

Раздел 3 Тенденции развития встраиваемых микропроцессорных систем

Процессоры с ядрами ARM на данный момент являются достаточно популярными для мобильных устройств и встраиваемых систем различного применения. Самые массовые из них — это мобильные телефоны, смартфоны, коммуникаторы, мультимедийные устройства. Архитектура обладает такими привлекательными свойствами, как удобная и эффективная система команд, мощная поддержка при разработке аппаратной базы и программного обеспечения, высокая энергоэффективность. Относительно недавно было заявлено о разработке мультиядерной архитектуры на базе ARM, что открывает данным процессорам путь на рынок высокопроизводительных приложений. В частности, одно из возможных применений — ноутбуки, сравнимые, а то и превосходящие их аналоги на архитектуре x86.

На данный момент компанией ARM представлены три мультиядерные архитектуры: ARM11 MPCore **TM**, Cortex-A9 MPCore **TM** и Cortex-A5 MPCore **TM**. Каждая из этих архитектур может масштабироваться от одного до четырех процессорных ядер (ARM11, Cortex-A9 и Cortex-A5). Код, написанный для одиночных процессоров, также может исполняться и на мультиядерных.

Целевая область применения процессоров MPCore лежит в области мобильных приложений с высокими требованиями по производительности совместно с ограниченными энергетическими ресурсами. Благодаря масштабируемой пиковой производительности данный процессор может достаточно легко справляться с требованиями современных высокопроизводительных встраиваемых приложений при сохранении инвестиций в программное обеспечение в условиях развивающегося рынка.

Общая характеристика мультиядерных ARM-процессоров

Процессоры MPCore поддерживают полностью когерентный кэш данных, существенно упрощая как симметричный, так и асимметричный мультипроцессинг, собственно, как и любую другую мультипроцессорную технологию.

Производительность приложений увеличивается благодаря возможности разделения ядрами данных кэша, возможности распределения и балансирования вычислительной нагрузки между процессорами, портирования многозадачных приложений, а также масштабируемости приложений за счет эффективной загрузки процессора многопоточными приложениями, характерными для современного программного обеспечения. Возможность передачи данных между кэшами процессоров позволяет процессорам эффективно разделять данные без необходимости доступа в память.

Оптимизированный кэш первого уровня существенно ускоряет операции с данными при сохранении достаточно низкого энергопотребления. Аппаратная реализация индексации и тэгирования данных кэша снимают временные издержки при устранении наложения адресов или необходимости очистки кэша в ходе смены контекста в операционной системе. Кэш данных используется как при операциях чтения, так и при записи данных совместно с адаптируемым буфером записи, который позволяет существенно снизить количество обращений к основной памяти и может формировать запросы на массивованную передачу данных из нескольких запросов к памяти. Уникальная система кэш-памяти ускоряет выделение пространства кэша, в результате чего оно выполняется всего за один цикл.

Процессоры MPCore позволяют производителю использовать одни и те же ядра с различными конфигурациями для продуктов с различными свойствами и требованиями.

К настоящему времени лицензия на выпуск процессоров ARM MPCore приобретена более чем 15 компаниями, включая Broadcom, NEC Electronics, NVIDIA, Renesas Technology, Toshiba and Sarnoff Corporation, и воплощена в большом количестве приложений и устройств, представленных на современном рынке. Технология существенно расширяет спектр приложений, предлагая более эффективные модели операций.

Все мультиядерные решения от ARM базируются на шинной архитектуре AMBA 3 AXI, дающей возможность подключать к процессорам не только память и периферийные устройства, но и другие процессоры. Шинный интерфейс процессоров MPCore и масштабируемость позволяют настраивать производительность системы, оптимизировать ее энергопотребление и снижать

общую стоимость решения и риск морального старения при переходе к следующему поколению цифровых устройств. Интеграция с существующими системными компонентами также снижает риски, связанные, например, с поддержкой операционных систем и продуктов на базе данных процессоров. Работает стандартная для ARM- архитектур модель программирования с поддержкой существующих операционных систем и приложений. Доступны совместимые с Linux 2.6 SMP операционные системы и инструменты разработки.

Занимаемая процессорами площадь на кристалле, диапазон рабочих частот и потребляемая мощность зависят от использованного при реализации технологического процесса, библиотек компонентов и оптимизации.

