



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Белорусский национальный
технический университет**

Кафедра «Системы автоматизированного проектирования»

РАСПОЗНАВАНИЕ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭТАЛОНОВ

*Методические указания
к лабораторной работе*

**Минск
БНТУ
2013**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Системы автоматизированного проектирования»

РАСПОЗНАВАНИЕ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭТАЛОНОВ

Методические указания
к лабораторной работе для студентов специальности
1-40 01 02 «Информационные системы и технологии»

Минск
БНТУ
2013

УДК 004.932.2(076.5)(0175.8)

ББК 32.97я7

Р24

Составители:

И. Л. Ковалева, Т. А. Мархель, Л. В. Федосова

Рецензенты:

Н. Н. Гурский, Т. А. Долгова

Методические указания рассматривают один из разделов теории обработки и распознавания изображений – построение систем распознавания с «учителем». В теоретической части вводятся основные понятия и особенности построения систем. Основное внимание уделено распознаванию объектов с использованием эталонов.

Изучение теоретического материала, изложенного в указаниях, и выполнение лабораторной работы дает студентам возможность понять правила построения систем распознавания объектов с «учителем» с использованием эталонов и позволяет проанализировать особенности методов в ходе самостоятельного выполнения ими обработки предложенных изображений.

© Белорусский национальный
технический университет, 2013

Цель работы: разработать систему распознавания с «учителем», использующую для построения решающего правила информацию об эталонах обучающей выборки.

1. Основные понятия и определения

В зависимости от количества первоначальной априорной информации о распознаваемых объектах или явлениях системы распознавания могут быть разделены на системы без обучения, обучаемые (или системы «с учителем») и самообучающиеся.

В *обучаемых системах* количество первоначальной априорной информации достаточно для того, чтобы в соответствии с избранным классификационным признаком разделить все множество объектов на классы и определить словарь признаков. Однако количества первоначальной априорной информации недостаточно для описания классов на языке признаков. Исходная информация, необходимая для построения обучаемых систем распознавания, позволяет различать принадлежность конкретных объектов соответствующим классам и организовывать процедуру обучения. Ее цель: определить разделяющие функции путем многократного предъявления системе распознавания различных объектов с указанием классов, к которым они принадлежат. Все эти объекты образуют так называемую обучающую выборку. *Обучающая выборка* – это множество объектов, заданных значениями признаков, принадлежность которых к тому или иному классу достоверно известна и сообщается «учителем» обучаемой системе. По обучающей выборке система строит решающие правила.

Качество решающих правил оценивается по контрольной (экзаменационной) выборке, в которую входят объекты, заданные значениями признаков, принадлежность которых к тому или иному классу известна только «учителю». Предъявляя обучаемой системе для контрольного распознавания объекты экзаменационной выборки, «учитель» в состоянии дать оценку вероятностей ошибок распознавания, то есть оценить качество обучения. К обучающей и контрольной выборке предъявляются определенные требования. Например, важно, чтобы объекты экзаменационной выборки не входили в обучающую выборку (иногда это требование нарушается, если общий объем выборок мал и увеличить его либо невозможно,

либо чрезвычайно сложно). Обучающая и экзаменационная выборка должны достаточно полно представлять генеральную совокупность (гипотетическое множество всех возможных объектов каждого образа). Например, при обучении системы медицинской диагностики в обучающей и контрольной выборке должны быть представлены пациенты различных половозрастных групп, с различными анатомическими и физиологическими особенностями, сопутствующими заболеваниями и т. д. При социологических исследованиях это называют *репрезентативностью выборки*.

Построение решающих правил – это наиболее богатая в отношении разработанных подходов и методов решения компонента задач распознавания. Основная цель, которая при этом преследуется, – минимизация риска потерь. Это является критерием, по которому формируется наиболее информативное признаковое пространство и наиболее эффективные решающие правила. Алфавит, признаки и решающие правила должны быть такими, чтобы, по возможности, минимизировать риск потерь. Этот критерий (характеристика распознающей системы) является составным. Он включает в себя потери (штрафы) за ошибки распознавания и затраты на измерения признаков распознаваемых объектов.

