

На правах рукописи

**Ким Александра Юрьевна**

**РАСПОЗНАВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБРАЗОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ  
СЕГМЕНТАРНОГО ТИПА**

05.13.18 - Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Автореферат  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук



Владивосток - 2015

Работа выполнена в лаборатории прецизионных оптических методов измерений Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИАПУ ДВО РАН)

Научный руководитель: **Кульчин Юрий Николаевич**, академик РАН, доктор физико-математических наук, профессор, директор Института автоматики и процессов управления ДВО РАН, г. Владивосток

Официальные оппоненты: **Амосов Олег Семёнович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой промышленной электроники, Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, г. Комсомольск-на-Амуре

**Закасовская Елена Владимировна**, доктор технических наук, профессор кафедры информационной безопасности, Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт систем обработки изображений РАН, г. Самара

Защита диссертации состоится « 30 » октября 2015 г. в 12 часов на заседании диссертационного совета Д 005.007.01 при Институте автоматики и процессов управления ДВО РАН по адресу: 690041, г. Владивосток, ул. Радио, 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИАПУ ДВО РАН и на сайте <http://www.iacp.dvo.ru/russian/institute/dissertation/represent.html>

Автореферат разослан «    » июня 2015 г.

Учёный секретарь  
диссертационного совета Д 005.007.01, к.т.н.



Н.Н. Петрунко

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Интеллектуальную интеграцию и развитие современных технологий в настоящий момент невозможно представить без расширения научных исследований в области волоконно-оптических информационно-измерительных систем для распределённого мониторинга быстропротекающих явлений, происходящих в широком диапазоне изменения температуры и давления, а также других факторов влияния окружающей среды. В связи с этим, особое значение имеет применение распределённых волоконно-оптических измерительных сетей (РВОИС)<sup>1</sup>, способных не только обеспечить мониторинг состояния масштабных и многопараметрических систем и объектов в реальном времени, но и адаптироваться под конкретные воздействия окружающей среды. При этом для РВОИС следует решать следующие задачи: восстановление пространственного распределения параметров физического поля и выявление его структурных неоднородностей в режиме реального времени. Тем самым воссоздаётся динамическая картина воздействия на РВОИС. Затем, по совокупности всей информации необходимо выделить характерные признаки и дать прогноз развития ситуации или распознать объект (совокупность объектов).

На современном уровне процесс мониторинга объектов с помощью распределённой измерительной системы (РИС) не сводится лишь к обнаружению самого объекта, а требует оценки и анализа полученных данных, регистрации и воспроизведения важнейших характеристик состояния объекта в реальном времени, передачи обработанной информации лицу, принимающему решения. Это новое понимание мониторинга как информационного мониторинга сейчас получило развитие и делает его более ёмким по содержанию. Первые публикации работ исследователей по распознаванию динамических образов и идентификации объектов появились в США, Швеции, Франции, Японии в начале 1980-х гг. В России в данной области хорошо известны работы таких выдающихся учёных как академика РАН, д.ф.-м.н Ю. И. Журавлёва, чл.-корр. РАН, д.т.н. В. А. Сойфера, д.т.н. Л. М. Местецкого, д.т.н. Н. Г. Загоруйко, д.т.н. В. П. Пяткина и др. Современные системы мониторинга оснащены блоками поддержки принятия решений. Они предоставляют пользователю не только конкретные параметры, но и дают их интерпретацию в различных возможных кризисных ситуациях, что помогает принимать адекватные быстрые решения в чрезвычайных случаях. В связи с многообразием функций и требований для таких систем, многие проблемы при распознавании динамических образов остаются нерешёнными, а при моделировании и обработке данных необходимы более эффективные подходы, методы и алгоритмы.

При мониторинге движущихся объектов для распознавания динамических образов целесообразен комплексный подход решения проблем обработки данных, который и был реализован в данной работе с помощью создания информационно-измерительной системы (ИИС) на основе распределённой волоконно-оптической измерительной сети, что повышает как функциональность, так и надёжность, скорость и эффективность процессов обработки в системе.

---

<sup>1</sup> *Кульчин Ю.Н.* Распределённые волоконно-оптические измерительные системы. – М.: Физматлит, 2001. – 272 с.

Разработка общего подхода к созданию нового класса ИИС как интеллектуальной распределённой информационно-измерительной системы (ИРИИС) на основе РВОИС сегментарного типа с применением «гибких технологий» таких, как экспертные системы (ЭС), нейронные сети (НС), продукционные нечёткие системы (ПНС) и гибридные системы (ГС) позволит расширить область охвата решаемых задач с привлечением экспертных знаний.

Новые способы обработки и анализа получаемых с измерительных линий РВОИС больших массивов данных применимы для решения целого ряда перспективных задач в области охранных комплексов потенциально опасных объектов, авиа- и космических, морских и автомобильных конструкций, мониторинга гидротехнических и строительных сооружений, а также при создании автоматизированных систем контроля и управления техническими процессами и объектами.

**Цель и задачи работы.** Целью диссертационной работы является моделирование и исследование подходов, способов и методов распознавания динамических образов и создание программно-алгоритмического комплекса ИРИИС на основе РВОИС сегментарного типа.

Для достижения поставленной цели в работе требуется решить следующие *задачи*:

- провести анализ существующих ИИС, по результатам которого определить требования к принципам построения и структуре создаваемой ИРИИС на основе РВОИС и разработать критерии её функционирования;
- разработать основные подходы к построению ИРИИС на основе РВОИС, позволяющие формировать топологию такой системы, её составные блоки и модули, алгоритмы функционирования системы;
- разработать и исследовать способы и методы обработки по сгенерированным данным РИС для распознавания динамических образов и сформировать на их основе проектные решения при создании ИРИИС;
- разработать и исследовать действующий макет волоконно-оптической измерительной сети (ВОИС) охраны периметра;
- проанализировать, протестировать работу ИРИИС на данных с макета ВОИС охраны периметра для подтверждения правильности исходных положений, предлагаемых подходов, методов обработки и созданных алгоритмов;
- разработать методологическую базу и программно-алгоритмический комплекс для ИРИИС на основе РВОИС.

**Методы исследования.** При решении поставленных в работе задач использовались методы системного анализа, математического моделирования и прикладной статистики, искусственного интеллекта, разработки информационных и экспертных систем, нечёткая логика, а также методы программирования.

#### **Научная новизна.**

1. Разработаны обобщенная, функциональная и структурная модели ИРИИС на основе РВОИС сегментарного типа для распознавания динамических образов в зоне мониторинга измерительной сети.

2. Предложен и обоснован новый подход к решению задачи идентификации известных классов объектов с изменяющимися параметрами по сигналам, полученным при переменном воздействии на измерительную сеть, для построения ИРИИС на основе РВОИС сегментарного типа.

3. Предложен, алгоритмически и программно реализован набор специальных способов и методов обработки данных в ИРИИС на основе РВОИС сегментарного типа для идентификации движущихся объектов в зоне мониторинга измерительной сети.

**Обоснованность и достоверность** приведенных результатов работы обеспечиваются корректным применением используемых методов исследования, результатами численного моделирования и экспериментальной проверки подходов, методов, способов и алгоритмов обработки для данных, полученных с созданного действующего макета ВОИС охраны периметра.

