

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»

УДК 004.7 (043.3)

ЖИЛЯК
Надежда Александровна

**СИНТЕЗ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ МНОГОКАНАЛЬНЫХ
ВТОРИЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В РЕАЛЬНОМ РЕЖИМЕ ВРЕМЕНИ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.13.15 – Вычислительные машины, комплексы
и компьютерные сети

Минск 2011

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Научный руководитель **Кудрявцев Владимир Иванович**, доктор технических наук, заместитель технического директора закрытого акционерного общества «Мосэнергоремонтсервис»

Официальные оппоненты: **Дудкин Александр Арсентьевич**, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории идентификации систем государственного научного учреждения «Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси»

Чудовский Валерий Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информатики и компьютерных систем Белорусского государственного университета

Оппонирующая организация **Открытое акционерное общество «АГАТ-СИСТЕМ»**

Защита диссертации состоится 9 июня 2011 г. в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.04 при учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6, корп. 1, ауд. 232, тел.: 293-89-89, e-mail: dissovet@bsuir.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Автореферат разослан « » мая 2011 г.

Ученый секретарь совета по защите диссертаций,
доктор технических наук, доцент

А. А. Иванюк

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Одним из направлений повышения конкурентоспособности электронных устройств является совершенствование, осуществляемых в реальном времени, многоканальных вторичных вычислений измерительных комплексов, которое способно с минимальными аппаратными и вычислительными издержками резко повысить метрологические характеристики данных комплексов, расширить ассортимент технических объектов, которые могли бы быть использованы в качестве первичных измерительных преобразователей, а также качественно расширить объем измерительной информации, получаемой от того же количества первичных измерительных преобразователей. Наиболее мощный толчок развитию многоканальных вторичных вычислений могло бы дать выполнение их в специализированных вычислительных процессорах. Однако этому препятствует практика ручного проектирования функциональных схем вычислительных структур, которая ограничивает рост сложности проектируемых структур из-за низкой скорости, снижения надежности и высокой стоимости такого проектирования.

Автоматическому проектированию и/или синтезу функциональных схем посвятили свои исследования ряд отечественных и зарубежных ученых, среди которых необходимо отметить С.В. Тарарыкина, А.А. Петровского, А.С. Кобайло, Р. Реймана, Д. Кронина, Х. Гома, А. Купера и др. Наиболее полно принципиальные решения для синтеза ФС реализованы в теории синтеза вычислительных структур реального времени, которая обеспечивает современную функциональность управления вычислительными структурами с использованием конвейеризации и распараллеливания вычислительного процесса. Однако данная теория не имеет примеров практического использования из-за отсутствия адаптации ее методов к реализации в вычислительных системах с ограниченными вычислительными ресурсами и к условиям, выдвигаемым к синтезу функциональных схем как операционной части, так и управления многоканальными вторичными вычислениями.

Таким образом, разработка методов и алгоритмов синтеза функциональных схем многоканальных вторичных вычислений на базе теории синтеза вычислительных структур реального времени и их использование при разработке новых измерительных комплексов с целью повышения их конкурентоспособности на внутреннем и внешнем рынках является актуальной задачей.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами

1 НИР «Исследование и разработка методов и средств построения высокоскоростных интерфейсов, программируемых и программно-перестраиваемых электронных приборов и систем» (шифр «Гест», № госрегистрации 2006441) Государственной комплексной программы научных исследований «Физические и технологические основы создания новых материалов, элементной базы и разработка устройств опто-, микро-, наноэлектроники, информационно-измерительных систем и приборов» (ГКПНИ «Электроника»), утвержденной Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 28.11.2005 г. № 1339.

2 НИР «Исследование и разработка схемотехнических, конструктивных и технологических методов построения нового поколения средств измерений электрических величин» (№ госрегистрации 20062443) ГКПНИ «Электроника», утвержденной Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 28.11.2005 г. № 1339.

3 НИР «Исследование методов построения преобразователей входных сигналов для создания конкурентоспособных радиоэлектронных и контрольно-измерительных приборов нового поколения» (№ госрегистрации 20062444) ГКПНИ «Электроника», утвержденной Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 28.11.2005 г. № 1339.

4 ОКР «Разработать и подготовить к производству многоканальное устройство сбора и обработки измерительной информации для промышленного применения (шифр «Регистратор») (№ госрегистрации 2002542) Государственной научно-технической программы «Приборостроение», раздел «Приборы и средства измерений», утвержденной Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 08.01.2004 г. № 5.

Цель и задачи исследования

Целью диссертационного исследования является разработка методов и алгоритмов оптимизации синтеза функциональных схем многоканальных вторичных вычислений измерительных комплексов с использованием теории синтеза вычислительных структур реального времени. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие основные задачи:

1 Разработать на базе формального метода синтеза вычислительных систем реального времени алгоритм его реализации для операционной части

многоканальных вторичных вычислений в условиях ограничений времени и памяти, задействованных в вычислительном процессе.

2 Разработать алгоритм синтеза функциональной схемы операционной части многоканальных вторичных вычислений измерительных комплексов с минимизацией объема вычислений и контролем корректности вычислений.

3 Разработать метод оценки и выбора из множества синтезированных работоспособных структур оптимальной по заданным критериям в условиях вариативной многокритериальной оптимизации.

4 Исследовать особенности и возможности синтеза функциональной схемы управления многоканальными вторичными вычислениями в рамках теории синтеза вычислительных структур реального времени с определением обобщенного графа вычислительной структуры и обобщенной структуры функциональной схемы управления многоканальными вторичными вычислениями.

5 Применить разработанный процесс синтеза функциональных схем многоканальных вторичных вычислений при разработке современного измерительного комплекса и оценить конкурентоспособность данного процесса синтеза.

Объектом исследования является процесс синтеза функциональных схем многоканальных вторичных вычислений. Предметом исследования являются методы выбора оптимального синтезируемого решения, алгоритм синтеза функциональных схем, математическая модель, обобщенный граф алгоритма и обобщенная структура для синтеза функциональной схемы управления многоканальными вычислениями.

Положения, выносимые на защиту

1 Алгоритм синтеза функциональной схемы (ФС) операционной части многоканальных вторичных вычислений (МВВ) в ограничениях времени и памяти, задействованной в вычислительном процессе синтеза, основывающийся на положениях теории синтеза вычислительных структур реального времени (ВСПВ) и отличающийся возможностью точного планирования вычислительного ресурса памяти вне зависимости от количества синтезируемых решений, а также гибкостью вычислительного процесса относительно выделенного времени для процесса синтеза.

2 Алгоритм синтеза ФС операционной части МВВ, основанный на алгоритме синтеза ФС операционной части МВВ в ресурсных ограничениях вычислительного процесса, отличающийся тем, что с целью снижения объема вычислений и повышения их надежности в алгоритме производится усечение дерева поиска решений и осуществляется контроль их корректности.

