

УДК 681.32:519.713

Б.А. Шостак

*Национальный технический университет «ХПИ», Харьков*

## ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ МЕТОДОМ РАСТУЩИХ ПИРАМИДАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

*В статье приведены результаты исследований по диагностике аналоговых модулей радиоэлектронных систем посредством применения метода растущих пирамидальных сетей. Предложен алгоритм формирования пирамидальной сети.*

**Ключевые слова:** процесс диагностирования, аналоговый модуль, пирамидальные сети.

### Введение

Диагностика аналоговых модулей информационных систем является сложной задачей, в связи с непрерывным усложнением, наличием нелинейных эффектов, а также увеличением динамики процесса. Эта трудность в моделировании делает нейронные сети привлекательным инструментом для использования в этой области, поскольку они могут сжать информацию в виде ряда параметров сети.

Основной проблемой в нейронной сети является высокая сложность нейронных сетей, когда число отказов электронного модуля велико. Вместо того, чтобы формировать большую сложную нейронную сеть, предлагается применять простые пирамидальные сети для каждого вида отказа, что значительно повышает эффективность работы. В этом смысле сама сеть может работать в качестве компактного словаря неисправностей. Процесс создания и проверки словаря неисправности будут завершены одновременно, что значительно сокращает время вычислений.

Поиск дефектов в сложных аналоговых модулях информационных системах может выполняться по жесткой или гибкой программе.

В первом случае последовательность проверок при поиске дефекта не зависит от результата, получаемого при выполнении каждой проверки.

Во втором случае последовательность проверок полностью определяется результатами каждой проверки. При гибкой программе технические средства поиска усложняются, но зато при этом повышается их эффективность (сокращение времени поиска, использование объекта в аварийной ситуации и пр.). Применение жесткой программы может несколько упростить технические средства, но при этом снижается эффективность поиска.

Частный случай предполагает использования псевдослучайного генератора шума как генератора тестовых шаблонов с целью диагностики аналоговых элементов и моделируемого контрольного уст-

ройства с целью обнаружения неисправностей [1]. Контрольное устройство в данном случае реализовано в качестве многоуровневой опережающей нейронной сети, обученной при помощи алгоритма обратного распространения ошибок. Но в большинстве случаев электронные элементы функционируют в достаточно узком частотном диапазоне. Поэтому применение белого шума в качестве тестового сигнала не позволит сделать однозначный вывод об отказе электронного компонента.

Известно множество вариантов и режимов тестового диагностирования динамических систем. В переходных режимах предполагается измерение реакции системы на стандартные входные воздействия, которые носят импульсный, ступенчатый или линейно возрастающий характер. В качестве диагностических признаков используются параметры переходных функций. Исправность системы можно определять путем контроля фазовых характеристик и траекторий. Множество вход-выходных характеристик, фазовых траекторий представляется конечной совокупностью функций в двумерном векторном пространстве.

Кроме того, для повышения эффективности процесса диагностирования, необходимо учитывать результаты, полученные на предыдущем этапе (при подаче соответствующего тестового воздействия).

Как известно, по принципу действия технические средства поиска дефектов разделяются на средства, построенные по потенциальному типу (непрерывные), и средства, построенные по импульсному типу (дискретные). Технические средства диагностики, построенные по потенциальному типу, осуществляют непрерывное диагностирование, а информация о состоянии отдельных элементов может представляться как в форме дискретных посылок (0 – 1 и т.д.), так и непрерывными величинами (уровень напряжения, тока и т.п.).

В технических средствах поиска импульсного типа поиск дефектов осуществляется дискретными посылками-запросами.

Таким образом, информация о состоянии элемента получается только в момент запроса или вслед за ним.

## Алгоритм формирования пирамидальной сети

Большинство предыдущих подходов, которые используют нейронные сети для диагностики неисправностей в аналоговых модулях были сконцентрированы на линейных цепях (идеальные операционные усилители) или компоненты линейной схемы (R, C, L). Как правило, процесс компоновки или параметры не принимались во внимание как ошибки, и, следовательно, количество ошибок являлось относительно небольшим.

