

УДК 004:31

А.П. ПЛАХТЕЕВ, П.А. ПЛАХТЕЕВ

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Украина

АНАЛИЗ 32-РАЗРЯДНЫХ АРХИТЕКТУР МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ ВСТРАИВАЕМЫХ И МОБИЛЬНЫХ СИСТЕМ

Анализ 32-разрядных архитектур ядер микроконтроллеров, разрабатываемых и лицензируемых ведущими производителями, показывает стремление к унификации микроконтроллеров на основе ядер ARM7,9 и Cortex-M. Рассмотрены особенности версий архитектуры ARM и основные характеристики ядер. Выделены решения Atmel – серия микроконтроллеров общего применения AT91SAM7S и высокоэффективных конфигурируемых микроконтроллеров AT91CAP7. Проведен анализ проблемы версионных различий систем на основе ядра ARM и средств проектирования. Предложены дополнительные средства отладки программ в режиме реального времени.

Ключевые слова: архитектура, ядро, ARM, микроконтроллер, конфигурирование, средства разработки.

Введение

Рынок микроконтроллеров в 2007 году достиг уровня \$13.9 млрд., что составляет 5% от общего рынка полупроводниковых изделий. Ведущим производителям - Renesas, Freescale, NEC, Fujitsu, Infineon и Microchip принадлежит 65% рынка (Market Research Report -2008г.). Анализ темпов прироста различных классов микроконтроллеров (рис.1) показывает, что наибольшие темпы прироста дает сегмент 32-разрядных микроконтроллеров.

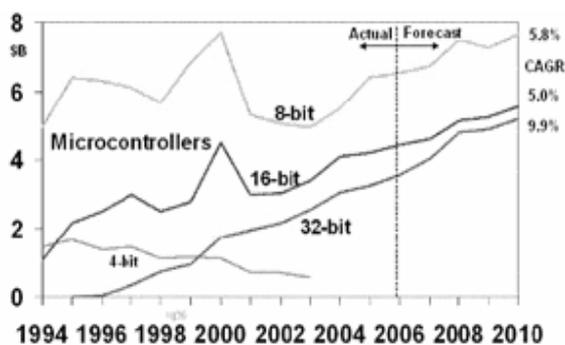


Рис. 1. Объем и прогноз годового темпа прироста рынка микроконтроллеров (Gartner)

Это обусловлено переходом к беспроводным соединениям со сложными стеками протоколов, совершенствованием и созданием новейших мобильных, ультрамобильных и карманных устройств на основе мощных (10^7 - 10^8 MIPS) и одновременно экономичных 32-разрядных микропроцессоров, микроконтроллеров, систем на кристалле, микроэлектронно-механических систем (MEMS) с унифицированными интерфейсами.

1. Современные архитектуры 32-разрядных микроконтроллеров и микропроцессоров

32-разрядные микроконтроллеры и микропроцессоры строятся на основе различных ядер. Такие производители, как Renesas, Freescale, NEC, Fujitsu, Infineon, Atmel разрабатывают собственные архитектуры. Многие компании, выпускающие 8-, 16-разрядные микроконтроллеры (Microchip, NXP, Samsung STM, Analog Devices, Texas Instruments и др.), став перед необходимостью перехода на 32-разрядные архитектуры предпочли приобрести лицензии на известные решения – MIPS, Power PC и ARM- архитектуры.

На рис. 2 приведены оригинальные и лицензионные ядра, используемые основными производителями микроконтроллеров и микропроцессоров [1–12].

Из приведенных данных следует широкое использование лицензий на процессоры британской корпорации ARM, являющейся одним из крупнейших разработчиков и лицензиаров современной архитектуры 32-х разрядных RISC-процессоров для трех видов систем:

- Встроенные системы реального времени различного назначения.
- Мобильные устройства, работающие под управлением открытых операционных систем - Palm OS, Symbian OS и Windows CE и др.
- Смарт карты, SIM карты и торговые терминалы.

По оценке ARM около 10 млрд. их процессоров используются более 200 производителей электронного оборудования.

