

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського
“Харківський авіаційний інститут”

ISSN 1814-4225

РАДІОЕЛЕКТРОННІ
І
КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ

7 (41)

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ

Видається з січня 2003 р.

Виходить 4 рази на рік

Харків "ХАІ" 2009

Засновник журналу

Національний аерокосмічний університет
ім. М.Є. Жуковського "Харківський авіаційний
інститут"

Затверджено до друку вченою радою Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут", протокол № 7 від 18 березня 2009 р.

**Головний
редактор**

Віктор Михайлович Ілюшко,
доктор технічних наук, професор

**Редакційна
колегія**

І.В. Баришев, д-р техн. наук, професор;
В.К. Волосюк, д-р техн. наук, професор;
В.М. Варганян, д-р техн. наук, професор;
І.А. Жуков, д-р техн. наук, професор;
М.В. Замірець, д-р техн. наук, професор;
О.О. Зеленський, д-р техн. наук, професор;
Ф.Ф. Колпаков, д-р техн. наук, професор;
Б.М. Конорєв, д-р техн. наук, професор;
В.А. Краснобаєв, д-р техн. наук, професор;
Г.Я. Красовський, д-р техн. наук, професор;
А.С. Кулік, д-р техн. наук, професор, лауреат
Державної премії України;
В.В. Лукін, д-р техн. наук, професор;
В.В. Печєнін, д-р техн. наук, професор;
В.В. Піскорж, д-р техн. наук, професор;
В.П. Тарасенко, д-р техн. наук, професор;
І.Б. Сіроджа, д-р техн. наук, професор;
О.Є. Федорович, д-р техн. наук, професор;
В.С. Харченко, д-р техн. наук, професор.

**Відповідальний
секретар**

О.Б. Лещенко, кандидат технічних наук, доцент

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 6987 від 19.02.2003 р.

За вірогідність інформації несуть відповідальність автори. В журналі публікуються статті українською, російською та англійською мовами. Рукописи не повертаються. При передруку матеріалів посилання на журнал «РАДІОЕЛЕКТРОННІ І КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ» обов'язкові.

© Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
"Харківський авіаційний інститут", 2009

В сборнике представлены результаты исследований, касающихся компьютерной инженерии, управления, технической диагностики, автоматизации проектирования, оптимизированного использования компьютерных сетей и создания интеллектуальных экспертных систем. Предложены новые подходы, алгоритмы и их программная реализация в области автоматического управления сложными системами, оригинальные информационные технологии в науке, образовании, медицине.

Для преподавателей университетов, научных работников, специалистов, аспирантов.

У збірнику наведено результати досліджень, що стосуються комп'ютерної інженерії, управління, технічної діагностики, автоматизації проектування, оптимізованого використання комп'ютерних мереж і створення інтелектуальних експертних систем. Запропоновано нові підходи, алгоритми та їх програмна реалізація в області автоматичного управління складними системами, оригінальні інформаційні технології в науці, освіті, медицині.

Для викладачів університетів, науковців, фахівців, аспірантів.

Редакционная коллегия:

В.В. Семенец, д-р техн. наук, проф. (гл. ред.); *М.Ф. Бондаренко*, д-р техн. наук, проф.; *И.Д. Горбенко*, д-р техн. наук, проф.; *Е.П. Пуятин*, д-р техн. наук, проф.; *В.П. Тарасенко*, д-р техн. наук, проф.; *Г.И. Загарий*, д-р техн. наук, проф.; *Г.Ф. Кривуля*, д-р техн. наук, проф.; *Чумаченко С.В.*, д-р техн. наук, проф.; *В.А. Филатов*, д-р техн. наук, проф.; *Е.В. Бодянский*, д-р техн. наук, проф.; *Э.Г. Петров*, д-р техн. наук, проф.; *В.Ф. Шостак*, д-р техн. наук, проф.; *В.М. Левыкин*, д-р техн. наук, проф.; *Е.И. Литвинова*, д-р техн. наук, проф.; *В.И. Хаханов*, д-р техн. наук, проф. (отв. ред.).

Свидетельство о государственной регистрации
печатного средства массовой информации

КВ № 12073-944ПР от 07.12.2006 г.

Адрес редакционной коллегии: Украина, 61166, Харьков, просп. Ленина, 14, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, комн. 321, тел. 70-21-326

© Харківський національний університет
радіоелектроніки, 2013

ЗМІСТ

Гарантоздатність сервіс-орієнтованих систем

Рвачова Н.В.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ МІЖСЕКМЕНТНИМ ІНТЕРВАЛОМ
В ІНФОРМАЦІЙНІЙ МЕРЕЖІ ЗГІДНО З МЕТОДОМ АДАПТИВНОЇ ШВИДКОСТІ 13

Кулик А.С., Чухрай А.Г., Анценбергер П.

ЗАДАЧИ РАЗРАБОТКИ АДАПТИВНОГО КОМПЬЮТЕРНОГО СРЕДСТВА
ОБУЧЕНИЯ SQL..... 19

Кузнецова Ю.А., Соколова Е.В.

АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СЕРВЕРОМ ДАННЫХ В SCADA-СИСТЕМАХ 26

Савенко О.С., Мостовий С.В.

АЛГОРИТМ ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ПРОЦЕСІВ В ПЕРСОНАЛЬНОМУ
КОМП'ЮТЕРІ 32

Гордеев А.А., Гордеева Д.В., Гончаренко А.А.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА УДОБСТВА В ИСПОЛЬЗОВАНИИ
БИЗНЕС-КРИТИЧЕСКИХ ВЕБ-СЕРВИСОВ 37

Базилевич Р.П., Кутельмах Р.К.

АЛГОРИТМ ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗВ'ЯЗКІВ ЗАДАЧІ КОМІВОЯЖЕРА
У ЛОКАЛЬНІЙ ОБЛАСТІ 41

Харченко В.С.

ГАРАНТОЗДАТНІ СИСТЕМИ ТА БАГАТОВЕРСІЙНІ ОБЧИСЛЕННЯ:
АСПЕКТИ ЕВОЛЮЦІЇ 46

Сиротюк А.И.

АРХИТЕКТУРИРОВАНИЕ ГАРАНТОСПОСОБНЫХ ВЕБ-ИНФРАСТРУКТУР:
АНАЛИЗ БАЗОВЫХ ВАРИАНТОВ 60

Фурманов А.А., Лахижа И.Н., Харченко В.С.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАРАНТОСПОСОБНЫХ СЕРВИС-ОРИЕНТИРОВАННЫХ
АРХИТЕКТУР ПРИ АТАКАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЯЗВИМОСТЕЙ 65

Відмовостійкі системи

Яськова Е. В., Барсов В. И., Краснобаев В.А., Кошман С.А., Khery Ali Abdylah

МЕТОД РЕАЛИЗАЦИИ АРИФМЕТИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ НА ОСНОВЕ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДУЛЯРНОЙ СИСТЕМЫ СЧИСЛЕНИЯ 70

Романкевич А.М., Майданюк И.В., Потапова Е.Р.

О СЛОЖНОСТИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ GL-МОДЕЛЕЙ НА РАННИХ ЭТАПАХ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫХ МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ 74

Благодарный Н.П., Остроумов Б.В., Сидоренко Н.Ф., Троненко Д.С.

ОЦЕНКИ ЧИСЛА ОТКАЗОВ И СБОЕВ ПРОЦЕССОРНЫХ МОДУЛЕЙ
МАТРИЧНЫХ СПЕЦПРОЦЕССОРОВ НА АКТИВНЫХ
ИНТЕРВАЛАХ ПРИМЕНЕНИЯ 78

Федухин А.В., Сеспедес-Гарсия Н.В.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ НЕВОССТАНАВЛИВАЕМОЙ СИСТЕМЫ
СО СТРУКТУРОЙ ТИПА «К ИЗ N» С РЕКОНФИГУРАЦИЕЙ..... 82

Дубницкий В.Ю., Проценко А.Г.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАТЧИКОВ СЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ СИСТЕМ
STATGRAPHICS И MATHCAD 85

Функціональна безпека та живучість

Извалов А.В., Неделько В.Н., Неделько С.Н., Палённый А.С., Сорока М.Ю.

МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ
ПОДГОТОВКИ АВИАДИСПЕТЧЕРОВ 89

Кочкарь Д.А., Богомолов В.В., Остапчик А.В., Орехов А.А.

ФОРМИРОВАНИЕ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ОТНОШЕНИЙ МЕЖДУ
ГЕОМЕТРИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ ЦИФРОВОЙ ЛЕСНОЙ КАРТЫ НА ОСНОВЕ
АНАЛИЗА ПЛАНАРНОГО ГРАФА 95

Ирадж Эльяси Комари, Горбенко А.В.

МЕТОД ОПТИМАЛЬНОГО ВЫБОРА СРЕДСТВ СНИЖЕНИЯ КРИТИЧНОСТИ
ОТКАЗОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ FME(C)A – АНАЛИЗА 100

Інформаційна безпека

Капгер И.В., Южаков А.А.

ПРИМЕНЕНИЕ КРИПТОГРАФИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СООБЩЕНИЙ
В ПРОМЫШЛЕННЫХ СЕТЯХ LON ПО ГОСТ 28147-89 106

Скатков И.А., Смагина А.О.

АНАЛИЗ ГАРАНТОСПОСОБНОСТИ КРИПТОГРАФИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ СИСТЕМ
НЕОДНОРОДНОГО СОСТАВА 111

Коваленко Н.С., Коваленко А.Н.

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ РАЗРАБОТКИ ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМ ОХРАНЫ
СО СЛОЖНОЙ СТРУКТУРОЙ..... 118

Чевардин В.Е., Пономарев И.Н., Прокопенко В. Г.

ОЦЕНКА СТОЙКОСТИ МАС-КОДОВ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПУТИ РАЗВИТИЯ..... 122

Системи контролю та діагностування

Иванченко О.В., Паткаускас А.В., Маврин С.А., Корощенко Н.Н.

ОБОБЩЕННЫЙ КРИТЕРИЙ СИНТЕЗА АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ
ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ..... 127

Скобцов Ю.А., Скобцов В.Ю., Хинди Ш.Н.

ДВУХУРОВНЕВЫЙ АЛГОРИТМ ГЕНЕРАЦИИ ПРОВЕРЯЮЩИХ ТЕСТОВ
ДЛЯ СХЕМ С ПАМЯТЬЮ 136

Елисейев К.В.

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ОБРАЗЫ В ИССЛЕДОВАНИИ КРИВЫХ,
ПРЕДСТАВЛЯЮЩИХ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММЫ 141

Гурвич Н.В., Ситников В.С., Теплетчук А.М.

ЭЛЕКТРОННАЯ ДИАГНОСТИКА И КОНТРОЛЬ ФОРСУНОК 145

Механа Сами

ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ
КОМПЬЮТЕРНЫХ НЕИСПРАВНОСТЕЙ 150

Мартынюк А.Н.

СИНХРОНИЗАЦИЯ КОМПОЗИЦИЙ ТЕСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ 154

Котляр Є.Й.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИРОБНИЦТВА ВЗУТТЯ
ШЛЯХОМ ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЇ МЕТОДІВ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ 159

Поморова О.В., Чайковський Д.Ю.

АГЕНТНИЙ МЕТОД РОЗПАРАЛЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ДІАГНОСТУВАННЯ
КЛАСТЕРНИХ СИСТЕМ 164

Поморова О.В., Гнатчук Є.Г.

ВИЯВЛЕННЯ СУПЕРЕЧЛИВОСТІ ПРАВИЛ В НЕЧІТКИХ БАЗАХ ЗНАНЬ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ 171

Надійність програмного забезпечення

Ильясов А.

ОБЪЕДИНЕНИЕ EVENT-В И ПОТОКА
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ВЫПОЛНЯЕМЫХ ДЕЙСТВИЙ 177

Жолткевич Г.Н., Перепелица И.Д., Соляник Ю.В., Тави М.

ОБ ОДНОЙ МОДЕЛИ ПРОГРАММ В ЗАДАЧАХ
ФОРМАЛЬНОЙ ВЕРИФИКАЦИИ 182

Андрашов А.А., Кременчуцкий Ю.А., Харченко В.С.

АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К ПРОГРАММНОМУ
ОБЕСПЕЧЕНИЮ ПРИ ИХ ПРОФИЛИРОВАНИИ 186

Конорев Б.М., Сергиенко В.В., Чертков Г.Н., Алексеев Ю.Г.

ДОКАЗАТЕЛЬНАЯ НЕЗАВИСИМАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ И ОЦЕНКА СКРЫТЫХ
ДЕФЕКТОВ КРИТИЧЕСКОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ
ДИВЕРСИФИЦИРОВАННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ИНВАРИАНТОВ 192

Ляхов А.Л., Захаров С.А.

ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ СПЕЦИФИКАЦИЙ КОМПЬЮТЕРНЫХ
ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМ 200

Мандрикова Л.В., Манжос Ю.С., Хоменко В.В.

МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИИ РИСКОВ ПРОГРАММНОГО ПРОЕКТА
НА ОСНОВЕ ВЕРОЯТНОСТНОГО ПОДХОДА 207

Туркин И.Б., Лучшев П.А.

НЕЙРОСЕТЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОДСИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
СПУТНИКА ДЛЯ ВЕРИФИКАЦИИ ПО АВТОМАТИЗАЦИИ ИСПЫТАНИЙ 212

Мищенко В.О.

МЕТРИКИ РАСШИРЕНИЙ ПРОГРАММ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ 219

<i>Пригожев А.С.</i> ЯЗЫКОНЕЗАВИСИМАЯ СРЕДА РАЗРАБОТЧИКА ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ.....	225
<i>Володарский Е.Т., Кошечкина Л.А.</i> ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ.....	231
<i>Поляков Г.А., Толстолужская Е.Г., Шматков С.И.</i> МЕТОД ФОРМАЛЬНОЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ ЗАДАЧ ДЛЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ.....	235
<i>Поляков Г.А., Толстолужский Д.А.</i> МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНОЙ СЕМАНТИКО - ЧИСЛОВОЙ ВЕРИФИКАЦИИ СИ-ПРОГРАММ И ИХ ВРЕМЕННЫХ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ.....	240
<i>Харченко В.С., Одарущенко О.Н., Руденко А.А., Одарущенко Е.Б., Поночевный Ю.Л.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБСЛУЖИВАЕМЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ ВТОРИЧНЫХ ДЕФЕКТОВ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ.....	245
<i>Погребняк Т.П., Орехова А.А.</i> ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ИНТЕРФЕЙСОВ МЕДИЦИНСКИХ СИСТЕМ: МОДЕЛЬ И ЭЛЕМЕНТЫ МЕТОДИКИ.....	250
<i>Яновский М.Э.</i> ОЦЕНКА ДИВЕРСНОСТИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОСВЕННЫХ МЕТРИК.....	255
<i>Лобачева Е.И.</i> КОНЦЕПЦИЯ И АРХИТЕКТУРА ОТЧЕТОВ ПО БЕЗПАСНОСТИ: ЭЛЕМЕНТЫ АНАЛИЗА.....	261
<i>Фузани М.</i> АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ К РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В СТАНДАРТАХ ПО БЕЗОПАСНОСТИ.....	268
Телекомунікаційні системи та радіоелектронні пристрої	
<i>Копылов Ю.А., Коновалов В.И.</i> ОБРАБОТКА ДИСКРЕТНОЙ ИНФОРМАЦИИ С ПОМОЩЬЮ МАТРИЧНЫХ ОПЕРАТОРОВ.....	275
<i>Слюсар В.І., Троцько О.О.</i> МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГАРАНТОЗДАТНОГО ЗВ'ЯЗКУ З БПЛА З ВРАХУВАННЯМ ЕФЕКТУ ДОПPLЕРА.....	280
<i>Дядык Д.Ф., Стрюк А.Ю.</i> МЕТОД ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ.....	283
<i>Щербаков В.Е., Лукин К.А.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ/ПРИЕМА ДАННЫХ МЕЖДУ ТРАНСПОРТНЫМИ СРЕДСТВАМИ НА АВТОБАНЕ.....	288

<i>Слюсар В.И., Зинченко А.А., Волошко С.В., Масесов Н.А.</i>	
МЕТОД КОРРЕКЦИИ НЕИДЕНТИЧНОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИЕМНЫХ КАНАЛОВ ЦИФРОВОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ	295
<i>Корж Ю.Н., Тыртышников А.И., Мартыненко А.М.</i>	
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ФИЛЬТРА СДЦ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ МОДЕЛЕЙ ФЛЮКТУИРУЮЩЕЙ ЦЕЛИ.....	300
<i>Польщиков К.О., Лаврут О.О., Дружинин С.В.</i>	
ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ ПОТОКАМИ ДАНИХ В ІНФОРМАЦІЙНІЙ МЕРЕЖІ ШЛЯХОМ ЗМІНИ МІЖСЕКМЕНТНОГО ІНТЕРВАЛУ	304
Обчислення та пристрої, що реконфігуруються	
<i>Хаханов В.И., Сушанов А.В., Гузь О.А., Горобец А.А.</i>	
МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ НА КРИСТАЛЛАХ НА ОСНОВЕ FPGA	309
<i>Хаханов В.И., Чумаченко С.В., Tiesoura Yves, Галаган С.С.</i>	
ВСТРОЕННОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ.....	314
<i>Хаханов В.И., Литвинова Е.И., Ngene Christopher Umerah</i>	
СЕРВИСНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ НА КРИСТАЛЛАХ	319
АЛФАВИТНИЙ ПОКАЖЧИК.....	324

Шановні читачі!

Науково-технічний журнал

“РАДІОЕЛЕКТРОННІ І КОМП’ЮТЕРНІ СИСТЕМИ”

включений до переліку наукових видань, в яких можуть друкуватися основні
результати дисертаційних робіт

(див. постанову президії ВАК України №1-05/10 від 10.12.2003)

Реферативна інформація зберігається:

– у загальнодержавній реферативній базі даних «Україніка наукова» та публікується
у відповідних тематичних серіях УРЖ «Джерело» (вільний он-лайнний доступ до ресурсів
на Web-сервері <http://www.nbuv.gov.ua>);

– у реферативній базі даних Всеросійського інституту наукової і технічної інформації
(ВІНІТІ) Російської академії наук і публікується у відповідних тематичних серіях РЖ (вільний
он-лайнний доступ до ресурсів на Web-сервері [http:// www.viniti.ru](http://www.viniti.ru)).

CONTENTS

Dependability of service-oriented systems

Rvachova N.V.

MATHEMATICAL MODEL A CONTROL SEGMENT INTERVAL
OF INFORMATION NETWORK IN COMPLIANCE WITH METHOD ADAPTIVE RATE..... 13

Kulik A.S., Chukhray A.G., Anzenberger P.

THE TASKS OF DEVELOPMENT OF ADAPTIVE COMPUTER TOOL FOR SQL TUTORING 19

Kuznetsova Yu.A., Sokolova E.V.

ADAPTIVE MANAGEMENT BY DATA SERVER IN SCADA-SYSTEMS 26

Savenko O.S., Mostovoy S.V.

ALGORITHM OF FORECASTING OF A STATUS OF PROCESSES
IN THE PERSONAL COMPUTER..... 32

Gordieiev A.A., Gordieieva D.V., Goncharenko A.A.

BUSINESS-CRITICAL WEB-SERVICES USABILITY ASSESSMENT 37

Bazylevych R.P., Kutelmah R.K.

AN OPTIMIZATION ALGORITHM OF TRAVELING SALESMAN PROBLEM SOLVING
IN LOCAL SPACE..... 41

Kharchenko V.S.

