

УДК 004.93'1; 004.932; 004.8.032.26; 528.8:52(15)

## Лаборатория идентификации систем: основные результаты

**Инютин Александр Владимирович**

*заведующий лабораторией идентификации систем*

*E-mail: avin@newman.bas-net.by*

**Старовойтов Валерий Васильевич**

*главный научный сотрудник лаборатории идентификации систем,*

*доктор технических наук, профессор*

Лаборатория идентификации систем является базовой лабораторией института в области идентификации сигналов и систем. Образована она в 1994 г. на базе лаборатории проблем построения САПР СБИС Брестского отделения института (д-р техн. наук, проф. Р. Х. Садыхов – зав. лабораторией, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. А. А. Дудкин, А. Г. Мачнев). С 2015 г. руководитель лаборатории – д-р техн. наук, проф. А. А. Дудкин, с 2023 г. – А. В. Инютин.

**Основные научные направления.** Основным научным направлением лаборатории является разработка методов и алгоритмов обработки изображений и распознавания объектов в системах технического зрения, а также направление прикладных исследований – разработка аппаратно-программных комплексов идентификации для различных областей народного хозяйства.

В настоящее время в лаборатории работают восемь человек, в том числе один доктор технических наук и четыре кандидата наук: заведующий А. В. Инютин, гл. науч. сотр., д-р техн. наук, проф. В. В. Старовойтов, вед. науч. сотр., канд. техн. наук, доц. Ю. И. Голуб, ст. науч. сотр. канд. техн. наук, доц. А. А. Воронов, канд. техн. наук В. В. Ганченко, канд. техн. наук, доц. М. М. Лукашевич, науч. сотр. Л. П. Поденок, мл. науч. сотр. В. В. Венгеренко.

В период с 1995 г. по 2020 г. в лаборатории работали канд. техн. наук Е. А. Шестаков, канд. техн. наук Д. А. Вершок, канд. техн. наук В. А. Самохвал, канд. техн. наук Н. А. Романовская, А. В. Отвагин, А. Л. Муравин, М. Е. Ваткин, канд. техн. наук, докторант В. А. Головко, А. М. Селиханович, канд. филос. наук Д. А. Вятчин, канд. техн. наук У. Ю. Ахунджанов.

Под научным руководством Р. Х. Садыхова сотрудниками лаборатории защищены две докторские диссертации: В. А. Головко (2003) и А. А. Дудкин (2010) и пять кандидатских: А. Г. Мачнев (1995), В. А. Самохвал (1998), Д. А. Вершок (2002), М. Е. Ваткин (2006), А. В. Отвагин (2007). Под научным руководством А. А. Дудкина защитились В. В. Ганченко (2010) и А. А. Воронов (2012), под научным руководством В. В. Старовойтова – У. Ю. Ахунджанов (2023).

В лаборатории разработаны: методы и алгоритмы идентификации изображений и пространственных образов, основанные на использовании спектральных дескрипторов в различных ортогональных базисах и аппарата моментных функций; технологии проектирования систем компьютерного видения, ориентированные на создание аппаратно-программных комплексов реального времени; эффективные по быстродействию алгоритмы генерирования нейронных сетей иерархической классификации образов; технология предварительной обработки и анализа видеоизображений слоев интегральных схем, которая является основой для создания компьютерных систем оперативного анализа электронных изделий большой степени интеграции.

Ряд разработок лаборатории внедрены на производстве: автоматизированная система восстановления топологии двухуровневой металлизации из оцифрованного изображения слоев металлизации кристалла интегральной схемы (концерн «Планар»), система цифровой обработки изображений образцов элементов и узлов электронных изделий (НПО «Интеграл»), система распознавания рукописных арабских цифр и система распознавания (верификации) рукописной подписи (НИИЭВМ).

Лаборатория поддерживает тесные научные контакты с учеными Центра нейрокомпьютеров РАН и ЛЭТИ (Россия), Сианьским институтом оптики и точной механики КАН (Китай), Biligoba Teknoloji Ltd. Sti (Турция), Институтом информационных технологий ВАНТ (Вьетнам), Тернопольской академией народного хозяйства и Львовским политехническим университетом (Украина), Силезским и Щетинским техническими университетами, Industrial Institute of Agricultural Engineering (Польша), Западным университетом Тимишоара (Румыния), Международным университетом Рифа (Пакистан), университетом Крайст (Индия), университетами Белграда (Сербия), Жилины (Словакия), PARIS XII (Франция), Зальцбурга (Австрия) и Тессалоники (Греция).

