



ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ПОВЕРКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

С.К. Киселев, Е.В. Романова (ОАО "Электроприбор")

Рассматриваются проблемы создания алгоритмического обеспечения систем автоматизации поверки измерительных приборов. Предлагается технология настройки системы автоматизации поверки на новые типы поверяемых приборов путем обучения искусственной нейронной сети, на основе которой построено ее алгоритмическое обеспечение.

Системы автоматизации поверки (АП) в настоящее время достаточно широко применяются для метрологической аттестации самых разнообразных средств измерений: цифровых электроизмерительных приборов [1], средств радиотехнических измерений [2], стрелочных щитовых приборов [3], средств неразрушающего контроля [4]. Учитывая, что системы АП, эксплуатируемые в настоящее время, являются сложными технологическими комплексами, реализующими при работе функции систем автоматического контроля, систем технической диагностики и систем распознавания образов (т.е. всех трех разновидностей информационно-измерительных систем, определяемых ГОСТ 8.437-81), то их алгоритмическое обеспечение достаточно сложно [5].

При этом алгоритмы обработки результатов измерений наиболее сложны у систем АП измерительных приборов, не имеющих электрического выхода. Алгоритм в этом случае должен обеспечивать получение метрологически достоверной информации о показаниях прибора путем обработки оцифрованных изображений индикаторных частей приборов, полученных с помощью системы технического зрения (СТЗ). Для СТЗ, в которых используются традиционные алгоритмы распознавания, большое значение играет получение максимально качественного изображения, для чего применяются дорогостоящую оптику, специальные системы освещения и позиционирования. Системы АП с прецизионными СТЗ могут достаточно успешно использоваться в лабораторных условиях, но не подходят для массового производства. Автоматизация технологических операций в условиях массового производства должна осуществляться с помощью простых, обладающих высокой производительностью и надежностью технических средств. Для этого в системах АП должно максимально использоваться серийное унифицированное оборудование [6]. В то же время, достаточно простые оптические считывающие устройства (сканеры) часто не обеспечивают требуемого качества оцифровки изображений индикаторных частей поверяемых приборов, что приводит к сбоям при распознавании и снижает достоверность поверки в целом.

Другой проблемой использования систем АП с СТЗ в массовом производстве является сложность их пере-

настройки на новые типы поверяемых приборов. Спрос на средства измерений в настоящее время таков, что предприятия вынуждены производить очень широкий ассортимент приборов сравнительно небольшими партиями, часто обновлять типы производимых средств измерений. На базе нескольких основных конструкций выпускаются приборы со специализированными, сменными шкалами и комплектом шунтов, приборы, выполненные по евростандарту и т.п. Все это приводит к частой смене приборов, проходящих поверку на системе АП, что и требует ее перенастройки. Для эффективного использования системы АП в новых производственных условиях необходимо стало дать пользователю возможность самому настраивать ее на новые типы приборов с различными шкалами и классами точности. Причем делать это по возможности без существенной замены технических и программных частей системы. Наиболее предпочтительно в этой ситуации разработать новый класс измерительных средств – компьютерные обучающиеся измерительные комплексы на основе средств технического зрения, компьютера и прецизионных формирователей тестовых сигналов, перспективность и необходимость которых стала очевидна еще около 10 лет назад [7].

Построение системы АП как измерительной с элементами распознавания, построенной на принципах обучения, рассматривается в работе [8]. Полагается, что результатом обучения системы АП должен быть оптимальный алгоритм обработки изображений, содержащих показания. Задача обучения формулируется следующим образом: по обучающей выборке x найти алгоритм $F(x, \alpha)$, который (по изображению x_{ij}) при заданных параметрах вектора α позволит утверждать, что среднеквадратическая погрешность определения входной величины ω не превышает некоторого значения ε с вероятностью P не менее $P_{зад}$:

$$P\left(\frac{1}{N} \sum \frac{1}{L} \sum (\omega - F(x_{ij}, \alpha))^2 \leq \varepsilon\right) \geq P_{зад},$$

где x_{ij} – j -я реализация изображения с показаниями поверяемых приборов после подачи i -го входного сигнала, α – вектор параметров поверки, ω – тестовое калиброванное значение входного сигнала, $F(x_{ij}, \alpha)$ – результат измерения i -го входного сигнала при заданном α , $i =$

1...N – порядковый номер входного сигнала, $j = 1..L$ – число реализаций каждого входного сигнала.