Несмотря на различия в ядрах и некоторые различия в построении мультиядерных вариантов процессоров, есть ряд технологий, поддерживаемый ими всеми.

Технологии ускорения выполнения Java-приложений — Jazelle DBX и Jazelle RCT для оптимизации процесса адаптивной компиляции "на лету" (Just In Time (JIT) and Dynamic Adaptive Compilation (DAC)), а также для уменьшения расхода памяти — максимум в три раза.

Технология TrustZone предназначена для обеспечения безопасности транзакций, управления цифровыми сертификатами, создания базы для проверки и защиты прав (Digital Rights Management (DRM)).

ARM11 MPCore

Синтезируемый процессор ARM11 TM MPCore TM поддерживает микроархитектуру ARM11 и может содержать от одного до четырех процессоров (рис. 1), достигая производительности до 2600 DMIPS; имеет расширенную полосу пропускания памяти порядка 1,3 Гб/с для одиночного процессора.

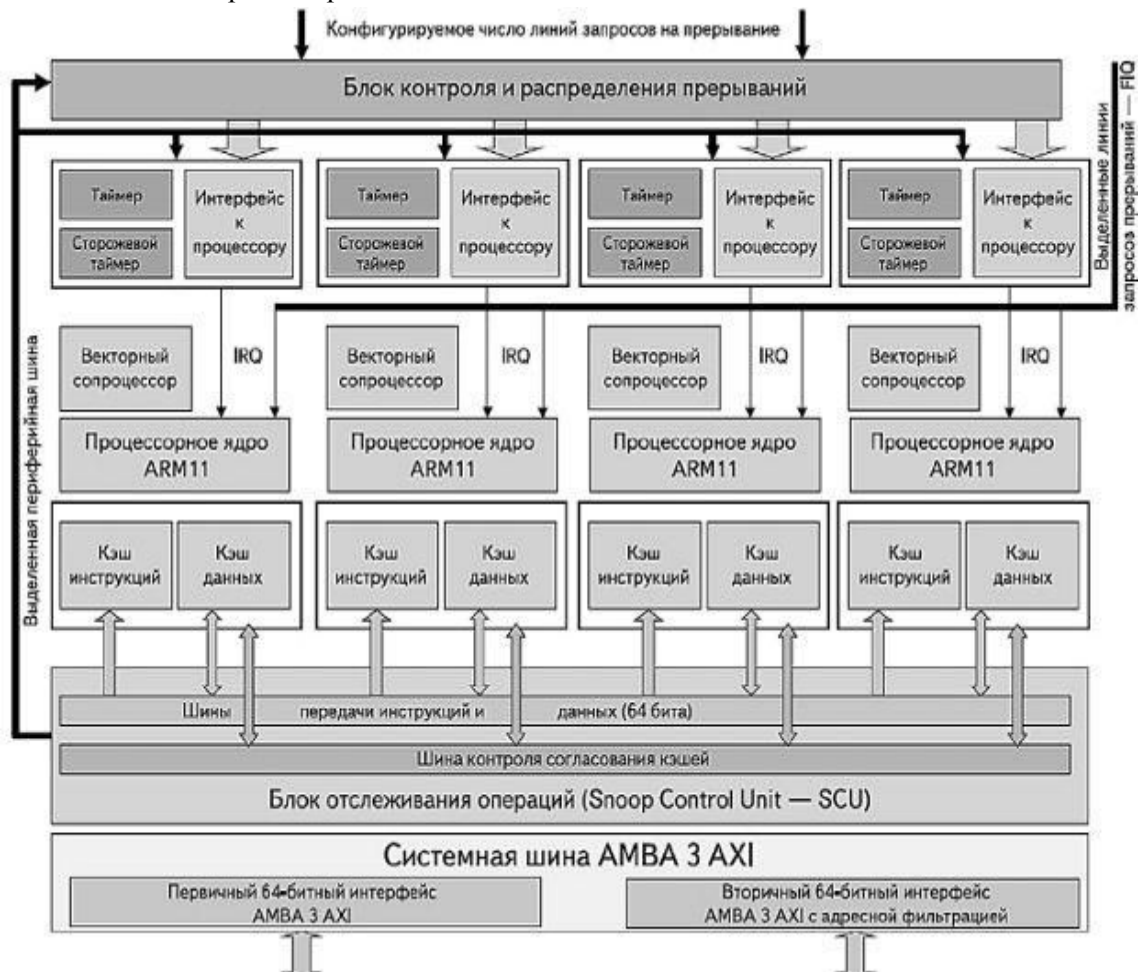


Рис. 1. Структура процессора ARM11 MPCore
Процессоры ARM11 MPCore поддерживают архитектуру ARMv6 с поддержкой Thumb

® , расширений цифровой обработки сигналов, SIMDмультимедийной обработки данных и ARM Jazelle ® Java.