3 Метод оценки и выбора из множества работоспособных систем оптимальной по заданным критериям, включающий в себя формирование математических моделей расчета по заданным критериям оптимизации и процессов вычислений в соответствии с этими математическими моделями, отличающийся тем, что с целью снижения загрузки процессора и потребности в машинной памяти, а также обеспечения вариативной многокритериальной оптимизации синтеза в качестве математической модели выбрана характеристическая булева функция, позволяющая использовать преимущественно ресурсоэкономные операции суммирования, осуществлять минимизацию операций.

4 Математическая модель, обобщенный граф вычислительной системы и обобщенная структура ФС управления МВВ, основывающиеся на положениях теории синтеза (ТС) ВСПВ, отличающиеся тем, что с целью установления корректности процесса синтеза функциональной схемы управления многоканальными вторичными вычислениями, а также уточнения состава операций графа вычислительного алгоритма и элементов обобщенной структуры ФС управления математическая модель ФС управления МВВ выведена в виде единой функциональной зависимости, при этом выявлена минимизация количества операций и структурных элементов, реализованных в обобщенном графе и обобщенной структуре ФС управления МВВ.

Личный вклад соискателя

Научные задачи и цели исследования сформулированы соискателем. Представленные в диссертационной работе результаты получены и проанализированы лично соискателем. Часть представленных исследований, результаты которых не вошли в основные выводы диссертационной работы, проведены в сотрудничестве со специалистами факультета издательского дела и полиграфии УО БГТУ и специалистами 22-го отдела ОАО «МНИПИ».

Апробация результатов диссертации

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на X Республиканской научной конференции студентов и аспирантов высших учебных заведений Республики Беларусь «НИРС–2005» (БГУИР, Минск, 2006 г.); IX Республиканской научной конференции студентов и аспирантов (ГГУ, Гомель, 2007 г.); Международной научно-технической конференции «Автоматический контроль и автоматизация производственных процессов» (БГТУ, Минск, 2006 г., 2009 г.); Международной научно-технической конференции «Организационно-техническое управление в межотраслевых

комплексах» (Минск, БГТУ, 2007 г.); 62, 63, 64, 65, 66-й конференции БГТУ (БГТУ, Минск, 2005–2010 гг.); 71, 72, 73-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (БГТУ, Минск, 2007 г., 2008 г.); Международной научно-технической конференции «Приборостроение–2008» (БНТУ, Минск, 2008 г.), V Международной научно-методической конференции (БГУИР, Минск, 2010 г.).

Опубликование результатов диссертации

По материалам диссертации опубликовано 17 научных работ общим объемом 37 страниц. Из них 3 тезиса и 7 докладов в научных журналах и сборниках; в рецензированных сборниках – 7 статей. Общий объем – 30 авторских листов.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, списка использованных источников и приложений.

Во введении рассмотрены проблемы, связанные с дальнейшим направлением исследований.

В первой главе диссертационной работы проанализированы проблемы в области развития электронной техники и, в частности, измерительных комплексов; приведен анализ и выбор методов синтеза функциональных схем, применимых к вычислительным структурам МВВ измерительных комплексов. Определены основные недостатки теории синтеза ВСПВ в применении к синтезу функциональных схем многоканальных вторичных вычислений, сформулированы цель и основные задачи исследований.

Во второй главе на основании теории синтеза ВСПВ проведен анализ процесса синтеза функциональной схемы операционной части многоканальных вторичных вычислений, определены режим и алгоритм такого синтеза в условиях ресурсных ограничений; разработан метод оценки и выбора из множества работоспособных синтезированных структур оптимальной структуры по заданным критериям в условиях вариативного многокритериального выбора.

В третьей главе проведено исследование процесса синтеза функциональной схемы управления МВВ в рамках теории синтеза ВСПВ с выводом математической модели синтеза функциональной схемы управления МВВ. Определены обобщенный граф вычислительной структуры и обобщенная структура функциональной схемы управления МВВ.

В четвертой главе приведены результаты применения синтеза функциональных схем многоканальных вторичных вычислений при разработке современного измерительного комплекса. Представлена технико-экономическая оценка применения предлагаемого процесса синтеза.

В приложениях приведены листинги ПО, акты о внедрении.

Общий объем диссертации составляет 148 страниц, из которых в том числе: 6 приложений на 42 страницах, 21 рисунок на 21 странице, 4 таблицы на 4 страницах, библиографический список из 107 наименований литературных источников включая собственные публикации на 9 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Во введении рассмотрены проблемы, связанные с исследованиями, проведенными в диссертационной работе, которые направлены на разработку методов и алгоритмов синтеза ФС МВВ на базе ТС ВСПВ и их использование при разработке новых измерительных комплексов с целью повышения их конкурентоспособности на внутреннем и внешнем рынках.

В первой главе диссертационной работы проанализировано современное состояние проблем в области синтеза вычислительных структур в процессах управления, измерения, регистрации и анализа данных. Приведен анализ методов синтеза вычислительных структур реального времени. Определены основные проблемы применения теории синтеза вычислительных структур реального времени при проектировании измерительных комплексов, сформулированы цель и задачи исследований.

Увеличение мощности многоканальных вторичных вычислений измерительных комплексов (ИК) определяет повышение достоверности измерительных данных и увеличение количества технических объектов, которые могут быть использованы в качестве первичных измерительных преобразователей, позволяет увеличить количество измерительных данных без увеличения количества первичных измерительных преобразователей. При этом в МВВ должно сочетаться использование огромного разнообразия математических инструментов и алгоритмов с жесткими ограничениями реального времени и минимизацией используемых вычислительных и аппаратных ресурсов. В наибольшей степени данным требованиям соответствуют специализированные вычислительные процессоры, усложнение которых прямо связано с достигаемыми при этом конкурентными преимуществами. Таким образом, наибольшие возможности получения такого рода преимуществ возможны при автоматическом проектировании или синтезе ФС МВВ, в ходе которого может быть достигнуто практически неограниченное усложнение проектируемых вычислительных структур при достаточной надежности и скорости

проектирования и его низкой стоимости относительно ручного проектирования.

Процесс синтеза функциональных схем МВВ состоит из двух этапов: синтеза функциональных схем операционной части МВВ, в соответствии с которой осуществляются вторичные вычисления по нескольким измерительным каналам, и синтез функциональной схемы управления МВВ, которая организует выполнение вторичных вычислений в составе МВВ в реальном времени и с минимизацией вычислительных ресурсов. Соответственно, результатом такого ожидаемого синтеза будут две функциональные схемы. Они могут быть представлены также в виде графа вычислительной структуры (ГВС).

Среди известных формальных методов синтеза средств вычислительной техники наибольшее распространение получили методы синтеза цифровых автоматов и логико-комбинаторного синтеза структур. Однако для синтеза ВС, ориентированных на реализацию аналитических выражений или алгоритмов не булевого характера, описанные методы являются принципиально непригодными. Исходя из этого их невозможно применить для синтеза ФС операционной части МВВ.

