

Применение в учебном процессе современных средств разработки систем реального времени

Дмитрий Петров

В статье рассматриваются особенности использования современных средств разработки систем реального времени применительно к встраиваемым системам и АСУ ТП при подготовке специалистов в Саратовском государственном техническом университете. Обучение основано на применении системы проектирования программного обеспечения Rhapsody и ОС PV QNX для задач управления мобильными роботами, а также программно-технических комплексов на базе современных промышленных контроллеров для задач разработки АСУ ТП.

ВВЕДЕНИЕ

К числу систем реального времени (РВ) могут относиться как встраиваемые системы, так и автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП). В Саратовском государственном техническом университете (СГТУ) на факультете электронной техники и приборостроения обучение разработке современных встраиваемых систем и АСУ ТП ведётся на основе программно-технических комплексов и физических моделей объектов управления с использованием средств создания систем реального времени.

РАЗРАБОТКА ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМ

Основной большинства сложных встраиваемых систем являются операционные системы (ОС) жёсткого РВ: LynxOS-178, VxWorks AE-653, Microware OS-9, ОС2000, QNX Neutrino [1]. Для

изучения особенностей разработки встраиваемых систем и управления жизненным циклом программного обеспечения разработана программно-аппаратная среда (ПАС) с использованием ОС QNX Neutrino и ОС2000. Структура программных средств ПАС показана на рис. 1.

Объектом управления ПАС является мобильный робот (МР), который может взаимодействовать с другими МР и со стационарным центром управления и мониторинга (рис. 2). В состав МР входят: мобильная платформа МП-С2301 (рама с двумя колёсами и мотор-редукторами), сервоусилитель MoviServo 1.3, два энкодера, 8 инфракрасных датчиков Sharp GP2D15, датчик угловой скорости CRS03-02S, трёхосевой акселерометр MOD-MMA7260Q, интернет-камера DCS-950 (на рис. 2 не показана), беспроводная

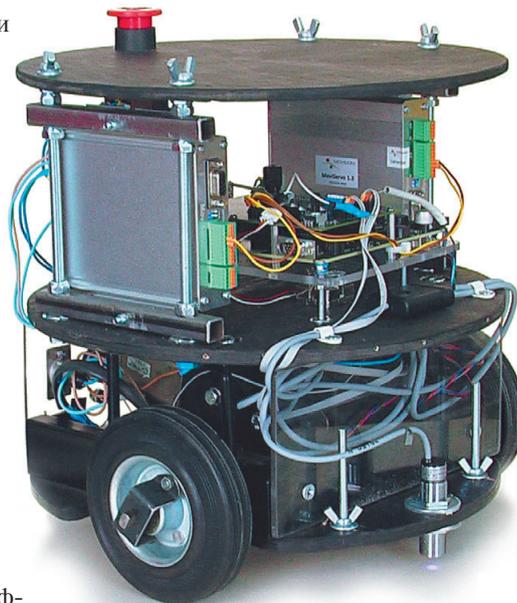


Рис. 2. Мобильный робот

точка доступа DWL-G700AP, распределённая система ввода-вывода I-7000 (I-7520, I-7017, I-7050D), управляющий