**Теоретическая значимость работы.** Результаты работы могут найти применение при разработке нового класса ЭС для решения сложных плохо формализуемых прикладных проблем, требующих знаний экспертов.

**Практическая значимость и реализация результатов работы.** Предложенные в диссертации способы, методы и алгоритмы, а также разработанный на их основе комплекс программ обработки данных РВОИС для идентификации движущихся объектов применимы в различных сферах деятельности, связанных с обработкой больших массивов данных при распознавании динамических образов.

Полученные результаты используются при разработке волоконно-оптических информационно-измерительных систем в научных исследованиях Института автоматики и процессов управления ДВО РАН.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Обобщенная, функциональная и структурная модели ИРИИС на основе РВОИС сегментарного типа для распознавания динамических образов в зоне мониторинга измерительной сети.
2. Новый подход к решению задачи идентификации известных классов объектов с изменяющимися параметрами по сигналам, полученным при переменном воздействии на измерительную сеть, для построения ИРИИС на основе РВОИС сегментарного типа.
3. Набор специальных способов и методов обработки данных в ИРИИС на основе РВОИС сегментарного типа для идентификации движущихся объектов в зоне мониторинга с применением моделирования динамических образов и программно-алгоритмический комплекс для их реализации в виде продукционной нечёткой системы и экспертной системы с привлечением нейросетевых технологий.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы докладывались на конференциях: НТК «Молодёжь и научно-технический прогресс» (Владивосток, 2004); Asia-Pacific Conference on Fundamental Problems of Opto- and Microelectronics – APCOM'07, APCOM'09 (Vladivostok, 2007, 2009), APCOM'14 (Tokyo, Japan, 2014.); Всероссийская НТК «Нейроинформатика 2009» (Москва, 2009); 20th Anniversary Korea-Russia Science Conference (Baikal, Russia, 2010.); Fundamental Science and Technology – Promising Developments IV (North Charleston, USA, 2014).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 14 научных работ, 4 статьи в изданиях, входящих в перечень ВАК РФ.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, трёх глав, заключения, списка литературы, включающего 180 наименований, 5 приложений. Основное содержание изложено на 194 страницах машинописного текста. Работа содержит 77 рисунков и 10 таблиц.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** показана актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследований, научная новизна и практическое значение, определены положения, выносимые на защиту, дана общая характеристика работы.

**В первой главе** представлен обзор по состоянию решения проблемы распознавания образов, как с помощью традиционных методов, так и с помощью систем искусственного интеллекта с использованием нейронных сетей и нечёткой логики.

Для решения задачи построения модели ИРИИС был проведён анализ существующих информационно-измерительных систем, рассмотрена их классификация, выделены функции и задачи ИРИИС. Для предложенной модели ИРИИС определены качества, свойства и ограничения. Комбинирование в системе при обработке данных нейронных сетей с традиционными методами позволяет обеспечить робастность и гибкость ИРИИС.

Основными качествами и свойствами ИРИИС являются:

- 1) система должна работать в режиме реального времени;
- 2) система должна обслуживать одновременно достаточно большое количество измерительных сегментов (ИС) РВОИС при мониторинге;
- 3) система должна обладать возможностью адаптации к конкретным условиям и пользователям (возможность модификации базы знаний);
- 4) система должна соответствовать требованиям, предъявляемым к современным информационно-измерительным системам;
- 5) система должна обладать гибкостью и высокой скоростью принятия решений при распознавании динамических образов.

Ограничения для ИРИИС:

- 1) количество объектов одновременного мониторинга;
- 2) ограниченное количество типов идентифицируемых объектов.

В конце первой главы дана постановка основной задачи исследований, определены задачи, подходы построения и общая структура модели ИРИИС на основе РВОИС сегментарного типа, предложены основные методы, способы и функции ИРИИС для реализации комплексного подхода при распознавании динамических образов.

**Вторая глава** посвящена решению задач: оптимизации укладки измерительных линий сети, разработке подходов построения РВОИС сегментарного типа, созданию макета ВОИС охраны периметра и методам обработки сигналов.

Для решения задачи оптимизации укладки измерительных линий проведено математическое исследование различных карт укладки линий, представленных в таблице 1. На основе анализа реконструкции физического поля по неполным интегральным данным двумя механизмами: сокращения числа неизвестных измерительной системы для реконструкции точечных распределений и увеличения числа уравнений измерительной системы для реконструкции гладких распределений, сделаны выводы. Каждая из рассматриваемых в работе схем укладки измерительных линий образует свою матрицу  $A$ . Для измерительной системы введён первичный критерий качества укладки интегральных линий по рангу матрицы  $A$ . Вид этих матриц

**A** в данном случае полностью определяется схемой укладки измерительных линий и способом формализации исходных допущений и может быть оптимизирован по критерию качества укладки. Эти параметры остаются неизменными в процессе функционирования измерительной системы. Решение задачи реконструкции распределенного физического поля  $z_1, \dots, z_m$  состоит в восстановлении его исходного распределения  $F(\cdot)$  в контрольных точках по интегральным данным  $s_1, \dots, s_h$ , поступающим с измерительных линий. Решение матричного уравнения в этом случае можно записать в виде  $\mathbf{z} = \mathbf{A}^{-1}\mathbf{s}$ , где  $\mathbf{A}^{-1}$  – матрица, обратная к матрице  $\mathbf{A}$ . Поэтому матрица  $\mathbf{A}^{-1}$  может быть определена единожды, на этапе синтеза системы, для чего необходимо предварительно подготовить выборку, состоящую из примеров распределений того же класса, что планируется реконструировать в процессе рабочего функционирования измерительной системы.

Таблица 1. Принятые в рассмотрение базовые структуры измерительных сетей

Условное обозначение	Пример последовательного формирования структуры измерительной сети для случая $n = 5$	Количество измерительных линий
"Клетка"		$h = 2n$
"Угол"		$h = 2(n - 1)$
"Диагональ"		$h = 2(2n - 3)$
"Ромб"		$h = 2(n - 1)$

Кроме систем интегрального типа рассматривались результаты реконструкции, полученные для систем непосредственного измерения в разреженных точках физического поля (равномерно распределены по поверхности измерения):

$$z_i^* = \sum_{j=1}^{h_d} w_{i,j} \cdot z_{c_j}, \quad (1)$$

где  $i$  – порядковый номер реконструируемой контрольной точки  $z_i^*$ ,  $\mathbf{w}$  – матрица постоянных коэффициентов,  $h_d$  – общее количество выборочных точек непосредственного измерения (число измерительных каналов),  $c_j$  – порядковый номер  $j$ -й контрольной точки, подлежащей непосредственному измерению. Матрица

коэффициентов  $w$  для каждого случая получена путем аналитической минимизации функционала (2);  $N = 1000$ . Искомые коэффициенты удобно определить с помощью метода наименьших квадратов, из условия

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^m (z_{i,j} - z_{i,j}^*)^2 \rightarrow \min, \quad (2)$$

где  $N$  – количество примеров в выборке,  $m$  – число контрольных точек измерительной системы,  $z_{i,j}$  и  $z_{i,j}^*$  – соответственно оригинальная и реконструированная амплитуда распределения в  $j$ -й контрольной точке  $i$ -го примера выборки.