Для управления структурами реального времени, к которым относятся структуры, обеспечивающие МВВ, необходима высокая точность формирования временных интервалов. Основным недостатком управляющих устройств, синтезированных методом цифровых автоматов, является формирование управляющих сигналов в соответствии с логическими выражениями без учета временной зависимости между этими сигналами. Применение микропрограммного принципа построения устройств управления нецелесообразно по причине необходимости больших объемов быстродействующей памяти и вследствие низкой точности формирования временных интервалов.

Решение проблемы синтеза ВСПВ становится возможным с появлением теории синтеза ВСПВ. В рамках данной теории возможно решение как задачи синтеза функциональной схемы операционной части МВВ, так и задачи синтеза функциональной схемы управления МВВ. Однако для этого необходимо представить решение для синтеза неограниченного количества синтезируемых решений в реальном вычислительном процессе, минимизации объема вычислений, контроля корректности вычислений и вычислений в условиях вариативной многокритериальной оптимизации синтезируемых решений. Кроме того, вследствие эвристического, а следовательно, ненадежного вывода математической модели синтеза функциональной схемы управления МВВ необходимо дополнительное исследование процесса соответствующего синтеза в рамках указанной теории.

Во второй главе диссертационной работы на основании теории синтеза ВСПВ проведен анализ процесса синтеза функциональной схемы операционной части многоканальных вторичных вычислений; определены режим и метод такого

синтеза в условиях ресурсных ограничений и разработан метод оценки и выбора из множества работоспособных синтезированных структур оптимальной по заданным критериям в условиях вариативного многокритериального выбора.

Диаграмма синтеза функциональной схемы операционной части МВВ в режиме последовательных и циклических вычислений представлена на рисунке 1.

При синтезе функциональной схемы операционной части МВВ теория синтеза ВСРВ подразумевает выполнение последовательности процедур, и может быть представлена в виде операций, реализованных в режиме последовательных и циклических вычислений.

Шаг алгоритма	Кэши решений I	Кэши решений II	Процесс синтеза ВС
1 Формирование графа вычислительного алгоритма (ГВА)	$n_1 = 1$	$n_1 = 1$	
2 Определение полных путей ГВА	$n_1 = 1$	$n_1 = 1$	
3 Назначение уровней временной иерархии вершинам ГВА	$n_1 = 1$	$n_1 = 1$	
4 Назначение функциональных устройств вершинам ГВА	$n_1 = 0;$ $n_2 \rightarrow \infty$	$n_1 = 1;$ $n_2 = 1$	
5 Формирование для каждого вектора назначения соответствующего вектора реализации	$n_2 \rightarrow \infty$	$n_1 = 1; n_2 = 1$	
6 Формирование на основании векторов реализации графов алгоритма с буферной памятью	$n_2 \rightarrow \infty$	$n_1 = 1;$ $n_2 = 1$	
7 Формирование усеченных путей уровней временной иерархии	$n_2 \rightarrow \infty$	$n_1 = 1; n_2 = 1$	
8 Определение конвейеризируемых путей и ступеней конвейера	$n_2 \rightarrow \infty$	$n_1 = 1; n_2 = 1$	
9 Определение множества свертываемых вершин	$n_2 \rightarrow \infty$	$n_1 = 1;$ $n_2 = 1$	
10 Построение вычислительного графа алгоритма (ВГА)	$n_2 = 0;$ $n_3 \rightarrow \infty$	$n_1 = 1; n_2 = 1;$ $n_3 = 1$	
11 Предварительная проверка работоспособности вычислительной структуры реального времени	$n_3 \rightarrow \infty$	$n_1 = 1; n_2 = 1;$ $n_3 = 1$	
12 Формирования вектора временной развертки	$n_3 \rightarrow \infty$	$n_1 = 1; n_2 = 1;$ $n_3 = 1$	
13 Формирование вектора требований к памяти для хранения промежуточных результатов	$n_3 \rightarrow \infty$	$n_1 = 1; n_2 = 1;$ $n_3 = 1$	
14 Дополнительная проверка работоспособности	$n_3 \rightarrow \infty$	$n_1 = 1; n_2 = 1;$ $n_3 = 1$	
15 Построение ВГА с регистровыми файлами	$n_3 \rightarrow \infty$	$n_1 = 1; n_2 = 1;$ $n_3 = 1$	
16 Разработка ГВС	$n_3 \rightarrow \infty$	$n_1 = 1; n_2 = 1;$ $n_3 = 1$	
17 Построение функционала временной развертки	$n_3 \rightarrow \infty$	$n_1 = 1; n_2 = 1;$ $n_3 = 1$	
18 Определение такта вычислительной структуры	$n_3 \rightarrow \infty$	$n_1 = 1; n_2 = 1;$ $n_3 = 1$	
19 Выбор из множества работоспособных синтезированных структур структуры,	$n_4 = 1$	$n_1 = 1; n_2 = 1;$ $n_3 = 1; n_4 = 1$	

наилучшим образом удовлетворяющей заданным критериям оптимальности в соответствии с условием			
--	--	--	--

Рисунок 1 – Диаграмма синтеза функциональной схемы операционной части МВВ в режиме последовательных и циклических вычислений

И в том, и в другом случае формируются четыре кэша решений, два из которых используются в операции 19.

При последовательном режиме реализации алгоритма два из кэшей (n_2 и n_3), стремятся к неограниченному росту, так как количество решений в них ограничивается только задачей синтеза, а это область конкурентных отношений. Такая тенденция чревата выходом процесса синтеза за пределы ограничений выделения памяти для данного вычислительного процесса и его неплановой остановкой. Кроме того, такое экстенсивное использование ресурса памяти приведет к резкому замедлению процесса синтеза вследствие использования все более медленной памяти. Также экстенсивное использование памяти уменьшает возможности распараллеливания вычислительного процесса синтеза.

Синтез функциональной схемы операционной части МВВ в режиме циклических вычислений предусматривает минимизацию объема используемой памяти.

Однажды созданные четыре кэша решений существуют с тем же количеством решений в течение всех остальных вычислительных циклов исследуемого процесса. Таким образом, независимо от объема вычислительной задачи количество решений, обрабатываемых одновременно в одном вычислительном процессе (операции 1–18 на рисунке 1) не превышает единицы, в операции 19 равно двум, а количество одновременно хранимых решений разного типа не превышает четырех.

