

Энергоэффективные встраиваемые компьютерные модули на базе Intel® Atom™



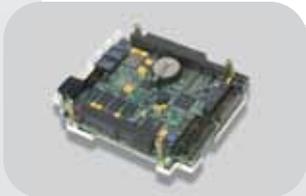
CPC805



Одноплатный компьютер формата EPIC

- Intel Atom N450 1,66 ГГц
- 1 или 2 Гбайт DDR2 SDRAM
- VGA и LVDS до 1400×1050 точек
- Возможности расширения*
- PCI-104: 32 бит PCI
- StackPC: 4 x1 PCI Express, 6×USB 2.0, 2×SATA, 2×RS-232, LPC, SMBus
- 2×Gigabit Ethernet
- 1×SATA, CF IDE NAND Flash 4 Гбайт
- 4×USB 2.0, PS/2, Audio
- 2×RS-232, 2×RS-422/486 с гальваноразвязкой

CPC308



Одноплатный компьютер стандарта PC/104-Plus

- Intel Atom D510 или N450 1,66 ГГц
- Поддержка модулей PC/104-Plus
- 1 Гбайт DDR2 SDRAM 667 МГц
- VGA до 2048×1536 точек и LVDS 18 бит до 1366×768 точек
- Два порта Gigabit Ethernet
- 2×SATA, SATA NAND Flash 4 Гбайт, CF Type I/II
- 4×USB 2.0, 2×RS-232, 2×RS-485/422 с гальваноразвязкой

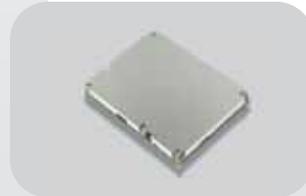
CPC508



Процессорная плата CompactPCI 3U PICMG 2.30

- Intel Atom N450 или D510 1,66 ГГц
- 1 Гбайт DDR2 SDRAM 667 МГц
- VGA до 2048×1536 точек
- 2×Gigabit Ethernet
- 1×CompactFlash, SATA NAND Flash 4 Гбайт
- Интерконтакты обмена данными по кросс-плате: PCI 32 бит, 4 x1 PCI Express, 2×SATA, 4×USB 2.0

CPC1310



Компьютерный модуль COM Express Type II

- Intel Atom D510 1,66 ГГц или N450 1,66 ГГц
- 1 Гбайт DDR2 SDRAM 667 МГц
- VGA до 2048×1536 (60 Гц) и LVDS до 1366×768 (60 Гц 18 бит)
- 2×SATA, NAND SATA Flash 4 Гбайт
- 4 x1 PCI Express Gen 1, 32 бит PCI
- До 2 Gigabit Ethernet
- 8×USB 2.0, PS/2, LPC, SPI, HD Audio
- Модификации с дополнительным разъемом: ISA 16 бит, 8 каналов цифрового ввода-вывода



- Долгосрочная программа производства — более 7 лет
- Поддержка операционных систем DOS, QNX, Windows, Linux
- Диапазон рабочих температур -40...+85°C
- Высокая вибро- и ударостойкость
- Влагозащитное покрытие



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ FASTWEL

- | | |
|---------------------|--|
| МОСКВА | Тел.: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640 • info@prosoft.ru • www.prosoft.ru |
| С.-ПЕТЕРБУРГ | Тел.: (812) 448-0444 • Факс: (812) 448-0339 • info@spb.prosoft.ru • www.prosoft.ru |
| АЛМА-АТА | Тел.: (727) 329-5121 • filinskiy@kz.prosoft.ru • www.prosoft.ru |
| ВОЛГОГРАД | Тел.: (960) 870-2557 • volgograd@prosoft.ru • www.prosoft.ru |
| ЕКАТЕРИНБУРГ | Тел.: (343) 376-2820 • Факс: (343) 310-0106 • info@prosoftsystems.ru • www.prosoftsystems.ru |
| КАЗАНЬ | Тел.: (843) 291-7555 • Факс: (843) 570-4315 • info@kzn.prosoft.ru • www.prosoft.ru |
| КИЕВ | Тел.: (+380-44) 206-2343/2478/2496 • Факс: (+380-44) 206-2343 • info@prosoft-ua.com • www.prosoft.ru |
| КРАСНОДАР | Тел.: (861) 224-9513 • Факс: (861) 224-9513 • krasnodar@prosoft.ru • www.prosoft.ru |
| Н. НОВГОРОД | Тел.: (831) 215-4084 • Факс: (831) 215-4084 • n.novgorod@prosoft.ru • www.prosoft.ru |
| НОВОСИБИРСК | Тел.: (383) 202-0960; 335-7001/7002 • info@nsk.prosoft.ru • www.prosoft.ru |
| ОМСК | Тел.: (3812) 286-521 • omsk@prosoft.ru • www.prosoft.ru |
| САМАРА | Тел.: (846) 277-9166 • Факс: (846) 277-9165 • info@samara.prosoft.ru • www.prosoft.ru |
| УФА | Тел.: (347) 292-5216/5217 • Факс: (347) 292-5218 • info@ufa.prosoft.ru • www.prosoft.ru |
| ЧЕЛЯБИНСК | Тел.: (351) 239-9360 • chelyabinsk@prosoft.ru • www.prosoft.ru |

