

Микроконтроллеры. Прошлое и настоящее

Илья ЛЕБЕДЕВ
lin78@yandex.ru

В статье описана история появления и усовершенствования микроконтроллеров, дается анализ современного рынка микроконтроллеров, его основных игроков и продуктов.

1976–2010 годы

Спустя пять лет после появления первого микропроцессора в 1976 году был создан первый микроконтроллер (МК). Это была микросхема 8048 фирмы Intel. Спроектированный в 1972 году четырехразрядный TMS1000 от Texas Instruments, который содержал ОЗУ (32 байт), ПЗУ (1 К), часы и поддержку ввода/вывода, благодаря своим характеристикам также мог считаться первым из микроконтроллеров. Кроме того, он имел возможность добавления новых инструкций.

Выпущенный в 1980 году микроконтроллер Intel 8051 — классический образец устройств данного класса. Этот 8-битный чип стал первым из семейства микроконтроллеров, которое долго существовало и оставалось ведущим до недавнего времени.

В Минске, Киеве, Воронеже, Новосибирске изготавливали аналоги 8051, на которых выросло целое поколение отечественных разработчиков.

В 1983 году Texas Instruments выпустила цифровой сигнальный процессор TMS32010, который превосходил по параметрам конкурентов и стал родоначальником целой династии DSP.

Другими яркими представителями восьмиразрядных микроконтроллеров стали изделия компании Motorola (68HC05, 68HC08, 68HC11) и микроконтроллеры фирмы Zilog, основанной бывшими сотрудниками Intel (Z8).

Глобальные перемены начались после появления PIC-контроллеров фирмы Microchip. Они очень быстро захватили значительную часть рынка микроконтроллеров благодаря своей неслыханно низкой стоимости. К тому же кристаллы от Microchip не уступали, а нередко и превосходили микроконтроллеры x51 по производительности и не требовали дорогостоящего программатора.

В 1993 году на базе классического микроконтроллерного ядра Intel 8051 был создан первый микроконтроллер Atmel. А в 1996-м корпорация Atmel представила свое семейство чипов на новом прогрессивном ядре AVR — это стало революционным событием, перевернувшим весь мир микроконтролле-

ров. Более продуманная архитектура AVR, быстродействие, превосходящее контроллеры Microchip, привлекательная ценовая политика — все это вызывало интерес многих разработчиков.

В 1999 году замечательное семейство 16-разрядных микроконтроллеров MSP430 компании Texas Instruments вышло на рынок. Инженеры компании вдохновились ставшей сегодня уже легендарной системой команд и архитектурой компьютера PDP-11 компании DEC при разработке микроконтроллеров.

В том же году образовалась компания Cygnal, которая позже совершила настоящий прорыв, оснастив микроконтроллеры усовершенствованным ядром CIP-51. Модернизированное ядро CIP-51 выполняло 70% инструкций за один или два машинных цикла, и вообще не имело инструкций, выполняющихся более чем за восемь машинных циклов. В микроконтроллерах со стандартной архитектурой 8051 все инструкции, за исключением MUL и DIV, выполнялись за 12 или 24 машинных цикла.

Восьмиразрядные микроконтроллеры STM8 были выпущены в 2008 году. Они мало потребляли и имели высокую производительность, были недороги и обладали широким модельным рядом.

Чуть раньше, в 2004 году, Acorn разработали 32-разрядное процессорное ядро ARM Cortex-M3, и компания STMicroelectronics стала одной из первых, кто вывел на рынок семейство микроконтроллеров на этом ядре, получивших название STM32. Начиналось все не так и давно — в 2007 году, с появления двух семейств Performance Line (STM32F103) и Access Line (STM32F101).

Не все компании выдержали конкурентную борьбу на рынке. В конце 2003 года Motorola решила окончательно порвать с производством полупроводников, и оставшаяся часть SPS в 2004 году была выделена в компанию Freescale Semiconductor. В 2006-м уже сама Freescale Semiconductor была куплена консорциумом, возглавляемым Blackstone Group LP, что на тот момент стало крупнейшим частным приобретением технологической компании и вошло в десятку самых громких сделок в мире. В марте 2015 года компа-

ния NXP Semiconductors объявила о приобретении компании Freescale Semiconductor. Объединение NXP и Freescale в единую компанию создало четвертого по величине производителя процессоров и другой сложной микроэлектроники на планете, с общей стоимостью активов в \$40 млрд. В следующем году, в январе 2016-го, фирма Microchip покупает Atmel за \$3,56 млрд. В декабре 2003 года компания Silicon Labs поглощает Cygnal Integrated Products. В декабре 2009 года IXYS Corporation купила Zilog, а в августе 2017-го IXYS Corporation была приобретена Littelfuse Inc в обмен на \$750 млн наличными и акциями.

