

УДК 004.052.32

DOI: 10.12737/article_5a02fa01028563.3838700

И.С. Кабак, Н.В. Суханова, С.А. Шептунов

СПОСОБ ОБУЧЕНИЯ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ КОММУТАТОРНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ

Рассмотрена структура системы технической диагностики, реализованной на базе искусственных нейронных сетей. Предложен способ обучения искусственной нейронной сети с использованием математических моделей элементов электронной схемы.

Ключевые слова: электронная схема, коммутаторная архитектура, устройство технической диагностики, искусственная нейронная сеть, безотказность.

I.S. Kabak, N.V. Sukhanova, S.A. Sheptunov

METHOD OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORK TEACHING AND ITS USE FOR ENGINEERING DIAGNOSTICS OF SWITCHING ELECTRONIC CIRCUITS

The work purpose consists in the development of a new method of training in artificial neural network performing functions of the device of engineering diagnostics for electronic circuits formed according to the switch architecture. There is considered a structure of engineering diagnostics system realized on the basis of artificial neural networks. The artificial neural network making a basis of devices for engineering diagnostics must be trained. For artificial neural network training a large training sampling is required which usually sup-

poses substantial costs, large computer resources and training time, high labor-intensity.

An investigation method – modeling. Investigation results: a method for training in an artificial neural network with the use of simulators of electronic circuit elements is offered.

Key words: electronic circuit, switch architecture, technical diagnostics device, artificial neural network, reliability.

К электронным схемам предъявляются высокие требования по безотказности. Применение классических способов повышения надежности и безотказности, таких как резервирование наиболее критических элементов схем, вызывает существенный рост стоимости, габаритов, веса и других эксплуатационных параметров. Для нахождения разумного компромисса между безотказностью и эксплуатационными параметрами была предложена коммутаторная архитектура для электронных схем [1-7; 10-16]. Суть коммутаторной архитектуры состоит в дополнении компонентов электронной схемы устройством коммутации.

На рис. 1 приведена электронная схема из шести однотипных элементов. Элементы соединены друг с другом по входам и выходам. Соединение входов и выходов элементов задано при проектировании. Такие схемы являются невосста-

навливаемыми устройствами, когда невозможен ремонт и замена их элементов в процессе работы, без выключения. Для устройства технической диагностики такая схема рассматривается как «черный ящик». Контроль ее работоспособности в процессе работы проводится только на уровне проверки сигналов на входах и выходах электронной схемы.

Добавим в электронную схему новый элемент - коммутатор, как это показано на рис.2.

Как схема, представленная на рис. 1, так и коммутаторная схема, представленная на рис. 2, имеют одинаковый функционал. Коммутаторная схема имеет ряд преимуществ:

1. Элементы коммутаторной схемы (рис. 2) соединены только с коммутатором. Для передачи информации с выхода одного элемента на вход другого элемента коммутатор использует таблицу коммута-

ции, которая записана в его оперативной памяти. Взаимные связи между элементами в такой схеме могут легко перестраиваться, для чего надо только изменить информацию в памяти коммутатора.

2. Если в схеме имеются одинаковые элементы, то возможна простая замена отказавшего элемента на резервный. При этом необходимо иметь один резервный элемент на группу однотипных элементов, а не на каждый элемент. Резервный элемент подключается через коммутатор (рис. 2).

3. Вся информация проходит через коммутатор. Связи между элементами определяются информацией в памяти коммутатора. Изменяя информацию в памяти

коммутатора, можно получить возможность подавать тестовые входные сигналы и контролировать выходные сигналы для любой группы элементов (подсхемы), вплоть до одного элемента. Таким образом, коммутаторная архитектура существенно расширяет возможности технической диагностики электронной схемы и обеспечивает быстрый поиск и замену отказавшего элемента.

4. Возможен как ручной, так и автоматический поиск и замена отказавшего элемента. Для осуществления такого поиска используется внешнее по отношению к схеме устройство технической диагностики (рис. 2).