Одним из подходов, применяемых при построении решающих правил, является использование для этих целей не всей совокупности объектов обучающей выборки, а сформированных на ее основе эталонов классов. По существу, *эталон* – это усредненный по обучающей выборке абстрактный объект. Абстрактным его называют потому, что он может не совпадать не только ни с одним объектом обучающей выборки, но и ни с одним объектом генеральной совокупности. В системах распознавания, использующих решающие правила на основании эталонов, в памяти машины после этапа обучения хранится лишь информация об эталонах, а при распознавании не требуется перебор всех объектов обучающей выборки. Примерами таких систем распознавания могут служить системы, реализующие метод построения эталонов (с решающим правилом «минимум расстояния до эталона класса») и метод дробящихся эталонов (с решающим правилом типа «метод дробящихся эталонов»).

2. Метод построения эталонов

На этапе обучения машине последовательно предъявляются все объекты обучающей выборки с указанием того, к какому классу они относятся. Затем для каждого класса по обучающей выборке строится эталон, имеющий значения признаков

$$x^0 = \{x_1^0, x_2^0, \dots, x_N^0\},$$

где $x_i^0 = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K x_{ik}$;

K – количество объектов данного образа в обучающей выборке;
 i – номер признака.

Распознавание осуществляется следующим образом. На вход системы поступает объект x^* , принадлежность которого к тому или иному классу системы неизвестна. От этого объекта измеряются расстояния до эталонов всех образов, и x^* система относит к тому классу, расстояние до эталона которого минимально (рис. 1).

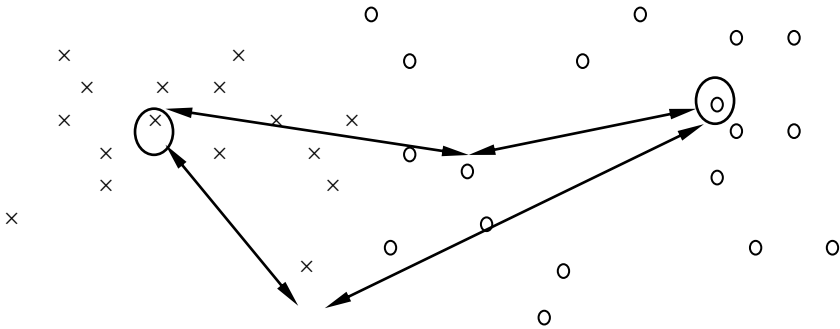


Рис. 1. Решающее правило «минимум расстояния до эталона класса»:

\odot – эталон первого класса; \circ – эталон второго класса

Расстояние измеряется в той метрике, которая введена для решения определенной задачи распознавания.

3. Метод дробящихся эталонов

На первом этапе в обучающей выборке «охватывают» все объекты каждого класса гиперсферой по возможности меньшего радиуса. Сделать это можно следующим образом. Строится эталон каждого класса. Вычисляется расстояние от эталона до всех объектов данного класса, входящих в обучающую выборку. Выбирается максимальное из этих расстояний r_{\max} . Строится гиперсфера с центром в эталоне и радиусом $R = r_{\max} + \varepsilon$. Она охватывает все объекты данного класса. Такая процедура проводится для всех классов. На рис. 2 представлен пример двух классов в двумерном признаковом пространстве.