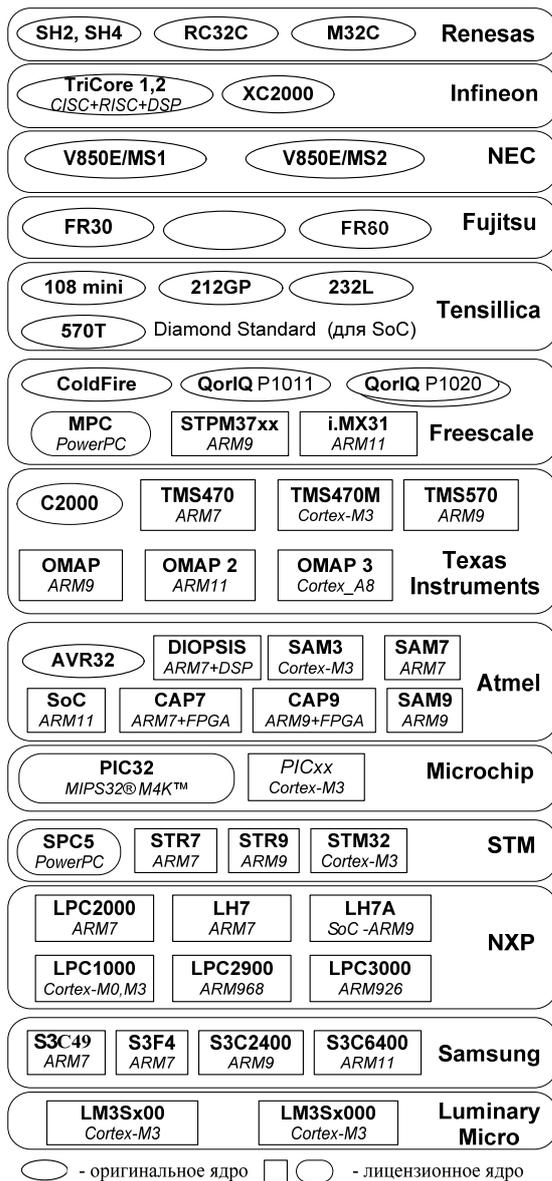


Рис. 2. Ядра 32-разрядных микропроцессоров и микроконтроллеров ведущих производителей

2. Версии ARM – архитектуры

В настоящее время известны семейства ядер микропроцессоров и контроллеров ARM [13], относящихся к поколениям ARMv4–v7 (рис. 3):

ARMv4 (ARM7™, Intel StrongARM®) –самая старая версия архитектуры процессора, поддерживаемая сегодня;

ARMv4T (ARM7EJ-S, ARM7TDMI, ARM7TDMI-S, ARM720T) – добавлены 16-разрядные Thumb® команды, которые позволяют компиляторам получить до 35% более плотный код, чем при использовании 32-разрядных команд;

ARMv5TE (ARM920T, ARM922T) – включает усовершенствования Thumb архитектуры, DSP набор команд, расширение ARM ISA (Instruction Set Architecture);

ARMv5TEJ (ARM926EJ-S, ARM946E-S, ARM966E-S, ARM968E-S, ARM996HS, ARM1026EJ-S) – включен сопроцессор (VFP- Vector Floating Point), Jazelle® - технология ускорения выполнения Java –приложений, 16 x 32- бит умножитель, MOVE Coprocessor декодирования видео. ARM1026EJ-S – макроячейка полностью синтезируемого процессора предоставляет высокий уровень производительности, функциональности и гибкости в SoC приложениях.

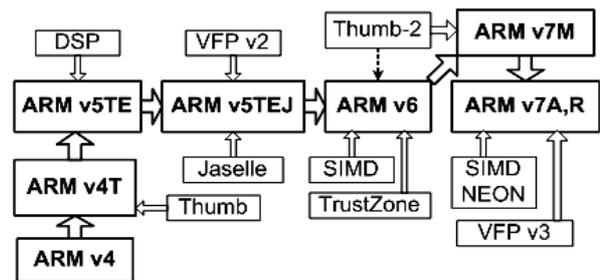


Рис. 3. Версии ARM – архитектуры

ARMv6 (ARM1136J(F)-STM, ARM1156T2(F)-STM, ARM1176JZ(F)-STM, ARM11 MPCore) – включает команды поддержки параллельных вычислений - Single Instruction Multiple Data (SIMD), программное управление выделением областей памяти (TrustZone), поддержку мультипроцессорных вычислений, усовершенствованный VFP10™.

