

## **Закономерности развития компактных микропроцессоров для мобильных устройств**

**Фоменко Анастасия Дмитриевна, Анопrienко Александр Яковлевич**

Донецкий национальный технический университет

Донецк, Донецкая Народная Республика

### ***Аннотация***

*В работе предлагается информационный материал по компактным микропроцессорам, применяющихся в мобильных устройствах, а так же закономерности их развития.*

**Ключевые слова:** ARM, компактный микропроцессор, производительность.

## **Regularities of development of compact microprocessors for mobile devices**

**Fomenko Anastasia, Anoprienko Alexandr**

Donetsk national technical university

Donetsk, Donetsk National Republic

### ***Abstract***

*The article offers information material about compact microprocessors used in mobile devices and the patterns of their development.*

**Keywords:** ARM, compact microprocessor, performance.

### **Введение**

Как известно, за прошедшие несколько лет был достигнут большой прогресс в развитии компьютерной техники и особенно мобильных устройств. Но жизнь не стоит на месте. Ведущие фирмы-производители электронных устройств и компонентов продолжают постоянную работу над усовершенствованием своих изделий. Каким требованиям должны соответствовать мобильные микропроцессоры будущих поколений? Основными из них являются: высокая производительность, огромное увеличение функциональных возможностей и низкое энергопотребление. С целью удовлетворения этих требований работа над усовершенствованием микропроцессорной техники продвигается.

### **Общие сведения о микропроцессорах ARM**

Начать стоит, пожалуй, с того, что в процессорной архитектуре x86, которую сейчас используют компании Intel и AMD, применяется набор команд CISC (Complex Instruction Set Computer), хоть и не в чистом виде. Так, большое количество сложных по своей структуре команд, что долгое время было отличительной чертой CISC, сначала декодируются в простые, и только затем обрабатываются. Понятное дело, на всю эту цепочку действий уходит немало энергии.

В качестве энергоэффективной альтернативы выступают чипы архитектуры ARM с набором команд RISC (Reduced Instruction Set Computer). Его преимущество в изначально небольшом наборе простых команд, которые обрабатываются с минимальными затратами.



Рисунок 1 – Архитектурные отличия процессоров x86 (набор команд CISC) и ARM (набор команд RISC)

Архитектура x86 позиционируется как более универсальная с точки зрения посильных ей задач.

Одним из наиболее популярных процессорных платформ конкретно для мобильных устройств, планшетов и т.д. на сегодняшний день является ARM. За последние 10 лет архитектура опережает все остальные процессорные технологии. Ежегодно рынок ARM контроллеров захватывает все новые и новые типы устройств и технологических решений, а количество выпускаемых кристаллов ARM исчисляется десятками миллионов. На сегодняшний день микропроцессоры Arm применяются практически везде, начиная с мобильных телефонов и заканчивая устройствами электронного управления автомобилями и навигаторами, а так же они внедряются в области, которые были раньше недоступными, такие как настольные и переносные компьютеры и серверные решения.

Компания ARM – британская корпорация, которая считается одним из крупнейших разработчиков и лицензиатом архитектуры 32-разрядных и 64-разрядных RISC-процессоров (с архитектурой ARM), ориентированных на использование в портативных и мобильных устройствах (телефонах, органайзерах и т. п.).

### **Производство ARM**

Бизнесом компании ARM всегда была продажа лицензий на производство ядер и сопутствующих элементов полупроводниковым компаниям, которые создавали микропроцессоры и микроконтроллеры на их основе.

На данный момент ARM не производит и не продает процессоры, сделанные по своим разработкам, но зато дает лицензии на процессоры заинтересованным партнерам. Компания предлагает широкий выбор условий лицензирования, различающихся по стоимости и деталям. Для всех владельцев лицензии поставляется описание аппаратной части ядра, а также полный набор средств разработки программного обеспечения (компилятор, отладчик), а также право продавать произведенные процессоры ARM. Некоторые клиенты занимаются производством процессоров для сторонних компаний. Современные смартфоны, КПК и другие портативные устройства используют в основном версию ядра ARMv7. Ранее широко использовались ядра ARMv5.