Для анализируемого процесса синтеза в режиме последовательных вычислений характерно следующее соотношение длительности процесса синтеза Δt_c и наименьшей возможной длительности синтеза $\Delta t_{c \min}$: $\Delta t_c = \Delta t_{c \min}$. В режиме циклических вычислений это соотношение принимает другой вид: $\Delta t_{c \min} \ll \Delta t_c$. При этом $\Delta t_{c \min}$ равна длительности первого прохождения операций синтеза. Тогда первое прохождение данных операций может быть использовано для планирования точного объема и конфигурации памяти и для последующего распараллеливания и конвейеризации исследуемого вычислительного процесса. Таким образом, проблема планирования ресурса памяти может быть решена в ходе предварительного, а затем уточненного планирования ресурса памяти, объем которой не зависит от количества решений синтезированных в исследуемом вычислительном процессе. Кроме того, данное соотношение означает, что существует промежуток времени $\Delta t_{c \text{ п}}$, в течение которого могут быть автоматически получены частично оптимизированные решения ГБС, при этом $\Delta t_{c \min} \leq \Delta t_{c \text{ п}} < \Delta t_c$. Возможность синтеза актуальна, когда процесс синтеза

выходит за пределы допустимой продолжительности данного вычислительного процесса, а также при возможных сбоях процесса синтеза по различным причинам. Это увеличивает устойчивость и надежность исследуемого вычислительного процесса.

Анализируя операции, представленные на рисунке 1, следует выделить операции 11 и 19, которые уменьшают количество рассматриваемых синтезированных решений. Очевидно, что перемещение данных операций или им подобных возможно выше по диаграмме способно уменьшить объем производимых вычислений. Синтез функциональных схем без потери точности с предельным уменьшением объема вычислений подразумевает максимальное приближение операций 11 и 19 или подобных им операций, уменьшающих количество решений, по рассматриваемой диаграмме синтеза к самому нижнему узлу ветвления, то есть к операции 10. Но операция 11 и так расположена предельно близко к данной операции. Операция 19, наоборот, потенциально перспективна для смещения по диаграмме синтеза к операции 10, например, сразу за операцией 11. В диссертации исследована возможность такого усечения решений.

Операция 14 теоретически не уменьшает количества решений, так как по своему результату она эквивалентна операции 11 и расположена после нее, но тогда она может быть использована для проверки корректности вычислительного процесса до операции 14.

Оптимизированный метод синтеза предполагает формирование на шагах 1–11 алгоритма ГВС операционной части МВВ, удовлетворяющих условиям реализуемости, то есть множество входных и выходных данных должны обрабатываться в пределах заданного отрезка времени. После этого осуществляется переход к операции 11', в которой также как и в операции 19, представленной на рисунке 1, производится выбор из множества вариантов проектируемой структуры вариантов, удовлетворяющих заданным условиям оптимальности. Для каждого из выбранных на данном этапе вариантов выполняются шаги 12–14, 15–18. Наличие в сформированном на шаге 14 векторе требований к памяти (рисунок 1, операция 13) отрицательных элементов свидетельствует об ошибке обработки программы, так как использованные методы формирования векторов назначения и соответствующих векторов реализации, а также расчета координат вектора временной развертки из условия реализуемости пути графа алгоритма в реальном масштабе времени исключает такую возможность. В связи с этим операция 14 в модернизированном алгоритме предназначена для фиксации и исправления программных сбоев. В соответствии с данным подходом предложен оптимизированный алгоритм синтеза функциональной схемы операционной части МВВ, который представлен в виде блок-схемы на рисунке 2.

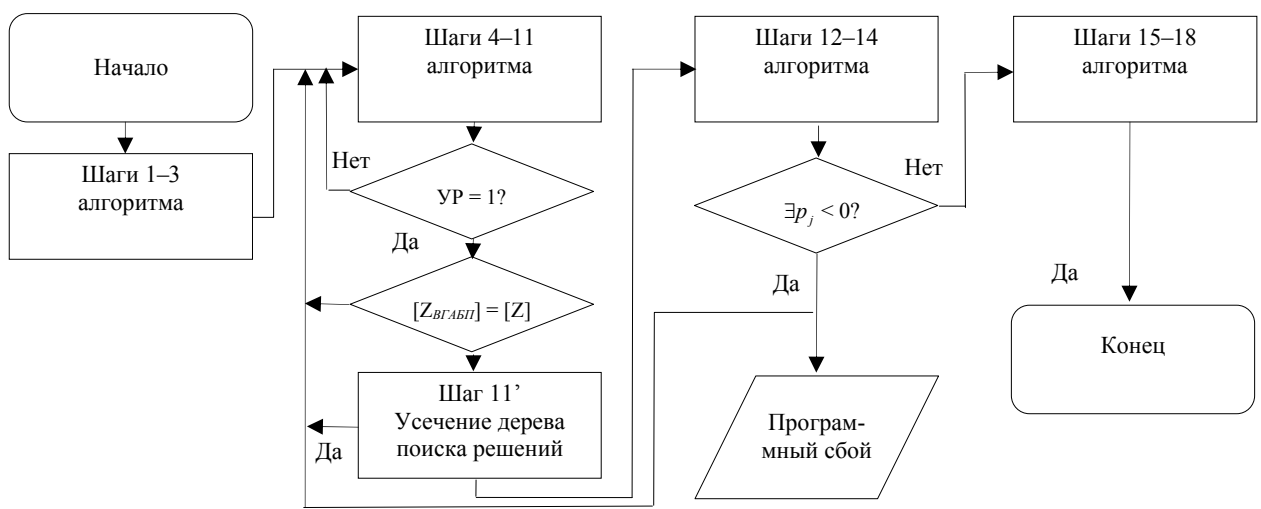


Рисунок 2 – Блок-схема оптимизированного алгоритма синтеза функциональной схемы операционной части МВВ

На рисунке 2 P_j – p -й параметр j -го функционального устройства, $УР = 1?$ – проверка условия реализуемости ВС в реальном масштабе времени, $[Z]$ – мощность множества альтернативных вариантов структуры, $[Z_{ВГАБП}]$ – мощность множества сформированных ВГА с буферной памятью.

Для гибкого использования в рамках единого программного обеспечения различных критериев оптимизации в многокритериальном выборе в операции 19, представленной на рисунке 1, необходимо обеспечить тот или иной вид каскадного соединения однотипных операций 19 по несовместимым на уровне элементарных функциональных устройств функциональной схемы критериям оптимизации.

С этой целью предлагается предварительное преобразование синтезированной вычислительной структуры в логическую структуру, вид которой определяется типом критерия оптимизации, например в виде импликант для оптимизации по стоимости или энергопотреблению, а затем формализовать сравнительную оценку такого рода структур. В качестве примера для организации оценки и выбора оптимальных синтезируемых решений была выбрана модель характеристической булевой функции, представляющей собой сумму импликант, которая может быть применена для расчета по критериям минимизации стоимости, энергоемкости, тепловыделения и ряда других. Данная функция при вычислениях характеризуется наибольшей экономией вычислительных ресурсов за счет использования наименее ресурсоемкой операции суммирования и развитых возможностей сокращения количества операций при ее вычислении. Созданный на основе использования характеристической булевой функции метод выбора оптимального варианта структуры включает в себя следующие основные этапы.

1 Установление взаимнооднозначного соответствия между функциональными устройствами (ФУ) синтезируемой структуры и булевыми переменными $z_i \leftrightarrow b_i$.