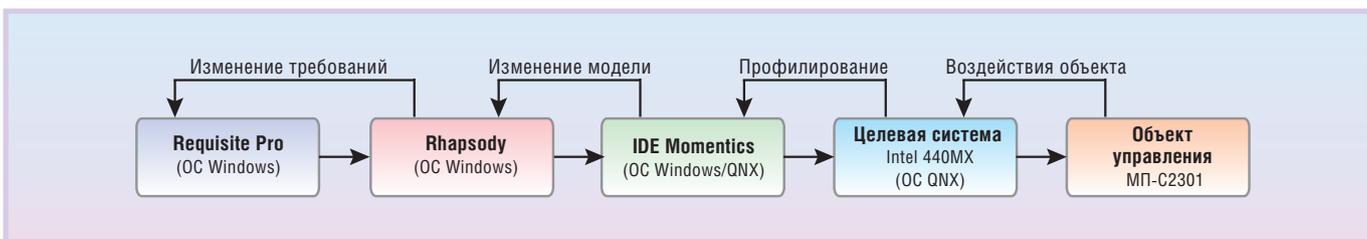


Рис. 1. Структура программно-аппаратной среды

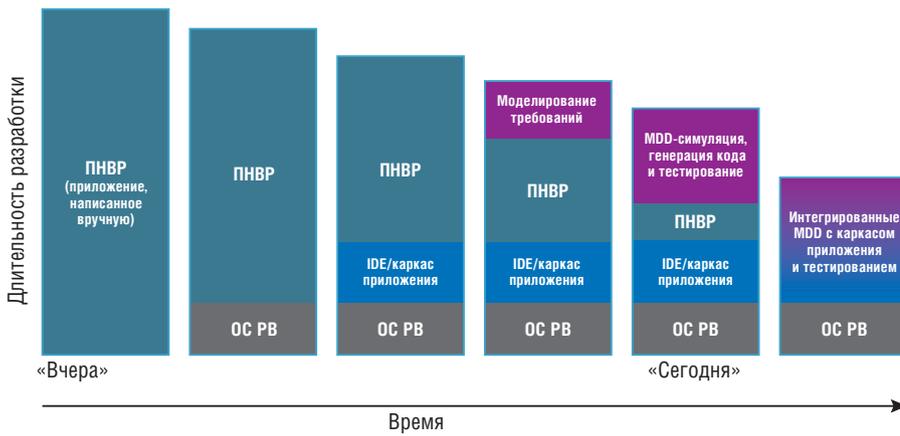


Рис. 3. Применение MDD в проектировании систем реального времени

компьютер на базе Intel 440MX Entry-level Communication Appliance с операционной системой QNX Neutrino (на рис. 2 не показан) или контроллер NI Single-Board RIO 9631.

Разработка системы управления МР начинается с определения требований к ней. Для хранения сформулированных требований и их изменений в процессе разработки системы управления МР используется программный пакет Requisite Pro.

Требования передаются в среду визуального моделирования Rhapsody, которая обеспечивает модельно-управляемую разработку (Model Driven Development – MDD) программного обеспечения для встраиваемых систем. При моделировании одновременно выполняется автоматическая кодогенерация для C, C++, Java. Rhapsody позволяет протестировать текущие результаты создания программного обеспечения на любом этапе процесса разработки (от анализа требований до готовой

встраиваемой системы) и сократить общее время разработки системы управления МР. Rhapsody поддерживает инструменты конфигурационного управления (Subversion, CVS и др.).

Интегрированная среда разработки QNX Momentics IDE не только обеспечивает разработку, компиляцию, отладку приложений встраиваемых систем для работы в операционной системе QNX Neutrino, поддерживающей аппаратные платформы MIPS, PowerPC, StrongARM, xScale, SH-4, x86, но и выполняет анализ производительности и системное профилирование. Она позволяет проанализировать взаимодействия процессов и потоков, эффективность обработки прерываний, то есть поведение системы в целом в условиях критического лимита времени [2].

Во встраиваемых системах с начала 90-х годов до 2005 года происходил процесс перехода с 8-битовой архитектуры к 32-битовой. При этом количест-

во строк кода возросло от нескольких десятков до нескольких тысяч и продолжает расти при незначительном увеличении штата разработчиков и стоимости разработки. Для устранения этого противоречия в среде визуального моделирования Rhapsody применяется методика модельно-управляемой разработки MDD. Методика MDD позволяет существенно увеличить скорость разработки и надёжность программного обеспечения. Возросшие возможности аппаратных средств и применение MDD обеспечивают повышение эффективности создания встраиваемых систем (рис. 3).

Методику управления жизненным циклом программного обеспечения Harmony (компания Telelogic) для разработки системы управления МР иллюстрирует рис. 4. Эта методика реализована в среде визуального моделирования Rhapsody на основе нотаций UML 2.1 и SysML. Для разработки программной модели системы управления МР в Rhapsody разработаны следующие диаграммы: диаграмма прецедентов, структурная диаграмма, диаграмма последовательности и диаграмма состояний.

