

Масштабирование встроенных систем: платформы для приложений класса *deeply embedded*

Пётр Павлов (Москва)

Статья посвящена обзору аппаратных платформ и микроконтроллеров, разработанных для автономных систем.

Встроенные системы на основе программируемых вычислительных платформ превращаются в основу систем управления разнообразным оборудованием (промышленным, военным, медицинским, торговым и т.д.). Некоторые специалисты в последнее время выделяют среди встроенных систем так называемые *deeply embedded systems* (глубоко встраиваемые системы, ГВС), реализованные на микроконтроллерах (МК). В числе наиболее критичных параметров для «глубоко встраиваемых» приложений – энергопотребление, т.к. источниками питания в них часто выступают батарейные системы.

Если энергия для работы систем такого класса поступает не от источников с ограниченными ресурсами, экономичность энергопотребления должна обеспечиваться на уровне, позволяющем работать без активных систем охлаждения и существенного повышения температуры оборудования, управляемого этой встроенной системой. Последнее требование опре-

деляется не только соображениями надёжности и минимизации набора комплектующих, но и обеспечением комфортной работы с оборудованием, значительная часть которого продаётся на потребительском рынке.

Первоначальные представления о возможных платформах для построения ГВС связывались с МК малой разрядности (в первую очередь 8-разрядными), однако сегодня в конкуренцию за этот рынок вступили и 32-разрядные микроконтроллеры. Такие МК всё чаще становятся более дешёвыми и более компактными конкурентами 8- и 16-разрядных приборов при более высокой производительности.

Возможности 32-РАЗЯДНЫХ ПЛАТФОРМ

Заговорить о 32-разрядных платформах для ГВС позволило появление новых технологических процессов микроэлектроники и использование системных подходов к реализации режимов энергосбережения. Для наглядности можно привести сравнение трёх

МК, которые могут использоваться в системах на основе батарейного питания (см. таблицу 1).

Если говорить о практических примерах того, что позволяют технологии производства, то 32-разрядное ядро ARM Cortex-M0, реализованное на основе технологического процесса с проектной нормой 0,18 мкм, демонстрирует энергопотребление 85 мкВт/МГц, тогда как использование технологии с проектной нормой 0,065 мкм позволяет довести этот показатель до 12 мкВт/МГц при сопоставимых условиях работы (по данным компании ARM).

Что же касается режимов и технологий энергосбережения, то у каждого из лидеров микроконтроллерного рынка есть свои «изюминки» в этой области, которые иногда имеют броские маркетинговые названия (вроде *picPower Technology* компании Atmel или *picoWatt/nanoWatt XLP* компании Microchip Technology) или не имеют таковых (пятиуровневая система энергосбережения микроконтроллеров EFM32 Gecko норвежской компании-стартапа Energy Micro AS), но позволяют добиваться конкурентоспособных показателей 32-разрядных микроконтроллеров по сравнению с микроконтроллерами меньшей разрядности (см. таблицу 2).

Данные, приведённые в таблице 2, могут не учитывать новинки соперников, например, микроконтроллер LPC1700 с энергопотреблением 190 мкВт/МГц (ИС произведены по технологии с проектной нормой 140 нм), который компания NXP сконструировала на базе ядра Cortex-M3, или не рассматривать более полный набор типичных приложений. Но, тем не менее:

- у каждого из поставщиков 32-разрядных МК есть особенности в технологиях энергоэффективности, базирующиеся как на общих принципах вроде раздельного тактирования подсистем микроконтроллеров (ядра, внутренних шин и отдельных периферийных подсистем), так и на патентованных решениях (технология *Peripheral Reflex System*, которая позволяет пери-

Таблица 1. Сравнение некоторых характеристик 16- и 32-разрядных МК, рекомендуемых для создания систем с батарейным питанием