Для современных сложных аналоговых систем предлагается минимизировать время диагностирования посредством применения экспертных оценок параметров последовательности тестовых сигналов в контрольных точках модуля. Контрольные точки аналоговых модулей информационных систем определяются исходя из экспертных оценок приоритетности.

При таком подходе возникает проблема создания оптимальной системы для принятия двух типов решений:

- о неисправности того или иного электронного элемента;
- о выборе типа следующего тестового сигнала для подачи в качестве тестового воздействия.

Под такой системой понимается система, которая минимизирует заданный критерий качества для данного динамического процесса при заданных ограничениях.

В случае описанного ниже метода проверки аналоговых модулей информационных систем, в качестве критерия качества выступает риск принятия неверного решения при заданном входном пространстве состояний, а ограничения заключаются в фиксированной структуре базовой сети.

В основе предлагаемого метода лежит метод растущих пирамидальных сетей [6, 7]. Последовательная подача определенных входных тестовых комбинаций сигналов приводит к появлению рассогласования осциллограмм или сигнатур в определенных контрольных точках при различных видах тестовых импульсов.

Предположим, есть определенный неисправный элемент в аналоговом модуле. Требуется на основе построения модифицированной растущей сети (МРС) выделить положительный контрольный элемент для каждого электронного элемента (если он активен, то данный элемент неисправен). И, соответственно, отрицательный контрольный элемент для каждого электронного элемента (если он активен, то данный элемент исправен).

Для этого необходимо сформировать понятия анализирующего элемента и регистратора.

Анализирующий элемент – гипотетический элемент, у которого нет реального физического аналога. Он представляет совокупность некоторых логических выводов (промежуточных или конечных в случае положительного или отрицательного контрольного элемента).

Регистратор – реальная физическая цепь исследуемого модуля. Регистратор возбуждается, если на определенный цифровой вход подается определенный вид тестового сигнала.

Теперь необходимо сформулировать правила построения анализирующих элементов. Любой элемент МРС может быть в двух состояниях – возбужденном и невозбужденном. Набор возбужденных регистраторов в некоторый момент времени образуется в результате подачи на вход МРС в данный момент описания некоторого объекта через значения его признаков. Интервал между сменами описаний объектов, подаваемых на вход МРС, всегда превосходит интервал, в течение которого МРС возбуждена. Это означает, что при подаче любого описания на регистраторы МРС заходит в невозбужденном состоянии.

Если имеется некоторый анализирующий элемент, то субмножество этого элемента образуют все те элементы, от которых имеются пути, ведущие к входам данного элемента.

Субмножество определяется вполне корректно, если учесть, что в МРС запрещены связи, которые могут привести к возникновению петель и циклов, иными словами, ни один анализирующий элемент не может быть соединен своим выходом со входом самого себя или входами каких-либо элементов, входящих в его субмножество.

Нулевой слой субмножества некоторого элемента образуют те элементы, выходы от которых непосредственно поступают на входы данного элемента.

Аналогично можно определить и супермножество данного анализирующего элемента, как множество тех элементов, к которым имеется путь, ведущий от выхода данного элемента. Те элементы, для которых этот выход непосредственно является входом, образуют нулевой слой супермножества.

Прежде всего, необходимо выработать правила построения первоначальной (базовой) МРС для каждого дискретного элемента (ДЭ) аналогового модуля. Формирование регистраторов происходит следующим образом: каждый вход модуля РЭС имеет фиксированный набор регистраторов. Каждый регистратор возбуждается, если на вход подается соответствующий вид тестового импульса.

И при  $m$ -значном моделировании количество регистраторов определяется, как:

$$N = M (K + D),$$

где  $M$  – значность логики;

$K$  – количество входов цифровой системы;

$D$  – количество контрольных точек.

Зная динамические состояния регистраторов и контрольных точек определенный момент времени, необходимо построить МРС и выделить для каждого элемента положительный контрольный (при отказе этого элемента) и отрицательный контрольный (при нормальном функционировании этого элемента) элемент. Затем произвести необходимый анализ возможности построения МРС и выделения отрицательных контрольных элементов понятия при всех исправных элементах.

Кроме того, возможно построение МРС при различных видах отказов логических элементов. Соответственно, количество МРС в этих случаях прямо пропорционально количеству возможных неисправностей в каждом ДЭ.

