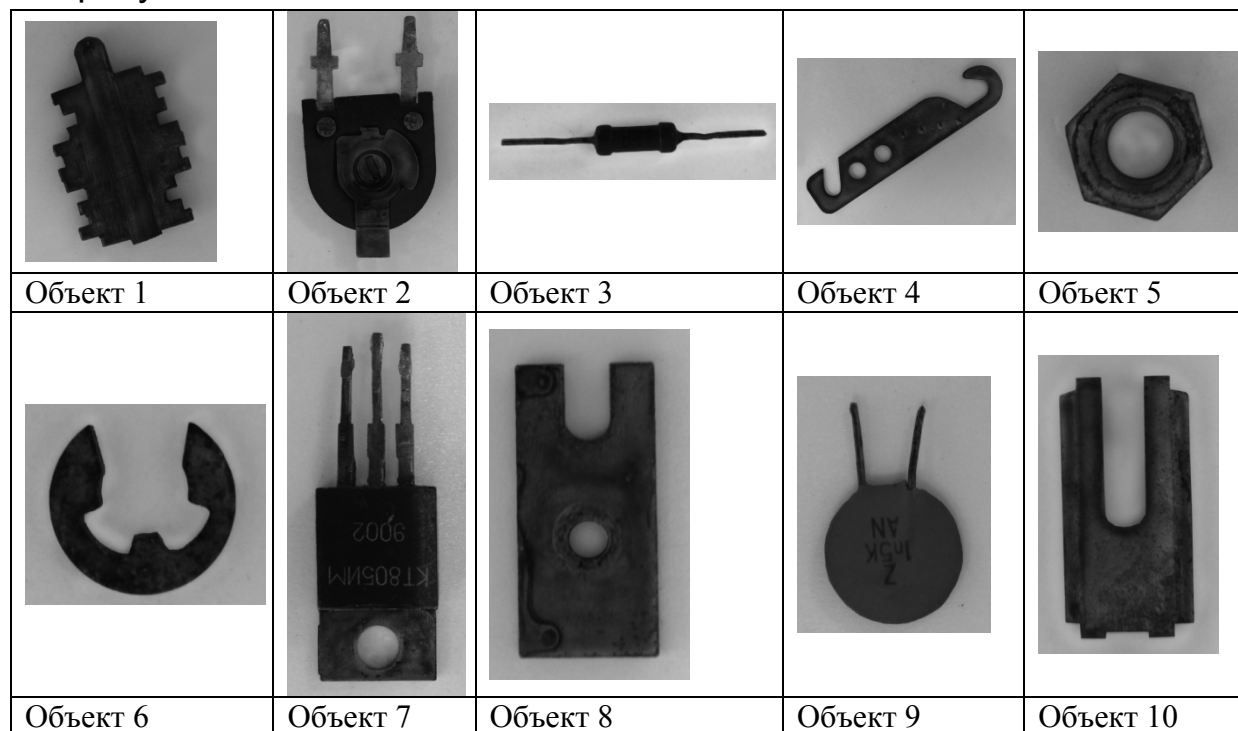


Рис. 4. Изображения реальных плоских объектов

Для проведения эксперимента по определению типа поля зрения необходимо сформировать презентативные выборки по 2000 изображений каждого типа исходных объектов. На основе генератора случайных чисел из 20000 исходных ОРПО формируется выборка, состоящая из 2000 изображений разных классов (рис.5). Для каждого из отобранных изображений вычисляются их выпуклые оболочки (рис.6).

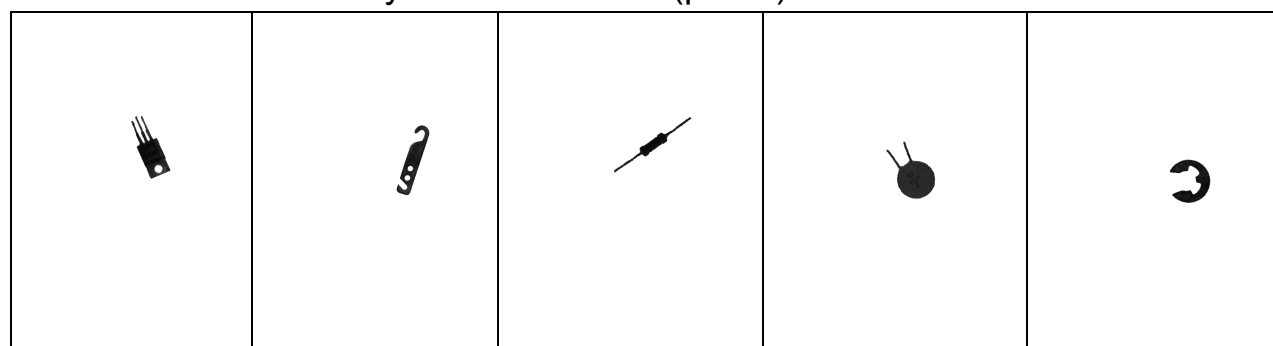


Рис. 5. Пример изображений отдельных объектов в поле зрения.

