

# Поколение процессоров Ivy Bridge: эволюция встраиваемых платформ продолжается

Анатолий Сысоев (Москва)

Заметным событием 2012 г. на рынке встраиваемых компьютерных технологий и систем промышленной автоматизации стал выпуск процессоров Intel Core третьего поколения, известных под кодовым наименованием Ivy Bridge. Ведущие производители аппаратных средств достаточно быстро представили на рынке продукты на основе новых процессоров, создав предпосылки для очередного витка эволюции встраиваемых систем.

Смена поколений процессоров Intel Core не гарантирует массовый переход индустрии встраиваемых решений на новую платформу. Чтобы этот переход состоялся, разработчикам встраиваемых решений требуются по-настоящему убедительные основания. Предыдущее, второе поколение Intel Core, известное также как Sandy Bridge, оказалось довольно успешным на рынке встраиваемых систем. С момента официальной премьеры первых процессоров Intel Core второго поколения прошло менее двух лет, и нельзя утверждать, что они безнадежно устарели. Тем интереснее рассмотреть процессоры третьего поколения Intel Core, оценить их достоинства, а также возможные варианты реализации систем на их основе.

## ЗАКОН ЕСТЬ ЗАКОН

Регулярное обновление процессорных платформ Intel никого не удивляет. И за третьим поколением через некоторое время должно последовать четвёртое. Недавний форум IDF (Intel Developer Forum) в Сан-Франциско, традиционно собравший приверженцев экосистемы Intel, обрисовал контуры обновлённой платформы.

Привычные быстрые темпы развития процессорной архитектуры IA связаны, в первую очередь, с известным законом Мура, носящим имя одного из основателей и нынешнего почётного председателя совета директоров Intel. Этот закон впервые был сформулирован Гордоном Муром ещё в 1960-х годах (как эмпирическое наблюдение) и с тех пор превратился в инструмент маркетинга и планирования исследо-

ваний и разработок. Существуют различные его трактовки, но большинство из них подразумевает значительное улучшение характеристик процессоров (производительность, общее количество транзисторов, плотность их размещения на кристалле) с периодичностью 18–24 месяца.

Несмотря на многочисленные попытки скептиков (среди которых отметился и сам Мур) предсказать окончание его действия, закон продолжает работать. В ходе уже упоминавшегося сентябрьского форума IDF от имени Intel вновь было заявлено, что серьёзных угроз закону Мура в настоящее время нет и «не предвидится, по крайней мере, в ближайшее десятилетие». Если же оглянуться на десять лет назад, мы увидим, что с тех пор технологические нормы изготовления процессоров Intel пять раз менялись в сторону уменьшения (см. рис. 1).

В соответствии с принципом чередования производственных и архитектурных нововведений, принятым на вооружение корпорацией в 2007 г., третье поколение процессоров Intel Core знаменует собой внедрение на предприятиях Intel 22-нм технологического процесса и трёхмерных транзисторов. Собственно, в этом и состоит главное отличие Ivy Bridge от процессоров Sandy Bridge, выполненных по технологии 32 нм с применением планарных транзисторов. Усовершенствование техпроцесса позволило уменьшить площадь кристалла до 160 кв. мм против 216 кв. мм соответственно у сопоставимых четырёхъядерных вариантов Ivy Bridge и Sandy Bridge. Одновременно были увеличены плотность размещения и общее число транзисторов на кристалле – 1,4 млрд. против 1,16 млрд. в том же примере. Следствием перехода на меньшие топологические нормы стало снижение энергопотребления процессоров Ivy Bridge и увеличение их производительности по сравнению с Sandy Bridge. В целом, по оценкам независимых экспертов, технологические усовершенствования обеспечили третьему поколению Intel Core общий прирост вычислительной мощности до 20%, а производитель-