Открытые спецификации для построения **модульных встраиваемых компьютерных систем**



Статья посвящена новой спецификации для построения встраиваемых систем CompactPCI Serial из семейства CompactPCI, ее техническим особенностям, тем возможностям, которые она дает разработчикам модульных систем

Компания ПРОСОФТ, г. Москва

В 2011 году была принята базовая спецификация CompactPCI Serial – тем самым было пополнено семейство популярных спецификаций для построения встраиваемых компьютерных систем CompactPCI. Львиная доля модульных встраиваемых компьютерных систем в мире разрабатывается на базе открытых стандартов, описывающих механическую конструкцию, теплоотвод, электрические соединения и часто даже логические протоколы связи между модулями системы. Такие стандарты позволяют существенно сократить сроки разработки изделий промышленной электроники за счет использования модулей от разных производителей, не потеряв при этом в новизне и технологичности самого решения. По сути, стандарт – это и есть технология обеспечения совместимости модулей разных производителей для создания целостной системы.

Однако выбор стандарта – непростая задача для разработчиков, и в основном по двум причинам. Первая – сами стандарты со временем развиваются в техническом аспекте. Уследить за этим достаточно сложно: нужно вести мониторинг появляющихся изменений, приобретать обновленные версии, читать, а главное – усваивать их содержимое, что, как правило, требует применения «коллективного инженерного разума». Вторая причина – сам по себе стандарт может выглядеть интересно с технической точки зрения, но не пользоваться популярностью

на рынке. Соответственно, будет сложно найти те или иные необходимые модули как на этапе разработки системы, так и (что существенно хуже) на этапе ее серийного производства.

Итак, в 2011 году была принята новая спецификация – CompactPCI Serial. Ее разработали для того, чтобы обновить интерконнекты обмена данными между модулями в системах CompactPCI и тем самым обеспечить решение задач построения модульных систем на следующие 15–20 лет.

История семейства CompactPCI началась в 1999 году (рис. 1) с выпуска первой, так называемой базовой, спецификации, объединившей механический стандарт Евромеханики (МЭК 60297) с шиной PCI. В то время обмен данными между модулями обеспечивался 32-разрядной шиной PCI, имеющей пропускную способность около 1 Гбит/с. Эта шина выполняла роль универсального интерконнекта, обеспечивающего об-

мен данными как при совместных вычислениях, так и с периферийными модулями и модулями хранения. В последующие 10 лет были выпущены две спецификации, каждая из которых добавляла последовательные интерконнекты к параллельной шине PCI: в PICMG 2.16 было добавлено два канала Ethernet, а в PICMG 2.30 – четыре канала x1 PCI-E и еще два канала Ethernet. И наконец в 2011 году была принята спецификация CompactPCI Serial, существенно увеличивающая пропускные способности всех типов интерконнектов: обмена данными (PCI-E и Ethernet), подсистемы хранения (SAS/SATA) и подсистемы ввода/вывода для периферии общего профиля (USB 2.0/3.0).

