

Информационные технологии
УДК 658.512.011

**ОПТИМИЗАЦИЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОТПЕЧАТКОВ ПАЛЬЦЕВ НА ОСНОВЕ
МЕТОДОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА**

Джуманов О.И., Инатов А.И., Хасанов У.
Самаркандский государственный университет,
140104, г. Самарканд, Университетский бульвар, 15.

Предложены подходы, принципы и модели для проектирования систем анализа и обработки изображений отпечатков пальцев на основе сглаживающего фильтра Габора, вейвлет-преобразований на базисе интерполяционных и экстраполяционных полиномов, нейронной сети и генетических алгоритмов. Разработаны вычислительные схемы идентификации, определения и настройки параметров модели объекта и действий интеллектуальных агентов. Результаты исследований рекомендованы для реализации в системах контроля доступом к организационно-распорядительным документам.

Ил. 4. Библиогр. 6 назв.

Ключевые слова: отпечатки пальцев, глобальные и локальные признаки, фильтр Габора, вейвлет-преобразование, интеллектуальный анализ данных, база данных, база знаний, нейронная сеть, генетические алгоритмы, идентификация, аппроксимация, нестационарный объект.

Джуманов Олимжон Исраилович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой информационных технологий СамГУ, тел.: +998915326574, e-mail: olimjondi@mail.ru

Инатов Аброр Исматович, ассистент кафедры информационных технологий СамГУ, тел.: +998939959102, e-mail: a-inatov@samdu.uz

Хасанов Умид Жумаевич, магистрант кафедры информационных технологий СамГУ.

**ТАФАККУРЛИ ТАҲЛИЛ УСУЛЛАРИ АСОСИДА БАРМОҚ ИЗИ ТАСВИРЛАРИНИ
ИДЕНТИФИКАЦИЯ ҚИЛИШНИ МАҚБУЛЛАШТИРИШ**

Джуманов О.И., Инатов А.И., Хасанов У.
Самарканд давлат университети,
140104, Самарканд ш., Университет хиёбони, 15.

Муайянлаштирувчи Габор филтри, интерполяция ва экстраполяция полиномлари бўйича вейвлет-ўғириш, нейрон тармоғи ҳамда генетик алгоритмлар асосида бармоқ изи тасвирини таҳлил қилиш ва қайта ишлаш тизимни яратиш учун ёндошув, принцип ва моделлар таклиф этилган. Объектни идентификациялаш, модел параметрлари, тафаккурли агент харақатини аниқлаш ва мослаштириш учун ҳисоблаш схемалари ишлаб чиқилган. Тадқиқот натижалари ташкилий-фармойишли ҳужжатларга мурожаатни назорат қилиш тизимларида қўллашга тавсия қилинган.

Ил. 4. Библиогр. 6 номда.

Калитли сўзлар: бармоқ излари, глобал ва локал белгилар, Габор филтри, вейвлет-ўғириш, тафаккурли таҳлил қилиш, маълумотлар базаси, билимлар базаси, нейрон тармоғи, генетик алгоритмлар, идентификациялаш, аппроксимациялаш, ностационар объект.

Джуманов Олимжон Исраилович, техника фанлари номзоди, доцент, СамДУ “Ахборотлаштириш технологиялари” кафедраси мудири, тел.: +998915326574, e-mail: olimjondi@mail.ru

Инатов Аброр Исматович, СамДУ ахборотлаштириш технологиялари кафедраси ассистенти, тел.: +998939959102, e-mail: a-inatov@samdu.uz

Хасанов Умид Жумаевич, СамДУ ахборотлаштириш технологиялари кафедраси магистранти.

**OPTIMIZATION of FINGERPRINTS IMAGES IDENTIFICATION on the BASIS of INTELLECTUAL
ANALYSIS METHODS**

Djumanov O.I, Inatov A.I. Xasanov U.
Samarkand State University,
15, University Blvd. Samarkand, 140104

In the paper authors are offered the approaches, principles and models for designing systems of the analysis and processing of fingerprint images on the basis of smoothing Gabor filter, wavelet-transformations based on interpolating and extrapolating polynomials, neural network and genetic algorithms. The computing circuits of identification, definition and adjustment for parameters of object model and intellectual agents actions are developed. The results of researches are recommended for realization in systems of access control to organizing-circumspect documents.