Как все эти новые продуктовые семейства, приобретения и слияния отразились на российском рынке? В конце 2010 года, судя по статистике запросов на eFind.ru, в России лидеры рынка по микроконтроллерам распределялись, как показано в таблице 1.

Необходимо уточнить, что в таблице указывается доля конкретного производителя среди всех запросов, посвященных микроконтроллерам. Не денег, не единиц, а именно поисковых запросов через поисковую систему. По отношению к Silicon Labs и Freescale могут быть неточности, но лидерство Atmel и Microchip в 2010 году не может подвергаться

Таблица 1. Самые запрашиваемые на eFind.ru производители микроконтроллеров

Название компании	IV квартал 2010 года, %
Atmel	51,4
Microchip	15,8
NXP	9,9
STMicroelectronics	7,6
Texas Instruments	7,4
Silicon Labs	2,9
Freescale	2,1
Analog Devices	0,9

Таблица 2. Запросы по микроконтроллерам разной разрядности

Разрядность	IV квартал 2010 года, %
8-битные	59,7
32-битные	18,1
16/32-битные	10,4
16-битные	8,1
8/16-битные	3,3

сомнению. Запросы по микроконтроллерам разной разрядности показаны в таблице 2.

2014–2017 годы. Борьба обостряется

Сейчас микроконтроллеры, чье производство сокращается или срок службы которых заканчивается, изготавливаются по технологии с 0,5-мкм проектными нормами, «зрелые» микросхемы МК — по 250- или 180-нм технологии, относительно новые изделия — по 130- и 90-нм процессам, новейшие МК — с 65- и 55-нм нормами. Проектные нормы разрабатываемых контроллеров составляют 40 нм и менее. При этом с ростом потребности в микросхемах с меньшими размерами элементов более старые технологии отмирают из-за относительно больших затрат на производство. Несмотря на это, на рынке микроконтроллеров можно найти широкий ассортимент для разных задач. Но требования разработчиков встраиваемых систем к компонентам постоянно возрастают. Соответственно, на рынке непрерывно появляются новые МК, технические параметры которых постоянно совершенствуются благодаря развитию инновационных технологий.

Например, важной тенденцией 2014 года стала интеграция в микросхему МК беспроводного устройства или модуля.

К 2014-му борьба между 8- и 16-разрядными микроконтроллерами усилилась. В опубликованном аналитической компанией Gartner рейтинге поставщиков 8-разрядных МК на мировой рынок 2014 года отмечено, что Microchip Technology вновь заняла первое место после того, как в 2010 году ее потеснила компания Renesas Electronics, образованная в результате слияния деловой активности в области микроконтроллеров и микропроцессоров трех японских полупроводниковых гигантов — NEC, Hitachi и Mitsubishi.

В июле 2015 года Microchip снова подтвердила свое право на лидерство на рынке 8-разрядных МК, выпустив два новых семейства PIC МК: PIC16F18877 и PIC16F1579 с усовершенствованной инновационной, не зависящей от ядра периферией (Core-Independent Peripherals, CIPs) и «разумными» аналоговыми блоками, благодаря которым новые микросхемы по функциональности превосходят традиционные 8-разрядные МК.

В то же время новое семейство 8-разрядных МК для сверхэнергоэффективных, малогабаритных приложений IoT в феврале 2015 года выпустила и компания Silicon Labs.

Компания Silicon Labs, основанная в 1996 году выходцами из компании Cirrus Logic, ворвалась на мировой и российский рынок за счет поглощения сторонних компаний, развития собственных технологий и максимальной русскоязычной поддержки, которая осуществлялась вплоть до перевода даташитов на русский язык — этого не делала ни одна другая компания. Ее доля в запросах на 2012 год стабильно составляла около 4%, что было большим достижением для столь молодой компании.

Рынок с 32-разрядными микроконтроллерами тоже не стоял на месте. В 2015 году компания Texas Instruments выпустила новое семейство микроконтроллеров MSP432 [1], которое продолжает традицию ультранизкого энергопотребления микроконтроллеров MSP430 [2] и добавляет новые вычислительные возможности за счет архитектуры ARM Cortex-M4F.

Но несмотря на новинки 8-разрядных микроконтроллеров, преимущества 32-разрядных были очевидны для многих изделий, где требовались значительные вычислительные ресурсы. Конечно, борьба за рынок между 32- и 8-разрядными микроконтроллерами далека от завершения. Баланс между ними еще не найден. Разработчики осознали, что такие сложные приборы, как 32-разрядные микроконтроллеры, предоставляют нужные вычислительные ресурсы, богатую периферию и простой доступ к всевозможным средствам проектирования и библиотекам. Поскольку 8-разрядные МК последних поколений предоставляют ядру процессора многие быстродействующие периферийные устройства, они становятся привлекательными для применения в разнообразных встраиваемых проектах. И конечно, се-

годня существуют приложения, где размеры и набор функций 8-разрядных МК обуславливают их выбор в противовес 32-разрядным.