2 Представление множества альтернативных вариантов синтезируемой структуры в виде дизъюнкции всех простых импликант характеристической булевой функции (ХБФ), то есть сокращенной дизъюнктивной нормальной формы.

3 Преобразование сокращенной дизъюнктивной нормальной формы в особенную скобочную нормальную форму с уменьшением количества операций.

4 Переход от особенной скобочной нормальной формы к арифметическому выражению путем осуществления следующих замен:

$b_i \rightarrow P_i$; P_i – вес ФУ соответствующего i -й булевой переменной;

$b_i \wedge b_j \rightarrow P_i + P_j$; $b_i \vee b_j \rightarrow \min(P_i, P_j)$; определение $\min(P_j)$.

В третьей главе проведено исследование процесса синтеза функциональной схемы управления МВВ в рамках теории синтеза ВСРВ с выводом математической модели синтеза функциональной схемы управления МВВ. Определены обобщенный граф вычислительной структуры и обобщенная структура функциональной схемы управления МВВ. Вывод математической модели управления МВВ производится из функционала временной развертки (ФВР), полученного при синтезе функциональной схемы операционной части МВВ. Искомая модель должна представлять собой аналитическое выражение, удобное для представления в виде графа вычислительного алгоритма.

Функционалом временной развертки графа вычислительной структуры, содержащего J вершин, называется совокупность из J равенств вида

$$\Phi(t(j, q)) = (t_j^{(1)}, t_j^{(2)}, \dots, t_j^{(Q_j)}) + \Delta t(\gamma_j)k, \quad j = \overline{1, I}, \quad k_j = 0, 1, 2, 3, \dots; \quad q = 1, \dots, Q_j, \quad (1)$$

где $t_j^{(1)}, \dots, t_j^{(Q_j)}$ – требуемые моменты включения j -го ФУ на первом цикле функционирования, равные координатам вектора временной развертки вычислительного графа алгоритма с регистровыми файлами, соответствующие свертываемым вершинам этого графа при формировании вершины v_i графа вычислительной структуры, $\Delta t(\gamma_j)$ – шаг дискретизации для уровня временной иерархии вершины v_i , k_j – коэффициент, задающий периодичность процесса.

В результате преобразований ФВР (1) с помощью введенных функций получена искомая математическая модель функциональной схемы управления МВВ:

$$F(t_i) = \chi_B(t^*(\chi_D(t^*(\chi_3(t_0, t'(1)^{(i)}))_b K_D^{(i)}))_b t'_i, \chi_K(\chi_D(t^*(\chi_3(t_0, t'(1)^{(i)}))_b K_D^{(i)}))) \quad (2)$$

где $\chi_B(\cdot)$ – функция координаты вектора временной развертки, $t^*(\chi_D(\cdot))$ – моменты начала импульсов делителя частоты, K_D – коэффициент деления частоты, $\chi_3(\cdot)$ – функция задержки, $t'(1)^{(i)}$ – момент первого выполнения операции.

Математическая модель синтеза ФС управления структурами реального времени в ТС ВСПВ представлена в виде трех выражений. Очевидно, что при представлении данной модели в виде (3.2) сокращается время на ввод формулы. Качественные различия в данных моделях можно оценить по различиям в обобщенном графе вычислительного алгоритма и обобщенной структуре функциональной схемы управления МВВ.

В отличие от представленного в ТС ВСПВ подграфа обобщенного графа вычислительного алгоритма управления МВВ из подграфа был исключен функциональный элемент, соответствующий логическому «или».

Из этого следует, что количество операций уменьшилось на одну, а количество функциональных устройств в каждом канале синтеза функциональных схем управления операционной частью МВВ также уменьшится на один функциональный блок. Данный эффект является существенным и вызван изменением математической модели синтеза ФС управления МВВ.

В четвертой главе приведены результаты применения синтеза ФС многоканальных вторичных вычислений при разработке современного измерительного комплекса и представлена технико-экономическая оценка применения предлагаемого процесса синтеза.

Предложенные в диссертационной работе методы были использованы при разработке программно-аппаратной части регистрирующего устройства РМ-2201. Данное устройство предназначено для аналого-цифрового преобразования входных сигналов термопар, их цифровой обработки в схеме МВВ, вывода результатов измерений на встроенный или внешний дисплей и запоминания измеренных данных на внешней карте флэш-памяти.

При разработке регистратора многоканального РМ-2201 автоматически были реализованы следующие задачи: синтезирована ФС операционной части МВВ, обеспечивающей вычисления набора полиномов 8-й и 14-й степени, описывающих зависимость термо-ЭДС от температуры; синтезирована ФС управления МВВ на основе унифицированных модулей с цифровым управлением, обеспечивающих формирование управляющих сигналов для организации вычислений полиномов в операционной части.

Функциональная схема операционной части МВВ регистратора многоканального РМ-2201 представлена на рисунке 3.