Ил. 4. Bibl. 6 names.

Key words: fingerprints, global and local attributes, Gabor filter, wavelet-transformation, intellectual analysis of data, database, base of knowledge, neural network, genetic algorithms, identification, approximation, non-stationary object.

Djumanov Olimjon Israilovich, Ph.D., associate professor, head of chair of information technology, SamSU, tel.: +998915326574, E-mail: olimjondi@mail.ru

Inatov Abror Ismatovich, assistant of chair of information technologies, SamSU, tel.: +998939959102, e-mail: a-inatov@samdu.uz

Xasanov Umid Jumayevich, master of chair of information technologies SamSU.

Актуальность темы. В решениях задач контроля доступа к организационно-распорядительным документам важные инструменты идентификации, анализа, обработки информации конструируются на основе методов, алгоритмов и систем распознавания и классификации изображений отпечатков пальцев. Отличительной чертой систем анализа и обработки изображений отпечатка пальцев является рассмотрение уникальных особенностей идентифицируемого объекта [1]. В существующих методах идентификации, основанных на статистические модели в каждом изображении отпечатка пальца используются глобальные и локальные признаки [2].

Глобальные признаки включают в себя область образа, ядро, пункт «дельта», счетчик линий, папиллярный узор. Локальные признаки представляют микро уникальные точки объекта. У отпечатков пальца могут быть одинаковые глобальные признаки, однако локальные признаки всегда являются уникальными.

Отпечатки пальцев распознаются на основе информации области образа, который является фрагментом отпечатка пальца и расположен как глобальный признак. Ядром образа является точка, которая находится в центре отпечатка пальца и используется в качестве ориентира. Пункт «дельта» является начальной точкой, где происходит разделение или же соединение бороздок папиллярных линий. Счетчик линий определяет число папиллярных линий на области образа, либо между ядром и пунктом «дельта». Папиллярные узоры разделяются на три типа: арки (дуги), петли и завитки, которые имеют следующие особенности: арки редко встречаются и занимают 5...10 %; петли обнаруживаются у большинства людей (60...65%); завитки проявляются значительно реже – 30 % [3,4].

Отметим, что в проблеме идентификации отпечатка пальца важную и сложную задачу представляет выявление характера линий отпечатка. Они не являются прямыми, часто сломаны, разветвлены, меняют направление и имеют разрывы. При этом важно установление точек минуции, в которых линии кончаются, разветвляются или изменяют направление. Именно точки минуции обеспечивают уникальную информацию об отпечатке пальца при идентификации объекта. На рис. 1 показаны примеры типов точек минуции.



Рис. 1. Типы точек минуции: 1) фрагмент линии; 2) начало линии; 3) глазок; 4) бифуркация; 5) крючок; 6) мостик; 7) островок; 8) точка; 9) окончание линии; 10) бифуркация-слияние; 11) включение.

Отметим, что методика идентификации и обработки изображений отпечатка пальцев во многих традиционных системах, основана на использовании статистических моделей, которые пригодны лишь только для условий функционирования объектов в стационарной среде. Так одним из распространенных инструментов в статике является фильтр Габора, который используется для выделения краев, обнаружения контура объекта, извлечения признаков текстуры, выделения области образа отпечатка пальца, извлечения локального направления [5].

Когда специфические характеристики проявляют динамичность и требуется их идентификация с учетом изменения во времени, эффективности методов идентификации изображений отпечатков пальцев можно добиться за счет применения методов вейвлет-преобразования, основанных на различные интерполяционные и экстраполяционные полиномиальные функции, а также сплайн-функции. В современной теории и практике обработки непрерывных сигналов и спектральном анализе перспективным и востребованным для идентификации и сглаживания изображений считается совмещение возможностей методов вейвлет-преобразования, моделей нейронных сетей (НС) и генетических алгоритмов (ГА), которые позволяют спроектировать адекватные математические модели и адаптивные методы анализа и обработки изображений нестационарных объектов [6].