Таким образом, возможно выделение положительных контрольных элементов не только по неисправным ДЭ, но и по типам неисправностей.

Процедура изменения МРС задается с помощью специальных правил.

1. Пусть при возбуждении некоторой комбинации регистраторов в существовавшей до этого МРС имелись анализирующие элементы, у которых количество возбужденных элементов в нулевом слое субмножества удовлетворяет следующим условиям:

$$\begin{cases} N \geq 2; \\ N \neq K, \end{cases}$$

где  $N$  – количество возбужденных элементов субмножества;

$K$  – общее количество элементов субмножества.

Для всех таких элементов происходит следующее. Выходы всех возбужденных в нулевом слое субмножества элементов становятся входами нового анализирующего элемента, вошедшего в МРС, выход нового элемента становится входом исходного анализирующего элемента; все непосредственные связи, существовавшие у него до этого с возбужденными элементами из нулевого слоя субмножества ликвидируются.

После того, как в соответствии с правилом 1, введены все новые элементы, проверяются условия для применения правила 2 и если они удовлетворяются, то это правило реализуется.

2. Пусть при возбуждении некоторой комбинации регистраторов произошло возбуждение определенной части элементов в МРС. Если множество возбужденных элементов, в котором остались невозбужденными все элементы, сходящие с нулевой слой их супермножества, состоит более чем из од-

ного элемента, то вводится новый элемент, входами которого служат выходы всех упомянутых возбужденных элементов.

Перейдем теперь к процедуре определения принадлежности исследуемого элемента (цифровой микросхемы) к классу неисправных элементов с помощью МРС.

В обучающей выборке с двоично-кодированными значениями признаков тестовых сигналов регистратор МРС, соответствующий данному значению некоторого признакам, возбуждается, если это значение актуализируется, и не возбуждается в противном случае. На вход МРС последовательно подаются все значения признаков объектов из обучающей выборки как из группы положительных примеров, так и из группы отрицательных примеров. При подаче каждого значения происходит преобразование МРС в соответствии с описанными правилами.

Каждому анализирующему элементу будем приписывать два параметра  $m$  и  $n$ , значения которых могут меняться в процессе работы МРС. Параметр  $m$  есть суммарное число возбуждений анализирующего элемента при подаче на регистраторы последовательности примеров. Параметр  $n$  характеризует число регистраторов, входящих в субмножество данного анализирующего элемента. В процессе преобразования МРС в множестве ее анализирующих элементов выделяются специальные элементы, носящие название положительных и отрицательных контрольных элементов для исследуемой цифровой микросхемы.

Формирование понятий происходит за счет выполнения трех специальных процедур.

1. Если на регистраторы подается описание объекта обучающей выборки, который является положительным примером, и в модифицированной растущей сети не выделен положительный контрольный элемент, то находится анализирующий элемент, у которого максимальны  $m$  и  $n$ . Такой элемент становится положительным контрольным элементом. (Активизация этого элемента свидетельствует о неисправности исследуемой микросхемы). Если в группе элементов с одинаковым максимальным значением  $m$  имеется несколько элементов с одинаковым максимальным значением  $n$ , то в качестве положительного контрольного элемента берется любой из них.

2. Если на регистраторы подается описание объекта обучающей выборки, который является отрицательным примером, и в модифицированной растущей сети имеются положительные контрольные элементы, не содержащиеся в своих супермножествах других возбужденных контрольных элементов, то в каждом из этих супермножеств в качестве отрицательных контрольных элементов выбираются

элементы, имеющие минимальное значение  $n$ . (Активизация этого контрольного элемента свидетельствует об исправности исследуемой микросхемы). Если таких элементов несколько, то выбирается любой из них.

3. Если на регистраторы подается описание объекта обучающей выборки, который является положительным примером, и в модифицированной растущей сети имеются отрицательные контрольные элементы, не содержащие в своих супермножествах других возбужденных контрольных элементов, то в каждом из этих супермножеств в качестве положительных контрольных элементов выбираются элементы, имеющие минимальное значение  $n$ . Если таких элементов несколько, то выбирается любой из них.

