

В. Ф. Жирков

ПРОБЛЕМА ЭФФЕКТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ В ЗАДАЧАХ РАСПОЗНАВАНИЯ

На примерах биометрических систем рассмотрены вопросы формирования системы признаков, необходимых для эффективной работы системы распознавания. Приведена методика исследования групповой и индивидуальной эффективности признаков, а также чувствительности признаков к искажениям, сопровождающим получение входных данных.

E-mail: jirkovvf@mail.ru

Ключевые слова: *распознавание, признаки, биометрические системы, чувствительность, эффективность.*

Введение. На кафедре «Вычислительная техника» Владимирского государственного университета им. А.Г. и Н.Г. Столетовых более десяти лет проводятся научные исследования биометрических систем распознавания [1–4]. Главная проблема распознавания личности – формирование системы эффективных признаков и методики оценки их эффективности. Создание такой системы, отработка частных решений, проверка и оптимизация показателей сопровождается проектированием исследовательской аппаратно-программной системы для моделирования и получения количественных характеристик. Любая гипотеза, любое изменение должны проверяться на модели, необходимо оценивать влияние изменения на основную характеристику системы – качество распознавания.

Каждая биометрическая система выполняет следующие функции: ввод первичных данных (изображения, фонограммы, траектории и др.); приведение этих данных к стандарту (нормализация); извлечение значимой информации (признаков); кодирование системы признаков; сравнение признаков и их классификация; хранение и поиск информации в базе данных. Задача разработчика заключается в поиске эффективных решений на всех уровнях функционирования. Главный показатель эффективности решений – минимальная ошибка распознавания при ограничениях на используемые ресурсы.

Система признаков для распознавания личности формируется в процессе исследования. На этапе предварительных исследований она определяется интуитивно, затем уточняется по мере реализации системы на основе количественных измерений эффективности. Оработка алгоритмов, реализующих функции системы, выполняется с использованием моделирующей системы, одна из задач которой со-

стоит в количественном измерении эффективности признаков. Далее на примерах рассмотрено формирование системы признаков.

Цитоморфологический анализ крови под микроскопом. Осуществляется сканирование мазка крови под микроскопом в автоматическом режиме. В результате получается большое число снимков-кадров, на каждом из которых среди множества объектов необходимо обнаружить и распознать лейкоциты, выполнить их классификацию и подсчет для итогового заключения [1]. Мазок крови окрашивается по стандартной методике, после чего выявляются лейкоциты и их структурные элементы. Ядра лейкоцитов окрашиваются наиболее контрастно, что позволяет обнаружить их на снимке. Основные классы лейкоцитов – нейтрофилы, эозинофилы, базофилы, моноциты и лимфоциты. На рис. 1 приведен кадр входных данных – два лейкоцита в окружении эритроцитов.

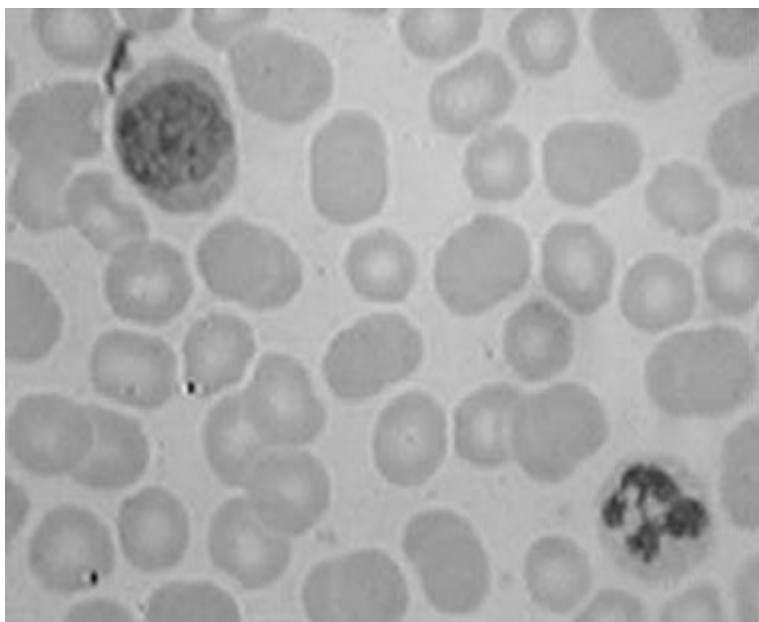


Рис. 1. Кадр входных данных

Для визуальной классификации клеток крови созданы атласы крови, включающие в себя изображения типичных клеточных форм (визуальные эталоны) и описание существенных морфологических характеристик, по которым наблюдаемую клетку относят к определенному классу. В качестве примера рассмотрим одно из классовых описаний.