Системы анализа и обработки изображений при таком подходе становятся способными давать упрощенные решения задач, связанные с распознаванием, классификацией, идентификацией, представлением знаний, выводом результатов вычислений за счет свойств самоадаптации, самообучения, универсальности и пригодности НС при ограниченности сведений и большой неопределенности параметров при значительно меньших временных и материальных затратах.

Решение проблемы с предложенным вариантом построения и реализации системы ИАД для оптимизации идентификации изображений отпечатка пальцев и развития методов адаптивной обработки данных является малоизученным и актуальным направлением исследования.

В связи с этим, настоящая статья посвящена разработке методических основ построения систем

идентификации, анализа и обработки изображений отпечатков пальцев на основе синтеза сглаживающих фильтров Габора, моделей вейвлет-преобразования, НС, реализации методов оптимизации идентификации изображений отпечатка пальцев на основе ГА для подбора и настройки параметров модели объекта.

Идентификация изображений отпечатка пальцев на основе фильтра Габора. Линейный фильтр Габора с импульсной переходной характеристикой представляется произведением функции Гаусса на гармоническую функцию [3]:

$$g(x, y) = \text{Gauss}(x', y') \cos\left(\frac{2\pi x'}{\lambda} + \phi\right); \text{Gauss}(x', y') = e^{-\left(\frac{x'^2}{2\pi\sigma_x^2} + \frac{y'^2}{2\pi\sigma_y^2}\right)},$$

$$x' = x \cos \theta + y \sin \theta; y' = x \sin \theta + y \cos \theta,$$

где λ – длина периода гармонической функции;

ϕ – параметр частотно-фазовой характеристики сигнала;

θ – угол, который указывает ориентацию нормали к параллельным полосам функции Габора;

γ – коэффициент сжатия.

На рис. 2 в качестве примера иллюстрируется результат идентификации изображения отпечатка пальцев на основе фильтра Габора.



Рис. 2. Результат применения фильтра Габора: а) исходное изображение отпечатка пальца; б) изображение, очищенное фильтром Габора.

Идентификация на основе синтеза моделей вейвлет-преобразования, НС и ГА. Для проектирования синтезированной системы анализа и обработки изображений отпечатков пальцев исследование проведено в двух этапах. На первом этапе решены задачи проектирования структурных компонентов многослойной НС: подбор подходящей активационной функции, расчет весовых коэффициентов нейронов, выбор рациональной архитектуры, определение числа слоев, нейронов в слоях НС. При этом, в качестве методики совершенствования и развития методов оптимизации нейросетевого анализа и обработки изображений предложены методы определения, оценки и настройки параметров вычислительных схем НС для подбора активационной функции, слоев, числа нейронов в слоях НС на основе ГА. На втором этапе исследования проанализирована эффективность алгебраических многочленов, интерполяционных и экстраполяционных полиномов различного порядка, параболических и кубических сплайн функций при построении алгоритмов вейвлет-преобразований для применения в объектах с нестационарными характеристиками.

Разработаны методики оценки эффективности методов синтеза многослойной НС с моделями вейвлет-преобразования Добеши для идентификации изображения отпечатка пальца, а также эффективности выявления контуров полезного изображения в зависимости от степени полинома.

Основным принципом решения задачи оптимизации идентификации изображений отпечатка пальцев на основе ГА является формирование популяции особи с некоторыми допустимыми значениями параметров. При этом глобальные и локальные признаки объекта в виде последовательности точек представляются как особь. Для каждой особи из популяции вычисляется функция приспособленности. С помощью функции приспособленности производится отбор особей, обладающих наилучшими качествами для производства следующего поколения интеллектуальными агентами на основе операторов скрещивания и мутации [6].

