

И. С. БОЛГАРОВ, Н. А. МАКОВЕЦКАЯ, А. Е. ПЛАТУНОВ, Н. П. ПОСТНИКОВ

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИБОРНЫХ КОНТРОЛЛЕРОВ

Рассмотрены особенности встроенных вычислительных систем (приборных контроллеров), используемых в современных научных измерительных приборах и комплексах. Показана сложность разработки подобного рода систем, описаны тенденции и актуальные проблемы процесса проектирования. Предложены перспективные пути развития методов и технологий высокоуровневого проектирования посредством формального расширения пространства поиска решений.

***Ключевые слова:** встроенная вычислительная система, приборный контроллер, автоматизация эксперимента, сканирующий зондовый микроскоп, глубоко программируемые системы, заказное проектирование, процесс проектирования, высокоуровневое проектирование.*

**Введение.** В современных научных измерительных и аналитических приборах и комплексах широко используются встроенные вычислительные системы (ВсС), выполняющие комплекс функций от сбора данных и управления экспериментом до финишной обработки, представления и архивирования полученной информации. Такие ВсС называются приборными контроллерами (ПрК).

ПрК относятся к „глубоко программируемым“ (SW-intensive) системам и обычно реализуют несколько уровней обработки информации эксперимента, сервисные и вспомогательные функции. При создании ПрК используются различные вычислительные архитектуры и технологии, что делает разработку этой категории ВсС сложной научно-технической задачей.

Востребованным направлением создания сложных ПрК с высокими инструментальными, метрологическими и пользовательскими характеристиками является заказное проектирование, охватывающее все основные уровни вычислительной иерархии ВсС. Такого рода разработки выполняются в ограниченных временных и финансовых рамках при условии высокой надежности проектирования, что определяет необходимость решения ряда сложных методологических проблем проектирования на базе широкого спектра информационно-коммуникационных и микроэлектронных технологий [1].

**Методология заказного проектирования ПрК.** Перечислим основные тенденции в развитии технологий и средств проектирования ВсС, которые непосредственно связаны с усилением значения этапов архитектурного, функционального, логического проектирования:

- повышение уровня абстракции проектирования;
- широкое применение моделирования, методов формального анализа и верификации моделей;

- введение уровня абстрактного представления вычислительного процесса;
- усовершенствование технологий создания встраиваемого программного обеспечения.

Данные этапы, относящиеся к области высокоуровневого проектирования (High Level Design, HLD), сегодня составляют до 70 % общего объема процесса разработки ВcС. По-прежнему широко используются традиционные технологии, относящиеся к низкоуровневому проектированию, когда архитектурное проектирование осуществляется на последующих фазах разработки. Выбор маршрута проектирования ПрК зависит, прежде всего, от сложности решаемой задачи и квалификации потенциальных разработчиков. Инструментарий сегодня достаточно развит и доступен, он не является ограничивающим фактором [2, 3].

На рис. 1 представлен упрощенный маршрут проектирования ВcС. От того, насколько проектировщики могут расширять зону работы с абстрактными моделями вычислительного процесса (ВП) и вычислительной системы в рамках всего маршрута проектирования, кардинально зависит качество проектирования ВcС.