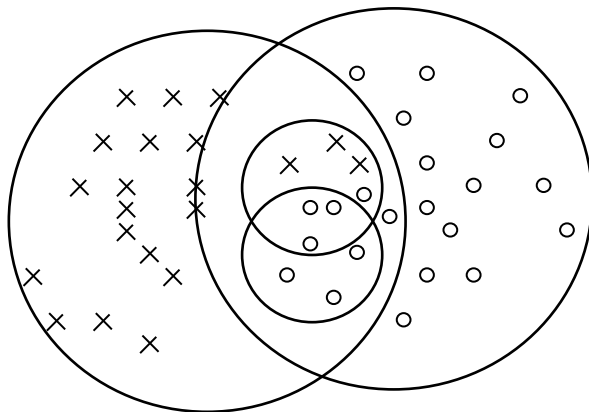


Рис. 2. Решающее правило типа «метод дробящихся эталонов»:

⊗ – эталон первого класса; ⊙ – эталон второго класса

Если гиперсферы различных классов пересекаются и в области перекрытия оказываются объекты более чем одного класса, то для них строятся гиперсферы второго уровня, затем третьего и т. д. до тех пор, пока области не окажутся непересекающимися либо в области пересечения будут присутствовать объекты только одного класса.

Распознавание осуществляется следующим образом. Определяется местонахождение объекта относительно гиперсфер первого уровня. При попадании объекта в гиперсферу, соответствующую

одному и только одному классу, процедура распознавания прекращается. Если же объект оказался в области перекрытия гиперсфер, которая при обучении содержала объекты более чем одного класса, то переходим к гиперсферам второго уровня и проводим действия такие же, как и для гиперсфер первого уровня. Этот процесс продолжается до тех пор, пока принадлежность неизвестного объекта к тому или иному классу не определится однозначно. Правда, это событие может и не наступить. Неизвестный объект может не попасть ни в одну из гиперсфер какого-либо уровня. В этих случаях «учитель» должен в решающие правила включить соответствующие действия. Например, система может либо отказаться от решения об однозначном отнесении объекта к какому-либо классу, либо использовать критерий минимума расстояния до эталонов данного или предшествующего уровня и т. п. Какой из этих приемов эффективнее, сказать трудно, так как метод дробящихся эталонов носит в основном эмпирический характер.

4. Основные этапы и требования к выполняемой работе

В ходе выполнения лабораторной работы необходимо разработать систему распознавания, реализующую метод дробящихся эталонов (назовем решающее правило в этом методе решающим правилом типа «метод дробящихся эталонов»). Разрабатываемая подсистема является подсистемой распознавания «с учителем», поэтому она должна состоять из двух частей: обучения и распознавания.

А. Обучение

Пользователю должна быть предоставлена возможность классификации «учебного материала», в ходе которой он последовательно вводит в машину изображения обучающей выборки и информацию о том, к какому классу эти изображения относятся. Для этого должно быть разработано интуитивно понятное окно приложения. Пример приведен на рис. 3.

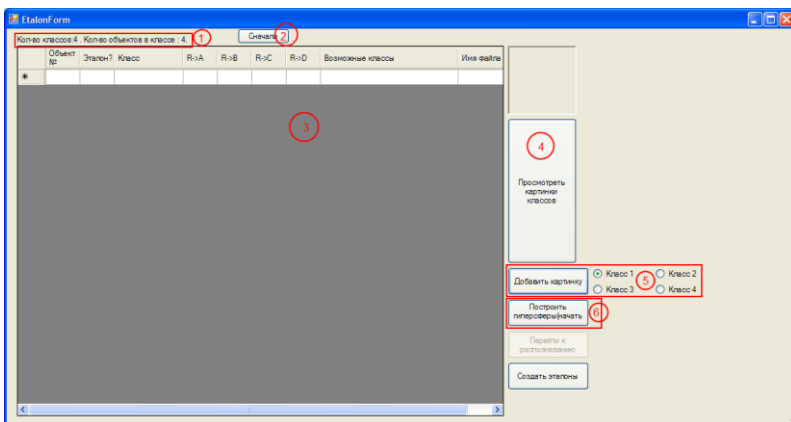


Рис. 3. Окно метода дробящихся эталонов

Рассмотрим основные элементы окна (см. рис. 3):

- 1 – начальные условия;
- 2 – кнопка очистки таблицы (не удаляет загруженные изображения);
- 3 – таблица данных (показана ниже);
- 4 – кнопка вызова на экран окна просмотра загруженных изображений;
- 5 – элементы управления для добавления нового объекта в обучающую выборку;
- 6 – кнопка запуска обучения.