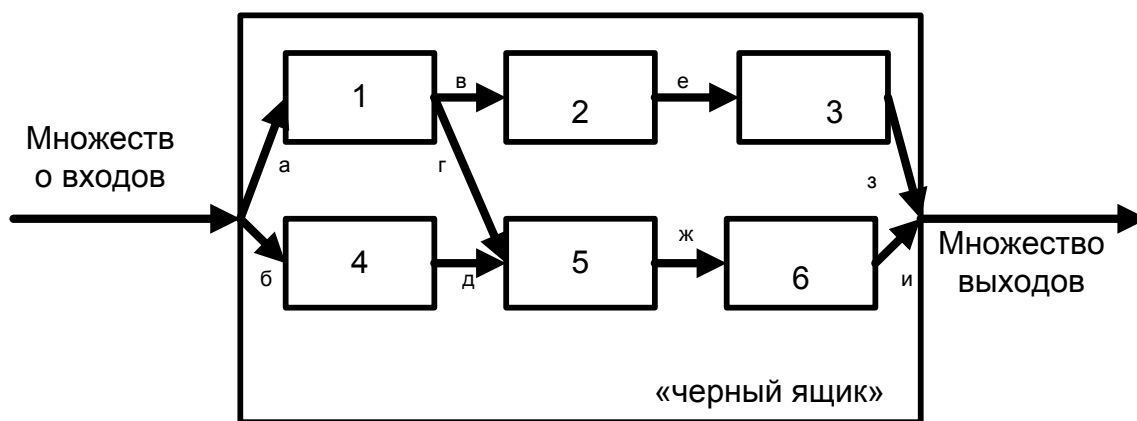


Рис. 1. Электронная схема

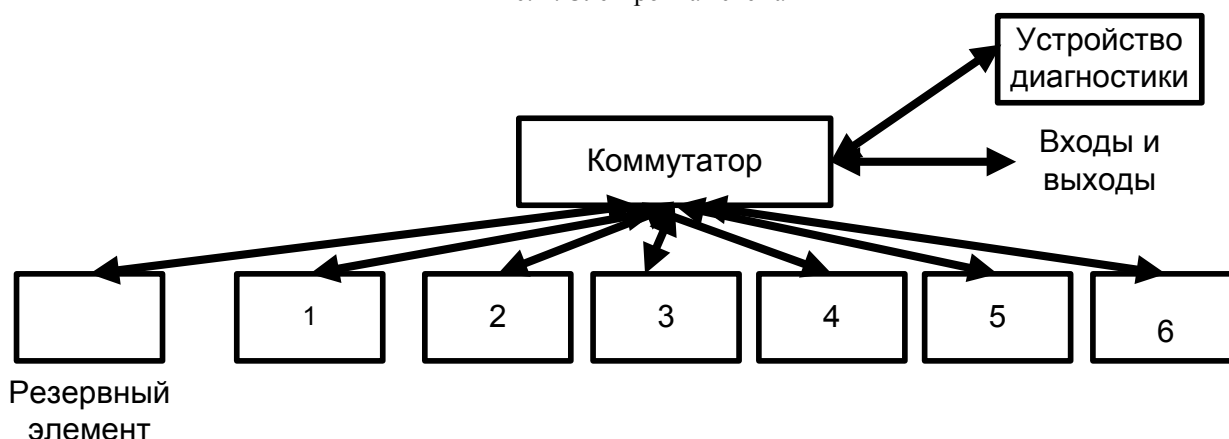


Рис. 2. Коммутаторная схема, аналогичная схеме, представленной на рис. 1

Возможны различные варианты построения устройства технической диагностики. Это могут быть логические выражения, например полином Жегалкина, программа для однокипного микрокомпь-

ютера, экспертная система или устройство диагностики на базе искусственных нейронных сетей [8; 9]. В нейронной сети выполняется параллельная обработка информации. Нейронная сеть построена из

слоев, где в каждом слое контролируются входные и выходные сигналы для каждого элемента. Устройство технической диагностики на базе искусственных нейронных сетей имеет наибольшее быстродействие и поэтому является предпочтительным.