Сегментоядерный нейтрофил. Размер таких нейтрофилов – 10...12 мкм. Ядро состоит из нескольких фрагментов (долек), связанных тонкими нитями. Иногда эти нити незаметны, иногда фрагменты плотно прилегают друг к другу (при концевом прилегании сегменто-

ядерный нейтрофил может имитировать палочкоядерный нейтрофил, если он сформирован из двух фрагментов). В других случаях нити между фрагментами сегментоядерного нейтрофила могут быть оборваны. Текстура каждого фрагмента повторяет структуру палочкоядерного нейтрофила, т. е. является грубоглыбчатой с разделением грубых частей светлыми промежутками. Благодаря различным взаимоотношениям фрагментов возникают разнообразные ядерные фигуры; чем разнообразнее фигуры, тем больше фрагментов у зрелого нейтрофила (число фрагментов – от двух до пяти-шести).

Широкая цитоплазма имеет нейтрофильно-розовый или светло-фиолетово-розовый цвет. Она содержит небольшое число мелких нейтрофильных зерен, расположенных в беспорядке.

Из приведенного описания класса можно сделать следующие выводы.

Система признаков многоаспектна и гетерогенна. Используются характеристики разной природы (текстурные, метрические, структурные, цветовые). Класс определяется совокупностью признаков.

Для отдельных характеристик задаются диапазоны значений (количественно нестрого, либо качественно).

Такое описание, дополненное тестовыми рисунками, рассчитано на обучение человека, но не подходит для использования в автоматической системе.

На основе описаний классов определены априорные признаки системы распознавания:

Размер клетки, мкм	7...20
Ядро:	
форма	Округлая, бобовидная, с неровными очертаниями, палочкообразная, сегментированная
текстура	Грубоглыбчатая, рыхлая петлистая, колесовидная
Цитоплазма:	
размер	Широкая, узкая
цвет	Базофильный (темно-синий, темно-фиолетовый); азурофильный; серо-фиолетовый, сине-фиолетовый; нейтрофильный (светло-фиолетово-розовый)
Наличие зерен в цитоплазме	Присутствуют; отсутствуют
Цвет зернистости	Нейтрофильный, базофильный, эозинофильный

При анализе мазка крови входные изображения зашумлены, цвета малоконтрастны, лейкоциты окружены другими клетками, границы могут быть трудно различимыми. Для выделения объектов и из-

мерения таких признаков созданы инструменты обработки изображений. В результате измерений признаков сформирована модель лейкоцита (рис. 2), которая позволила перевести описание класса в числовые характеристики и систему измерения для нее.

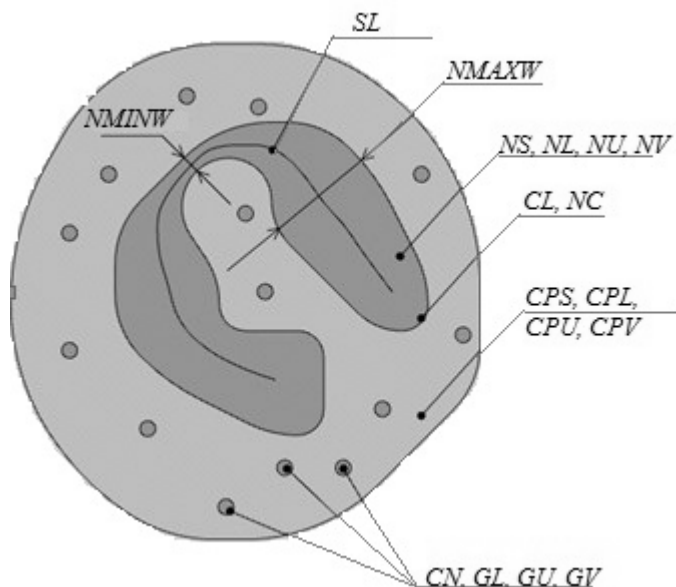


Рис. 2. Модель лейкоцита

В ходе исследований для описания лейкоцита были опробованы и отобраны рабочие признаки системы распознавания лейкоцитов (таблица).