В диаграмме прецедентов (вариантов использования – ВИ) определены рамки системы, ВИ и их взаимосвязи между собой и с внешними подсистемами («актёрами»). Каждый из ВИ формируется на основе требования и описывает в виде вербальных алгоритмов часть функциональности системы. ВИ возвращает результат своей работы «актёрам», не раскрывая деталей внутренней реализации этой функциональности [3]. Диаграмма прецедентов МР показана на рис. 5.

В структурной диаграмме из прецедентов формируются подсистемы в виде программных объектов и описываются порты взаимодействия этих объектов и внешних подсистем. На рис. 6 показаны подсистемы МР и порты, обеспечивающие их взаимодействие. Порт определяется интерфейсами, которые предоставляются или запрашиваются через него. Такой подход к моделированию позволяет связывать между собой только совместимые элементы и проводить анализ целостности вариантов использования, что важно при проектировании архитектуры и разработке компонентов. Каждая из подсистем детализируется, в результате чего появляется необходимое для полного описания сис-

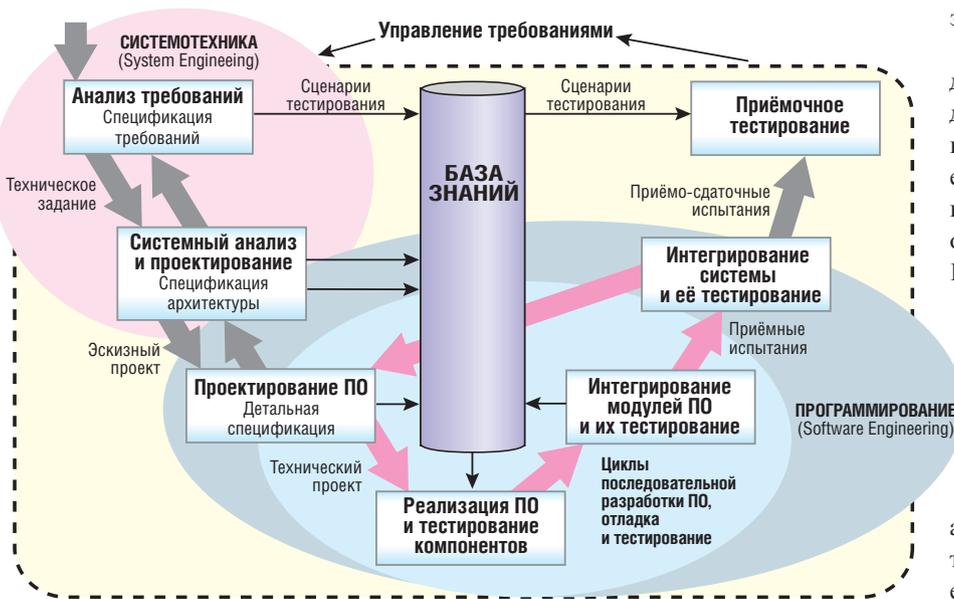


Рис. 4. Цикл создания программного обеспечения системы РВ по методике Harmony

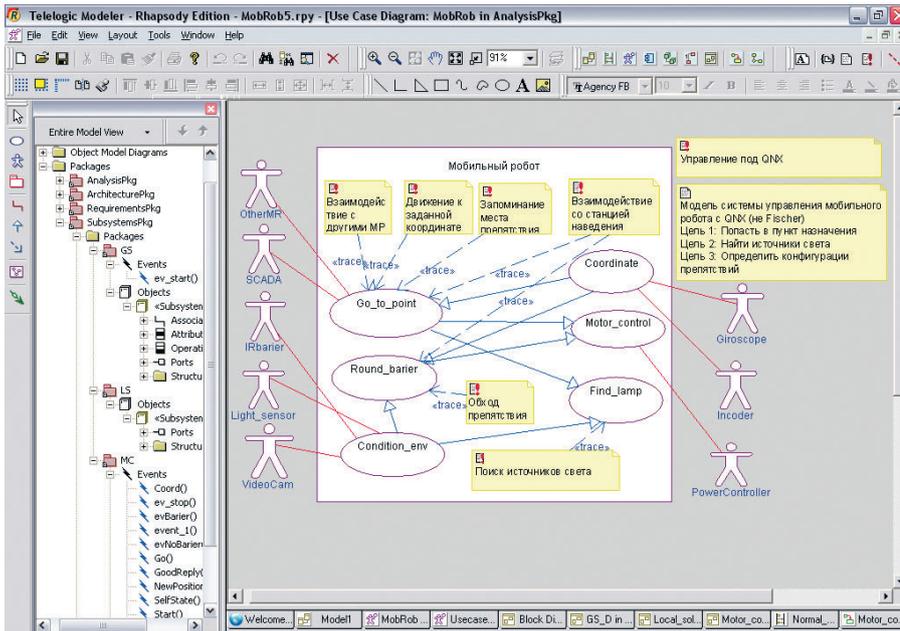


Рис. 5. Диаграмма прецедентов МР

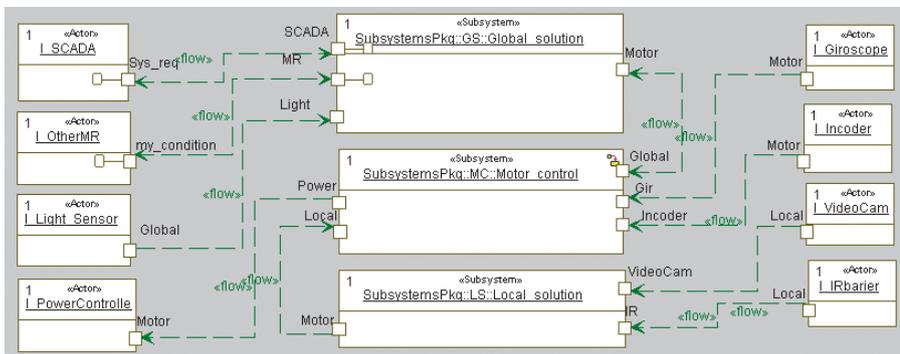


Рис. 6. Структурная диаграмма

темы управления количество классов. Активные классы порождают программные потоки. Совокупность классов является статическим описанием про-

граммной модели системы управления МР.

Для описания динамического поведения системы управления МР исполь-

зована диаграмма последовательности. В диаграмме последовательности объекты связываются сообщениями и событиями. Сообщения из диаграммы автоматически создаются в соответствующих классах как методы. При разработке диаграммы последовательности выделяются состояния, в которых находятся программные объекты. Эти состояния подробно описываются в диаграмме состояний для каждого класса. На рис. 7 показана диаграмма последовательности и диаграмма состояний для класса Motor_Control.

Диаграммы состояний используют формальное представление конечных автоматов. Эта диаграмма расширяет классическое представление конечных автоматов Мили-Мура за счёт использования: 1) вложенных состояний в форме иерархии, 2) AND-состояния для определения логической независимости и взаимосоветственности, 3) псевдосостояний для описания специфики динамической семантики.

Полученная модель системы управления МР одновременно содержится в виде исходного кода в инструментальной среде разработки QNX Momentics IDE, где выполняется компиляция проекта. Для обеспечения верификации и валидации модели Rhapsody позволяет симулировать скомпилированный программный код, отображая на диаграммах конечных автоматов изменения состояний объектов и протоколируя обмен событиями между объектами в диаграмме последовательности.

