

УДК 681.326:519.613

В.И. ХАХАНОВ¹, О.В. ЩЕРБА²¹Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина²Черниговский государственный технологический университет, Украина

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ

Предлагается инфраструктура диагностирования неисправностей цифровых систем, основанная на использовании искусственных нейронных сетей (ИНС). Предложено применение дополнительной ИНС, которая позволит проводить корректировку значений выходных сигналов цифровой системы, что позволит обеспечить ее работоспособность до ремонта при незначительных неисправностях. Предложена схема уточнения диагноза, которая позволяет выявить некорректные диагнозы при последовательном диагностировании цифровой системы, что повышает достоверность диагноза.

Ключевые слова: искусственная нейронная сеть, цифровая система, диагностирование неисправностей, кристалл перепрограммируемой логики, средства встроенного диагностирования.

Введение

Современные кристаллы программируемой логики стали привлекательными как быстрый и дешевый способ макетирования и реализации цифровых систем. Применение таких кристаллов позволяет значительно сократить стоимость разработки и время вывода конечного продукта на рынок (time-to-market) [1], что особенно актуально в условиях стремительного технологического прогресса в сфере электроники. Не менее важной является потребность повышения показателя выхода работоспособной продукции (yield). В современных жизненных циклах цифровых систем применение верификации и своевременного устранения ошибок проектирования обеспечивает необходимый уровень yield.

При проектировании систем на кристалле не маловажную роль играет надежность полученного решения. Большинство цифровых систем на кристалле планируются к использованию как составляющие элементы более сложных программно-аппаратных комплексов, поэтому возникает необходимость диагностирования и ремонта в процессе их эксплуатации.

Дополнение цифровой системы средствами встроенного диагностирования и ремонта позволит повысить надежность и даст возможность исправления некоторого класса ошибок на этапе ее эксплуатации без непосредственного вмешательства в работу комплекса и демонтажа кристалла.

Ервант Зориан, ведущий ученый в области Design and Test [2]: “В настоящее время основная проблема ремонта цифровой системы на кристалле будет заключаться в разработке технологий и методов встроенного восстановления работоспособности

логики, хотя последняя занимает не более 10% от площади кристалла”.

Искусственные нейронные сети обладают рядом свойств, которые определяют их достоинства по сравнению с алгоритмическими вычислительными системами:

1) адаптивное обучение – способность улучшать свои характеристики, заложенные в том или ином алгоритме настройки параметров сети, отрабатывающем предъявленные ей обучающие последовательности или использующем имеющийся опыт;

2) самоорганизация: ИНС способны изменять свою структуру (архитектуру) или форму представления информации;

3) обобщение: после окончания процесса обучения сеть может быть нечувствительной к незначительным изменениям входных сигналов, что позволяет применять ее для зашумленных либо не полностью заданных данных;

4) вычисления в реальном времени: нейросетевые вычисления могут осуществляться параллельно во времени, что существенно увеличивает быстродействие ИНС;

5) устойчивость к сбоям: частичное разрушение сети ведет к потере качества, однако некоторые ее свойства сохраняются даже в случае разрушения большей части сети [3].

Цель исследования: разработка инфраструктуры диагностирования цифровой системы, которая позволит использовать достоинства ИНС перед алгоритмическим подходом для повышения качества диагностирования, возможности корректировки выходных значений цифровой системы и определения отклонений в результатах диагностирования, как признака их неисправности.

Задачи исследования: 1. Разработка принципов применения ИНС в задаче диагностирования неисправностей цифровых систем.

2. Создание средств повышения достоверности диагноза.

3. Разработка способа тестирования работоспособности средств диагностирования.

4. Обеспечение возможности корректировки выходных значений при неисправной работе цифровой системы до выполнения ее ремонта.

1. Инфраструктура диагностирования цифровых систем с применением искусственных нейронных сетей

Процесс диагностирования состоит из определенных частей (элементарных проверок, тестов), каждая из которых характеризуется подаваемым на объект тестовым набором (рабочим воздействием) и снимаемым с объекта откликом (выходным значением). Метод диагностирования характеризуется объектом элементарной проверки, способом подачи воздействия и снятия ответа [4].

