

На правах рукописи

**Ньейн Эй**

**Разработка и исследование ПО для распознавания и анализа  
объектов на изображении с помощью нейронной сети**

05.13.11 — математическое и программное обеспечение  
вычислительных машин, комплексов и  
компьютерных сетей

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Автор:

Москва – 2007

Работа выполнена в Московском инженерно-физическом институте (государственном университете).

Научный руководитель:

кандидат технических наук, доцент  
Чепин Евгений Валентинович

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор  
Чалый Виктор Дмитриевич

кандидат технических наук, главный специалист  
Горелкин Георгий Александрович

Ведущая организация: ЗАО «Группа «Контур Безопасности»

Защита состоится «30» мая 2007 г. в 15:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.130.03 в МИФИ по адресу: 115409, Москва, Каширское шоссе, д.31, телефон 323-91-67, в конференц-зале главного корпуса.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МИФИ.

Автореферат разослан «26» апреля 2007 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью организации, просьба направлять по адресу: 115409, Москва, Каширское шоссе, д.31, диссертационный совет, Шумилову Ю.Ю.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
д.т.н., профессор

Шумилов Ю.Ю.

## **Общая характеристика работы**

### **Актуальность темы.**

Задача распознавания и анализа объектов на изображении в настоящий момент является актуальной задачей информационной технологии. Эта задача не потеряет своей актуальности и в будущем, так как развитие идет столь быстрыми темпами, что приложения, разрабатываемые сегодня, завтра получают статус унаследованных. Сегодня широко используют искусственную нейронную сеть в областях компьютерного зрения. Одно из преимуществ нейронных сетей это то, что все элементы могут функционировать параллельно, тем самым существенно повышая эффективность решения задачи, особенно в обработке изображений. Нейронные сети более устойчивые, чем другие статистические методы при распознавании изображении, если изображение входа имеет шумы. В настоящее время существует достаточно большое число систем автоматического распознавания изображений для различных прикладных задач. Но в задачах распознавания изображений в реальном времени необходимо создать устойчивые и быстрые системы. Нейронные сети могут служить теоретической и практической основы для разработки таких систем. Таким образом, разработка и исследование программных обеспечений для распознавания и анализа объектов на изображении с помощью нейронной сети является актуальной задачей

**Цели и задачи работы:** Целью диссертационной работы является разработка и исследование ПО для распознавания и анализа символов и границ объектов на изображении с помощью нейронной сети.

### **В ходе исследования решались следующие задачи:**

1. Проанализированы методы и алгоритмы обработки изображений.
2. Проанализированы известные методы и алгоритмы для реализации нейронных сетей.
3. Разработана методика распознавания номерного знака автомобилей с помощью нейронной сети.

4. Разработана методика описания и распознавания типа линий на основе нейросети.

**Методы исследования:** Для решения поставленных задач в диссертации использованы теория и методы обработки изображений, теория и методы нейронных сетей, методическое и программное обеспечение среды «Matlab», методы и средства объектно-ориентированного программирования. Для реализации экспериментального приложения использованы средства «Matlab» и «Microsoft Visual C++ 6.0».

**Научная новизна:**

1. В рамках методики распознавания номерного знака автомобилей с помощью нейронной сети предложен, программно реализован и исследован оригинальный метод распознавания символов номерного знака с помощью моментных инвариантов.
2. Разработана методика и программное обеспечение для выделения векторов признаков функций линий и обучения нейронной сети с этими векторами.
3. Разработана методика и программное обеспечение для распознавания типа линий на основе нейронной сети.

**Практическая значимость работы** заключается в том, что:

1. Предложена структура системы распознавания автомобильных номеров с помощью нейронной сети.
2. Предложен способ выделения номерного знака из изображений.
3. Предложен способ выделения символов из номерного знака.
4. Предложен способ распознавания символов с помощью нейронной сети.
5. Предложена структура системы распознавания типа линий с помощью нейронной сети

**Апробация работы**

Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на 7-й международной научной конференции «Workshop on Computer Science and Information Technologies CSIT'2005, Ufa, Russia» и на ежегодных научных сессиях МИФИ (2004, 2005, 2006, 2007 гг.).

Основные результаты диссертации опубликованы в сборнике 7-й международной конференции «Workshop on Computer Science and Information Technologies CSIT'2005, Ufa, Russia» и в тезисах докладов на научных сессиях МИФИ.

**Публикации.** Основные положения диссертационной работы опубликованы в 7 печатных работах.

#### **Структура и объем работы**

Диссертация содержит четыре главы, введение и заключение, 49 рисунки и 6 таблицы.

Общий объем – 104 страниц. Список использованных источников содержит 90 наименования.