Фактически $F(x_{ij}, \alpha)$ и есть алгоритм измерения, который по изображению x_{ij} при заданных параметрах вектора α определяет результат измерения i -го входного сигнала.

Вектор параметров поверки α состоит из следующих компонент

$$\alpha = \alpha(C1..C6, V1..V12, Q1..Q4),$$

где C – априорно известные параметры поверки: $C1$ – класс точности, $C2$ – число шкал, $C3$ – пределы измерения, $C4$ – динамические характеристики, $C5$ – число отметок поверяемых приборов; $C6$ – массив значений поверяемых отметок. V – переменные параметры поверки: $V1$ – массив, содержащий размеры окон вводимого изображения, $V2$ – число окон, $V3$ – порог бинаризации изображений, $V4$ – параметры фильтрации изображений, $V5$ – параметры межкадровых процедур, $V6$ – коэффициенты корреляции, $V7$ – число точек обучения, $V8$ – массив значений точек обучения, $V9$ – коэффициенты аппроксимирующих полиномов для построения шкал, $V10$ – оптимальная форма тестового калиброванного сигнала, $V11$ – число повторов ввода изображения, $V12$ – параметры коррекции видеосигнала. Q – дополнительная информация: $Q1$ – тип поверяемых приборов, $Q2$ – вид рабочего сигнала, $Q3$ – номера приборов, $Q4$ – тип поверки.

Однако в качестве основного метода достижения требуемого качества алгоритма $F(x_{ij}, \alpha)$ предлагается рекуррентный подбор параметров вектора α . При этом достаточно большая часть параметров (особенно из группы V) должна определяться оператором на основе визуального анализа специфики представления подлежащих распознаванию образов и, таким образом, полностью зависит от квалификации и интуиции человека. Очевидно, что такой подход скорее можно охарактеризовать как настройку алгоритмического обеспечения системы АП, а не обучение.

Таким образом, для дальнейшего развития систем АП операцию определения показаний поверяемого прибора необходимо строить с использованием некоторого алгоритмического аппарата, который позволит, во-первых, обеспечить достаточно надежное распознавание по изображениям невысокого качества (с вариациями освещенности, аддитивным шумом, искажениями объектов и т.п.), во-вторых, придать системе свойство перенастройки на новые типы поверяемых приборов через процедуру адаптации или обучения и, в-третьих, сделать эту процедуру по возможности более автоматической.

В качестве такого эффективного алгоритмического аппарата могут быть использованы искусственные нейронные сети (ИНС). В настоящее время в данной области существует необходимый теоретический фундамент, на основе которого возможно конструирование мощных многослойных ИНС различного назначения, а технически нейрокомпьютеры реализуются в виде специальных сопроцессорных плат, подключаемых к ПК.

Для реализации поверки, например, стрелочных приборов ИНС необходимо обучить различать "годные" – показания, погрешность которых меньше предельно допустимой, от "брака", когда погрешность больше допустимой. На изображениях индикаторной части прибора "годные" показания будут отличаться тем, что стрелка лежит в пределах $\pm \Delta$ от поверяемой отметки, рис. 1, где Δ – максимально допустимое угловое отклонение стрелки прибора от поверяемой отметки, при котором погрешность показания равна классу точности прибора. При "браке" стрелка лежит за пределами $\pm \Delta$ от поверяемой отметки.

Для обучения классификации на вход ИНС подается множество оцифрованных изображений индикаторной части прибора (идентичного поверяемому), содержащих показания двух видов: "годные" и "брак" (рис. 2). Для каждого изображения рассчитывается выход ИНС. Если

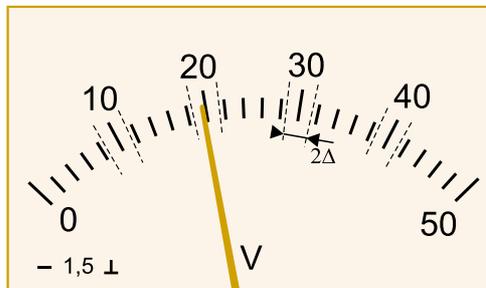


Рис. 1. Изображение шкалы стрелочного прибора с зонами "годных" и "бракованных" показаний

