

ВВЕДЕНИЕ

Особенности современного этапа развития методов и средств автоматического управления обуславливаются усилением степени влияния тенденций, действующих в этой области техники на протяжении последних 20–25 лет; отметим из них две группы наиболее значимых.

К первой группе относятся тенденции алгоритмической, системотехнической и конструктивной интеграции устройств управления и объектов управления, что позволяет говорить об эволюционировании систем управления в направлении встраиваемых систем.

Понятие «Встраиваемая система управления»* (ВСУ) имеет устоявшееся терминологическое значение, что, в частности, иллюстрируется многими независимыми источниками, в том числе [1]. Далее будем использовать следующее интегральное определение: под ВСУ понимается система управления техническим объектом или процессом, содержащая в себе управляющее устройство (в основном на основе специализированных микропроцессоров, микроконтроллеров, ПЛИС и других элементов вычислительной техники), которое конструктивно, системотехнически и технологически объединено с объектом управления (рис. В-1) [2].

Область применения встраиваемых систем чрезвычайно широка и простирается от бортовых систем специального назначения до бытовых приборов; встраиваемые системы используются практически во всех технических объектах (станки и технологическое оборудование, медицинская аппаратура, средства связи и навигации и др.) (рис. В-2). Активно развиваются технологии интеграции территориально распределенных совокупностей встраиваемых систем, обменивающихся информацией без участия оператора и получивших название «Internet of Things» («Интернет вещей»).

Тенденции первого рода проявляются в широком применении устройств управления, разработанных с исходной ориентацией на определенный класс или группу объектов, что позволяет достичь

* Толковый словарь по информатике. — М.: ФиС, 1991. — С. 440; см. также http://www.wikiznanie.ru/ru-wz/index.php/Встроенная_система

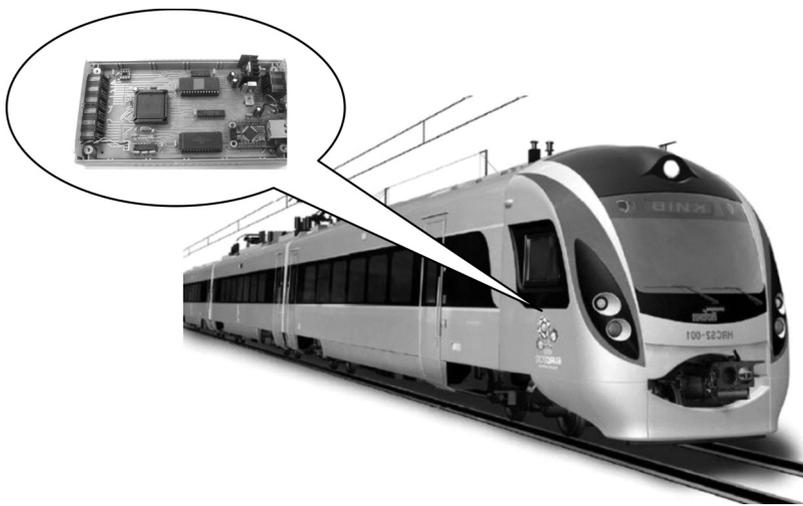


Рис. В-1. Пример встраиваемой системы управления (фрагмент изображения с сайта <https://ru.pngtree.com/>)

предельного улучшения массогабаритных и надежностных показателей устройства управления и обеспечить возможность гибкого изменения управляющего алгоритма (как самим разработчиком в процессе модернизации, так и пользователем — путем применения средств автоматизированной модификации в процессе функционирования).

Темпы развития этой области науки и техники достаточно велики; так, объем выпуска одной из разновидностей аппаратных платформ встраиваемых систем — встраиваемых микроконтроллеров — на момент написания данной книги приближается к уровню в 25 млрд шт. в год*, что почти на два порядка превышает средний объем годового выпуска компьютеров общего назначения (не более 300 млн шт. в год)**.