Размер искусственной нейронной сети зависит от сложности электронной схемы и может быть достаточно большим. В связи с этим возникает проблема обучения большой искусственной нейронной сети. Обучение искусственной нейронной сети проводится на обучающей выборке. Обучающая выборка представляет собой набор пар входов-выходов, элементами которых являются векторы входных данных для искусственной нейронной сети и векторы выходов искусственной нейронной сети (в результате ее функционирования).

В настоящее время формирование обучающих примеров выполняется в ручном режиме, что чрезвычайно трудоемко. Автоматизация процесса обучения искусственной нейронной сети для технической диагностики является актуальной задачей. Для решения этой задачи разработан новый способ обучения искусственной нейронной сети, который включает два этапа.

На первом этапе используется имитационная модель элемента, по которой создается обучающая выборка в автоматическом режиме, без участия человека.

На втором этапе по обучающей выборке строится искусственная нейронная

сеть, которая по входным и выходным сигналам электронной схемы способна определить ее работоспособность и диагностировать отказ с точностью до элемента.

Рассмотрим обучение нейронной сети на примере коммутаторной схемы (рис. 2). В процессе работы коммутаторной схемы параллельно выполняются семь процессов, из которых шесть - функционирование элементов схемы (блоки 1-6 на рис. 2), а седьмой процесс - функционирование коммутатора.

Создадим агрегат данных, описывающих результат моделирования, для подготовки обучающей выборки для искусственной нейронной сети. Для схемы на рис. 2 агрегат данных приведен в табл. 1. В первый столбец таблицы заносится номер обучающей выборки.

Второй столбец хранит входные сигналы электронной схемы.

Третий столбец предназначен для информации, полученной на выходах электронной схемы.

Столбцы с номерами 4-10 отражают состояние элементов схемы \mathcal{E}_i и коммутатора K_1 (работоспособное состояние или отказ).

Для процесса моделирования используется генератор псевдослучайных чисел. Он генерирует вектор входных сигналов схемы и определяет, какой или какие элементы отказали.

Таблица 1

Данные обучающей выборки искусственной нейронной сети

№ выборки	Входные сигналы	Выходные сигналы	\mathcal{E}_1	\mathcal{E}_2	\mathcal{E}_3	\mathcal{E}_4	\mathcal{E}_5	\mathcal{E}_6	K_1
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1201	1302	0	0	0	0	0	0	0
2	1260	123	0	0	0	0	13	0	0
3	1234	654	0	0	1	0	0	5	0

Процесс создания обучающей выборки для искусственной нейронной сети начинается с создания имитационной модели каждого ее элемента. Модель элемента реализована как компьютерная программа, имитирующая его работу.

Информация, поступившая на вход схемы, передается в коммутатор и в соответствии с таблицей коммутации будет передана одному или нескольким элементам схемы. Если элемент в работоспособном состоянии, он однозначно преобразует ин-

формацию в соответствии со своей функцией.

Отказ элемента может выразиться не только в отказе от обработки информации вообще, но и в ее некорректной обработке. Выделим наиболее вероятные группы отказов элемента и будем имитировать их внесением изменений в программу - модель элемента, например обнуляя внутренний блок команд, отвечающий за ту или иную функцию элемента схемы.

Пусть элемент выполняет 21 функцию, т.е. в его структуре имеется 21 внутренний блок команд. Генерируем случайное число от 0 до 21, определяющее отсутствие или наличие отказа. 0 означает отсутствие отказа, от 1 до 21 - номер отказавшего блока команд.

