

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
Новосибирского государственного
технического университета,
д-р техн. наук, профессор

А. Г. Вострецов

2016 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Новосибирского государственного технического университета на диссертацию
Александра Юрьевича Мухопода на тему
**“Анализ и синтез устройств управления проблемно-ориентированными средствами
вычислительной техники и сложными техническими системами”**, представленную на
соискание ученой степени доктора технических наук по специальности
05.13.05 – “Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления”

1. Актуальность темы исследований

В задачах управления робототехникой, летательными аппаратами, распределенными системами, быстро протекающими процессами, навигационными системами использование программных средств становится неэффективным даже при предельном распараллеливании вычислительных операций. Для специальных систем необходимо создавать спецпроцессоры с аппаратным способом управления с помощью управляющих автоматов.

Теория управляющих автоматов развивалась более 50 лет, но в основном использовалась при синтезе относительно несложных микропрограмм управления вычислительным процессом. Эта теория базируется на применении методов минимизации систем булевых функций для управляющих автоматов малой и средней сложности с числом логических условий порядка 5-7 и с числом состояний автомата менее 32. В большинстве спецпроцессоров указанного выше типа число логических условий составляет 16-25, а число состояний от 50 до 100 и более. Поэтому известные наукоемкие методы проектирования становятся не эффективными. Диссертационные исследования А.Ю. Мухопода направлены на создание основ анализа и синтеза управляющих автоматов высокой сложности. Исследования А.Ю. Мухопода актуальны и практически важны.

2. Содержание работы

Во введении обосновывается актуальность исследований для задач управления распределенными технологическими комплексами с быстро протекающими процессами, летательными аппаратами, мехатроникой и оборонными комплексами для работы в экстремальных условиях. Методика анализа и синтеза таких спецпроцессоров недостаточно развита.

В первой главе отмечается тот факт, что проектирование сложных технических систем в настоящее время осуществляется через САПР, если состав блоков известен и определена модель спецпроцессора. Для спецпроцессоров (СПР) состав блоков и структурная организация заранее не заданы, а в качестве модели используется обычно простая двух блоковая модель В.М. Глушкова. Диссертант показал целесообразность применения для анализа и синтеза спецпроцессоров и устройств управления импятиблоковой модели. в виде функциональной – Ф, информационной – И, логической – Л, адресной – А и управляющей – У подсистем. Наиболее сложной подсистемой СПР является управляющая, которая может составлять до 2/3 оборудования всего СПР.

Дается детальный анализ методов синтеза конечных автоматов, как теоретической базы проектирования управляющих устройств СПР, созданной трудами отечественных ученых (М.А. Гаврилов, В.М. Глушков, А.Д.Закревский, В.А. Горбатов, В.Г. Лазарев, С.И. Баранов, А.А. Шалыто, В.В. Соловьев, В.В. и Вл.В. Сапожниковы, Ю.Ф. Мухопад, Е.И. Пупырев) и зарубежных ученых (W.Quine, Mc.Cluskey, V. Agarwal, R.K. Brayton, S.Yang, M.Wilkes, M.Rawski, J.Hartmanis, R.Stearns, B.W.Johnson) и др.

Структурная организация автоматов управления за все годы исследований до настоящего времени оставалась неизменной(как комбинация автоматов Мура, Мили), что определяет необходимость применения комбинационных схем с большим числом переменных $n = m + q$, где m – разрядность кода состояний УА, q – число логических условий (входных переменных)

Во второй главе рассматриваются вопросы анализа и структурного синтеза автоматов управления сложных технических систем. Автоматы Мура реализуются с использованием комбинационной схемы переходов на ПЛМ или ПЗУ с объемом $V \leq m2^{m+q}$. Диссертантом используется объем ПЗУ для точной оценки сложности комбинационной схемы УА.