Системообразующими признаками встраиваемых систем являются пригодность к конструктивной, системотехнической и алгоритмической интеграции с объектом управления, к массовому тиражированию, к автономности функционирования, с чем связаны требо-

* Полезно сравнить данные сайта <http://www.russianelectronics.ru/leader-r/news/snabworldmarket/doc/63382/> и сайта <http://www.dailycomm.ru/m/32411/>

** Полезно сравнить данные сайта <http://www.compress.ru/article.aspx?id=18662&iid=865> и сайта <http://www.dailycomm.ru/m/36841/>



Рис. В-2. Некоторые области применения встраиваемых систем управления (изображения с сайтов <http://medoptima61.ru>, <http://www.allstanko.ru>, <https://3dnews.ru>, <http://png2.ru>)

вания высокой надежности, низкой стоимости и энергоэкономичности встраиваемой системы. Прямым следствием необходимости удовлетворения указанных требований является относительно меньшая допустимая вычислительная мощность и ограничения по ресурсам памяти в сравнении с вычислительными системами общего назначения (постоянное совершенствование обеих ветвей вычислительной техники из поколения в поколение продолжает подтверждать эти соотношения).

Таким образом, естественным и объективным критерием оптимальности реализации встраиваемой системы является степень удовлетворения указанных системообразующих ограничений, что, в свою очередь, предъявляет ряд специфических требований к методам и средствам проектирования ВСУ, в частности, связанных с расчетом и анализом характеристик реального времени, организацией взаимодействия с аппаратными модулями и др.



Рис. В-3. Примеры встраиваемых интеллектуальных систем управления (изображения с сайтов <https://commons.wikimedia.org>, <https://www.thestreet.com/>)

Ко второй группе относятся тенденции вовлечения в сферу практического использования так называемых «сложных» объектов. К этому широкому классу принадлежат объекты с высоким порядком уравнений в математическом описании; не полностью наблюдаемые и не полностью управляемые объекты; системы, функционирующие в условиях не полностью определенной внешней среды или по слабо алгоритмизируемым законам; системы с не полностью определенными целями управления и критериями оценки качества их функционирования. К этой же группе тенденций относятся тенденции роста требований к качеству управления объектами, ужесточение существующих и предъявление новых ограничений к режимам эксплуатации систем автоматического управления (рис. В-3).

Решение задач управления в данной постановке средствами традиционного математического аппарата теории управления затруднено или практически невозможно (особенно с учетом антагонизма тенденций первой и второй групп — ограничений, связанных с используемой элементной базой (вытекающих из необходимости встраиваемости) и требований расширения функциональных возможностей (следующих из необходимости обеспечения достаточной сложности)). В качестве основы для решения таких задач все шире применяются методы теории интеллектуальных систем. Примерами базовых вычислительных технологий, часто применяемых в задачах интеллектуального управления, являются нечеткие и нейросетевые технологии, генетические алгоритмы и др.

Таким образом, в данном контексте уместно говорить о встраиваемых интеллектуальных системах управления (ВИСУ), сочетающих доступность (в смысле простоты использования, дешевизны и т. п.) и надежность встраиваемых систем с пригодностью для реализации сложных алгоритмов интеллектуального управления. При

этом, безусловно, необходима трансформация методов и средств проектирования интеллектуальных систем, учитывающая особенности встраиваемых систем (в частности, меньшую вычислительную мощность, ограничения по ресурсам памяти в сравнении с вычислительными системами общего назначения и др.) и обеспечивающая гармоничное сочетание интеллектуальных и встраиваемых технологий.

Результаты научных исследований и практических достижений в области встраиваемых систем отражаются в широком спектре представительных периодических изданий, к которым, в частности, относятся следующие: альманах одного из крупнейших конгрессно-выставочных мероприятий в области ВСУ «Embedded world»^{*1}, IEEE Embedded system journal^{*2}, International Journal of Embedded Systems^{*3}, журнал IEEE Embedded Systems Letters^{*4} и многие другие.