Согласно отчету исследовательской компании Gartner за 2015 год, объемы продаж 8- и 32-битных устройств в долларовом выражении были примерно равны и составляли \$6 млрд. С учетом разницы средних цен, эти цифры говорят о том, что в 2015 году на один встраиваемый 32-битный микроконтроллер приходилось три 8-битных.

В 2016 году на рынке микроконтроллеров зафиксировано падение выручки на 6% на фоне сократившихся поставок этих компонентов. Однако после того как складские запасы микроконтроллеров вернулись к нормальному уровню, производители электроники резко увеличили закупки МК в 2017 году. В результате поставки микроконтроллеров подскочили на 22%, а выручка на рынке увеличилась с \$15 млрд до \$16,8 млрд.

Средняя цена продажи (ASP) микроконтроллеров в 2017 году опустилась до наименьшего в истории значения и в 2018 году продолжала снижаться. В IC Insights полагают, что в 2019–2022 годах цены на МК будут падать, но уже не так быстро, как в прошлом. Ежегодное снижение в среднем составит 3,5%, тогда как с 2012 по 2017 год цены падали в среднем на 5,8%, а в период 1997–2017 годов микроконтроллеры дешевели в среднем на 6,3% в год.

Согласно оценке IC Insights, в 2019 году ожидается рост продаж еще на 9%, до \$20,4 млрд. Прогноз IC Insights на ближайшие пять лет предусматривает, что объем рынка в деньгах будет в среднем увеличиваться на 7,2% и к 2022 году достигнет \$23,9 млрд. Рост в штучном выражении ожидается на уровне 11,1%. К концу рассматриваемого периода поставки микроконтроллеров достигнут примерно 43,8 млрд единиц.

2018 год. Россия

Снова обратимся к поисковой системе eFind.ru. На конец 2018 года в России лидеры рынка по микроконтроллерам распределялись, как показано в таблице 3.

В списках популярных производителей микроконтроллеров Microchip/Atmel продолжают оставаться на первом месте, но их совместная доля, приведенная в таблице 3, неизменно снижается. Доля STMicroelectronics за счет самого раннего старта продаж ARM Cortex-M3 продолжает увеличиваться. Автор статьи участвовал в первых закупках именно ARM Cortex от STMicroelectronics, тогда

Таблица 3. Самые запрашиваемые производители микроконтроллеров в России

Год/Компания	IV квартал				
	2010	2013	2015	2017	2018
Microchip Technology / Atmel	67,2	49	45,9	40,8	41,6
STMicroelectronics	7,6	24,1	23,6	36,1	29,8
Texas Instruments	7,4	8,8	9,4	6,5	7,5
NXP / Freescale	12	10,5	9,3	5,6	7,1
Silicon Labs	2,9	4,3	3,8	3,1	3,2
Cypress Semiconductor	0,7	0,7	2,1	1,2	2,6
Renesas Electronics / NEC	0,8	0,6	1,2	1,5	2
Analog Devices	0,9	1,1	1,5	1,5	1,1
Infineon Technologies	0,6	0,6	1	0,6	1,3

Таблица 4. Самые запрашиваемые на eFind типы ядра

Год/Тип ядра	IV квартал				
	2010	2013	2015	2017	2018
AVR	44,2	27,7	17,8	15,2	15,2
PIC	15,2	16,3	10,9	12,6	13,4
ARM Cortex-M4	0	9,8	9,7	10,2	7,9
ARM Cortex-M3	11,9	17,7	11	9,5	9
8051	9,6	8,8	6,4	5,9	7
ARM Cortex-M0	0,5	5,4	6,2	6	4,9
ARM Cortex-M7	0	0	1,6	5,5	3,8
ARM Cortex-M0+	0	0	2,6	3,4	2,8
MSP430	4,2	5,8	3,5	2,7	3,6
STM8	0,3	3,3	2	2,8	2,8

компания-дистрибьютор опередила ближайших конкурентов примерно на полгода. Спустя много лет компания остается лидером продаж по Cortex-XX, что говорит о важности вовремя распознать новинку и начать кампанию по продвижению.