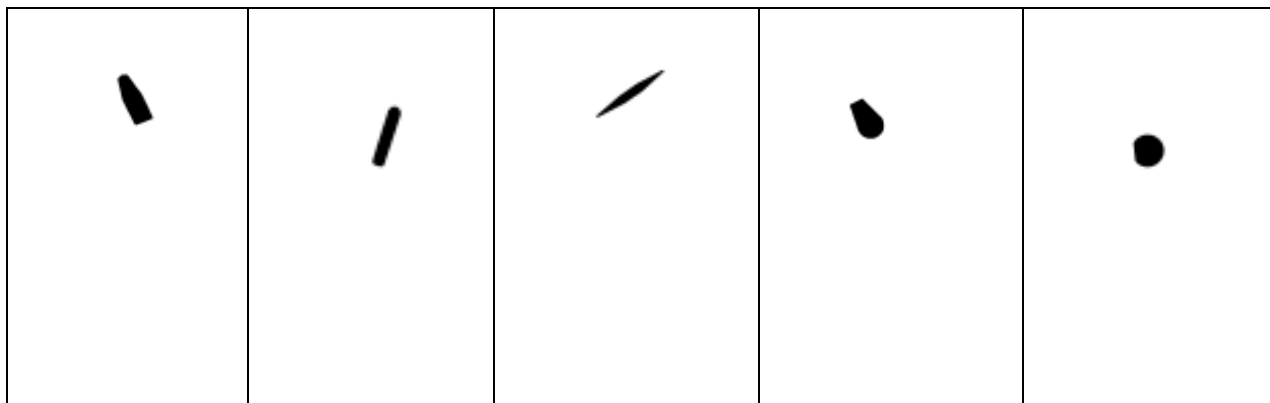


Рис. 6. Примеры изображений выпуклой формы ОРПО.

Аналогично формируются 2000 НРПО и выпуклые формы из набора 110000 исходных (рис.7), (рис.8), а также 2000 изображений с двумя отдельными ОРПО из исходных 20000 (рис.9).

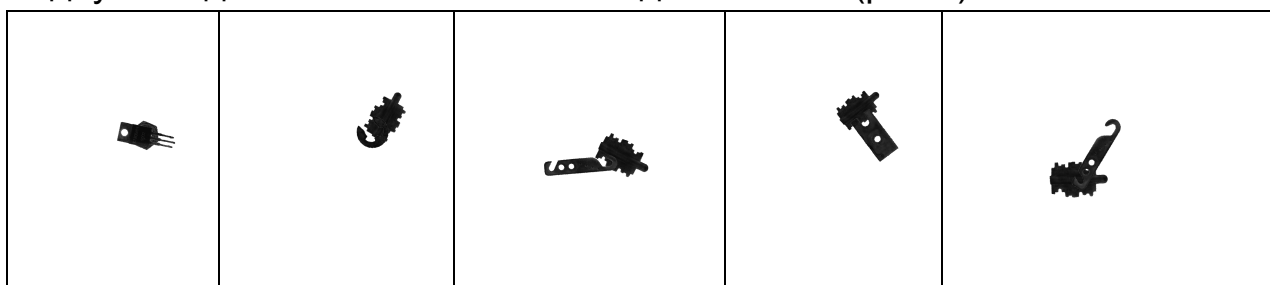


Рис. 7. Пример изображений НРПО.

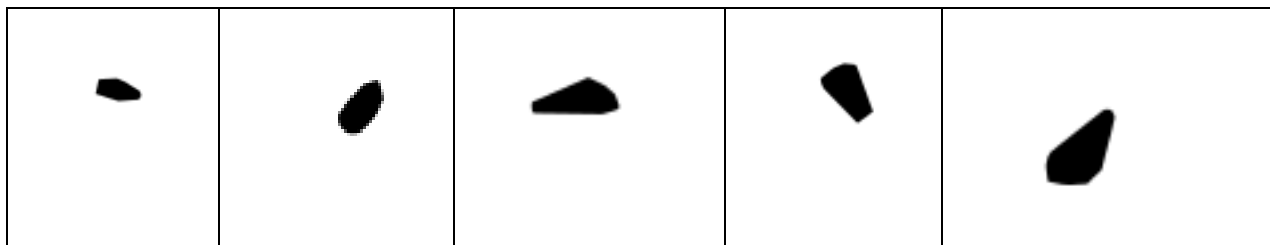


Рис. 8. Выпуклые формы НРПО.