У процессора высокопроизводительная подсистема памяти. Каждый процессор имеет свои независимые кэши данных и инструкций с поддержкой согласования данных. Размер кэшей инструкций и данных можно независимо изменять в пределах от 16 Кб до 64 Кб индивидуально для каждого ядра.

Поддерживается 64-битный интерфейс AMBA AXI ™ с одиночной или двойной 64-битной шинной системой AMBA 3 AXI. Системная 64-битная шина AMBA 3 AXI упрощает обмен данными в системе при достаточно большой полосе пропускания и простой системе тактирования.

Векторный сопроцессор (Vector Floating Point coprocessors) работает с числами в формате с плавающей точкой.

Блок контроля и распределения прерываний является программируемым — возможно сконфигурировать до 255 независимых источников аппаратных прерываний

Добавлена система управления энергопотреблением: мультипроцессор имеет возможность отключать неиспользуемые ресурсы и процессоры (Adaptive Shutdown), что в итоге дает динамическое энергопотребление порядка 0,49 мВт/МГц — экономится до 85% энергии.

ARM11 MPCore позволяет разработчикам систем на кристалле рассматривать отдельный процессор как одиночный процессор, упрощая тем самым процесс разработки и уменьшая время выхода продукта на рынок.

Технические характеристики:

- 90-нм технологический процесс;
- рабочая частота — 320-620 МГц;
- занимаемая площадь с кэшем 1,77 мм²;
- размер кэша — 16 Кбайт / 16 Кбайт;
- потребляемая мощность — 0,23-0,43 мВт/МГц (без кэша — 0,180,37 мВт/МГц).

Занимаемая ядром площадь, диапазон рабочих частот и потребляемая мощность зависят от использованного при реализации технологического процесса, библиотек компонентов и оптимизации. Приведенные числа получены при следующих условиях производства: технологический процесс — TSMC; стандартный набор библиотек компонентов — ARM Artisan.

Серия Cortex-A MPCore

Процессоры семейства Cortex-A MPCore ™ [49-50-51] — Cortex-A5 MPCore ™ и Cortex-A9 MPCore ™ — помимо небольшой занимаемой площади и энергоэффективности обладают богатым арсеналом возможностей и функциональностью архитектуры ARMv7, что в итоге дает высокую производительность и низкое энергопотребление, как на специфических прикладных приложениях, так и для устройств общего плана. Поддерживается также технология Thumb ® -2, обеспечивающая высокую производительность при одновременном уменьшении размера кода на 30%.

Процессоры, входящие в состав мультипроцессоров Cortex-A MPCore ™, имеют блок операций с плавающей точкой, способный выполнять операции с одинарной и двойной точностью. Он обладает примерно вдвое большей производительностью, чем предыдущие версии ARM FPU.

Архитектура ARM Cortex-A5/A9 (рис. 2)



Рис. 2. Структура процессоров Cortex-A MPCore

имеет мультимедийное 128-битное SIMD расширение архитектуры — NEON, предназначенное для поддержки мультимедийных операций и функций цифровой обработки сигналов (например, для ускорения работы таких алгоритмов, как H.264 или MP3). Также данный модуль расширяет систему команд набором инструкций ARM NEON Advanced SIMD, впервые представленным с процессором Cortex-A8.

Блок предсказаний ветвлений поддерживает целевые проходы и буферы глобальной истории, при этом точность предсказаний, согласно тестам, будет порядка 95%.

Подсистема памяти обладает возможностью загрузки данных в кэш первого уровня за один цикл. Оптимизированная подсистема AMBA AXI обладает полосой пропускания, которая более чем в три раза шире, чем у процессоров ARM1176JZ-S.

Добавлена поддержка нескольких разобщенных транзакций с внешней памятью для более полной загрузки процессора.