#### **Содержание работы.**

**Во введении** обосновывается актуальность темы диссертационной работы и приводится ее краткая характеристика. Формулируются цель работы и задачи исследования и представляются основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** приведен обзор методов и алгоритмов обработки изображений и описание основных положений теории нейронных сетей. В ней также говорится о прикладных задачах в области распознавания изображений.

В последние годы наблюдается повышенный интерес к нейронным сетям, которые нашли применение в самых различных областях человеческой деятельности – бизнесе, медицине, технике. Искусственные нейронные сети нашли применение во многих областях техники, где они используются для решения многочисленных прикладных задач.

Обработка изображений с целью их распознавания является одной из центральных и практически важных задач при создании систем искусственного интеллекта. Проблема носит явно выраженный комплексный иерархический характер и включает ряд основных этапов: восприятие поля зрения, предобработка, сегментация, нормализация выделенных объектов, распознавание. Такой важный обязательный этап как понимание (интерпретация) изображений включается частично в этап сегментации и окончательно решается на этапе распознавания.

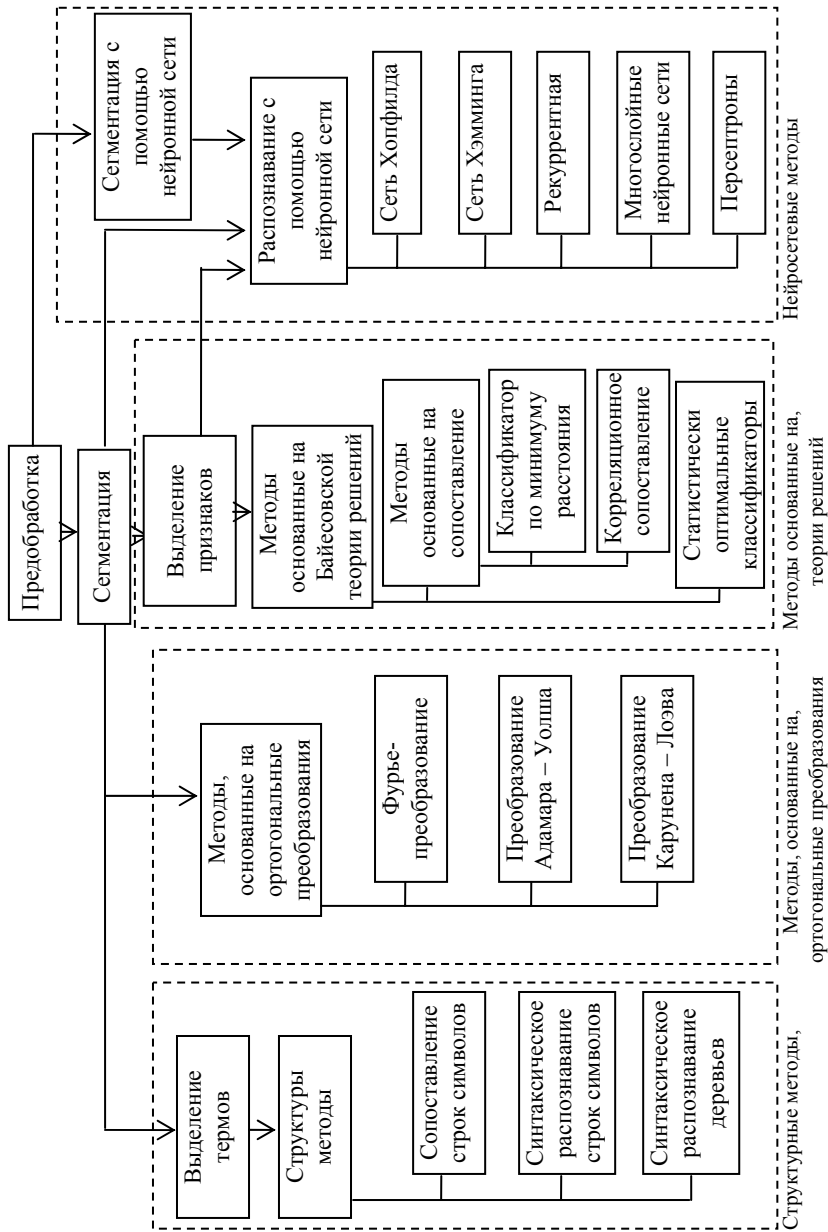


Рис. 1. Классификация методов распознавания изображений

Основным элементом любой задачи распознавания изображений является ответ на вопрос: относятся ли данные (входные) изображения к классу изображений, который представляет данный эталон? Казалось бы, ответ можно получить, сравнивая непосредственно изображение с эталонами (или их признаки). Для решения задачи в целом и на отдельных ее этапах применяются различные методы сегментации, нормализации и распознавания.

Методы распознавания образов делятся на четыре основные категории: На Рис. 1. изображена предложенная автором на основе аналитического обзора классификация методов распознавания изображений.