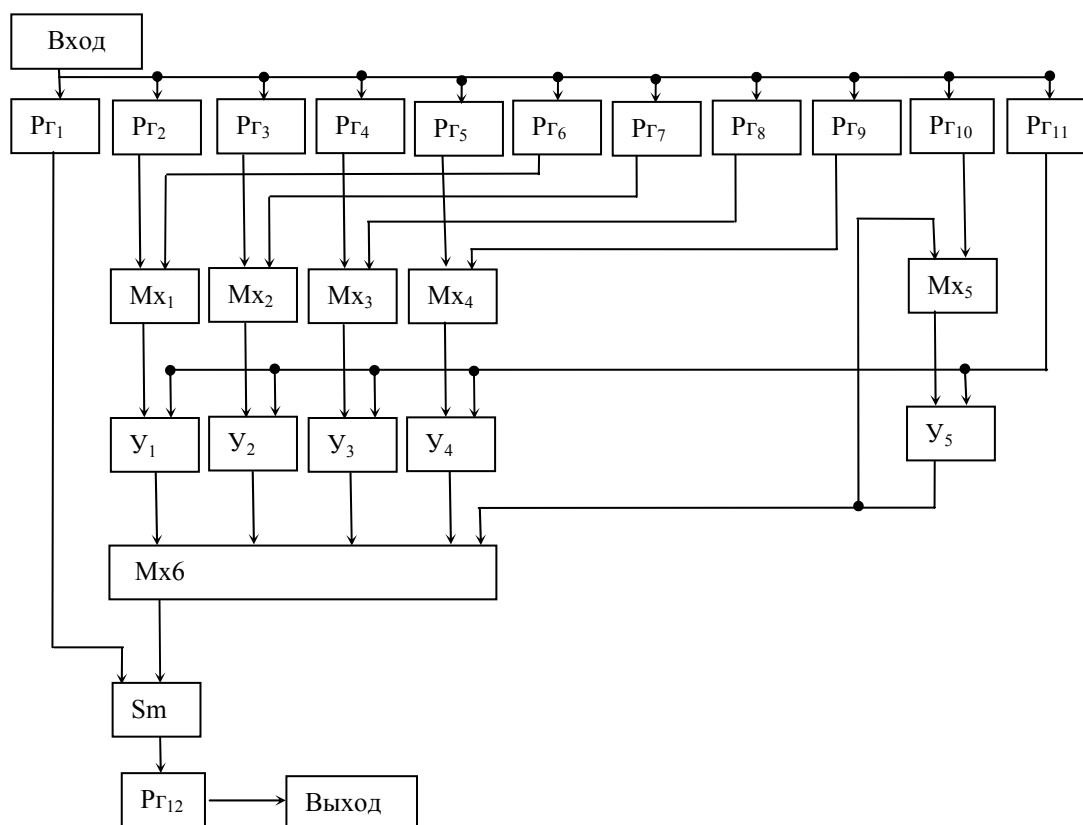


Рисунок 3 – Функциональная схема операционной части MBV

На рисунке 3 представлены следующие элементы: регистры PГ₁-PГ₁₀ – для хранения кодов коэффициентов полинома d_0-d_9 ; регистр PГ₁₁ – сдвигающего типа – для последовательного приема, сдвига и дальнейшего хранения на время, равное циклу вычисления полинома, последовательного кода термо-ЭДС E^k ; PГ₁₂ – регистр выходного значения; мультиплексоры Mx₁-Mx₅ – для выбора источника информации для умножителей Y₁-Y₅ на последовательных тактах расчета произведений полиномов; мультиплексор Mx₆ – для подключения к сумматору Sm; Sm – сумматор накапливающего типа, предназначен для суммирования, накопленной на предыдущих тактах суммы элементов полинома со значением его текущего элемента.

Разработана и внедрена схема управления операционной частью вторичных измерений регистратора многоканального РМ-2201 и представлена на рисунке 4.

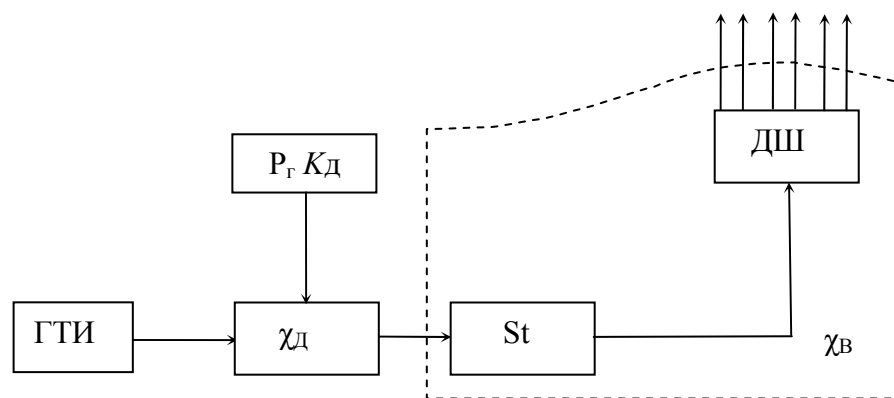


Рисунок 4 – Структура схемы управления операционной частью вторичных измерений в одном канале

Схема содержит генератор тактовых импульсов ГТИ. Канал содержит регистр кода деления частоты $P_r K_d$, делитель частоты χ_d , устройство формирования функции вектора временной развертки χ_v . Устройство формирования функции вектора временной развертки включает в себя счетчик St и дешифратор ДШ.

При внедрении полученных результатов в диссертационной работе в рамках проектирования регистратора многоканального РМ-2201 были достигнуты конкурентные преимущества, которые позволили увеличить количество измерительных каналов с 8 до 15. По сравнению с базовой моделью РМ-2201 себестоимость проектирования прибора в расчете на один измерительный канал уменьшилась на 30 %. Снижение себестоимости достигнуто за счет сокращения затрат по сравнению с затратами неавтоматизированного проектирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1 На базе формального метода синтеза вычислительных структур реального времени разработан алгоритм его реализации для операционной части многоканальных вторичных вычислений, гарантирующий возможность точного планирования вычислительного ресурса памяти вне зависимости от количества синтезируемых решений, а также гибкость вычислительного процесса относительно выделенного времени синтеза [2–А, 4–А, 15–А, 17–А].

2 Разработан алгоритм синтеза функциональной схемы операционной части многоканальных вторичных вычислений, который уменьшает время работы процессора и объем используемой памяти путем сокращения объема вычислений посредством усечения дерева поиска решений, а также предполагает контроль корректности синтеза. При этом время синтеза функциональной схемы операционной части многоканальных вторичных вычислений уменьшается не менее чем в 4,8 раза [1–А, 7–А, 10–А].

3 Разработан метод оценки и выбора из множества работоспособных структур оптимальной по заданным критериям, в котором в качестве математической модели выбрана характеристическая булева функция, позволяющая использовать преимущественно ресурсоэкономные операции суммирования, а также осуществлять минимизацию операций, что позволяет минимизировать время работы процессора и объем используемой памяти, а также предполагает реализацию гибкой и вариативной многокритериальной оптимизации без изменения соответствующего программного обеспечения [3–А, 9–А, 11–А].

4 В рамках теории синтеза вычислительных структур реального времени осуществлен вывод математической модели управления многоканальными вторичными вычислениями и определение обобщенного графа вычислительного алгоритма и обобщенной структуры функциональной схемы управления многоканальными вторичными вычислениями. В сравнении с известной математической моделью полученная модель позволяет сократить количество операций графа вычислительного алгоритма на одну операцию на каждый канал вычислений, а в обобщенной структуре функциональной схемы управления многоканальными вторичными вычислениями это позволяет сократить количество функциональных устройств по одному на каждый из управляемых вычислительных каналов [5–А, 6–А, 12–А, 13–А].

5 В соответствии с разработанными в диссертации методами и математической моделью осуществлен синтез функциональных схем многоканальных вторичных вычислений регистратора многоканального РМ-2201, предназначенного для контроля технологических параметров, который внедрен в серийное производство [16–А].

6 Благодаря применению разработанных в диссертации методов и математической модели структурная интеграция РМ-2201 в сравнении с

базовой моделью увеличилась в 2,5 раза, а себестоимость одного измерительного канала уменьшилась на 30 % при неизменных точностных характеристиках [8–А, 14–А].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Разработанные алгоритмы и методы рекомендуется использовать в организациях, занимающихся решением задач, связанных с разработкой вычислительных комплексов, в частности в области приборостроения. Предложенные алгоритмы и методы могут применяться в решении задач проектирования и синтеза вычислительных структур измерительных комплексов.