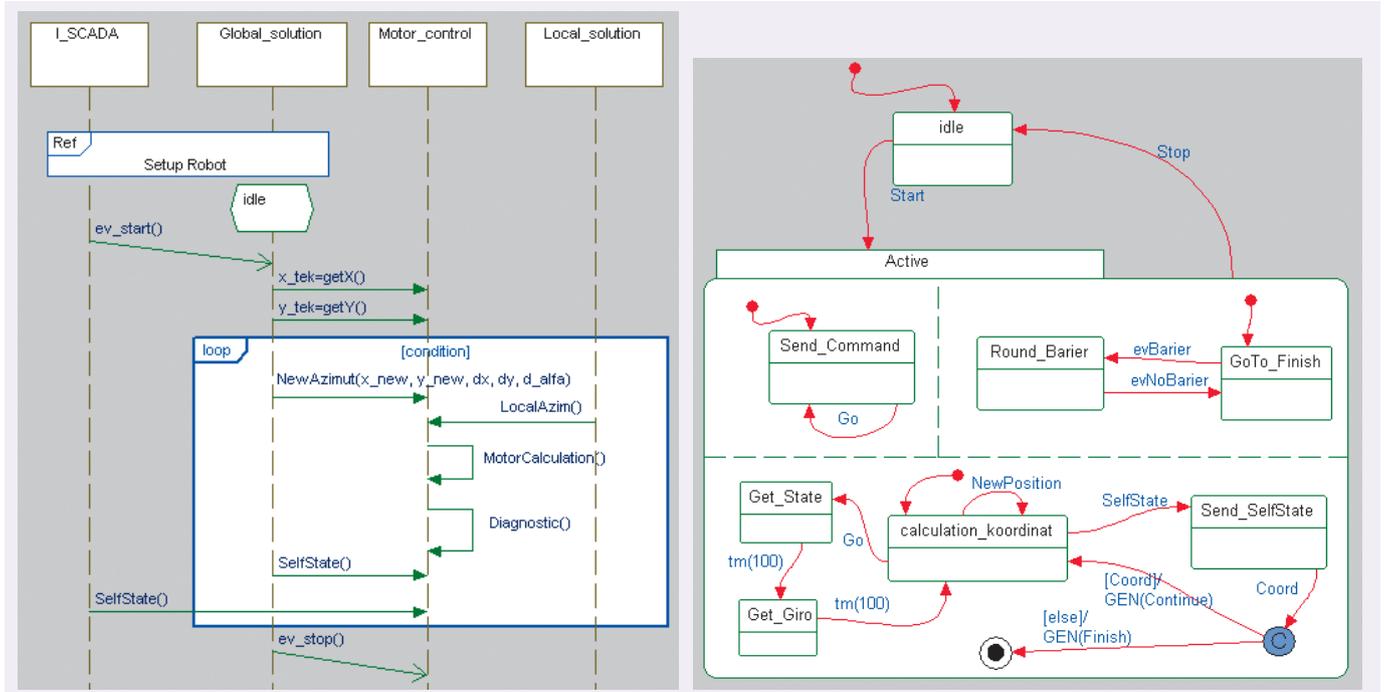


Рис. 7. Диаграммы последовательности и состояний для класса Motor_Control

Полученные при моделировании диаграммы последовательности с помощью инструмента DeffMerg сравниваются с соответствующими диаграммами последовательности, разработанными на этапе проектирования системы управления МР, и позволяют выявить несоответствия исходным требованиям.

Для верификации программного кода используется система Rhapsody Automatic Test Generator (ATG). Она автоматически генерирует все возможные комбинации входных данных для покрытия условий и ветвей программного кода (Modified Condition/Decision Coverage – MC/DC) в соответствии с ГОСТ Р 51904-2002 «Программное обеспечение встроенных систем. Общие требования к разработке и документированию» (российский аналог международного стандарта DO-178B Software Considerations in Airborne Systems and Equipment Certification).

Применение среды моделирования Rhapsody повышает эффективность разработки системы управления МР. Полученная программная модель системы управления обеспечивает её лёгкую адаптацию к различным областям применения (патрулирование территории, экологический мониторинг, разведка местности) с учётом их специфических требований к функционированию и дополнительным аппаратным средствам.

РАЗРАБОТКА АСУ ТП

Повышение эффективности изучения студентами технических вузов математических моделей и методов управления технологическими процессами (ТП) основано на совместном использовании виртуальных и физических объектов управления. Для этого на факультете разработан программно-технический комплекс (ПТК). При разработке ПТК учитывался опыт кафедр микроэлектрони-



Рис. 8. Лабораторный стенд «Теплица» на основе логических модулей LOGO!

ки Самарского аэрокосмического университета, процессов и аппаратов химической технологии Московского государственного университета инженерной экологии [4] и автоматизированных систем управления тепловыми процессами Московского энергетического института. В учебном процессе при разработке АСУ ТП используются программное обеспечение Autodesk Inventor 2009 и фирмы EPLAN, а также оборудование компаний Rittal и DKC.