Характеристики	MSP430F2617TPMR	STM32F103CBT6	DF38099FP10V
Разрядность, бит	16	32	16
Тактовая частота, МГц	16	72	10
Объём флэш-памяти, Кб	92	128	128
Объём ОЗУ, Кб	8	20	4
Габариты, мм	10 × 10	7 × 7	14 × 14
Цена (DigiKey, 2011 г.)	\$8,047	\$4,992	\$11,97

Таблица 2. Сравнение потребления тока различными МК (по данным компании Energy Micro AS)

Микроконтроллер	Разрядность	Архитектура	Потребляемый ток, мкА, при напряжении питания 3 В и рабочей частоте 1 МГц
EFM32G890F128	32	Cortex-M3	195
MSP460F51x	16	MSP430	220
C8051F93x	8	8051	360
LPC1343	32	Cortex-M3	330
LPC11xx	32	Cortex-M0	250
STM32F101x8	32	Cortex-M3	900
PIC24F16KA102	16	PIC18	370
ATmegaA1	8	AVR	790

ферийным системам микроконтроллеров EFM32 работать в режимах пониженного энергопотребления без участия процессорного ядра);

- внутрифирменные реализации известных функций, например ПДП (DMA), а также интегрированные сопроцессоры и ускорители (как правило, для реализации алгоритмов кодирования/декодирования видео, проведения специализированных ресурсоёмких математических вычислений и т.п.) позволяют современным 32-разрядным МК быстро выполнять алгоритмы приложений и большую часть времени находиться в режиме ожидания. Это снижает их энергопотребление, обеспечивает оптимальные условия для рассеивания тепла и увеличивает срок службы батарей. Подобная концепция экономичности приобретает всё большую популярность на новых рынках встраиваемых приложений, требующих не слишком частых, но ресурсоёмких вычислений (биометрическая идентификация, распознавание речи, шифрование данных).

Возможность «вертикального» (при переходе между платформами разной разрядности) и «горизонтального» (в пределах платформы одной разрядности) масштабирования характеристик микроконтроллеров является важной чертой продуктовых линеек МК. Оценка возможностей масштабирования позволяет сделать правильный выбор платформы на стратегическую перспективу, закладывая основы и для расширения списка приложений, и для модернизации реализованных проектов.

Сегодня новые приложения часто проходят обкатку на потребительском рынке, где, наряду с реализацией заявляемых технических возможностей, важна оптимизация цены, а также хорошее знакомство с платформой для сокращения сроков разработки и быстрого выхода на рынок. Стало быть, иногда приходится использовать 8- и 16-разрядные МК. После подобного массового бета-тестирования может появиться необходимость переноса приложения на более масштабную и современную платформу промышленного или корпоративного уровня. Такие задачи возникают в медицинском приборостроении, в сфере технологий общественной безопасности и в энергетике (приложения семейства Smart Grid).

При решении задачи масштабирования возможен и «прямолинейный»

подход, когда проводится разработка с «нуля», включающая выбор новой аппаратной платформы с большими вычислительными возможностями и/или расширенными возможностями подсистемы ввода/вывода и разработку программного кода приложения. Недостатки этого подхода – в больших затратах ресурсов. До 80% этих затрат приходится на генерацию кода и отладку программной части приложения. Более предпочтительным подходом является разработка, в той или иной степени использующая программный задел, а также уже освоенный инструментарий.

ВОЗМОЖНОСТИ ВЕРТИКАЛЬНОГО МАСШТАБИРОВАНИЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРНЫХ ПЛАТФОРМ

Технологии масштабирования между 8- и 32-разрядными платформами поддерживаются некоторыми поставщиками МК, которые предлагают своим заказчикам возможности оптимизации трудозатрат на подобное копирование. Возможность «прозрачной» работы микросхем PIC32 с периферией 16-разрядных и 8-разрядных МК заявлена компанией Microchip Technology. Её клиенты могут использовать привычный набор инструментов разработчика при переходе между микроконтроллерами Microchip Technology разной разрядности. Компанией STMicroelectronics решаются вопросы

унификации периферии 8-разрядной платформы STM8 с периферией 32-разрядных микроконтроллеров STM32.