- методы, основанные на теории решений;
- методы, основанные на ортогональных преобразованиях;
- структурные методы;
- методы, основанные на теории нейронных сетей.

В настоящее время существует достаточно большое число систем автоматического распознавания изображений для различных прикладных задач. Но в задачах распознавания изображений в реальном времени необходимо создать устойчивые и быстрые системы. Нейронные сети могут служить теоретической и практической основой для разработки таких систем.

В данной диссертации разработана методика распознавания номерного знака автомобилей с помощью нейронной сети, а также впервые предложен подход и разработана методика распознавания типов линий, с использованием нейронной сети.

При программной реализации задачи распознавания типов линий с помощью статистических методов распознавания требуется большое вычисленное время как на этапе обучения, так на этапе распознавания. При использовании нейронных сетей значительное вычисленное время необходимо только на этапе обучения.

**Во второй главе** описаны методики и алгоритмы распознавания номерного знака автомобиля и распознавания типа линий. Решение задачи распознавания номерных знаков осуществляется в четыре этапа:

1. Выделение областей-кандидатов номерных знаков на изображении.
2. Удаление ошибочных кандидатов областей номерных знаков.
3. Выделение символов из номерного знака автомобиля.
4. Распознавание символов номерного знака.

В разделе выделения областей-кандидатов номерного знака на изображении предложены следующие подходы для выделения областей-кандидатов номерного знака:

1. Выделение номерного знака с выделением границ;
2. Выделение номерного знака с использованием алгоритма «Hough»;
3. Выделение номерного знака методом сравнения с шаблоном;
4. Выделение номерного знака методом наращивания областей.

Некорректные области-кандидаты можно устранить из списка возможных кандидатов номерного знака с использованием некоторых эвристик. В разделе выделения символов из номерного знака автомобиля предложены следующие подходы для выделения символов:

1. Метод разделения областей;
2. Метод наращивания областей;
3. Метод подсчета пикселей;
4. Статические границы.

В разделе распознавания символов номерного знака предложены следующие подходы для распознавания:

1. Метод сравнения с шаблоном;
2. Метод распознавания по вектору-образу;
3. Метод характерных точек;
4. Распознавание символов с помощью нейронной сети.

В разделе распознавания типа линий впервые предложена новая методика описания и распознавания типа линий на основе нейросети. Для распознавания типа линий необходимо формулировать признаки линии. Вначале выполняется нормировка независимой и зависимой переменной, для того чтобы сегмент линии находился в предопределенном диапазоне (см. Рис. 2.).

На этапе распознавания предложено использовать многослойную нейронную сеть с последовательными связями



обратного распространения. Нейронная сеть должна обучаться с использованием набора признаков большого количества линий стандартных типов.

После обучения нейронная сеть может распознавать произвольный сегмент линии. В методе распознавания типа линии с использованием нейронной сети значительное вычисленное время необходимо только на этапе обучения. Этап распознавания требует минимальных временных затрат.

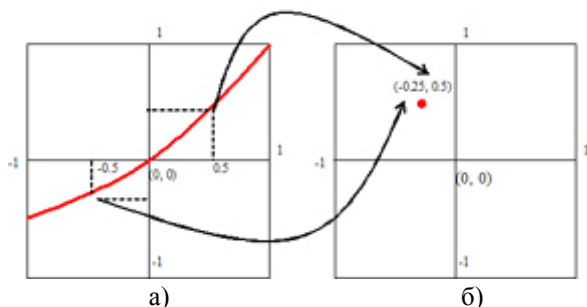


Рис. 2. а) Пример нелинейной кривой после нормировки и б) точка в двух-мерном пространстве признаков.

**В третьей главе** говорится о разработке ПО, его тестировании и экспериментальном исследовании систем распознавания номерного знака автомобиля и распознавания типа линий. Система распознавания номерных знаков автомобилей исследовалась в среде «Matlab 7». В процессе обработки изображения включаются шумоподавление и повышение качества изображения, и выделение места номерного знака автомобиля. Потом выделяются и распознаются символы из номерного знака с помощью нейронной сети. На Рис.3. показана схема системы распознавания номерных знаков автомобилей.

На этапе предобработки выполняется эквализация гистограммы, чтобы улучшить контраст изображения. После эквализации гистограммы изображения используется медианный

фильтр для устранения шумов. Затем слабоконтрастное изображение преобразуется в бинарное изображение.

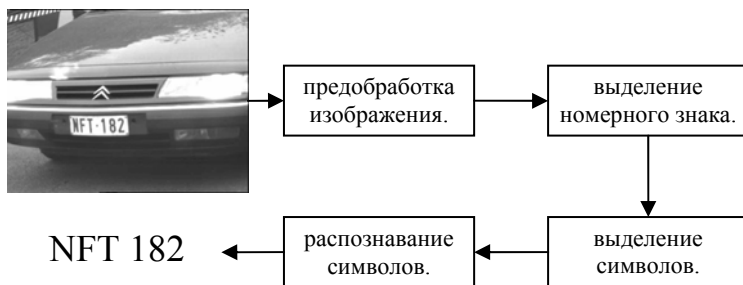


Рис. 3. Схема системы распознавания и анализа номерных знаков автомобилей.