С одной стороны, CompactPCI Serial выглядит как логичное продолжение тенденции постепенного перехода от параллельных шин к последовательным интерконнектам типа «точка – точка», но если посмотреть глубже и вникнуть в детали,

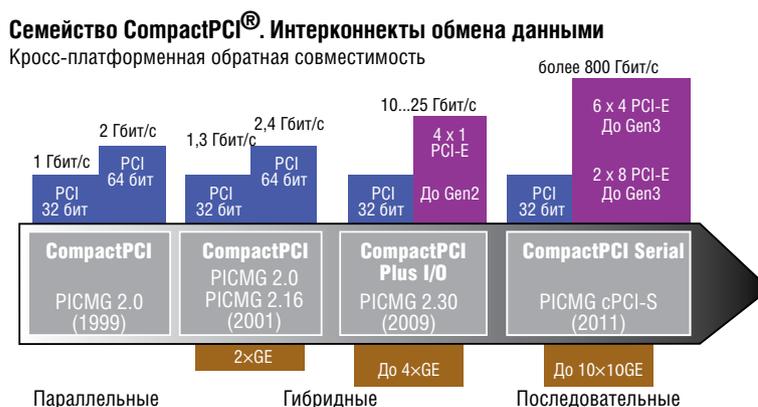


Рис. 1. Развитие интерконнектов межмодульного обмена данными семейства стандартов PICMG CompactPCI

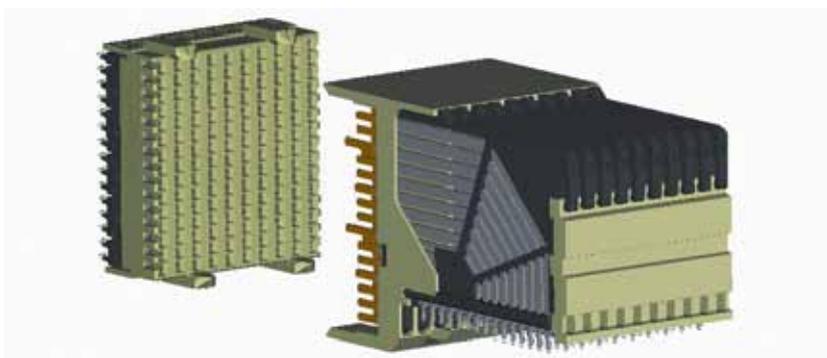


Рис. 2. Внешний вид разъемов CompactPCI Serial AirMax VS® компании FCI, устанавливаемых на кросс-платы (слева) и модули-лезвия (справа)

то можно увидеть, что CompactPCI Serial – новая базовая спецификация в семействе, и это очень важно для промышленности и разработчиков встраиваемых систем. В данной статье мы покажем новизну и значимость CompactPCI Serial и обсудим вопрос, зачем понадобилось разрабатывать новую базовую спецификацию вместо того, чтобы предлагать для решения задач такие спецификации, как VPX и OpenVPX консорциума VITA (www.vita.com) или MicroTCA и ATCA консорциума PICMG (www.picmg.org).

Ключевые нововведения CompactPCI Serial

В CompactPCI Serial пять ключевых нововведений: новые разъемы, высокоскоростные интерконнекты, новое расположение разъемов на платах 6U, новая схема питания и технология кондуктивного охлаждения.

Разъемы

CompactPCI Serial использует новые высокоплотные разъемы для передачи данных как на стороне модулей-лезвий, так и на стороне кросс-плат (рис. 2). Тестирование разъемов, например AirMax компании FCI, показало высокое качество передачи сигналов вплоть до частот 12,5 ГГц. Конструкция разъемов допускает их установку с разных сторон платы, что позволяет применять мезонинную концепцию построения модулей-лезвий с подключением мезонинов напрямую к кросс-платам.

Интерконнекты

CompactPCI Serial четко прописывает назначение контактов (распиновку) четырех типов интерконне-

ктов и одну контрольную шину I2C на разъемах системных контроллеров и разъемах периферии. На физическом уровне каждый канал состоит из двух дифференциальных пар, обеспечивающих передачу данных от источника к приемнику и обратно. Так как все интерконнекты в CompactPCI Serial последовательные, то спецификация описывает их топологию, а именно: PCI-E, SATA и USB имеют топологию звезды, с системным контроллером (Syst.) в качестве хоста, в то время как Ethernet имеет топологию полной односвязной сети (full mesh), или, другими словами, «каждый с каждым» (рис. 3).