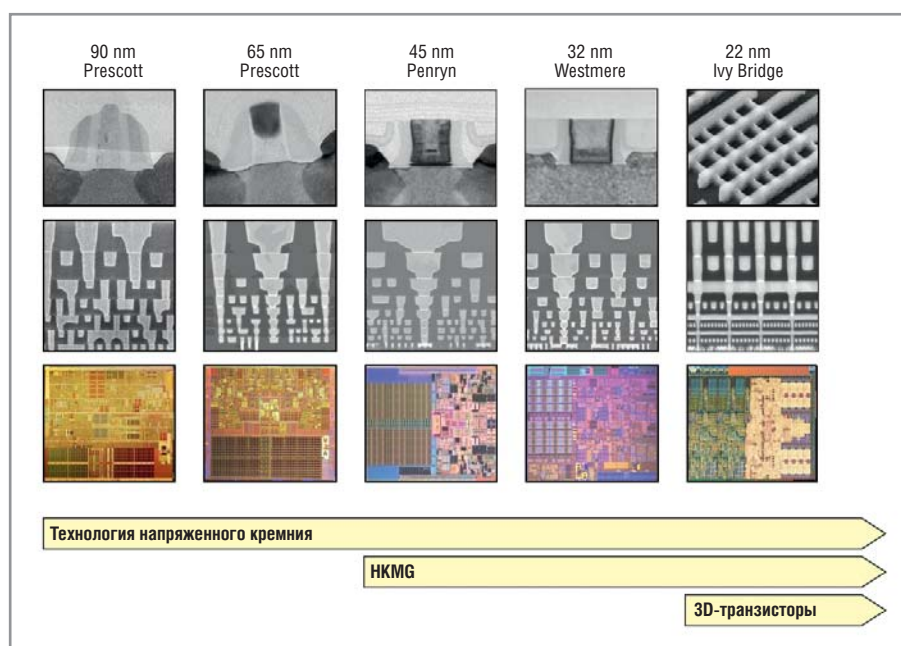


Рис. 1. Эволюция полупроводниковых технологий и поколения процессоров Intel, 2003–2012 гг.

HKMG (High-k, metal gate) – технология металлических затворов с использованием материала с высокой диэлектрической проницаемостью (high-k) на основе гафния в качестве диэлектрика затвора

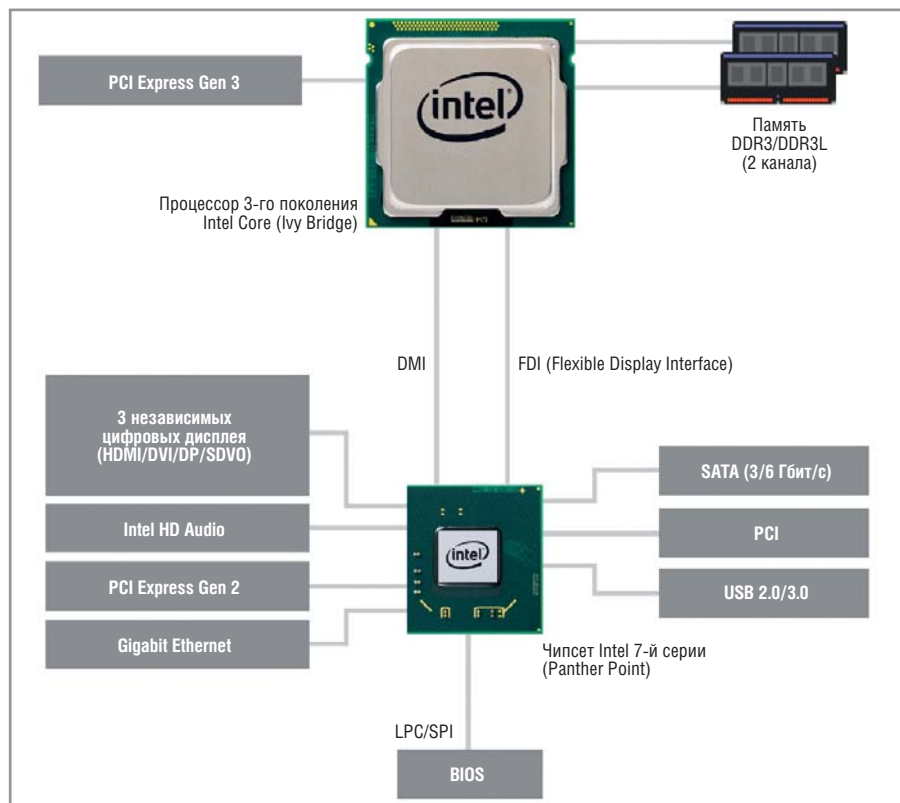


Рис. 2. Общая структура платформы встраиваемых компьютерных систем на базе процессоров Intel Core третьего поколения (кодовое наименование Ivy Bridge)

ности в расчёте на один ватт потребляемой электроэнергии – до 40%.

В архитектурном отношении третье поколение Intel Core от второго отличается незначительно. Микроархитектура Ivy Bridge представляет собой производную от Sandy Bridge. Некоторые отличия, конечно, присутствуют, но о радикальных новшествах, подобных технологии AVX (Advanced Vector Extensions) в процессорах Sandy Bridge, в данном случае речи не идёт.

По мнению специалистов, именно поддержка технологии AVX, дополнившей набор команд x86-совместимых процессоров векторными расширениями для работы с данными в формате с плавающей точкой, в своё время обеспечила второму поколению Intel Core некоторое преимущество на рынке встраиваемых решений. От третьего поколения Intel Core, в отличие от второго, революционных изменений на рынке встраиваемых технологий никто не ждал. Тем не менее, разработчики встраиваемых решений встретили выход процессоров Ivy Bridge позитивно.

### ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА IVY BRIDGE В КОНТЕКСТЕ РЫНКА ВСТРАИВАЕМЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

Существует довольно внушительный пласт встраиваемых приложений, ко-

торым всегда требуется наивысшая доступная на рынке производительность вычислений, обработки сигналов и графических операций в сочетании с максимально возможной пропускной способностью каналов связи. К таким приложениям относятся, в первую очередь, высокопроизводительные интеллектуальные системы, проектируемые для нужд оборонной и аэрокосмической отраслей, а также системы цифровой обработки сигналов для сферы телекоммуникаций и решения для работы с графическими данными, применяемые в промышленности и медицине.

Для всех этих задач платформа Ivy Bridge на сегодняшний день представляется хорошим выбором, поскольку реализует все архитектурные достоинства Sandy Bridge на базе более прогрессивной технологии производства. Не будем забывать и о том, что эта технология позволила разместить на кристалле Ivy Bridge более мощное графическое ядро, которое может включать до 16 исполнительных устройств (у Sandy Bridge – не более 12) и поддерживает программные интерфейсы DirectX 11, OpenGL 3.1 и OpenCL 1.1. При этом площадь кристалла не увеличилась, а наоборот – уменьшилась. Среди приложений, которыми могут быть востребованы усо-

вершенствованные функции третьего поколения процессоров Intel Core, специалисты отмечают оборонные системы обнаружения (радары, сонары), устройства обработки видеосигналов, системы связи и медицинские системы компьютерной диагностики. Вместе с тем высоким потенциалом для применения платформы Ivy Bridge обладают и другие вертикальные рынки – информационно-развлекательные транспортные системы, решения для розничной торговли, игровые автоматы, системы оповещения и рекламы, и т.д.

Коммуникационные возможности платформы Ivy Bridge (см. рис. 2) также улучшены по сравнению с Sandy Bridge. На уровне процессора реализована поддержка до 16 линий PCI Express (PCIe) 3.0 – эта технология обеспечивает вдвое большую пропускную способность по сравнению с PCIe 2.0, позволяя использовать в составе решений современные видеоплаты класса high-end и задействовать высокоскоростные интерфейсы для внешних коммуникаций (в том числе, 10 GbE и 40 GbE). Отметим, что наличие одного из наборов ИС Intel седьмой серии расширяет функциональность систем на основе процессоров Ivy Bridge, добавляя возможность подключения до трёх независимых цифровых дисплеев с интерфейсами HDMI, DVI, DisplayPort и т.д., а также поддержку высокоскоростной внешней шины USB 3.0.

Встроенный контроллер памяти третьего поколения Intel Core стандартно поддерживает спецификацию DDR3-1600 (для Sandy Bridge, в большинстве случаев, DDR3-1333 или ниже). Он также может работать с устройствами DDR3L с пониженным напряжением питания (1,35 В против 1,5 В у обычных устройств DDR3), что может оказаться полезным – наряду с конфигурируемым тепловым пакетом (TDP) и прочими энергосберегающими функциями процессоров Ivy Bridge – при создании систем для мобильных приложений.

Суммируя сказанное, следует отметить, что рынки встраиваемых компьютерных технологий не препятствуют раскрытию потенциала применения систем на основе процессоров третьего поколения Intel Core. Поэтому энтузиазм, с которым ведущие производители приступили к пополнению своих продуктовых линеек изделиями на основе Ivy Bridge, вполне объясним.

Познакомимся ближе с некоторыми из этих продуктов.

## АРХИТЕКТУРА VPX

Системная архитектура VPX, возможно, является одной из лучших платформ для создания защищённых мультипроцессорных комплексов на базе x86-совместимых процессоров, в том числе, ориентированных на ответственные приложения. Это подтверждают успехи VPX-решений с процессорами Sandy Bridge в некоторых сегментах рынка систем для оборонных и аэрокосмических приложений. Перед поколением процессоров Ivy Bridge стоит задача закрепить успехи, достигнутые предшественниками, и по возможности развить их.

Важная роль в решении этой задачи принадлежит партнёрам Intel – ведущим производителям аппаратных средств для встраиваемых систем, одним из которых является компания Kontron. Для VPX-систем, выполненных в форм-факторе 3U, Kontron предлагает модули VX3042 (в стандартном варианте – на основе двухъядерного Intel Core i7-3517UE с тактовой частотой 1,7 ГГц) и VX3044 (с четырёхъядерным Intel Core i7-3612QE/2,1 ГГц). Первый предназначен, главным образом, для консолей и защищённых серверов, ориентированных на жёсткие эксплуатационные условия. Второй ориентирован на высокопроизводительные вычислительные кластеры.