В рамках концепции Controller Continuum компанией Freescale Semiconductor созданы условия для перехода с 8-разрядных на 32-разрядные платформы. Процессорное ядро V1 ColdFire для 32-разрядных МК включает полный набор регистров архитектуры ColdFire и поддерживает ту же модель программирования, что и ядра (V2 – V5/V5e) ColdFire. В то же время ядро V1 использует шинную структуру S08 для работы с теми же периферийными подсистемами, что и восьмиразрядные микроконтроллеры. Это позволяет упростить переход от «низовой» (ultra-low-end) категории ИС на базе ядра RS08 на высокопроизводительные МК на основе 32-разрядного фирменного ядра V5/V5e ColdFire.

Приборы семейства Flexis (поддерживающие Controller Continuum) совместимы по выводам, обеспечиваются одинаковым набором периферийных подсистем, а для разработки приложений на их основе можно использовать общий инструментарий разработчика. Для масштабирования 8-разрядной системы в 32-разрядную можно использовать единую конструкцию платы, программный код и инструментальные средства разработки из состава интегрированной среды разработки (IDE) CodeWarrior Development Studio.

В 2011 г. компания Atmel представила интегрированный пакет инструмента-

рия разработчика Atmel AVR Studio 5, поддерживающий работу со всеми микроконтроллерами AVR с разрядностью 8 и 32 бита и позволяющий использовать подключаемые модули (plug-in's), созданные сторонними компаниями. Этот инструментариий облегчает возможность миграции с вычислительных платформ малой разрядности на 32-разрядные микроконтроллеры.

В состав Atmel AVR Studio 5 входят: редактор, поддерживающий технологии для ускорения генерации кода, программа для создания проектов, библиотека исходных кодов программных модулей AVR Software Framework, компилятор GNU C/C++, симулятор и пользовательский графический интерфейс (front-end visualizer) для всех программаторов и внутрисхемных отладчиков, поддерживающих разработку приложений на основе микроконтроллеров семейства AVR.

Новая среда разработки обеспечивает интерактивный доступ к технической документации, предлагаемой репозитарием Atmel Online Store. Входящая в AVR Studio 5.0 библиотека AVR Software Framework включает более 400 примеров кода приложений для 8-разрядных микроконтроллеров семейства AVR XMEGA и 32-разрядных микроконтроллеров семейства AVR UC3, а также набор драйверов для управления периферией и микросхемами, подключаемыми в качестве внешней обвязки микроконтроллеров, стеки протоколов для коммуникаций на основе проводных и беспроводных технологий, программы декодирования звука, расчёта графики, библиотеки для реализации математических алгоритмов для расчётов с фиксированной и плавающей запятой. По оценкам создателей новой интегрированной среды, при разработке новых приложений в среднем около половины объёма исходного кода может быть использовано из указанных источников.

ГОРИЗОНТАЛЬНОЕ МАСШТАБИРОВАНИЕ 32-РАЗЯДНЫХ ПЛАТФОРМ

Появление открытых процессорных архитектур (ARM, MIPS, Power) даёт новые возможности масштабирования характеристик аппаратных платформ для встраиваемых приложений на независимой от поставщика основе. Как видно из таблицы 2, использование одного и того же процессорного ядра позволяет различным производителям

ИС достигать разных технических и ценовых характеристик микроконтроллеров. Широко распространённые открытые процессорные архитектуры, такие как ARM и MIPS, развиваются на основе «модульного» принципа.