Пусть количество классов для распознавания равно четырем и в обучающей выборке в каждом классе предусмотрено по четыре объекта. В качестве объектов для распознавания используются зрительные образы – изображения цифр. При этом изображения могут быть цветными и полутоновыми (рис. 4).



Рис. 4. Изображения обучающей выборки

Если изображения цветные, то необходимо предусмотреть перевод этих изображений в полутоновые. Ввод изображений осуществляется с помощью элемента 5 и сопровождается параллельным заполнением таблицы данных (рис. 5).

	Объект №	Эталон?	Класс	R->A	R->B	R->C	R->D	Возможные классы	Имя файла
▶	1	False	Класс 1	0	0	0	0		И\1.1.jpg
	2	False	Класс 1	0	0	0	0		И\1.2.jpg
	3	False	Класс 1	0	0	0	0		И\1.3.jpg
	4	False	Класс 1	0	0	0	0		И\1.4.jpg
	5	False	Класс 2	0	0	0	0		И\2.1.jpg
	6	False	Класс 2	0	0	0	0		И\2.2.jpg
	7	False	Класс 2	0	0	0	0		И\2.3.jpg
	8	False	Класс 2	0	0	0	0		И\2.4.jpg
	9	False	Класс 3	0	0	0	0		И\3.1.jpg
	10	False	Класс 3	0	0	0	0		И\3.2.jpg
	11	False	Класс 3	0	0	0	0		И\3.3.jpg
	12	False	Класс 3	0	0	0	0		И\3.4.jpg
	13	False	Класс 4	0	0	0	0		И\4.1.jpg
	14	False	Класс 4	0	0	0	0		И\4.2.jpg
	15	False	Класс 4	0	0	0	0		И\4.3.jpg
	16	False	Класс 4	0	0	0	0		И\4.4.jpg
*									

Рис. 5. Вид таблицы данных после ввода изображений обучающей выборки (обучение еще не начато)

Смысл столбцов таблицы:

Объект № – номер объекта в порядке добавления;

Эталон? – флаг, указывающий на то, является ли данный объект эталоном какого-либо класса;

Класс – класс, к которому принадлежит данный объект;

R -> A, R -> B, R -> C, R -> D – расстояние от данного объекта до эталона каждого из классов;

Возможные классы – принадлежность данного объекта к классу (-ам) на основании попадания в гиперсферу (-ы);

Имя файла – имя файла загруженного изображения.

При выборе в таблице одного из объектов справа в окне «метод дробящихся эталонов» появляются его изображение и матрица.

Для запуска обучения надо нажать кнопку «Построить гиперсферы». В этом случае будут построены гиперсферы первого уровня. Таблица данных изменится и будет выглядеть как на рис. 6.