Оба продукта соответствуют стандартам OpenVPX (VITA 65) и VPX REDI (VITA 48) и доступны заказчикам в трёх вариантах исполнения, в зависимости от температурных условий эксплуатации и используемых систем охлаждения. Платы поддерживают внутрисистемные коммуникации с использованием шин PCIe 3.0 и 10 GbE, а также фирменную технологию Kontron под названием VXFabric, обеспечивающую передачу данных по протоколу IP по каналам PCIe.

Типичным представителем VPX-плат форм-фактора 6U можно считать плату SBC625 компании GE Intelligent Platforms (подразделение General Electric). Этот продукт отвечает требованиям стандарта OpenVPX и предлагается в пяти вариантах исполнения для различных температурных диапазонов; три из них предназначены для систем с воздушным охлаждением, два поддерживают кондуктивное охлаждение.

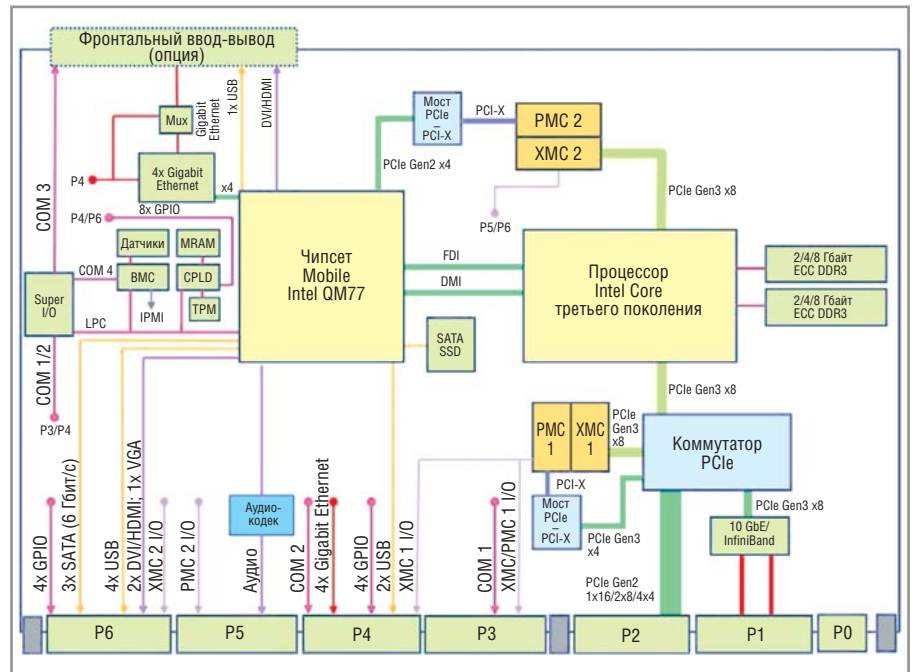


Рис. 3. Функциональная схема VPX-платы SBC625 компании GE Intelligent Platforms

Аналогично рассмотренным выше процессорным модулям Kontron, данный продукт также выполнен на основе набора ИС Mobile Intel QM77. Процессор устанавливается по выбору заказчика. В списке базовых конфигураций присутствуют Intel Core i7-3517UE, двухъядерный Intel Core i7-3555LE (2,5 ГГц) и четырёхъядерный Intel Core i7-3615QE (2,3 ГГц). Для внутрисистемных коммуникаций могут использоваться интерфейсы PCIe, 10 GbE и InfiniBand (см. рис. 3). Фронтальный вывод разъемов дисплейного, сетевого (Gigabit Ethernet) и стандартного последовательного интерфейсов, а также USB предлагаются по заказу.

В качестве основных программных платформ для всех трёх рассмотренных продуктов Kontron и GE Intelligent Platforms выступают ОС Windows, Linux и VxWorks.

## COM EXPRESS: СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МИНИАТЮРЕ

Как и ожидалось, ведущие производители продуктов на основе методологии COM (Computer-On-Module) оперативно выпустили на рынок соответствующие изделия. Так, компания Kontron, являющаяся родоначальником данного стандарта, представила две новые серии модулей COM Express форм-фактора basic на основе процессоров Ivy Bridge – COMe bIP2 (с расположением выводов Type 2) и COMe bIP6 (Type 6).

Модели этих серий различаются используемым процессором. Это может

быть двух- или четырёхъядерный процессор семейства Intel Core i3-3000, Intel Core i5-3000 или Core Intel i7-3000 (в модификации для встраиваемых мобильных приложений) с тактовой частотой от 1,6 до 2,7 ГГц и тепловым пакетом от 17 до 45 Вт.

Все модули COMe bIP2 и COMe bIP6 поддерживают три интерфейса DisplayPort (с помощью переходников можно использовать дисплеи DVI и HDMI), в том числе – один eDP (вариант DisplayPort для встраиваемых приложений). При необходимости для вывода видеопотока можно задействовать порт SDVO, двухканальный интерфейс LVDS или аналоговый интерфейс с разрешением до 2048 × 1536.