В состав ПТК входят лабораторные стенды, которые представляют собой физические модели объектов автоматизации:

1) модель теплицы, управляемой логическим модулем LOGO! компании Siemens (рис. 8);



Рис. 9. Лабораторный стенд управления дискретным и непрерывным технологическими процессами на базе контроллера SIMATIC S7-224XP

2) модель дискретного (конвейерная линия с позициями обработки) и непрерывного (камера с изменяемым нагревом и уровнем освещённости) объектов управления на основе контроллера SIMATIC S7-224XP компании Siemens (рис. 9);

3) модель роботизированного технологического комплекса, состоящая из манипуляционного робота и транспортера компании Fischertechnik, и модель смешивания жидкостей на основе контроллера SIMATIC S7-315F компании Siemens (рис. 10);

4) модель смешивания жидкостей на основе промышленных датчиков и контроллера Premium TSX57 104M компании Schneider Electric;

5) модель камеры с управляемым нагревом и уровнем освещённости на базе контроллера I-7188D/DOS/512 и SCADA-системы Trace Mode 6 [5];

6) модель «умный дом» на базе контроллера WAGO I/O 750-841 и ПЛК 150 компании OBEH.

Студенты изучают особенности разработки систем противоаварийной защиты на базе контроллера S7-315F и методики Safety Integrated в соответствии со стандартом IEC 61508, который охватывает все электрические, электронные и контроллерные системы, используемые для реализации функций, связанных с безопасностью [6].

Оценка надёжности сложных систем

Вопросы моделирования и расчёта вероятностных характеристик надёжности встраиваемых систем и АСУ ТП студенты изучают на основе программного комплекса (ПК) «Арбитр». ПК «Арбитр», разработанный ОАО «СПИК СЗМА», содержит специальное графическое средство представления структур систем – схему функциональной целостности (СФЦ) [7].

С помощью аппарата СФЦ могут представляться как типовые монотонные структурные модели (блок-схемы, графы связности, деревья отказов, деревья событий), так и новый класс немонотонных структурных моделей надёжности и безопасности систем. ПК «Арбитр» позволяет строить модели надёжности структурно-сложных системных объектов и процессов на основе общего логико-вероятностного метода для расчёта надёжности, стойкости, живучести, рис-

ка и безопасности структурно-сложных систем.

Анализ надёжности МР, СФЦ которого состоит из 37 вершин (рис. 11), позволил определить причины отказов (автоматически построить деревья отказов) и найти наиболее эффективные пути повышения надёжности [8].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанные программно-технические комплексы и физические модели объектов управления применяются при обучении студентов 2–5 курсов по дисциплинам «Основы теории управления», «Технические средства интеллектуальных систем», «Теоретические основы автоматизированного управления», «Микропроцессоры в системах управления», «Надёжность, эргономика и качество АСОИУ», «Программно-аппаратные комплексы интеллектуальных систем», «Проектирование АСОИУ», «Системы реального времени», «Современные технологии программирования» и «Современные инструмен-