В таблице 4 сравнивается запрашиваемость микроконтроллеров, различающихся типом ядра. Текущие изменения:

- огромное падение доли запросов по AVR;
- сильно выросли все доли ARM Cortex — в сумме с 12,4 до 28,4%;
- доля PIC за все время наблюдений (с 2010 года [3]) упала с 15 до 11%;
- ядра ARM7 и ARM9 выпали из топ-10.

Эти данные — запросы в системе поиска, которые отражают текущее состояние или будущие проекты. Следуя тенденции, можно предположить, что доля ядра ARM Cortex в вариациях продолжит увеличиваться за счет ядра AVR. Удивительно, что надежное, качественное, но все же уже устаревшее ядро 8051 продолжает удерживать весомую долю в статистике. Возможно, часть инженеров продолжает по привычке оценивать использование ядра в текущих разработках, или большое влияние оказывает ремонтный рынок.

С 2016 года Таможенная служба публикует в открытом доступе информацию по товарному экспорту и импорту. Прежде всего, это делается для борьбы с серым рынком. В процессе закупки партий товара покупатели могут проверить достоверность декларации: в страну завезены диоды, а не металлический лом. Как побочный эффект этой борьбы, мы теперь можем самостоятельно оценивать доли рынка по разным продуктам.

По большей части микроконтроллеры ввозятся в Россию по таможенному коду 8542319010 («Схемы интегральные монолитные»), по данному коду еще ввозится огромное количество кристаллов для смарт-карт

Таблица 5. Ввоз в Россию микроконтроллеров по брендам в 2018 году

Производитель	Стоимость, \$	%	Нетто, кг
Microchip/Atmel	17 610 000	22,218	5733
Texas Instruments	15 117 000	19,073	1590
STMicroelectronics	13 870 000	17,5	2530
NXP/Freescale	13 707 000	17,294	6554
Infineon Technologies	8 430 000	10,636	2089,8
Analog Devices	7 970 000	10,056	573
Silicon Labs	1 520 000	1,918	176
Cypress Semiconductor	529 000	0,667	109
Renesas Electronics	506 000	0,638	80

или сами карты. Поэтому анализ требует знания рынка, но после вычитания данных мы получаем результат, представленный в таблице 5.

Четверо лидеров полностью совпадают со статистикой eFind. Небольшие различия в сумме объясняются лидерством Microchip/Atmel в 8-разрядных, а STMicroelectronics — в 32-разрядных микроконтроллерах. Microchip/Atmel в единицах, о чем говорит вес, продают в разы больше, но так как стоимость 8-разрядных МК существенно меньше 32-разрядных, разница в деньгах не столь существенная, как в поисковых запросах. Texas Instruments производит широкий круг цифровых сигнальных процессоров, которые тоже стоят значительно дороже 8-разрядных МК.

Компания Infineon сильно выделяется, занимая пятое место в деньгах и последнее по запросам. Но большая часть продаж бренда приходится на одного дистрибьютора. Тут возможны два варианта: первый — несколько очень крупных проектов, второй — большая часть продаж Infineon приходится на схемы, не попадающие под определение микроконтроллеров, например смарт-карты. В остальном данные поисковой системы и таможни совпадают.

Во время написания статьи появилась новость, что Texas Instruments решилась на мировую революцию, лишив статуса дистрибьютора всех, буквально всех, кроме Arrow. Тенденция к сокращению числа дистрибьюторов наблюдалась, особенно в полупроводниковом сегменте. У Altera, Xilinx и Analog Devices осталось по одному глобальному дистрибьютору. Но чтобы оставить одного и лишить всех региональных... В это даже трудно поверить. Что ж, тем интереснее будет отслеживать поисковые запросы и таможенный импорт по Texas Instruments, ведь у многих регионалов сместится точка приложения усилий. С другой стороны, что такое для Texas Instruments потеря пусть даже половины бизнеса в России на фоне возможного роста продаж в мире? Будущее покажет. Борьба продолжается.

Литература

1. Микроконтроллеры MSP432. www.ti.com/microcontrollers/simplelink-mcus/wired-mcus/overview/overview.html
2. Микроконтроллеры MSP430. www.ti.com/microcontrollers/msp430-ultra-low-power-mcus/overview.html
3. Славгородский А. Микроконтроллеры: статистика запросов на eFind.ru // Компоненты и технологии. 2012. № 7.
4. Славгородский А. Микроконтроллеры: статистика запросов на eFind.ru // Компоненты и технологии. 2019. № 7.
5. www.gartner.com/en
6. www.icinsights.com/
7. Микроконтроллеры. Краткий обзор. www.myrobot.ru/stepbystep/mc_meet.php
8. Гольцова М. Рынок микроконтроллеров. Конкурентная борьба усиливается // Электроника НТБ. 2015. № 7.
9. www.electrosnab.ru/files/silabs/articles/G2.pdf