Важно отметить, что стандарт CompactPCI Serial не накладывает ограничений на ту или иную конфигурацию кросс-плат, оставляя эту работу заказчику и производителям кросс-плат. Соответственно, какие-

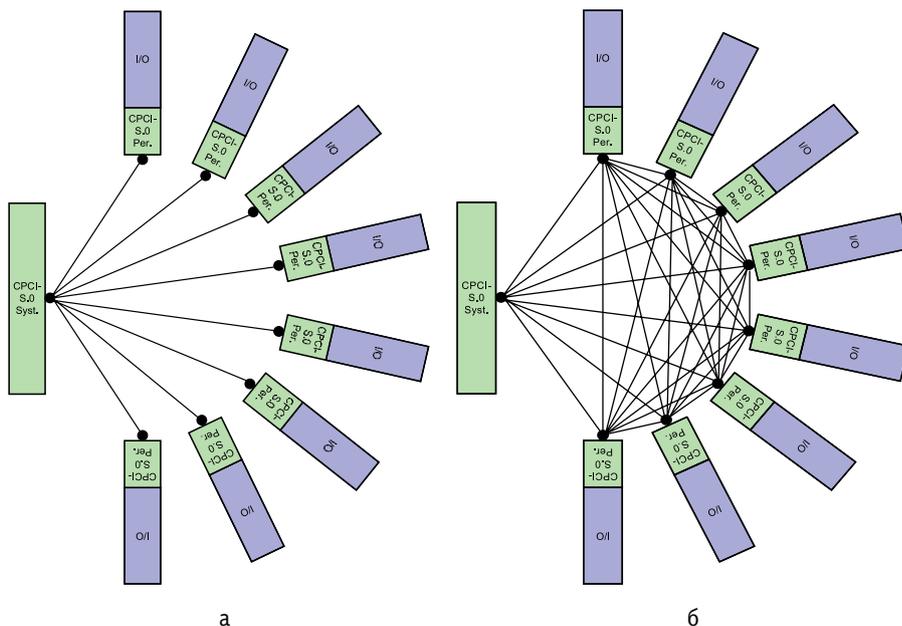


Рис. 3. Топологии межмодульных интерконнектов в спецификации CompactPCI Serial: PCI-E, SATA и USB (a); Ethernet (б)

то системы могут быть построены для подключения только одного модуля приложения или периферии (Per.), другие – для подключения до 24 прикладных модулей. CompactPCI Serial для модулей 6U описывает дополнительный разъем на модуле системного контроллера, подводящий два дополнительных канала Ethernet, которые могут быть использованы для обеспечения совместимости с PICMG 2.16, и дополнительное питание.

Механическая конструкция модулей-лезвий, кросс-плат и систем

Механическая конструкция претерпела небольшие изменения, но со значимыми последствиями для систем 6U. Так, все разъемы для подсоединения к кросс-плате теперь находятся в верхней половине платы 6U, в то время как нижняя половина оставлена свободной и может быть использована для установки разъемов по спецификации заказчика и/или для прямого подключения к плате тыльного ввода/вывода (рис. 4). Если же для организации системы 6U не нужны поддержка PICMG 2.16 и дополнительное питание, то в таких системах можно использовать кросс-платы 3U. Преимуществом такого подхода является снижение цен на кросс-платы (они теперь стали меньше по размеру и проще в изготовлении), а также возмож-

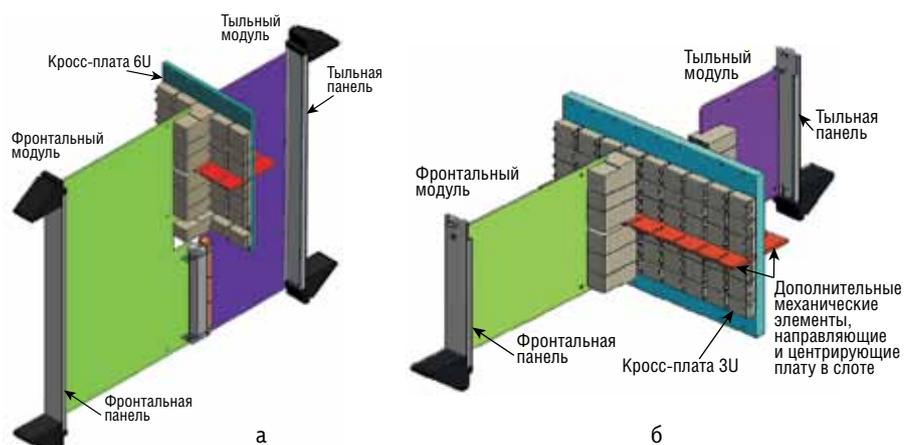


Рис. 4. Примеры подключения фронтальных и тыльных плат ввода/вывода к кросс-платам CompactPCI Serial для систем 6U (а) и 3U (б)

ность поддержки наследственных (то есть доставшихся в наследство от предыдущих спецификаций) интерконнектов (Ethernet и PCI) и построения гибридных систем.

