

## i.MX RT1050 — новый игрок на рынке чипов ARM Cortex-M7

Современную технику трудно представить без применения процессора. Будь это самый мелкий восьмибитный микроконтроллер в реле времени или мощнейший ARM-процессор в смартфоне — все равно присутствует вычислительное ядро, которое позволяет резко уменьшить габариты устройства, если это возможно, по сравнению с исполнением на дискретных элементах и повысить технологичность производства, а значит, и снизить себестоимость выпускаемого продукта. Сегодня на рынке микроэлектронных компонентов существует жесткая конкуренция, и фаворитом среди разработчиков и производителей будет та компания, которая чаще выдает инновационные решения, подкрепленные всеобъемлющей техподдержкой.

Алексей ТРУШНИКОВ

Компания NXP Semiconductors, образованная в 2006 году, хорошо известна широкой номенклатурой выпускаемых компонентов, в том числе и элементов цифровой электроники. На рынке микроконтроллеров с ARM-ядром компания весьма популярна благодаря своим чипам семейств LPC800 и LPC1100. В марте 2015 года NXP Semiconductors объявила о слиянии с другим серьезным игроком рынка микропроцессоров и контроллеров — компанией Freescale Semiconductor. В результате получился четвертый по величине производитель устройств сложной микроэлектроники в мире. Все наработки Freescale, среди которых наиболее известны микроконтроллеры семейств Kinetis и специализированные прикладные процессоры i.MX, стали выпускаться под логотипом NXP.

### Crossover processor

Традиционно на рынке процессоров выделились так называемые прикладные процессоры (application processors), по определению оптимизированные для решения прикладных задач — например, для обработки потокового видео или изображений, и процессоры и микроконтроллеры общего назначения.

Прикладные процессоры, как правило, работают со встраиваемыми операционными системами, в частности Linux, Android, Windows Embedded. На микроконтроллерах общего назначения чаще при-

меняются операционные системы реального времени (RTOS) или встроенное ПО проектируется без ОС. Уровень подготовки разработчика встраиваемых систем в случае применения прикладного процессора должен быть существенно выше, нежели при варианте использования микроконтроллера общего назначения. Компания NXP представила процессоры нового семейства i.MX RT1050 (рис. 1), которые определила как Crossover processor — микроэлектронное устройство, по уровню вычислительной мощности сопоставимое с прикладными процессорами (i.MX) и по простоте применения и соответствия требованиям к системам реального времени соотносимое с микроконтроллерами общего назначения (LPC, Kinetis).

### Ключевые особенности и достоинства семейства i.MX RT1050

Новое семейство процессоров призвано занять лидирующие позиции на рынке микроэлектроники, а потому имеет ряд выдающихся особенностей:

- ядро ARM Cortex-M7 с тактовой частотой до 600 МГц (быстрее всех представленных на данный момент процессоров на этом ядре), встроенный модуль операций с плавающей запятой архитектуры VFPv5;
- система динамического переключения тактовой частоты по напряжению питания:
  - 600 МГц в режиме Overdrive (максимальная скорость/максимальное напряжение),
  - 528 МГц в режиме Nominal (полная скорость/номинальное напряжение),
  - 24 МГц в режиме Underdrive (низкая скорость/минимальное напряжение);
- до 512 кбайт «сильносвязанной памяти» (TCM);
- задержка при обработке прерываний: 20 нс;
- поддержка AES-128, HAB и QSPI Flash Decryption «на лету»;
- аппаратный ускоритель 2D-графики;
- параллельный интерфейс для подключения камеры;
- контроллер ЖКИ с разрешением до WXGA (1366×768);
- аудиоинтерфейс с тремя каналами I<sup>2</sup>S для поддержки многоканального звука;
- полностью интегрированная система питания со встроенным DC/DC-преобразователем и LDO-стабилизатором, что уменьшает число внешних компонентов и позволяет упростить процесс и последовательность подачи питания;