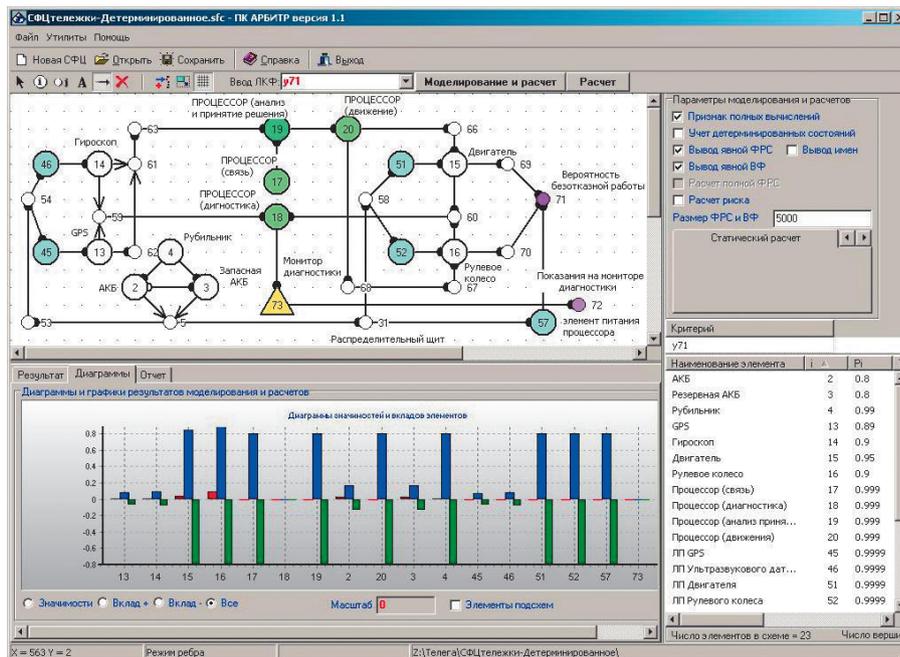


Рис. 11. Схема функциональной целостности МР

тальные средства проектирования систем». Такой подход позволяет студентам облегчить понимание изучаемого теоретического материала и получить практические навыки разработки современных встраиваемых систем и АСУ ТП.

Представленные программно-аппаратная среда и программно-технические комплексы, а также программный комплекс «Арбитр» являются платформой для изучения передовых информационных технологий моделирования и разработки сложных систем управления реальному времени и обеспечивают подготовку высококвалифицированных специалистов, востребованных на рынке труда.

Полученные на факультете электронной техники и приборостроения СГТУ результаты стали возможны при технической поддержке и реализации образовательных программ компаний Siemens, Schneider Electric, OVEN, ПРОСОФТ, Rittal, AdAstra, SWD Software, Eplan, IBM, СПИК СЗМА. ●

ЛИТЕРАТУРА

1. Операционные системы реального времени для авионики: обзор [Электронный ресурс] /

ИТМиВТ РАН им. С.А. Лебедева. – Режим доступа : http://www.ipmce.ru/about/press/popular/rdc_news05052008/.

2. Зыль С.Н. QNX Momentics. Основы применения. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 256 с.

3. Douglass B. Real-Time UML Workshop for Embedded Systems [Электронный ресурс] / SWD Software. – Режим доступа: http://www.swd.ru/Press_Ready/DouglassBook.pdf.

4. Сидельников И.И. Комплексная лабораторная установка, автоматизированная при помощи приборов OVEN // Автоматизация и производство. – 2006. – № 1. – С. 28–29.

5. Петров Д.Ю. Применение Trace mode в учебном процессе // Материалы XIII международного конф. TRACE MODE. – М., 2007. – С. 78–83.

6. Федоров Ю.Н. Основы построения АСУ ТП взрывоопасных производств: [в 2 т.]. – М. : СИНТЕГ, 2006. Т. 1: Методология. – 720 с.

7. Программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования и расчёта надёжности и безопасности систем АРБИТР (ПК АСМ СЗМА), базовая версия 1.0 [Электронный ресурс] / СЕВ-ЗАПМОНТАЖАВТОМАТИКА. – Режим доступа : <http://www.szma.com/pkasm.shtml>.

8. Назаров А.А., Петров Д.Ю., Рыбко В.В. Оценка надёжности функционирования мобильного робота // XXII междунар. науч. конф. «Математические методы в технике и технологиях (ММТТ-22)»: сб. трудов/ под общ. ред. В.С. Балакирева. – Псков, 2009. – Т. 8 – С. 174–177.