Основная задача диагностирования цифровых систем состоит в формировании набора тестовых сигналов, которые одновременно подаются на объект тестирования и его эталонную модель, и анализе выходных значений, на основе которого формируется диагноз цифровой системы. Кроме входных и выходных воздействий диагностирование основывается на данных про реакцию цифровой системы на тестовые воздействия в зависимости от наличия неисправностей.

Объем ресурсов кристалла необходимый для размещения внутренних средств диагностирования определяется суммарным размером: а) набора тестов, которые необходимы для обнаружения заданных неисправностей; б) таблицы неисправностей, как способа представления информации про реакцию неисправной цифровой системы на входные воздействия; в) эталонной модели, задающей образец исправного поведения; г) реализацией алгоритма диагностирования и выбора тестов.

Встроенное диагностирование возможно при предварительно полученном наборе тестов и диагностической информации для заданной цифровой системы. Внешние (относительно кристалла) средства предоставляют всю необходимую на этапе эксплуатации кристалла диагностическую информацию, полученную, как правило, путем моделирования работы цифровой системы с внесенными неисправностями и без них.

Применение ИНС как способа диагностирования неисправностей не требует отдельных ресурсов для эталонной модели цифровой системы и таблицы неисправностей. Данная информация вносится в ИНС на этапе ее обучения и «запоминается» весовыми коэффициентами сети. Обучение сети выполняется до начала эксплуатации цифровой системы внешними средствами.

Инфраструктура диагностирования представлена на рисунке 1 предполагает наличие внутренних и внешних (относительно кристалла) средств, которые обеспечивают возможность применения нейросетевого подхода в диагностировании. Разделение средств на две группы выполнено не только по локализации, но и по этапам жизненного цикла системы на кристалле, на который они используются. Внешние компоненты обеспечивают конфигурирование встроенных средств диагностирования под конкретную цифровую систему на этапе ее разработки и имплементации в кристалл. Внутренние элементы актуальны на этапе эксплуатации кристалла.

Предоставления данных о возможных неисправностях и их проявлениях в цифровой системе, а также о наборе входных данных проявляющих различные неисправности является главной задачей внешних средств диагностирования. Необходимые данные формируются на основе моделирования цифровой системы с заданными неисправностями. Применение ИНС в качестве диагностирующего средства требует преобразования табличного представления данных в матрицу весовых коэффициентов ИНС посредством обучения. В данном случае обучение ИНС является конфигурированием встроенных средств диагностирования под конкретную цифровую систему.

Кроме основной ИНС, которая ориентирована на определение диагноза, предлагается дополнить инфраструктуру дополнительной ИНС, которая расширит возможности диагностирования и повысит надежность функционирования цифровой системы, за счет корректировки ее выходных данных.

Включение схемы уточнения диагноза дает возможность реализации последовательного функционального тестирования на основе ИНС. Предложенная схема корректировки может применяться не только с нейросетевой реализацией последовательного тестирования и позволяет выявить некорректный диагноз, который может быть вызван неисправностью средств диагностирования. Возможность выявления некорректностей позволит повысить достоверность диагноза.

