

ОТЗЫВ

Официального оппонента д.т.н., доцента Ирхина Валерия Петровича на диссертационную работу 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.

Диссертационные исследования Александра Юрьевича Мухопода изложены на 244 страницах, включая текст на 167 страницах, 105 рисунков, 50 таблиц, список литературы из 223 наименований, список публикаций автора. В приложении включены акты о внедрении и краткое описание патентов, листинги программ.

1. Актуальность темы исследований.

Наличие развитой элементной логической базы (микросхемы ОЗУ, ПЗУ, ПЛИМ, ПЛИС, микропроцессоры и др.) дало возможность создания и быстрого внедрения специализированных информационно-управляющих систем для сложных технических комплексов и технологических процессов.

Во многих применениях (летательные аппараты, распределенные системы управления быстро протекающими процессами, робототехника, навигационные системы и др.) управление с помощью программных средств становится неэффективным даже при предельном распараллеливании вычислительных операций. Для таких систем необходимо переходить к аппаратным методам управления с помощью управляющих автоматов (УА).

Теория управляющих автоматов развивалась в России более 50 лет в основном применительно к относительно несложным микропрограммам вычислительного характера. Эта теория базируется на применении методов минимизации систем булевых функций для управляющих автоматов малой и средней сложности с числом логических переменных порядка 5-7. В большинстве спецпроцессоров (СПР) указанного типа число логических переменных составляет 16-25, поэтому известные наукоемкие методы проектирования становятся не эффективными. Диссертационные исследования А.Ю. Мухопода нацелены на создание основ анализа и синтеза управляющих автоматов высокой сложности с числом состояний автомата от 50 до 128 при выше указанном числе логических условий. Ввиду этого обстоятельства исследования А.Ю. Мухопода актуальны и практически востребованы.

2. Содержание работы.

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

В первой главе отмечается тот факт, что проектирование сложных технических систем в настоящее время осуществляется через САПР системы VHDL, которые позволяют осуществить весь цикл проектирования, если состав блоков известен и определена модель спецпроцессора. Для него состав блоков и структурная организация заранее не заданы, а в качестве модели используется обычно простая двухблочная модель В.М. Глушкова. Диссертант показал целесообразность применения для анализа и синтеза спецпроцессоров и устройств управления ими пятиблочной 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.

Проводится детальный анализ методов синтеза конечных автоматов, как теоретической базы проектирования управляющих устройств СПР. Основные работы в этой области выполнены отечественными учеными (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 зарубежными авторами (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 (автоматы Мура, Мили и их комбинации). Сложность реализации автоматов управления определяется необходимостью применения в их структуре комбинационных схем с большим числом переменных.

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

В этой главе приводятся результаты теоретических исследований и предложена методика структурного синтеза управляющих автоматов, основанная на преобразованиях операторной схемы алгоритма (ОСА). Выполнение этих преобразований на этапе

абстрактного синтеза автомата управления позволяет определить правило функционирования оригинального автомата нового типа, предложенного диссертантом.

Предложенный метод синтеза отличается от известных подходов тем, что перед переходом от ОСА к графу переходов, преобразуется сама структура ОСА 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 структурная организация УА, в которой выделены все Ф, И, Л, А, У подсистемы.

Предложено несколько вариантов структурной организации для практической реализации управляющего автомата нового типа. В табличной форме дана сравнительная оценка сложности реализации УА как на ПЗУ с электрическим стиранием информации, так и на элементах интегральной логики. 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 $m=8$, $q \geq 20$, где m - разрядность кода состояний, q – число логических условий снижение объема памяти ПЗУ $\approx 0,5 \cdot 10^5$ раз по сравнению с автоматами с известной структурной организацией Мура.

В третьей главе дан краткий анализ принципов структурной организации комплексных автоматов: иерархичность, композиция, декомпозиция, усложнение подсистем, однородность, недетерминированность, ассоциативность, параллелизм. В диссертации исследуется структурная организация УА только с первыми четырьмя принципами. Клеточные, вероятностные, ассоциативные, неинициальные и параллельные автоматы не рассматриваются.

Показано, что в известных структурах снижение сложности УА достигается в основном за счет использования метода декомпозиции. В настоящее время декомпозиция сводится к наукоемкой задаче выделения минимального числа подграфов в графе переходов. Известен также метод перехода к декомпозиции граф-схем автомата (ГСА), что дает возможность снизить затраты в 1.5-1.7 раза. Эффективность этих методов ограничена, т.к. в методах используется структурная организация автоматов 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.

При синтезе многопрограммных и взаимодействующих автоматов используется подход, основанный на разных способах коммутации логических условий и состояний УА. Предложено переключать по коду программы (Z_i) зоны памяти ПЗУ схемы переходов, а также производить выбор соответствующей схемы формирования адреса мультиплексора и опрашивать различные зоны ПЗУ.