ARMv7 (Cortex-A8,A9,M0-3) – добавлена усовершенствованная Thumb-2 технология сжатия кодов программ, технология NEON™ повышения производительности DSP и мультимедийных приложений до 400%, улучшена обработка чисел с плавающей точкой VFPv3 для следующего поколения 3D графики игр, распознавания и синтеза речи, обработки изображений, аудиокодеков, а также традиционных встроенных средств управления.

ARM Cortex-M1 - первый 32 разрядный процессор с 16- разрядным набором команд Thumb-2®, специально разработанный для реализации в FPGA.

ARM Cortex-M3 - 32 разрядное ядро с 16- разрядным набором команд Thumb-2 со сбалансированными архитектурными особенностями, высокой производительностью и малой стоимостью для 32-разрядных микроконтроллеров.

ARM Cortex-M0 – версия ARM Cortex-M3 с ультранизким потреблением энергии.

Число лицензий, проданных ARM по версиям ядер приведено на рис. 4, а. В наибольшем числе приложений используются ядра - ARM7TDMI и ARM926EJ-S, ставшие фактически промышленным стандартом. Наличие общего ядра в микроконтроллерах различных производителей (рис. 4, б) ограничивает выбор микроконтроллеров и процессоров для построения многоверсионных систем.

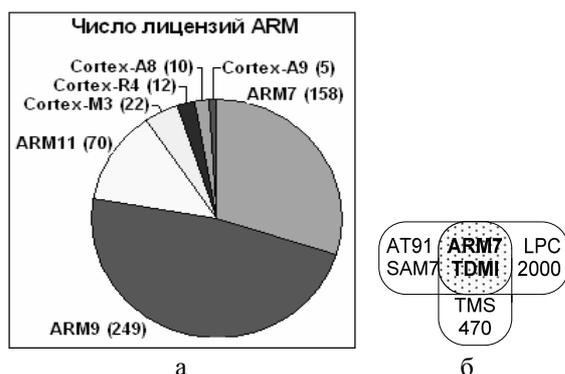


Рис. 4. Использование лицензий на ARM- ядра

3. Технологические аспекты ARM

Продукцией фирмы ARM является техническая документация, необходимая производителям для использования предлагаемых ядер в составе собственных интегральных схем микроконтроллеров, микропроцессоров, систем на кристалле (SoC). Это может быть полностью разработанная топология ядра, либо высокоуровневое описание полностью синтезируемого ядра. В таблице 1 для нескольких ядер приведены основные характеристики – занимаемая на кристалле площадь S (мм²), удельная потребляемая мощность P/F (мвт/Мгц) и тактовая частота F (Мгц).

Из сравнения ядра ARM926EJ с различным размером кэш по значительному изменению площади видна большая ресурсоемкость такой памяти. Этим определяется небольшой объем используемой в ядрах ARM кэш- памяти.

Проектирование ядра может быть выполнено с оптимизацией площади (S) или частоты (F). Так, оптимизация ARM1176 по S (1.6 мм²) достигается при умеренной тактовой частоте 320 Мгц, а оптимизация для достижения максимальной скорости F=620 Мгц приходится увеличивать площадь ядра до 2.65 мм².

Радикальным путем улучшения характеристик ядра является уменьшение технологических норм элементов топологии с 0.18 мкм до 0.13 мкм и 90 нм (рис. 5).

Уменьшение линейных размеров ARM926EJ в 2 раза (с 0,18 мкм до 0,09 мкм) сопровождается уменьшением площади ядра в 6 раз, относительного потребления в 9 раз при увеличении тактовой частоты в 1,7 раза. Абсолютная потребляемая мощность при этом уменьшена в 5,4 раза (с 364 мвт до 67 мвт).

ARM- архитектуры имеют широкий диапазон производительности, характеризуемый тактовыми частотами 40- 1000 Мгц (рис. 6). Микроконтроллеры с ядрами ARM7 и Cortex-M3 работают с тактовыми частотами 40- 125 Мгц, что обусловлено хранением программ в относительно медленной Flash- памяти.