Под лицензией ARM к 2005 году было произведено около 1,6 миллиарда ядер. В 2005 году около миллиарда ядер ARM пошло на мобильные телефоны. Годовой отчет ARM за 2006 год сообщает, что в результате лицензирования 2,5 миллиарда единиц (процессоров) был выручен 161 миллион долларов. Это эквивалентно 0,067 доллара за единицу. Однако это очень усредненный показатель — ведь сюда входят и лицензии на очень дорогие новейшие процессоры, и старые дешевые процессоры. По состоянию на январь 2008 года, было произведено более 10 миллиардов ядер, а за 2011 год количество лицензированных ядер оценивалось в 7,9 млрд.

Процессоры архитектуры ARM, по лицензии, полученной от компании, выпускают следующие компании: Apple, Atmel, Broadcom, Freescale, Marvell, Nvidia, Qualcomm, Samsung, Texas Instruments, VIA, Миландр, ЭЛВИС, STMicroelectronics и другие. Есть среди них как известные лишь в узких кругах компании вроде STMicroelectronics, HiSilicon и Atmel, так и IT-гиганты, имена которых у всех на слуху – Samsung, NVIDIA и Qualcomm.

## **Apple**

Apple является ведущей фирмой-лицензиатом от компании ARM. На сегодняшний день ничего не обходится без собственно их разработок, что является достаточно удивительным, ведь Apple всегда старается быть впереди всех.

Рассмотрим продукты компании Apple со стороны использования ею разработок ARM.

Apple A8 — 64-битный 2-х ядерный ARM-микропроцессор компании Apple из серии Apple Ax. Реализует набор инструкций ARMv8-A. Устройства, использующие процессор Apple A8:

1. iPhone 6 и 6 Plus — сентябрь 2014
2. iPod touch 6G — июль 2015
3. iPad mini 4 — сентябрь 2015
4. Apple TV 4-го поколения (2015 года) — сентябрь 2015

Apple A9 — 64-битный 2-ядерный ARM-микропроцессор с архитектурой ARMv8 компании Apple из серии Apple Ax.

Apple A10 (A10 Fusion chip) — 64-битный 4-ядерный ARM-микропроцессор 2016 года с архитектурой ARMv8-A компании Apple из серии Apple Ax.

Устройства, использующие процессор Apple A10:

1. iPhone 7 (сентябрь 2016)
2. iPhone 7 Plus (сентябрь 2016)

Apple A11 (A11 Bionic chip) — 64-битный 6-ядерный ARM-микропроцессор 2017 года с архитектурой ARMv8-A компании Apple из серии Apple Ax. Содержит 4,3 млрд транзисторов.

Устройства, использующие процессор Apple A11:

1. iPhone 8 — с сентября 2017 года;
2. iPhone 8 Plus — с сентября 2017 года;
3. iPhone X — с ноября 2017 года

Apple A8X — 64-битный 3-х ядерный ARM-микропроцессор компании Apple из серии Apple Ax. Реализует набор инструкций ARMv8-A, используется в планшетах iPad Air2.

Процессор содержит около 3 млрд транзисторов и является 64-битным ARM-чипом, с более развитой 64-битной архитектурой и повышенной графической производительностью по сравнению с предыдущим поколением чипов.

Устройства, использующие процессор Apple A8X:

1. iPad Air 2 — октябрь 2014

Apple A7 — 64-битный 2-х ядерный ARM-микропроцессор компании Apple из серии Apple Ax. Микроархитектура Cyclone. Использует набор инструкций ARMv8.