В результате определено, что интегральная реализация измерительной системы обеспечивает разрешающую способность  $m$  при числе измерительных линий  $h < m$ , что недостижимо в системах непосредственного измерения в разреженных точках при аналогичных ограничениях на число измерительных каналов.

Также в работе рассмотрены физические принципы функционирования РВОИС сегментарного типа и за основу построения сети выбрано сочетание датчиков на основе различных типов волоконных световодов (ВС) (одномодовых и многомодовых) при разработке её измерительных линий (ИЛ). В случае создания ИЛ на основе одноволоконного многомодового интерферометра (ОМИ) представлена конструкция модели чувствительного элемента (ЧЭ) волоконно-оптического датчика (ВОД) (рис. 1) и предложен алгоритм обработки его сигнала в виде спекл-картины. Первоначально ПЗС (прибор с зарядовой связью) матрица видеокamеры регистрирует опорное изображение спекл-картины, соответствующее начальному состоянию ВС в ЧЭ.

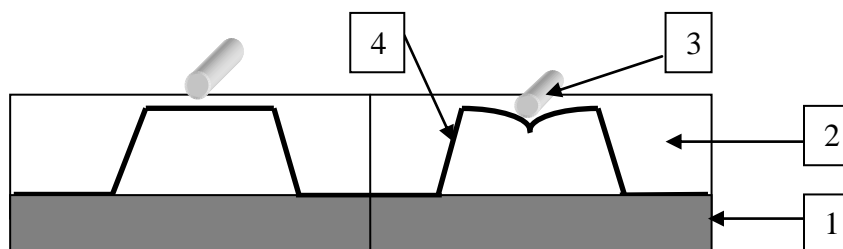


Рис. 1. Чувствительный элемент в разрезе.

Слева – исходное состояние, справа – деформация ВС. 1 – твердая подложка, 2 – упругая среда, 3 – вдавливающий стержень, 4 – волоконный световод

Обработка информации, поступающей с ПЗС матрицы, была выполнена с помощью программы, написанной в среде MATLAB. Сравнение спекл-сигналов до и после деформационного воздействия на ВС производится корреляционным способом. При вдавливании может наступить момент отсечки, вследствие чего дальнейшее вдавливание ВС в упругую среду не приведет к уменьшению коэффициента корреляции, поэтому когда коэффициент корреляции уменьшается до определенного порогового значения происходит перезапись опорного сигнала. Рисунок 2 иллюстрирует зависимости коэффициента корреляции  $\rho_{12}(z)$  до (кривая 1) и после (кривая 2) процедуры перезаписи. При этом значение  $z$  – глубины вдавливания ВС, найденное после последней процедуры перезаписи, суммируется со значением,



полученным до проведения этой процедуры. Применяя указанный метод, можно проводить количественные измерения суммарного воздействия на ЧЭ в составе интегрирующей измерительной линии.

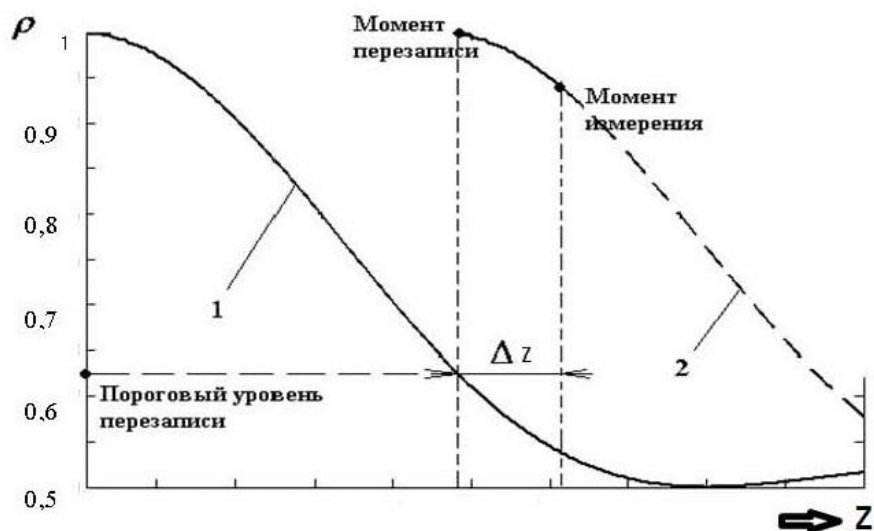
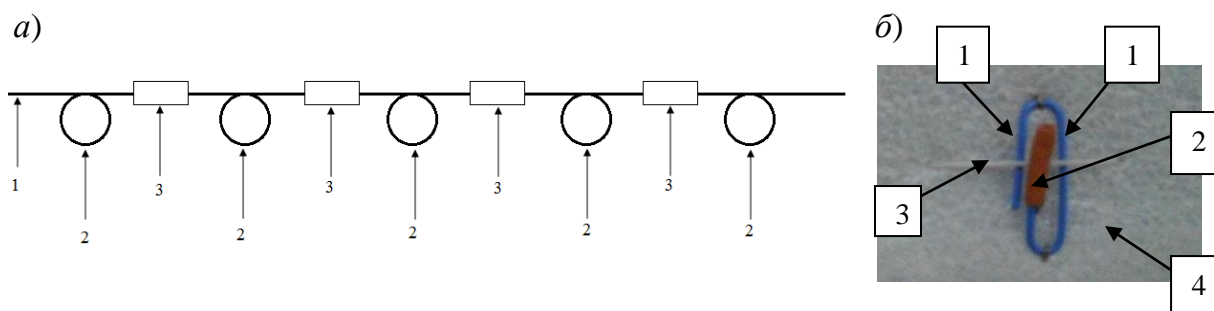


Рис. 2. Зависимости коэффициента корреляции от деформации световода, при перезаписи опорного изображения:

1 – зависимость  $\rho_{12}(z)$  до момента перезаписи опорного изображения, 2 – зависимость  $\rho_{12}(z)$  после момента перезаписи опорного изображения

На основе проведённых исследований был создан макет ВОИС охраны периметра. Физическая реализация макета ВОИС охраны периметра представляет собой площадку размером  $0,64 \times 0,80$  м, условно разбитую на 20 сегментов. Амплитудные ВОД на основе многомодовых ВС (по 10 ЧЭ в ИЛ) уложены параллельно, так, что через каждый сегмент проходят две линии. При этом на каждой ИЛ в сегменте располагается по два ЧЭ одного датчика, т. е. четыре ЧЭ на сегмент. Через все сегменты проложена одна ИЛ на основе одномодового ВС в виде OTDR-датчика (рис. 3а). ЧЭ амплитудного ВОД на основе многомодового ВС и OTDR-датчика имеют одинаковую конструкцию (рис. 3 б). Общий вид макета ВОИС охраны периметра показан на рисунке 4.