В рассматриваемой задаче идентификации изображений отпечатка пальцев значение функции приспособленности особи вычисляется по методу Монте-Карло. Реализация и испытание метода Монте-Карло заключаются в выбрасывании случайным образом точечных препятствий в зону интегрирования. Реализации процесса выбрасывания точечных препятствий производится генерированием двумерной псевдослучайной последовательности.

Процедура мутации интеллектуального агента основана на трех вариантах операций: «вперед», «вперед-направо» и «вперед-налево». Каждому конкретному случайно выбранному точечному препятствию (x_i, y_i) ставится в соответствие целое число $f(x_i, y_i)$, заключенное в пределах $[-3, +3]$. Такая процедура выбрасывания точечных препятствий и подсчета значений функции $f(x_i, y_i)$ проводится N раз и

результаты усредняются, а полученное число умножается на площадь S области интегрирования. В результате формируются значения функции приспособленности.

Таблица 1.

Значения интеллектуального агента при операциях мутации		
	Есть столкновение	Нет столкновений
Препятствие не зарегистрировано		
«вперед»	-1	+1
«вперед-направо»	-1	+1
«вперед-налево»	-1	+1
Препятствие зарегистрировано центральным визуальным датчиком		
«вперед»	+1	-1
«вперед-направо»	-1	+1
«вперед-налево»	-1	+1
Препятствие зарегистрировано правым визуальным датчиком		
«вперед»	-1	+1
«вперед-направо»	+1	-1
«вперед-налево»	-1	+1
Препятствие зарегистрировано левым визуальным датчиком		
«вперед»	-1	+1
«вперед-направо»	-1	+1
«вперед-налево»	+1	-1

Функция приспособленности будет идентичной оценке погрешности метода Монте-Карло, которая вычисляется следующим образом

$$S \sqrt{\frac{\langle f^2 \rangle - \langle f \rangle^2}{N}}, \text{ где } \langle f \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f(x_i, y_i); \quad \langle f^2 \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f^2(x_i, y_i).$$

Следующим процедурой ГА является формирование родительских пар. Отбор особи в родительские пары происходит случайно и для каждого из них вычисляется «вероятность выбора» в популяции особи.

Алгоритм расчета «вероятности выбора» особи. Алгоритм состоит из следующих шагов.

Шаг.1. Функция приспособленности некоторой особи в популяции может принимать отрицательные значения. В связи с этим производится сдвиг функции приспособленности в положительную область значений.

Шаг.2. Просматриваются все популяции и регистрируются особи с наихудшей функцией приспособленности f_{\min} . Если полученное число $f_{\min} \leq 0$, то значение функции приспособленности каждой особи f_i увеличивается на величину $|f_{\min}| + 1$.

Шаг.3. Вычисляется среднее значение функции приспособленности всей популяции \tilde{f} .

Шаг.4. Для тех особей, у которых значение функции приспособленности $f_i < \tilde{f}$, «вероятность выбора» принимается $p_i = 0.1$. Параллельно подсчитывается количество M_1 таких особей и вычисляется сумма $\tilde{p} = \sum p_i = 0.9$.

Для тех особей, у которых значение функции приспособленности $f_i \geq \tilde{f}$, «вероятность выбора» принимается равной $p_i + \frac{\tilde{p}}{M - M_1}$, где M - численность всей популяции.

Шаг.5. Формируются родительские пары. Каждая пара составляется из двух различных особей. Допускается вхождение одной и той же особи в несколько родительских пар. Если численность популяции равна M , то формируется $M - 1$ родительских пар. Считается, что каждая родительская пара производит одного потомка.

Шаг.6. Особи с наилучшим значением функции приспособленности добавляются к следующему поколению.

Далее ГА производит скрещивание особей, для чего набор параметров объекта рассматривается как координаты вектора в 3-мерном пространстве.

Пусть X и Y - векторы, соответствующие двум различным особям-родителям. Особь-потомок строится так

$$x_{new} = x + t(\bar{y} - x),$$

где параметр $t \left(t \in \left[-\frac{1}{4}, \frac{5}{4} \right] \right)$ генерируется датчиком случайных чисел с равномерным распределением.

