

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные в данной работе результаты исследований позволяют решить проблему миниатюризации лабораторного оборудования, используемого в лабораторном практикуме для студентов начальных курсов обучения на специализирующей кафедре физики полупроводников и наноэлектроники или в общем практикуме по физике и оптике кристаллических сред.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Астайкин, А.И. Основы оптоэлектроники / А.И. Астайкин, М.К. Смирнов. – М. : Высшая школа, 2007. – 277 с.
2. Самохвалов М.К. /Элементы и устройства оптоэлектроники - ИПК «Венец» УлГТУ, 2005. – 220 с.
3. Соммер У. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freeduino / У. Соммер. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012. – 256 с.

## ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ В ДИСЦИПЛИНЕ «ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА»

Ю. В. Сидоренко<sup>1</sup>, В. И. Яшкин<sup>2</sup>

<sup>1)</sup> *Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030 Минск, Беларусь  
e-mail: Sidorenko@bsu.by*

<sup>2)</sup> *Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030 Минск, Беларусь  
e-mail: yashkin@bsu.by*

В докладе рассматриваются вопросы содержания материала раздела «Распознавание образов» лекционного курса и лабораторного практикума дисциплины «Инженерная графика» для специальности «Физика наноматериалов и нанотехнологий».

**Ключевые слова:** инженерная графика; Фурье-дескриптор; формирование признаков; инвариантность к преобразованиям изображения.

## THE ELEMENTS OF IDENTIFICATION THEORY IN THE DISCIPLINE «ENGINEERING DRAWING»

Y. V. Sidorenko, V. I. Yashkin

*Belarusian State University, Nizavisimosti av. 4, 220030 Minsk, Belarus  
Corresponding author: V. I. Yashkin (yashkin@bsu.by)*

The report deals with the content of lecture course material and laboratory practical work in the course «Engineering Drawing» for the specialty «Physics of nanomaterials and nanotechnologies».

**Key words:** engineering drawing; Fourier descriptor; formation of features; invariance to image transformations.

## ВВЕДЕНИЕ

В работе рассматриваются вопросы содержания материала раздела «Распознавание образов» лекционного курса и лабораторного практикума «Инженерная графика».

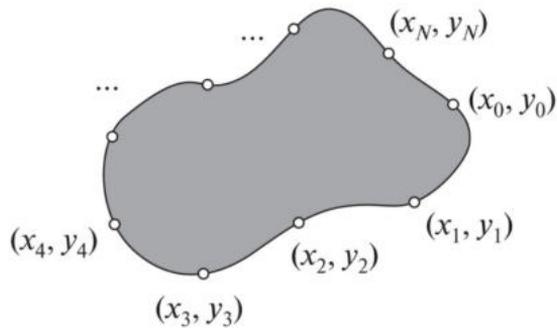
ка» [1], разработанных для специальности 1-31 04 07 Физика наноматериалов и нанотехнологий. Содержание учебного материала строится по модульному принципу, позволяющему учитывать динамику достижений в области электроники, программного обеспечения и учитывать современные потребности в инженерном образовании студентов-физиков.

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ И ОБСУЖДЕНИЕ

Существует несколько основных подходов к формированию признаков: статистический, геометрический, структурный (морфологический), лингвистический, нейросистемный. Главное требование к признаку – инвариантность к любым преобразованиям изображения.

Теоретические исследования в области цифровой обработки изображений первоначально были связаны в основном с задачами дистанционного зондирования земной поверхности. С течением времени круг задач существенно расширился.

Несмотря на существующие ограничения, связанные с первичным представлением контуров в виде двумерного массива на равномерной сетке отсчётов, инвариантность признаков, основанных на Фурье-дескрипторах, делает их весьма предпочтительными. Поэтому рассмотрим особенности представления контуров



Границы объекта

объектов на основе Фурье-дескрипторов. Под образом подразумевается некоторая упорядоченная совокупность дескрипторов или признаков. Классом образов (или просто классом) называется совокупность образов, обладающих некоторыми общими свойствами. Под машинным распознаванием образов понимаются методы, позволяющие относить образы к тем или иным классам – автоматически или с минимальным вмешательством человека.

Значения Фурье-дескрипторов вычисляются с помощью преобразования Фурье изображения контуров объектов. Они представляют собой форму описания объекта в частотной области [2].

Пусть цифровые границы объекта заданы на плоскости  $Oxy$  (рисунок). Начиная с ее произвольной точки  $(x_0, y_0)$ , будем обходить границу, в положительном направлении и обозначим координаты точек границы  $(x_0, y_0), (x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_N, y_N)$ . Запишем координаты в виде  $x(k) = x_k$  и  $y(k) = y_k$ . Тогда, границу объекта можно представить в виде последовательности координатных пар  $[x(k), y(k)]$ , где  $k = 0, 1, 2, \dots, N$ .

Каждую пару координат будем рассматривать как комплексное число:

$$f(k) = x(k) + iy(k), \quad (1)$$

Выражение дискретного преобразования Фурье для конечной последовательности задается равенством:

$$\tilde{F}(u) = \frac{1}{N+1} \sum_{k=0}^N f(k) \exp\left(-i \frac{2\pi uk}{N+1}\right), \quad (2)$$

для  $u = 0, 1, 2, \dots, N$ . Комплексные коэффициенты  $\tilde{F}(u)$  называются Фурье-дескрипторами границы.

Обратное преобразование Фурье, примененное к этим коэффициентам, позволяет восстановить границу  $f(k)$ :

$$f(k) = \frac{1}{N+1} \sum_{u=0}^N \tilde{F}(u) \exp\left(-i \frac{2\pi uk}{N+1}\right), \quad k = 0, 1, 2, \dots, N. \quad (3)$$

Фурье-дескрипторы однозначно описывают границы объекта. Дескрипторы нижних частот описывают общие сведения о форме контуров, а дескрипторы высоких частот – мелкие детали. Дескрипторы должны быть как можно менее чувствительными к параллельному переносу, повороту и изменению масштаба объектов. В тех случаях, когда результат зависит от порядка обработки точек границы, ставится дополнительное требование, чтобы дескрипторы не зависели от выбора начальной точки. На основе Фурье-дескрипторов, используя простые преобразования, можно получить инвариантные признаки. Главное требование к признаку – это инвариантность к любым преобразованиям изображения: плоскопараллельному смещению, повороту вокруг оси объектива, масштабированию, перспективным преобразованиям, деформированию, изменению яркости/цвета/контраста. Кроме инвариантности к описанным преобразованиям, признак должен быть индивидуальным, четко определенным, постоянным во времени. Обеспечение этих требований является такой же сложной задачей, как и распознавание образов.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С большей точностью описать объект и в дальнейшем классифицировать его не только по сопоставлению внешнего контура, но и по сравнению внутреннего контента, можно с помощью иерархической структуры. Построение иерархии контуров позволяет нам проводить различную пост обработку полученного дерева, одним из возможных вариантов обработки является свертывание в группы различных похожих объектов на одном уровне иерархии. Данный фильтр позволяет сократить алгоритмическую сложность при сравнении и поиске схожих иерархических структур при сравнении объектов.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Яшкин, В. И. Инженерная графика : пособие / В. И. Яшкин, Ю. В. Сидоренко. – Минск : БГУ, 2022. – 191 с.
2. Методы анализа данных на основе Фурье-дескрипторов с применением автоматической векторизации / Н. С. Коваленко [и др.] // Веб-программирование и интернет-технологии WebConf2021 : матер. V Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 18–21 мая 2021 г. / БГУ, Механико-математический фак. – Минск : БГУ, 2021. – С. 103–106