а) 1 – одномодовый волоконный световод, 2 – кассета с запасом ВС, 3 – ЧЭ;

б) 1 – опорные стержни, 2 – давящий стержень, 3 – волоконный световод, 4 – упругая среда

Рис. 3. а) измерительная линия на основе одномодового волоконного световода;

б) конструкция чувствительного элемента на основе многомодового и одномодового волоконных световодов



Рис. 4. Общий вид макета ВОИС охраны периметра

Сочетание разного типа измерительных линий с амплитудными ВОД на основе многомодовых ВС и с OTDR-датчиками на основе одномодового ВС, применённое в разработке макета, позволяет недостатки одних типов линий компенсировать преимуществами других. Обработка сигналов может происходить параллельно с применением известных и предложенных в работе методов, аккумулируясь в единое решение поставленной задачи.

**В третьей главе** проводится моделирование и исследование основных процессов реализации ИРИИС с учётом особенностей её применения для распознавания движущихся объектов и их параметров по сгенерированным данным с помощью генератора выборки примеров сенсорных данных и измеренным данным с макета ВОИС охраны периметра, сделаны оценки эффективности функционирования такой системы. А также исследованы и протестированы подходы, методы и способы, применяемые при проектировании модуля – системы обработки данных ИРИИС. Для этого в рамках разработанных подходов к созданию ИРИИС используются моделирование, нейронные сети, процесс нечёткого вывода и другие средства построения моделей систем.

Для решения задачи построения ИРИИС на основе РВОИС сегментарного типа, после анализа известных ИИС, была предложена общая структурно-функциональная модель реализуемой системы (рисунки 5 и 6). Процесс распознавания динамических образов представлен в виде последовательности взаимосвязанных функций: от сбора данных об объекте (блок I) до обработки (блок II).

Экспериментальные исследования ИРИИС показали необходимость интеграции интеллектуальных и традиционных информационных технологий, комбинированного использования различных методов представления и вывода знаний, усложнения архитектуры информационных систем.

Таким образом, возможность выбора и сочетания различных подходов, способов и методов в ИРИИС повышает эффективность функционирования системы, оценки которой по критериям качества можно разделить на две основные группы: точности и пригодности системы к выполнению поставленных задач.

Для выполнения главной задачи исследований в работе был создан программно-алгоритмический комплекс, позволяющий исследовать, тестировать предлагаемые

подходы, методы и способы обработки данных и доказывать их применимость на практике.

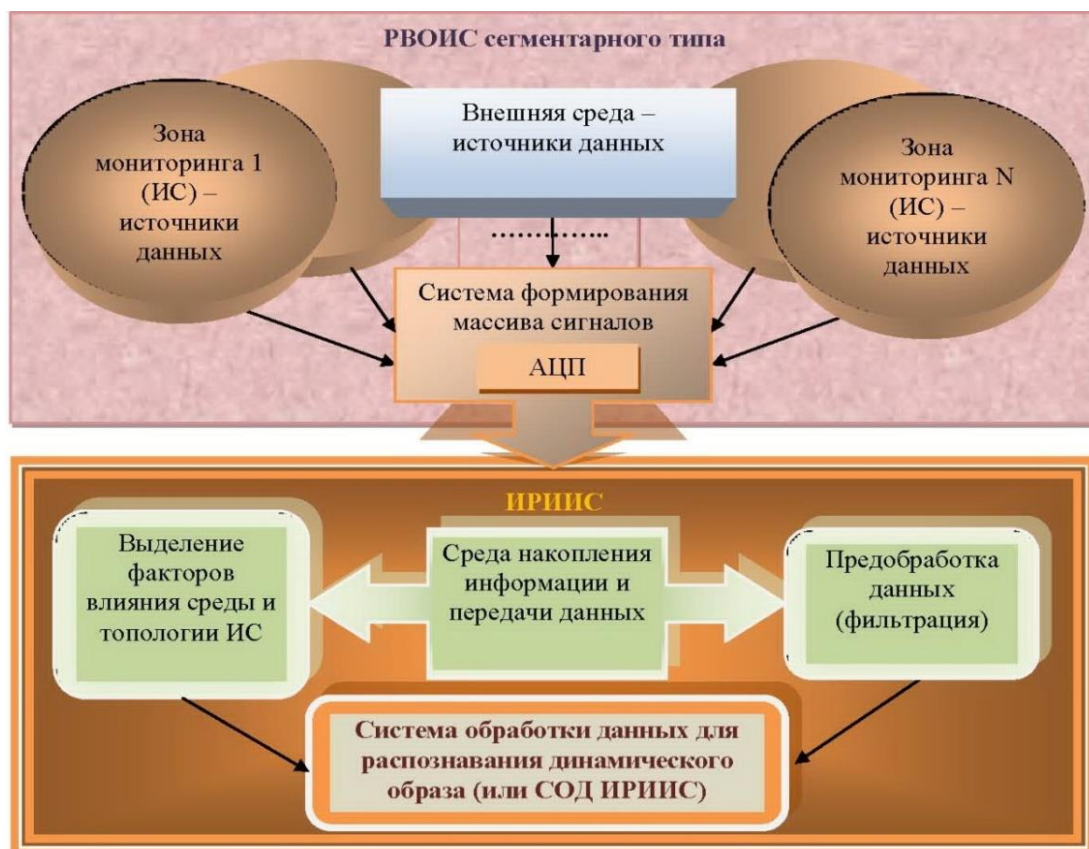


Рис. 5. Структурно-функциональная модель ИРИИС на основе РВОИС сегментарного типа (ИС – измерительный сегмент сети, АЦП – аналого-цифровой преобразователь)

Разработанные модули для генерации выборки сенсорных данных и для преобразования измеренных данных с макета ВОИС охраны периметра дают возможность подготовить выборки примеров данных для обучения и тестирования. По результатам обработки этих данных проверяют предложенные подходы и оценивают эффективность работы системы. Один подход основан на обработке данных многослойными нейронными сетями прямого распространения, а другой на проектировании продукционной нечёткой системы в виде нечёткого дерева решений.

Проблема снижения объёма (сжатия) входных массивов данных была решена тремя способами: с помощью сохранения фиксированного объёма информации при обработке и её обновлением в режиме реального времени, определением главных компонент и выделением значимых признаков.

В первом случае, поток данных, поступающий с каждой измерительной линии, может быть компактно представлен в виде фиксированного объёма информации о том, как давно состоялись последние  $m$  воздействий на измерительную линию и какой амплитуды они были. На рисунке 7 представлена графическая иллюстрация к предлагаемому способу (здесь и далее  $m = 4$ ;  $T_0$  – время инициализации). Аналогичные преобразования выполняются по всем  $n$  измерительным линиям РИС. В итоге, образуются и постоянно эволюционируют  $n$  векторов  $U_1, \dots, U_n$ , которые, объединяясь, передаются в качестве входного вектора нейронной сети.