DEPENDABLE SYSTEMS AND MULTI-VERSION COMPUTING:
ASPECTS OF EVOLUTION 46

Syrotyuk A.I.

DEPENDABLE WEB-INFRASTRUCTURE ARCHITECTURING 60

Furmanov A.A., Lahizga I.N., Kharchenko V.S.

DEPENDABLE SERVIS-ORIENTED ARCHITECTURE MODELING WITH VULNERABILITY
USED ATTACKS..... 65

Fault-tolerant systems

Yaskova K.V., Barsov V.I., Krasnobayev V.A., Kowman S.A., Abdylah Khery Ali

METHOD OF REALIZATION OF ARITHMETIC OPERATIONS ON THE BASIS
OF THE USE OF MODULYARNOY NUMBER SYSTEM 70

Romankevich A.M., Maidanyuk I.V., Potapova E.R.

ABOUT THE GL-MODELS TRANSFORMATION COMPLEXITY ON THE BEGINNING
OF FAULT-TOLERANT MULTIPROCESSOR SYSTEMS DESIGN..... 74

Blagodarny N.P., Ostroumov B.V., Sidorenko N.F., Tronenko D.S.

ESTIMATIONS OF NUMBER FAILURE PROCESSORS MODULES MATRIX
PROCESSORS ON ACTIVE INTERVALS USELESS..... 78

<i>Fedukhin A.V., Cespedes-Garsia N.V.</i> MODELING RELIABILITY UNRESTORABLE SYSTEM WITH THE STRUCTURE OF TYPE «K OF N» WITH RECONFIGURATION	82
--	----

<i>Dubnitsky V.J., Protsenko A.G.</i> A COMPARATIVE ANALYSIS OF RANDOM NUMBER GENERATORS IN STATGRAPHICS AND MATHCAD SYSTEMS	85
--	----

Functional safety and survivability

<i>Izvalov A.V., Nedelko V.N., Nedelko S.N., Palennyi A.S., Soroka M.Yu.</i> MODEL OF AIR TRAFFIC CONTROLLERS' TRAINING QUALITY MANAGEMENT PROCESSES	89
--	----

<i>Kochar D.A. Bogomolov V.V. Ostapchik A.V. Orehov A.A.</i> FORMATION TOPOLOGICAL RELATIONS BETWEEN THE GEOMETRIC OBJECTS OF DIGITAL FOREST MAPS ON BASIS OF PLANAR GRAPHS ANALYSIS	95
--	----

<i>Iraj Elyasi Komari, A.V.Gorbenko</i> METHOD OPTIMUM THE CHOICE OF MEANS REDUCTION OF CRITICALITY FAILURES BY RESULTS OF FME (C) A - ANALYSIS	100
---	-----

Information security

<i>Kapger I.V., Yuzhakov A.A.</i> APPLICATION OF CRYPTOGRAPHIC CONVERSIONS OF MESSAGES IN INDUSTRIAL LON NETWORKS UNDER GOST 28147-89	106
---	-----

<i>Skatkov I.A., Smagina A.O.</i> ANALYSIS OF ENCRYPTIC SYSTEM PROTECTION DEPENDABILITY OF NONUNIFORM STRUCTURE	111
---	-----

<i>Kovalenko N.S., Kovalenko A.N.</i> MODELS AND METHODS OF DEVELOPMENT COMPUTER-INTEGRATED SYSTEMS OF GUARD WITH DIFFICULT STRUCTURE	118
---	-----

<i>Chevardin V.E., Ponomarev I.N., Prokopenko V.G.</i> ESTIMATION OF FIRMNESS OF MAC-CODES AND PERSPECTIVE PATHS OF DEVELOPMENT	122
---	-----

Systems of diagnostics and checking

<i>Ivanchenko O.V., Patkauskas A.V., Mavrin C.A., Koroschenko N.N.</i> GENERALISED CRITERION OF THE SYNTHESSES OF THE ADAPTIVE SYSTEM TECHNICAL DIAGNOSTICS COMPLEX INDUSTRIAL OBJECT	127
---	-----

<i>Skobtsov Yu.A., Skobtsov V.Yu., Hindi Sh.N.</i> TWO-LEVEL ALGORITHM OF TEST PATTERN GENERATION FOR CIRCUITS WITH MEMORY	136
--	-----

<i>Eliseev K.V.</i> GEOMETRIC IMAGES OF RESEARCH ELECTROCARDIOGRAM CURVES.....	141
<i>Gurvich M.V., Sitnikov V.S., Tepletchik A.M.</i> ELECTRONIC DIAGNOSTICS AND CONTROL OF SPRAYERS.....	145
<i>Sami Mehana</i> AN EXPERT SYSTEM FOR COMPUTER FAILURE DIAGNOSIS.....	150
<i>Martynyk A.N.</i> TEST PROCESSES COMPOSITION SYNCHRONIZATION.....	154
<i>Kotlyar Y.Y.</i> AN INCREASE OF EFFICIENCY OF FOOTWEAR PRODUCTION ENDOWMENT BY INTELLIGENT METHODS OF SUPPORT DECISION-MAKING.....	159
<i>Pomorova O.V., Chaykovskiy D.Y.</i> AGENT METHOD OF PARALLEL PROCESSING DIAGNOSIS CLUSTER SYSTEMS.....	164
<i>Pomorova O.V., Gnatchuk E.G.</i> REVEALING CONTRADICTION OF RULES IN FUZZY KNOWLEDGE BASES OF ARTIFICIAL TECHNICAL DIAGNOSIS SYSTEMS.....	171
 Software reliability	
<i>Iliasov A.</i> ON COMBINING EVENT-B AND WORKFLOW.....	177
<i>Zholtkevych G.N., Perepelytsia I.D., Solianik Yu.V., Thawi M.</i> ABOUT ONE PROGRAM MODEL FOR VERIFICATION PROBLEM.....	182
<i>Andrashov A.A., Kremenchutskiy U.A., Kharchenko V.S.</i> ANALYSIS OF REQUIREMENTS PRESENTATION MODELS TO SOFTWARE DURING THEIR PROFILING.....	186
<i>Konorev B.M., Sergiyenko V.V., Chertkov G.N., Alexeev U.G.</i> PROVEN INDEPENDENT VERIFICATION AND LATENT FAULT FORECASTING OF THE CRITICAL SOFTWARE ON THE BASE OF DIVERSE INVARIANT MEASUREMENT.....	192
<i>Lyakhov A.L., Zakharov S.A.</i> PRINCIPLES OF SPECIFICATIONS COMPUTERS TEACHING SYSTEMS DEVELOPMENT.....	200
<i>Mandrikova L.V., Manzhos Y.S., Khomenko V.V.</i> THE METHOD FOR SOFTWARE PROJECT RISKS IDENTIFICATION, BASED ON THE PROBABILISTIC ESTIMATION.....	207
<i>Turkin I.B., Luchshev P.A.</i> A SIMULATION OF THE POWER SUPPLY SYSTEM OF SATELLITE BY NEURAL NETWORKS FOR VERIFICATION OF SOFTWARE FOR AUTOMATION OF TEST.....	212