Устройства, использующие процессор Apple A7:

1. iPhone 5S — сентябрь 2013
2. iPad Air (на частоте 1.4 ГГц) — октябрь 2013
3. iPad mini with retina display (iPad mini 2) — октябрь 2013<sup>[16]</sup>
4. iPad mini 3 — октябрь 2014

Apple A6 — двухъядерный ARM-микропроцессор компании Apple из серии Apple Ax. Работает на частоте до 1,3 ГГц.






				
iPhone 7	iPhone 7 Plus	iPhone 8	iPhone 8 Plus	iPhone X
ARMv8-A	ARMv8-A	ARMv8-A	ARMv8-A	ARMv8-A

Рисунок 2 – Эволюция продуктов Apple с использованием ARM

					
iPhone 5s	iPhone SE	iPhone 6	iPhone 6 Plus	iPhone 6s	iPhone 6s Plus
A7 (S5L8960) двухъядерный	A9 (S8000) A9 (S8003) двухъядерный	A8 (T7000) двухъядерный	A8 (T7000) двухъядерный	A9 (S8000) A9 (S8003) двухъядерный	A9 (S8000) A9 (S8003) двухъядерный
ARMv8-A	ARMv8-A	ARMv8-A	ARMv8-A	ARMv8-A	ARMv8-A

Рисунок 3 – Эволюция продуктов Apple с использованием ARM








						
iPhone	iPhone 3G	iPhone 3GS	iPhone 4	iPhone 4S	iPhone 5	iPhone 5c
ARMv6	ARMv6	ARMv7	ARMv7	ARMv7	ARMv7s	ARMv7s

Рисунок 4 – Эволюция продуктов Apple с использованием ARM





			
iPad Pro 9,7"	iPad Pro 12,9" (первое поколение)	iPad Pro 10,5"	iPad Pro 12,9" (второе поколение)
ARMv8-A	ARMv8-A	ARMv8-A	ARMv8-A

Рисунок 5 – Эволюция продуктов Apple с использованием ARM








						
iPad	iPad 2	iPad 3	iPad 4	iPad 5	iPad Air	iPad Air 2
ARMv7	ARMv7	ARMv7	ARMv7s	ARMv8-A	ARMv8-A	ARMv8-A

Рисунок 6 – Эволюция продуктов Apple с использованием ARM

			
iPad mini	iPad mini 2	iPad mini 3	iPad mini 4
ARMv7	ARMv8-A	ARMv8-A	ARMv8-A

Рисунок 7 – Эволюция продуктов Apple с использованием ARM

					
iPod touch 1G	iPod touch 2G	iPod touch 3G	iPod touch 4G	iPod touch 5G	iPod touch 6G
ARMv6	ARMv6	ARMv7	ARMv7	ARMv7	ARMv8

Рисунок 8 – Эволюция продуктов Apple с использованием ARM

			
Apple Watch Series 0	Apple Watch Series 1	Apple Watch Series 2	Apple Watch Series 3
ARMv7	ARMv7	ARMv7	ARMv8-A

Рисунок 9 – Эволюция продуктов Apple с использованием ARM

Но на этом использование ARM компания не останавливается и хочет развиваться в этой области, производя процессоры не только для телефонов и планшетов, а так же и для ноутбуков, выходя на новый уровень на международном рынке. Таким образом компания намерена в ближайшем будущем отказаться от процессоров компании Intel и полностью перейти на ARM, так как возможно создать новые модели более тонкими и с малым энергопотреблением.

«Ноутбуки становятся все тоньше, в то время как потребители требуют лучшей мобильности и более длительного срока службы батареи», - сказал неназванный руководитель отрасли чипов *Nikkei Asian Review*. «Это дает архитектуру ARM, которая известна своей энергоэффективностью, очень хорошая возможность». MacBook Pro уже использует один чип Apple ARM, T1, для запуска сенсорной панели и сенсорного идентификатора.