Модули расширения набора инструкций для процессоров на основе архитектур ARM и MIPS позволяют уплотнить код (технология Thumb/ Thumb-2 в ARM-процессорах, расширения MIPS16e и microMips в MIPS-процессорах), эффективно реализовывать алгоритмы цифровой обработки сигналов (расширение DSP ASE для архитектуры MIPS, технология SIMD и сопроцессор NEON для микроконтроллеров с архитектурой ARM). В этих архитектурах используются и другие механизмы ускорения вычислений и сокращения энергопотребления. Среди них следует выделить возможность создания многоядерных конструкций микроконтроллеров (или СпК-микросхем) на основе архитектур ARM (ARM 11 MPCore и Cortex-A9 MPCore), MIPS (MIPS32 1004K и 1074K) и Power (процессоры семейства QorIQ от Freescale Semiconductor), а также возможность использования технологий многопоточности (multithreading) и поддержки 64-разрядных вычислений (одно из преимуществ процессоров на основе архитектуры MIPS при сравнении с архитектурой ARM). Диапазон СпК-процессоров с архитектурой ARM простирается от ИС на базе одного ядра Cortex-M0 (оно, в частности положено компанией Energy Micro в основу SoC-микросхем, которые реализуют радиоинтерфейсы на базе стандартов IEEE 802.15.4, Bluetooth LE и Wireless M-Bus) до двухъядерного процессора Tegra 2 компании NVIDIA (процессор на базе ядер ARM Cortex A9/1 ГГц используется в одноплатных компьютерах, конкурирующих с одноплатными изделиями на базе архитектуры Intel).

Что же касается возможностей архитектуры MIPS, то они «начинаются» с микроконтроллеров на базе ядра MIPS32 M4K, которое положено компанией Microchip Technology в основу семейства 32-разрядных микроконтроллеров общего назначения PIC32. Около 30 компаний используют микросхемы на основе MIPS32 M4K во встроённых системах для мобильной телефонии и цифрового телевидения, кабельных модемов и систем глобального позиционирования, поскольку одной из особенностей MIPS32 M4K является возможность расширения на-

бора инструкций, что позволяет оптимизировать микроконтроллеры для специализированных приложений.

Развитием M4K является новое ядро компании MIPS Technologies – M14K, которое поддерживает расширение microMips, позволяющее снизить объём кода на 30%. При этом ядро M14K обеспечивает по сравнению с MIPS32 M4K расширенные возможности отладки, меньшие задержки обработки прерываний, ускоренное обращение к флэш-памяти. Поддержка программного обеспечения ядра (ОСРВ и ОС класса Linux, инструментариий разработчика) осуществляется компаниями ExpressLogic, Mentor Graphics, Micrium, Montavista, CodeSourcery, Carbon Design и Imperas.

Ядра MIPS32 M4K/M14K рассматриваются компанией MIPS Technologies в качестве конкурентов Cortex-M0/Cortex-M3 на рынке ГВС, однако следует отметить, что сегодня архитектура MIPS в большей степени востребована в платформах, применяемых в мобильном (портативном) оборудовании, предъявляющем высокие требования к коммуникационной и мультимедийной составляющим своего функционала. Ядро MIPS32 M4K лицензировано для разработок мобильных телевизионных систем компанией MaxRise, входящей в группу Macronix International, и для группы продуктов (компактное ядро 4KEc Pro, высокопроизводительное ядро 24K Pro, ядро 34K Pro, поддерживающее многопоточность, суперскалярное ядро 74K, многоядерные системы 1004KTM и 1074KTM и некоторые другие продукты MIPS Technologies) компанией Realtek Semiconductor. Последняя намерена строить на этих ядрах новое поколение ИС для «цифрового» дома, шлюзов, коммутаторов и маршрутизаторов для беспроводной связи. В числе достоинств архитектуры MIPS представители компании Realtek называют возможность «прозрачного» использования наработок в области программного обеспечения на базе ОС Android, Linux, приложения Adobe Flash Player, современных кодеков и web-браузеров.

В компании ARM в качестве перспективных рынков применения микроконтроллеров на основе компактного ядра «общего назначения» Cortex-M0 называют управление освещением, дистанционные измерения и сбор данных, управление приводами и работу с датчиками, медицинское приборостроение и источники питания. Как

показывают первые опыты компании Energy Micro, ядро Cortex-M0 сможет вытеснить восьмиразрядные МК из приложений, где необходима эффективная и гибкая, масштабируемая поддержка технологий беспроводных коммуникаций ZigBee, Bluetooth и USB. СнК-микросхемы EFR4D Draco этой норвежской фирмы реализуют на базе ядра Cortex-M0 такие популярные интерфейсы, как IEEE 802.15.4, Bluetooth LE и Wireless M-Bus, потребляя лишь около четверти энергии, необходимой для работы конкурирующих изделий. Комментируя удобство программирования микроконтроллеров на основе ядра Cortex-M0, представители компании ARM утверждают, что эффективный код приложения можно полностью написать на языке C.