Начиная с процессора Cortex-A9 MPCore мультипроцессорная технология MPCore включает в себя следующие решения и технологии:

- порт ускорения согласования — Accelerator Coherence Port (ACP) — для увеличения системной производительности и снижения энергопотребления;
- блок Advanced Bus Interface — для снижения задержек в устройствах с высокими требованиями к полосе пропускания.

Компоненты Program Trace Macrocell и CoreSight TM Design Kit позволяют разработчику отслеживать выполнение программы либо с сохранением истории выполнения в буфер кристалла, либо с выдачей ее через стандартный отладочный интерфейс, что весьма упрощает процесс разработки и отладки программ.

Технология Multicore TrustZone [®] имеет виртуализацию прерываний для аппаратной поддержки защиты данных и расширенных возможностей решений по виртуализации приложений.

Общий контроллер прерываний — Generalized Interrupt Controller (GIC) — предназначен для поддержки портативности программного обеспечения и оптимизации межпроцессорного обмена.

ARM Cortex-A9 MPCore. ARM Cortex-A9 MPCore поднимает *пиковую производительность* на новый высокий уровень при одновременной поддержке простоты решений и возможностей контроля потребляемой мощности, как на уровне процессора, так и на уровне системы в целом.

Процессор Cortex-A9 MPCore имеет возможность оптимизации производительности приложений и по скорости выполнения, и по потребляемой мощности.

Основные возможности включают в себя следующее.

- Энергоэффективный *суперскалярный* конвейер производительностью более 2,0

DMIPS/МГц.

- Оптимизированный по производительности и потребляемой мощности кэш первого уровня совмещает минимальное время задержки и минимальное энергопотребление. Добавлен контролер кэша второго уровня, позволяющий осуществлять доступ с малыми временами задержки и высокой пропускной способностью к кэш памяти размером до 2 Мб.
- *Мультимикропроцессор Cortex-A9* MPCore иллюстрирует практически линейную масштабируемость производительности на различных тестах.
- Процессоры *ARM Cortex-A9* — и одиночный вариант (рис. 3), и *мультимикропроцессор* — поддерживают ряд специфических расширений *ARM*-архитектуры, в том числе: *DSP*, *SIMD*, Jazelle[®], TrustZone, *Intelligent Energy Manager* (IEM[™]). В дополнение к этому *ARM* разработала ряд поддерживающих технологий для сокращения времени разработки и сокращения времени выхода продукта на рынок.