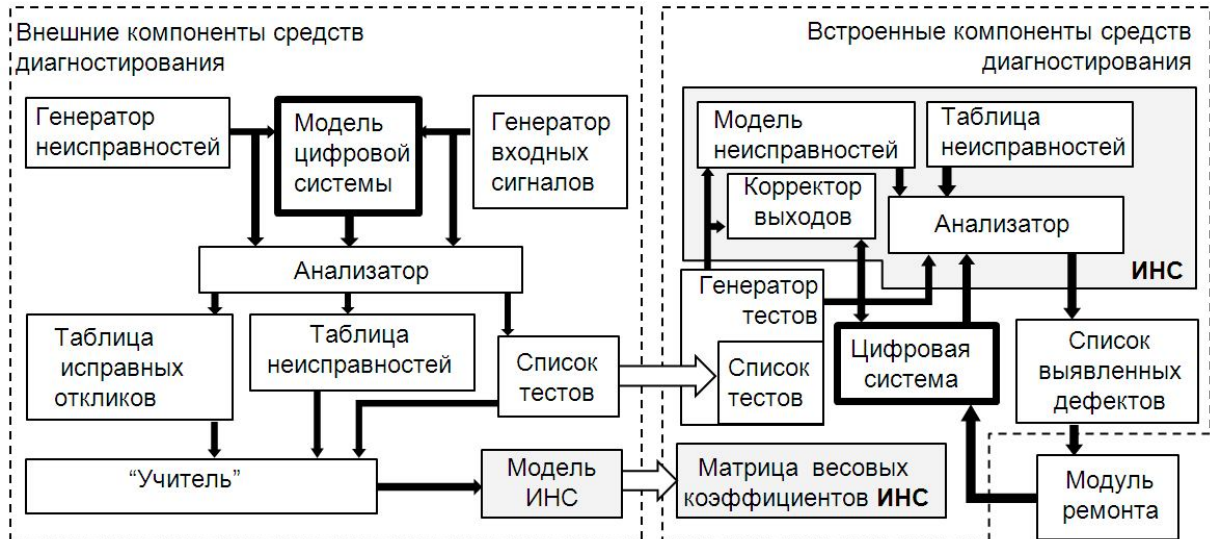


Рис. 1. Инфраструктура диагностирования цифровых систем с применением ИНС

2. Искусственные нейронные сети в задаче диагностирования цифровых систем

Вопрос о возможности применения искусственных нейронных сетей для диагностирования неисправностей в аналоговых и в цифровых схемах рассматривается учеными всего мира.

Поиск дефектов в аналоговых схемах исследован в работах [4-7], в таких системах диагностирования предложено применять многослойные сети прямого распространения с сигмоидальной активационной функцией [4,5] и радиально-базисные сети [6,7]. В аналоговых схемах применение ИНС обусловлено нелинейными зависимостями, высоким уровнем шумов, меняющимися условиями функционирования, обуславливающими изменение характеристик диагностируемых объектов.

Поиску неисправностей в цифровых схемах посвящены работы [8-12]. Наряду с многослойными сетями прямого распространения с сигмоидальной активационной функцией [8-10] и радиально-базисными сетями [11,12] рассматривается сеть Хопфилда [10,13]. Возможность диагностирования множественных неисправностей, а также применение ИНС для отбора тестовых векторов является важным преимуществом данного подхода. Большая часть работ посвящена рассмотрению ИНС без привязки к способу ее реализации.

Вопрос реализации ИНС является определяющим при оценке эффективности ее прикладного использования. Программная реализация ИНС (для процессорного типа устройств) нивелирует одно из важных достоинств ИНС - быстродействие, которое основано на возможности параллельного функционирования нейронов.

Реализация ИНС в кристалле программируемой логики позволяет обеспечить параллельную работу ИНС и достичь высоких показателей быстродействия. Ориентация на кристаллы программируемой логики как на средство имплементации дает возможность сделать применение ИНС в задаче диагностирования более привлекательным.

Задача диагностирования для ИНС формулируется, как необходимость отнести входной вектор, который содержит значения тестовых векторов и выходных реакций цифровой системы на эти вектора, к одному или нескольким классам. Под классом понимается одна из возможных неисправностей. Задача диагностирования множественной неисправности (одновременного появления нескольких допустимых неисправностей) решается отнесением входного вектора к нескольким классам, которые представляют совокупность неисправностей формирующих ошибку в работе цифровой системы.

Оценочная формула числа нейронов в радиально-базисной сети и сети прямого распространения имеет следующий вид:

$$Z = T * (k + l + 1) + F,$$

где k – количество входов цифровой системы; l – количество выходов цифровой системы; T – количество тестовых наборов; F – количество диагностируемых неисправностей.

3. Методы определения неисправностей искусственной нейронной сетью

Предлагается 2 подхода к организации встроенного диагностирования цифровых систем с применением ИНС: тестовое (параллельное) и функциональное (последовательное) диагностирование. В системах тестового диагностирования воздейст-

вие на объект поступает от средств диагностирования. В системах функционального диагностирования воздействия на объект задаются рабочим алгоритмом функционирования [4] или последовательностью тестов.