Результаты работы получены и реализованы в рамках следующих госбюджетных тем: НИР «Исследование и разработка методов и средств построения высокоскоростных интерфейсов, программируемых и программно-перестраиваемых электронных приборов и систем» (шифр «Тест») Государственной комплексной программы научных исследований «Физические и технологические основы создания новых материалов, элементной базы и разработка устройств опто-, микро-, наноэлектроники, информационно-измерительных систем и приборов» (ГКПНИ «Электроника»). НИР «Исследование и разработка схемотехнических, конструктивных и технологических методов построения нового поколения средств измерений электрических величин» ГКПНИ «Электроника». НИР «Исследование методов построения преобразователей входных сигналов для создания конкурентоспособных радиоэлектронных и контрольно-измерительных приборов нового поколения» ГКПНИ «Электроника». ОКР «Разработать и подготовить к производству многоканальное устройство сбора и обработки измерительной информации для промышленного применения (шифр «Регистратор») Государственной научно-технической программы «Приборостроение», раздел «Приборы и средства измерений».

В соответствии с достигнутой автоматизацией и оптимизацией на этапах выполнения ОКР «Разработка регистратора многоканального РМ-2201» были использованы разработанные в диссертационной работе методы и алгоритмы и внедрены при проектировании прибора РМ-2201, который выпускается серийно ОАО «МНИПИ» (формирование заказа на оборудование для Лукомльской ГРЭС).

Кроме того, материалы диссертационной работы использованы и внедрены в учебный процесс кафедры полиграфического оборудования и средств обработки информации УО «Белорусский государственный технологический университет» и учтены при создании ТС ВСРВ.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи в научных журналах

1–А. Жилияк, Н.А. Разработка программного обеспечения для системы диагностирования полиграфического оборудования на базе языка UML / Н.А. Жилияк // Труды БГТУ. Сер. VI, Физ.-мат. науки и информатика. – 2007. – Вып. XV. – С. 53–56.

2–А. Жилияк, Н.А. Базовый алгоритм синтеза вычислительных систем реального времени / Н.А. Жилияк, А.С. Кобайло // Труды БГТУ. Сер. VI, Физ.-мат. науки и информатика. – 2007. – Вып. XV. – С. 147–150.

3–А. Жилияк, Н.А. Логико-комбинаторный подход к выбору оптимальных систем сложных технических систем / Н.А. Жилияк // Труды БГТУ. Сер. VI, Физ.-мат. науки и информатика. – 2008. – Вып. XVI. – С. 125–128.

4–А. Жилияк, Н.А. Базовый алгоритм синтеза вычислительных систем реального времени для теплоэнергетических измерений / Н.А. Жилияк, С.И. Акунович // Труды БГТУ. Сер. VI, Физ.-мат. науки и информатика. – 2008. – Вып. XVI. – С. 129–132.

5–А. Кобайло, А.С. Математическая модель блока управления измерительными каналами / А.С. Кобайло, Н. А. Жилияк // Труды БГТУ. Сер. VI, Физ.-мат. науки и информатика. – 2009. – Вып. XVII. – С. 103–106.

6–А. Жилияк, Н.А. Математическая модель блока управления параллельно-конвейерными вычислительными системами / Н.А. Жилияк, А.С. Кобайло // Труды БГТУ. Сер. VI, Физ.-мат. науки и информатика. – 2010. – Вып. XVIII. – С. 138–141.

7–А. Кудрявцев, В.И. Модификация алгоритма синтеза вычислительных систем реального времени / В.И. Кудрявцев, А.С. Кобайло, Н.А. Жилияк // Труды БГТУ. Сер. VI, Физ.-мат. науки и информатика. – 2010. – Вып. XVIII. – С. 134–137.

Статьи в материалах научных конференций

8–А. Жилияк, Н.А. Современные тенденции развития радиоэлектронной техники / Н.А. Жилияк // Организационно-техническое управление в межотраслевых комплексах: материалы докл. II Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 20–21 нояб. 2007 г. – Минск: БГТУ, 2007. – С. 381–389.

9–А. Жилияк, Н.А. Методы синтеза вычислительных систем / Н.А. Жилияк // Автоматический контроль и автоматизация производственных процессов: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 28–29 окт. 2009 г. – Минск: БГТУ, 2009. – С. 71–73.

10–А. Жилияк, Н.А. Синтез вычислительных систем реального времени / Н.А. Жилияк // Автоматический контроль и автоматизация производственных процессов: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 6–8 июня 2006 г. – Минск: БГТУ, 2006. – С. 208–211.

Тезисы докладов в материалах конференций

11–А. Жилияк, Н.А. Автоматизация конфигурирования вычислительных систем реального времени / Н.А. Жилияк // НИРС – 2005: сб. тез. докл. X Респ. науч. конф. студ. и асп. вузов Респ. Беларусь. – Минск: БГУИР, 2006. – С. 147.

12–А. Жилияк, Н.А. Разработка блоков управления систем реального времени / Н.А. Жилияк // НИРС – 2005: сб. тез. докл. X Респ. науч. конф. студ. и асп. вузов Респ. Беларусь. – Минск: БГУИР, 2006. – С. 146.

13–А. Жилияк, Н.А. Математические основы синтеза блоков управления вычислительных систем реального времени / Н.А. Жилияк // Материалы IX Респ. науч. конф. студ. и асп. – Гомель: ГГУ, 2006. – С. 218–219.

14–А. Дзюба, Н.В. Алгоритм для многоканальных измерительных систем сбора и обработки данных / Н.В. Дзюба, Н.А. Жилияк // Приборостроение – 2008: тез. кон. – Минск: БНТУ, 2008. – С. 219–220.

15–А. Жилияк, Н.А. Создание автоматизированных систем для обучения в вузах / Н.А. Жилияк // Высшее техническое образование: проблемы и пути развития: тез. докл. респ. науч.-метод. конф. – Минск: БГУИР, 2008. – С. 61–62.

16–А. Жилияк, Н.А. ВРWIN как CASE-средство для проектирования информационных систем / Н.А. Жилияк, Д.А. Фецович // Высшее техническое образование: проблемы и пути развития: тез. докл. V Междунар. науч.-метод. конф., Минск, 28 нояб. 2010 г. / М-во образования Респ. Беларусь; Бел. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2010. – С. 208.

17–А. Кобайло, А.С. Применение пакета «Rational Rose» в учебных курсах / А.С. Кобайло, А.Т. Пешков, Д.А. Фецович, Н.А. Жилияк // Высшее техническое образование: проблемы и пути развития: тез. докл. V Междунар. науч.-метод. конф., Минск, 28 нояб. 2010 г. / М-во образования Респ. Беларусь; Бел. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2010. – С. 178.

РЕЗЮМЕ

Жиляк Надежда Александровна

Синтез функциональных схем многоканальных вторичных вычислений в реальном масштабе времени

Ключевые слова: вычислительный граф алгоритма, вектор временной развертки, многоканальные вторичные вычисления, теория синтеза вычислительных структур реального времени.

Целью работы является разработка методов и алгоритмов оптимизации синтеза функциональных схем многоканальных вторичных вычислений измерительных комплексов с использованием теории синтеза вычислительных структур реального времени.