Если параметры особи-потомка не входят в область допустимых значений, то скрещивание этих особей-родителей производится заново. Далее каждая особь из популяции с вероятностью p_{mut} подвергается мутации. В результате мутации особи присваиваются новые значения для определяющих параметров, которые выбираются случайным образом из области допустимых значений.

Новые параметры особи при мутации выбираются по нормальному закону распределения с параметрами $N(\mu, \sigma^2)$, где μ – исходное значение параметра; дисперсия $\sigma^2 = 2\rho$; ρ – расстояние между параметрами особи, подвергшихся мутации и особи из поколения особи-родителей с наилучшим значением функции приспособленности.

Если новые значения определяющих параметров не попадают в область допустимых значений, то операция случайного выбора новых определяющих параметров проводится заново.

Идентификация действий интеллектуального агента. Каждый из датчиков, регистрирующих действия агента вырабатывает информацию о двух состояниях: «1» и «0». Состояние «1» свидетельствует о том, что препятствие зафиксировано, состояние «0» показывает, что препятствия нет.

В каждый момент времени последовательность информации о состоянии агента определяется строкой длины l , состоящей из нулей и единиц. Для настройки параметров объекта в системе ИАД синтезируется НС с подходящей архитектурой по следующим принципам:

- каждый нейрон имеет четыре характеристики: номер слоя, свой порядковый номер в слое, тип и список исходящих связей (порядковые номера нейронов следующего слоя, порожденных данным нейроном);

- соединение нейрона с датчиками регистрации информации о состоянии агента организуется так, чтобы с пары клемм – прямой и инверсной, одного бинарного датчика к одному нейрону могла идти только одна связь;

- один нейрон имеет только N входящих связей от датчиков и возможно получить 2^N различных типов соединений отдельного нейрона с датчиками – по одному на каждую возможную комбинацию бинарных сигналов;

- нулевой слой НС создается до начала запуска работы системы ИАД, а остальные слои НС заполняются нейронами по мере их возникновения при настраивании сети на каждом такте.

- нейроны нулевого слоя соответствуют конкретным состояниям датчиков регистрации информации, нейроны 1-го слоя содержат информацию сразу о двух последовательных состояниях агента, соответственно, нейроны $(n-1)$ -го слоя содержат информацию об n последовательных состояниях агента;

- на каждом такте выполнения системы составляется список сработавших нейронов, при получении очередной информации о состоянии агента список сработавших нейронов обновляется;

- каждый из сработавших на предыдущем такте нейронов надстраивается в нейрон, тип которого отвечает текущему состоянию агента, если он не был надстроен в нейрон этого типа ранее.

Настройка НС происходит следующим образом. В следующий слой добавляется новый нейрон, тип которого соответствует текущему состоянию агента, а его порядковый номер добавляется в список исходящих связей породившего его нейрона предыдущего слоя. Расширение НС осуществляется до тех пор, пока число нейронов в сети не достигнет предельного значения. В зависимости от характера решаемой задачи пользователь системы ИАД самостоятельно устанавливает предельные значения числа нейронов и числа слоев НС.

Реализация методов идентификации на основе моделей вейвлет-преобразования, НС и ГА. В настоящем варианте системы анализа и обработки изображений отпечатков пальцев реализованы алгоритмы идентификации на основе синтеза многослойной НС с моделями вейвлет-преобразования Добеши.

На рис. 3 показан пример применения вейвлет-преобразования Добеши с интерполяционным полиномом 5-го порядка.