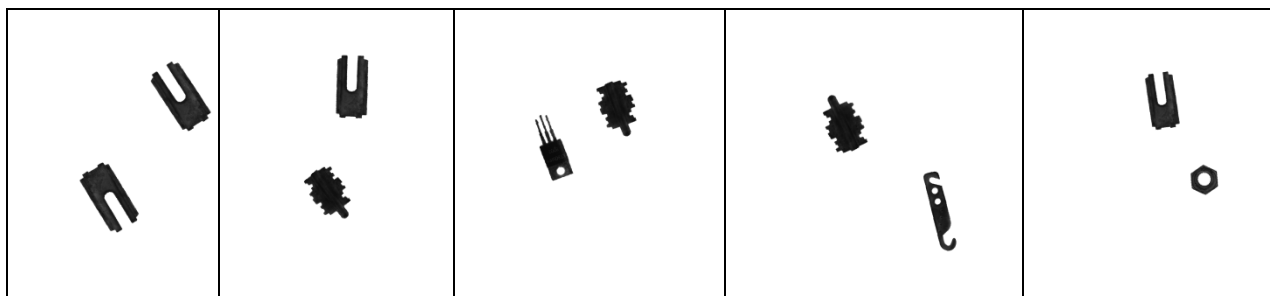


Рис. 9. Примеры изображений с двумя ОРПО на рабочем поле.

Всего 8000 изображений с учетом 2000 изображений пустого рабочего поля.

На рисунке 10 представлена блок-схема алгоритма определения типа поля зрения.

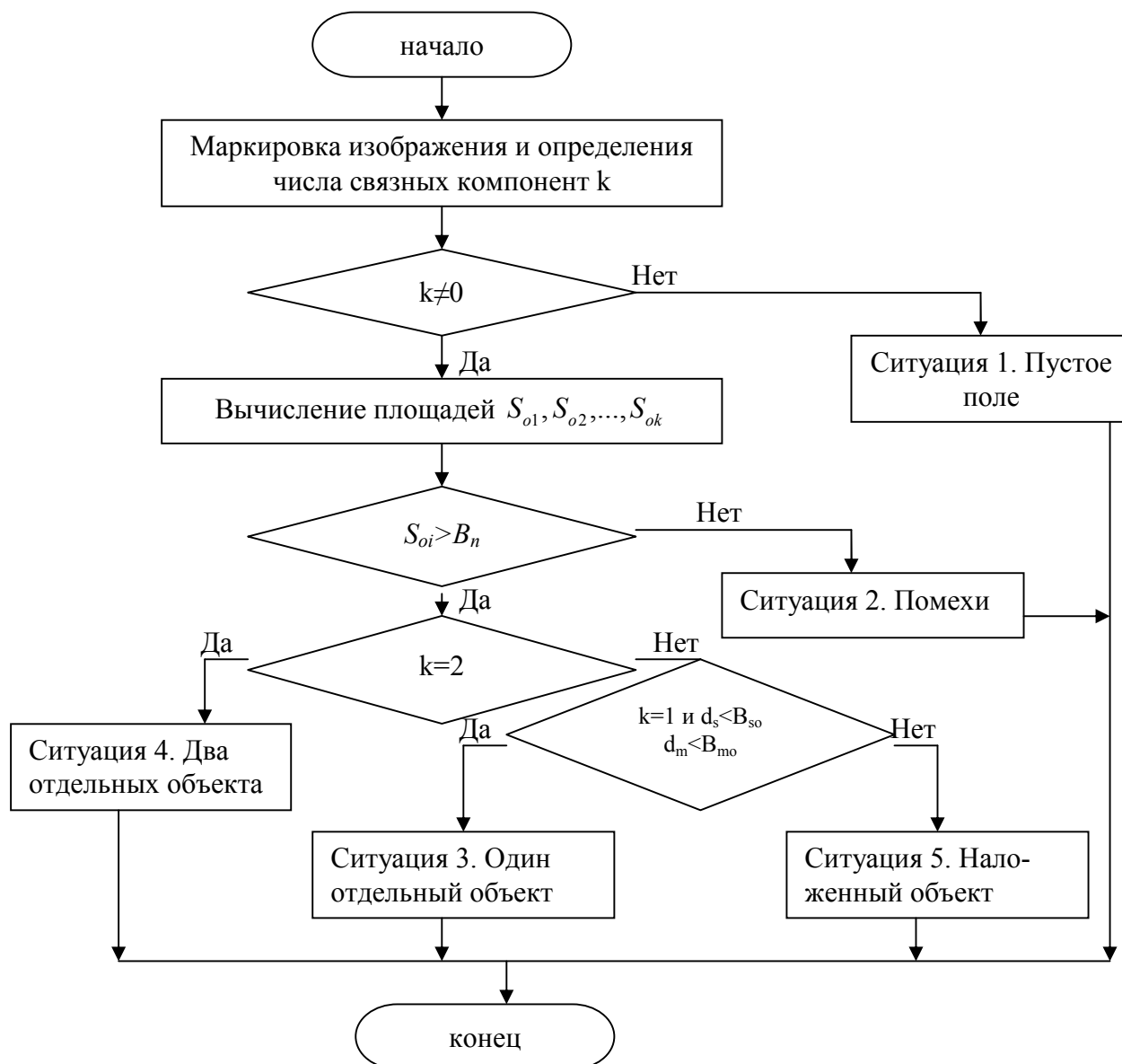


Рис.10.Блок-схема алгоритма определения типа поля зрения

Алгоритм распознавания

1. Маркировка и определение ситуации 1 (пустое поле зрения)

Под маркировкой понимается процесс формирования изображения на основе исходного бинарного, в котором каждой точке объекта присвоен номер связанной компоненты,

представляющей собой объект или помеху. Выполняется с использованием алгоритма последовательной разметки.