4 Тестовый (параллельный) метод диагностирования с применением искусственных нейронных сетей

При тестовом виде диагностирования (рис.2) ИНС принимает решение по всему набору тестов и выходным значениям, формируя на выходе признаки возможных неисправностей. Такой подход требует дополнительных ресурсов для хранения результатов тестов и необходимости прерывания цифровой системы на тестирование, но при этом дает максимально возможную точность диагноза, так как проверяется работа устройства на всех тестовых наборах.

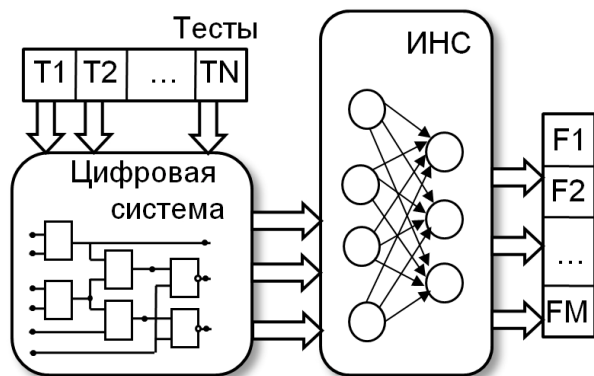


Рис. 2. Применение ИНС при тестовой диагностике

При таком методе диагностирования нет необходимости подавать значения тестов на входы ИНС, что сокращает количество нейронов во входном слое сети.

Соответствие выходного и тестового векторов реализуется посредством привязки каждого теста к определенной группе входов ИНС.

5. Функциональный (последовательный) метод диагностирования с применением искусственных нейронных сетей

При функциональном виде диагностирования (рис.3) ИНС в фоновом режиме анализирует текущие входные и выходные значения цифровой системы, формируя диагноз на основании одного тестового вектора. В качестве тестового вектора может рассматриваться рабочее значение входных сигналов, что позволит диагностировать цифровую систему в «фоновом» режиме.

Недостатком этого метода диагностирования является определение набора неисправностей, которые могут привести к полученной реакции на конкретный тест. Это связано с тем, что каждый тест может раскрывать группу неисправностей, а для конкретизации результата необходимо оценить отклики системы на другие тесты. Искомой неисправностью будет та, которая проявилась во всем проводимых тестах.

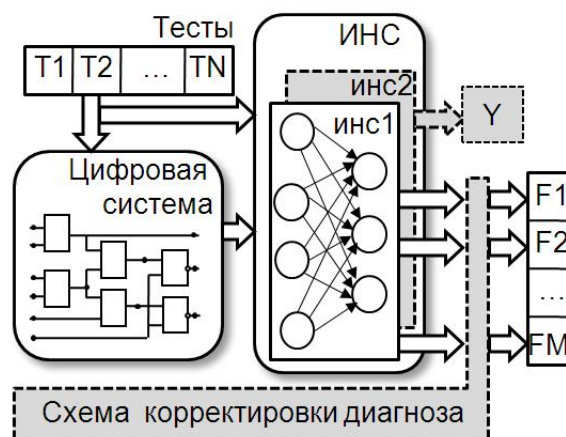


Рис. 3. Применение ИНС при функциональной диагностике

Для устранения недостатка последовательного метода предложено дополнить инфраструктуру диагностирования схемой уточнения диагноза, которая будет накапливать диагноз по разным тестовым векторам, уточняя общий диагноз.

6. Схема уточнения диагноза при последовательном методе

Эффект накопления диагноза можно получить на выходах ИНС, если дополнить каждый ее выход схемой корректировки диагноза с учетом результатов предыдущих тестов представленных на рис 3.

После анализа очередного входного вектора признаки неисправностей останутся только на тех выходах, которые были установлены на предыдущем тесте и не были сброшены в текущем. С каждым последующим шагом количество диагностируемых неисправностей будет уменьшаться или оставаться без изменения.