Возможности работы представленных модулей с дисковыми накопителями включают поддержку двух SATA-устройств третьего поколения (пропускная способность шины – 6 Гбит/с) и двух SATAII (3 Гбит/с). Модули с разъемом Type 2 позволяют использовать один дисковый накопитель с PATA-интерфейсом.

От типа модуля зависят варианты поддержки интерфейсов PCI, PCIe и USB. Так, модули Type 2 позволяют использовать восемь портов USB 2.0, графический порт PCIe x16, пять линий PCIe x1 и параллельную шину PCI версии 2.3 (33 МГц). У модулей Type 6 имеются четыре порта USB 3.0, а количество внешних линий PCIe x1 равно семи (см. рис. 4). Присутствует поддержка подключений по шине PCIe x16, а возможность использования параллель-

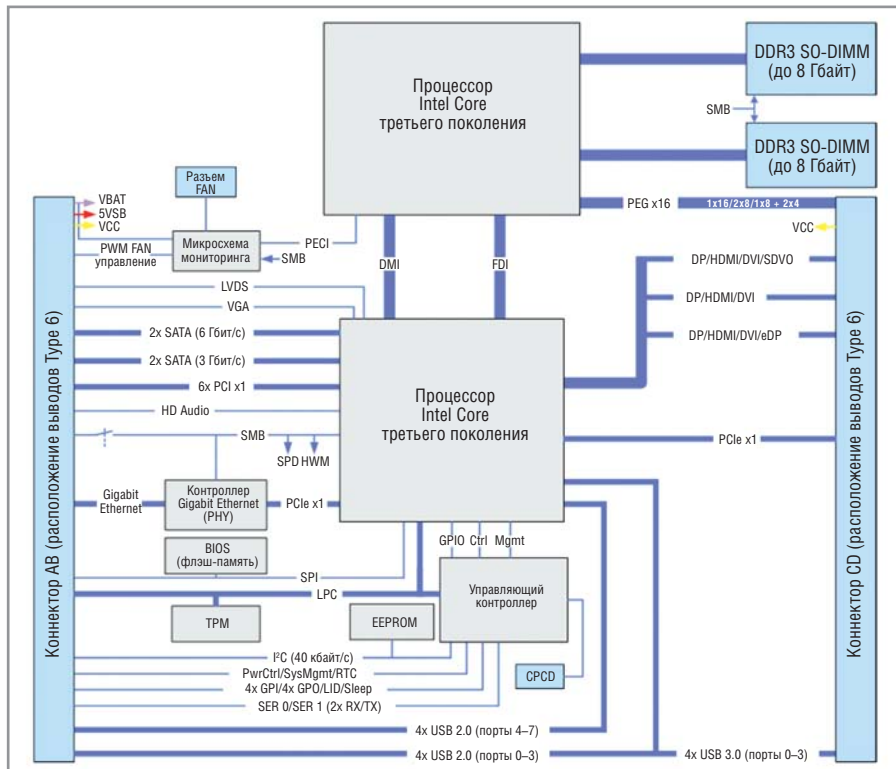


Рис. 4. Функциональная схема модуля COM Express серии Kontron COMe-BIP6 (с расположением выводов Type 6), выполненного на базе процессора Intel Core третьего поколения

ного интерфейса PCI не предусмотрено.

Коммуникационная подсистема у модулей обоих типов включает интерфейс Gigabit Ethernet. Отметим также наличие интегрированного криптопроцессора, выполненного в соответствии со спецификацией TPM (Trus-

ted Platform Module) версии 1.2, поддержку технологии ACPI 3.0 (реализует механизмы конфигурирования и управления питанием средствами ОС) и использование твердотельных конденсаторов с танталовым анодом, обладающих повышенной надёжностью.

Программная поддержка продуктов серий COMe BIP2 и COMe BIP6 включает пакеты BSP (Board Support Package) для ОС семейства Windows, а также Linux и VxWorks. Основными вариантами применения рассматриваемых модулей COM Express являются медицинские приборы, цифровые системы оповещения и рекламы, автоматизация розничной торговли, а также приложения класса M2M (Machine-To-Machine) в оборонной и аэрокосмической сферах.

### СомрастPCI: логичный подход к развитию

Среди новых процессорных плат CompactPCI форм-фактора 3U отметим плату Kontron CP3003-SA (см. рис. 5). Базовые варианты конфигурации этого продукта включают процессор Intel Core i7-3517UE, Intel Core i7-3555LE или Intel Core i7-3612QE. Плата CP3003-SA выполнена на основе набора ИС Mobile Intel QM77 и предлагается с одним (типоразмер 4HP) и двумя (8HP) разъёмами. Последний вариант предполагает использование одного из двух предлагаемых вариантов модуля расширения – CP3003-HDD или CP3003-XMC и, соответственно, обеспечивает поддержку флэш-карт CFast и 2,5-дюймовых накопителей или представляет собой плату-носитель, к которой могут подключаться платы расширения XMC.

