

диапазон, применяемый для диагностирования, что сокращает также объем вычислений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Бобышев В.В., Шалобанов С.В.* Нормированные диагностические признаки наличия и различимости одиночных дефектов // Информатика и системы управления. Благовещенск. 2001. №1. С. 54-59.
2. *Бобышев В.В.* Структурные методы диагностирования динамических систем // Наука – Хабаровскому краю. М-лы IV краевого конкурса молодых ученых и аспирантов. Владивосток; Хабаровск: ДВО РАН, 2002. С. 35-45.
3. *Иващенко Н.Н.* Автоматическое регулирование. М.: Машиностроение, 1978.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии Чье Ен Уном.*

УДК 681.518.5

© 2002 г. **В.В. Воронин**, канд. техн. наук  
(Хабаровский государственный технический университет)

## ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ НА БАЗЕ НЕЙРОСЕТЕВОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Рассматриваются три способа предварительной обработки диагностических показателей. На их основе предлагается строить локальную систему диагностирования. Обсуждаются особенности общей системы диагностирования, которая использует в качестве основного элемента нейронную сеть.

### Введение

Аналоговые диагностические показатели (*ДП*) в первую очередь характеризуются диапазонами изменения их величин. В практике диагностирования эти диапазоны разбивают на отрезки, каждый из которых является симптомом некоторого подмножества дефектов объекта диагностирования (*ОД*). При использовании нейронных сетей (*НС*) в качестве инструмента для решения практических задач также рекомендуется [1] входные параметры сети нормировать. В данной работе рассматриваются три возможных ва-

рианта предварительной обработки ДП с целью дальнейшего их использования в НС, обеспечивающих решение диагностических задач, а также анализируются возможности организации систем диагностирования с использованием НС.

### Предварительная обработка диагностических показателей

Первый вариант обработки множества ДП предполагает унификацию диапазонов изменения значений каждого элемента этого множества. В результате каждый исходный диапазон заменяется одним унифицированным диапазоном с заданными границами. В простейшем случае такая обработка может быть задана следующим выражением:

$$V = \frac{(x - x_{\min})(b - a)}{x_{\max} - x_{\min}} + a, \quad (1)$$

где  $[a, b]$  – заданный диапазон входа  $v$  сети для ДП  $x$ ;  $[x_{\min}, x_{\max}]$  – естественный диапазон значений ДП  $x$ . Исходное бесконечное множество возможных значений  $[x_{\min}, x_{\max}]$  ДП  $x$  заменяется на бесконечное множество  $[a, b]$  с заданными границами.

В рамках второго варианта предобработки исходному множеству  $[x_{\min}, x_{\max}]$  поставим в соответствие конечное множество  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ . Число  $n$  элементов этого множества определяется числом отрезков разбиения исходного множества (рис. 1), а значение каждого элемента  $v_i$  в простейшем случае можно задать в виде равенства  $v_i = i$ .

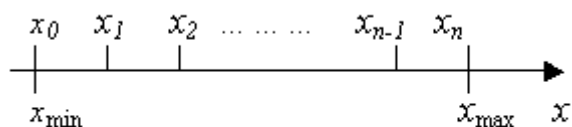


Рис. 1.

Такое преобразование ДП  $x$  можно выполнить, вычисляя значение следующей функции

$$v = f(x) = \sum_{i=1}^n [i1(x - x_{i-1}) - i1(x - x_{i+1})], \quad (2)$$

где  $1(z)$  – единичная функция, такая, что при  $z \leq 0$ ,  $1(z) = 0$ , а при  $z > 0$ ,  $1(z) = 1$ ;  $x_{i-1}, x_i$  – соответственно, нижняя и верхняя границы  $i$ -го отрезка разбиения исходного интервала  $[x_{\min}, x_{\max}]$  (см. рис. 1). Функция  $f(x)$  равна номеру отрезка разбиения, если значение ДП  $x$  находится внутри этого отрезка. Таким образом, входной параметр  $v$  сети принимает целые значения от 1 до  $n$ .