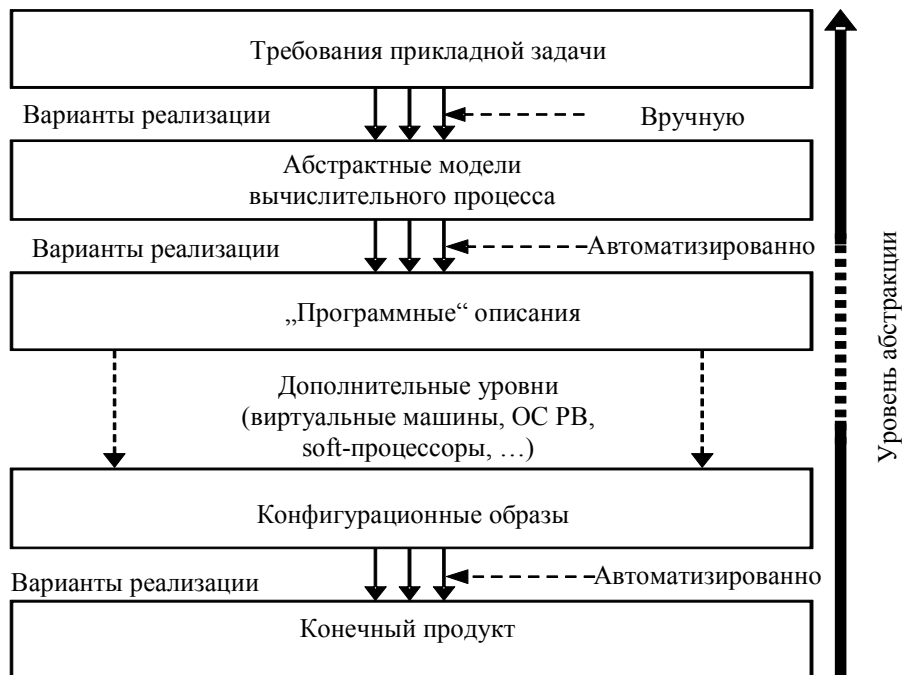


Рис. 1

**Проектирование архитектуры ПрК.** ПрК в зависимости от своей структуры, организации ВП, используемых вычислительных и языковых платформ могут быть разделены на группы: автономные, с хост-машиной (например, персональный компьютер), пространственно или/и функционально распределенные (многопроцессорные и сетевые структуры), с многоуровневой системой прикладного пользовательского программирования (СППП) и др.

На рис. 2 приведена структура вычислительных средств сканирующего зондового микроскопа (СЗМ), которые представляют собой ПрК, состоящий из ряда стандартных и специализированных аппаратных и программных блоков. ПрК обеспечивает многоуровневую организацию ВП в СЗМ, что позволяет гибко балансировать параметры целевого физического эксперимента и подстраиваться под требования различных категорий пользователей прибора (от студентов до экспертов в прикладной области).

Оценить сложность задач, решаемых разработчиком ПрК, и разнообразие вариантов их решения позволяют представленные ниже примеры. Первый из них относится к организации системы управления ПрК, второй иллюстрирует будни проектировщика, который решает задачу архитектурного проектирования значительной по сложности подсистемы ПрК, выбирая и осваивая инфокоммуникационные компоненты и технологии, с одной стороны, навязанные

техническим заданием, с другой — полезные из соображений требуемой функциональности и повторного использования.

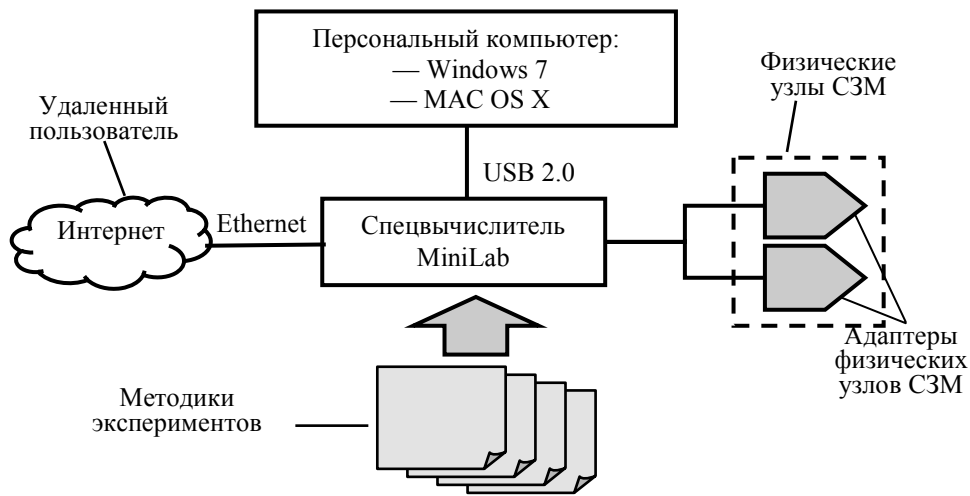


Рис. 2

*Пример 1.* Автоматизация эксперимента — основное назначение ПрК. Разработчик ПрК устанавливает общую направленность вычислительного процесса и задает базовые средства выражения алгоритма проведения эксперимента. Конечный пользователь описывает конкретный алгоритм эксперимента, используя средства прикладного программирования (конфигурирования) ПрК.