В результате работы описанного алгоритма получаем изображение, в котором каждому объекту присвоен отдельный номер.

Для обнаружения пустого поля проверяется условие:

$$\begin{cases} \text{если } k = 0, \text{ то пустое поле} \\ \text{иначе, поле содержит объекты или помехи} \end{cases}$$

где k – количество объектов, определенных с помощью алгоритма разметки.

2. Отсев помех и определение ситуаций

Обозначим площади эталонных объектов как $S_{э1}, S_{э2}, \dots, S_{эn}$, а обнаруженных объектов как $S_{о1}, S_{о2}, \dots, S_{ок}$. Количество обнаруженных объектов как k .

Все помехи отсеиваются по площади бинарного изображения на основе следующего условия:

$$S_{oi} < B_n, \quad (1)$$

где B_n – разность между минимальной площадью эталонного объекта и порога по площади B_{so} . Определяется по формуле:

$$B_n = \min_{i=1, N} S_{эi} - B_{so}, \quad (2)$$

где B_{so} – порог, который определяется на большой выборке ситуаций отдельных и наложенных объектов.

Пусть размер выборки равен M . Тогда для каждого i -го объекта из выборки рассчитываются отклонения по площади d_s по формуле:

$$d_s = \min_{i=1, M} |S_{oi} - S_{эj}|, \quad (3)$$

где $i = 1, \dots, M$ – количество объектов в выборке; $j = 1, \dots, N$ – количество эталонных объектов

Среди них находятся минимальное d_{smin} и максимальное d_{smax} отклонения. Порог B_{so} последовательно перебирается от значения d_{smin} до значения d_{smax} . Для каждого значения перебираемого порога относительно всех объектов проверяется условие:

$$d_s < B_{so} \quad (4)$$

В случае выполнения условия (4) можно сделать вывод, что в поле зрения расположен отдельный объект, в противном случае объекты наложены.

В общем виде данный алгоритм может быть представлен следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{ситуация 1, если } k = 0 \\ \text{ситуация 2, если } (k \neq 0) \wedge (S_{oi} < B_n) \\ \text{ситуация 3, если } (k = 1) \wedge (S_{oi} > B_n) \wedge (d_s < B_{S0}) \\ \text{ситуация 4, если } (k = 2) \wedge (S_{oi} > B_n) \wedge (d_s > B_{S0}) \\ \text{ситуация 5, иначе} \end{array} \right. \quad (5)$$

Таблица 1

Вероятности распознавания на основе площадей по минимальному отклонению

Тип поля	Кол-во ошибок распознавания	Вероятность верного распознавания
Пустое поле	0	1
ОРПО	1422	0,3
НРПО	228	0,88
Два отдельных ОРПО	0	1

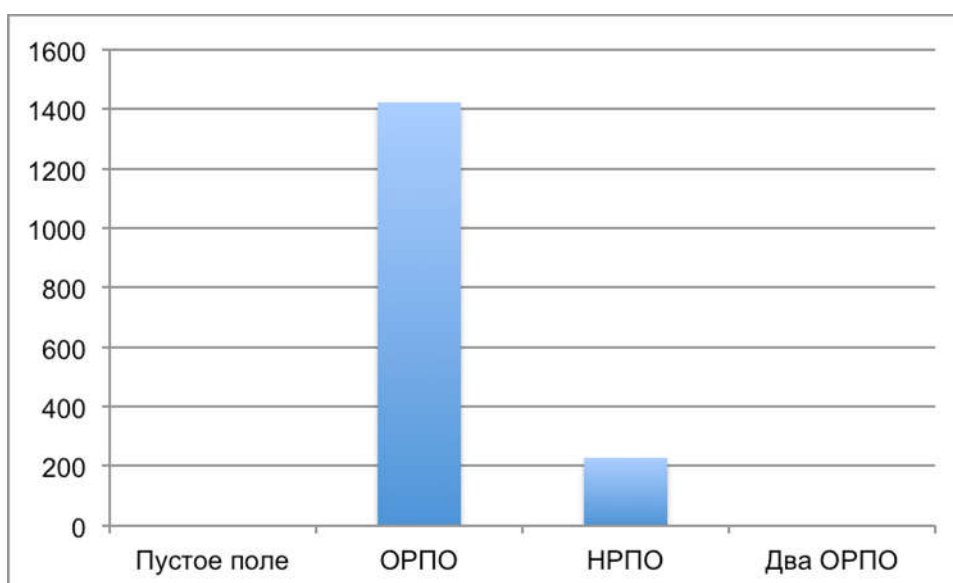


Рис. 11. Количество ошибок распознавания на основе площадей

В качестве дополнительного признака можно использовать центральный момент объекта второго порядка, который определяется по формуле:

$$\mu = \sum_{i=1}^n (x_i - x_0)^2 (y_i - y_0)^2, \quad (6)$$

где (x_i, y_i) – координаты точек объекта; (x_0, y_0) – координаты центра тяжести; $l = 1, \dots, N$ – число точек объекта.