Во взаимодействующих автоматах из одного ведущего УА осуществляется обращение к другим автоматам с последующим возвращением к ведущему УА.

В главе предложен и детализирован метод синтеза взаимодействующих автоматов, что обеспечивает снижение сложности комбинационных схем на 2-3 порядка при оценке через ПЗУ (в зависимости от сложности каждой ГСА).

Отмечен также тот факт, что в настоящее время развиваются методы сближения аппаратных и программных средств, которые уже используются в открытых системах на основе микропроцессорной техники. При этом актуальной задачей является создание эффективных методов программной реализации управляющих алгоритмов и автоматов.

Соискатель предложил принципиально новый способ программирования, основанный на использовании метода структурного синтеза управляющих автоматов, который назван структурно-автоматным программированием. Этот способ программирования позволяет создать программную версию реализации управляющих устройств через любые типы микроконтроллеров. Причем при смене алгоритма меняется только содержимое трех зон программной памяти. Программная версия «предельно» проста и отличается высоким быстродействием. Этот результат считаю особо значимым для создания управляющих программ при микроконтроллерной реализации средств управления технологическими процессами.

В четвертой главе рассматриваются методы динамического контроля автоматов и предложено несколько новых способов синтеза самоконтролируемых автоматов. В частности, соискателем предложен новый тип контролирующего кода с фиксированным числом единиц, который позволяет контролировать комбинационные схемы автоматов как на входе, так и на выходе. Разработаны 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.

В пятой главе рассмотрены вопросы синтеза как самих спецпроцессоров, так и управляющих подсистем с использованием новой методологии структурного синтеза

управляющих автоматов. Проведен анализ комплекса 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 (Мили).

Преимущества УА с использованием новой методологии.

- 1) Повышенный уровень надежности за счет уменьшения объема комбинационных схем в Q раз ($Q \geq 1/3 \cdot 2^q$; q – количество логических условий УА).
- 2) Эффективное использование счетчика с дополнительным уменьшением комбинационной схемы в 2-3 раза.
- 3) Новые способы повышения надежности, эффективно реализуемые только в предложенном УА.
- 4) Упрощение процедуры контроля и снижения сложности встроенного оборудования для самоконтроля УА.
- 5) Упрощение процедуры моделирования.
- 6) Возможность эффективной реализации УА как в аппаратном, так и в программном варианте для микроконтроллеров.
- 7) Упрощение процедуры перевода УА на новую ГСА за счет замены содержимого только трех зон памяти F_1, F_2, F_3 .
- 8) Существенное снижение энергопотребления.
- 9) Упрощение структурной организации взаимодействующих автоматов.

Исследования позволили диссертанту создать новый способ программной реализации управляющих алгоритмов, названный структурно-автоматным программированием. 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 их числе несколько докладов на значимых форумах, организованных институтом проблем управления РАН. Результаты исследований также 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, что обусловлено глубиной системного анализа, написана ясно и представляет собой работу достаточно высокого научного уровня и практической значимости.

Автореферат достаточно хорошо отражает содержание диссертационной работы.

8. Дискуссионные положения и замечания.

- Не рассмотрены вопросы разработки комплексного критерия эффективности предложенных диссертантом вариантов новой структурной организации управляющих и самоконтролируемых автоматов.

- Целесообразно было провести сравнительный анализ отдельных результатов работы с представленными в книге «Ачасова С.М. Алгоритмы синтеза автоматов на программируемых матрицах / С.М. Ачасова. – М : Радио и связь, 1987. – 135 с.».

- Неясно что понимается под термином «верность передачи информации в сети ЭВМ».

- Иллюстративная часть диссертации перегружена большим числом конкретных примеров операционных схем алгоритмов.

- В работе встречаются стилистические погрешности и элементы тавтологии.

Однако, указанные недостатки не снижают отношения к диссертационным исследованиям, соответствующим степени доктора технических наук в области вычислительной техники и систем управления.

9. Направление дальнейших исследований и внедрения.

Целесообразно рассмотреть применение результатов работы при проектировании контрольно-измерительных средств и специальных применений оборонного комплекса. А также продолжить развитие предложенной методологии для функционального и электрического синтеза управляющих автоматов в интегральной схемотехнике, пневмо- и гидроавтоматике.

Заключение.

По актуальности, научной новизне, практической значимости, степени апробации и публикациям, как в форме монографии, так и в изобретениях, научных публикациях диссертационная работа соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к работам на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления, а диссертант Александр Юрьевич Мухопад достоин присуждения ученой степени доктора технических наук.

Ирхин Валерий Петрович, доктор технических наук, заслуженный изобретатель РФ профессор кафедры основ радиотехники и электроники, ФКОУ ВО Воронежский институт ФСИН России, г. Воронеж.

Подпись Ирхина В.П. удостоверяю
начальник отдела кадров и работы с личным составом
ФКОУ ВО Воронежский институт ФСИН России
подполковник внутренней службы



А.А. Шкуменов