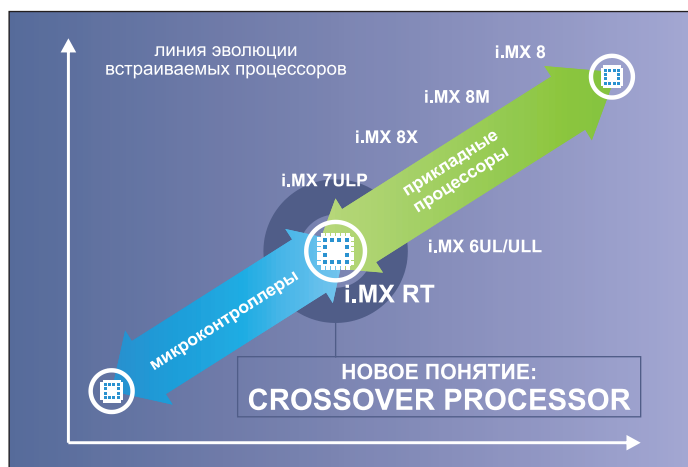


Рис. 1. Место процессоров i.MX RT1050 в существующем мире встраиваемых устройств

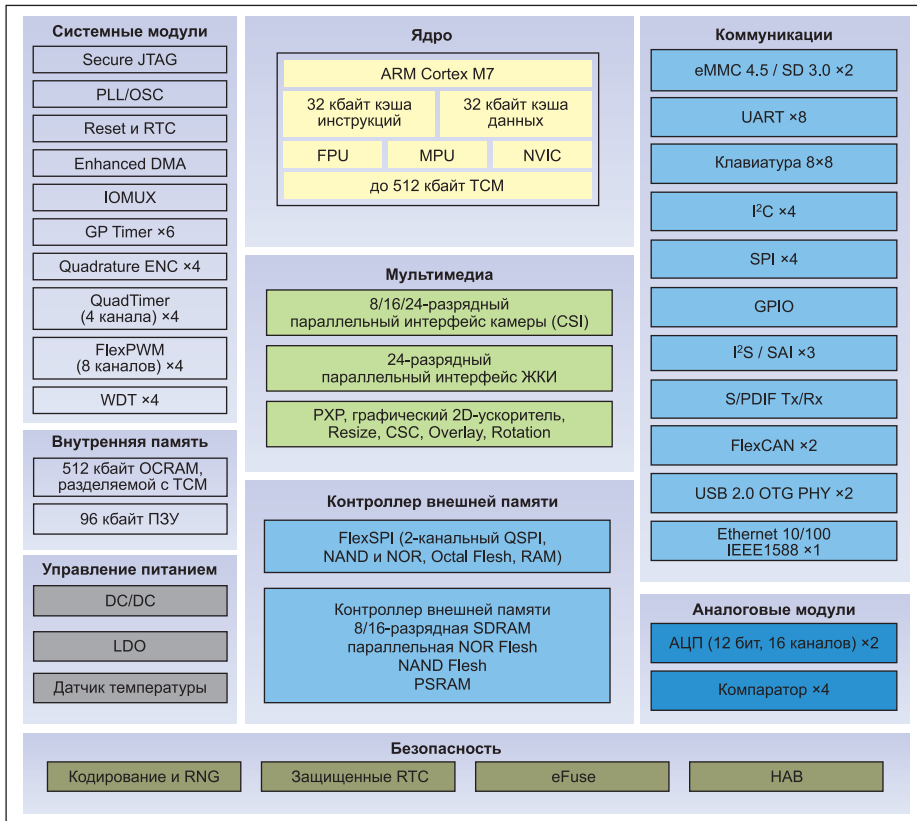


Рис. 2. Структурная схема процессоров семейства i.MX RT1050

Таблица 1. Основные параметры семейства i.MX RT1050

Подсемейство	RT1051	RT1052
Ядро	ARM Cortex-M7	
Тактовая частота, МГц	528 / 600	
Кэш/TCM	32 кбайт L1-кэш инструкций, 32 кбайт L1-кэш данных, до 512 кбайт TCM	
OCRAM	до 512 кбайт разделяемой с TCM	
DRAM	8 / 16-бит SDRAM	
Поддержка NAND	есть	
Поддержка NOR/EBI	есть	
Ethernet	1x10 / 100 MB	
USB	2xOTG, HS/FS, PHY	
CAN	2xCAN 2.0B	
Поддержка графики	нет	PXP
Интерфейс CMOS-матрицы	нет	параллельный, 16 бит
Интерфейс ЖКИ	нет	параллельный, 24 бит
Интерфейс QSPI	1	
Интерфейс SDIO	2	
Последовательные коммуникационные интерфейсы	8xUART, 4xI <sup>2</sup> C, 4xSPI	
Интерфейс I <sup>2</sup> S/SAI	3	
Интерфейс S/PDIF	1	
Таймеры /ШИМ	22 таймера, 32 канала ШИМ	
АЦП	2 АЦП x 16 каналов, 12 бит	
Аппаратная поддержка клавиатуры 8x8	да	
Рабочая температура, °C	0...+95	
Температура хранения, °C	-40...+150	