Таблица 1

Характеристики ядер ARM

Процессорное ядро	S, мм ²	P/F, мвт/Мгц	F, Мгц	Размер кэш
0.25 мкм				
ARM7TDMI	1.0	0.80	60	-
0.18 мкм				
ARM7TDMI	0.5	0.25	84	-
ARM926EJ	9.0	1.82	200	16K/16K
Cortex-M3	0.8*	0.19	40	-
Cortex-M0	0.25	0.085	50	-
0.13 мкм				
ARM7TDMI	0.3	0.06	125	-
ARM926EJ	2.4	0.50	238	8K/8K
ARM926EJ	5.1	0.44	243	16K/16K
Cortex-M3	0.17	0.06	50	-
90 нм				
ARM926EJ	1.10	0.20	336	8K/8K
ARM926EJ	1.50	0.20	336	16K
ARM1176	2.65	0.45	620	16K/16K
ARM1176	1.60	0.25	320	16K/16K
65 нм				
Cortex-M0		0.012	270	-

* площадь ядра с периферийными устройствами

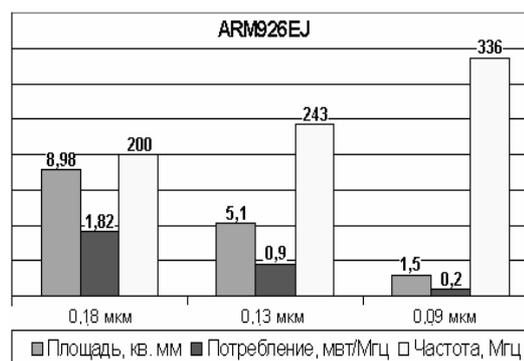


Рис. 5. Влияние технологии изготовления на характеристики ядра ARM926EJ

Вместе с тем, снижение тактовой частоты способствует снижению потребляемой мощности, что очень важно для устройств с автономным питанием.

4. ARM – микроконтроллеры Atmel

Развитие микроконтроллерного направления Atmel [12] имеет хорошую положительную динамику, несмотря на жесткую конкуренцию со стороны Microchip, NXP, STMicroelectronics и др. В 2008 году производство микроконтроллеров фирмы Atmel выросло на 25%, а Microchip – около 2%. Производство 32-разрядных микроконтроллеров Atmel возросло в 2008 году более чем на 30%. Архитектура AVR32, разработанная Atmel выгодно отличается от существующих архитектур и лежит в основе серий - AVR32UC3 и AT32AP7000 высокопроизводительных микроконтроллеров и микропроцессоров.

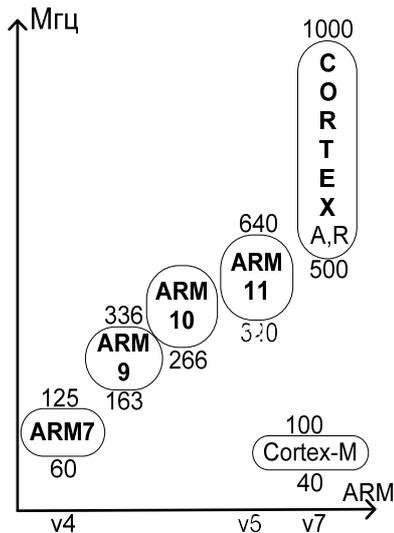


Рис. 6. Производительность версий ARM-ядер

Микроконтроллеры ATMEL на базе ядер ARM поставляются уже достаточно давно, однако лишь с 2005 года в линейке продуктов Atmel появились современные серии AT91SAM7, AT91SAM9, AT91CAP7, AT91CAP9 микроконтроллеров с использованием лицензионных ядер ARM7 и ARM9, занявшие лидирующие позиции среди 32-разрядных микроконтроллеров. Разрабатывается серия SAM3 с использованием ядра Cortex-M3.

AT91CAP7S250/450 – конфигурируемый микроконтроллер на основе ядра ARM7TDMI с встроенными 256 КБ памяти программ, 190 КБ оперативной памяти, богатым набором стандартных интерфейсов и программируемого блока MPB (Metal Programmable Block) с 90 внешними выводами для реализации дополнительных интерфейсов и функциональных блоков. MPB содержит 250000 или 45000 ячеек и 6 слоев конфигурации. Шина внешнего интерфейса (EBI) служит для расширения памяти. Корпус имеет 144-225 выводов. Состав интерфейсов и системных устройств AT91CAP7S приведен на рис. 7.