Проведем подобную операцию для всех элементов схемы. Для каждого элемента схемы создадим отдельный процесс. В результате моделирования (виртуального эксперимента) на выходе схемы получим результат работы схемы, который заносится в третий столбец табл. 1. Номера отказавших блоков команд занесем для каждого элемента в строке табл. 1.

Повторяя многократно виртуальный эксперимент, заполним табл. 1. Размер

табл. 1 определяется размером искусственной нейронной сети.

Подготовка моделирования связана с определенными затратами ручного труда экспериментатора. После создания имитационной модели весь расчет табл. 1 и, соответственно, обучающей выборки выполняется автоматически, без непосредственного участия человека.

Описанный способ обучения искусственной нейронной сети по имитационной модели элементов позволяет определить отказавший элемент, причины и последствия такого отказа. Для коммутаторной архитектуры электронной схемы эта информация избыточна и может быть сокращена. В процессе обеспечения отказоустойчивости электронной схемы не анализируется причина отказа, а только сам факт отказа.

В связи с этим нет необходимости моделировать внутреннюю структуру элементов, достаточно использовать только два значения:

0- элемент исправен и не нуждается в замене;

1- отказ элемента и необходимость его замены.

Таблица 2

Данные обучающей выборки искусственной нейронной сети для коммутаторной архитектуры

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1201	1302	0	0	0	0	0	0	0
2	1260	123	0	0	0	0	1	0	0
3	1234	654	0	0	1	0	0	1	0

Итак, разработан новый способ обучения искусственной нейронной сети, выполняющей функции устройства технической диагностики для коммутаторных электронных схем. Способ обучения искусственной нейронной сети включает два этапа.

На первом этапе создаются имитационные модели элементов, по которым формируется обучающая выборка в автоматическом режиме, без участия человека. Обучающая выборка представляет собой набор пар входов-выходов, элементами которых являются векторы входных дан-

ных для искусственной нейронной сети и векторы выходов искусственной нейронной сети (в результате ее функционирования).

На втором этапе по обучающей выборке строится искусственная нейронная сеть, которая по входным и выходным сигналам электронной схемы способна определить ее работоспособность и диагностировать отказ с точностью до элемента. Описанный способ обучения искусственной нейронной сети по имитационной модели элементов позволяет опреде-