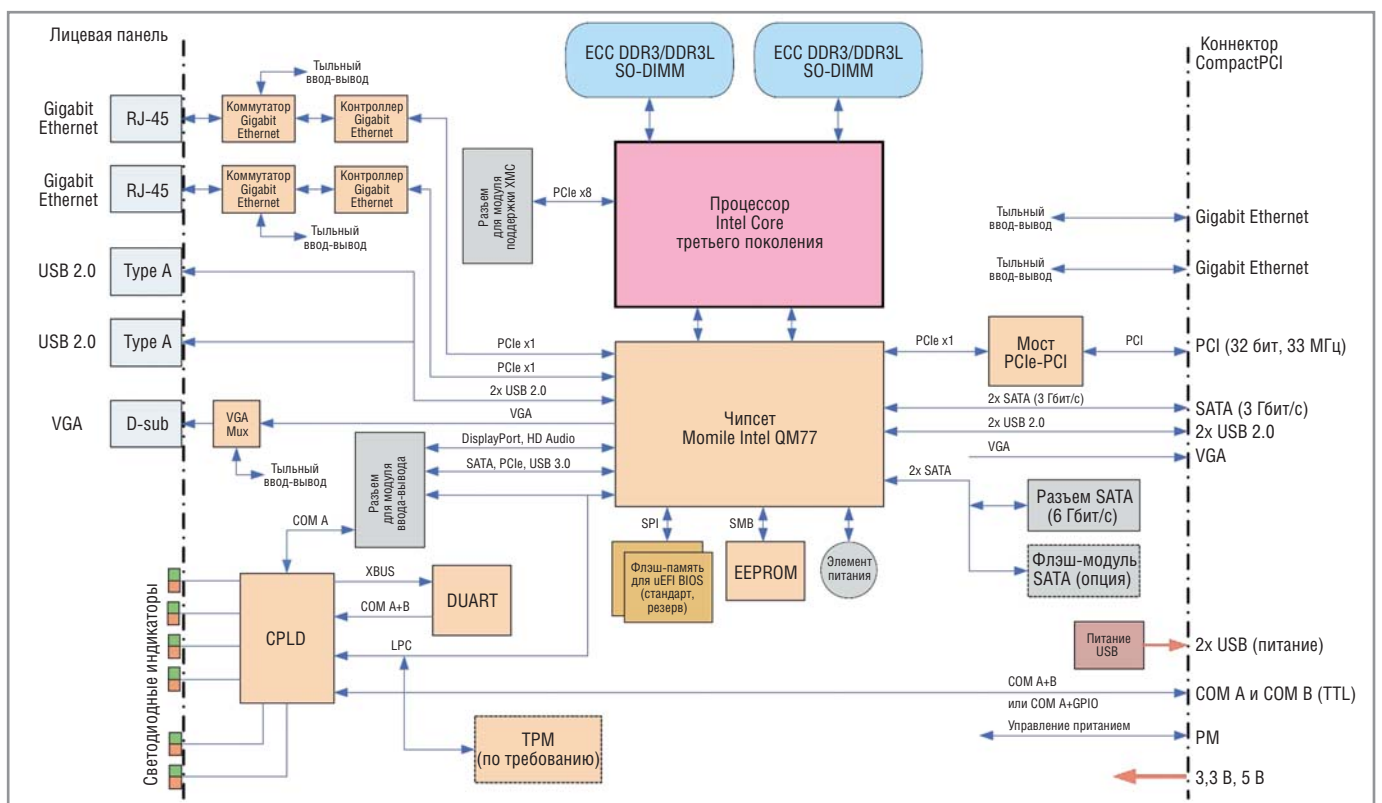


Рис. 5. Функциональная схема CompactPCI-платы Kontron CP3003-SA

Плата CP3003-SA может устанавливаться как в системный, так и в периферийный разъем. В первом случае используется 32-битный интерфейс CompactPCI, работающий на частоте 33 МГц (по заказу – 66 МГц). При установке в периферийный разъем поддержка пассивного режима PCI обеспечивает изоляцию платы от шины CompactPCI.

Для систем CompactPCI форм-фактора 6U компания GE Intelligent Platforms предлагает процессорный модуль XCR15, во многом похожий по своим характеристикам на ранее упомянутый VPX-модуль SBC625 (те же процессоры в базовых конфигурациях, тот же набор ИС и пять вариантов системы охлаждения). Данный продукт соответствует стандарту PICMG 2.16, т.е. может применяться в составе систем CompactPCI на основе объединительных плат с коммутацией пакетов.