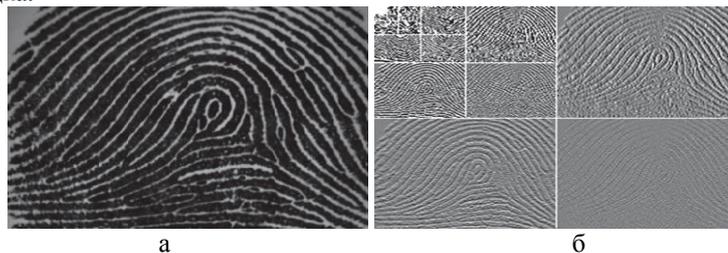


Рис. 3. Результат применения вейвлет-преобразования Добеши а) исходное изображение; б) полученные признаки на основе применения вейвлет-преобразования Добеши

На рис. 4-б) по диагонали кадра изображения прослеживается эффективность выявления контуров полезного изображения отпечатка пальца в зависимости от повышения порядка полинома.

Реализованная модель идентификации применена для различных типов папиллярных узоров и в ней синтезированы фильтр Габора, вейвлет-преобразование Добеши 5-го и 6-го порядков и многослойная НС.

Для использования при синтезе вейвлет-преобразования 5-го порядка спроектирована НС с 192 входами, число нейронов в скрытых слоях сети изменяется от 200 до 250.

Метод вейвлет-преобразования 6-го порядка синтезирован с НС, у которой 48 входов, число скрытых нейронов изменяется от 80 до 120. Обе сети имеют 7 выходов в соответствии с числом категорий классификации отпечатков пальцев. Для тестирования алгоритмов системы используются БД с 9 и 14 изображениями и представленными для обучения НС.

Система обладает априорной БЗ, представляющей собой 2-х мерный массив с 28 строками и 6 столбцами. Строки соответствуют всем возможным типам нейронов, а столбцы – всем возможным вариантам действий интеллектуального агента особи популяции.

Элементами каждой строки массива являются априорные вероятности принятия решений о выборе одного из 6-ти вариантов действий агента («вперед-направо», «вперед», «вперед-налево», «назад-направо», «назад», «назад-налево») при срабатывании соответствующего типа нейрона.

В отличие от неизменяемой априорной БЗ динамическая БЗ системы ИАД постоянно расширяется и обновляется во время ее работы. До начала работы системы динамическая БЗ совпадает с априорной БЗ.

Настройка НС и появление в ней нового нейрона происходит путем добавления в динамическую БЗ новой строки, совпадающей со строкой априорной БЗ, соответствующей типу появившегося нейрона. Каждому нейрону НС отвечает строка в динамической БЗ.

На каждом такте работы системы фиксируются сработавшие нейроны (нейроны с единичным выходным сигналом), которые используются при оценке вероятностей принятия решения о выборе одного из шести возможных вариантов дальнейших действий агента.

Сравнена эффективность алгоритма, использующего фильтр Габора и алгоритма обработки изображений без применения этого фильтра.

На рис. 4 в виде графиков даны результаты сравнения эффективности синтезированных алгоритмов на основе моделей вейвлет преобразования 5-го порядка Добеши и НС с генетической настройкой.

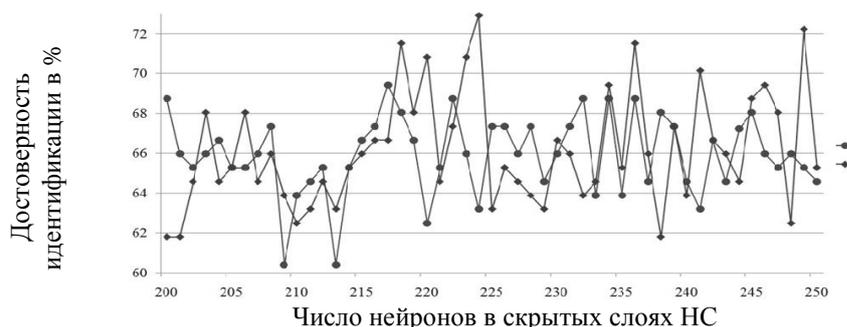


Рис. 4. Эффективность алгоритмов на основе вейвлет-преобразования и НС с генетической настройкой.