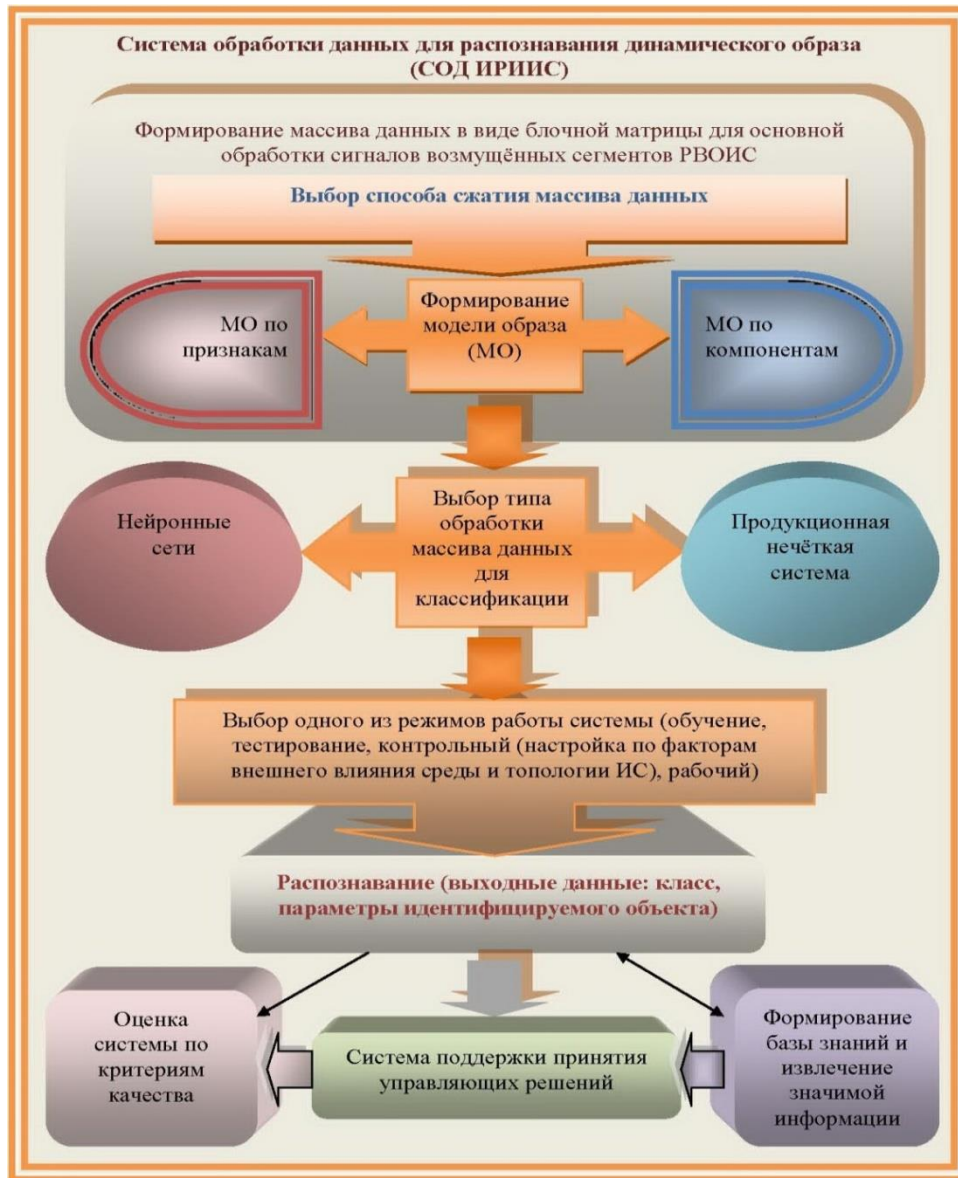


Рис. 6. Система обработки данных для распознавания динамического образа в структурно-функциональной модели ИРИИС на основе РВОИС сегментарного типа

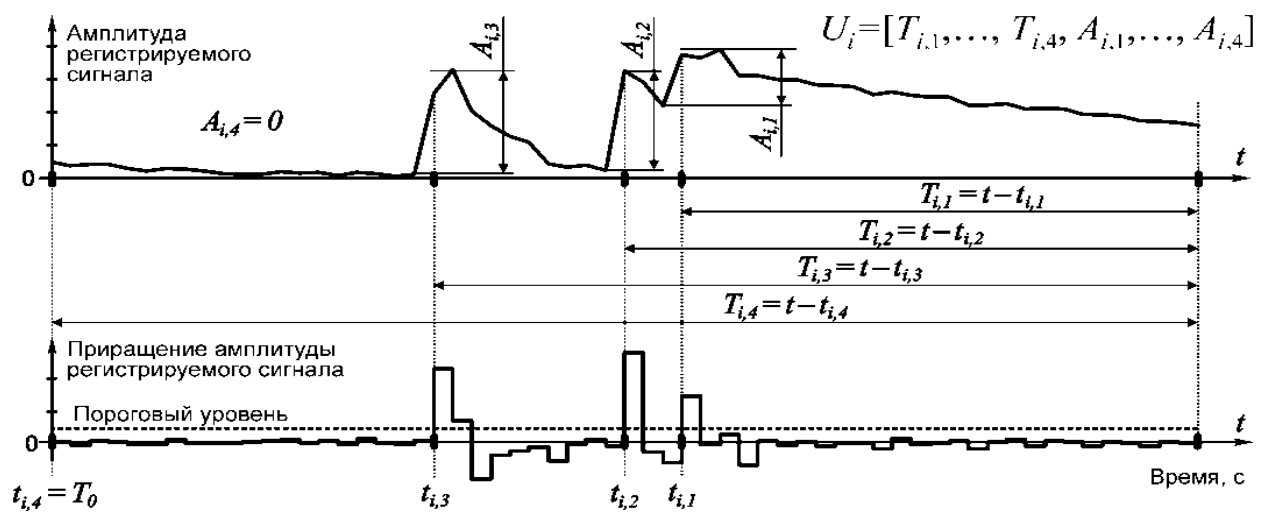


Рис. 7. Иллюстрация к способу компактного представления данных

Во втором случае, по полученным данным выделяют характерные признаки, по которым можно восстановить параметры самого регистрируемого объекта. Признаки по сгенерированным данным представлены в таблице 2, а по данным с макета ВОИС охраны периметра в таблице 3.

Таблица 2. Признаки для распознавания движущегося объекта по сгенерированным данным

Символы	Признаки
P1	Длительность инцидента
P2	Число активных измерительных линий
P3 P4	Среднее арифметическое и среднеквадратичное отклонение количества воздействий на активные измерительные линии
P5 P6	Среднее арифметическое и среднеквадратичное отклонение максимальных амплитуд для активных измерительных линий
P7 P8	Периодичность внешних воздействий на измерительную систему
P9-P12	Траектория движения нарушителя
P13	Среднеквадратичная ошибка аппроксимации траектории движения нарушителя

Таблица 3. Признаки для распознавания движущегося объекта по реальным данным

Символы	Признаки
P(1)	<i>длительность</i> инцидента
P(2)	число <i>активных</i> измерительных линий
P(3)	суммарное <i>количество воздействий</i> по всем линиям за время мониторинга ИС
P(4)	среднеквадратичное отклонение <i>числа воздействий</i> по линиям
P(5)	среднеарифметическое значение <i>амплитуд воздействий</i> по всем линиям
P(6)	среднеквадратичное значение <i>амплитуд воздействий</i> по всем линиям
P(7)	средняя <i>периодичность</i> воздействий
P(8)	среднеквадратичное отклонение <i>периодичности</i> воздействий
P(9)-P(12)	коэффициенты полинома, описывающего <i>траекторию</i> движения объекта
P(13)	среднеквадратичная ошибка аппроксимации <i>траектории</i> движения
P(14)	<i>непрерывность</i> воздействия на ИЛ
P(15)	<i>параллельность</i> воздействий на ИЛ
P(16)	<i>одновременность</i> воздействий на ВОИС
P(17)	<i>длина «пути»</i>
P(18)	<i>направление</i>
P(19), P(20)	взвешенные <i>«центры масс»</i> положения

В третьем случае, для сжатия данных использовали метод главных компонент по этим же данным. Процедуры по нахождению главных компонент и признаков привели к формированию двух моделей образов, которые использовались для данных, полученных с генератора выборки сенсорных данных и с макета ВОИС охраны периметра после обработки с помощью модуля преобразования измеренных данных.