Будем использовать технологию адаптивной фильтрации для реализации третьего варианта. В [2] предложена простейшая НС, обладающая фильтрующими свойствами. Выход сети  $y$  описывается функцией  $y = (x, c, h)$ . Здесь  $x$  – фильтруемый сигнал;  $c$  – входной параметр, задающий середину пропускаемого диапазона значений сигнала  $x$ ;  $h$  – входной параметр, задающий ширину симметричного диапазона. Исходя из заданного диапазона

изменения ДП  $x$  (параметры  $c$  и  $h$ ), можно аналитически рассчитать весовые коэффициенты нейронов. Однако подобный расчет достаточно сложен. Поэтому предлагается использовать данную НС в качестве прототипа для разработки ядерной НС и обучить эту сеть заданным избирательным свойствам.

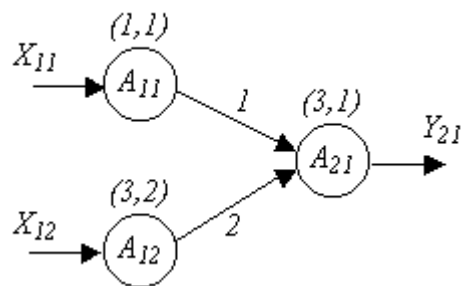


Рис. 2.

Структурная графовая модель ядерной НС (в обозначениях, принятых в программном комплексе *Neuro office*) приведена на рис. 2.

Сеть представлена двумя слоями. Первый слой включает ядра  $A_{11}$  и  $A_{12}$ , второй –  $A_{21}$ . В весовых парах ядер первый элемент означает число входов ( $X_{11}=\{x\}$ ;  $X_{12}=\{x,c,h\}$ ), а второй – число нейронов в ядре ( $Y_{21}=\{y\}$ ). Числа над дугами графа соответствуют рангам этих дуг. Выход схемы  $y$  существенно не равен нулю (зависит от вида функции активации), если  $x$  принадлежит заданному диапазону  $[x_{i-1}, x_i]$ , в противном случае он близок нулю. Если число выделенных диапазонов ДП  $x$  равно  $n$  (см. рис. 1), то для данной предобработочной НС следует получить  $n$  экземпляров наборов весовых коэффициентов ее нейронов. Фиксация в этой сети  $i$ -го набора обеспечивает ей избирательную готовность к диапазону  $[x_{i-1}, x_i]$ . Возможный вариант функциональной схемы системы предварительной обработки текущего ДП приведен на рис. 3.

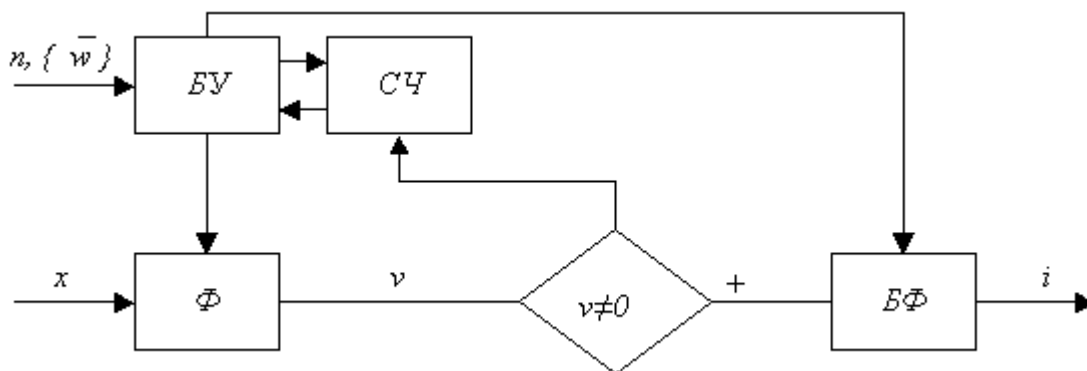


Рис. 3.

Данная система функционирует в соответствии с процедурой ПП.

Процедура ПП.