Результаты показывают, что алгоритм, использующий фильтр Габора, работает эффективнее в случае синтеза с вейвлет-преобразованием Добеши, дает лучшие результаты при больших порядках полинома. Установлено, что наибольшая точность идентификации изображений отпечатков пальцев достигается алгоритмом, основанным на совместном применении фильтра Габора, вейвлет-преобразования 6-го порядка Добеши, НС с генетической настройкой параметров модели.

Литература

1. Гудков, В.Ю. Новая технология формирования скелетов дактилоскопических изображений / В.Ю. Гудков, А.А. Коляда, А.В. Чернявский; под ред. акад. БАН А.Ф. Чернявского и д.т.н. В.В. Ревинского // Методы, алгоритмы и программное обеспечение гибких информационных технологий для автоматизированных идентификационных систем: сб. науч. ст. - Минск: БГУ, 1999. – С. 71-82.
2. Задорожный В. Идентификация по отпечаткам пальцев. // PC Magazine, № 1, 2, 2004.- с. 45-70.
3. Ковалевский В.А. Методы оптимальных решений в распознавании изображений / В.А. Ковалевский. - М.: Наука, 1976. – с. 78-228.
4. С. Уэлстид. Фракталы и вейвлеты для сжатия изображений в действии. - М.:ТРИУМФ, 2003.-320 с.
5. Буй Тхи Тху Чанг, Фан Нгок Хоанг, Спицын В.Г. Алгоритмическое и программное обеспечение для классификации цифровых изображений с помощью вейвлет-реобразования Хаара и нейронных сетей // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 318. – № 5. – С. 103–106.
6. Л.В. Земских. Возможности оптимизации системы автономного адаптивного управления с помощью генетических алгоритмов // Препринт №3 Института системного программирования РАН, Москва, 2004.- с. 56-66.

ОТЗЫВ

на статью О.И.Джуманова, А.И.Инатова, У.Хасанова «Оптимизация идентификации изображений отпечатков пальцев на основе методов интеллектуального анализа»

В настоящее время, благодаря развитию систем интеллектуального анализа данных (ИАД) широко распространяются методы, базирующиеся на применение моделей нечеткой логики, нечеткого логического вывода и нейронных сетей (НС), а также их синтеза. Методика идентификации и обработки изображений отпечатка пальцев во многих традиционных системах, основана на использование статистических моделей, которые пригодны лишь только для условий функционирования объектов в стационарной среде. В связи с этим, разработка систем ИАД на основе мягких вычислений для распознавания и классификации изображений объектов со сложной структурой, например, отпечатков пальцев, особенно в нестационарной динамичной среде является малоизученным и актуальным направлением исследований.

В работе предложен подход к оптимизации идентификации изображений отпечатков пальцев, в котором учитывается проявление динамичности специфических характеристик и эффективность методов идентификации изображений отпечатков пальцев достигается за счет применения методов вейвлет-преобразования, основанных на различные интерполяционные и экстраполяционные полиномиальные функции. В качестве методов обработки непрерывных сигналов сделана попытка совмещения возможностей методов вейвлет-преобразования, моделей нейронных сетей (НС) и генетических алгоритмов (ГА), которые позволяют спроектировать адекватные математические модели и адаптивные методы анализа и обработки изображений нестационарных объектов.

Важным результатом исследования является разработка методических основ построения систем идентификации, анализа и обработки изображений отпечатков пальцев на основе синтеза сглаживающих фильтров Габора, моделей вейвлет-преобразования, НС, реализации методов оптимизации идентификации изображений отпечатка пальцев на основе ГА для подбора и настройки параметров модели объекта. Представленные в статье решения задач по сегментации изображений, синтеза нейронных сетей с генетическими алгоритмами использованы иллюстрируют возможность использования уникальных свойств нейронных сетей, статистических и динамических характеристик данных нестационарных объектов.

Представленная на рецензию статья посвящена решению актуальной научно-технической задачи, выполнена на высоком теоретическом уровне, соответствует предъявляемым требованиям и может быть рекомендована к открытой публикации.

Профессор кафедры «Информационные технологии» СамГУ, д.т.н.

А.Р.Ахатов