В экспериментах данные с помощью генератора выборки примеров сенсорных данных моделируют для 11 примеров условных нарушителей периметра, разбитых на 4 класса. Масса, скорость и траектория нарушителя при моделировании каждого нового инцидента выбираются случайным образом. Было выполнено моделирование 10000 инцидентов и на их базе сформирована обучающая выборка, содержащая 20000 примеров. Для обучения нейронных сетей во всех случаях использовался метод Левенберга-Марквардта.

Рисунок 8 иллюстрирует типовые примеры обработки данных нейронными сетями по эволюционирующим  $n$  входным векторам при движении «нарушителя» в зоне мониторинга «в режиме реального времени».

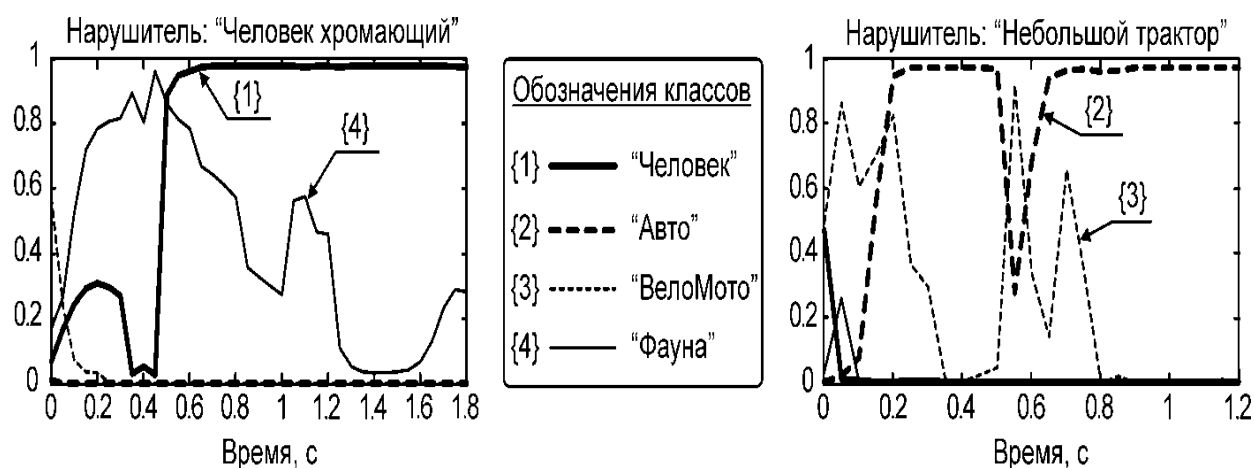


Рис. 8. Типовые примеры обработки данных нейронными сетями

На рисунке 9(a) представлена более полная картина зависимости точности экспертных оценок от нормированного времени движения «нарушителя» (0 соответствует моменту входа в зону мониторинга, 1 - выходу из нее). Из этого рисунка видно, что 40% времени движения нарушителя в зоне мониторинга достаточно для того, чтобы в 90% случаев его класс был определен верно. По результатам полного цикла перемещений в зоне мониторинга класс нарушителя определяется правильно в 97% случаев, а его направление в 99% случаев. Наибольшая погрешность (>30%) регистрируется при оценке массы «нарушителя». Влияние нерегулярной последовательности укладки измерительных линий, как видно из рисунка 9(б), в основном повлияла на способность системы к «раннему обнаружению». В обоих случаях достигнуты соизмеримые результаты.

При обработке по признакам для сгенерированных данных исследование показало, что при ограниченном количестве классов для обучения нейронной сети необходимо не менее 500 примеров в обучающей выборке, а при расширенном – не менее 5000 примеров. Таким образом, ошибка при определении массы составила 5-8%, скорости – 2-3%, а класса и направления – 3-4,5% для ограниченной выборки. Ошибка для расширенной выборки при определении массы составила 13-15%, скорости – около

1,6%, класса и направления – 5-6%. На вход НС достаточно подавать вектора, состоящие только из наиболее значимых признаков, а не все выделенные признаки. Для отбора значимых признаков был разработан алгоритм, основанный на методе направленного перебора.