AT91CAP9S250/500 построены на основе производительного 200 МГц ядра ARM926EJ-S, имеют встроенные 32 КБ ROM и 32 КБ SRAM, богатый набор стандартных интерфейсов. На основе блока MPB может быть реализованы элементы связи резервированных и многопроцессорных систем, что позволяет исключить внешние элементы.

Стоимость схемы на AT91CAP на 30-60% ниже чем в комбинации ARM с FPGA. При этом достигается 8-кратный выигрыш в производительности, поскольку в AT91CAP реконфигурируемая часть взаимодействует непосредственно с шиной АНВ ядра ARM.

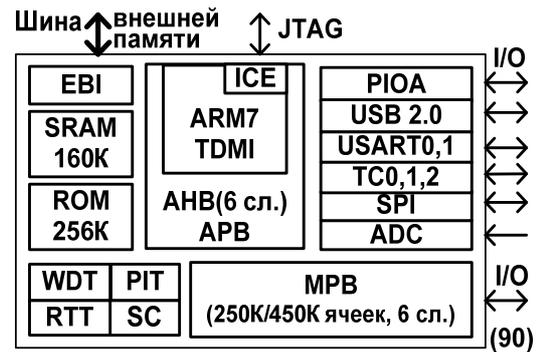


Рис. 7. Конфигурируемый микроконтроллер AT91CAP7

AT91CAP7E, AT91CAP9E – конфигурируемые микроконтроллеры, отличающиеся от AT91CAP7S, AT91CAP9S использованием интерфейса для подключения внешней FPGA к внутренней скоростной 32-разрядной шине АНВ.

26 февраля 2009 года объявлено о разработке конфигурируемого микроконтроллера AT91CAP9H с ядром ARM926EJ-S и программируемым блоком из 2 млн. ячеек.

В серии микроконтроллеров AT91SAM7S32 – AT91SAM7S512 (рис. 8) ядро ARM7 дополнено SRAM (16-64К), Flash (32-512К), внутренними системными устройствами (BCU) и набором стандартных интерфейсов (USB, USART, SPI, SSC).

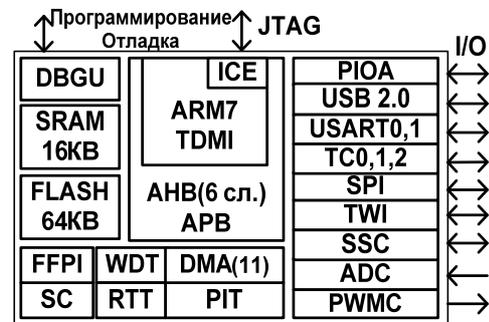


Рис. 8. Микроконтроллер AT91SAM7S64

Отличительной особенностью серии является гибкое управление оборудованием, наличие 11 каналов прямого доступа (DMA) к памяти периферийных устройств, что разгружает ядро, уменьшает энергопотребление и повышает общую производительность.

Это эффективное решение будет перенесено и в серию AT91SAM3.

Микроконтроллеры AT91SAM7Sxx находятся в одной ценовой категории с 8-разрядными микроконтроллерами серии ATmega среднего и высокого уровня сложности, уступая последним только при объеме Flash до 128К (рис. 9).

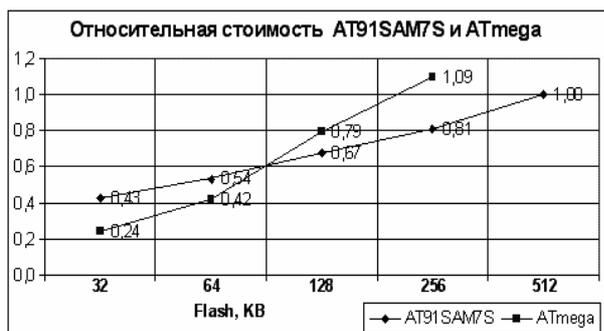


Рис. 9. Сравнение микроконтроллеров AT91SAM7S и ATmega

Для обеспечения функционирования микроконтроллера AT91SAM7xx в системе требуется минимальное число внешних элементов. Состав внешнего периферийного оборудования определяется функциональным назначением системы. Интерфейс JTAG обеспечивает доступ к внутренним элементам микроконтроллера в процессе отладки программ и программирования Flash-памяти программ (до 10000 раз).