В случае СЗМ заказчиком озвучивались лишь общие пожелания по выполнению функций генерации сигналов, синхродетектирования, цифровой фильтрации и т.д. В связи с отсутствием четких требований к структуре вычислительного процесса было принято решение о разработке способа описания вычислительной схемы на основе функциональных блоков. Такое архитектурное решение обеспечило возможность эффективно реконфигурировать вычислительную схему для решения задач и достижения новых свойств. Был создан спецвычислитель (СВ) NL3 [4] на базе микросхемы программируемой логики Xilinx Spartan3E, а также разработано сопутствующее инструментальное ПО (компилятор NL3 и др.). Пользователю предоставлены система прикладного программирования эксперимента, отвечающая требованиям режима реального времени, а также средства прикладного программирования на языке Java. Таким образом, ПрК СЗМ предоставляет возможность гибкой декомпозиции алгоритма и реализации его в подходящей системе программирования.

Актуальность разработанной архитектуры ПрК подтверждается направлением исследований ведущих фирм в области вычислительной техники, однако на текущий момент существуют серьезные ограничения в использовании стандартных инструментов. Поэтому применение различного рода спецвычислителей оправдано, с одной стороны, ориентированностью на определенный класс задач, а с другой — возможностью оптимизации конечного продукта.

Способ распределения алгоритма по средам программирования влияет на качество ПрК как конечного изделия. Использование среды программирования „реального времени“ более трудоемко по сравнению с использованием среды программирования общего назначения. Для ускорения процесса разработки алгоритм может быть реализован на процессоре общего назначения с „потерей качества“. Дальнейшее снижение сложности и сроков программирования возможно при переносе алгоритмов эксперимента на хост-машину, что обычно применяется при создании прототипов.

*Пример 2.* В число подсистем ПрК СЗМ входит виртуальный осциллограф (ВО), предназначенный для визуализации внутренних процессов прибора на ПК под управлением ОС Windows, подключенном к СЗМ по каналу USB. ВО служит примером системы реального

времени с широкими возможностями конфигурирования пользователем. Ключевое требование ТЗ — работа в режиме реального времени со сравнительно большими объемами данных (порядка 100 000 срезов данных в секунду) — существенно повлияло на реализацию ВО.

Для обеспечения требуемой скорости передачи данных было принято решение нестандартным образом использовать штатные средства операционной системы (USB audio и kernel streaming). Основной сложностью явился выбор базового инструмента для реализации: в документации производителя ОС описаны разнообразные инструменты для работы с устройствами, но место каждого инструмента в общей картине функционирования ОС понять довольно трудно; в документации уделяется много внимания мелочам в ущерб описанию общей картины происходящего. „Пробелы“ документации пришлось восполнять в процессе проектирования. В ходе этой работы было реализовано несколько небольших экспериментальных проектов. В итоге затраты на реализацию этой части оказались довольно велики, причем значительная их доля пришлась не на решение собственно задачи, а на исследование свойств инструментария.

Этот пример может служить иллюстрацией того, как повторное использование относительно сложных инфокоммуникационных технологий сдерживается отсутствием эффективных выразительных средств для донесения их сути (на уровне назначения и архитектуры) до проектировщика и/или нежеланием поставщика изыскивать и использовать такие средства.

**Развитие методов и технологий высокоуровневого проектирования ПрК.** Представленные примеры убедительно демонстрируют значимость этапов архитектурного проектирования ПрК и необходимость совершенствования соответствующих методологий и инструментов высокоуровневого проектирования [6].