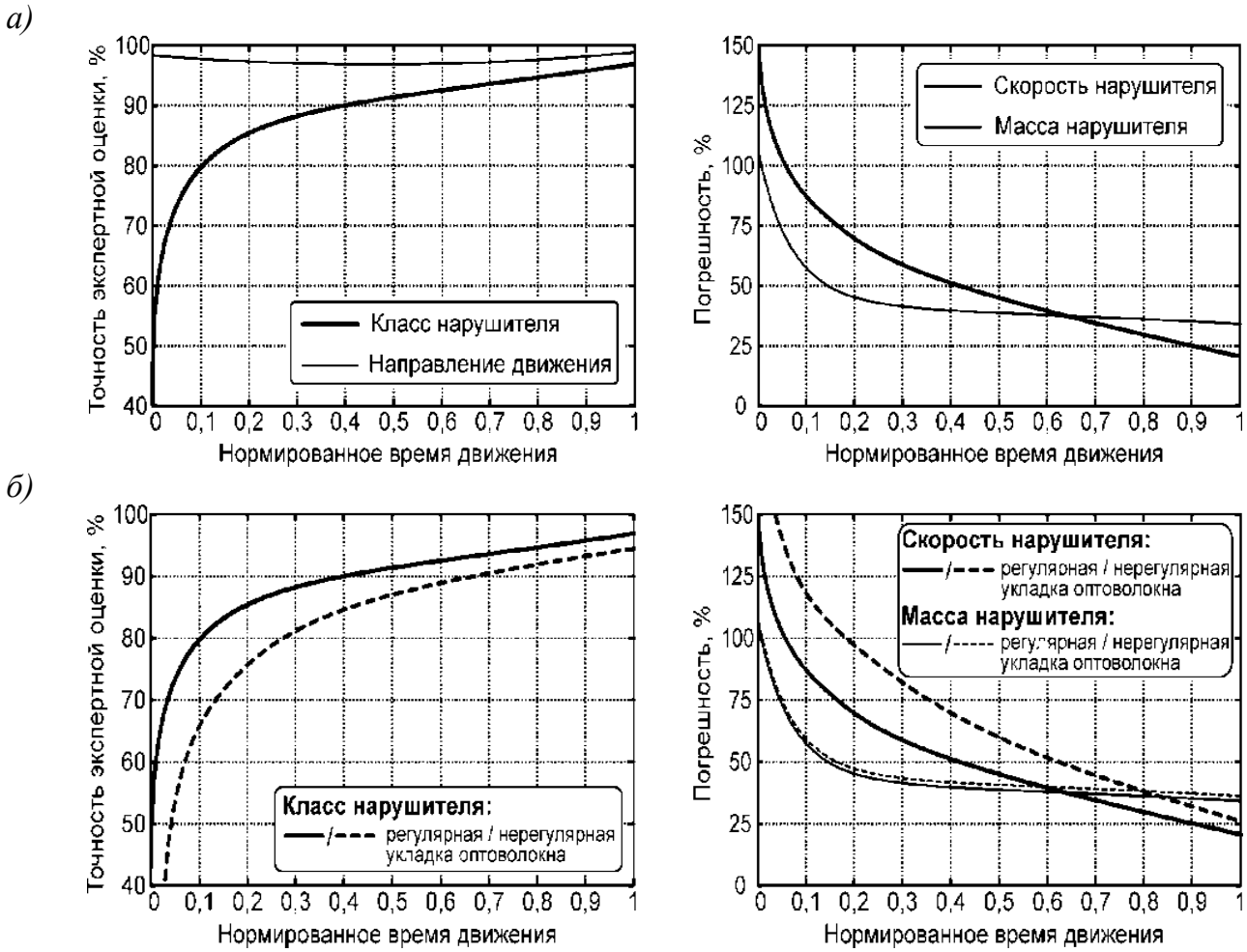


Рис. 9. Характеристики точности системы: а) регулярная укладка ИЛ; б) нерегулярная укладка ИЛ

Для оценки способности системы выполнить поставленную задачу распознавания движущихся объектов был выработан критерий пригодности, величина которого рассчитывалась при определении типа объекта (т.е. его класса и направления движения) подобно коэффициенту корреляции Пирсона по формуле:

$$r_{xy} = \frac{n \times \sum_{i=1}^n (x_i \times y_i) - \left( \sum_{i=1}^n x_i \times \sum_{i=1}^n y_i \right)}{\sqrt{\left[ n \times \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right] \times \left[ n \times \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right]}}, \quad (3)$$

$x_i$  – значения независимой переменной (фактический номер типа объекта);  $y_i$  – значения зависимой переменной (номер объекта, полученный после распознавания его

класса и направления нейронной сетью по признакам);  $n$  – количество наблюдений (примеров).

Критерий пригодности системы для выполнения поставленной задачи достигает 0,91, зависит от количества признаков и практически перестаёт значительно меняться (отклонение в пределах  $\pm 0,02$ ) при достижении 8 признаков в наборе и более.

Результаты обработки нейронными сетями для данных с макета ВОИС по 20 признакам (таблица 3) и по 19 главным компонентам с учётом времени инцидента представлены в таблице 4.

Таблица 4. Результаты обработки реальных данных нейронными сетями

Параметр движущегося объекта	Ошибка по обучающей выборке (10000 примеров), %		Ошибка по тестовой выборке (200 примеров), %		Значимые признаки	Кол-во главных компонент
	По признакам	По главным компонентам	По признакам	По главным компонентам		
Класс	0,04	0,01	0	0	7,14	2
Направление движения	0	0	0	0	19,20	4
Масса	10,2127	14,3098	9,7757	11,9496	3,5,6,15,20	9
Длина пути	6,6221	7,5857	6,5462	7,7334	3,4,5,6,15,19	19

Для получения достаточного количества примеров обучающей выборки по реальным данным был разработан модуль преобразования реальных данных, с помощью которого было получено 10000 альтернативных примеров из 200 реальных примеров трансформацией скорости, направления движения, массы и времени воздействия движущегося объекта на измерительную сеть. По таблице 4 можно видеть, что класс и направление движения распознаются с ошибкой 0-0,01%, т.е. практически безошибочно. При определении массы точность ожидаемо ниже и составляет  $\approx 10\%$  по пяти признакам и  $\approx 12\%$  по девяти главным компонентам, а при нахождении длины пути она оказалась  $\approx 6,5\%$  по шести признакам и  $\approx 8\%$  по 19 главным компонентам. В таблице 4 также выделены наиболее удачные наборы признаков для определения массы и длины пути.

Для проектирования продукционной нечёткой системы предложено использовать метод построения дерева решений на основе нечетких продукций. С привлечением известных этапов получения нечётких заключений на основе нечётких условий или предпосылок и понятий нечёткой логики был создан алгоритм построения нечёткого дерева решений. Блок схема процесса реализации алгоритма для построения нечёткого дерева решений показана на рисунке 10.

*Процесс построения нечёткого дерева решений* заключается в оптимизации функции принадлежности всех входных и выходных лингвистических переменных при повторении выше описанных блоков до тех пор, пока не будет достигнуто определённое значение целевой функции, то есть заданное минимальное количество ошибочно найденных значений искомых параметров для обучающей выборки. Результаты обработки данных продукционной нечёткой системой в виде нечёткого



дерева решений представлены в таблице 5. Критерий качества работы разработанной продукционной нечёткой системы в виде нечёткого дерева решений показывает, что такая система способна решать поставленную задачу с удовлетворительной точностью. Наибольшее количество ошибок было допущено при определении массы и длины пути для тестовой выборки они составили 6,65% и 14,89% по признакам, а также 10% и 25,5% по главным компонентам, соответственно.



Рис. 10. Блок-схема алгоритма построения нечёткого дерева решений

Структура нечёткого дерева решений, обученная на 10000 примерах и протестированная на 200 примерах, которые были получены с помощью макета ВОИС охраны периметра, имеет тенденцию к усложнению по мере возрастания количества

распознаваемых объектов и типа параметров. Поэтому такая система для обработки данных может быть использована при распознавании ограниченного числа классов объектов, так и их определяемых параметров.

Таблица 5. Результаты обработки реальных данных нечётким деревом решений

Параметр движущегося объекта	Ошибка по обучающей выборке (кол-во из 10000 примеров), %		Ошибка по тестовой выборке (кол-во из 200 примеров), %	
	По признакам	По главным компонентам	По признакам	По главным компонентам
Класс	0,13 (13)	0,47 (47)	0	0,5(1)
Направление движения	0,25 (25)	0,51 (51)	0,5 (1)	0
Масса, кг	4,75 (475)	6,65 (665)	2,5 (5)	10 (20)
Длина пути, м	8,95 (895)	14,89 (1489)	13 (26)	25,5 (50)

Таким образом, предобработка данных и их преобразования предлагаемыми способами даёт возможность значительно ускорить процесс обработки, как нейронными сетями, так и нечётким деревом решений и позволяет решать задачу идентификации движущихся объектов в зоне мониторинга ВОИС практически без потерь в точности. Тестирование СОД ИРИИС и предложенные оценки эффективности работы ИРИИС по критериям качества работы системы показывают, что способ предобработки и модель образа по данным должны выбираться в системе в зависимости от качества обучения разными подходами и сложности формирования моделей распознаваемых динамических образов и с учётом факторов влияния внешней среды.

В конце главы подведены итоги и определены основные результаты.