<i>Mishchenko V.O.</i> MEASURES FOR EXTENSIONS OF PROGRAMS FOR NUMERICAL	219
<i>Prigozhev A.S.</i> SOFTWARE TESTING LANGUAGE INDEPENDENT ENVIRONMENT FOR PROGRAM ENGINEER	225
<i>Volodarskiy E.T., Koshevaya L.A.</i> TERMINOLOGICAL FEATURES OF THE SOFTWARE QUALITY ASSESSMENT	231
<i>Polyakov G.A., Tolstolyzskaya E.G., Schmatkov S.I.</i> METHOD OF FORMAL DECOMPOSITION OF TASKS FOR PARALLEL COMPUTING SYSTEMS.....	235
<i>Polyakov G.A., Tolstolyzskiy D.A.</i> TECHNIQUE OF COMPLEX SEMANTIC - NUMERICAL VERIFICATION OF C-PROGRAMS AND THEIR TIME PARALLEL MODELS.....	240
<i>Kharchenko V.S., Odarushchenko O.N., Rudenko A.A., Odarushchenko E.B., Ponochovniy Y.L.</i> THE MODELLING OF SERVED COMPUTER SYSTEMS TAKING INTO ACCOUNT THE SECONDS DEFECTS OF PROGRAM MEANS.....	245
<i>Pogrebnyak T.P., Orehova A.A.</i> QUALITY ASSESSMENT INTERFACE SOFTWARE SYSTEMS: MODEL ELEMENTS AND METHODS	250
<i>Yanovsky M.E.</i> THE DIVERSITY APPRAISAL OF SOFTWARE WITH THE USE OF INDIRECT METRICS.....	255
<i>Lobachova K.I.</i> THE CONCEPT AND ARCHITECTURE OF SAFETY CASES: ELEMENTS OF ANALYSIS.....	261
<i>Fusani M.</i> EXAMINING SOFTWARE ENGINEERING REQUIREMENTS IN SAFETY-RELATED STANDARDS	268
 Telecommunication systems and radio-electronic units	
<i>Kopylov Ju.A., Kononov V.I.</i> PROCESSING OF DISCRETE INFORMATION BY MATRIX OPERATORS.....	275
<i>Slyusar V.I., Trocko A.A.</i> METHODS OF MAINTENANCE OF THE GUARANTEED COMMUNICATION WITH UAV TAKING INTO ACCOUNT DOPPLER'S EFFECT.....	280
<i>Dyadik D.F. Stryuk A.Y.</i> METHOD OF THE PRELIMINARY ASSESSMENT OF IMAGE COMPRESSION DEGREE	283

<i>Scherbakov V.Ye., Lukin K.A.</i> THE MODELING OF SYSTEM FOR VEHICLE-TO-VEHICLE DATA TRANSMISSION/RECEPTION ON HIGHWAY	288
<i>Slyusar V.I., Zinchenko A.O., Voloshko S.V., Masesov M.O.</i> METHOD OF CORRECTION POLARIZATION ERROR THE RECEIVING CHANNELS OF THE DIGITAL ANTENNA ARRAY	295
<i>Korzh Y.N., Tyrtysnikov A.I., Martynenko F.M.</i> THE COMPARATIVE ESTIMATION OF EFFICIENCY OF FILTER OF SDC FOR THE DIFFERENT MODELS OF FLUCTUATION PURPOSE.	300
<i>Polschykov K.O., Lavrut O.O., Druzhinin S.V.</i> SIMULATION MODEL OF FLOWS CONTROL IN INFORMATION NETWORK BY CHANGE OF SEGMENT INTERVAL	304
 Reconfigurable computing and systems	
<i>Hahanov V.I., Sushanov A.V., Guz O.A., Gorobets A.A.</i> REPAIR METHOD FOR FPGA DIGITAL SYSTEMS	309
<i>Hahanov V.I., Chumachenko S.V., Tiecoura Yves, Galagan S.S.</i> EMBEDDED DIAGNOSIS OF DIGITAL SYSTEMS	314
<i>Hahanov V.I., Litvinova E.I., Ngene Christopher Umerah</i> INFRASTRUCTURE IP FOR RECENT DIGITAL SYSTEMS-ON-CHIPS.....	319
INDEX	324

УДК 681.326:519.613

В.И. ХАХАНОВ, Е.И. ЛИТВИНОВА, NGENE CHRISTOPHER UMERAN

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

СЕРВИСНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ НА КРИСТАЛЛАХ

Рассматривается проблема адаптации технологий тестирования цифровых систем на кристаллах (System on Chip – SoC) для нового конструктивного поколения цифровых систем – System-in-Package (SiP), позволяющего эффективно и компактно имплементировать в кристаллы сверхсложные специализированные вычислительные и радиочастотные устройства для рынка электронных технологий. Вместе с тем пакет кристаллов формирует спектр новых задач сервисного обслуживания SiP-функциональностей в реальном масштабе времени, которое существенно отличается от процессов встроенного диагностирования SoC. В связи с этим предлагается алгебрологический метод диагностирования и восстановления работоспособности функциональных логических блоков FPGA, основанный на использовании таблиц неисправностей и их анализе в реальном масштабе времени.

Ключевые слова: дефект, тестирование, восстановление работоспособности, цифровая система на кристалле, программируемая логика.

Введение

За последние годы появились десятки работ, которые рассматривают вопросы, связанные с проблемой тестирования, диагностирования и ремонта цифровых систем на кристаллах и в пакетах (SoC, SiP). Особое место здесь занимает задача тестирования и ремонта логических компонентов цифровых систем, ввиду технологической сложности восстановления работоспособности логических элементов при возникновении в них дефектов. Существующие решения, предлагаемые в публикациях, сводятся к следующей классификации:

Дублирование логических элементов или областей кристалла, приводящее к удвоению аппаратной реализации функциональности. При фиксации неисправного элемента или области осуществляется переключение на исправный компонент с помощью мультиплексора [4]. Предложенные Xilinx модели FPGA (Field Programmable Gate Array) применимы также при ремонте компонентов FPGA от компании Altera. Основная единица измерения при ремонте – столбец или строка.

Использование генетических алгоритмов для диагностирования и восстановления работоспособности на основе автономной реконфигурации кристалла FPGA без использования внешних устройств управления [5]. Надежность диагностирования дефектов равна 99%, время ремонта – 36 миллисекунд вместо 660 секунд, необходимых для стандартного конфигурирования проекта.