Предложенный А.Ю. Мухопадом метод синтеза отличается от известных подходов тем, что перед переходом от операторной схемы алгоритма (ОСА) к графу переходов УА, сама структура ОСА преобразуется за счет ввода пустых операторов в соответствующие ветви алгоритма. При этом ввод пустых операторов не нарушает причинно-следственных и логических связей операторов, но позволяет на каждом такте работы автомата проверять значение только одного логического условия. На основании предложенной методики структурного синтеза предложена оригинальная структурная организация УА, в которой выделены все 5 подсистем (Ф, И, Л, А, У). В табличной форме дана сравнительная оценка сложности реализации УА как на ПЗУ с электрическим стиранием информации, так и на элементах интегральной логики в виде систем булевых функций, представленных в дизъюнктивной нормальной форме. Сравнение рассмотрено для всех типов автоматов по введённой диссертантом классификации: сверхпростые, простые, средней сложности, сложные автоматы, высокой и особо сложные, а также ультра сложные автоматы. Для ультра сложных автоматов $m=8, q \geq 20$, тогда объем памяти ПЗУ снижается $\approx 0,5 \cdot 10^5$ раз по сравнению с автоматами с известной структурной организацией Мура.

Выведены аналитические формулы, позволяющие оценить сложность комбинационных схем УА при их реализации как систем булевых функций. Оценка основана на эвристическом предположении (проверенном на многочисленных практических примерах) о равном среднем числе конъюнкций в совершенной дизъюнктивной нормальной форме каждой булевой функции, определяющей значение соответствующего разряда выходного кода состояния УА. Если при оценке через ПЗУ объем сокращается в 2^{q-1} раз и может составлять от десятков, сотен и нескольких тысяч раз, то снижение сложности комбинационной схемы (формирующей переходы) через систему булевых функций менее значительна, но все-таки может составлять 1,5-3 раза. Такая эффективность недостижима ни в одном из известных методов синтеза УА, основанных на декомпозиции и минимизации систем булевых функций.

В третьей главе дан краткий анализ принципов структурной организации комплексных автоматов.

Показано, что в известных структурах снижение сложности взаимодействующих (комплексных) УА достигается в основном за счет использования метода декомпозиции. Декомпозиция УА сводится к наукоемкой задаче выделения минимального числа подграфов в графе переходов. Известен также метод декомпозиции самих ГСА, что дает возможность снизить затраты в 1.5-1.7 раза на ПЗУ. Эффективность этих методов ограничена, т.к. используется структурная организация УА Мура.

В диссертации предложены новые методы синтеза комплексных автоматов. Наиболее простым вариантом является УА, в котором в качестве памяти состояний $a(t)$ используется не регистр, а счетчик и комбинационная схема F_1 разделена на две схемы F_1^0 и F_1^1 по значению α_j и $\overline{\alpha_j}$. Синтез таких автоматов основан на базовом методе, но вводятся дополнительные преобразования.

В главе предложен и детализирован новый метод синтеза взаимодействующих автоматов, что обеспечивает существенное снижение сложности комбинационных схем.

Соискатель предложил также принципиально новый способ программирования управляющих алгоритмов, основанный на использовании метода структурного синтеза управляющих автоматов, который назван структурно-автоматным программированием. Структурно-автоматный способ программирования позволяет создать программную версию реализации управляющих устройств для любых типов микроконтроллеров. Причем при смене алгоритма меняется только содержимое трех зон программной памяти для заданного типа микроконтроллера. Программная версия предельно проста и отличается высоким быстродействием по сравнению с непосредственной реализацией алгоритмов управления в виде программы, а также по сравнению с программой моделирующей системы булевых функций сложных автоматов. Этот результат можно считать особо значимым для создания управляющих программ при микроконтроллерной реализации средств управления технологическими процессами и сложными техническими системами.