Ядро Cortex-M3 предоставляет разработчикам более широкие возможности. Оно поддерживает свыше 200 прерываний и приоритетов прерываний (для Cortex-M0 эти показатели на порядок меньше). За это придется «заплатить» большими габаритами (43 000 эффективных транзисторов Cortex-M3 против 12 000 Cortex-M0) и энергопотреблением (210 мкВт/МГц

Cortex-M3 против 85 мкВт/МГц Cortex-M0 при создании ядер на базе процессора с топологической нормой 0,18 мкм). В исполнении разных поставщиков одно и то же ядро ARM может привести к созданию микроконтроллеров с разными характеристиками; один и тот же производитель может предложить разные по возможностям МК на базе одной и той же архитектуры.

Например, в линейке микроконтроллеров STM32 на базе ядра ARM Cortex-M3 есть относящиеся к группе Performance, которая обеспечивает наивысшую производительность в семействе, и есть группа Access, ИС которой, имея меньшую рабочую тактовую частоту, предлагаются по цене, сопоставимой с 16-разрядными МК, но имеют почти вдвое большую производительность. Поскольку основной характеристикой ГВС является энергопотребление, важнейшую роль в его минимизации играет написание приложения, а именно тщательный контроль непроизводительных потерь энергии при его отладке. Большую помощь разработчикам здесь способен оказать инструментальный с наглядным интерфейсом контроля утечек энергии (см. рис. 1).



Рис. 1. Отладочный инструментальный, поддерживающий МК компании Energy Micro

Следующими по возрастанию возможностей и технических характеристик в линейке современных ядер ARM для ГВС стоят Cortex-R4 и Cortex-M4.

Ядро Cortex-R4 было одним из первых предложений компании ARM для встроенных приложений реального времени, рассчитанных на системы

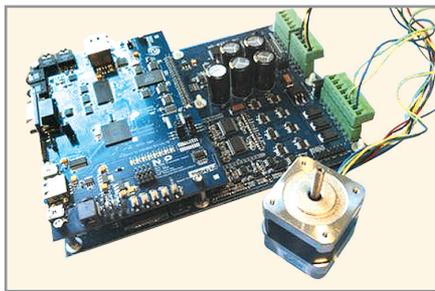


Рис. 2. Демонстрационный комплект управления электродвигателем на базе микроконтроллера NXP LPC4300

управления приводами жёстких дисков, автомобильной безопасности и модемы для беспроводной связи. Это ядро ориентировано на производство по технологическим нормам от 90 нм. Достоинством ядра Cortex-M4 является поддержка инструкций цифровой обработки сигналов и расширения для работы с плавающей запятой (по заказу). Оно позволяет создавать так называемые цифровые сигнальные микроконтроллеры (ЦСМ), сочетающие возможности цифровой обработки сигналов и поддержки режима реального времени в рамках традиционных для продуктов ARM небольшого энергопотребления, площади кристалла и цены микросхемы. В 2011 г. компания NXP продемонстрировала оригинальный двухъядерный ЦСМ типа LPC4300 на основе ядра ARM Cortex-M4 (для выполнения алгоритмов цифровой обработки сигналов) и ядра Cortex-M0 (для осуществления общих функций управления). Микросхема LPC4300 предлагается компанией NXP для приложений по управлению электродвигателями (см. рис. 2).