- бытовая техника;
- медицинская техника — мобильные устройства для ухода за пациентами, инъекционные насосы и респираторы, мониторы кровяного давления, мониторы активности, тренажеры и прочее;
- устройства автоматизации зданий и сооружений: системы управления климатом, системы безопасности, системы управления освещением, шлюзы устройств «Интернета вещей»;
- промышленные системы управления: программируемые логические контроллеры, измерительные и системы тестирования, интерфейсы управления сборочными роботами автоматизированных линий, устройства для межмашинного взаимодействия (M2M);
- управление приводами: роботизированные пылесосы, термопринтеры, 3D-принтеры.

**Семейство i.MX RT1050: память**

Процессоры i.MX RT1050 имеют соответствующие современным запросам объемы встроенной памяти:

- кэш-память первого уровня составляет 32+32 кбайт для памяти данных и памяти инструкций;
- 512 кбайт «сильносвязанной» оперативной памяти, которая может быть распределена блоками по 32 кбайт между ITCM, DTCM и OTCRAM. Эта область памяти характеризуется высокой скоростью работы (действует на частоте ядра) и нулевыми задержками доступа к памяти;
- 96 кбайт ПЗУ для хранения загрузочного кода.

- довольно низкая стоимость чипов — от \$2,98 при партии 10 тыс. штук;
- корпус BGA 10x10 мм, позволяющий «уложиться» в четырехслойную печатную плату.

Структурная схема представителя нового семейства приведена на рис. 2.

Следует отметить, что процессоры семейства i.MX RT1050 не имеют встроенной флэш-памяти. Это с лихвой компенсируется богатейшим набором размещенной на кристалле периферии. Более того, двухмегабайтная внешняя флэш-память NOR может быть запрограммирована до 60% быстрее, чем встроенная в микроконтроллер память аналогичного объема, а защита соединения с ней может осуществляться «на лету» по алгоритму AES-128.

Сегодня семейство i.MX RT1050 представлено чипами подсемейств 1051 и 1052, основные параметры которых приведены в таблице 1.

Ближайшими сравнимыми соперниками нового семейства можно считать микроконтроллеры серий PIC32MZ EF, PIC32MZ DA, SAM E70 производства Microchip, RZ/T1 и RZ/A1LC производства Renesas, STM32H7 производства ST. Под термином «сравнимые» следует понимать, что:

- микроконтроллеры имеют аналогичные или очень близкие параметры;
- рассматриваемые варианты предназначены для аналогичных сегментов рынка и сферы применения;

- варианты наиболее распространены на рынке.

Одно из немаловажных преимуществ процессоров i.MX RT1050 — их стоимость. Среди сравниваемых вариантов она минимум вдвое меньше самого недорогого из них. Объективности ради следует отметить, что практически все рассматриваемые варианты имеют встроенную флэш-память, а новые процессоры — нет. Взамен компания NXP предлагает мощные интерфейсы для подключения внешней памяти разных типов, что позволяет выбирать требуемый объем памяти изначально, еще при проектировании системы. При этом суммарная стоимость процессора и внешней памяти вполне может оказаться меньше цены самого недорогого конкурента. Так, стоимость i.MX RT1050 у производителя составляет от \$2,98 за 10 000 штук, а стоимость IS25WP064AJBLE — \$1,62 за 2000 штук, что в сумме гораздо меньше стоимости большинства конкурентов со встроенной в чип памятью.