В четвертой главе рассматриваются методы динамического контроля автоматов. Соискателем предложен новый тип контролирующего кода с фиксированным числом единиц, который позволяет контролировать комбинационные схемы автоматов как на входе, так и на выходе. Предложены также новые оригинальные методы дублирования и диагностики автоматов. В том числе оригинальный способ контроля с преобразованием графов переходов и разделением кодов состояний на группы младших и старших разрядов. Особо следует отметить новый оригинальный метод синтеза самоконтролируемых автоматов, основанный на предложенной соискателем специальной

нумерации графа переходов, которая обеспечивает контроль с помощью кодов Грея не всего кода состояний, а только последовательности двух его половин. При этом старшая и младшая половины кода перекрываются в одном разряде. Такое решение обеспечивает существенное снижение затрат оборудования дополнительно вводимого для контроля.

В пятой главе рассмотрены вопросы синтеза, как самих спецпроцессоров, так и управляющих подсистем с использованием новой методологии структурного синтеза управляющих автоматов. Рассмотрен комплекс задач наведения по картам местности, опознавания типа подстилающей поверхности по радиолокационным сигналам, управление разворотом массивной платформы реактивным пневмоприводом, управление медицинским прибором, системой очистки сред с помощью горячей струи воздуха и ультразвука, управление ж.д.переездом и др.

3. Новизна исследований и полученные результаты

Создана принципиально новая методология синтеза управляющих автоматов, обеспечивающая динамический контроль и значительное сокращение аппаратных затрат по сравнению с классическими автоматами Мура.

Хотя строгие оценки сложности комбинационных схем УА даны только при их реализации на ПЗУ (а эвристическая и для реализацию через систему булевых функций) соискатель доказал преимущества предложенной методологии анализа и синтеза как аппаратной, так и программной версии управляющих автоматов. Эти преимущества позволяют создавать самоконтролируемые управляющие автоматы спецпроцессоров с существенно минимальными затратами оборудования, а следовательно с более низким уровнем энергопотребления и более высоким уровнем надежности.

Исследования позволили диссертанту создать новый метод программной реализации управляющих алгоритмов, названный структурно-автоматным программированием. Такие программы для любых типов микроконтроллеров отличаются простотой и высоким быстродействием, а при смене алгоритма меняется только содержание трех зон памяти управляющей программы.

4. Степень обоснованности и достоверности подтверждается корректным использованием существующих методов анализа и синтеза, комплексом патентов на устройства и программные модели, а также практической проверкой в различных организациях, принявших результаты исследований к внедрению.

5. Значимость исследований для науки и практики

Научная ценность диссертации состоит в создании комплекса принципиально новых методик анализа и синтеза управляющих автоматов, методик контроля и диагностики и способов моделирования и создания программных версий для микроконтроллеров и других средств обработки информации. Диссертационные исследования имеют непосредственное практическое значение для создания средств автоматизации сложных технических систем, технологических процессов, разработки новых типов интегральной схемотехники, систем передачи информации, криптографической защиты информации и др.

6. Полнота опубликованных результатов работы

Все основные научные результаты обсуждены на международных и всероссийских конференциях и опубликованы почти в 60 работах, из которых 14 в изданиях ВАК, 12 патентов на изобретения, полезные модели и программы, 18 работ в едином авторстве. В

числе конференций несколько докладов на значимых форумах, организованных институтом проблем управления РАН. Результаты исследований обобщены в монографии А.Ю. Мухопода «Теория управляющих автоматов технических систем реального времени». - Новосибирск: Наука, 2015. – 176с.

7. Оценка содержания и оформления диссертации

Диссертация отличается внутренним единством и завершенностью, комплексностью подхода к задачам синтеза и глубиной системного анализа, высоким научным уровнем и практической значимостью. Все эти факторы отличают представленную работу А.Ю. Мухопода от известных существующих методологий анализа и синтеза управляющих автоматов.

Автореферат достаточно хорошо отражает содержание диссертационной работы.