Более удобным средством программирования Flash-памяти является встроенный загрузчик SAM Boot Assistant (SAM-BA), связанный с интерфейсами USB и UART (рис. 10).

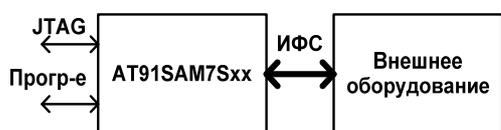


Рис. 10. Построение систем на AT91SAM7

При использовании SAM-BA нет необходимости в использовании специальных программаторов, а обновление программ микроконтроллеров может выполняться через стандартные интерфейсы с использованием специальной утилиты SAM-BA.

5. Средства разработки для микроконтроллера AT91SAM7

Для ARM-микроконтроллеров и процессоров как самой корпорацией ARM, так и сторонними фирмами разработано множество программных инструментальных средств, операционных систем, библиотек и пакетов прикладных программ, а также оценочных и макетных плат. Это дает возможность широкого выбора альтернативных средств разработки. Возможный набор включает следующие средства разработки:

1. Интегрированная среда IDE IAR Embedded Workbench.

2. Утилита SAM-BA (программатор).
3. Отладочная плата AT91SAM7LIGHT (ARM МКU-микроконтроллерное устройство).
4. Адаптер JTAG Wiggler (BCO-внутрисхемный отладчик).

Интегрированная среда IDE IAR Embedded Workbench [14] включает: редактор текстов программ, IAR Assembler for ARM, IAR C/C++ Compiler for ARM, IAR C-SPY Debugger.

Отладочная плата AT91SAM7LIGHT (рис. 11) имеет невысокую стоимость и содержит следующие элементы: микроконтроллер AT91SAM7S64, элементы синхронизации и питания, разъемы USB и JTAG, контакты порта PIOA, а также переключки для задания режима работы.

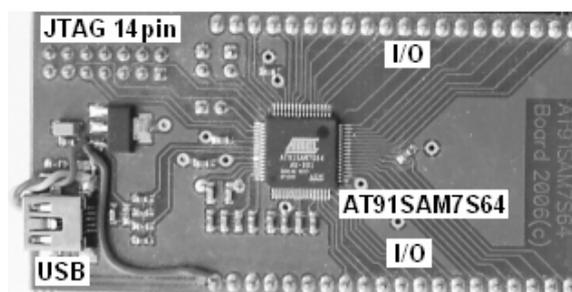


Рис. 11. Отладочная плата AT91SAM7LIGHT

Разработка приложения на основе ARM-микроконтроллера представляет собой итерационный процесс (рис. 12).

Средства внутрисхемной отладки микроконтроллера AT91SAM7S64 имеют ограниченные возможности по установке точек останова для слежения за логикой работы программы.

Если предусмотреть формирование диагностических кодов Y0 в процессе функционирования программы, то с помощью специального программно-аппаратного монитора можно создать log-файл последовательности кодов Y0 для последующего анализа.

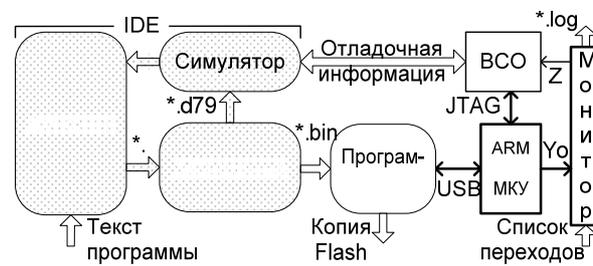


Рис. 12. Порядок разработки

В режиме реального времени можно фиксировать сбои в ходе программы и воздействием Z на BCO остановить программу и провести анализ со-

стояння регистров и памяти.