Центральный момент объекта чувствителен к изменению формы, в отличие от площади с помощью него можно более точно определить к какой ситуации относится обнаруженный объект.

Для каждого из эталонных объектов рассчитываются их центральные моменты $\mu_{э1}, \mu_{э2}, \dots, \mu_{эn}$. Для сокращения вычислений центральный момент применяется только в том случае, когда алгоритм по площади дает ошибку.

В этом случае для обнаруженного объекта рассчитывается отклонение d_m по моменту:

$$d_m = \min_{i=1, M} |\mu_{oi} - \mu_{ij}|, \quad (7)$$

где μ_{oi} – центральный момент обнаруженного объекта; μ_{oi} – центральный момент эталонного объекта.

Решение о том, что обнаруженный объект является отдельным, принимается при выполнении условия:

$$d_{ii} < B_{mo}, \quad (8)$$

где B_{mo} – порог по моментам, вычисляется аналогично порогу по площади.

В общем виде алгоритм выглядит следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{ситуация 1, если } k = 0 \\ \text{ситуация 2, если } (k \neq 0) \wedge (S_{oi} < B_n) \\ \text{ситуация 3, если } (k = 1) \wedge (S_{oi} > B_n) \wedge (d_s < B_{S0}) \wedge (d_m < B_{mo}) \\ \text{ситуация 4, если } (k = 2) \wedge (S_{oi} > B_n) \wedge (d_s > B_{S0}) \wedge (d_m > B_{mo}) \\ \text{ситуация 5, иначе} \end{array} \right. \quad (9)$$

Таблица 2

Вероятности распознавания на основе площадей и центрального момента по минимальному отклонению

Тип поля	Кол-во ошибок распознавания	Вероятность верного распознавания
Пустое поле	0	1
ОРПО	872	0,6
НРПО	969	0,5
Два отдельных ОРПО	0	1

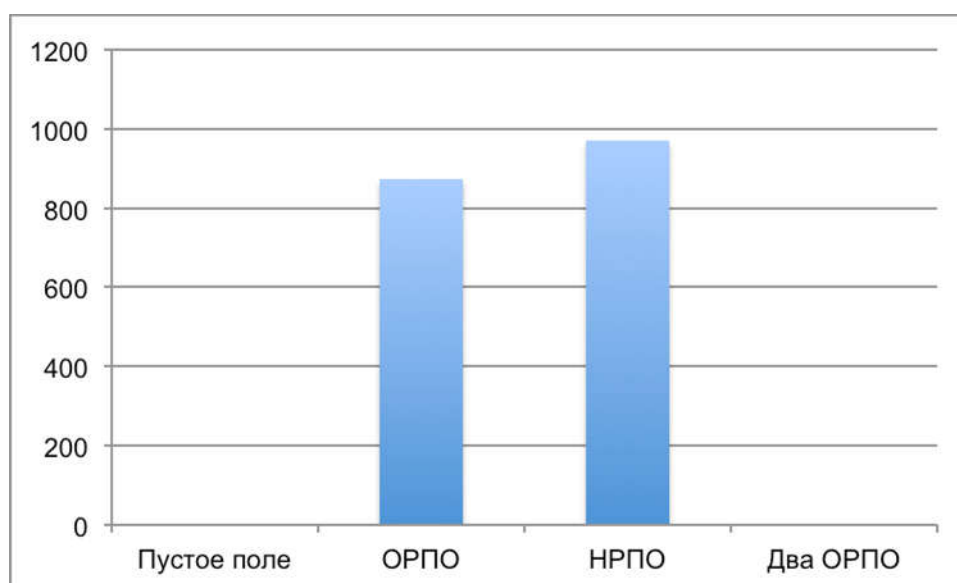


Рис. 12. Количество ошибок распознавания на основе площадей и центрального момента

Для улучшения результатов распознавания были внесены изменения в алгоритм распознавания с использованием площадей:

- ситуация 1, если $k = 0$
- ситуация 2, если $(k \neq 0) \wedge (S_{oi} < B_n)$
- ситуация 3, если $(k = 1) \wedge (S_{oi} > B_n) \wedge (d_s < B_{\max})$
- ситуация 4, если $(k = 2) \wedge (S_{oi} > B_n) \wedge (d_s > B_{\min})$
- ситуация 5, иначе

Таблица 3

Вероятности распознавания на основе площадей с подобранным порогом

Тип поля	Кол-во ошибок распознавания	Вероятность верного распознавания
Пустое поле	0	1
ОРПО	2	0,99
НРПО	1	0,99
Два отдельных ОРПО	0	1