Помимо перечисленных усовершенствований, в модулях 3U появился один, а в модулях 6U — два механических элемента, направляющих и центрирующих платы при присоединении к кросс-плате, что должно облегчить процессы сборки систем и замены модулей для ремонта.

Новая схема питания

Новые разъемы также позволили усовершенствовать систему питания. CompactPCI Serial требует всего одного напряжения питания +12 В с максимальной подводимой мощностью в 79,8 Вт для каждого модуля 3U и 171 Вт для модуля 6U, необходимого для обеспечения питанием высокопроизводительных модулей шириной 8НР или 12НР либо для питания модулей с кондуктивным или жидкостным охлаждением. Кроме того, CompactPCI Serial дает возможность системному контроллеру управлять питанием, например при наступлении того или иного события (wake on LAN или wake on modem). Таким образом, функции, реализованные во всех современных процессорах и чипсетах, могут быть использованы при построении встраиваемой системы.

Кондуктивное охлаждение

Спецификация CompactPCI Serial предлагает разработчикам систем простой вариант реализации систем

с кондуктивным охлаждением. Он предполагает упаковку стандартной платы в металлическую кассету, которая вставляется в систему с шагом 5НР между модулями.

Совместимость

Очень часто успех того или иного нового технического решения основан на поддержке наследственных технологий. Яркий пример — успех x86-архитектуры процессоров, поддерживающей работу написанного ранее программного кода. В семействе CompactPCI новая спецификация CompactPCI Serial предоставляет разработчикам систем широкие возможности по интегрированию наследственных модулей PICMG 2.0, 2.30 и 2.16 в рамках одной системы. Периферийные или прикладные модули CompactPCI 2.30 (PICMG 2.30) используют одинаковые разъемы и полностью совместимы с CompactPCI Serial. Системные контроллеры и периферийные модули 3U можно применять в системах 6U.

Спецификация CompactPCI Serial позволяет создавать гибридные системы — такие, в которых периферия базируется как на последовательных интерконнектах, так и на наследственных шинах PCI 32-го или 64-го разряда.

Семейство центральных процессоров для CompactPCI Serial

Увеличение подводимой мощности к системным контроллерам CompactPCI Serial до 79,8 Вт (3U) и 171 Вт (6U) позволяет устанавли-

вать практически любые процессоры как PowerPC, так и x86-архитектуры. Причем, используя преимущества механической конструкции, на модулях двойной ширины теперь можно устанавливать не только напаяемые процессоры из мобильного сегмента продукции поставщиков CPU, но и серверные сокетные процессоры, и вертикально устанавливаемую динамическую память DIMM или SO-DIMM. Напомним, спецификация CompactPCI определяла подвод мощности всего 50 Вт как для модулей 3U, так и для 6U, что требовало применения фирменных способов для установки серверных процессоров.

Информированный читатель может задать вопрос, а зачем нужно было разрабатывать новую спецификацию на базе последовательных интерконнектов, если уже есть две базовые спецификации в консорциуме PICMG — ATCA и MicroTCA — и одна в консорциуме VITA — VPX/OpenVPX. Это правильный вопрос, и ответ на него очень важен с точки зрения понимания тех преимуществ, которые архитектура системы дает для решения конкретной задачи.

Разберем это подробнее. Прежде всего сравним такие базовые параметры, как площади плат, возможности подвода тех или иных интерфейсов для ввода/вывода данных, возможность установки тех или иных компонентов на плату, а также тепловые бюджеты модулей. Габаритные размеры и тепловые бюджеты модулей CompactPCI (CPCI) и VME одинаковы, поэтому их можно рассматривать совместно. Используемые в стандарте MicroTCA модули-лезвия AMC могут иметь ширину 3НР, 4НР или 6НР и два размера платы — одинарный и двойной. Если мы сравним площади плат CPCI/VME с площадями AMC и ATCA, то сами собой напрашиваются два вывода, связанных с возможностями размещения электронных компонентов, радиаторов и воздушного отвода тепла: 1) модули ATCA предлагают возможности, несопоставимые с CPCI/VME и MicroTCA (рис. 5 а); 2) модули CPCI/VME в формате 3U имеют сравнимые характери-