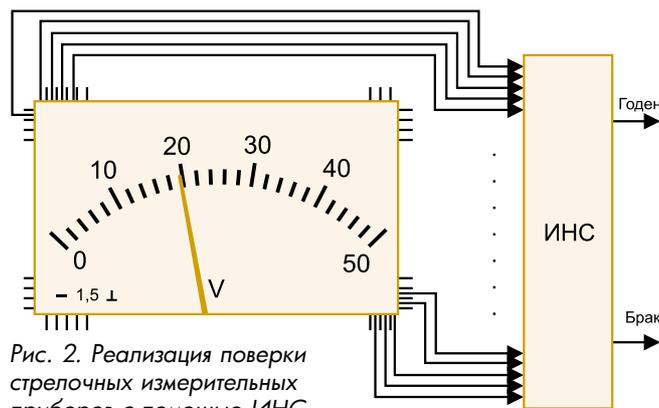


Рис. 2. Реализация поверки стрелочных измерительных приборов с помощью ИНС

ли выход ИНС неправилен, т.е. "годные" показания, погрешность которых меньше предельно допустимой, определены как "брак" или "брак" – показания, погрешность которых больше допустимой, – определены как "годные", то производится изменение весовых коэффициентов ИНС по одному из известных правил обучения. Обучение ИНС проводится до тех пор, пока она не научится правильно классифицировать все подаваемые на ее вход оцифрованные изображения индикаторной

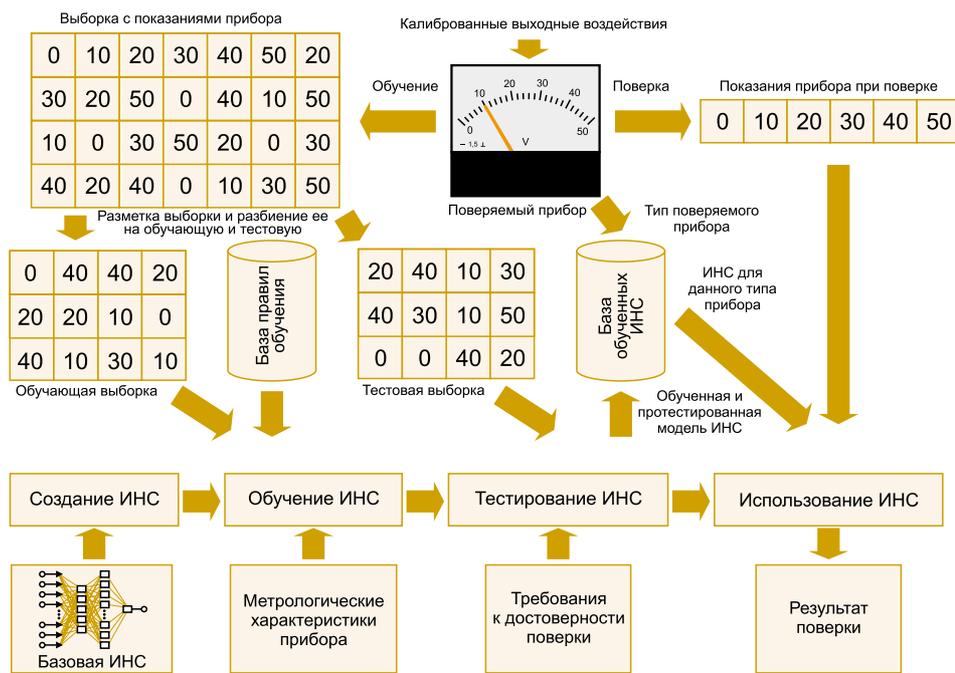


Рис. 3. Технология обучения и использования системы АП на базе ИНС

части приборов на "годные" и "брак". После чего ИНС можно использовать для реализации поверки [9].

Технология обучения системы АП поверке нового типа приборов представлена на рис. 3.