Подготовка специалистов для столь динамично развивающейся области проводится во многих учебных заведениях, в том числе широко известных на мировой арене: Embedded system institute (The Netherlands) — по программе «Embedded systems engineering»^{*5}, международная Embedded Systems Academy (Sunnyvale, USA и Barsinghausen, Deutschland) — по программе «Products, Consulting & Training for Embedded Systems»^{*6}, University of Pennsylvania (Pennsylvania, USA) — по программе «Engineering in Embedded Systems»^{*7}, UC Berkeley (USA), факультет Electrical Engineering and Computer Sciences — по программе «Embedded System Design»^{*8}; активно развивается также международная программа European Master's Program in Embedded Computing Systems^{*9} и многие другие.

Профессионалы, специализирующиеся в области встраиваемых систем, характеризуются комплексными междисциплинарными знаниями и практическими навыками в области теории систем, тео-

*1 <http://www.embedded-world.de/>

*2 <http://spectrum.ieee.org/computing/embedded-systems>

*3 <http://www.inderscience.com/jhome.php?jcode=ijes>

*4 <http://ieeexplore.ieee.org>

*5 <http://www.esi.nl/>

*6 <http://www.esacademy.com/>

*7 <http://www.seas.upenn.edu/prospective-students/graduate/programs/masters/embedded.php>

*8 <http://coe.berkeley.edu/>

*9 <http://mundus.eit.uni-kl.de/>



Рис. В-4. Некоторые взаимосвязи областей знаний цикла «Встраиваемые системы»

рии управления, цифровой и аналоговой электроники, схемотехники, вычислительной техники, алгоритмизации и программирования (рис. В-4).

К основным областям деятельности профессионалов в области ВСУ относятся: проектирование, производство и эксплуатационное обслуживание платформ встраиваемых систем и их элементной базы; контрактная разработка ВСУ; внутрикорпоративные разработки.

Организация подготовки таких профессионалов является многоаспектной научно-методической задачей; ряд особенностей организации этой подготовки отражен в соответствующих образовательных и профессиональных стандартах*.

Особое значение приобретает проблема создания методик преподавания дисциплин цикла «Встраиваемые системы автоматизации и вычислительной техники», обеспечивающих фундаментальность образования в этой сфере, профессиональное «долголетие» подготов-

* См., например, профессиональные стандарты «Инженер-радиоэлектронщик» и «Инженер в области проектирования и сопровождения интегральных схем и систем на кристалле»; образовательные стандарты «Информатика и вычислительная техника», «Приборостроение» и «Управление в технических системах» (дополнительная информация на сайтах <http://минобрнауки.рф/документы> и <http://www.consultant.ru/>).

ленного специалиста, его возможность адаптироваться к изменениям в сфере встраиваемых устройств.

Очевидно, что разработчик, имеющий фундаментальные знания о процессе проектирования ВСУ и обладающий навыками управления этим процессом, обладает существенными профессиональными преимуществами и обеспечивает больший экономический эффект своей деятельности.

Сказанное тем более принципиально с точки зрения формирования новых поколений разработчиков. Для них особенно важно иметь возможность:

- получить и сравнить результаты синтеза с применением эвристики естественного интеллекта и чисто «машинного» синтеза, выявить их достоинства и недостатки;
- прочувствовать ответственность разработчика перед потребителем (в особенности с учетом масштабности сферы применения встраиваемых систем и важности сохранения отечественных школ разработки);
- наконец, обеспечить свою востребованность на рынке труда в течение достаточно длительного времени, а не до момента смены технологий разработки (что в предметной области встраиваемых систем происходит достаточно часто) [3, 4].

По мнению автора, в некоторой степени способствовать достижению указанных выше научных и педагогических целей в области микроконтроллеров может данная книга.