Для выделения номерного знака формируются метки связанности компонентов на бинарном изображении. Затем сегментированные компоненты изображения анализируются и, отбираются компоненты изображения, которые обладают геометрическими характеристиками, подобными знаку автомобиля.

На основе проведенных экспериментальных исследований были выработанные следующие значения параметров для эффективной работы алгоритма выделения номерного знака. Решение о том, что область изображения отображена принимается при следующих значениях параметров:

Параметр	Диапазон значений
соотношение геометрических размеров	от 2,8 до 6
площадь обрамления	от 3000 до 17000 пикселей
отношение площади объекта к площади обрамления	от 0,4 до 0,8

Затем рассчитывается число объектов в отобранных областях. Если число объектов в области равно числу знаков на номерном знаке автомобиля, эта область отбирается как номерной знак

автомобиля. Алгоритм выделения номерного знака показан на Рис 4.

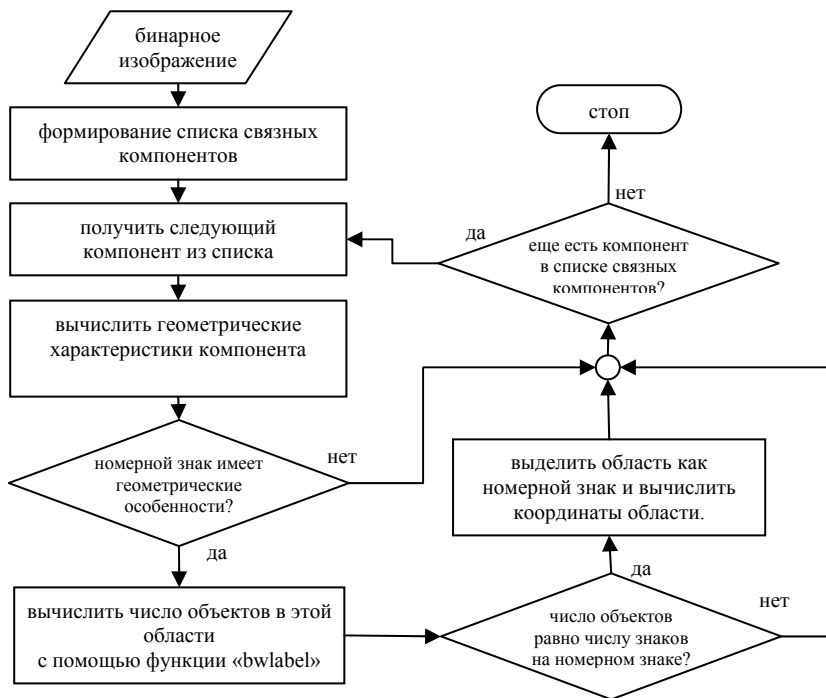


Рис. 4. Алгоритм выделения номерного знака.

Сначала отобранная область изображения превращается в бинарное изображение. Этот этап очень важный для выделения символов из номерного знака. Считаем, что все символы имеют приблизительно одинаковую величину интенсивности, и фон номерного знака ярк, и символы темны. Эту особенность можно использовать для того, чтобы выделить символы на номерном знаке. Алгоритм выделения символов показан на Рис. 5.