Создание ИНС. При разработке системы алгоритмически реализуется некоторая базовая ИНС определенной модели и архитектуры. Модель базовой ИНС должна позволять решать наиболее общие задачи классификации (как линейно делимых, так и линейно не делимых образов). Ее архитектура должна иметь число входов, достаточное для обработки изображений шкал, полученных с требуемым разрешением. Число промежуточных слоев, связей между слоями и число нейронов в них должно обеспечивать желаемую точность классификации. Так как первоначально указанные параметры сети точно не известны, то в базовой модели они должны быть выбраны (и реализованы) с некоторым запасом. Базовая ИНС не обучается и сохраняется неизменной в течение всего времени эксплуатации системы АП. Перед настройкой системы на новый тип поверяемых приборов базовая ИНС алгоритмически копируется, а полученный клон обучается.

Обучение ИНС. Для обучения клона базовой ИНС поверке конкретного типа приборов с использованием технических средств, входящих в систему АП (сканера, ПК, программно управляемого источника калиброванных сигналов), получают выборку изображений с показаниями данного прибора. Для этого с малым шагом наращивают калиброванные значения подаваемого на прибор входного сигнала и сканируют каждый раз его показание. Шаг наращивания значений входного сигнала определяется классом точности прибора и характеристиками его отсчетных элементов (отметки шкалы, стрелка). Данная выборка должна обладать репрезентативностью (то есть каждое изображение должно содер-

жать признаки, позволяющие однозначно классифицировать поверяемый прибор), сбалансированностью (выборка должна содержать достаточное число "годных" и "бракованных" показаний) и достаточным объемом.

Далее проводится разметка полученной выборки и ее разбиение на обучающую и тестовую. При разметке определяется "годное" или "бракованное" показание на данном изображении и эта отметка ставится ему в соответствие. Из размеченной выборки выделяют обучающую, то есть ту, на которой собственно и будет происходить обучение (настройка весов сети), и тестовую, которая не ис-

пользуется в процессе обучения, а применяется для независимого тестирования результатов обучения.

Обучение сети проводится способом "с учителем". На ее вход подаются изображения из обучающей выборки, а правильность классификации определяют по отметкам, полученным при разметке. В случае, если за достаточно большое число циклов сеть не достигает желаемого уровня ошибки классификации, ее можно попробовать "доучить", изменив правило обучения, или полностью обучить заново, используя другое правило. Требуемым результатом обучения можно считать 100% правильную классификацию изображений из обучающей выборки на "годные" и "бракованные".

Тестирование ИНС. Тестирование ИНС проводится с использованием выделенной ранее тестовой выборки. Для оценки качества обучения ИНС можно использовать, например, вероятности ошибок поверки I и II рода. Очевидно, что обучение можно считать успешным, когда, тестирование показывает, что вероятности того, что фактически годное показание признается "бракованным" (ошибка I рода) и фактически "бракованное" — признается годным (ошибка II рода) менее некоторых заданных малых значений. В противном случае необходимо переобучить сеть.

В том случае, когда тестирование дало удовлетворительные результаты по достоверности определения показаний, сеть можно считать обученной и годной для использования при поверке. Для дальнейшего использования в системе АП она (ее коэффициенты) помещается в БД обученных ИНС. Таким образом, система АП может использоваться для поверки такого числа типов приборов, сколько обученных сетей содержится в ее базе.

Использование ИНС

Поверка прибора на системе АП с использованием ИНС начинается с того, что по типу прибора, установленного для поверки, из базы обученных сетей выбирается та, которая соответствует данному типу прибора. Затем на вход прибора последовательно подаются калиброванные значения входного сигнала, соответствующие номиналам поверяемых отметок, и каждый раз после установления показания считывается изображение шкалы прибора. Полученные изображения последовательно обрабатываются загруженной нейронной сетью, которая определяет, какие из показаний "годные", а какие – нет. Если все показания определены как "годные", то прибор проходит поверку успешно, в противном случае – бракуется.

Таким образом, рассмотренная технология создания алгоритмического обеспечения системы АП позволяет расширять число типов измерительных приборов, которые можно поверять с ее использованием через обучение новой ИНС. Все операции настройки системы на новый тип прибора и собственно поверки в данном случае реализуются программно и, таким образом, не требуют "ручного" изменения ПО. Это повышает гибкость и эффективность использования подобной системы в производстве. Кроме того, применение нейросетевых методов в системе АП позволяет решить проблему надежности распознавания показаний поверяемых приборов по изображениям среднего качества путем обучения ее на примерах, которые получаются на базе тех же технических средств, которые используются и для поверки, а, следовательно, содержат возможные вариации освещенности, шума, искажений объектов и т. п.