E-mail: iac_sstu@mail.ru

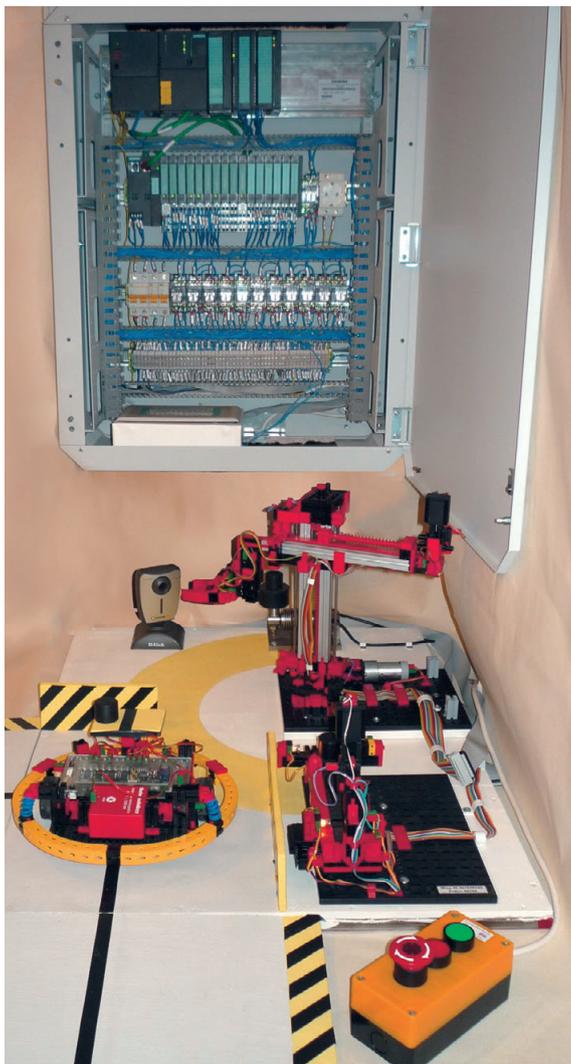


Рис. 10. Модель роботизированного технологического комплекса на основе контроллера SIMATIC S7-315F

От платы – к системе

XE-900

- Процессор с частотой до 1 ГГц
- ОЗУ до 256 Мбайт
- Последовательные порты: 4×RS-232; RS-232/422/485; RS-422/485
- Шина расширения: PC/104 и PC/104-Plus
- 24 канала цифрового ввода/вывода
- Диапазон рабочих температур от –40 до +70/85°C
- Поддержка Windows Embedded, Linux

XE-900

с кондуктивным охлаждением

- Полностью кондуктивное охлаждение
- Ударовибростойкая конструкция
- Монтаж на любой поверхности
- Диапазон рабочих температур от –40 до +85°C

Сервер XMB

- Процессор VIA Eden 1 ГГц
- ОЗУ 512 Мбайт
- Расширение: слот miniPCI, 2 платы PC/104 или PC/104-Plus, до 4 модулей XBLOK
- Размеры: 152,4×106,68×274,32 мм
- Диапазон рабочих температур от –40 до +75°C; не требует вентилятора
- Полная совместимость с ОС Windows®XPе и Linux

ЭКСКЛЮЗИВНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР В РОССИИ И СТРАНАХ СНГ И БАЛТИИ

#11

PROSOFT®

МОСКВА
С.-ПЕТЕРБУРГ
ЕКАТЕРИНБУРГ
САМАРА
НОВОСИБИРСК
КИЕВ
УФА
КАЗАНЬ
ОМСК
ЧЕЛЯБИНСК
КРАСНОДАР

Тел.: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640 • E-mail: info@prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru
Тел.: (812) 448-0444 • Факс: (812) 448-0339 • E-mail: info@spb.prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru
Тел.: (343) 376-2820 • Факс: (343) 376-2830 • E-mail: info@prosoftsystems.ru • Web: www.prosoftsystems.ru
Тел.: (846) 277-9166 • Факс: (846) 277-9165 • E-mail: info@samara.prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru
Тел.: (383) 202-0960; 335-7001/7002 • E-mail: info@nsk.prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru
Тел.: (+380-44) 206-2343/2478/2496 • Факс: (+380-44) 206-2343 • E-mail: info@prosoft-ua.com • Web: www.prosoft.ru
Тел.: (347) 2925-216; 2925-217 • Факс: (347) 2925-218 • E-mail: info@ufa.prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru
Тел.: (843) 291-7555 • E-mail: kazan@prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru
Тел.: (3812) 286-521 • E-mail: omsk@prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru
Тел.: (351) 239-9360 • E-mail: chelyabinsk@prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru
Тел.: (861) 224-9513 • Факс: (861) 224-9513 • E-mail: krasnodar@prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru

© СТА-ПРЕСС