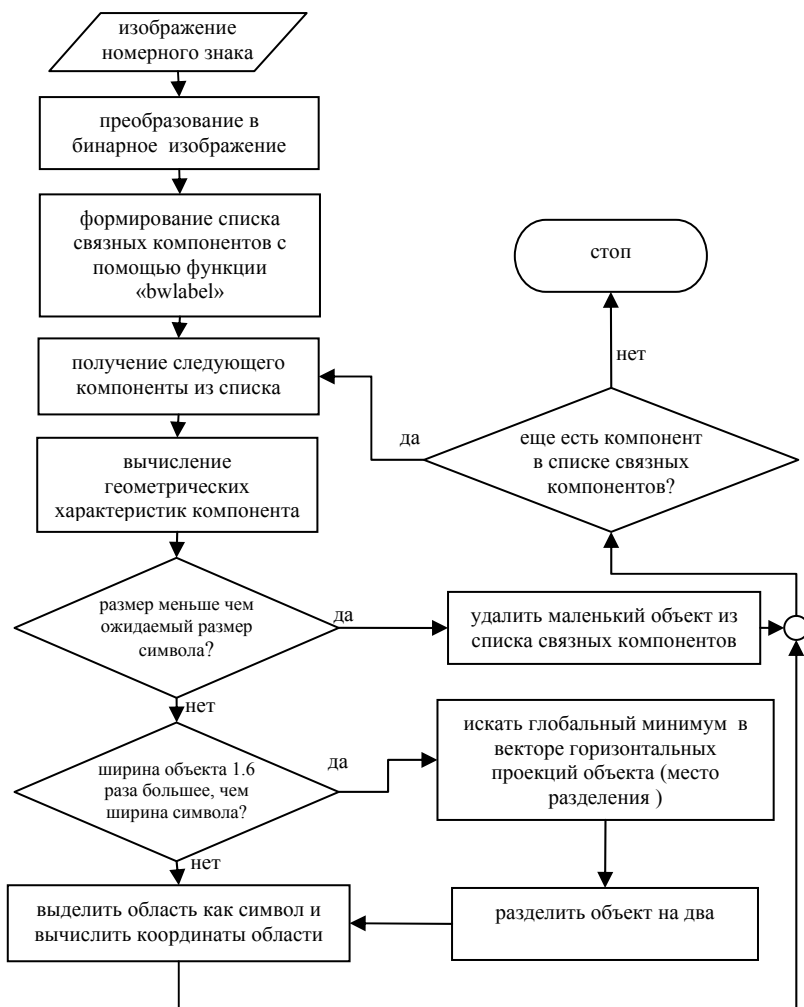


Рис. 5. Алгоритм выделения символов из номерного знака.

Из изображений символов сформированы все геометрические моменты, которые вычисляются по формуле:

$$m_{pq} = \sum_{x=1}^n \sum_{y=1}^n x^p y^q f(x, y) \quad (1)$$

где  $f(x, y)$  – исходное изображение.

Для того чтобы эти моменты были инвариантными по смещению, можно определить центральные моменты как:

$$\bar{m}_{pq} = \sum_{x=1}^n \sum_{y=1}^n (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y) \quad (2)$$

$$\text{где } \bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}}, \bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}}$$

Центральные моменты из формулы (1) можно нормализовать, для того чтобы они были инвариантными по масштабированию следующим образом:

$$\mu_{pq} = \frac{m_{pq}^\gamma}{m_{00}^\gamma} \quad (3)$$

$$\text{где } \gamma = \frac{(p+q)}{2} + 1$$

Ху сформировал 7 функций центральных моментов, которые инвариантны по вращению и по масштабированию:

$$\begin{aligned} \phi_1 &= (\mu_{20} + \mu_{02}) \\ \phi_2 &= (\mu_{20} + \mu_{02})^2 + 4\mu_{11}^2 \\ \phi_3 &= (\mu_{30} - 3\mu_{12})^2 + (3\mu_{21} + \mu_{03})^2 \\ \phi_4 &= (\mu_{30} - \mu_{12})^2 + (\mu_{21} + \mu_{03})^2 \\ \phi_5 &= (\mu_{30} - 3\mu_{12})(\mu_{30} + \mu_{12}) \left[ (\mu_{30} - \mu_{12})^2 - 3(\mu_{21} + \mu_{03})^2 \right] \\ &\quad + (3\mu_{21} + \mu_{03})(\mu_{21} + \mu_{03}) \left[ 3(\mu_{30} + \mu_{12})^2 - (\mu_{21} + \mu_{03})^2 \right] \\ \phi_6 &= (\mu_{20} - \mu_{02}) \left[ (\mu_{30} - \mu_{12})^2 - (\mu_{21} + \mu_{03})^2 \right] + 4\mu_{11}(\mu_{30} + \mu_{12})(\mu_{21} + \mu_{03}) \\ \phi_7 &= (3\mu_{21} - \mu_{03})(\mu_{30} + \mu_{12}) \left[ (\mu_{30} + \mu_{12})^2 - 3(\mu_{21} + \mu_{03})^2 \right] \\ &\quad + (\mu_{30} - 3\mu_{12})(\mu_{21} + \mu_{03}) \left[ 3(\mu_{30} + \mu_{12})^2 - (\mu_{21} + \mu_{03})^2 \right] \end{aligned} \quad (4)$$

В данной работе использовалась двухслойная сеть с последовательными связями. Слой входа содержит 7 элементов, представляя моментные инварианты. Скрытый слой содержит 50 элементов. Размер этого слоя был определен экспериментами.

Слой выхода содержит 34 элемента, которые представляют 10 цифр (0-9) и 24 буквы алфавита (A-Z) исключая буквы 'O' и 'Q'.

В процессе обучения используются символы, которые выделяются из реальных номерных знаков автомобилей. В выборку образов, которая используется для обучения нейросети, добавлены образцы с шумами. Результаты обучения нейронной сети приведены в Таблице 1. Использовались три варианта конфигурации сети (цифры в 1-ом столбце таблицы означают количество нейронов по слоям):

Таблица 1. Обучение сети.