**В заключении** приведены основные результаты и выводы, имеющие научную и практическую ценность.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Разработаны обобщённая, функциональная и структурная модели ИРИИС на основе РВОИС сегментарного типа для идентификации движущихся объектов в зоне мониторинга измерительной сети, предназначенные для построения системы поддержки принятия решений.
2. Предложен новый подход при построении ИРИИС на основе РВОИС сегментарного типа с учетом специфики ЭС как отдельного класса интеллектуальных информационно – измерительных систем.
3. Разработан набор специальных способов и методов обработки данных в ИРИИС на основе РВОИС сегментарного типа для идентификации движущихся объектов в зоне мониторинга измерительной сети.
4. Предложен метод проектирования продукционной нечёткой системы в виде нечёткого дерева решений, не требующий от эксперта специальной подготовки и позволяющий достаточно легко строить модель базы знаний через обучение.
5. Создан программно-алгоритмический комплекс и проведено моделирование динамических образов для реализации подходов, способов и методов обработки

данных в виде продукционной нечёткой системы и экспертной системы с привлечением нейронных сетей, что представляет собой основу предложенной ИРИИС и позволяет описать её функционирование и структуру.

6. Предложена методологическая база построения подобных интеллектуальных информационно-измерительных систем, включающая подходы к созданию ИРИИС на основе РВОИС, модули для генерации выборки сенсорных данных и для преобразования измеренных данных с макета ВОИС охраны периметра, способы формирования моделей образов по выделенным признакам и главным компонентам и экспериментальный макет ВОИС охраны периметра, предоставляющий основу для разработки ЭС мониторинга в области систем безопасности.

## ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

*В изданиях из списка ВАК:*

1. Denisov, I.V. Neural Data Processing Method for Fiber-Optic Distributed Measuring System / I.V. Denisov, O.T. Kamenev, **A.Yu. Kim**, Yu.N. Kulchin, A.V. Panov // Optical Memory and Neural Networks (Information Optics), 2003. - Vol.12 (3). – P. 165-172.
2. Кульчин, Ю.Н. Распознавание динамических образов распределённой информационно-измерительной системой сегментарного типа / Ю.Н. Кульчин, **А.Ю. Ким** // Проблемы управления, Москва, 2006. – №5. – С. 52-57.
3. Kulchin, Yu.N. Reconstruction of Distributed Physical Fields in Integrating Measuring Systems and Systems of Direct Measuring in Rare Points of Field / Yu.N. Kulchin, B.S. Notkin, **A.Yu. Kim** // Optical Memory and Neural Networks (Information Optics), 2008. - Vol. 17(2). - P. 93-100.
4. Кульчин, Ю.Н. Построение алгоритма нечёткого дерева решений на основе экспериментальных данных при обработке сигналов РВОИС / Ю.Н. Кульчин, **А.Ю. Ким**, Б.С. Ноткин, А.Б. Люхтер // *Информатика и системы управления*, 2014. – №3(41). – С.103-114.

*В других изданиях:*

5. Kulchin, Yu.N. Dynamic Image Pattern Recognition Using the Reconstructed Signal of Fiber-Optic Measuring System / Yu.N. Kulchin, **A.Yu. Kim** // Pacific Science Review, 2002. – Vol.4. – P. 55-58.
6. Кульчин, Ю.Н. Распознавание динамического объекта по восстановленному сигналу волоконно-оптической измерительной системы / Ю.Н. Кульчин, **А.Ю. Ким** // Материалы НТК «Молодёжь и научно-технический прогресс», ДВГТУ, г. Владивосток, 2004. – С. 111.
7. Кульчин, Ю.Н. Волоконно-оптическая система охраны периметра: исследование возможности применения нейронных сетей / Ю.Н. Кульчин, Б.С. Ноткин, **А.Ю. Ким** // Сб. науч. Тр.11-ой Всерос. н.-т. конф. «Нейроинформатика 2009». – М.: МИФИ, 2009. – Т. 2. – С. 259-266.
8. Kulchin, Yu.N. Application of Neural Networks in Fiber-Optics System of Perimeter Defense / Yu.N. Kulchin, B.S. Notkin, **A.Yu. Kim**, O.T. Kamenev and Yu.S. Petrov // Pacific Science Review, Kangnam University, Republic of Korea, 2010. – Vol. 12(1). – P. 98-101.
9. Kulchin, Yu.N. Data Processing of Fiber-Optics System of Perimeter Defense by means of Neural Networks / Yuri N. Kulchin, **Alexandra Yu. Kim** // Proceedings of 20 Anniversary Korea-Russia Science Conference, Baikal, Russia, 2010. – P. 33-35.

10. Kulchin, Yu.N. Reconstruction of Distributed Physical Fields in Different Types of Measuring Systems: Comparison and Analysis of Results / Yu.N. Kulchin, B.S. Notkin and **A.Yu. Kim** // Proceedings of Seventh Asia- Pacific Conference on Fundamental Problems of Opto – and Microelectronics APCOM'2007, г. Владивосток, 2007.
11. Kulchin, Yu.N. Concepts of Intelligent Fiber-Optics System of Perimeter Defense / Yuri N. Kulchin, Boris S. Notkin and **Alexandra Yu. Kim** // Proceedings of Ninth Asia-Pacific Conference on Fundamental Problems of Opto – and Microelectronics APCOM'2009, г. Владивосток, 2009.
12. **Kim, A.Yu.** Construction of Fuzzy Decision Tree Based on Experimental Data for Signal Processing of Distributed Fiber-Optic Measuring Network / Alexandra Yu. Kim and Yuri N. Kulchin // Proceedings of Asia- Pacific Conference on Fundamental Problems of Opto – and Microelectronics APCOM'2014, Kokushikan University, Tokyo, 2014. – P. 45-49.
13. **Kim, A.Yu.** Signal Processing System of Segmental Distributed Fiber-Optic Measuring Network for Recognition of Dynamic Images Using Neural Networks / Alexandra Yu. Kim and Yuri N. Kulchin // Proceedings of Asia- Pacific Conference on Fundamental Problems of Opto – and Microelectronics APCOM'2014, Kokushikan University, Tokyo, 2014. – P. 39-44.
14. Kulchin, Yu.N. Recognition of Dynamic Images by Signal Processing System of Fiber-Optic Measuring Network Using Neural Technology / Yuri N. Kulchin, **Alexandra Yu. Kim** and Boris S. Notkin // Proceeding of Fundamental Science and Technology – Promising Developments IV, North Charleston, USA, 2014. – Vol.1. – P. 183-190

**Личный вклад автора.** Постановка задачи исследований осуществлена совместно с научным руководителем. Основные результаты диссертации получены лично автором. Соискатель лично участвовала в разработке и обосновании методов решения поставленных задач, интерпретации полученных результатов в работах [2, 3, 6-11]. Автором разработаны, проверены и протестированы алгоритмы и компьютерные программы для реализации предложенных подходов, способов и методов в работах [1, 4, 5, 12-14].

Ким Александра Юрьевна

Распознавание динамических образов интеллектуальной распределённой  
информационно-измерительной системой сегментарного типа

Автореферат

Подписано в печать 25.05.2015г.	Усл. печ. л. 1,0.	Уч.- изд. л. 0,84
Формат 60x84/16.	Тираж 100 экз.	Заказ

---

Издано ИАПУ ДВО РАН. г. Владивосток, Радио, 5.  
Отпечатано участком оперативной печати ИАПУ ДВО РАН.  
г. Владивосток, Радио, 5.