Контрольные элементы играют важную роль в процессе принятия решений о неисправности той или иной микросхемы. С помощью положительных контрольных элементов выделяются те сочетания регистраторов (значений признаков), которые с частотой  $m$  встречались в обучающей выборке на положительных примерах. С помощью отрицательных контрольных элементов выделяются сочетания значений признаков объектов, входящих в группу отрицательных примеров обучающей выборки. Но не для всех таких объектов, а только для тех, в которых сочетание значений признаков возбуждает положительные контрольные элементы, что соответствует наличию у отрицательного примера такого сочетания значений признаков, которое до этого было выделено в качестве важного (контролируемого) для формирования правила отнесения объектов к формируемому классу.

При формировании модифицированной растущей сети обучающая выборка используется многократно. Как только в модифицированной растущей сети в соответствии с одной из описанных выше процедур происходит появление нового контрольного элемента, начинается новый просмотр примеров из обучающей выборки, начиная с первого. Обучение считается завершенным, если описания всех объектов, входящих в обучающую выборку, при подаче их на регистраторы МРС не вызывают появления новых контрольных элементов.

Когда понятие сформировано, то МРС дает возможность пользоваться следующим правилом отнесения исследуемого объекта к классу неисправных элементов.

Объект  $a_i$  входит в множество неисправных элементов, если при введении состояний контрольных точек исследуемо модуля в регистраторы МРС в ней нет возбужденных отрицательных контрольных элементов, в супермножестве которых не имелся бы хотя бы один возбужденный положительный контрольный элемент.

Объект  $a_i$  не входит в данный класс, если при введении его описания в регистраторы МРС в ней нет возбужденных положительных контрольных элементов, которые не содержали бы в своих супермножествах хотя бы одного возбужденного отрицательного контрольного элемента. Если ни одно из условий, сформулированных выше, не выполняется, то относительно объекта  $a_i$  не высказывается окончательных утверждений.

Можно показать, что три процедуры перестройки МРС, которые используются о процессе работы с обучающей выборкой, всегда за конечное число шагов приводят к завершению формирования класса. При этом все положительные и отрицательные примеры из обучающей выборки распознаются МРС правильно.

При диагностике микропроцессорных систем весьма часто встречается ситуация, при которой из-за неполноты знаний об объекте и алгоритмов функционирования обучающая выборка может быть противоречивой. В этом случае одни и те же описания в ней могут входить и в группу положительных примеров и в группу отрицательных примеров. Этот важный случай может быть реализован в методе МРС с помощью некоторой модификации процедур ее построения.

В силу противоречивости обучающей выборки решение о включении или не включении объекта  $a_i$  в сформированный класс должно быть недетерминированным.

Эта недетерминированность должна отражать те частоты, с которыми в обучающей выборке объект  $a_i$  относится к множеству положительных и множеству отрицательных примеров.

Для формализации процесса построения МРС необходимо сформировать вначале массив базовой модифицированной растущей сети.

Базовая МРС формируется как текстовый файл и имеет следующую структуру [8]:

**N1**  
**[R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, ....., R<sub>N1</sub>]**  
**N2**  
**P<sub>1</sub>, L<sub>1</sub>, M<sub>1</sub>, K<sub>1</sub>, Q<sub>1</sub>, P<sub>1</sub>(1), ....., P<sub>1</sub>(L<sub>1</sub>)**  
**P<sub>2</sub>, L<sub>2</sub>, M<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>, Q<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>(1), ....., P<sub>2</sub>(L<sub>2</sub>)**  
 .....  
**P<sub>N2</sub>, L<sub>N2</sub>, M<sub>N2</sub>, K<sub>N2</sub>, Q<sub>N2</sub>, P<sub>N2</sub>(1), ....., P<sub>N2</sub>(L<sub>N2</sub>),**

где **N1** – количество регистраторов;  
**[R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, ....., R<sub>N1</sub>]** – список названий регистраторов;

**N2** – количество анализирующих элементов РПС;

**P<sub>N2</sub>** – название анализирующего элемента;

**L<sub>N2</sub>** – количество элементов, входящих в нулевой слой субмножества данного анализирующего элемента;

$M_{N2}$  – количество возбужденных элементов, входящих в нулевой слой субмножества данного анализирующего элемента;

$K_{N2}$  – количество возбуждений на предыдущих этапах;

$Q_{N2}$  – количество регистраторов, входящих в субмножество данного анализирующего элемента;

$P_1(1) - P_{N2}(L_{N2})$  – названия вершин, входящих в субмножество данной вершины.