Конфигурация сети	Количество итераций	Точность
7 : 40 : 34	50000	0.01
7 : 50 : 34	45600	0.001
7 : 100 : 34	50000	0.1

С целью создания системы распознавания границ объектов на изображении, разработана методика распознавания типа линии с помощью нейронной сети. Пусть задана функция одной переменной  $f(x, k_1, k_2, \dots, k_m)$ ,

где  $x$  – независимое переменное значение,  $k_1, k_2, \dots, k_3$  – коэффициенты функции.

Семейство кривых этой функции, определяемое различными сочетаниями коэффициентов  $k_1, k_2, \dots$  и интервалом изменения независимой переменной  $x$ , будем называть в дальнейшем классом функции  $f$ . Для построения образа данного класса  $f$  предварительно проводится нормировка независимой и зависимой переменных.

Пусть физический интервал варьирования  $x$  лежит в пределах  $[A, B]$ . Тогда нормировка осуществляется по соотношениям:

$$\begin{aligned} \tilde{x}_0 &= (A+B)/2 ; & \Delta\tilde{x} &= (B-A)/2 ; \\ \tilde{x} &= (x - \tilde{x}_0) / \Delta\tilde{x} ; & \tilde{x} &\in [-1,+1]. \end{aligned} \quad (6)$$

На основе этих выражений производится замена переменной  $x$  на отнормированную  $\tilde{x}$  в функции  $f(x, k_1, k_2, \dots, k_m)$ . Для осуществления нормировки  $f$  осуществляется сдвиг функции так, чтобы она проходила через начало координат

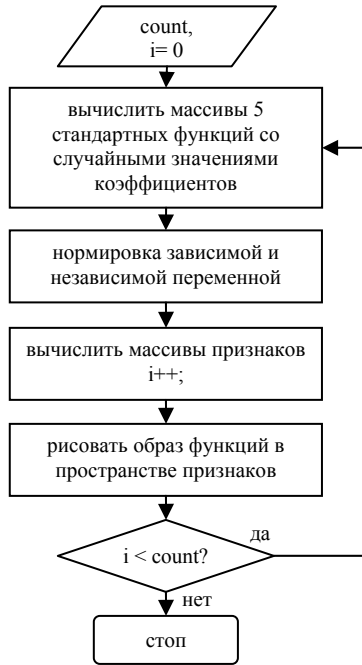


Рис. 6. Алгоритм вычисления признаков линий

$$f'(\tilde{x}, k1, k2, \dots) = f(\tilde{x}, k1, k2, \dots) - f(0, k1, k2, \dots) \quad (7)$$

Для окончательной нормировки функции необходимо найти модуль её максимального значения  $f_{\text{макс}} = \max |f'(\tilde{x}, k1, k2, \dots)|$  после чего проводится окончательная нормировка:

$$\tilde{f}(\tilde{x}, k1, k2, \dots) = f'(\tilde{x}, k1, k2, \dots) / f_{\text{макс}}. \quad (8)$$

После нормировки в качестве системы из  $l$  признаков задаются значения функции  $\tilde{f}$  при  $l$  различных значениях аргумента  $\tilde{x}$ , т.е.

$$j_i = \tilde{f}(\alpha_i, k1, k2, \dots), \quad i = 1, 2, \dots, l \quad (9)$$

где  $j_i$  –  $i$ -й признак, причем  $j_i \in [-1, +1]$ ;  $\alpha_i$  – будем называть плечом  $i$ -го признака;

По описанной выше методике был разработан алгоритм и составлена программа построения образов различных функций для заданных  $l$  и плеч признаков  $\alpha_i$ . (см. Рис. 6.).

В данной работе для распознавания признаков кривых предложено использовать трёхслойную нейронную сеть с последовательными связями. Слой выхода содержит 5 элементов, которые представляют типы функции линии.

Предложено выбрать 5 базовых типов функции как стандартные типы функции для представления произвольной кривой. Эти функции представляют собой следующие:  $f = a x + b$  (линейная функция),  $f = a x^2 + b x + c$  (параболическая функция),  $f = a + b \exp(c x)$  (экспоненциальная функция),  $f = a + b \operatorname{Cosh}(x + c)$  (гиперболический косинус),  $f = a + b \operatorname{Sin}(x + c)$  (синусная функция). Каждый образ признаков этих типов функций занимает определенную область в системе координат признаков.

**В четвертой главе** рассмотрено использование разработанных методов в прикладных задачах.

**Система распознавания и анализа номерных знаков автомобилей.**

Входом системы распознавания и анализа номерных знаков автомобилей является слабоконтрастное изображение в формате BMP. Размер изображений – 768 x 500 пикселей. Набор изображений для тестирования системы содержал 53 слабоконтрастных изображения автомобилей.