лить отказавший элемент, причины и по-

следствия такого отказа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кабак, И.С. Создание больших аппаратно-программных нейронных сетей для систем управления / И.С. Кабак // *Авиационная промышленность*. - 2012. - № 4. - С. 57-61.
2. Кабак, И.С. Математическая модель для прогнозирования и оценки надежности программного обеспечения / И.С. Кабак // *Вестник МГТУ «Станкин»*. - 2014. - № 1 (28). - С. 123-126.
3. Кабак, И.С. Технология реализации автоматизированных систем управления на базе больших искусственных нейронных сетей МОДУС-НС / И.С. Кабак, Н.В. Суханова // *Межотраслевая информационная служба*. - 2012. - № 4. - С. 43-47.
4. Нейронная сеть: пат. 66831 на полез. модель; приоритет 02.04.07 / Кабак И.С, Суханова Н.В. // *Бюл. изобрет. и ПМ*. - 3 с.
5. Доменная нейронная сеть: пат. 72084 на полез. модель; приоритет 03.12.07 / Кабак И.С, Суханова Н.В. // *Бюл. изобрет. и ПМ*. - 3 с.
6. Модульная вычислительная система: пат. 75247 на полез. модель; приоритет 26.12.08 / Кабак И.С., Суханова Н.В. // *Бюл. изобрет. и ПМ*. - 5 с.
7. Кабак, И.С. Аппаратная реализация ассоциативной памяти произвольного размера / И.С. Кабак, Н.В. Суханова // *Вестник МГТУ «Станкин»*. - 2010. - № 1. - С. 135-139.
8. Кабак, И.С. Применение нейронных сетей при диагностике состояния режущего инструмента / И.С. Кабак, Н.В. Суханова, А.М. Гаделев // *Известия Кабардино-Балкарского государственного университета*. - 2012. - Т. 2. - № 4. - С. 77-79.
9. Кабак, И.С. Методика применения аппарата нейронных сетей для решения задач диагностики процесса резания / И.С. Кабак, Н.В. Суханова, А.М. Гаделев // *Вестник МГТУ «Станкин»*. - 2012. - № 4 (22). - С. 130-133.
10. Кабак, И.С. Система диагностики технологического процесса резания с использованием аппарата нейронных сетей / И.С. Кабак, А.М. Гаделев // *Мехатроника, автоматизация, управление*. - 2012. - № 10. - С. 25-29.
11. Многослойная модульная вычислительная система: пат. 2398281 на изобрет.; приоритет 07.11.08 / Соломенцев Ю.М., Шептунов С.А., Кабак И.С., Суханова Н.В. // *Бюл. изобрет. и ПМ*. - 5 с.
12. Соломенцев, Ю.М. Повышение быстродействия суперкомпьютера за счет оптимизации информационного межпроцессорного трафика / Ю.М. Соломенцев, С.А. Шептунов, И.С. Кабак, Н.В. Суханова // *Известия Кабардино-Балкарского государственного университета*. - 2012. - Т. 2. - № 4. - С. 71-73.
13. Степанов, С.Ю. Алгоритм фрагментации больших нейронных сетей и исследование его сходимости / С.Ю. Степанов, И.С. Кабак // *Информационные технологии*. - 2012. - № 7. - С. 73-78.
14. Sheptunov, S.A. Optimimization of the Complex Software Reliability of Control Systems / S.A. Sheptunov, M.V. Larionov, N.V. Sukhanova, I.S. Kabak, D.A. Alshinbaeva // *IEEE Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&MQ&IS 2016) PROCEEDINGS*. - 2016. - P. 225-228.
15. Sheptunov, S.A. Simulating of Reliability of Robotics System Software on Basis of Artificial Intelligence / S.A. Sheptunov, M.V. Larionov, N.V. Sukhanova, M.R. Salakhov, Y.M. Solomentsev, I.S. Kabak // *IEEE Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&MQ&IS 2016) PROCEEDINGS*. - 2016. - P. 220-224.
16. Solomentsev, Yu.M. Assessing the Reliability of CAD Software by Means of Neural Networks / Yu.M. Solomentsev, I.S. Kabak, N.V. Sukhanova // *Russian Engineering Research*. - 2015. - № 12.
1. Kabak, I.S. Hardware-software neural networks formation for management systems / I.S. Kabak // *Aircraft Industry*. - 2012. No.4. - pp. 57-61.
2. Kabak, I.S. Simulator for prediction and assessment of software reliability / I.S. Kabak // *Bulletin of MSTU "Stankin"*. - 2014. - No.1 (28). - pp. 123-126.
3. Kabak, I.S. Technology for automated management system realization based on large artificial neural networks MODUS-NS / I.S. Kabak, N.V. Sukhanova // *Inter-branch Information Service*. - 2012. - No.4. - pp. 43-47.
4. Neural Network: Utility Pat. 66831; priority 02.04.07 / Kabak, I.S., Sukhanova, N.V. // *Bull. of Inv. and U*. - pp. 3.
5. Domain Neural Network: Utility Pat. 72084; priority 03.12.07 / Kabak I.S., Sukhanova N.V. // *Bull. of Inv. and U*. - pp. 3.
6. Modular Computer System: Utility Pat. 75247; priority 26.12.08 / Kabak I.S., Sukhanova N.V. // *Bull. of Inv. and U*. - pp. 5.
7. Kabak, I.S. Hardware realization of associative memory with arbitrary dimension / I.S. Kabak, N.V. Sukhanova // *Bulletin of MSTU "Stankin"*. - 2010. - No.1. - pp. 135-139.
8. Kabak, I.S. Neural networks application at cutter state diagnostics / I.S. Kabak, N.V. Sukhanova, A.M. Gadelev // *Proceedings of Kabardino-Balkaria State University*. - 2012. - Vol. 2. - No.4 - pp. 77-79.
9. Kabak, I.S. Procedure for neural networks apparatus application in solution of problems of cutting