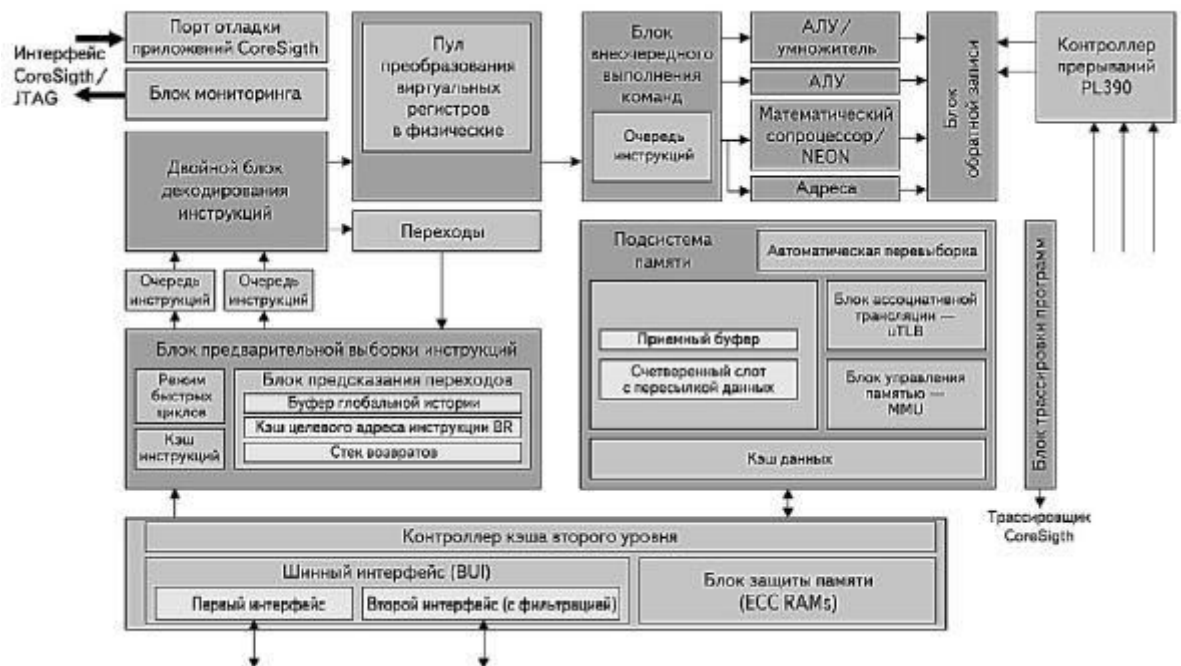


Рис. 3. Структура процессора ARM Cortex-A9

Данная *поддержка* включает в себя компоненты *IP*, системные средства разработки и отладки, библиотеку стандартизованных макроячеек и памяти — *ARM Advantage*.

Компоненты *Physical IP* включают широкий спектр продуктов, в том числе стандартную библиотеку макроячеек и реализаций памяти для создания высокопроизводительных и низкопотребляющих систем с процессором Cortex-A9. Стандартные макроячейки содержат модули регулирования энергопотребления, позволяющие динамически управлять режимами работы в целях оптимизации энергопотребления с применением таких технологий, как управление частотой, управление напряжением питания, блоки с различным напряжением питания. Библиотеки ячеек памяти также предлагаются с расширенными возможностями управления питанием.

Процессоры Cortex-A9 поддерживаются обширной библиотекой макроячеек PrimeCell[®] *fabric IP*, включая: контроллер динамической памяти — PL341 DDR2; контроллер статической памяти — PL351; конфигурируемый интерфейс межсоединений — PL301 AXI; контроллер кэша второго уровня — PL310 L2 Cache Controller, оптимизированный для высокопроизводительных приложений с использованием процессоров Cortex-A9.

Приложение *AMBA*[®] *Designer tool* позволяет разработчикам систем на кристалле (*SoC*) конфигурировать и оптимизировать подсистемы связей *AXI* и экспортировать их в стандарт *EDA*.

Средство разработки *ARM RealView*[®] *SoC Designer* позволяет осуществлять быстрое

расширение архитектуры, анализ производительности систем на основе Cortex-A9, а также разрабатывать драйверы и критически важные участки кода до того, как станет доступной аппаратная часть. Инструмент *RealView System Generator* предлагает средства моделирования поведения системы на основе ARM-кода.

Технология ARM CoreSight TM используется для быстрой отладки и уменьшения времени выхода продукта на рынок. Процессор применяет технологию *Program Trace Macrocell* для трассировки хода выполнения программы с поддержкой просмотра выполнения инструкций и включает ARMv7-совместимый отладочный интерфейс. Инструмент CoreSight design kit для Cortex-A9 расширяет возможности отладки и трассировки.

Среда разработки программного обеспечения ARM RealView Development Suite включает в себя генератор кода, оптимизированный по производительности и плотности кода, с поддержкой компиляции кода для расширения архитектуры NEON, отладки приложений для мультипроцессора Cortex-A9 MPCore при помощи инструмента RealView ICE and Trace. Процессор Cortex-A9 поддерживается также широким спектром отладочных плат и систем разработки прототипов, как в FPGA, так и в виде программных средств.

ARM Cortex-A5. Процессор ARM TM Cortex [®] -A5 — самый маленький, низкопотребляющий, мультиядерный ARM-процессор, предназначенный для широкого круга устройств: от мобильных устройств типа смартфонов, коммуникаторов, мультимедийных проигрывателей и т. п. до встраиваемых пользовательских или промышленных компьютеров.

Процессор Cortex-A5 (рис. 4) предусматривает возможность миграции решений для большого количества лицензированных ядер, основанных на ARM926EJ-S [®] и ARM1176JZ-S [®]. Обладая производительностью лучшей, чем процессоры ARM1176JZ-S, при уровне энергопотребления и занимаемой площади ARM926EJ-S процессора, Cortex-A5 дает примерно двукратный прирост отношения "производительность/потребляемая мощность" по сравнению со своими популярными предшественниками.