Восстановление работоспособности кристаллов

FPGA, не критичное ко времени, путем замены локальных CLB на избыточные запасные компоненты предложено в [6,7]. Доступный уровень объединения CLB, подлежащий замене, для критически важных приложений составляет порядка тысячи логических элементов.

Технологии восстановления работоспособности логической части цифровых систем, имплементированных в кристаллы программируемой логики, основаны на существовании или внесении избыточности LUT-компонентов FPGA после выполнения процедур Place and Route. Физические дефекты кристалла, возникающие в процессе его изготовления или эксплуатации, проявляются как логические или временные и приводят к неправильному функционированию цифрового изделия. Дефекты привязываются не только к вентилям или LUT-компонентам, но и к конкретному месту на кристалле. Идея ремонта цифровой структуры сводится к исключению дефектного места при повторном выполнении процедур Place and Route после установления диагноза. При этом возможны две технологии ремонта: 1) Запрет дефектной области путем написания управляющих скриптов для достаточно длительной процедуры Place and Route, что не всегда приемлемо для цифровых систем, работающих в реальном масштабе времени. Однако такой подход приемлем и ориентирован на исключение дефектных областей любой кратности, имеющих место быть на кристалле. Запрет таких областей при повторном выполнении процедуры Place and Route приводит к восстановлению работоспособности. 2) Для цифровых

систем реального времени выполнение процедуры Place and Route, направленной на восстановление работоспособности, может привести к катастрофическим последствиям. Необходим технологический подход, способный восстановить функциональность цифровой системы за миллисекунды, необходимые для перепрограммирования FPGA путем подачи нового битстрима, исключающего дефектные области из формирования функциональности. Такой подход основан на предварительной подготовке всех возможных битстримов, изолирующих будущие дефектные области путем их попадания в избыточную нефункциональную область кристалла. Чем больше резервная область, тем меньше число битстримов – проектных вариантов, привязанных к топологии, которое необходимо сгенерировать априори. Что касается кратных дефектов, не покрываемых одной резервной областью, здесь следует сегментировать цифровой проект, разбив его предварительно на непересекающиеся части, которые имеют собственные карты Place and Route. В данном случае можно ремонтировать цифровую систему, которая имеет для n распределенных на пластине дефектов n резервных сегментов. В этом случае общая площадь кристалла представляет собой $n+m$ одинаковых частей.

1. Технологии диагностирования блоков FPGA

Основная роль в процессе диагностирования неисправных блоков FPGA отводится встроенной в кристалл инфраструктуре граничного сканирования, которая ориентирована на решение практически всех задач сервисного обслуживания SiP-функциональностей. Контроллер доступа обеспечивает мониторинг всех проблемных внутренних линий проекта с помощью регистра граничного сканирования, число разрядов которого должно соответствовать наперед заданной глубине диагностирования, а следовательно количеству блок LUT, клеток или кристаллов в SiP. Модель процесса сервисного обслуживания SiP-функциональностей для диагностирования дефектов в компонентах кристаллов представлена на рис. 1.

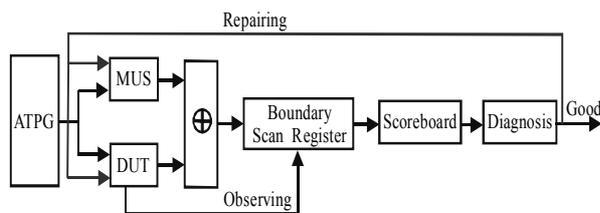


Рис. 1. Модель процесса диагностирования F-IP

Здесь модуль функции Хог анализирует выходные реакции модели MUS и реального устройства

DUT на тестовые векторы, поступающие от встроенного генератора входных последовательностей. Блок Boundary Scan Register является мультизондом, предназначенным для мониторинга состояния всех блоков или клеток, далее компонентов кристалла. Модуль Scoreboard выполняет функцию анализа результатов мониторинга для диагностирования и последующего ремонта компонентов SoC. Результат диагностирования SiP представляет собой множество неисправных блоков, подлежащих исключению из функционального режима путем их замены на резервные компоненты.

Интересное решение задачи диагностирования может быть получено путем применения булевой алгебры для анализа таблицы неисправностей (ТН) M , представляющей собой декартово произведение теста T на множество наперед заданных дефектов F . Вектор экспериментальной проверки V , равный по длине различным тестовым сегментам, позволяет привести процедуру поиска дефектов к задаче покрытия, что дает максимально точный результат в виде ДНФ, где каждый терм есть возможный вариант наличия в устройстве подмножества или сочетания дефектов SiP. Модель процесса диагностирования представлена в следующем виде:

$$A = \langle T, F, M, V \rangle,$$

$$T = (T_1, T_2, \dots, T_i, \dots, T_n); F = (F_1, F_2, \dots, F_j, \dots, F_m);$$

$$M = |M_{ij}|, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}; V = (V_1, V_2, \dots, V_i, \dots, V_n); \quad (1)$$

$$V_i = R(T_i) \oplus R^*(T_i); \{V_i, T_i, M_{ij}, F_j\} \in \{0, 1\}.$$

Значение координаты вектора V есть результат выполнения операции Хог над обобщенной модельной и фактической реакцией выходов устройства. Если хотя бы на одном выходе устройства зафиксировано единичное значение вектора V на i -том тестовом сегменте, то обобщенное состояние выхода равно 1. В противном случае значение координаты вектора V равно 0.

1.1. Алгебро-логический метод диагностирования неисправностей

Решение задачи диагностирования сводится к анализу таблицы неисправностей, полученной в результате моделирования дефектов компонентов SiP, путем записи логического произведения дизъюнкций строк таблицы неисправностей, записанных по единичным значениям вектора экспериментальной проверки:

$$F = \bigwedge_{\forall V_i=1} \left(\bigvee_{j=1, \dots, m} F_j \right). \quad (2)$$

Конъюнктивная нормальная форма (КНФ), полученная из ТН, трансформируется к дизъюнктив-

ной нормальной форме (ДНФ) с помощью эквивалентных преобразований (логическое умножение, минимизация и поглощение). В результате получается булева функция, где термы – логические произведения представляют полное множество решений в виде сочетания дефектов (дающих по выходам SiP или ее компонентам двоичные координаты вектора экспериментальной проверки V):

$$F = \bigwedge_{\forall V_i=1}^{i=1, n} \left(\bigvee_{\forall M_{ij}=1}^{j=1, m} F_j \right) = \left[\begin{matrix} a_{vab}=b \\ a_{va}=a \end{matrix} \right] = \bigvee_{i=1}^{2^m} \left(\bigwedge_{j=1}^m k_j F_j \right), k_j = \{0, 1\}. \quad (3)$$

Функция (3) в общем случае формирует диагноз в виде некоторого подмножества сочетаний (кратных) дефектов, которые далее нуждаются в уточнении путем применения дополнительного зондирования внутренних точек с помощью регистра граничного сканирования. Количество единиц в векторе экспериментальной проверки V формирует число дизъюнктивных термов КНФ (3).