**Область применения**

Компания NXP определяет, но не ограничивает применение процессоров семейства i.MX RT1050 в следующих областях:

- аудиосистемы Hi-End-класса: потребительская техника и устройства профессионального назначения (микрофоны, гитарные педали);

В поддержку встроенной памяти i.MX RT1050 имеет широкие возможности для подключения внешней памяти:

- NOR/NAND FLASH — аппаратно поддерживается стандартный режим передачи в 1 бит на один такт и режимы передачи 2 и 4 бит за такт (Single, Dual и Quad SPI), Octal/Hyper RAM/Flash;
- DDR последовательной флэш-памяти для достижения наилучшей производительности. Максимальная частота тактирования может достигать 132 МГц в режиме SDR, 66 МГц в режиме DDR Mode и 166 МГц в режимах SDR и DDR с использованием сигнала DQS;
- двухканальная архитектура позволяет одновременное обращение к двум разным внешним микросхемам флэш-памяти;
- поддержка SD/eMMC x2: соответствие стандарту SD Host Controller Standard Specification версии 3.0, спецификации MMC System Specification версии 4.5. Частота тактирования карты памяти — до 192 МГц;
- поддержка параллельной NOR FLASH/SRAM-памяти разрядностью 8/16-бит. В части SDRAM-интерфейса процессор обеспечивает:
  - поддержку 8/16-бит SDRAM;
  - работу с одним 16-бит или двумя 8-бит DRAM-чипами;
  - работу с памятью на тактовой частоте до 166 МГц, при этом теоретически достижимая пропускная способность — до 332 Мбайт/с;
  - поддержку до четырех сигналов выбора кристалла (CS);
  - общее адресуемое пространство — до 1,5 Гбит.

### Семейство i.MX RT1050: коммуникации

Любое современное оборудование требует коммуникаций с внешними устройствами в том или ином виде. Наличие интерфейсов USB или Ethernet уже давно является требованием «по умолчанию» для процессоров/микроконтроллеров такой вычислительной мощности. Процессоры нового семейства имеют чрезвычайно богатый набор коммуникационной периферии. В частности, на борту процессоров присутствуют:

- Ethernet-контроллер 10/100 Мбит/с с поддержкой протокола синхронизации точного времени стандарта IEEE1588;
- два USB 2.0 HS OTG-контроллера с поддержкой до восьми исходящих и восьми входящих конечных точек, включая нулевую;
- восемь конфигурируемых модулей UART с поддержкой скорости передачи до 5 Мбит/с;
- четыре модуля SPI;
- четыре модуля I<sup>2</sup>C;

- два модуля FlexCAN стандарта CAN 2.0B, поддерживающие стандартные и расширенные пакеты сообщений шириной буфера приема/передачи в 64 байт и поддержкой аппаратной фильтрации пакетов по ID.

### Семейство i.MX RT1050: мультимедиа

Поскольку процессоры семейства i.MX RT1050 позиционируются как «младший брат» прикладных процессоров, они обязаны аппаратно поддерживать обработку изображений и видеоконтента. Для этого предусмотрен ряд периферийных модулей:

- интерфейс КМОП-матрицы (CSI);
- интерфейс ЖКИ (LCDIF);
- модуль Pixel Pipeline (PXP). Модуль CSI обеспечивает:
  - прямое подключение к источникам изображений: камеры, CMOS-матрицы;
  - конфигурируемую ширину шины данных, которая может составлять 8, 10, 16 или 24 бит;
  - различные форматы данных, включающие YUV 4:2:2/4:4:4, RGB 16/24 bpp, CCIR656, в том числе компрессированные потоки;
  - обработку потоков до 75 Мпикс/с;
  - конфигурируемый выход тактовой частоты на сенсоры;
  - генерацию статистических данных для реализации функции автовыдержки и автоматического баланса белого;
  - простой способ устранения чересстрочности для полукадрового, чересстрочного входного изображения.

Интерфейс ЖКИ (LCDIF) обеспечивает:
 

- режимы работы DOTCLK (синхронный режим для простых ЖКИ) и MPU (асинхронный для «умных» дисплеев);
- конфигурируемую ширину шины данных: 8, 16, 18 и 24 бит;
- поддержку разрешения до WVGA при скорости вывода до 60 кадров/с;
- типовую скорость вывода: 27–74,25 Мпикс/с.