При реализации схемы коррекции можно также учитывать количество последовательно проведенных тестов (накопитель), на которых выход не изменяет своего диагноза, что позволит достичь более высокой надежности полученного решения.

Дополнительные преимущества внесения схемы уточнения диагноза в инфраструктуру диагностирования заключаются в возможности отслеживания ситуации, когда за некоторое число тестов

были получены непересекающиеся множества неисправностей. «Отлавливание» таких ситуаций можно использовать для диагностирования корректности работы ИНС.

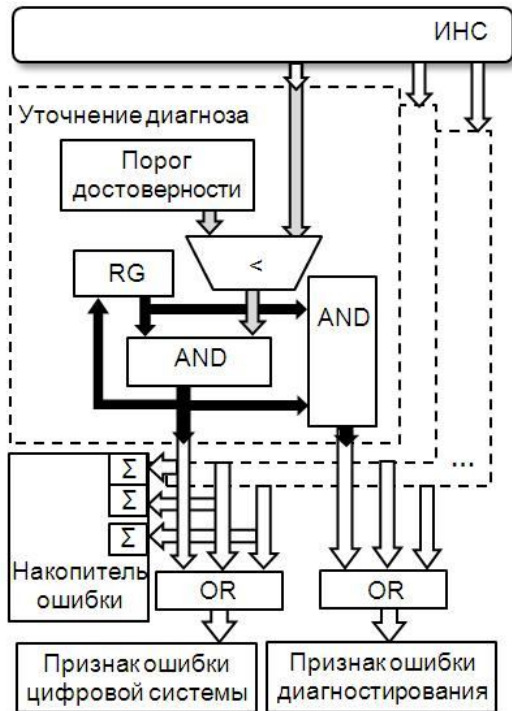


Рис. 6. Схема корректировки диагноза с учетом предыдущих тестов

7. Искусственные нейронные сети корректировки выходов цифровой системы

Включение в инфраструктуру диагностирования последовательным методом дополнительной ИНС для корректировки выходных значений цифровой системы позволит обеспечить стабильность работы на этапе возникновения неисправности и до выполнения ремонта модуля цифровой системы, в котором была обнаружена неисправность. Корректирующая способность сети будет зависеть от объема ресурсов, которые могут быть выделены для ее размещения.

Задача данной сети ассоциировать каждый некорректный выходной набор с соответствующими ему корректными значениями. Для одного корректного выходного вектора может существовать множество значение с ошибкой, поэтому стоит задача ассоциации «многих-к-одному». Для решения такой задачи эффективными являются ИНС векторного квантования (vector quantization, VQ).

Заключение

Предложенная инфраструктура диагностирования неисправностей цифровых систем позволяет реализовать нейросетевой подход к решению задачи встроенного диагностирования. Применение ИНС позволит получить повышение быстродействия средств диагностирования за счет распараллеливания потоков обработки диагностической информации. Применение дополнительной ИНС позволит выполнять корректировку выходных значений цифровой системы, что повысит стабильность работы на этапе возникновения неисправности и до выполнения ремонта модуля цифровой системы, в котором была обнаружена неисправность. Дополнение выходов ИНС схемой корректировки позволит проводить уточнение диагноза при функциональном виде диагностирования, а также отлавливать сбои в работе ИНС.