Таблица

Рабочие признаки системы распознавания лейкоцитов

Признак	Условное обозначение	Разделяющая способность, усл. ед.
Ядро:		
площадь	<i>NS</i>	1,30
длина скелетной линии (скелета)	<i>SL</i>	0,8
(признак принимает большие значения для вытянутых ядер и маленькие – для круглых)		
периметр	<i>CL</i>	0,96
расстояние от скелетной линии до контура:		
минимальное (признак обеспечивает отделение сегментированных ядер с перешейками от всех остальных ядер)	<i>NMINW</i>	1,67

Признак	Условное обозначение	Разделяющая способность, усл. ед.
максимальное (признак характеризует размер ядра)	$NMAXW$	1,75
средний цвет в пространстве LUV	$NL; NU; NV$	0,21; 0,13; 0,06
круглость (компактность) (чем круглее ядро, тем ближе значение признака к 1)	$NKR = \frac{CL}{2\sqrt{\pi NS}}$	2,22
средняя кривизна контура (признак отражает гладкость контура ядра)	$NC = \frac{1}{CL} \int K(l) dl,$ где $K(l)$ – кривизна контура в точке	0,67
Цитоплазма: площадь (признак обеспечивает отделение клеток с широкой цитоплазмой от других клеток)	CPS	0,94
средний цвет цитоплазмы в пространстве LUV	$CPL; CPU; CPV$	0,94; 0,62; 0,21
Средний цвет зерен в цитоплазме в пространстве LUV	$GL; GU; GV$	0,46; 0,18; 0,13
Отношение площадей ядра и цитоплазмы	$CPSNSR = CPS/NS$	1,44

Согласно данным, приведенным в таблице, признаки в процессе формирования системы претерпели существенные изменения. Используются два критерия отбора: вычислимость и разделяющая способность (измерялась при моделировании в исследовательской системе).

Идентификации личности по радужной оболочке глаза. Радужная оболочка глаза (радужка) может использоваться как идентификатор личности [2]. Она обладает свойством уникальности и сохраняет характерные свойства в течение всей жизни человека.

Идентификация личности по радужке глаза (рис. 3) проводится путем сравнения кода ее текстуры с кодами текстуры изображений, хранимых в базе данных. Код радужки получают в процессе регистрации нового субъекта в системе безопасности. Он представляет собой шаблон, составленный из значений выбранных признаков.

При кодировании выполняется последовательность операций: нормализация изображения; обработка изображения специальным фильтром, допускающим параметрическую настройку; дискретизация; квантование по уровню полученного отклика. В распоряжении исследователя есть выбор функции фильтра и ее параметров, а также параметров дискретизации и квантования. Выбором параметров

можно достичь существенного повышения эффективности системы безопасности.

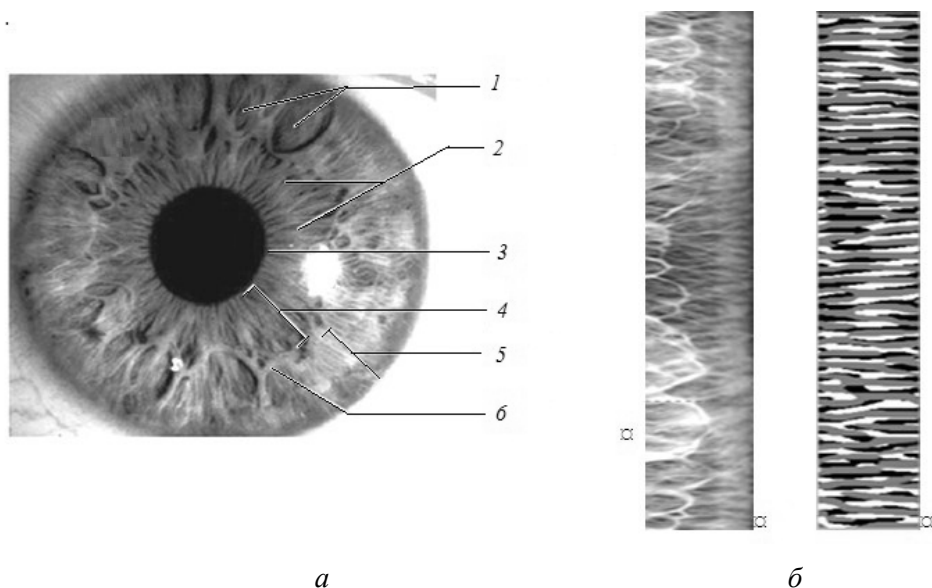


Рис. 3. Радужка (а), ее нормализованная форма (б) и фаза отклика фильтра Габора (в):

1 – лакуны; 2 – трабекулы; 3 – зрачковая кайма; 4 – зрачковый пояс; 5 – цилиарный пояс; 6 – автономное кольцо