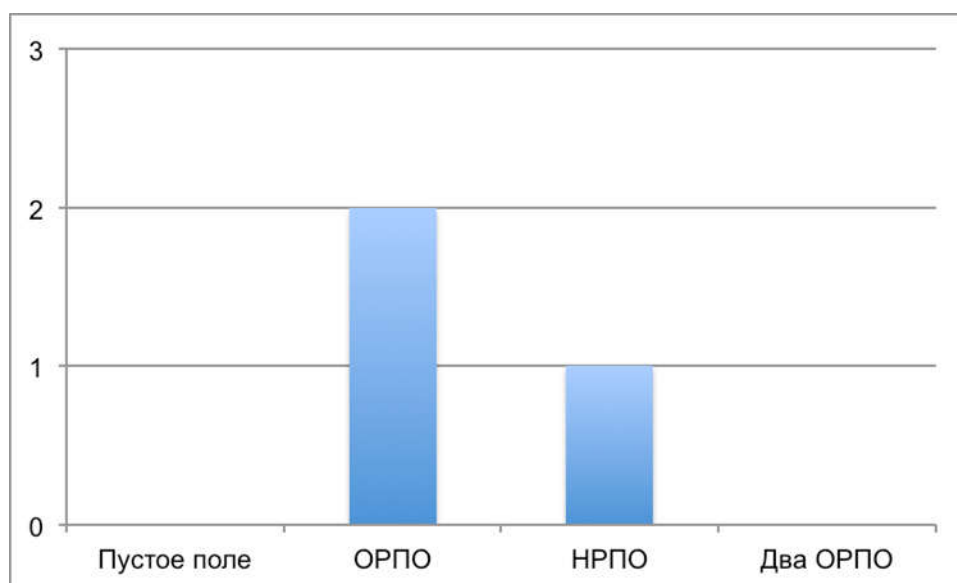


Рис. 13. Количество ошибок распознавания на основе площадей с подобранным порогом

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что наилучшее распознавание типа поля достигается при использовании алгоритма на основе площадей. Поэтому дальнейшие исследования будут проводиться с использованием только площади без учета центрального момента.

На следующем этапе проведения экспериментальных исследований использовались площади выпуклых форм. В таблице 4 представлены результаты дополнительного исследования по тому же алгоритму, но с использованием выборки выпуклых оболочек для НРПО и ОРПО:

Таблица 4

Вероятности распознавания на основе площадей выпуклых оболочек с подобранным порогом

Тип поля	Кол-во ошибок распознавания	Вероятность верного распознавания
Пустое поле	0	1
ОРПО	3	0,99
НРПО	1	0,99
Два отдельных ОРПО	0	1

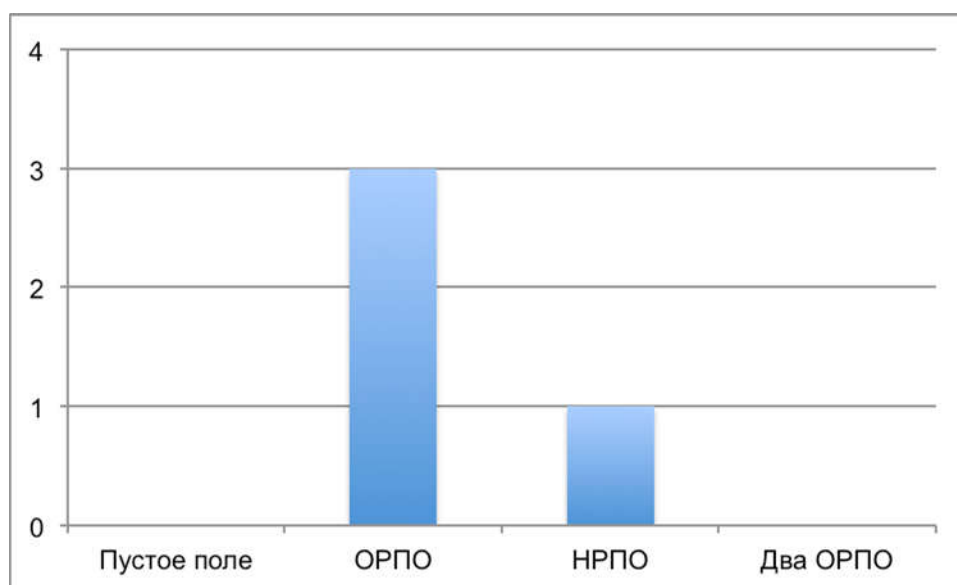


Рис. 14. Количество ошибок распознавания на основе площадей выпуклых оболочек

Далее проводилось исследование данного алгоритма с использованием комбинированного условия с использованием площадей как бинарных изображений, так и выпуклых оболочек для НРПО и ОРПО.

В общем виде алгоритм выглядит следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{ситуация 1, если } k = 0 \\ \text{ситуация 2, если } (k \neq 0) \wedge (S_{oi} < B_n) \\ \text{ситуация 3, если } (k = 1) \wedge (S_{oi} > B_n) \wedge (d_s < B_{\max}) \wedge (d_{s_{\epsilon}} < B_{\max}) \\ \text{ситуация 4, если } (k = 2) \wedge (S_{oi} > B_n) \wedge (d_s > B_{\min}) \wedge (d_{s_{\epsilon}} > B_{\min}) \\ \text{ситуация 5, иначе} \end{array} \right.$$

В таблице 5 представлены результаты распознавания с использованием комбинированного условия.