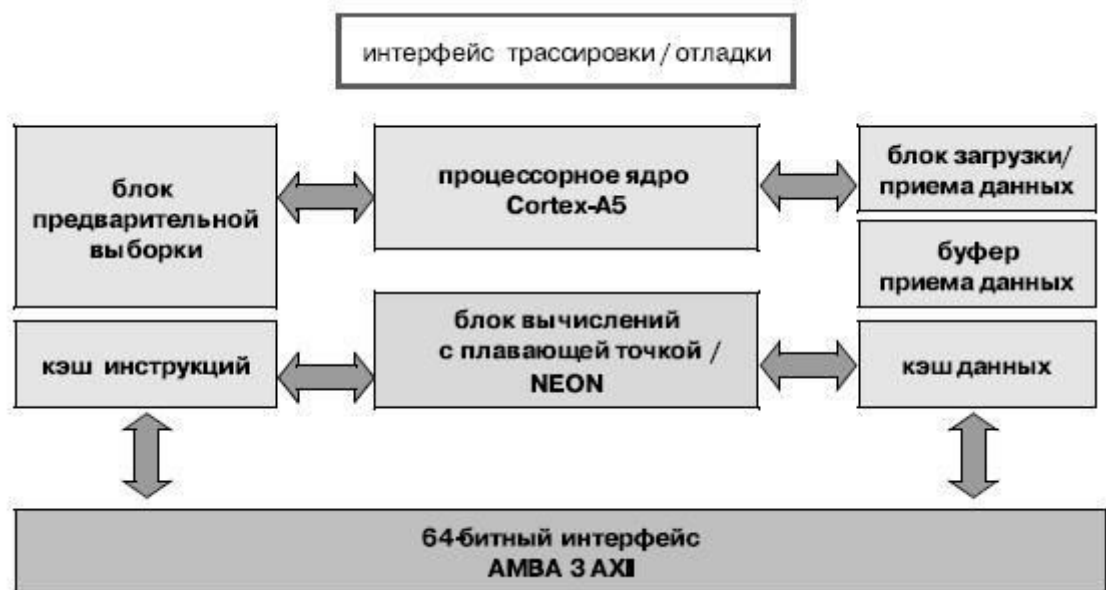


Рис. 4. Структурная схема процессора ARM Cortex-A5

Производительность еще больше увеличивается в мультипроцессорной конфигурации Cortex-A5 MPCore [®].

Процессор ARM Cortex-A5 основан на одноканальном 8-стадийном конвейере с улучшенным блоком предсказания ветвлений. Достижимая производительность — 1.5 DMIPS/МГц.

Одиночный процессор включает в себя 8-уровневый целочисленный конвейер, модуль NEON, блок вычислений с плавающей точкой. Все блоки процессора

оптимизированы по потребляемой мощности и занимаемой площади.

Таблица 1. Сравнительные характеристики мультиядерных процессоров *ARM*

Процессор	Производительность ядра, DMIPS/МГц	Относительное энергопотребление, мВт/МГц	Рабочие частоты, МГц	Размер кэша (инструкций/данных), байт
ARM11 MPCore	1.0	0,23-0,43	320-620	16-64 К /16-64 К
ARM Cortex-A9 MPCore	2,0-2,5		<2000	16-64 К /16-64 К
ARM Cortex-A5 MPCore	1,5	0,12	480	4-64 К /4-64 К

Процессоры изготавливаются по 40-нм технологии, рабочая частота — 480 МГц, занимаемая на кристалле *площадь* — 0,53 мм² (без кэша — 0,27 мм²), размер кэша инструкций/данных — 16 Кбайт/16 Кбайт. *Площадь*, занимаемая процессором с кэшем и блоком расширения *NEON* — 0,68 мм². *Энергопотребление* — 0,12 мВт/МГц. Показатель энергоэффективности — 13 DMIPS/мВт.

Сравнительные характеристики *ARM*-процессоров представлены в таблице 1.

Краткие итоги. Мультиядерные процессоры *ARM* представляют довольно мощную и энергоэффективную платформу для широкого класса приложений. Эти процессоры обладают возможностями мультимедийной обработки данных, поддержкой ряда технологий уплотнения кода и управления питанием. Они базируются на высокопроизводительной системной шине *AMBA*

Целевая область применения: мобильные устройства и встраиваемые системы различного применения — мобильные телефоны, смартфоны, *коммуникаторы*, мультимедийные устройства. *Архитектура* процессоров обладает весьма привлекательными свойствами: удобная и эффективная *система команд*, мощная *поддержка* при разработке и сопровождении продукта, как аппаратной базы, так и программного обеспечения, высокая энергоэффективность.