

УТВЕРЖДАЮ

Ректор федерального
государственного бюджетного
образовательного учреждения
высшего образования
«Новосибирский
государственный технический
университет» (НГТУ)

А. А. Батаев

«14» апреля 2021 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Розова Андрея Сергеевича «Разработка моделей и методов процесс-ориентированного программирования для открытых микроконтроллерных платформ», представляемой на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Актуальность темы диссертационной работы

Диссертационная работа Розова А. С. посвящена исследованию моделей и методов, используемых при разработке управляющего обеспечения встраиваемых систем (ВС) на базе микроконтроллеров. Область ВС в настоящее время активно развивается, при этом существенный вклад в их стоимость вносят затраты на разработку и сопровождение программного обеспечения (ПО) микроконтроллеров. Это обусловлено универсализацией и снижением стоимости микроконтроллеров, а также широким распространением открытых платформ прототипирования на их основе.

Затраты на разработку ПО в значительной мере зависят от адекватности выбора средств разработки специфике управляющих алгоритмов и области встраиваемых систем. Для программирования микроконтроллеров до сих пор применяются в основном языки программирования общего назначения, такие как С, С++. В ряде случаев разработка ведется на языках ассемблера. Модели и терминология, лежащие в основе этих языков, направлены на вычислительные задачи, и не предоставляют выразительных средств для прозрачного описания сложного поведения системы. Реализация на этих языках продвинутого управляющих алгоритмов, характерных для встраиваемых систем, приводит к быстрому росту сложности по мере увеличения числа контролируемых процессов. Дальнейшее сопровождение и обеспечение надежной работы такой системы становится трудоемким и дорогостоящим.

Вопросы эффективной разработки надежных управляющих систем активно обсуждаются в научной литературе. Разработано множество моделей и методов

организации исполнения программ, обеспечивающих простоту и прозрачность описания сложного поведения. Среди них можно отметить методики событийного программирования на основе конечных автоматов, таких как switch-технология, иерархические машины состояний, языки на основе сетей Петри и конечных автоматов в составе промышленных стандартов IEC 61131-3 и IEC 61499, фреймворки на основе систем машин состояний (StateWORKS, Quantum Platform), синхронные языки программирования, языки процесс-ориентированного программирования (SPARM, Reflex).

Некоторые из этих моделей, методов и языков успешно применяются на практике, преимущественно в области промышленной автоматизации (ПА). Управляющие алгоритмы имеют общую специфику как в промышленных задачах, так и во встраиваемых системах. Использование методологических наработок из области ПА может существенно облегчить разработку встраиваемых систем. Существенное различие этих областей заключается в используемых вычислительных платформах. Микроконтроллерные платформы отличаются ограниченностью вычислительных ресурсов и необходимостью низкоуровневой работы с периферийными устройствами, в том числе посредством аппаратных прерываний. Эти особенности существенно затрудняют, либо делают нецелесообразным применение для встраиваемых систем языков и средств программирования ПА. Поэтому повышение эффективности использования этих подходов в области встраиваемых систем с учетом специфики программирования микроконтроллеров имеет важное значение.

В связи с вышеперечисленным диссертационная работа Розова А. С., посвященная исследованию и разработке моделей и методов процесс-ориентированного программирования для открытых микроконтроллерных платформ, является актуальной.

Характеристика диссертационной работы по главам

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения.

Во **введении** обоснована актуальность работы, определены цель и задачи исследования, научная новизна, практическая ценность и основные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** исследуется специфика управляющего ПО и микроконтроллерных платформ, приводится анализ существующих методов разработки ПО для них. Формулируются требования к разрабатываемым методам, формализму процессов, языковым и инструментальным средствам создания ПО.

Во **второй главе** представляется разработанный формализм описания программного обеспечения встраиваемых систем на базе микроконтроллеров. Анализируется модель гиперпроцесса, лежащая в основе процесс-ориентированного программирования. Описывается и мотивируется предлагаемое расширение модели для учета специфики программирования микроконтроллеров.

В **третьей главе** описывается разработанный синтаксис специализированного языка программирования IndustrialC. Подробно описаны основные лексические элементы и конструкции языка, их семантика в привязке к разработанному формализму описания ПО микроконтроллеров.

В **четвертой главе** представлена разработанная трансляционная семантика программ на языке IndustrialC, задающая эквивалентное представление программ на языке C.

Описаны принципы работы и методы реализации созданного процессора языка IndustrialC и интегрированной среды разработки.

В **пятой главе** приводятся результаты практической апробации разработанных средств при решении следующих задач: разработка метеосервера Института автоматики и электрометрии СО РАН, автоматизация установки термовакuumного напыления УВН-71 ПЗ и разработка системы управления станции пробоподготовки SorbiPrep.