Объект №	Эталон?	Класс	R->A	R->B	R->C	R->D	Возможные классы	Имя файла
0	False	R max	702	596	595	510		
1	False	Класс 1	336	821	776	921	Класс 1;	I\1.1.jpg
2	False	Класс 1	343	887	838	1006	Класс 1;	I\1.2.jpg
3	False	Класс 1	487	689	707	906	Класс 1;	I\1.3.jpg
4	False	Класс 1	702	1259	1174	1222	Класс 1;	I\1.4.jpg
17	True	Класс 1	0	-	-	-		
5	False	Класс 2	917	477	587	764	Класс 2;Класс 3;	I\2.1.jpg
6	False	Класс 2	901	314	653	831	Класс 2;	I\2.2.jpg
7	False	Класс 2	940	380	678	785	Класс 2;	I\2.3.jpg
8	False	Класс 2	919	596	805	979	Класс 2;	I\2.4.jpg
18	True	Класс 2	-	0	-	-		
9	False	Класс 3	864	859	595	976	Класс 3;	I\3.1.jpg
10	False	Класс 3	1006	722	568	839	Класс 3;	I\3.2.jpg
11	False	Класс 3	887	618	445	604	Класс 3;	I\3.3.jpg
12	False	Класс 3	848	675	418	788	Класс 3;	I\3.4.jpg
19	True	Класс 3	-	-	0	-		
13	False	Класс 4	1145	992	880	510	Класс 4;	I\4.1.jpg
14	False	Класс 4	958	771	747	346	Класс 4;	I\4.2.jpg
15	False	Класс 4	948	816	791	470	Класс 4;	I\4.3.jpg
16	False	Класс 4	902	712	610	367	Класс 4;	I\4.4.jpg
20	True	Класс 4	-	-	-	0		
*								

Рис. 6. Таблица данных после построения гиперсфер первого уровня

Как видно из рис. 6, в таблице данных появились четыре эталона (по одному для каждого класса – объекты № 17, 18, 19 и 20).

Так, объект № 17 является эталоном (значение «True» в столбце «Эталон?») класса 1 (значение «Класс 1» в столбце «Класс»). Расстояние от него до эталона первого класса равно нулю (значение «0» в столбце «R ->A»), что естественно, а расстояния до эталонов других классов не подсчитывались – они нас не интересуют. Аналогично заполняются строки для трех других эталонов.

В таблице данных появилась еще одна новая строка – строка № 0, где в столбце «Класс» записано значение «R_{max}». Эта строка содержит радиусы гиперсфер. Видно, что значение «702» в столбце «R ->A» является максимальным из расстояний от эталона класса 1 до объектов класса 1. Так же дело обстоит и с тремя оставшимися радиусами.

Заполнились так же поля столбца «Возможные классы». Если для данного объекта значение в столбце « $R \rightarrow A$ » меньше, чем значение радиуса гиперсферы соответствующего класса (на пересечении строки « R_{max} » и столбца « $R \rightarrow A$ »), то объект попадает в этот класс.

Только один объект (№ 5) попал на пересечение гиперсфер второго и третьего классов и поэтому был отнесен к ним обоим. Из-за него потребуются построение гиперсфер второго уровня.

Снова нажмем кнопку «Построить гиперсферы» для построения гиперсфер второго уровня (рис. 7).

Объект №	Эталон?	Класс	R->A	R->B	R->C	R->D	Возможные классы	Имя файла
0	False	R max	0	0	0	0		
5	False	Класс 2	0	0	0	0	Класс 2:	И\2.1.jpg
25	True	Класс 2	-	0	-	-		
*								

Рис. 7. Таблица данных после построения гиперсфер второго уровня

Согласно алгоритму, все объекты, однозначно отнесенные к какому-либо классу на первом шаге, были исключены из рассмотрения. Остался только один объект (№ 5). Для него была построена гиперсфера, причем так как объект один, то он и стал центром гиперсферы, а ее радиус оказался равен нулю.

На этом обучение закончилось. Перейдем к распознаванию.

Б. Распознавание

Для распознавания нового изображения необходимо обеспечить возможность его загрузки и определения его положения относительно гиперсфер, созданных на этапе обучения.

Для этого нажмем кнопку «Построить гиперсферы» еще раз, а затем – кнопку «Перейти к распознаванию». Откроется окно распознавания, показанное на рис. 8.