Если сравнивать ядра Cortex-R4 и Cortex-M4, то первое является более производительным. Ещё выше, с точки зрения производительности, стоит семейство Cortex-A. Продукты этого семейства ориентированы на создание приложений с развитым графическим интерфейсом и ОС семейств Linux и Windows, оптимизированных для встраиваемых приложений. Однако, в отличие от Cortex-R4 и Cortex-M4, ядра серии Cortex-A не предназначены для приложений реального времени. В качестве примера их использования можно привести микросхемы AM3505 и AM3517 на базе ARM Cortex-A8 корпорации Texas Instruments (микроконтроллеры Sitara). Самые высокопроизводительные МК на основе ядра ARM Cortex-A8 от Texas Instruments имеют производительность до 1000

DMIPS при энергопотреблении не более 1 Вт, что позволяет конструировать высокопроизводительные встроенные системы на их основе без использования теплоотводов и вентиляторов.

На отечественном рынке распространена платформа ColdFire, которая допускает широкий диапазон масштабирования ГВС. Семейство ядер ColdFire – это RISC-архитектура, которая поддерживает работу с инструкциями переменной длины и обеспечивает более высокую плотность кода, чем многие конкурирующие 32-разрядные МК. Диапазон максимальных тактовых частот ИС на этой платформе простирается от 50 МГц (ядро V1 ColdFire) до 300 МГц (ядро V5/V5e ColdFire). В микросхемах семейства ColdFire с промежуточным уровнем тактовой частоты реализована аппаратная поддержка алгоритмов ЦОС, шифрования данных (начиная с ядра V2 ColdFire) и операций с плавающей запятой (начиная с ядра V4/V4e ColdFire).

Конфигурируемая периферия в платформах ГВС

Современные СпК-микроконтроллеры для встроенных приложений имеют, как правило, достаточно широкий набор периферийных подсистем либо общего назначения, либо специализированных. Это микроконтроллеры NXP семейств LPC2300/2400 на основе ядра ARM7TDMI-S, среди которых ИС, поддерживающие интерфейсы 10/100 Ethernet, USB, UART, CAN, SPI, SSP, I²C, I2S, имеющие преобразователи АЦП, ЦАП, или специализированный микроконтроллер TMPM370FYFG компании Toshiba на основе ядра Cortex-M3 для реализации алгоритмов векторного управления двигателями. Периферия последнего включает аппаратный ускоритель алгоритма векторного управления, фирменное схемотехническое решение двухканального программируемого драйвера двигателя для управления трёхфазными моторами, а также аналоговую периферию в составе двухканального входа для датчика положения, ОУ и компаратора для реализации аварийного останова, многоканальный 12-разрядный АЦП, многоканальный 16-разрядный таймер, четыре канала SIO/UART.

Гибкие возможности конфигурирования периферийных подсистем обеспечивает программируемая логика. Около 5 лет тому назад компания Atmel вывела на рынок семейство микро-

контроллеров FPSLIC II на основе технологии динамической реконфигурации. Эта технология позволяла использовать полупроводниковые структуры, расположенные в одном и том же месте кристалла, для обслуживания потребностей различных периферийных подсистем и инструкций (технология silicon sharing), сокращая энергопотребление и габариты систем на основе таких ИС.

Кристалл микросхем FPSLIC II включал процессор AVR (40 MIPS, 8 бит), память SRAM (36 Кб) для хранения приложения и данных, аппаратный умножитель, периферию и динамически реконфигурируемую ПЛИС/FPGA, которая поддерживала функции конфигурационного контроллера, двух контроллеров ПДП, интерфейс между FPGA и AVR и виртуальный разъём (virtual SoCket), через который происходило «подключение» функций из библиотеки интерфейсов, периферии и инструкций. Одна и та же область кристалла могла поддерживать умножение, обмен данными, вычисления или шинные интерфейсы SDIO, PCI, PCMCIA, HDLC и Ethernet. «Подключение» функций через виртуальный разъём FPSLIC II осуществлялось в нужный момент времени на основе загруженной во внешнюю флэш-память библиотеки IP-ядер; время реконфигурирования составляло менее 15 мс.