В настоящее время некоторые сотрудники лаборатории участвуют в подготовке специалистов вузов, читают курсы лекций: профессор В. В. Старовойтов – «Методы обработки изображений», БНТУ, Л. П. Поденок – «Системное программное обеспечение вычислительных систем», «Базы данных», БГУИР, доцент А. А. Воронов – «Компьютерная безопасность распределенных систем», «Нейросетевая обработка данных», БГУ, «Структурная и функциональная организация ВМ», «Вычислительные машины, системы и сети», «Теория алгоритмов обработки данных», БГУИР, а также руководят дипломным проектированием и НИР, являются членами ГЭК. Многие являются членами организационных и программных комитетов международных конференций PRIP, ICNNAI, CAD-DD, участвуют в конференциях Беларуси, СНГ и дальнего зарубежья.

Ежегодно публикуется около 30 статей в журналах и сборниках трудов конференций. Совместно с кафедрой ЭВМ БГУИР был проведен ряд международных конференций: The Third International Conference on Neural Networks and Artificial Intelligence ICNNAI-2003, The 8th International Conference on Pattern Recognition and Information Processing PRIP'2005, The Fifth International Conference on Neural Networks and Artificial Intelligence ICNNAI'2008, The 11th International Conference on Pattern Recognition and Information Processing PRIP'2011.

**Основные разработки.** Совместно с ОАО «КБТЭМ-ОМО» разработан и внедрен программный комплекс классификации дефектов топологии, обнаруживаемых в результате автоматического контроля топологических слоев полупроводниковых пластин. Программные средства используются в установке автоматического микроконтроля привносимых дефектов на пластинах с топологией ЭМ-6429 и позволяют накапливать информацию о дефектах, классифицировать их, просматривать дефекты на полупроводниковой пластине, работать с дефектными ведомостями (рис. 1). Интерфейс программы прост для освоения, удобен в работе и дает возможность сохранять концепцию предприятия проектировать все установки как единый комплекс. Разработанную программу можно использовать и для других установок автоматического контроля топологического рисунка шаблонов или пластин.

Также разработан и внедрен программный комплекс подготовки топологических данных для специализированного технологического оборудования контроля топологических структур на фотошаблонах. Он обеспечивает возможность преобразования и синтаксического анализа топологических данных из форматов САПР в формат специализированного технологического оборудования производства СБИС, установок автоматического контроля полупроводниковых пластин и фотошаблонов. Разработанные программные средства подготовки топологических данных для специализированного технологического оборудования контроля топологических структур на фотошаблонах предназначены для замены дорогостоящих зарубежных аналогов, позволяют сократить расходы и время разработки и производства оригиналов топологии СБИС со сложностью свыше 800 млн топологических элементов за счет сокращения времени преобразования данных с использованием параллельных вычислений. Программный комплекс работает совместно с установками автоматического контроля топологии на фотошаблонах ЭМ-6329 (рис. 2).

Совместно с НТЦ «Белмикросистемы» ОАО «Интеграл» разработан программный комплекс обработки и анализа изображений для систем технического зрения в микроэлектронной промышленности (рис. 3). Комплекс предназначен для ввода проектной информации в системы автоматизированного проектирования; оперативного сбора объективной информации о качестве выполнения той или иной технологической операции; получения информации, необходимой для экспресс-анализа изделий предприятий-конкурентов.



Участники Седьмой Международной конференции ICNNAI2012, 10–12 октября 2012 г.:  
А. В. Мышев, А. А. Дудкин, Р. Хиромото, А. В. Инютин, А. Липницкас (верхн. ряд); Я. Вассерман,  
В. Пьюри, К. Мадани, А. А. Воронов, К. Римкус (средн. ряд); А. Гречко, Р. Морено, Р. Х. Садыхов (нижн. ряд)