Обучающие выборки представляют одномерный вектор значений признаков. Значение 1 присваивается данному значению признака, если он возбужден и 0 в противном случае.

Общая форма представления обучающих и экспертных выборок следующая:

$$V_1, V_2, \dots, V_{N1}$$

EXP,

где  $V_1 - V_{N1}$  – текущие значения признаков;

EXP – переменная, определяющая тип выборки:

N – отрицательный пример,

P – положительный пример,

E – экспертная выборка.

После завершения ввода положительных и отрицательных обучающих выборок формируется экспертная МРС.

При подаче экспертной выборки на экспертную модифицированную растущую сеть происходит определение принадлежности неисправности тому или иному классу отказов.

## Выводы

Описанный выше метод диагностики многопроцессорных систем повышенной сложности обладает несколькими достоинствами.

Во-первых, все выводы, формируемые с его помощью, допускают содержательную интерпретацию, так как задаются через логическую функцию, в которую в явном виде входят значения исходных признаков.

Во-вторых, метод хорошо автоматизируется при работе на ЭВМ.

В-третьих, после формирования окончательной модифицированной растущей сети ту ее часть, которая не содержит контрольных элементов и не оказывает влияния на их возбуждение, можно удалить. При этом снижаются требования к объему памяти ЭВМ.

## Список литературы

1. Barua A. A method to diagnose faults in analog integrated circuits using artificial neural networks with pseudo-random noise as stimulus / A. Barua, P. Kabisatpathy, S. Sinha // Proc. 10th IEEE International Conference on Electronics Circuits and Systems (ICECS 2003), University of Sharjah, UAE. – 2003. – P. 356-359.
2. Мальшиенко Ю.В. Автоматизация диагностирования электронных устройств / Ю.В. Мальшиенко, В.П. Читулис, С.Г. Шаршунюв. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 216 с.
3. Мерриэм К.У. Теория оптимизации и расчет систем управления с обратной связью / К.У. Мерриэм. – М.: Мир, 1967. – 549 с.
4. Джексон П. Введение в экспертные системы / П. Джексон. – М.: Вильямс, 2001. – 622 с.
5. Логический подход к искусственному интеллекту: от классической логики к логическому программированию / А. Тейз, П. Грибомон, Ж. Луи и др. Пер. с франц. – М.: Мир, 1990. – 432 с.
6. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика / Д.А. Поспелов. – М.: Наука, 1986. – 288 с.
7. Сайлер Б. Использование Visual Basic 6 / Б. Сайлер, Дж. Спотс. – М.: Вильямс, 2000. – 830 с.
8. Корнелл Г. Программирование на VB.NET / Г. Корнелл, Дж. Моррисон. – СПб.: "Питер", 2002. – 394 с.
9. Тоценко В.Г. Алгоритмы технического диагностирования дискретных устройств / В.Г. Тоценко. – М.: Радио и связь, 1985. – 240 с.

Поступила в редколлегию 10.08.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.М. Порошин, Национальный технический университет «ХПИ», Харьков.

## ДІАГНОСТУВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ МОДУЛІВ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ МЕТОДОМ ЗРОСТАЮЧИХ ПІРАМІДАЛЬНИХ МЕРЕЖ

Б.О. Шостак

У статті наведено результати досліджень з діагностики аналогових модулів радіоелектронних систем за допомогою застосування методу зростаючих пірамідальних мереж. Запропоновано алгоритм формування пірамідальної мережі.

**Ключові слова:** процес діагностування, аналоговий модуль, пірамідальні мережі.

## DIAGNOSIS OF ELECTRONIC MODULES OF INFORMATION SYSTEMS BY GROWING PYRAMIDAL NETWORKS

B. A. Shostak

The results of studies on the diagnosis of the analog modules of electronic systems using the method of growing pyramidal networks are present. An algorithm for the formation of a pyramidal network is proposed.

**Keywords:** process diagnostics, the analog module, pyramidal network.