В числе характеристик платы XCR15 отметим наличие интегрированного контроллера IPMI 2.0. Поддерживаются также различные варианты подключения мезонинов PMC и XMC.

Следует отметить, что для систем на основе близких магистрально-модульных стандартов (VPX, CompactPCI, VME) компания GE Intelligent Platforms предлагает процессорные платы на основе Ivy Bridge, схожие по своим характеристикам, базовым конфигурациям и вариантам исполнения. Логика в этом, безусловно, есть. Консерватизм заказчиков часто заключается в выборе используемых магистрально-модульных архитектур. Компания GE Intelligent Platforms не пытается оказать влияние на этот выбор, а предоставляет заказчику возможность получить решение, выполненное с использованием самых передовых технологий.

В качестве основных программных платформ для рассмотренных устройств Kontron и GE Intelligent Platforms фигурируют ОС семейства Windows, а также версии Linux и VxWorks. Адаптация систем QNX, LynxOS, RTX, Integrity и др. для решений на платформе Intel Core третьего поколения – вопрос непродолжительного времени.

## Плоды долгосрочной стратегии

Собственная разработка материнских плат для встраиваемых систем, включающая тщательный отбор компонентов и обширную программу испытаний, относится к числу долго-

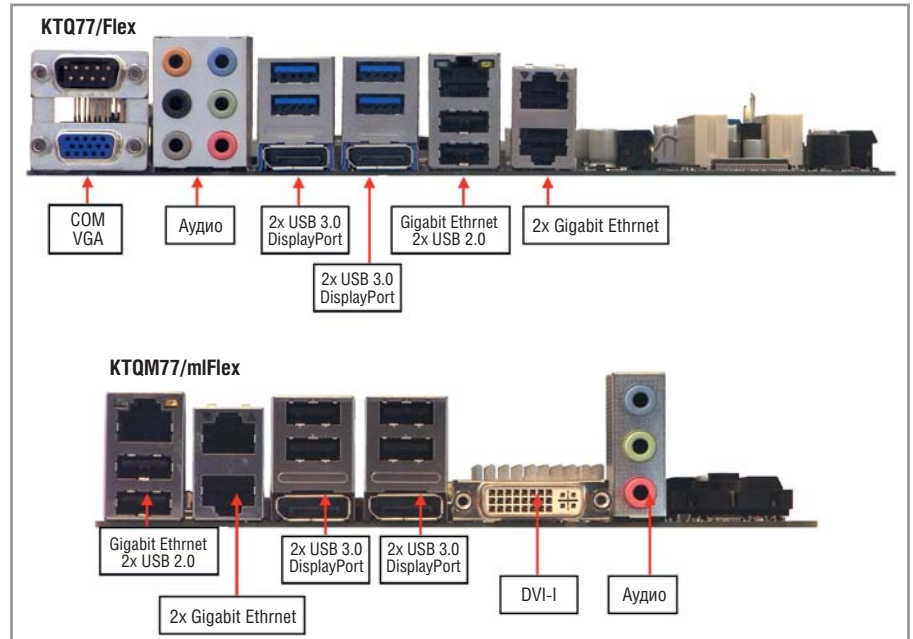


Рис. 6. Расположение тыловых разъемов ввода-вывода на материнских платах Kontron KTQ77/Flex (вверху) и KTQM77/mITX

срочных стратегических приоритетов компании Kontron и других ведущих производителей. Материнская плата Kontron KTQ77/Flex форм-фактора FlexATX, предназначенная для систем на основе двух- и четырехъядерных процессоров третьего поколения Intel Core, имеет жизненный цикл семь лет.

Плата выполнена на основе набора ИС Intel Q77, а её возможности по подключению плат расширения включают два разъема PCIe x16 (один – для устройств PCIe 3.0, другой поддерживает спецификации PCIe второго поколения и работает в режиме x4), два разъема PCI (32 бит, 33 МГц) и один разъем Mini PCIe. Для подключения накопителей могут использоваться шесть разъемов SATA и один mSATA. Поддерживаются RAID-массивы уровней 0, 1, 5 и 1+0. Внешние подключения обеспечивают четыре разъема USB 3.0, два – USB 2.0 (при необходимости их количество может быть увеличено до десяти), три – Gigabit Ethernet (RJ-45), два – DisplayPort, по одному – RS-232 (DB9) и VGA. По заказу возможна установка криптопроцессора TPM 1.2.

Ещё одна материнская плата Kontron для систем на основе процессоров Ivy Bridge, также относящаяся к продуктам с жизненным циклом в семь лет, называется KTQM77/mITX. Данное устройство выполнено в форм-факторе Mini-ITX на основе набора ИС Mobile Intel QM77 и несколько отличается от KTQ77/Flex по возможностям использования плат расширения и подключения внешних устройств (см. рис. 6).