Киселев Сергей Константинович – канд. техн. наук, доцент кафедры

*"Информационно-вычислительные комплексы" Ульяновского Государственного Технического Университета,
Романова Елена Владимировна – зам. исполнительного директора ОАО "Электроприбор".*

Контактный телефон (8352) 21-98-22, факс (8352) 20-50-02.

E-mail: comm@elpr.cbx.ru Http://www.elpribor.ru

18-21 октября 2004 г. в Культурно-выставочном центре "Сокольники" пройдет Международная специализированная выставка-ярмарка современных промышленных материалов и ТП "Материалы и процессы – 2004"

Выставка организована выставочным холдингом MVK, Международным Союзом металлургов.

Цель выставки – представить основные виды промышленных материалов, продемонстрировать новейшие достижения в области наукоемких и производственных технологий в различных отраслях, а также способствовать развитию взаимовыгодных связей между партнерами, действующими на различных этапах создания конечного продукта.

Экспозиция выставки разделена на два основных раздела: материалы (сырье и прокат легких, тяжелых и цветных металлов, промышленная керамика, стекло, продукты порошковой металлургии, а также разнообразные пластики и композиционные материалы) и процессы обработки материалов (покрытия и нано-технологии, измерения, исследования, новые разработки, соответствующее ПО, консультационные, справочные и дизайнерские услуги).

В числе участников выставки – крупнейшие горнодобывающие, металлургические и перерабатывающие предприятия, производители промышленной керамики и стекла, пластических и полимерных материалов. Кроме того, свои стенды на выставке "Материалы и процессы – 2004" представят предприятия, производящие оборудование для испытаний и неразрушающего контроля, проведения диагностики и экспертиз, проектные и научно-исследовательские институты и организации, ведущие деятельность по созданию промышленных БД, разработке программного обеспечения и консультационных систем, дизайн-студии.

Насыщенная программа выставки, в которую войдут конференции, семинары, круглые столы по отраслевой тематике, несомненно, создаст все условия для обмена накопленным опытом и плодотворного общения участников.

Контактный телефон (095) 268-95-20. Http://www.matpro.ru

Достоинством использования аппарата ИНС является также то, что возможна автоматическая настройка системы АП на тип поверяемого прибора, работе с которым она уже обучена [10].

Список литературы

1. *Вострокнутов Н.Н.* Испытания и поверка цифровых измерительных приборов. М.: Изд-во стандартов. 1977.
2. *Аристов О.В., Белоусов Ю.М., Макаров Э.Ф.* Автоматизация поверки средств радиотехнических измерений. М.: Изд-во стандартов, 1987.
3. *Безикович А.Я., Прицкер В.И., Эскин С.П.* Автоматизация поверки электроизмерительных приборов. Л.: Энергия, 1976.
4. *Козлов В.В.* Поверка средств неразрушающего контроля. М.: Изд-во стандартов, 1989.
5. *Цапенко М.П.* Измерительные информационные системы. М.: Энергоатомиздат, 1985.
6. *Мишин В.А., Медведев Г.В.* Автоматизация производственных электроизмерительных приборов. Ульяновск. УлГТУ, 2002.
7. *Удут Д.Л.* Проблемы поверки стрелочных измерительных приборов // Всесоюзная конференция "Измерения и контроль при автоматизации производственных процессов". Ч. 2. Барнаул. 1991.
8. *Седов Э.Н.* Автоматизированные технологические установки для поверки стрелочных измерительных приборов: Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.11.05. Томск, 1996.
9. *Грачева Н.О., Киселев С.К.* Способ автоматической поверки и устройство для его осуществления // Положительное решение по заявке №2001127445/09 от 09.10.2001 г.
10. *Киселев С.К., Грачева Н.О.* Автоматический выбор режимов работы информационно-измерительных систем с использованием автоассоциативной памяти // Вестник УлГТУ, Ульяновск, 2000. № 1.