Шаг 1. Начальная загрузка. Загрузить в память блока управления (БУ) последовательно число  $n$  заданных диапазонов разбиения ДП  $x$  и  $n$  наборов одинаковой длины  $m$  весовых коэффициентов нейронов  $\{w\}$ . Загрузить в счетчик адреса набора СЧ-адрес первого набора.

Шаг 2. БУ загрузить в фильтрующую сеть  $\Phi$ -набор, текущий адрес которого находится в СЧ.

Шаг 3. Выполнить расчет НС в  $\Phi$ .

Шаг 4. Если выход сети  $v \neq 0$ , то БУ установит на выходе блока фиксации БФ номер текущего диапазона  $i$  и осуществит переход на шаг 5, иначе БУ будет выполнять  $\langle СЧ \rangle = \langle СЧ \rangle + m$  ( $m$  – длина набора) и перейдет на шаг 2.

Шаг 5. Останов.

### Организация систем диагностирования

В [3] система контроля одного ДП называется локальной системой диагностирования (ЛСД). Последняя схема предварительной обработки одного ДП (см. рис. 3 и процедуру П1) может быть использована в качестве универсальной ЛСД (УЛСД).

Если заданная глубина поиска дефектов требует обработки  $m$  ДП, то, выполнив  $m$  раз процедуру П1 (в случае безусловного алгоритма поиска),

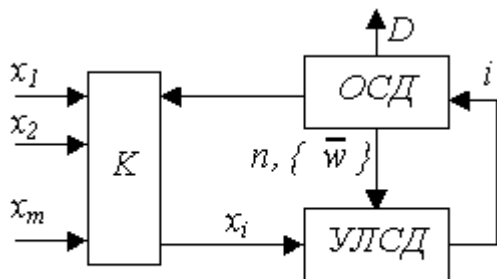


Рис. 4.

будем иметь набор  $(\bar{i})$  номеров отрезков длины  $m$ , описывающих текущие ТС. Управление процессом предварительной обработки ДП и решение требуемых диагностических задач осуществляет общая система диагностирования (ОСД). Ее взаимоотношение с УЛСД иллюстрируется на рис. 4.

ОСД, управляя коммутатором  $K$ , перейдет в БУ локальной системы, соответствующее текущему ДП  $x_i$ , и организует хранение элементов набора  $(\bar{i})$ . УЛСД можно также построить на основе или выражения (1), или выражения (2). В последнем случае УЛСД будет генерировать на своем выходе номер диапазона, которому принадлежит текущее значение ДП, а в первом – нормированное относительно унифицированного диапазона значение ДП.

Задачи контроля работоспособности и поиска дефектов практически всегда распределены во времени. Первая предшествует второй. Распределение их в “пространстве” осуществляется или не осуществляется в зависимости от конструктивных или функциональных особенностей ОД. Как правило, распределение задач по отдельным устройствам позволяет упростить последние.

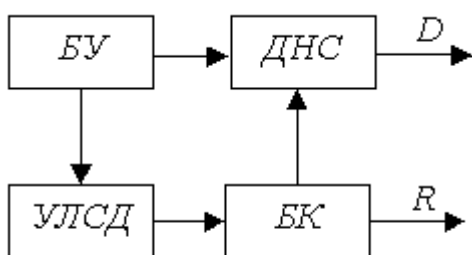


Рис. 5.

В качестве базовых блоков ОСД, построенной на нейросетевой технологии, предлагается включить (рис. 5): блок управления БУ, блок контроля БК и диагностирующую нейронную сеть ДНС. Если ДНС обучена на решение обеих диагностических задач, то БК в этом случае выполняет лишь функцию накопительно-

го буфера. Здесь хранится набор результатов функционирования УЛСД. Если же ДНС решает только задачу поиска дефектов, то на БК возлагается решение задачи контроля работоспособности. В этом варианте задачу контроля можно рассматривать как второй этап предварительной обработки диагностической информации. В общем случае второй этап реализуется посредством сравнения текущего набора результатов первого этапа с эталонным набором.