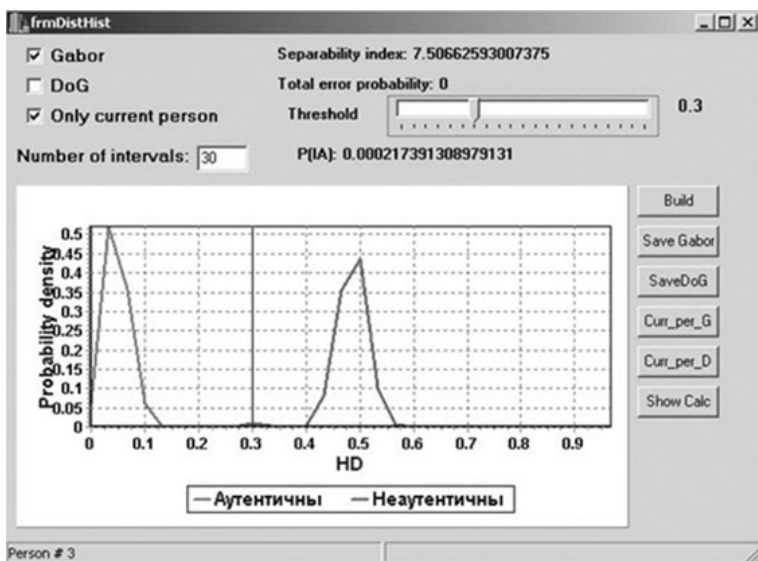
В литературе часто используются бинарные коды, полученные из дискретизованных фаз свертки нормализованного изображения с параметризованными фильтрами Габора. Такой код радужки сохраняется в форме бинарного массива.

Коды радужек сравниваются путем измерения расстояния Хемминга (Hamming Distance, HD). Принятие решения об идентичности основано на статистической теории принятия решений (рис. 4, а). Для выделения признаков применяются параметрически настраиваемые фильтры Габора (текстурные признаки) и DoG-фильтры (градиентные признаки).

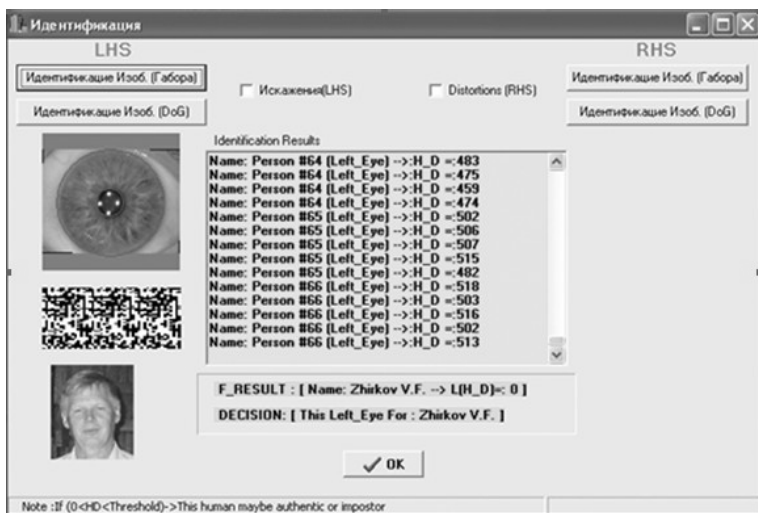
Эксперименты проводятся в системе, интерфейс которой представлен на рис. 4, б. Полученные результаты исследований изложены в статье [5].

Эффективность и чувствительность системы признаков. Для построения эффективной системы в целом необходимо обеспечить эффективность всех ее компонентов. Рассмотрим вопросы, относящиеся к системе признаков. Предполагаем, что входные данные обладают необходимыми качествами: невысоким уровнем помех и шумов, позволяющим извлечь значащую информацию, и полнотой – в

них должна содержаться вся информация, которая после извлечения будет достаточной для правильного распознавания личности.



a



б

Рис. 4. Интерфейсы модуля анализа статистических свойств (а) и модуля идентификации (б)

Обработка априорной информации об объектах заключается в построении функций условного распределения плотностей значений признаков для каждого из классов и в определении априорных вероятностей появления объектов каждого класса.

Эффективные признаки должны обладать разделяющими свойствами, оцениваемыми по формуле

$$K_j = \frac{\bar{D}_{ji}}{(1/N) \sum_{i=1}^N D_{ji}},$$

где $\bar{D}_{ji} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[m_{ji} - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N m_{ji} \right]^2$; N – количество классов; m_{ji} – среднее значение j -го признака объектов класса Ω_i ; D_{ji} – дисперсия j -го признака объектов класса Ω_i . Чем больше значение K_j , тем выше качество признака.