Литература

1. Mitra Subhasish *Fault Location in FPGA-Based Reconfigurable Systems* / Subhasish Mitra, Philip P. Shirvani and Edward J. McCluskey.
2. Yervant Z. *Gest editors' introduction: Design for Yield and reliability* / Z. Yervant, G. Dmytris // *IEEE Design & Test of Computers*. – May-June 2004. – P. 177-182.
3. *Искусственные нейронные сети учеб. пособие* / О.Г. Руденко, Е.В. Бодянский. – Х.: ООО «Компания СМИТ», 2005. – 408 с.
4. *Основы эксплуатации ЭВМ учеб. пособие для ВУЗов* / Б.М. Каган И.Б. Мкртумян. – Под редакцией Б.М. Кагана, 2-е издание. – Москва: Энергоатомиздат, 1988.
5. Litovski Vančo *ANN Application in Electronic Circuits Diagnosis* / Vančo Litovski, Miona Andrejević // *Proc. XLVIII ETRAN Conference, Čačak*. – June 6-10, 2004. – Vol. I.
6. Andrejevic Miona *Fault Diagnosis in Digital Part of Mixed-Mode Circuit* / Miona Andrejevic, Vanco Litovski, Mark Zwolinski // *Proc. 25th International Conference in Microelectronics (MEL 2006), Belgrade, Serbia and Montenegro, 2006*.
7. Lin Tsung-Chih *Frequency Domain Analog Circuit Fault Diagnosis Based on Radial Basis Function Neural Network* / Tsung-Chih Lin, Ming-Jen Kuo, Ying-Chou Chen.
8. Selaimia Y. *Multi Neural Network Based Approach for Fault Detection and Diagnosis of ADC Motor* / Y. Selaimia, H.A. Abbassi and A. Loudjani // *Journal of Engineering and Applied Science* 1(2): 143-148, 2006.

9. Arslan T. Compact artificial neural network approach for multiple fault location in digital circuits / T. Arslan and A. Al-Jumah // *Electronic Letters* – 9th October 1997. – Vol. 33. – №21.
10. AL-Jumah A.A. Artificial neural network based multiple fault diagnosis in digital circuits / A.A. AL-Jumah and T.Arslan.
11. Zhongliang Pan Neural Network Approach for Multiple Fault Test of Digital Circuits / Pan Zhongliang, Chen Ling, Lju Shouquaing, Zhang Guangzhao.
12. Czaja Zbigniew, An Application of the TCRBF Neural Network in Multi-Node Fault Diagnosis Method / Zbigniew Czaja, Michal Kowalewski.
13. Huang Sunan Fault Detection and Diagnosis Based on Modeling and Estimation Methods / Sunan Huang and Kok Kiong Tan // *IEEE Transactions on Neural Networks* – Vol. 20 – № 5 – MAY 5.
14. Ortega Julio Generalized Hopfield Neural Network for Concurrent Testing / Julio Ortega, Alberto Prieto, Antonio Lloris, Francisco J. Pelayo // *IEEE Transaction on Computers*, – Vol. 42. – № 8. – August 1993.

Поступила в редакцію 19.01.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. Хмельницького Національного університету О.В. Поморова, Хмельницький, Україна.

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ

В.И. Хаханов, О.В. Щерба

Предлагается инфраструктура диагностирования неисправностей цифровых систем, основанная на использовании искусственных нейронных сетей (ИНС). Предложено применение дополнительной ИНС, которая позволит проводить корректировку значений выходных сигналов цифровой системы, что позволит обеспечить ее работоспособность до ремонта при незначительных неисправностях. Предложена схема уточнения диагноза, которая позволяет выявить некорректные диагнозы при последовательном диагностировании цифровой системы, что повышает достоверность диагноза.

Ключевые слова: искусственная нейронная сеть, цифровая система, диагностирование неисправностей, кристалл перепрограммируемой логики, средства встроенного диагностирования.

ARTIFICIAL NEURAL NETWORK APPLICATION FOR FAULT DIGNOSIS OF DIGITAL SYSTEMS

V.I. Hahanov, O.V. Scherba

Infrastructure for fault diagnosis in digital systems based on artificial neural networks is proposed. The addition ANN is proposed for correction of digital system's output values in order to provide it's operability until repair. The proposed scheme for refinement of diagnosis helps to increase the probability of right diagnosis and to detect the false diagnosis when serial diagnosing method is providing for digital system.

Key words: artificial neural networks, digital system, fault diagnosis, programmable logic device, built-in self-testing.

Хаханов Владимир Иванович – д-р техн. наук, проф., проф. кафедры АПВТ Харьковского национального университета радиоэлектроники, декан факультета КИУ ХНУРЭ, Харьков, Украина, e-mail: hahanov@kture.kharkov.ua.

Щерба Ольга Валериевна – аспирант кафедры информационных и компьютерных систем Черниговского государственного технологического университета, Чернигов, Украина, e-mail: ol.sherba@gmail.com.