8. Дискуссионные положения и замечания

- текст диссертационной работы несколько перегружен примерами. Хотя они и имеют практическую значимость их можно было разместить в приложении;

- ряд выдвинутых автором новых положений целесообразно было оформить в форме лемм или теорем;

- как в диссертации, так и в автореферате имеется ряд неточностей или необъясненных противоречий, так например на рисунке 3.3 функция формирования (+1) к содержимому счётчика отнесена к комбинационной схеме F_1 , а на рисунке 3.12 отнесена к схеме F_3 ;

- при оценке снижения быстродействия автоматов для варианта 1 (страница 62) в знаменателе по всей видимости должна стоять N_2 .

- А.Ю. Мухопад уделил значительную часть текста первой главы анализу методик синтеза спецпроцессоров, хотя его основные научные результаты определяются новой методологией синтеза самоконтролируемых управляющих автоматов. В это же время существенный научный результат в виде структурно-автоматного программирования описан весьма кратко и без развития;

- в числе способов резервирования в УА нового типа, А.Ю. Мухопад предложил вариант деления резервирующих схем на две части, опрашиваемых по α_j и $\bar{\alpha}_j$ с возвратом к исходному коду работающих частей комбинационной схемы. Однако А.Ю. Мухопад не оценивает быстродействие и сложность специального автомата, который необходим для реализации этого способа. Без конкретных оценок способ хотя и является новым, его нельзя считать конструктивно доработанным;

- введение понятия структурной и функциональной сложности автоматов (глава 1) является излишним, т.к. оно далее нигде не используется и не является основой для оценки характеристик сложности УА;

- соискатель предложил новый способ ликвидации петель в графе переходов, но отнес его к методам синтеза комплексных автоматов, отделив от основной методики, тогда как он является необходимым и эффективным и при синтезе одного управляющего автомата.

Но указанные недостатки не снижают ценности научной новизны и практической значимости работы.

9. Направление дальнейших исследований и внедрения

Целесообразно рассмотреть применение результатов работы при проектировании систем микроэлектроники, устройств на основе нанотехнологий.

Заключение

Диссертация представляет собой законченную научную работу на актуальную тему. Автором диссертации разработаны новые методы анализа и синтеза управляющих автоматов, включая синтез взаимодействующих и самоконтролируемых автоматов. Комплекс методов в совокупности составляет основу методологии проектирования управляющих автоматов нового типа – автоматов с выбором одного логического условия из всего множества логических переменных, отличающихся значительным снижением затрат оборудования, энергопотребления и высоким уровнем надежности.

Уровень апробации и публикаций диссертационной работы, степень научной новизны и практической значимости соответствует требованиям ВАК, диссертационная работа содержит необходимые научно-квалификационные признаки, соответствующие п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (в ред. Постановления Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842), применительно к ученой степени доктора наук, а её автор Мухопад Александр Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.05 – “Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления”.

Диссертация, автореферат и данный отзыв были заслушаны и одобрены на заседании кафедры Автоматики НГТУ протокол № 1 от «31» августа 2016 г. На заседании присутствовали 5 докторов и 10 кандидатов наук.


Заведующий кафедры Автоматики НГТУ
д.т.н., проф.
Почтовый адрес: 630073, г. Новосибирск,
Пр. К.Маркса, 20
Тел. (383)346-11-19, e-mail: oao_nips@bk.ru

 Вадим Аркадьевич Жмудь

Профессор кафедры автоматики НГТУ
д.т.н., проф.
Почтовый адрес: 630073, г. Новосибирск,
Пр. К.Маркса, 20
Тел. (383)344-49-98, e-mail: voevoda@corp.nstu.ru

 Александр Александрович Воевода

Ученый секретарь кафедры Автоматики НГТУ
к.т.н., доц.
Почтовый адрес: 630073, г. Новосибирск,
Пр. К.Маркса, 20
Тел. (383)346-11-19, e-mail: g_sablina@ngs.ru

 Галина Владимировна Саблина

Подпись:   