Каждый терм – построчная запись дефектов (через логическую операцию ИЛИ), оказывающих влияние на выходы функциональности. Представление таблицы в виде аналитической записи – конъюнктивной нормальной формы дает потенциальную возможность существенно сократить объем диагностической информации для поиска дефектов.

Последующее преобразование КНФ к ДНФ на основе тождеств алгебры логики позволяет существенно уменьшить булеву функцию.

Алгебрологический метод рассматривается на примере таблицы неисправностей M1 и представлен в виде следующих пунктов алгоритма [8,10].

$$M_1 = \begin{array}{c|cccccc|c} T_i / F_j & F_1 & F_2 & F_3 & F_4 & F_5 & F_6 & V \\ \hline T_1 & 1 & & & 1 & & & 1 \\ T_2 & & 1 & & & 1 & & 1 \\ T_3 & & & 1 & 1 & & 1 & 1 \\ T_4 & 1 & & 1 & & & & 1 \\ T_5 & & 1 & & & 1 & 1 & 0 \end{array}$$

1. Определение строк таблицы неисправностей, соответствующих нулевым значениям вектора экспериментальной проверки в целях обнуления единичных координат найденных строк. В данном случае – это одна строка T5.

2. Нахождение всех столбцов, которые имеют нулевые значения координат строк с нулевым состоянием ВЭП. Обнуление единичных значений найденных столбцов. В данном случае: F2, F5, F6.

3. Удаление из таблицы неисправностей строк и столбцов, имеющих только нулевые значения координат (найденные в пунктах 1 и 2).

$$M_1 = \begin{array}{c|cccccc|c} T_i / F_j & F_1 & F_2 & F_3 & F_4 & F_5 & F_6 & V \\ \hline T_1 & 1 & & & 1 & & & 1 \\ T_2 & & 0 & & & 0 & & 1 \\ T_3 & & & 1 & 1 & & 0 & 1 \\ T_4 & 1 & & 1 & & & & 1 \\ T_5 & & 0 & & & 0 & 0 & 0 \end{array} = \begin{array}{c|cccc|c} T_i / F_j & F_1 & F_3 & F_4 & V \\ \hline T_1 & 1 & & 1 & 1 \\ T_3 & & 1 & 1 & 1 \\ T_4 & 1 & 1 & & 1 \end{array}$$

4. Построение КНФ по единичным значениям ВЭП. Преобразование КНФ к ДНФ с последующей минимизацией функции:

$$\begin{aligned} F &= (F_1 \vee F_4) \wedge (F_3 \vee F_4) \wedge (F_1 \vee F_3) = \\ &= (F_1 F_3 \vee F_3 F_4 \vee F_1 F_4 \vee F_4 F_4) \wedge (F_1 \vee F_3) = \\ &= F_1 F_1 F_3 \vee F_1 F_3 F_4 \vee F_1 F_1 F_4 \vee F_1 F_4 F_4 \vee F_1 F_3 F_3 \vee \\ &\vee F_3 F_3 F_4 \vee F_1 F_3 F_4 \vee F_3 F_4 F_4 = \\ &= F_1 F_3 \vee F_1 F_3 F_4 \vee F_1 F_4 \vee F_3 F_4 \vee F_1 F_3 F_4 \vee F_3 F_4 = \\ &= F_1 F_3 \vee F_1 F_4 \vee F_3 F_4. \end{aligned}$$

Предложенный алгоритм ориентирован на анализ таблицы неисправностей в целях уменьшения объема ТН и последующих вычислений, связанных с построением ДНФ, которая формирует все решения по установлению диагноза функциональностей SoC. Дальнейшее уточнение диагноза возможно только с применением мультizonда на основе регистра граничного сканирования данных.

1.2. Векторно-логический метод диагностирования неисправностей

Обработка ТН для получения диагноза выполняется по сценарию, основанному на использовании векторных операций конъюнкции, дизъюнкции и отрицания над стоками таблицы неисправностей. Аналитическая векторно-логическая модель диагностирования кратных дефектов определяется конъюнкцией двух компонентов, где первый есть дизъюнкция векторов, соответствующих единичным координатам ВЭП, а второй – инверсия дизъюнкций векторов соответствующих нулевым координатам ВЭП:

$$F = M^1 \wedge \overline{M}^0 = \left(\bigvee_{v_i=1} M_i \right) \wedge \left(\overline{\bigvee_{v_i=0} M_i} \right). \quad (4)$$

Модель диагностирования одиночных дефектов отличается выполнением на первом шаге сценария операции конъюнкции (вместо дизъюнкции) всех векторов, соответствующих единичным координатам ВЭП:

$$F = M^1 \wedge \overline{M}^0 = \left(\bigwedge_{v_i=1} M_i \right) \wedge \left(\overline{\bigvee_{v_i=0} M_i} \right). \quad (5)$$

Пример 1. Выполнить диагностирование кратных дефектов в структуре SiP векторно-логическим методом, для которой заданы таблица неисправностей и вектор экспериментальной проверки:

T_i / F_j	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9	F_{10}	V
T_1				1						1	1
T_2		1					1				0
T_3			1			1			1		0
T_4	1										0
T_5					1			1			1
T_6	1	1									0
T_7			1								0
T_8				1							1
T_9					1	1					0
T_{10}							1				0
T_{11}								1	1	1	1
M^1				1	1			1	1	1	1
M^0	1	1	1		1	1	1		1		0
\bar{M}^0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1
F	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1

Обработка таблицы неисправностей в соответствии с формулой (4) дает результат, представленный в четырех нижних строках (6). Последняя строка таблицы неисправностей фиксирует факт наличия в схеме дефектов, представленных в векторной или теоретико-множественной форме $F = (0001000101) = \{F_4, F_8, F_{10}\}$.