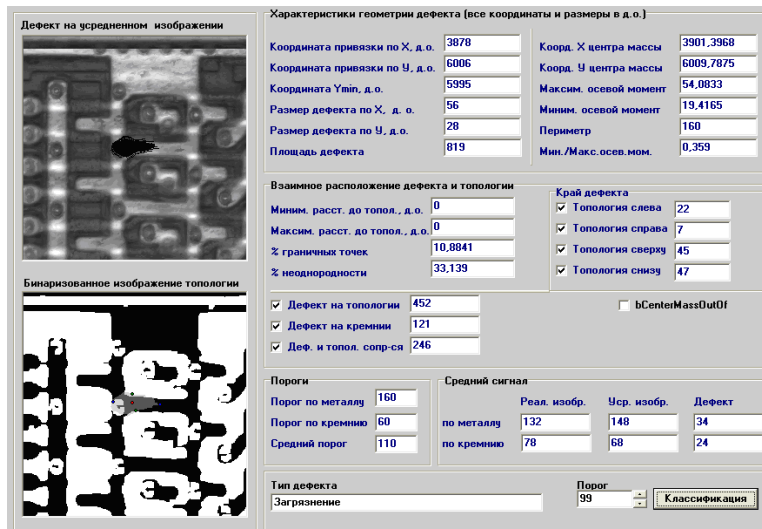


Рис. 1. Программный комплекс классификации дефектов топологии, обнаруживаемых в результате автоматического контроля топологических слоев полупроводниковых пластин



Рис. 2. Установка автоматического контроля топологии на фотощаблонах ЭМ-6329

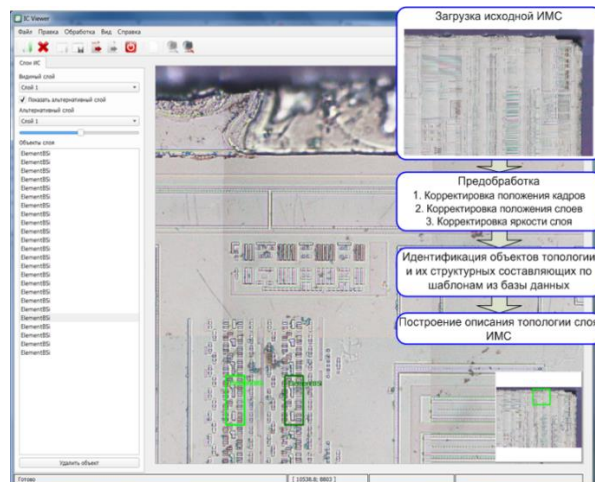


Рис. 3. Программный комплекс обработки и анализа изображений для систем технического зрения в микроэлектронной промышленности

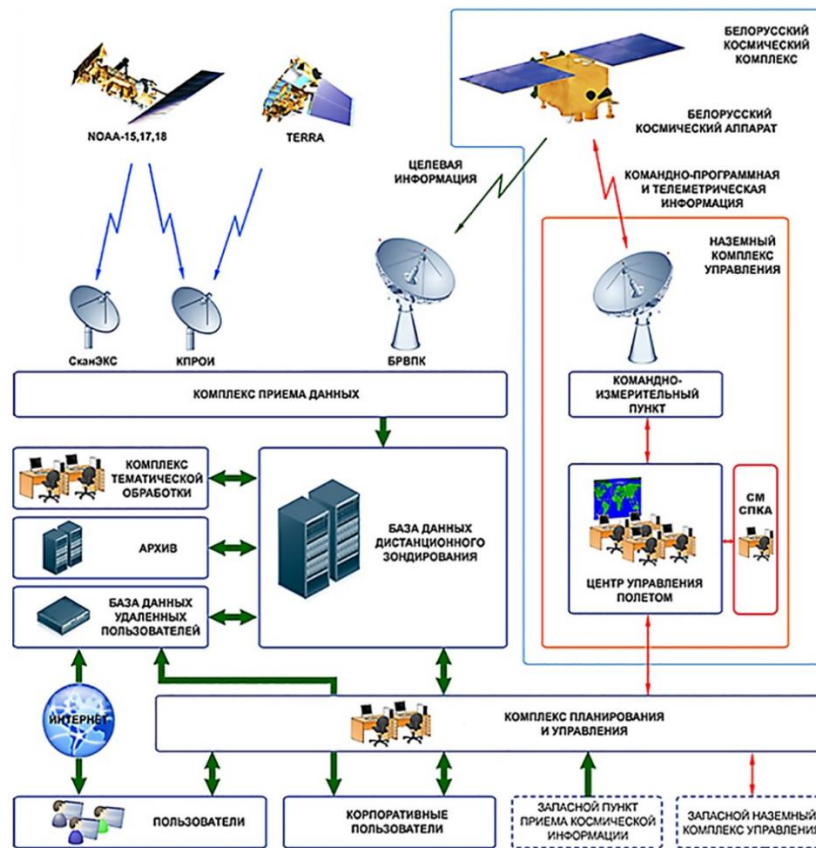


Рис. 4. Нейросетевая система мониторинга состояния и поведения подсистем космических аппаратов по телеметрическим данным (СМ СПКА) в составе наземного сегмента Белорусской космической системы дистанционного зондирования Земли