Высокопроизводительный движок 2D-графики и обработки изображений PXP на аппаратном уровне позволяет произвести:

- операции совмещения изображений: BitBlit, alpha, chroma key, Porter-Daff;
  - операции вращения: на 90°, 180° или 270°;
  - операции изменения размеров;
  - операции конверсии цвета;
  - поддержку различных форматов цвета: RGB, YUV444, YUV422, YUV420, YUV400.
- Аудиоподсистема новых процессоров состоит из:
- многоканального интерфейса SAI/I<sup>2</sup>S;
  - двух одноканальных интерфейсов SAI/I<sup>2</sup>S;
  - интерфейса S/PDIF с функционалом приемника и передатчика;
  - модуля MQS (Media Quality Sound), позволяющего генерировать двухканальный звук приемлемого качества (аналогичного создаваемому ШИМ-модулятором) на выходах GPIO.

Audio PLL может работать с дробным коэффициентом, позволяющим генерировать точный тактовый сигнал для аудио, и поддерживает изменения тактовой частоты на ходу. Модуль синхронизации с главным источником тактовой частоты разрешает индивидуально настраивать тактирование каждого модуля SAI и SPDIF и задавать независимое тактирование для каналов RX и TX.

Модуль SAI (Synchronous Audio Interface) обеспечивает:

- поддержку интерфейсов I<sup>2</sup>S, AC97, TDM;
- FIFO-буферы 32×32-бит для каждого канала TX и RX;
- мягкий перезапуск после ошибок FIFO;
- каналы TX и RX с независимым тактированием и синхронизацией кадра;
- максимальный кадр: 32 слова;
- размер слова: 8–32 бит;
- отдельный канал DMA для каждого канала TX/RX;
- поддержку тактирования от Audio PLL или от внешнего источника тактирования;
- встроенную поддержку многоканальности.

### Семейство i.MX RT1050: параметры безопасности

Современное положение дел в области микроэлектроники и устройств «Интернета вещей» требует повышенного внимания к вопросам безопасности. Причем понятие «безопасность» сегодня неоднозначно. Это и защита против несанкционированного копирования, и защита от хакерских атак в сфере «Интернета вещей». Широко известны случаи атак сетями ботов из «умных» устройств, например IP-камер. Для обеспечения безопасности в самом широком смысле этого слова компания NXP предусмотрела в процессорах i.MX RT1050 следующее:

- модуль безопасной загрузки (HAB);
- модуль защиты шины (BEE), который производит кодирование данных «на лету» для шины QSPI при подключении флэш-памяти. Защита реализуется с помощью AES-128, ECB и CTR;
- модуль генератора истинных случайных чисел (TRNG);
- безопасное энергонезависимое хранилище (SNVS);
- защищенный JTAG-контроллер (SJC);
- поддержку алгоритмов шифрования SHA, AES с длиной ключа 128 и 256 бит, DES, MD5.

### Поддержка: программные средства разработки и отладочная плата MIMXRT1050

Для разработки встраиваемого ПО для нового семейства могут быть использованы те же средства, что и для микроконтроллеров семейств LPC и Kinetis, — это среда MCU Expresso и сопутствующие ей программные инструменты и SDK. Среды программирования и компиляторы от Keil и IAR, ставшие

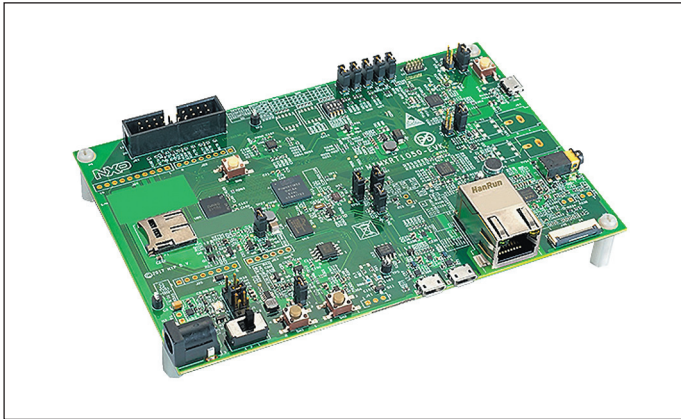


Рис. 3. Отладочная плата MIMXRT1050

эталонном инструментария для процессоров с ядром ARM, также могут применяться для разработки с процессорами семейства i.MX RT1050. Это позволяет специалистам, имеющим большой опыт, употребить привычные инструменты для работы с новым семейством.