Таблица 5

Вероятности распознавания на основе комбинированного условия с использованием площадей бинарных изображений и выпуклых оболочек с подобранным порогом

Тип поля	Кол-во ошибок распознавания	Вероятность верного распознавания
Пустое поле	0	1
ОРПО	3	0,99
НРПО	0	0,99
Два отдельных ОРПО	0	1

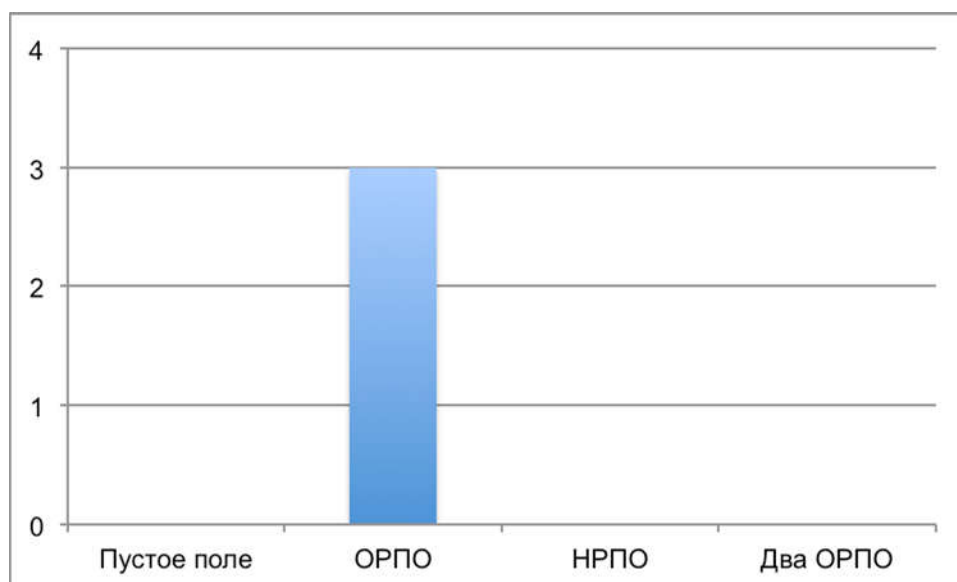


Рис. 15. Количество ошибок распознавания на основе комбинированного условия

В заключении проводилось исследование на основе комбинированного условия по определению типа поля с использованием полной выборки изображений исходных объектов.

Таблица 6

Вероятности распознавания полной выборки изображений по комбинированному условию с использованием площадей бинарных изображений и выпуклых оболочек с подобранным порогом

Тип поля	Кол-во ошибок распознавания	Вероятность верного распознавания
Пустое поле	0	1
ОРПО	35	0,99
НРПО	3	0,99
Два отдельных ОРПО	0	1

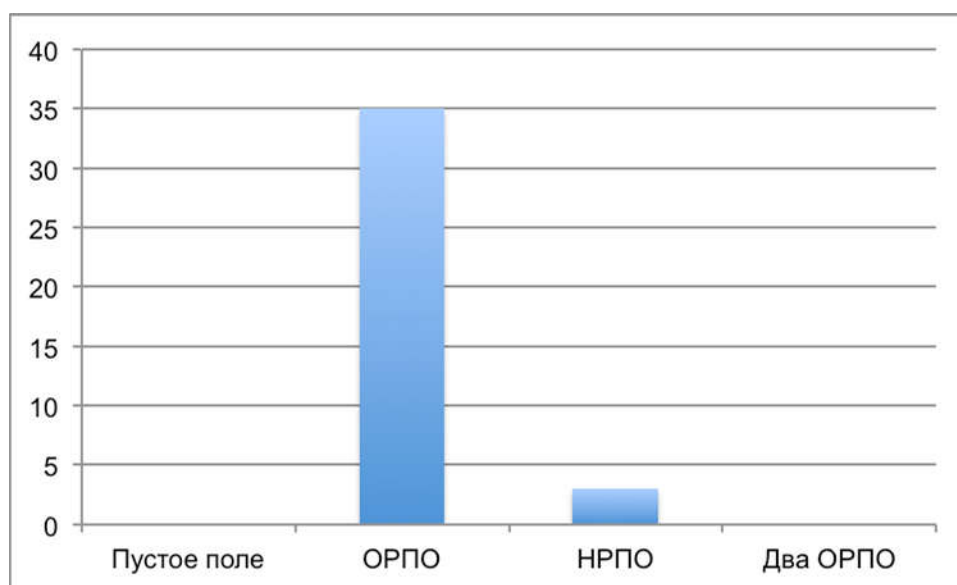


Рис. 16. Количество ошибок распознавания полной выборки на основе комбинированного условия

В полной выборке использовалось 55 классов НРПО по 2000 изображений, исключая варианты, когда объекты не наложились друг на друга. Далее проведен эксперимент при условии, что объекты, которые не наложились друга на друга на этапе генерации исключаться из выборки не будут. Следовательно, в каждом классе кол-во НРПО будет меньше 2000.