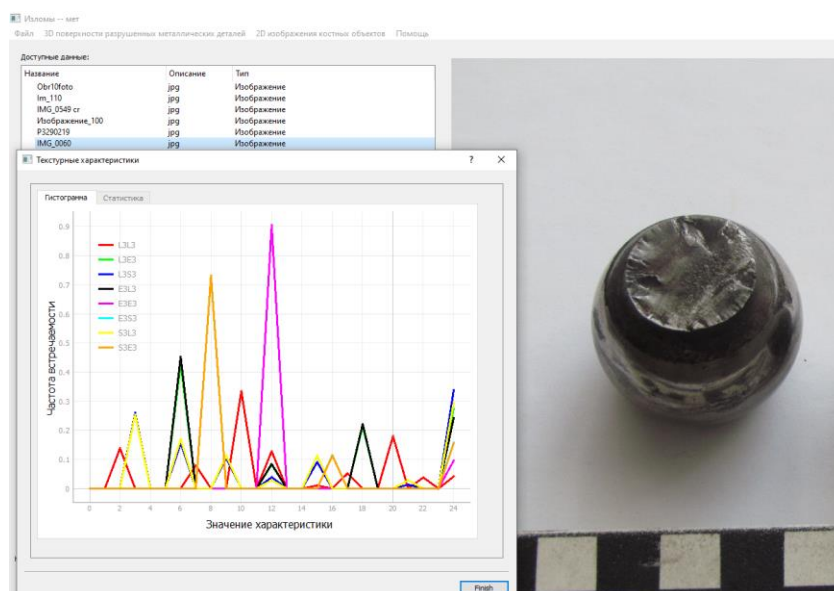


Рис. 5. Пользовательский интерфейс автоматизированной системы анализа изображений поверхностей изломов металлических деталей



Рис. 6. Изображения для верификации из базы CEDAR: слева – поддельная подпись, справа – подлинная (верхн. ряд). Семь подлинных подписей этого же человека (нижн. ряд)

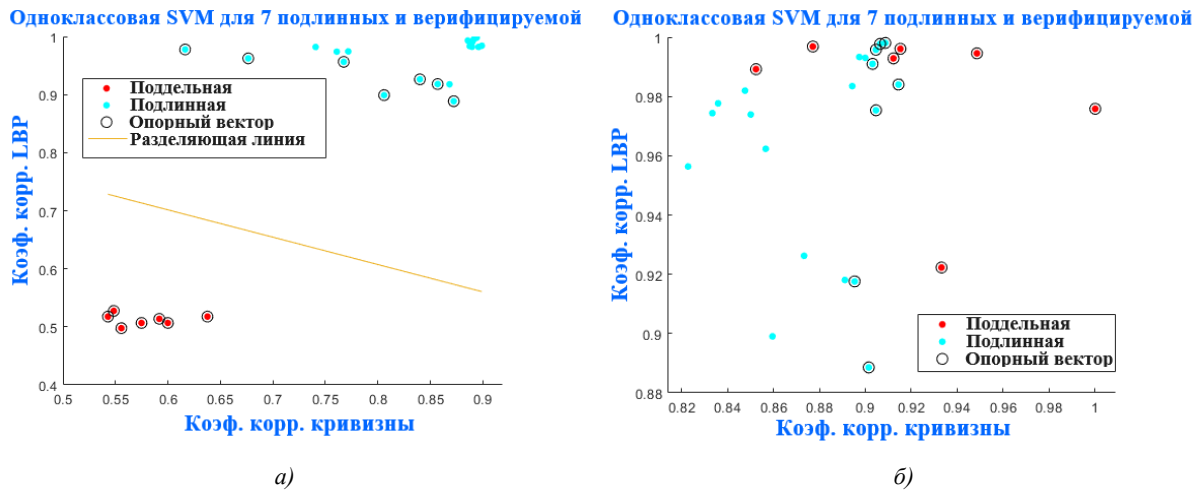


Рис. 7. Пример верификации подписи при сравнении с семью подлинными:  
а) подпись определена как поддельная; б) подпись подлинная