Отладочная плата MIMXRT1050 (рис. 3) — это плата начального уровня, позволяющая ознакомиться с возможностями процессора до того, как вложить время и средства в разработку целевого проекта. На плате установлен процессор MIMXRT1052DVL6B. Кроме того, смонтированы DRAM 256 Мбит 166 МГц, 64 Mbit Quad SPI Flash, 512 Mbit Hyper Flash. Для опробования коммуникационных возможностей установлен Ethernet-разъем 10/100 Мбит/с с микросхемой физического уровня KSZ8081RNB, разъемы USB 2.0 OTG и USB 2.0 Host. Для оценки аудиофункционала предусмотрены мини-джек 3,5 мм и встроенный микрофон, а также выходы на два динамика.

В дополнение к основным интерфейсам на плате смонтирован 6-осевой магнитометр-акселерометр FXOS8700CQ, разъемы для подключения CMOS-камеры и ЖКИ.

**Доступные чипы**

Сейчас для заказа доступны позиции, показанные в таблице 2.

Таблица 2. Доступные чипы

Описание	Код заказа, корпус	Исполнение	Частота, МГц	Особенности
i.MXRT1050	MIMXRT1052CVL5A, 196MAPBGA 10×10 мм 0,65 мм	Промышленное	500	LCD/CSI, PXP, 2×CAN, Ethernet, 2×EMMC 4.5, SD 3.0, 2×USB OTG HS PHY, 8×UART, 3×SAI, 4×Timer, 4×PWM, 4×I <sup>2</sup> C, 4×SPI
i.MXRT1050	MIMXRT1051CVL5A, 196MAPBGA 10×10 мм 0,65 мм	Промышленное	500	2×CAN, Ethernet, 2×EMMC 4.5, SD 3.0, 2×USB OTG HS PHY, 8×UART, 3×SAI, 4×Timer, 4×PWM, 4×I <sup>2</sup> C, 4×SPI
i.MXRT1050	MIMXRT1052DVL6A, 196MAPBGA 10×10 мм 0,65 мм	Коммерческое	600	LCD/CSI, PXP, 2×CAN, Ethernet, 2×EMMC 4.5, SD 3.0, 2×USB OTG HS PHY, 8×UART, 3×SAI, 4×Timer, 4×PWM, 4×I <sup>2</sup> C, 4×SPI
i.MXRT1050	MIMXRT1051DVL6A, 196MAPBGA 10×10 мм 0,65 мм	Коммерческое	600	2×CAN, Ethernet, 2×EMMC 4.5, SD 3.0, 2×USB OTG HS PHY, 8×UART, 3×SAI, 4×Timer, 4×PWM, 4×I <sup>2</sup> C, 4×SPI
MIMXRT1050 отладочная плата	MIMXRT1050-EVK		600	Разъемы: microUSB Host, microUSB OTG, Ethernet (10/100T), CAN-драйвер, интерфейс ARDUINO, разъем параллельного ЖКИ, разъем камеры, 6-осевой акселерометр FXOS8700CQ — аудиокодек, 4-полюсный 3,5-мм мини-джек, разъем внешних колонок, встроенный микрофон, разъем SPDIF

**Заключение**

Процессоры семейства i.MX RT1050 — это не просто очередные новые микросхемы, а качественно новый тип программируемого прибора — Crossover processor, призванный снизить порог входа в использование процессоров большой вычислительной мощности. Обеспеченные высоким объемом прикладной периферии и быстрой оперативной памяти, новые процессоры вполне могут конкурировать с прикладными процессорами в части своих возможностей и при этом быть простыми в разработке, как микроконтроллеры. Отсутствие встроенной флэш-памяти компенсируется низкой стоимостью чипов и объемом встроенной периферии, а небольшие неудобства при использовании корпуса внешней памяти восполняются простотой разработки и отладки программ, а также большим количеством наработок для ARM Cortex-M7-микроконтроллеров. ■