Книга предназначена для двух значительно различающихся категорий читателей:

- научных, инженерных и педагогических работников, специализирующихся в области разработки элементной базы вычислительных систем, бортовых устройств управления и систем с аппаратной поддержкой искусственного интеллекта.
- аспирантов, а также студентов учебных заведений высшего и среднего профессионального образования, обучающихся в сфере ИТ.

Книга построена так, что материал, ориентированный на первую категорию читателей, органично дополняется материалом, предназначенным для читателей второй категории, и наоборот. Тем самым достигается синергетический эффект работы с книгой.

Книга является фундаментальным изданием в сфере встраиваемых систем и технологий; это достигнуто, несмотря на быстроту обновления предметной области, путем изложения материалов на

онтологическом (сущностном) слое базовых знаний, устойчивом к изменениям конкретных реализаций ВСУ.

Книга глубоко развивает теоретические вопросы проектирования архитектур микроконтроллеров, а также применение теории искусственного интеллекта во встраиваемых приложениях и может быть полезна ученым и практикам в широком спектре областей: от робототехнических приложений искусственного интеллекта до электроники класса Home Appliances.

В книге предложен развитый исследовательский практикум, охватывающий практически все аспекты встраиваемых приложений, и представляющий интерес как в научном, так и в учебном плане.

Первая часть книги — «Архитектура микроконтроллеров» — предлагает читателю рассмотреть фундаментальные принципы их организации и конкретные примеры воплощения этих принципов. Первая глава посвящена абстрактному микроконтроллеру, что позволяет обсуждать цели, методы, средства и результаты проектирования составных элементов микроконтроллера, не будучи ограниченными рамками реальных архитектур (каждая из которых есть лишь воплощение — с различной степенью успешности — попыток реализации архитектур, оптимальных в установленном разработчиком смысле). Вторая глава посвящена семейству архитектур x51, являющемуся «живой классикой», стандартом de facto микроконтроллеров, представляющему собой удачный пример лидерства на рынке микроконтроллеров, распространенному и известному повсеместно.

Вторая часть книги — «Разработка встраиваемых систем» — систематизирует знания в области проектирования, отладки и диагностирования встраиваемых микроконтроллерных систем, обычно излагаемые в литературе фрагментарно и недостаточно глубоко. Названия глав этой части соответствуют трем перечисленным выше этапам разработки.

Третья часть — «Примеры разработок встраиваемых систем управления на основе микроконтроллеров» — содержит главу, иллюстрирующую решение типовых задач проектирования аппаратного и программного обеспечения встраиваемых приложений, что формирует стиль качественного проектирования и подготавливает к восприятию материала следующей главы, раскрывающей более высокий уровень разработок, обладающих функциональной завершенностью с точки зрения применения в системах автоматики и робототехники.

Четвертая часть — «Встраиваемые интеллектуальные системы управления» — посвящена интеграции встраиваемых и интеллектуальных систем и содержит четыре главы, раскрывающие соответственно модели описания, методы и средства реализации, аппаратное обеспечение ВИСУ и перспективы их развития. Основным используемым в этой части книги математическим аппаратом интеллектуальной составляющей ВИСУ является аппарат теории нечетких множеств.

Пятая часть — «Перспективная отечественная элементная база. Микроконтроллеры 1986ВЕ92 архитектуры ARM» — описывает некоторые аспекты отрасли, значимые с точки зрения импортозамещения, основываясь на одном из микроконтроллеров российского производства популярной архитектуры ARM, попутно раскрывая особенности данной архитектуры, а также средств поддержки процесса проектирования систем управления на их основе.

Шестая часть — «Исследовательский практикум» — позволяет развить умения и навыки разработчика ВСУ и ВИСУ, а также рассмотреть возможности отечественной компонентной базы микроконтроллеров.

В книге содержится также список литературы, полезной для изучения, и ряд приложений справочного характера.