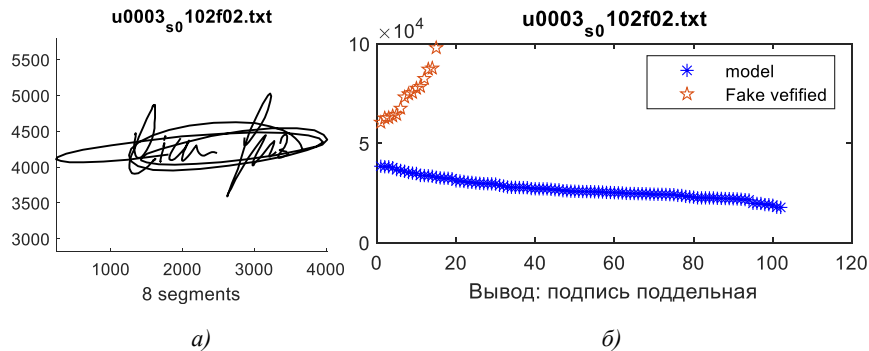


Рис. 8. Визуализация поддельной динамической подписи человека с ID0003 (а); результат ее верификации на базе  $N=15$  подлинных подписей (б)

Совместно с УП «Геоинформационные системы» разработан экспериментальный образец нейросетевой системы мониторинга состояния и поведения подсистем космических аппаратов по телеметрическим данным для наземного командно-измерительного комплекса (рис. 4).

Использование нейросетевой системы позволяет повышать эксплуатационные характеристики систем космической телеметрии, обеспечивает эффективное использование программно-технических средств системы мониторинга состояния бортовых объектов и подсистем космического аппарата в решении проблемы повышения его живучести за счет рационального планирования сеансов телеметрии. В развитие данной системы сейчас ведется разработка нейросетевого программного комплекса для мониторинга и прогнозирования состояния подсистем аппаратов группировки спутников. Разрабатываемый комплекс отличается тем, что мониторинг и прогнозирование основаны на нейросетевом анализе телеметрических данных непосред-

ственно на борту космического аппарата с использованием моделей, подготовленных на Земле. Алгоритмы анализа телеметрии основаны на глубоких искусственных нейронных сетях и машинном обучении, ориентированных на учет корреляций состояний датчиков подсистем космического аппарата группировки для обеспечения надежного прогноза при высокой погрешности вычислений параметров датчиков в условиях наличия помех и высокой вероятности их отказа. Поддерживается возможность обновления используемых на борту нейросетевых моделей и сохранения полученной телеметрии от космического аппарата группировки в единой базе данных.

Совместно с Научно-практическим центром Государственного комитета судебных экспертиз Республики Беларусь разработана автоматизированная система анализа изображений повреждений изломов металлических деталей для судебно-экспертных исследований (рис. 5). Она используется для автоматизации процесса судебно-экспертных исследований объектов криминалистической и медико-криминалистической экспертизы в части решения диагностических и идентификационных задач с применением компьютерного анализа цифровых изображений определенных классов объектов.

Разработаны метод анализа подлинности статической подписи человека при малом числе образцов для обучения классификатора и методика унификации представления цифрового изображения рукописной подписи в виде ее контура фиксированного размера и ориентации, не зависящего от исполнения (типа ручки, цвета, наклона подписи, ее размера и разрешения при сканировании). Предложено вычислять индивидуальные новые структурные признаки подписи человека в виде векторов нормализованных частотных распределений значений локальных бинарных шаблонов точек и локальной кривизны контуров подписи. Также предложено новое признаковое пространство, в котором образы пар образцов подписей человека представлены коэффициентами ранговой корреляции между вышеназванными признаками. Такой подход позволяет увеличивать число образов (в условиях небольшого количества доступных подлинных подписей одного человека) для обучения классификатора. Разработан оригинальный алгоритм верификации подписи человека, основанный на построении модели одноклассовой машины опорных векторов и построении ее в качестве классификатора для распознавания подписей этого человека. При верификации всех 2640 подписей из доступной базы CEDAR (содержит подписи 55 человек, половина поддельные) только шесть подлинных были распознаны как поддельные, а все поддельные были классифицированы верно (рис. 6, 7). Точность классификации составила 99,77 %. Точность лучшего из известных результатов на данных этой базы составила 94,40 %.

Сейчас в лаборатории ведутся исследования по верификации нормализованных разными способами подписей онлайн, т. е. подписей, выполненных на планшете стилусом и заданных тремя параметрами: координатами  $X$ ,  $Y$  и давлением на планшет  $P$ . Результаты показали, что верификацию подписей для выявления фальшивых с высокой точностью можно выполнять без вычисления дополнительных динамических признаков, используя ограниченный набор (от 5 до 15) подлинных подписей одного человека (рис. 8).

Сбалансированная точность верификации 5000 подписей 100 человек из базы МСУТ-100 составила 0,9926, а ошибка EER = 0,74 %, что является лучшим из известных показателей.