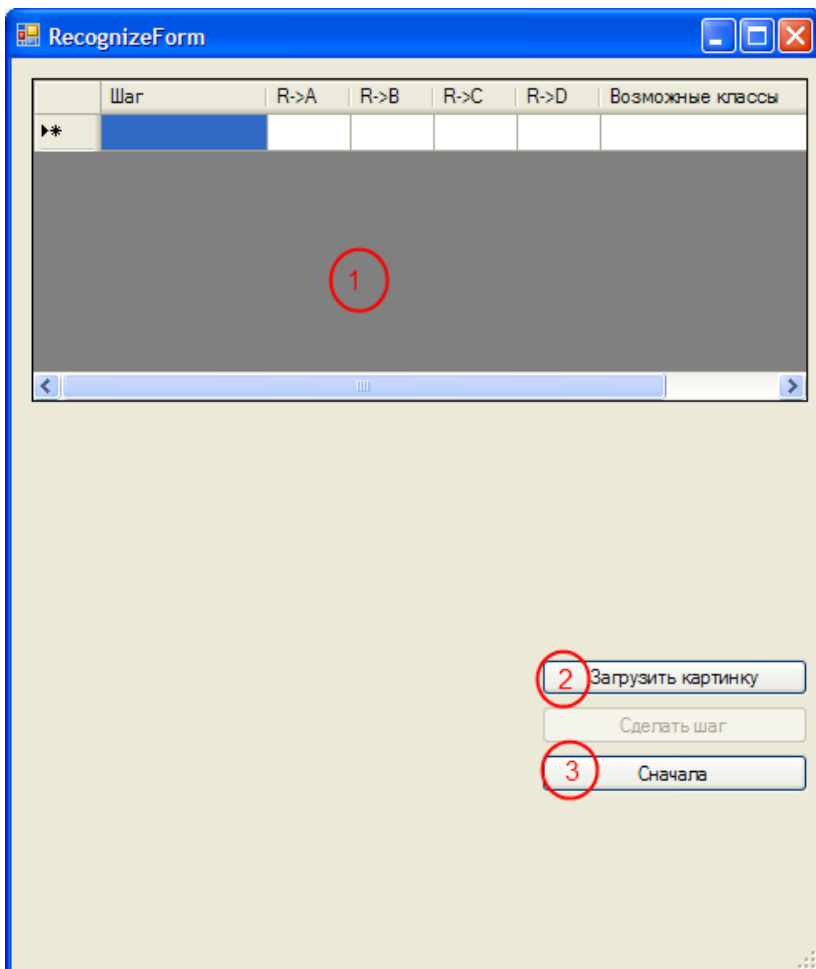


Рис. 8. Окно распознавания

На рис. 8 цифрами обозначены:

- 1 – таблица, в которую будут заноситься шаги распознавания;
- 2 – кнопка для загрузки изображения;
- 3 – кнопка для сброса распознавания.

Нажмем кнопку «Загрузить картинку» и выберем изображение для распознавания. Окно примет вид, показанный на рис. 9.