Выводы

ARM – архитектура становится фактическим стандартом для 32- разрядных приложений. Atmel предлагает серию AT91SAM7S перспективных ARM-микроконтроллеров и настраиваемые микроконтроллеры AT91CAP7S, E и AT91CAP97S, E, H, которые позволяют значительно сократить сложность специализированных и многопроцессорных систем. ARM - архитектура поддерживается большим числом альтернативных средств разработки, пригодных для создания многоверсионных систем.

Литература

1. STMicroelectronics [Электронный ресурс] – Режим доступа до сайту: <http://www.stm.com/>.
2. NXP [Электронный ресурс] – Режим доступа до сайту: <http://www.standardics.nxp.com/>.
3. Freescale semiconductors [Электронный ресурс] – Режим доступа до сайту: <http://www.freescale.com/>.
4. Luminary Micro [Электронный ресурс] – Режим доступа до сайту: <http://www.luminarymicro.com/>.
5. Microchip [Электронный ресурс] – Режим доступа до сайту: <http://www.microchip.com/>.
6. Texas instruments [Электронный ресурс] – Режим доступа до сайту: <http://www.ti.com/>.
7. Renesas [Электронный ресурс] – Режим доступа до сайту: <http://www.renesas.com/>.
8. Tensilica [Электронный ресурс] – Режим доступа до сайту: <http://www.tensilica.com/>.
9. Infineon Technologies AG [Электронный ресурс] – Режим доступа до сайту: <http://www.infineon.com/>.
10. Samsung Electronics [Электронный ресурс] – Режим доступа до сайту: <http://www.samsung.com/>.
11. Fujitsu Group [Электронный ресурс] – Режим доступа до сайту: <http://www.fujitsu.com/>.
12. Atmel [Электронный ресурс] – Режим доступа до сайту: <http://www.atmel.com/>.
13. ARM [Электронный ресурс] – Режим доступа до сайту: <http://www.arm.com/>.
14. IAR Systems [Электронный ресурс] – Режим доступа до сайту: <http://www.iar.com/>.

Поступила в редакцию 12.01.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. кафедры компьютерных интеллектуальных систем и сетей А.В. Дрозд, Одесский национальный политехнический университет, Одесса, Украина.

АНАЛІЗ 32-РОЗРЯДНИХ АРХІТЕКТУР МІКРОКОНТРОЛЕРІВ ВБУДОВАНИХ ТА МОБІЛЬНИХ СИСТЕМ

А.П. Плахтєєв, П.А. Плахтєєв

Аналіз 32- розрядних архітектур ядер мікроконтролерів, що розробляються та ліцензуються головними виробниками показує прагнення до уніфікації мікроконтролерів на основі ядер ARM7,9 і CORTEX-M. Розглянуті особливості версій архітектури ARM і основні характеристики ядер. Виділені рішення Atmel – серія мікроконтролерів загального застосування AT91SAM7S і високоефективних мікроконтролерів AT91CAP7, що конфігуруються. Проведений аналіз проблеми версійних відмінностей систем на основі ядра ARM і засобів проектування. Запропоновані додаткові засоби відлагодження програм в режимі реального часу.

Ключові слова: архітектура, ядро, ARM, мікроконтролер, конфігурування, засоби розробки.

THE ANALYSIS OF 32-bit ARCHITECTURE OF MICROCONTROLLERS OF BUILT IN AND MOBILE SYSTEMS

A.P. Plakhtyeyev, P.A. Plakhtyeyev

The analysis of 32-bit architecture of microcontrollers' nucleus, developed and licensed by leading manufacturers, shows a tendency to unify microcontrollers on the basis of nuclei ARM7, 9 and Cortex-M. The features of the ARM architecture versions and main characteristics of nuclei have been considered. The Atmel decisions are distinguished – a series of AT91SAM7S microcontrollers of general usage and highly efficient configured AT91CAP7 microcontrollers. The analysis of the problem of version differences of the systems on the base of nucleus ARM and design tools has been made. The additional tools to adjust the program in real time environment have been offered.

Key words: architecture, nucleus, ARM, microcontroller, design tools.

Плахтєєв Анатолій Павлович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автоматизації и комп'ютерно-інтегрованих технологій Харківського національного автомобільно-дорожного університета, Харків, Україна.

Плахтєєв Павел Анатольевич – асистент кафедри інформатики Харківського національного автомобільно-дорожного університета, Харків, Україна.