В **заключении** формулируются основные результаты.

Научная новизна

1. Разработана математическая модель ПО ВС в виде набора гиперпроцессов с различными источниками активации.

2. Предложен метод вычисления реакции системы на внешние события с совмещением кооперативной и вытесняющей многопоточности, выделенным фоновым гиперпроцессом и гиперпроцессами, активируемыми аппаратными прерываниями.

3. Создана интегрированная среда разработки для языка IndustrialC в виде программного комплекса, включающего редактор, языковой процессор, средства загрузки исполняемого кода и средства интеграции компонентов комплекса.

Практическая значимость результатов работы

Созданный язык и инструментальные средства обеспечивают снижение трудоемкости разработки, оперативную модификацию и сопровождение встраиваемых систем. Возможность работы с прерываниями в процесс-ориентированном ПО повышает скорость реакции на критические события при сохранении преимущественно кооперативной модели многозадачности. Активация следующего цикла гиперпроцесса по окончании предыдущего цикла устраняет простои и повышает производительность системы в целом, в первую очередь снижает время реакции на внешнее событие.

Использование специализированного языка IndustrialC уменьшает размер исходного кода, повышает его читаемость и простоту изучения для разработчика. Реализованные в языковом процессоре методы статического анализа кода позволяют выявлять семантические ошибки на этапе трансляции, снижают вероятность ошибки программиста, а также снижают объем накладных расходов на синхронизацию служебных операций. Формализм, ориентированный на предметную область встраиваемых систем, повышает читаемость и сопровождаемость создаваемых программ.

Результаты работы внедрены в учебный процесс ФИТ НГУ, что позволило повысить качество подготовки. Разработанные средства использовались в инициативных проектах при создании системы метеосервера, системы автоматизации установки термовакuumного напыления, ПО адаптера электронного блока весоизмерительной системы, при выполнении хозяйственных договоров СОРБИ-16, СОРБИ-17. Практическая ценность полученных результатов подтверждается актами о внедрении.

Полнота опубликования результатов работы и апробация

По теме диссертации опубликовано 25 печатных работ, из них семь статей в журналах, рекомендованных ВАК, семь статей в изданиях, индексируемых Scopus и два свидетельства официальной регистрации программ. Результаты работы докладывались на 9 международных конференциях с 2013 года.

Личный вклад соискателя

Личный вклад автора включает разработку математической модели программного обеспечения микроконтроллеров во встраиваемых системах, разработку метода вычисления реакций встраиваемых систем на внешние события, разработку языка IndustrialC, создание комплекса инструментальных средств. Автором проведена серия работ по практической апробации полученных средств, осуществлено внедрение в учебный процесс, показана практическая ценность результатов работы при применении в разработке встраиваемых систем.

Соответствие паспорту специальности

Диссертация соответствует паспорту научной специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», а именно: п. 3 «Разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий» и п. 4 «Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента».

Замечания по диссертационной работе

Как недостаток следует отметить, что в языке не нашел отражение вопрос графического описания дискретного поведения сетями Петри или диаграммами Харела, которые могли бы быть простым и наглядным графическим языком описания дискретных переходов в ПО ВС. Было бы целесообразно провести более детальные исследования символично-графической спецификации.

В тексте диссертации присутствуют опечатки. Так, например, в главе 3 на стр. 53 – нетерминал *<выражение>* использован как терминальный символ.

Отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы Розова А.С.

Общее заключение по работе

Диссертационная работа Розова Андрея Сергеевича выполнена на высоком научном уровне и представляет собой цельное научное исследование, содержащее решение актуальных научных задач. Текст оформлен в соответствии с требованиями ВАК. Результаты достаточно полно опубликованы в российских и зарубежных научных изданиях. Автореферат достаточно полно отражает основное содержание диссертации. Достоверность результатов не вызывает сомнений. По теме диссертации опубликовано 25 печатных работ, из них семь статей в журналах, рекомендованных ВАК, семь статей в изданиях, индексируемых Scopus, и два свидетельства официальной регистрации программ. Сделанные замечания и пожелания не снижают общей высокой оценки работы.

Таким образом, диссертация Розова Андрея Сергеевича «Разработка моделей и методов процесс-ориентированного программирования для открытых микроконтроллерных платформ» соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, и удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 - «Математическое моделирование, численные методы и

комплексы программ», а ее автор, Розов Андрей Сергеевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по указанной специальности.

Заключение принято по результатам рассмотрения диссертации на расширенном заседании кафедры автоматизированных систем управления федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» 13 апреля 2021 г (Протокол №4).

Заведующий кафедрой
АСУ НГТУ,
к.т.н.



Достовалов Д.Н.

Профессор кафедры
АСУ НГТУ,
д.т.н., профессор



Шорников Ю.В.