Таблица 7

Вероятности распознавания выборки по комбинированному условию с использованием площадей бинарных изображений и площадей выпуклых оболочек с подобранным порогом

Тип поля	Кол-во ошибок распознавания	Вероятность верного распознавания
Пустое поле	0	1
ОРПО	35	0,99
НРПО	1	0,99
Два отдельных ОРПО	0	1

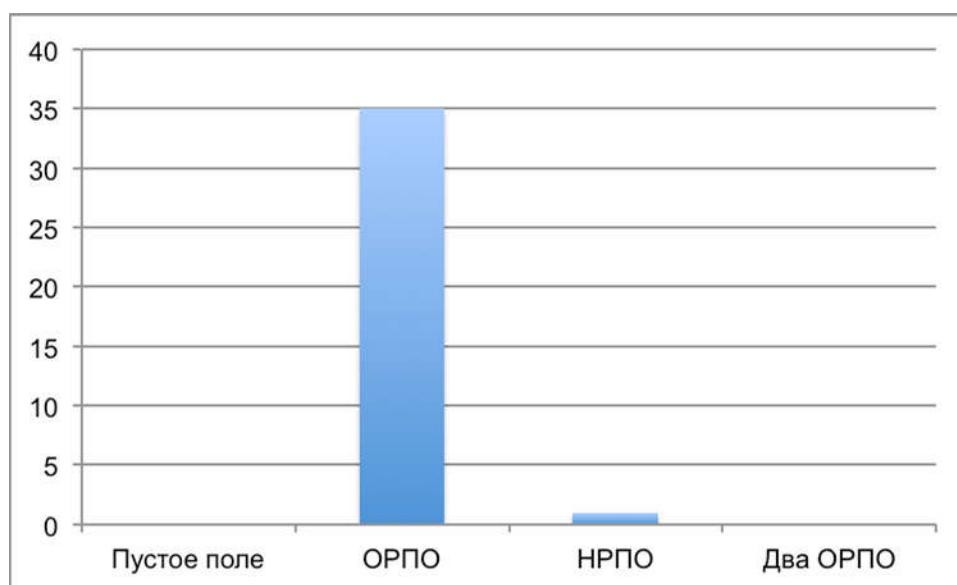


Рис. 17. Количество ошибок распознавания полной выборки сгенерированных изображений

Заключение

В ходе проделанной работы было установлено, на результаты по определению типа объекта в поле зрения распознающей системы оказывает влияние тип используемого признака. Для испытания с использованием площади и порога перебираемого в результате нахождения максимума и минимума отклонения площади, получена низкая вероятность распознавания. В случае с двумя отдельными ОРПО и пустым полем получено 100% распознавание при любом признаке.

Что бы улучшить результаты были проведены исследования с нахождением наилучшего порога для каждого типа объекта. Для ОРПО порог перебирался от максимального отклонения к минимальному, а при НРПО остался неизменным (от минимального к максимальному), что дало лучшие результаты, приближенные к 100%.

Следовательно, в данном случае единственный способ улучшить результаты распознавания – это нахождение оптимального порога для НРПО и ОРПО.

Так же были проведены дополнительные исследования с использованием центральных моментов, что дало улучшение в распознавание ОРПО, но ухудшилось распознавание НРПО. В целом распознавание при любых ситуациях равно 50%. Поэтому в дальнейших исследованиях с использованием выпуклой оболочки и комбинированного условия данный алгоритм был исключен так как результаты ухудшились, а время-затраты на выполнение этого алгоритма увеличились.

Наилучшие результаты при проведении исследования дал метод порогового отбора с использованием комбинированного условия на основе площадей бинарных изображений и выпуклых оболочек НРПО и ОРПО.

Литература

1. Садыков, С.С. Алгоритм построения выпуклой оболочки бинарного изображения и формирование его безразмерных признаков / С.С. Садыков // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2015. №2(31). С.77-85.
2. Брумштейн, Ю.М. Роботехнические системы: вопросы разработки / Брумштейн Ю.М., Ильменский М., Колесников И. // Интеллектуальная собственность. Авторское право и смежные права. – 2016. – № 4. – С.49-64
3. Генкин, В.Л., Системы распознавания автоматизированных производств / В.Л. Генкин, И.Л. Ерош, Э. С. Москалев. – Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1988. – 246 с.
4. Садыков, С. С. Распознавание отдельных тестовых плоских объектов на основе безразмерных признаков выпуклых оболочек их бинарных изображений / С. С. Садыков, Я. Ю. Кульков // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. – 2015. – № 4 (33). – С.114-131.
5. Канунова, Е.Е. Методы и алгоритмы реставрации изображений архивных текстовых документов / Е.Е. Канунова, А. А. Орлов, С.С. Садыков // Москва: Мир. 2006. 112с.