Однако это плохо сочетается с доминирующей моделью знаний в области вычислительной техники, в основе которой лежит каноническая организация ВС с центральным программируемым процессором интерпретирующего типа, на базе которого в рамках ОС организуется прикладной вычислительный процесс посредством создания программы на языке высокого уровня с последующей трансляцией в команды аппаратного процессора и вызовы функций ОС.

Данная модель профессиональных знаний пригодна в секторе прикладного программирования на стандартных аппаратно-программных платформах и неэффективна в области ВСС.

Изменить взгляд специалиста на организацию ВСС и повысить эффективность НЛД можно, прежде всего, посредством формального расширения пространства поиска решений при создании ВСС за счет:

— формирования системы высокоуровневых (архитектурных) абстракций для представления ВСС (процесса проектирования, базовых элементов ВС, системного уровня, оценки архитектурных решений);

— выделения функциональных и нефункциональных требований технического задания в аспекты процесса проектирования;

— широкого использования принципа платформо-ориентированного проектирования;

— совместного проектирования инструментальной и целевой компоненты проекта;

— достижения динамического баланса „альтернатив“ проектирования между фазами „проектирование/реализация“ ВСС и „разработка/исполнение“ вычислительного процесса, а также между аппаратной и программной реализацией функций.

**Заключение.** Проектирование ПрК требует внедрения перспективных методов и технологий. Конкурентоспособность изделий, построенных на заимствованных шаблонных решениях, всегда будет невысока. Поэтому необходимо разумное сочетание технологий повторного использования и создания оригинальных продуктов. Взгляд на ВСС через призму высокоуровневого проектирования открывает перспективы преодоления кризиса сложности в инфокоммуникационной отрасли, поддерживая как эффективное освоение готовых решений и технологий, так и быстрое и надежное создание оригинальных продуктов. Это в первую оче-

редь актуально для таких областей проектирования, как сложные приборные контроллеры и системы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Платунов А. Е., Постников Н. П.* Перспективы формализации методов проектирования встроенных систем // Электронные компоненты. 2005. № 1. С. 24—29.
2. *Sangiovanni-Vincentelli A.* Quo Vadis SLD: Reasoning about Trends and Challenges of System-Level Design // Proc. IEEE. 2007. Vol. 95, is. 3. P. 467—506.
3. *Lee E., Neuendorffer S., Wirthlin M.* Actor-oriented design of embedded hardware and software systems // J. Circuits, Systems, and Computers. 2003. Vol. 12, N 3. P. 231—260.
4. *Ковязин Р. Р., Постников Н. П.* Разработка проблемно-ориентированных процессоров // Науч.-техн. вестн. СПбГУ ИТМО. 2010. Вып. 70. С. 81—85.
5. *Buschmann F., Buschmann F., Meunier R., Rohnert H., Sommerlad P., Stal M.* Pattern-Oriented Software Architecture // Chichester. NY—Toronto—Singapore: John Wiley and Sons Ltd., 2001. Vol. 1. A System of Patterns. P. 53—70.
6. *Platunov A. E., Kustarev P. V.* Problems of Abstract Representation of Embedded Systems at High-level Stages Design // Proc. Intern. Workshop on Networked embedded and control system technologies: European and Russian R&D cooperation (NESTER). 2009. P. 100—107.

*Сведения об авторах***Иван Сергеевич Болгаров**— ООО „ЛМТ“, Санкт-Петербург; инженер;  
E-mail: ivan.bolgarov@gmail.com**Наталья Андреевна Маковецкая**  
**Алексей Евгеньевич Платунов**— ООО „ЛМТ“, Санкт-Петербург; инженер; E-mail: mna@d1.ifmo.ru  
— д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра вычислительной техники;  
E-mail: platunov@lmt.ifmo.ru**Николай Павлович Постников**— канд. техн. наук; ООО „ЛМТ“, Санкт-Петербург; главный инженер;  
E-mail: pnp@d1.ifmo.ruРекомендована кафедрой  
вычислительной техникиПоступила в редакцию  
08.02.12 г.