Когда множество ДП однородно (оно состоит из показателей либо прогрессивного, либо регрессивного типов [4]), тогда, очевидно, эталонный набор для прогрессивных ДП будет состоять из единичных элементов (1, 1, ..., 1). Поэтому схема контроля может быть упрощена до логической конъюнкции. Эталонный набор для регрессивных ДП с одинаковым числом диапазонов будет иметь вид  $(n, n, \dots, n)$ , где  $n$  – число диапазонов разбиения. Схема контроля в этом случае может быть построена на простейшей НС, реализующей функцию сравнения [2]. Неоднородность множества ДП требует разработки традиционной схемы контроля: поэлементное сравнение эталона с текущим набором значений ДП.

Число входов ДНС равно мощности множества ДП, а число ее выходов будет определяться принятым способом фиксации дефектов. При структурном способе достаточно иметь один или два выходных нейрона, в зависимости от используемой функции активации. Сигмоидная функция [1] позволяет построить выходной слой на одном нейроне. Например, верхняя граница диапазона выходных значений нейрона  $y_{max}$  соответствует высказыванию “ОД не работоспособен и дефекты фиксированы”; нижняя граница –  $y_{min}$  – “ОД работоспособен и дефекты отсутствуют”; определенная внутренняя область – “Неопределенное техническое состояние ОД”. В случае пороговой функции активации выходной слой ДНС должен включать не менее двух нейронов. Выходные наборы этого слоя можно интерпретировать следующим образом: (00) – “ОД работоспособен и дефекты отсутствуют”; (11) – “ОД не работоспособен и дефекты фиксированы”; (01) и (10) – “Неопределенное техническое состояние ОД”.

Сущность структурного способа фиксации дефекта заключается в возможности определения “возбужденных” путей от выходного слоя к входному слою ДНС. Особенности найденных путей позволяют сформулировать суждение о текущем подмножестве дефектов. Реализация данного способа предполагает наличие изоморфизма ДНС и данного ОД. Другими словами, структура ДНС должна взаимно однозначно соответствовать структурной организации данного ОД.

При функциональном способе фиксации дефектов выходной слой ДНС должен иметь достаточную информационную емкость, а именно: число различных выходных наборов ДНС должно быть не меньше мощности множества возможных дефектов. В случае пороговой функции активации число  $L$  нейронов выходного слоя определяется из соотношения:

$$L = \log_2(M+1),$$

где  $M$  – мощность множества возможных дефектов (произвольной кратности);  $[x]$  – операция “Округлить до большого целого”.

Сущность функционального способа фиксации дефекта определяется взаимно однозначным соответствием элементов множества возможных дефектов и элементов множества выходных наборов ДНС. При этом структура ДНС не зависит от структуры ОД, а требования к ней выводятся в основном из возможностей используемого алгоритма обучения.

### Заключение

Выбор методики предварительной обработки элементов множества диагностических показателей не зависит от структуры ДНС. Такая обработка является полезной во всех случаях.

Хотя степень универсальности при организации систем диагностирования функциональным способом, конечно, выше в сравнении с организацией систем структурным способом, но структурный способ обеспечивает принципиальную возможность для реализации механизма объяснения в технологии получения диагноза, что невозможно реализовать в рамках функционального подхода. Этот факт имеет существенное значение при разработке экспертных диагностических систем, удовлетворяющих общепризнанным требованиям, предъявляемым к таким системам.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Нейроинформатика / *А.Н.Горбань, В.Л.Дунин-Барковский, А.Н.Кирдин и др.* Новосибирск: Наука. Сибирское предприятие РАН, 1998.
2. *Позин Н.В.* Моделирование нейронных структур. М.: Наука, 1970.
3. *Пархоменко П.П., Согомонян Е.С.* Основы технической диагностики: Оптимизация алгоритмов диагностирования, аппаратные средства / Под ред. *П.П. Пархоменко.* М.: Энергия, 1981.
4. *Воронин В.В.* Диагностирование технических объектов. Хабаровск: Изд-во Хабаровского гос. техн. ун-та, 2002.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии Чье Ен Уном.*