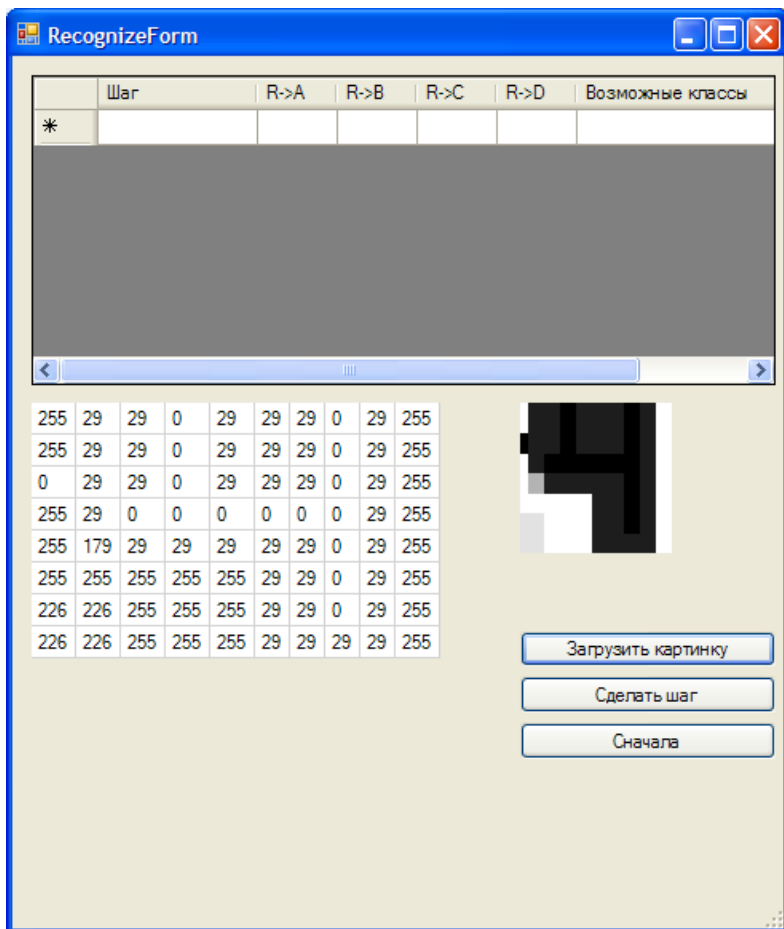


Рис. 9. Загрузка изображения для распознавания

Загружается полутоновое изображение цифры «4». Матрица интенсивностей изображения приведена слева внизу.

Нажмем кнопку «Сделать шаг». Будут проверены гиперсферы первого уровня. Поскольку принадлежность введенного изображения к четвертому классу распознается на первом же шаге, увидим диалоговое окно, сообщающее о завершении распознавания, а в таблицу будут занесены соответствующие данные (рис. 10).

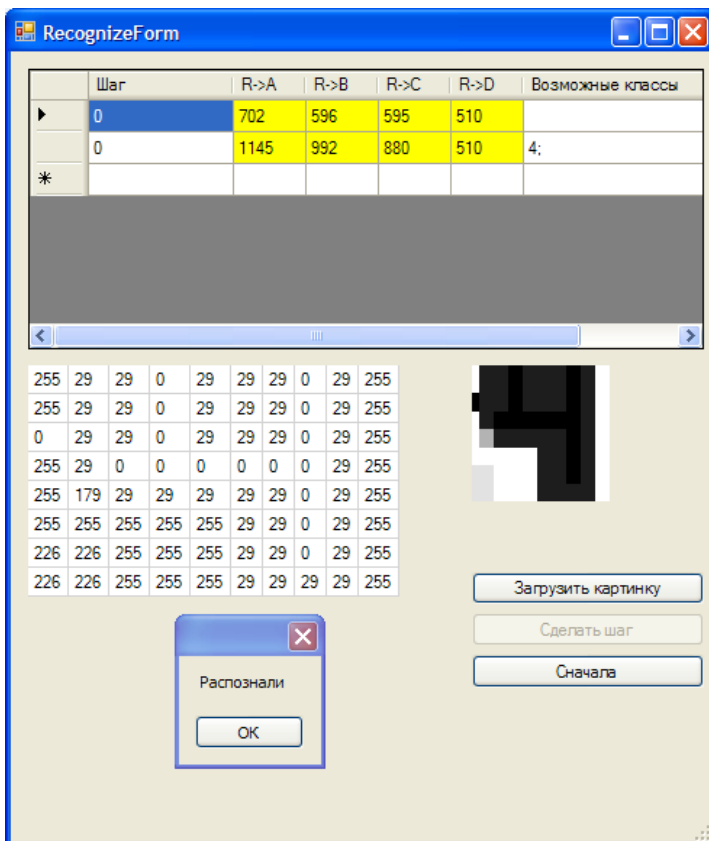


Рис. 10. Распознавание завершилось на первом же шаге

Из рисунка видно, что были вычислены расстояния от изображения до центров гиперсфер всех четырех классов. Только расстояние до центра гиперсферы четвертого класса оказалось меньше, чем ее радиус, поэтому программа однозначно отнесла этот объект к четвертому классу.