В разработанной системе используется библиотека обработки изображений среды Matlab для предобработки изображения и для сегментации изображения. А для распознавания символов номерного знака используется библиотека нейросетей.

При использовании разработанной методики на этапе выделения номерного знака получены следующие результаты:

- Число изображений, в которых не найден номерной знак – 5;
- Найденные номерные знаки- 48;
- Процент успеха выделения номерного знака из изображений – 91%.



В процессе обучения использовались символы, которые выделялись из реальных номерных знаков автомобилей. Первый набор изображений состоял из 415 символов, а второй - из 1630 символов. Второй набор изображений состоял из оригинальных символов и символов с шумами. В диссертации приведены подробные результаты распознавания номерных знаков. Ниже приведены результаты тестирования разработанной системы:

Число номерных знаков:	53
Не найденные знаки:	5
Число номерных знаков, которые распознаются точно: (результат из 1 набора букв обучения)	30
Число номерных знаков, которые распознаются точно: (результат из 2 набора букв обучения)	39
Число номерных знаков, которые распознаются с ошибками: (результат из 1 набора букв обучения)	14
Число номерных знаков, которые распознаются с ошибками: (результат из 2 наборов букв обучения)	5

Таблица. 3. Результаты распознавания символов

	1 набор символов обучения	2 набор символов обучения
Число символов	302	302
Число символов, которые распознаются	270	298
Процент распознавания символов	90%	98.34%
Процент распознавания номерных знаков	55.55%	72.22%

Разработанная система не зависит от порядка расположения символов в номерном знаке. Она правильно распознает номерные знаки различного размера, которые находятся в предопределенном диапазоне.

#### **Расознавание типов линий с помощью нейронной сети.**

В этом разделе представлены результаты тестирования программой системы распознавания типов линий с помощью

нейронной сети, которое разработано в среде программирования «Microsoft Visual C++ 6.0». Программа позволяет выполнять четыре основные функции:

- Формирование набора стандартных функций со случайными коэффициентами;
- Формирование набора векторов признаков этих функций и для любой заданной пары плеч признаков построит 2D-иллюстрацию полученных образов;
- Обучение нейронной сети с набором сформированных плечей признаков;
- Тестирование обученной нейронной сети с набором сформированных плечей признаков.

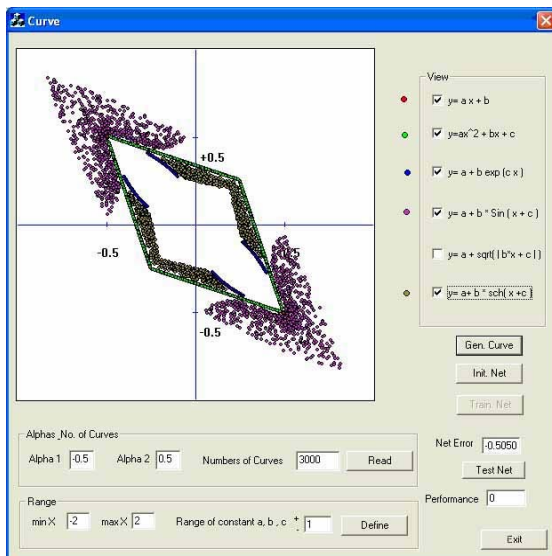


Рис.7. Образы некоторых функций в системе двух признаков ( $\alpha_1 = -0,5$ ,  $\alpha_2 = +0,5$ ,  $k_1, k_2, k_3$ ,  $x$ ).

Пользователь может ввести количество линий, диапазон независимой переменной  $x$  и диапазон коэффициентов. На Рис .7. показана графическая иллюстрация полученных образов

стандартных функций для случая  $l = 2$ ,  $\alpha_1 = -0,5$ ,  $\alpha_2 = +0,5$ ,  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ ,  $x$ .

В разработанном варианте системы автор использует число признаков  $l = 14$  для распознавания с помощью нейронной сети. Проведенные автором исследования показали, что использование числа признаков больше чем 14 не улучшает результаты.

Для обучения нейронной сети сначала было сформировано 15000 линий, в которые было включено по 3000 линий для каждого стандартного типа функций.

Каждая линия имеет следующие predetermined особенности:

- значение коэффициентов функции лежит в диапазоне минус один и плюс один ( $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ ),
- независимое переменное значение лежит в диапазоне минус два и плюс два ( $x$ ).

Из каждой линии было сформировано четырнадцать признаков с помощью эквидистантных плеч. На Рис. 8. показан результат обучения сети с разными конфигурациями.