Так, разъем PCIe x16 с поддержкой PCIe 3.0 на плате KTQM77/mITX соседствует с разъемом PCIe x1 для устройств PCIe второго поколения, установка устройств с параллельным интерфейсом PCI не предусмотрена, а два разъема Mini PCIe располагаются с обратной стороны платы. Для подключения мониторов могут быть задействованы два разъема DisplayPort и один DVI. В то же время возможности использования USB-устройств, SATA-накопителей (включая поддержку RAID) и сетевые подключения у KTQM77/mITX полностью аналогичны KTQ77/Flex. И при необходимости также может быть реализован вариант с модулем шифрования данных, соответствующим спецификации TPM 1.2.

Программные платформы, для работы с которыми оптимизированы платы KTQ77/Flex и KTQM77/mITX, традиционно включают ОС семейства Windows, а также Linux и VxWorks. Однако в данном случае оговорена поддержка некоторых конкретных версий Linux, в частности, Red Hat Enterprise Linux, SUSE Linux Enterprise, Red Flag Linux и Wind River Linux. Целевыми рынками для материнских плат Kontron с поддержкой процессоров Ivy Bridge являются медицинское оборудование для компьютерной диагностики, игровые автоматы и цифровые системы оповещения и рекламы, а также решения в области автоматизации, предназначенные для розничной торговли, промышленности и оборонной отрасли.

## ПРОГРАММНАЯ ПОДДЕРЖКА

Даже бегло просмотрев характеристики продуктов на базе процессоров третьего поколения Intel Core, нетрудно убедиться, что практически для всех реализована программная поддержка популярных ОС, в том числе встраиваемых ОС Windows и Linux, а для некоторых – и разнообразных ОС реального времени. Как правило, речь идёт о поддержке на уровне драйверов и BIOS, иногда – служебных программ и т.п.

Вопрос об оптимизации ПО для платформы Ivy Bridge стоит менее остро, чем для Sandy Bridge. Причина в том, что на уровне микроархитектуры эти процессоры мало отличаются друг от друга. По сути для многих приложений оптимизация для новых процессоров необязательна. Да, в третьем поколении Intel Core добавилось несколько инструкций AVX. По сравнению с первоначальной реализацией данной технологии в микроархитектуре Sandy Bridge, сделанный шаг вперёд позитивен, но не столь велик. Революционным изменением, возможно, станет технология AVX2, поддержка которой должна появиться в процессорах на основе микроархитектуры следующего поколения (Haswell).

В процессорах Ivy Bridge появились новые функции обеспечения безопас-

ности – Intel Secure Key (включает цифровой генератор случайных чисел, используемый для усиления криптографических алгоритмов) и Intel OS Guard (обеспечивает механизм блокировки вмешательства со стороны приложений пользователя при работе системы на максимальном уровне привилегий). Неслучайно среди разработчиков ПО для встраиваемых решений, отреагировавших на премьеру Ivy Bridge, наиболее заметным стала компания LynxWorks, объявившая о выходе оптимизированного для представленной платформы варианта пакета безопасной виртуализации LynxSecure.

Отметим, что и для второго поколения Intel Core многие специалисты не считали программную поддержку вопросом первостепенной важности, и подобная точка зрения не лишена оснований. Отметим лишь, что программная поддержка Ivy Bridge как минимум не хуже Sandy Bridge.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вытеснение узкоспециализированных решений технологиями массового применения для потребительского и корпоративного рынков постепенно превратилось в одну из важнейших тенденций рынка встраиваемых систем. Аккумулируя наибольший объём инвестиций и воплощаясь в продуктах

категории COTS (Commercial Off-The-Shelf), эти технологии не только обеспечивают возросшие показатели вычислительной производительности и энергоэффективности, но и позволяют сокращать циклы разработки встраиваемых решений и снижать их стоимость.

Исходя из этого, платформа Ivy Bridge представляется логичным выбором для приложений, ориентированных на различные вертикальные рынки, в том числе те, где архитектура IA ранее не применялась. Процессоры третьего поколения Intel Core совмещают архитектурные достоинства Sandy Bridge с преимуществами перехода на более совершенный технологический техпроцесс, что расширяет возможности приложений.

Неминуемость прихода третьего поколения Intel Core на смену второму не вызвала абсолютно никаких сомнений, и на текущий момент верх совершенства процессорных технологий Intel, доступных разработчикам встраиваемых решений, олицетворяет собой именно продуктовая линейка Ivy Bridge. Впрочем, закон Мура неумолим, и поэтому через какое-то время ситуация в очередной раз изменится – когда придёт черед дебютировать на рынке процессорам следующего поколения на основе микроархитектуры Haswell. ☺