### **Samsung**

Список устройств на базе ARM, доступных от Samsung: S3C2410A, S3C2416, S3C2440A, S3C44B0X, S3C4510B, S3F4A0KR, S3F4A1HR, S3F4A2FR, S3FM02G, S3FN429.

Samsung S3C2416 - это высокопроизводительный 32-разрядный микроконтроллер RISC на базе ARM926EJ.

Samsung S3C2440A - это высокопроизводительный 32-разрядный RISC-микроконтроллер на основе ARM920T.

Samsung S3C44B0X - это высокопроизводительный 32-разрядный микроконтроллер RISC на ARM7TDMI-S.

Samsung S3C4510B - это высокопроизводительный 32-разрядный микроконтроллер RISC на базе ARM7TDMI.

Samsung S3F4A0KR представляет собой высокопроизводительный 32-разрядный микроконтроллер RISC на базе ARM7TDMI-S.

Samsung S3F4A1HR - это высокопроизводительный 32-разрядный микроконтроллер RISC на базе ARM7TDMI-S.

Samsung S3F4A2FR - это высокопроизводительный 32-разрядный микроконтроллер RISC на базе ARM7TDMI-S.

Samsung S3FM02G - это ARM Cortex-M3 Core.

Samsung S3FN429 - это система и память - 32-разрядная RISC ARM Cortex-M0.

Samsung S3C2410A - это высокопроизводительный 32-разрядный микроконтроллер RISC на базе ARM920T.

Hummingbird - одноядерный процессор ARM Cortex-A8, в 2010 году считался флагманским и стал основой таких прорывных продуктов, как смартфон Samsung Galaxy S и планшет Galaxy Tab. Samsung Hummingbird держится молодцом: позволяет смотреть HD-видео и запускать трехмерные игры.

Exynos 4 Dual. В 2011 году на смену Samsung Hummingbird пришел двухъядерный чип обновленной архитектуры ARM Cortex-A9. В результате, процессор Exynos 4210 покрыл практически всю линейку мобильных гаджетов Samsung образа 2011 года: смартфоны Galaxy S II и Galaxy Note, а также планшеты Galaxy Tab 7.0 Plus и Galaxy Tab 7.7.

Exynos 4 Quad. В 2012 году вместе с выходом смартфона Galaxy S III компания Samsung представила и свой новый процессор – Exynos 4412 (архитектура Cortex-A9, графика Mali-400MP4).

Exynos 5 Dual. В конце 2012 года компания Samsung одной из первых перешла на новейшую на данный момент архитектуру ARM Cortex-A15. Первыми устройствами на его базе стали планшет Nexus 10, лэптоп Chromebook и мини-ПК Chromebox (все три производства Samsung).

Exynos 5 Octa. Начало 2013 года ознаменовалось выходом первого в мире восьмиядерного ARM-процессора – Samsung 5 Octa. Используется процессор Samsung 5 Octa пока лишь в одном устройстве – смартфоне Galaxy S4, да и то лишь в европейской его версии.

Столь большое число лицензиатов вызвано в первую очередь обилием сфер применения ARM-процессоров, причем мобильные гаджеты – это лишь вершина айсберга. Недорогие и энергоэффективные чипы используются во встраиваемых системах, сетевом оборудовании и измерительных приборах. Платежные терминалы, внешние 3G-модемы и спортивные пульсометры – все эти устройства основаны на процессорной архитектуре ARM.

Рассмотрим ARM процессоры с их производительностью:

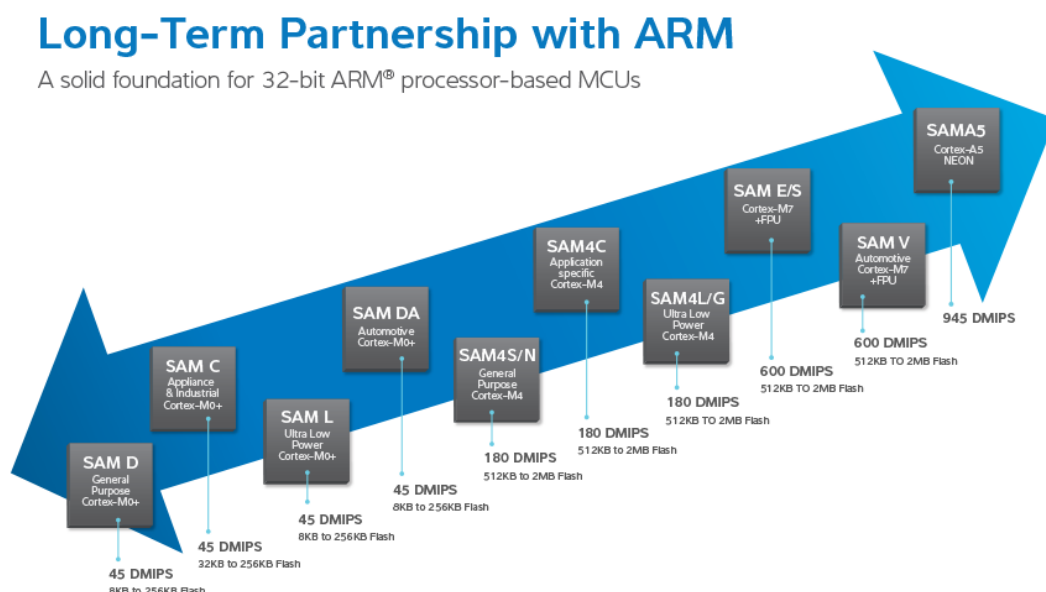


Рисунок 10 – Производительность ARM процессоров

Производительность до 945 DMIPS на частоте 600 МГц благодаря применению блока операций с плавающей запятой (FPU) и технологии ARM Neon для ускорения и повышения точности обработки данных.

DMIPS – Dhrystone millions instructions per second. DMIPS является единицей измерения вычислительной мощности процессора. Dhrystone - это синтетический тест производительности компьютеров, а MIPS - количество миллионов инструкций в секунду. Dhrystone разработанный в 1984 году. Нацелен на тестирование системной (целочисленной) производительности процессоров общего назначения. Тест Dhrystone не содержит операций над числами с плавающей запятой. Результатом теста является Dhrystones per second (количество итераций основного цикла в секунду). Dhrystone выдает результат в форме: Количество итераций в секунду. Часто этот результат приводят к DMIPS (от Dhrystone MIPS) путём деления на 1757. DMIPS можно делить на частоту процессора, чтобы получить DMIPS/MHz. Такие единицы позволяют сравнивать процессоры с разной тактовой частотой.

Ниже представлены графики производительности процессоров ARM, а так же их частота, при помощи которых можно сделать сравнительную характеристику разных ARM процессоров, а так же увидеть тенденцию роста.

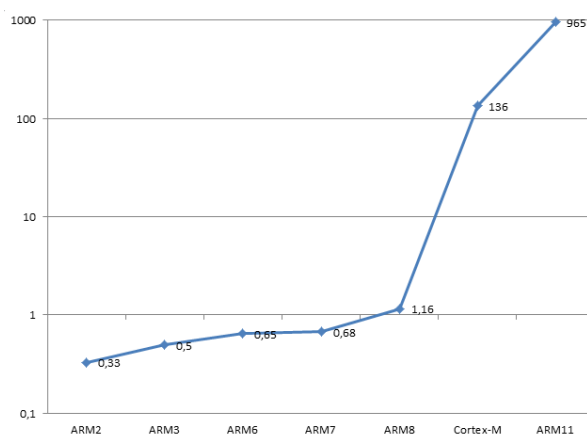


Рисунок 11 – График производительности различных процессоров ARM (DMIPS)