- process diagnostics / I.S. Kabak, N.V. Sukhanova, A.M. Gadelev // *Bulletin of MSTU "Stankin"*. – 2012. – No.4 (22). – pp. 130-133.
10. Kabak, I.S. System of cutting technological process diagnostics using neural networks apparatus / I.S. Kabak, A.M. Gadelev // *Mechatronics, Automation, Management*. - 2012. – No.10. – pp. 25-29.
11. Multi-layer Modular Computer System: Invention Pat. 2398281; priority 07.11.08 / Solomentsev Yu.M., Sheptunov S.A., Kabak I.S., Sukhanova N.V. // *Bull. of Inv. and U.* – pp. 5.
12. Solomentsev, Yu.M., Super-computer speed increase due to information inter-processor traffic optimization / Yu.M. Solomentsev, S.A. Sheptunov, I.S. Kabak, N.V. Sukhanova // *Proceedings of Kabardino-Balkaria State University*. – 2012. – Vol. 2. – No.4. – pp. 71-73.
13. Stepanov, S.Yu. Algorithm of large neural networks fragmentation and investigation of its convergence / S.Yu. Stepanov, I.S. Kabak // *Information Technologies*. – 2012. – No.7. – pp. 73-78.
14. Sheptunov, S.A. Optimimization of the Complex Software Reliability of Control Systems / S.A. Sheptunov, M.V. Larionov, N.V. Sukhanova, I.S. Kabak, D.A. Alshinbaeva // *IEEE Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&MQ&IS 2016) PROCEEDINGS*. - 2016. - P. 225-228.
15. Sheptunov, S.A. Simulating of Reliability of Robotics System Software on Basis of Artificial Intelligence / S.A. Sheptunov, M.V. Larionov, N.V. Sukhanova, M.R. Salakhov, Y.M. Solomentsev, I.S. Kabak // *IEEE Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&MQ&IS 2016) PROCEEDINGS*. - 2016. - P. 220-224.
16. Solomentsev, Yu.M. Assessing the Reliability of CAD Software by Means of Neural Networks / Yu.M. Solomentsev, I.S. Kabak, N.V. Sukhanova // *Russian Engineering Research*. - 2015. - № 12.

Статья поступила в редколлегию 5.07.17.
Рецензент: д.т.н., профессор ИКТИ РАН
Куликов М.Ю.

Сведения об авторах:

Кабак Илья Самуилович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Компьютерные системы управления» ФГБОУ ВПО Московский государственный технологический университет «СТАНКИН» (Россия), e-mail: ikabak@mail.ru.

Суханова Наталия Вячеславовна, кандидат технических наук, доцент, доценткафедры «Компьютерные системы управления» ФГБОУ ВПО Москов-

ский государственный технологический университет «СТАНКИН» (Россия), e-mail: N_v_sukhanova@mail.ru.

Шептунов Сергей Александрович, доктор технических наук, профессор, директор ФГБУН Институт конструкторско-технологической информатики РАН (Россия), e-mail: ship.ikti@mail.ru.

Kabak Piya Samuilovich, D. Eng., Assistant Prof., Prof. of the Dep. "Computer Management Systems", Moscow State technological University "STANKIN", e-mail: ikabak@mail.ru.

Sukhanova Natalia Vyacheslavovna, Can. Eng., Assistant Prof. of the Dep. Compute Management Sys-

tems", Moscow State technological University "STANKIN", e-mail: N_v_sukhanova@mail.ru

Sheptunov Sergey Alexandrovich, D. Eng., Prof., Director of Institute of Design-Technological Informatics of RAS, e-mail: ship.ikti@mail.ru.