Что будет, если понадобится вовлечь в распознавание гиперсферы (точнее, гиперсферу, потому что она у нас одна) второго уровня? Для этого загрузим новое изображение для распознавания – цифру «2». На рис. 11 показан результат распознавания нового изображения.

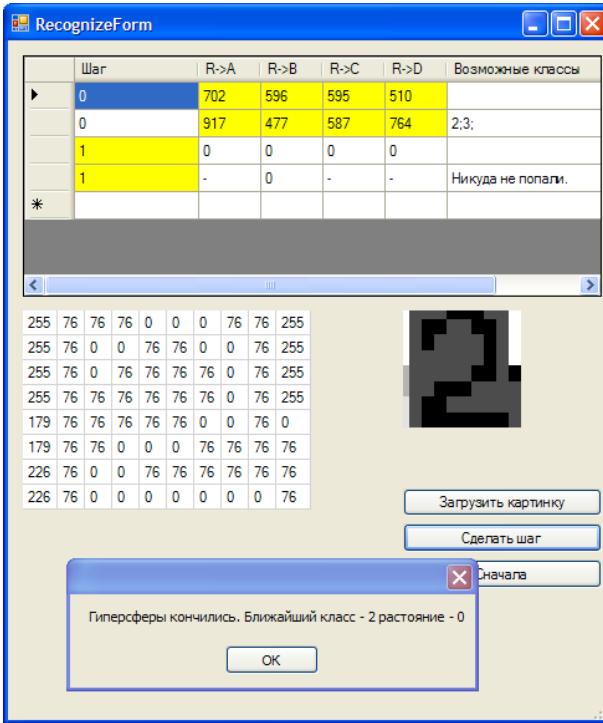


Рис. 11. Использование гиперсфер второго уровня

Как видно из рисунка, на первом шаге (на этапе построения гиперсфер первого уровня) изображение оказалось на пересечении гиперсфер первого уровня для второго и третьего классов. Поэтому был сделан второй шаг – строились гиперсферы второго уровня. На нем оказалось, что изображение не попало в единственную гиперсферу второго уровня, поэтому вывод о принадлежности распознаваемого изображения надо было сделать на основании дополнительного решающего правила. В качестве такого правила использовано решающее правило «минимум расстояния до эталона класса». Было выполнено сравнение расстояний от распознаваемого изображения до центров (эталон) всех гиперсфер второго уровня. Ближе всего распознаваемое изображение оказалось к центру (эталону) гиперсферы второго класса, поэтому оно было отнесено ко второму классу.

Литература

1. Аркадьев, А. Г. Обучение машины классификации объектов / А. Г. Аркадьев, Э. С. Браверман. – М. : Наука, 1981. – 464 с.
2. Горелик, А. Л. Методы распознавания : учебное пособие для вузов / А. Л. Горелик, В. А. Скрипкин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1989. – 234 с.
3. Гренандер, У. Лекции по теории образов: в 3 т. / У. Гренандер; под ред. Ю. И. Журавлева. – М. : Мир, 1979–1983.
4. Дуда, Р. Распознавание образов и анализ сцен / Р. Дуда, П. Харг. – М. : Мир, 1976. – 213 с.

Учебное издание

**РАСПОЗНАВАНИЕ ОБЪЕКТОВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭТАЛОНОВ**

Методические указания к лабораторной работе
для студентов специальности
1-40 01 02 «Информационные системы и технологии»

Составители :

КОВАЛЕВА Ирина Львовна
МАРХЕЛЬ Тимофей Александрович
ФЕДОСОВА Людмила Владимировна

Редактор *Т. В. Грищенкова*
Компьютерная верстка *А. Г. Занкевич*

Подписано в печать 22.02.2013. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 0,99. Уч.-изд. л. 0,77. Тираж 100. Заказ 1201.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет. ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.