Полученные результаты и их новизна: в данной диссертационной работе проведен анализ и исследован процесс синтеза функциональных схем многоканальных вторичных вычислений, с целью дальнейшего выбора оптимального синтезируемого решения, разработки алгоритма синтеза функциональных схем, математической модели, обобщенного графа алгоритма и обобщенной структуры для синтеза функциональной схемы управления многоканальными вычислениями. Разработан алгоритм синтеза функциональной схемы операционной части многоканальных вторичных вычислений в ограничениях времени и памяти, задействованной в вычислительном процессе синтеза, основывающийся на положениях теории синтеза вычислительных структур реального времени. В алгоритме производится усечение дерева поиска решений и осуществляется контроль их корректности. Разработан метод оценки и выбора из множества работоспособных систем оптимальной по заданным критериям. В качестве математической модели выбрана характеристическая булева функция, позволяющая использовать преимущественно ресурсоэкономные операции суммирования, осуществлять минимизацию операций. Был осуществлен уточненный вывод математической модели синтеза функциональной схемы управления, определены обобщенный граф и обобщенная структура функциональной схемы управления многоканальными вторичными вычислениями.

Результаты диссертационной работы внедрены и используются

1 На этапах выполнения ОКР «Разработка регистратора многоканального РМ-2201» (разработанные в диссертационной работе методы и алгоритмы внедрены при проектировании прибора РМ-2201, который выпускается серийно ОАО «МНИПИ» (выполнение заказа на оборудование для Лукомльской ГРЭС)).

2 Материалы диссертационной работы использованы и внедрены в учебный процесс кафедры полиграфического оборудования и средств обработки информации УО «Белорусский государственный технологический

университет».

РЭЗЮМЕ

Жыляк Надзея Аляксандраўна

Сінтэз функцыянальных схем шматканальных другасных вылічэнняў у рэальным маштабе часу

Ключавыя словы: вылічальны граф алгарытму, вектар часовай разгорткі, шматканальныя другасныя вылічэнні, тэорыя сінтэзу вылічальных структур рэальнага часу.

Мэтай працы з'яўляецца распрацоўка метадаў і алгарытмаў аптымізацыі сінтэзу функцыянальных схем шматканальных другасных вылічэнняў вымяральных комплексаў з выкарыстаннем тэорыі сінтэзу вылічальных структур рэальнага часу.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: у дадзенай дысертацыйнай працы праведзены аналіз і даследаваны працэс сінтэзу функцыянальных схем шматканальных другасных вылічэнняў, з мэтай далейшага выбару аптымальнага сінтэзаванага рашэння, распрацоўкі алгарытму сінтэзу функцыянальных схем, матэматычнай мадэлі, абагульненага графа алгарытму і абагульненай структуры для сінтэзу функцыянальнай схемы кіравання шматканальнымі вылічэннямі. Распрацаваны алгарытм сінтэзу функцыянальнай схемы аперацыйнай часткі шматканальных другасных вылічэнняў у абмежаваннях часу і памяці, задзейнічанай у вылічальным працэсе сінтэзу, які засноўваецца на становішчах тэорыі сінтэзу вылічальных структур рэальнага часу. У алгарытме вырабляецца ўсячэнне дрэва пошуку рашэнняў і ажыццяўляецца кантроль іх карэктнасці. Распрацаваны метады адзнакі і выбару са мноства працаздольных сістэм аптымальнай па зададзеных крытэрыях. У якасці матэматычнай мадэлі абрана характарыстычная булева функцыя, якая дазваляе выкарыстоўваць пераважна рэсурсаэканомныя аперацыі сумавання, ажыццяўляць мінімізацыю аперацый. Быў ажыццёўлены ўдакладненая выснова матэматычнай мадэлі сінтэзу функцыянальнай схемы кіравання, вызначаны абагульнены граф і абагульненая структура функцыянальнай схемы кіравання шматканальнымі другаснымі вылічэннямі.

Вынікі дысертацыйнай працы ўкаранёныя і выкарыстоўваюцца

1 На этапах выканання ОКР «Распрацоўка рэгістратара шматканальнага РМ-2201» (распрацаваныя ў дысертацыйнай працы метады і алгарытмы і ўкаранёныя пры праектаванні прыбора РМ-2201, які выпускаецца серыйна НДІ «МНПП») (выкананне заказа на абсталяванне для Лукомльскай ГРЭС)).

2 Матэрыялы дысертацыйнай працы скарыстаны і ўкаранёныя ў навучальны працэс кафедры паліграфічнага абсталявання і сродкаў апрацоўкі інфармацыі БДТУ.

SUMMARY

Zhilyak Nadezhda

Synthesis of multi-functional circuits of the secondary computing real-time

Keywords: computational graph of the algorithm, the vector of time scanning multi-channel secondary computing, computational theory of synthesis of the structures of real time.

The aim is to develop methods and algorithms to optimize the synthesis of multi-functional circuits of the secondary computing measurement systems using the theory of synthesis of computational structures, real-time.

The results obtained and their novelty: this thesis analyzed and investigated the synthesis of multi-functional circuits of the secondary computation, in order to further select the optimal synthesizable solutions, development of algorithm synthesis of functional circuits, the mathematical model, the generalized graph algorithm and a generalized structure for the synthesis of functional multi-channel control circuit calculations. Developed an algorithm for synthesizing functional circuits of the operating part of multi-channel secondary computing limitations of time and memory, involved in computational process of synthesis, based on the provisions of the synthesis theory of computational structures, real-time. The algorithm is truncation of the tree to find solutions and supervise their correctness. A method for evaluating and selecting from a set of workable systems, the optimal criteria. The mathematical model chosen characteristic Boolean function, allowing the use of predominantly resursoekonomnye summation operation, to minimize operations.

Was carried proximate the output of the mathematical model synthesis of functional control schemes, we define a generalized graph structure and synthesis of functional multi-channel secondary control circuit calculations.

The results of the thesis are introduced and used

1 At stages of the R & D - developing a multichannel recorder RM-2201, were used in the thesis developed methods and algorithms and implemented in the design of the instrument RM-2201, which is available commercially JSC MNIPI (execution of orders for equipment for Lukoml).

2 Materials used in the thesis and implemented in the educational process of the Department of printing equipment and information processing tools BSTU.

Научное издание

ЖИЛЯК НАДЕЖДА АЛЕКСАНДРОВНА

**СИНТЕЗ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ МНОГОКАНАЛЬНЫХ
ВТОРИЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В РЕАЛЬНОМ РЕЖИМЕ ВРЕМЕНИ**

специальность 05.13.15 – Вычислительные машины, комплексы
и компьютерные сети

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Подписано в печать .05.2011.
Гарнитура «Таймс».
Уч.-изд. л.

Формат 60x84 1/16.
Отпечатано на ризографе.
Тираж 60 экз.

Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 1,63.
Заказ

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0494371 от 16.03.2009. ЛП №02330/0494175 от 03.04.2009.
220013, Минск, П. Бровки, 6