Для преобразования полученного решения к ДНФ кратных дефектов используется структура ТН, маскируемая вектором F , представленным последней строкой таблицы:

$$F = M^1 \wedge F = \bigwedge_{V_i=1} (M_i \wedge F). \quad (7)$$

Полученные векторы, число которых в пределе равно количеству единиц ВЭП, логически перемножаются. При этом каждый вектор может быть компактно записан в виде дизъюнкции значений единичных координат. Для представленной выше ТН применение формулы (7) дает следующий результат:

$$\begin{aligned} F &= (F_4 \vee F_{10})(F_8)(F_4)(F_4 \vee F_{10}) = \\ &= F_4 F_8 F_4 F_4 \vee F_{10} F_8 F_4 F_4 \vee F_4 F_8 F_4 F_{10} \vee F_{10} F_8 F_4 F_{10} = \\ &= F_4 F_8 \vee F_{10} F_8 F_4 \vee F_4 F_8 F_{10} \vee F_{10} F_8 F_4 = F_4 F_8. \end{aligned}$$

Он интересен тем, что благодаря записи дефектов в виде термов ДНФ, покрывающих все единичные координаты ВЭП, появилась возможность исключить дефект $F_{10} \in F$ из списка неисправностей.

Преимущество векторно-логического метода заключается в технологичности анализа таблицы неисправностей, вычислительная сложность которого имеет мультипликативную зависимость от числа дефектов и мощности теста: $Q = n \times m$. Метод следует использовать при преобладании в таблице неисправностей единичных координат, когда алгебрологический метод дает высокую оценку по Квайну сложности ДНФ и КНФ. Недостаток заключается в

невозможности представления всех сочетаний дефектов, формирующих термы для покрытия единичных координат вектора экспериментальной проверки.

Заключение

Предложенные методы диагностирования: алгебрологический и векторно-логический предлагают специалисту в области проектирования и тестирования цифровых систем на кристаллах математический аппарат, который способен осуществить диагноз дефектных компонентов на основе использования предварительно построенной таблицы неисправностей. При этом векторные решения, эффективно полученные векторно-логическим методом, можно представлять всеми возможными сочетаниями дефектов в виде термов ДНФ, что характерно для алгебрологического метода. Второй метод эффективен при числе единиц в матрице неисправностей, превышающем 10-20%.

Литература

1. Kwang-Ting C. *The Need for a SiP Design and Test Infrastructure* / C. Kwang-Ting // *IEEE Design and Test of Computers*. – May–June, 2006. – P. 181.
2. Fontanelli A. *System-in-Package Technology: Opportunities and Challenges* / A. Fontanelli // *Quality Electronic Design, 2008.– ISQED 2008, 9th International Symposium*. – March, 2008. – P. 589-593.
3. Appello D. *System-in-package testing: problems and solutions* / D. Appello, P. Bernardi, M. Grosso, M.S. Reorda // *IEEE Design & Test of Computers*. – Vol. 23, Issue 3. – May–June, 2006. – P. 203-211.
4. Subhasish M. *Reconfigurable architecture for autonomous self-repair* / M. Subhasish, W.-J. Huang, N.R. Saxena, E.J. McCluskey // *IEEE Design & Test of Computers*. – Volume 21, Issue 3. – May–June, 2004. – P. 228-240.
5. Ross R. *A FPGA Simulation Using Asexual Genetic Algorithms for Integrated Self-Repair* / R. Ross, R. Hall // *Adaptive Hardware and Systems, 2006.– AHS 2006.– First NASA/ESA Conference on Volume.– Issue 15-18 June 2006*. – P. 301-304.
6. Habermann S. *Built-in self repair by reconfiguration of FPGAs* / S. Habermann, R. Kothe, H.T. Vierhaus // *Proceedings of the 12th IEEE International Symposium on On-Line Testing*. – 2006. – P. 187-188.
7. Pontarelli S. *Reliability Evaluation of Repairable/Reconfigurable FPGAs* / S. Pontarelli, M. Ottavi, V. Vankamamidi, A. Salsano, F. Lombardi // *21st IEEE International Symposium on Defect and Fault-Tolerance in VLSI Systems (DFT'06)*. – October, 2006. – P. 227-235.
8. Парфентий А.Н. *Модели инфраструктуры сервисного обслуживания цифровых систем на кристаллах* / А.Н. Парфентий, В.И. Хаханов, Е.И. Лут-

- винова // АСУ и приборы автоматики.– Вып. 138.– 2007.– С.83-99.
9. Hahanov V. Diagnosis and repair method of SoC memory/ V. Hahanov, A. Hahanova, S. Chumachenko, S. Galagan // WSEAS transactions on circuits and systems.– Vol.7.– 2008.– P. 698-707.
10. Hahanov V. Algebra-logical diagnosis model for SoC F-IP / V. Hahanov, V. Obrizan, E. Litvinova, Ka Lok Man. // WSEAS transactions on circuits and systems.– Vol. 7.– 2008.– P. 708-717.

Поступила в редакцію 12.02.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф., А.А. Мельник заведуючий кафедрой ЭВМ, Национальный университет «Львовская политехника», Львов, Украина.

СЕРВІСНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ СУЧАСНИХ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ НА КРИСТАЛАХ

V.I. Hahanov, E.I. Litvinova, Ngene Christopher Umerah

Запропоновано алгебрологічний та векторно-логічний методи діагностування, призначені для нового конструктивного покоління цифрових систем на кристалах – System-in-Package і основані на використанні заздалегідь побудованої таблиці несправностей. Розроблено алгебрологічний метод відновлення працездатності функціональних логічних блоків FPGA на основі вирішення задачі покриття, орієнтований на імплементацію в кристал в якості одного з компонентів інфраструктури сервісного обслуговування (I-IP). Метод дозволяє знайти точне та оптимальне рішення, у вигляді мінімальної кількості резервних блоків, необхідних для відновлення працездатності логічних блоків кристалу FPDA, при наявності дефектів будь-якої кратності.

Ключові слова: дефект, тестування, відновлення працездатності, цифрова система на кристалі, програмовна логіка.

INFRASTRUCTURE IP FOR RECENT DIGITAL SYSTEMS-ON-CHIPS

V.I. Hahanov, E.I. Litvinova, Ngene Christopher Umerah

Algebra-logical and vector-logical diagnosis methods for new generation of digital system-on-a-chip – system-in-package are proposed. They are based on use the fault detection table. Algebra-logical repair method for FPGA functional logical blocks is developed. It is based on solving the coverage problem and oriented on hardware implementation to a silicon chip as a component of Infrastructure IP. A method allows obtaining an exact solution in the form of minimal quantity of spares, which are necessary to repair of FPGA logical blocks under faults of all multiplicity.

Key words: fault, test, repair, system-on-a-chip, programmable logic.

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

Литвинова Евгения Ивановна – к.т.н., доцент, доцент кафедры технологии и автоматизации производства РЭС и ЭВС Харьковского национального университета радиоелектроники, Харьков, Украина.

Ngene Christopher Umerah - аспирант кафедры АПВТ Харьковского национального университета радиоелектроники, Харьков, Украина.