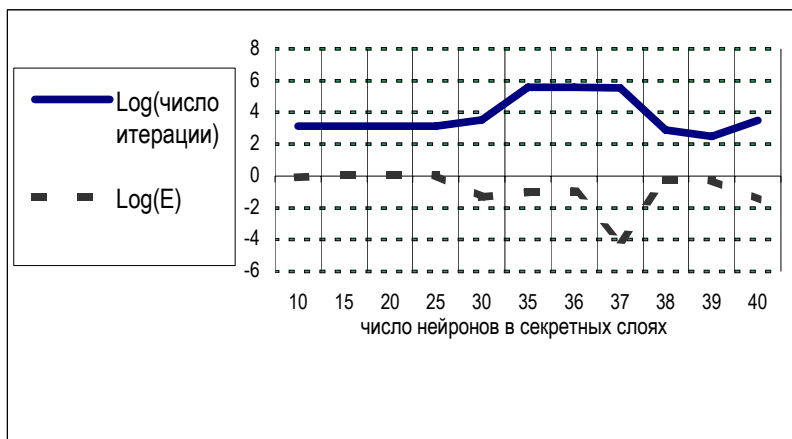


Рис.8. Результат обучения сети с разными конфигурациями

После обучения нейронная сеть испытывалась на полном наборе признаков, которые использовались в процессе обучения. Результаты тестирования показали, что обученная сеть может

правильно классифицировать более 98% всего набора векторов, которые использовались в процессе обучения.

Затем обученная нейронная сеть испытывалась на наборе признаков, которые не использовались в процессе обучения. С этими признаками нейронная сеть может правильно классифицировать более 90% входных данных.

### **Основные результаты работы**

При выполнении данной работы получены следующие основные результаты:

1. В диссертации исследованы распознавание и анализ объектов на изображении с помощью нейронной сети.
2. В диссертации предложена методика, которая предполагает распознавание номерного знака автомобиля. В качестве основы для обработки изображений, предложено использовать библиотеку обработки изображений среды Matlab.
3. С целью создания системы распознавания объектов на изображении разработан подход к выделению областей-кандидатов номерного знака из изображения.
4. Предложена методика устранения некорректных областей-кандидатов номерного знака автомобилей.
5. Предложена методика выделения символов (букв и цифр) из областей-кандидатов номерного знака автомобилей.
6. Предложена методика распознавания символов (букв и цифр) номерного знака автомобилей на основе нейросети.
7. Предложены и разработаны методы, алгоритмы и программный комплекс, которые могут использоваться в распознавании номерного знака автомобилей.
8. В диссертации предложен новый оригинальный подход к распознаванию типов линии с помощью нейронной сети.
9. Предложена методика обучения нейронной сети для распознавания типов линии, для чего предложен и разработан математический аппарат формирования вектора признаков с помощью эквидистантных плеч.
10. Предложена архитектура программного комплекса, реализующего предложенную методику обучения нейронной сети для распознавания типов линий.

### **Основные публикации по теме диссертации.**

1. Ньейн Эй, Е.В. Чепин. Распознавание типов линии с помощью нейронной сети // Научная сессия МИФИ-2007. Сборник научных трудов. В 17 томах. Т.12. Информатика и процессы управления. Компьютерные системы и технологии. М.: МИФИ, 2007.
2. Ньейн Эй. Распознавание чисел и букв номерных знаков с помощью моментных инвариантов // Научная сессия МИФИ-2007. Сборник научных трудов. В 17 томах. Т.12. Информатика и процессы управления. Компьютерные системы и технологии. М.: МИФИ, 2007.
3. Ньейн Эй, Е.В. Чепин. Исследование эффективности использования нейросетей для некоторых задач // Научная сессия МИФИ-2007. Сборник научных трудов. В 17 томах. Т.12. Информатика и процессы управления. Компьютерные системы и технологии. М.: МИФИ, 2007.
4. Ньейн Эй. Распознавание номерных знаков автомобилей // Научная сессия МИФИ-2006. Сборник научных трудов. В 16 томах. Т.15. Конференция «Молодежь и наука». Компьютерные науки. Информационные технологии. Экономика и управление. М.: МИФИ, 2006.
5. Nyein Aye, E. V. Chepin. Car license plate recognition system using artificial neural network // Proceedings of the Workshop on Computer Science and Information Technologies (CSIT'2005), Ufa, September 18-21, 2005. Volume 1. Ufa State Aviation Technical University, 2005. ISBN 5-901900-30-8.
6. Ньейн Эй. Нейронная сеть для распознавания изображения // Научная сессия МИФИ-2005. Сборник научных трудов. В 15 томах. Т.14. Конференция «Молодежь и наука». Компьютерные науки. Информационные технологии. М.: МИФИ, 2005.
7. Ньейн Эй. Искусственная нейронная сеть для распознавания образов // Научная сессия МИФИ-2003. Сборник научных трудов. В 14 томах. Т.13. Конференция «Молодежь и наука». Компьютерные науки. Информационные технологии. М.: МИФИ, 2003.