При тактовой частоте 4 МГц, используя аппаратное ускорение и обращаясь к внешней флэш-памяти, микросхемы FPSLIC II потребляли ток 9,2 мА в четыре раза меньше энергии, выполняя ту же работу, что и RISC-процессор (200 МГц, 32 бита). По сравнению же с полной реализацией функций FPSLIC II в микросхеме программируемой логики энергопотребление снижалось в 32 раза.

Сегодня новые технологические возможности микроэлектроники позволяют предлагать варианты ИС на базе ПЛИС/FPGA для ГВС, объединяющие в себе возможности и программируемой логики, и покупных процессорных ядер.

В 2010 г. компания Actel представила платформу SmartFusion на основе матрицы ПЛИС/FPGA для обработки смешанных сигналов (mixed-signal FPGA) с реализованным в ней процессорным ядром ARM Cortex-M3 и программируемым блоком аналоговой подсистемы (АЦП, ЦАП и компараторы). Эта платформа Actel поддерживается средствами разработки приложений на основе IDE от таких компаний – партнёров

Actel, как Keil и IAR Systems, а также OSCPВ компании Micrium. В 2011 г. компания Xilinx анонсировала на выставке embedded world 2011 платформу Extensible Processing Platform (EPP). Входящие в неё микросхемы Zynq-7000 построены на базе программируемой логики (архитектура ПЛИС/FPGA серии Xilinx 7, включающая семейства Virtex 7, Kintex 7, Artix 7) с интегрированным процессорным блоком на базе IP-модуля ARM Cortex-A9 MPCore (мультимедийный сопроцессор NEON и поддержка вычислений с плавающей запятой, кэш-память первого и второго уровня, контроллер памяти), интегрированной поддержкой технологии PCI Express, встроенными 12-битным АЦП с мегагерцовой тактовой частотой. Системные коммуникации между процессорным блоком и остальными ресурсами программируемой логики в микросхемах платформы Xilinx EPP обеспечиваются шиной AMBA4 Advanced Extensible Interface (AXI4), имеющей гигабитную пропускную способность при экономичном энергопотреблении.

Микросхемы Zynq-7010 и Zynq-7020 на базе ПЛИС/FPGA Artix 7 нового семейства микросхем Xilinx Zynq-7000 оптимизированы по энергопотреблению и стоимости. Именно они могут быть использованы для создания встроенных систем портативного оборудования. Эти ИС поддерживают ту же модель программирования, что и обычные SnK-процессоры на базе ядра ARM. Разработчики могут использовать для программирования вычислительного ядра такой привычный для экосистемы ARM инструментарий, как ARM Development Studio 5 (DS-5) и ARM RealView Development Suite (RVDS), а также пакет программ Xilinx Platform Studio Software Development Kit (SDK) и инструментарий, предлагаемый компаниями Lauterbach, Wind River, PetaLogix, The MathWorks, Mentor Graphics, Micrium и MontaVista, которые входят в альянсы ARM Connected Community и Xilinx Alliance Program. Для конфигурирования программируемой логики предлагается инструментарий ISE Design Suite, включающий средства конфигурирования шины AMBA4 AXI4.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Усиливающаяся взаимодополняемость приложений для потребительской и промышленной электроники заставляет обратить особое внимание на возможности масштабирования созда-

ваемого приложения. Промышленные системы активно используют испытанные на массовом потребительском рынке коммуникационные и мультимедийные системы, и оба рынка заинтересованы в развитии технологий информационной безопасности.

При «передаче» приложения в промышленность может потребоваться перевод приложения на более мощную платформу. В отличие от потребительского рынка, промышленный сегмент очень внимателен к возможностям долговременной поддержки

платформ встроенных систем, реализующих все эти технологии. В связи с этим, наиболее предпочтительными платформами для новых разработок потенциально «двойного» назначения являются платформы на базе открытых процессорных архитектур или внутрифирменных архитектур стабильных поставщиков. При этом нельзя не отметить, что в последние несколько лет активизировались процессы расширения номенклатуры МК за счёт изделий на базе ядер с открытой архитектурой.