Исследование чувствительности признаков к неблагоприятным факторам (шуму, изменениям условий съемки – освещению, точки наблюдения и др.) дает возможность оценить влияние их комплекса на изменение значений этих признаков и результаты решения основной задачи. Это позволяет определить допустимые границы координат признака и принять меры по сохранению рабочей точки в допустимых пределах. На рис. 5 приведен интерфейс модуля для исследования чувствительности признаков при распознавании радужки глаза. Модуль позволяет после настройки параметров алгоритмов выделения признаков проверить зависимость критерия разделимости от изменяемых параметров (угла, яркости, контраста и уровня шума).

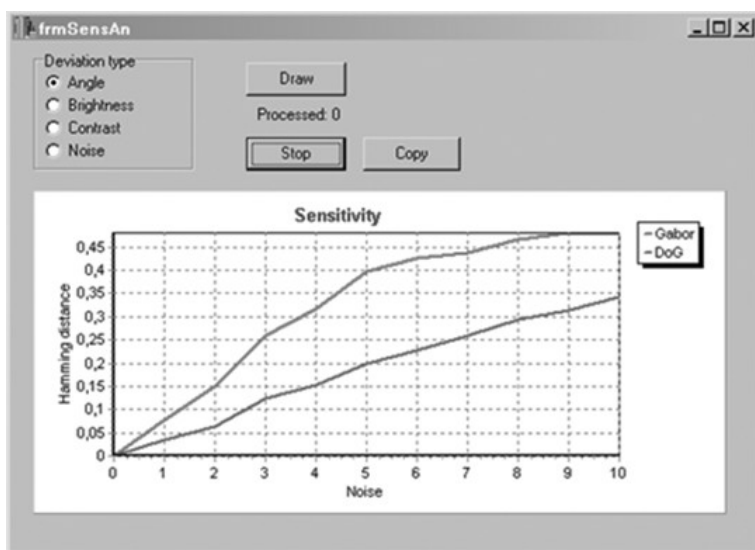


Рис. 5. Интерфейс модуля для исследования чувствительности признаков при распознавании радужки глаза

Выводы. Основной критерий эффективности системы в целом – минимальное относительное количество ошибок распознавания при ограничениях на используемые ресурсы. Основная форма оценки каче-

ства работы системы – построение распределений плотностей условных вероятностей, расчет вероятностей ошибок 1-го и 2-го рода.

Классификатор объектов должен соответствовать задаче, может быть сложным, например иерархическим, соответствующая структура системы признаков также может быть сложной, иметь форму дерева и др.

Существует много методов построения систем признаков для задач распознавания (геометрические, спектральные, цветовые и др.). Выбор одного из них, либо их комбинации, основан на опыте исследователя, но должен быть подтвержден в процессе разработки экспериментально на объектной базе данных.

Признаки должны исследоваться по следующим критериям: коррелированность; разделяющая способность; чувствительность к шуму и помехам; влияние на общую эффективность системы распознавания.

Разработки системы распознавания и исследовательской моделирующей системы, на которой отрабатываются все алгоритмы обработки данных, как для частных задач, так и в комплексе, должны осуществляться параллельно. После внесения любых изменений в данные, алгоритмы, параметры можно смоделировать работу системы на всей базе данных и получить заключение об эффективности системы.

Предложен метод оценки разделяющей способности для индивидуальных признаков по изменению вероятности равновероятной ошибки 1-го и 2-го рода после удаления признака из системы и повторного моделирования работы системы на всей базе данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новиков К. В. Разработка системы технического зрения для автоматизации цитоморфологических анализов крови: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Владимир, 2002.
2. Хебайши М. А. Обработка изображения радужной оболочки глаза в системе идентификации личности: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Владимир, 2002.
3. Хассан А. М. Исследование и разработка алгоритмов параметризации речевых сигналов в системе распознавания диктора: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Владимир, 2008.
4. Абдалла Али А. А. Разработка математического и алгоритмического обеспечения автоматической верификации подписи: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Владимир, 2008.
5. Жирков В. Ф., Новиков К. В., Сушкова Л. Т. Исследование параметрической эффективности признаков при идентификации объекта по изображению // Биомедицинская радиоэлектроника. 2008. № 6. С. 31–37.

Статья поступила в редакцию 14.05.2012