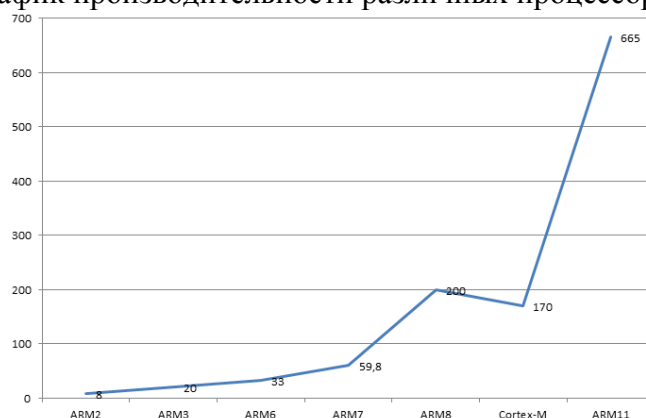


Рисунок 12 – График частоты различных процессоров ARM (MHz)

## Тенденции развития микропроцессоров на базе ARM

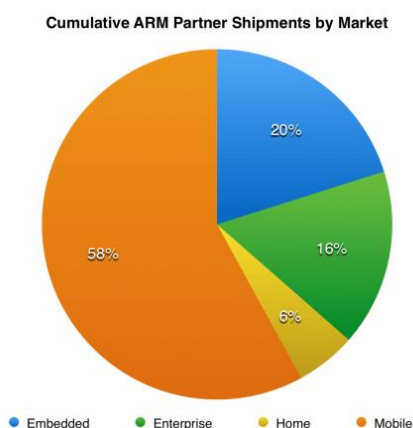


Рисунок 13 – Использование ARM микропроцессоров

Как видно из представленного графика, большинство чипов поступило на мобильный рынок (58%). Второй по значимости рынок для ARM — встраиваемые системы (20%), третий — оборудование для предприятий (16%) и четвёртый — домашняя электроника (6%). Проект процессоров Intel Quark был обусловлен необходимостью создания дешёвого и очень энергоэффективного ядра для различных внутренних проектов, а затем компания решила дать возможность всем желающим использовать его. Сегмент оборудования для предприятий в данном случае касается вовсе не серверов, а устройств вроде роутеров и беспроводных точек доступа. Сектор домашней электроники — это различные телевизоры, приставки и носимые устройства.

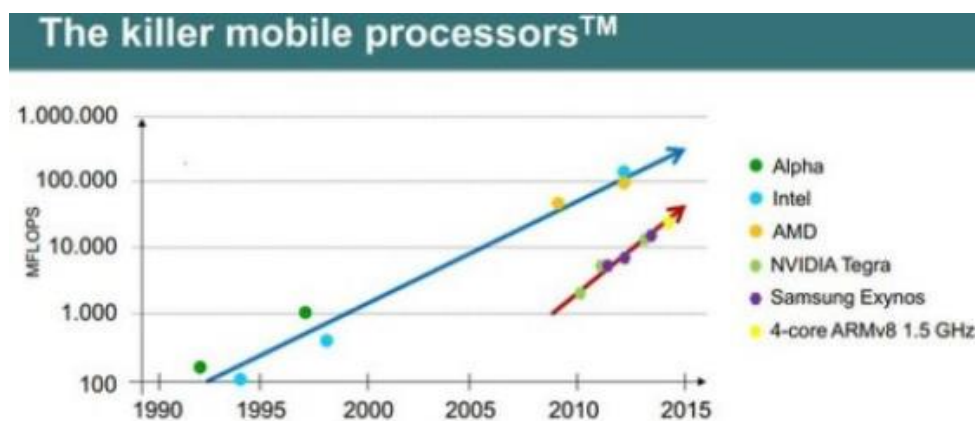


Рисунок 14 – Рост микропроцессоров на основе ARM для мобильных устройств

Стоит отметить, что 75% из 50 млрд чипов были поставлены на рынок в последние семь лет (с 2009 г). Это не должно никого удивлять, ведь именно в указанный период наблюдался быстрый рост популярности современных смартфонов и планшетов. Хотя ARM не предоставляет данные по отдельным ядрам, она составила график по основным семействам процессоров:



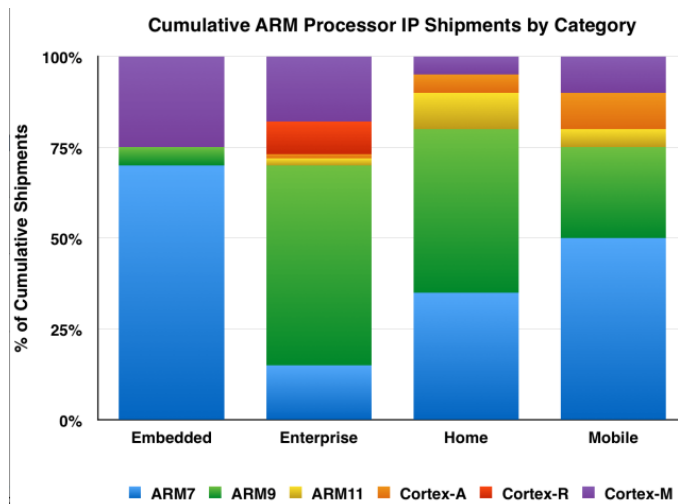


Рисунок 15 – Использование различных ARM за период с 1991 года

Как можно видеть, две трети всех мобильных поставок за период с 1991 года занимают старые решения на базе архитектур ARM7 и ARM9 (стоит вспомнить о упомянутых выше всевозможных модемах). На диаграмме также видно, что доля архитектуры ARM11 (лежала, например, в основе оригинального iPhone) относительно невелика. Как и доля семейства Cortex A, которое стало мощным фактором развития смартфонов и планшетов. На рынке встраиваемых решений доминируют энергоэффективные ядра, а более новые архитектуры Cortex M завоевали значительную долю. То же касается и бизнес-сектора, что лишний раз указывает на малые успехи ARM в области центральных процессоров для серверов.

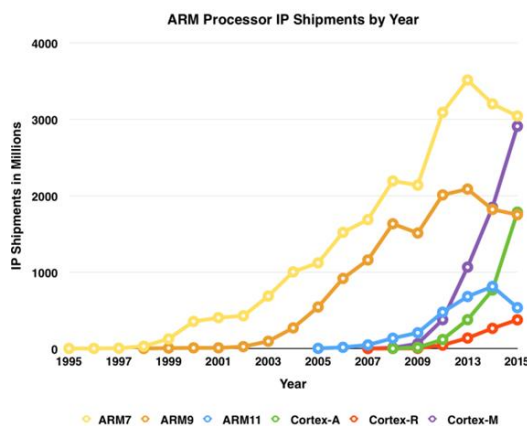


Рисунок 16 – График тенденций развития ARM

График тенденций предельно ясно говорит о том, какие архитектуры являются сейчас движущей силой компании. Пик популярности ARM7 (и ARM9) был в 2013 году и с тех пор наблюдается постепенный спад. В то же время архитектуры Cortex M предельно быстро наращивают популярность с момента анонса и демонстрируют самый мощный рост среди линеек процессоров ARM. Подобная же тенденция наблюдается и в отношении Cortex A, а пик поставок ARM11 пришёлся на 2014 год. Следующие два графика демонстрируют те же данные, но разбивка идёт за последние 7 лет и 4 года соответственно:

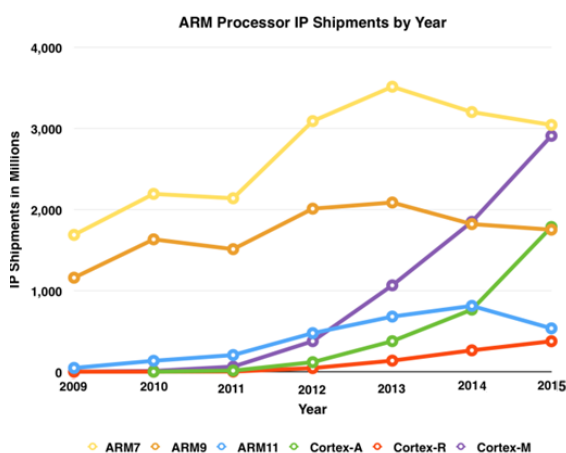


Рисунок 17 – График тенденций развития ARM

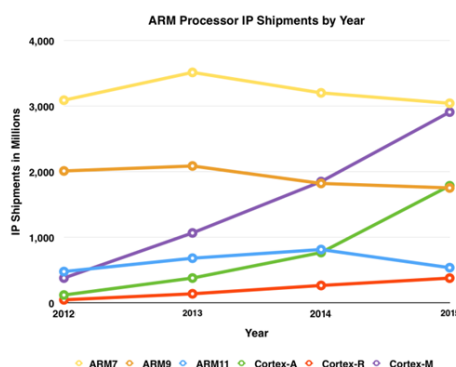


Рисунок 18 – График тенденций развития ARM

Даже после беглого взгляда на графики можно легко понять, настолько мощный рост наблюдается в секторе мобильной электроники. Также интересно, что поставки особенно сильно увеличиваются в высокопроизводительных линейках процессоров. Таким образом, несмотря на концентрацию ARM на рынке энергоэффективных решений, именно серьёзная ставка на производительные архитектуры обеспечивала компании взрывной рост в последние годы.

Вероятно, новые возможности для ARM откроются с разработкой действительно большого и мощного ядра CPU, которое будет специально создано с прицелом только на серверный рынок (а в перспективе — использовано в ноутбуках и настольных системах). Даже если ARM удастся добиться лишь умеренного успеха с таким проектом, это может серьёзно изменить расстановку сил на рынке.

### Заключение

Микропроцессоры на архитектуре ARM успешно завоевали рынок мобильных устройств благодаря низкому энергопотреблению и сравнительно большой вычислительной мощности. Раньше с ARM конкурировали другие RISC-архитектуры, например, MIPS, но сейчас у неё остался только один серьёзный конкурент - компания Intel с архитектурой x86, которая, к слову, хотя и активно борется за свою долю рынка, пока не воспринимается ни потребителями, ни большинством производителей всерьёз.

### Список использованных источников

1. ARM, Advanced RISC Machines [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/ARM\\_\(%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/ARM_(%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F))
2. Процессоры ARM: особенности архитектуры, отличия и перспективы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://itc.ua/articles/protsestoryi-arm-osobennosti-arhitekturyi-otlichya-i-perspektivy/>

3. Решения Atmel на базе ARM [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.atmel.com/ru/ru/products/microcontrollers/arm/default.aspx>
4. GRAPHICS AND MULTIMEDIA MALI GRAPHICSPROCESSORS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.arm.com/products/graphics-and-multimedia/mali-gpu>
5. Dhrystone [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Dhrystone>
6. Apple A7 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://en.wikipedia.org/wiki/Apple\\_A7](https://en.wikipedia.org/wiki/Apple_A7)
7. Apple looking to develop custom ARM chips for future Macs [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://appleinsider.com/articles/17/09/29/apple-looking-to-develop-custom-arm-chips-for-future-macs-cutting-out-intel---report>
8. ХАРАКТЕРИСТИКИ IPHONE [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://appstudio.org/iphone>
9. The Mobile Processor [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.samsung.com/semiconductor/processor/mobile-processor/>
10. Процессоры ARM: производители и модели [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://itc.ua/articles/protssoryi-arm-proizvoditeli-i-modeli/>
11. Рейтинг производительности мобильных процессоров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://blog.price.ua/articles/rejting-proizvoditelnosti-mobilnyih-protssorov/>