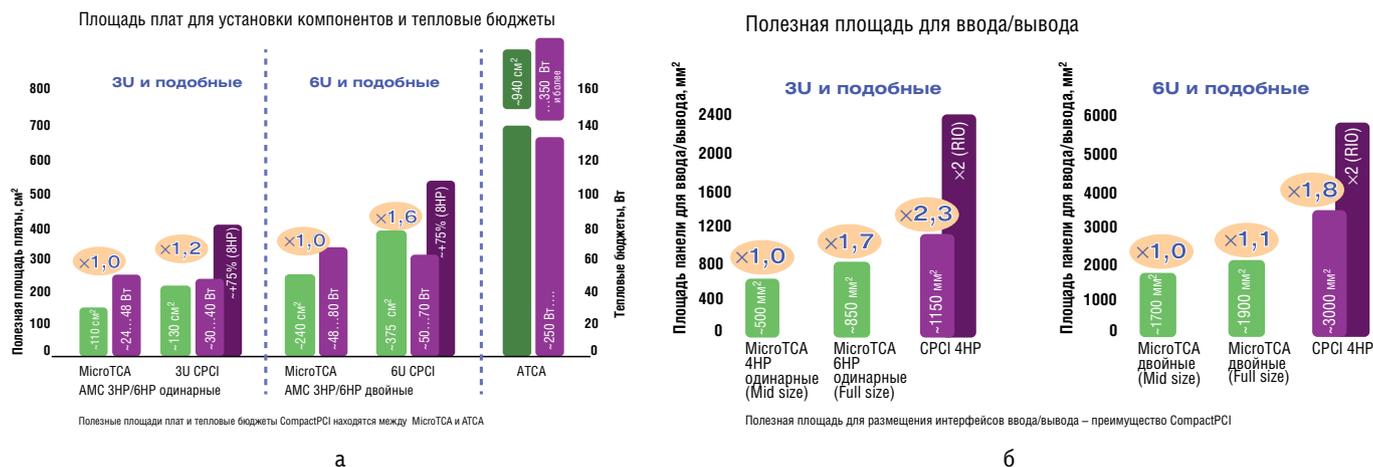


Рис. 5. Сравнение технологий CompactPCI/VME, MicroTCA и ATCA: по полезным площадям плат для размещения электронных компонентов и способностям для воздушного отвода тепла (а); по полезной площади панелей для размещения разъемов ввода/вывода (б)

стики с модулями-лезвиями AMC одинарного размера для систем MicroTCA, в то время как в формате 6U модули CompactPCI/VME демонстрируют существенные преимущества (плюс 60%) перед MicroTCA.

Кроме того, нужно отметить, что производители CompactPCI/VME широко используют возможность увеличения ширины плат до 8НР и даже 12НР, устанавливая дополнительные платы и размещая на них необходимый функционал. В то время как производители функциональных модулей AMC не могут выйти за максимальный размер 6НР, так как этот размер определяется ограничением на толщину мезонинов в ATCA (AMC – это мезонин для ATCA). Отсюда вывод: спецификации CompactPCI/VME позволяют разработчикам устанавливать большее количество компонентов и компоненты большего размера на модули-лезвия, а устройствам – выносить большие тепловые нагрузки при воздушном охлаждении, чем модули AMC в системах MicroTCA.

Если же мы рассмотрим площади передних панелей, которые определяют возможности для установки тех или иных разъемов и возможности по вводу/выводу тех или иных интерфейсов, то преимущество модулей CompactPCI/VME сразу становится очевидным (рис. 5 б). Справедливости ради необходимо отметить, что новый стандарт MicroTCA.4, принятый в 2011 году, стал поддерживать возможность прямого подключения фронтальных модулей к тыльным модулям

такого же размера, тем самым позволяя увеличить площадь для установки компонентов в 2 раза, а отводимую мощность – ориентировочно на 50%.

Таким образом, можно утверждать, что по тем возможностям, которые спецификации CompactPCI и VME дают для расширения площади плат и установки на них компонентов, они выигрывают у MicroTCA, в то время как по возможностям ввода/вывода они имеют неоспоримое преимущество перед MicroTCA.

Резервирование

Стандарт CompactPCI Serial предоставляет разработчикам широкие возможности для реализации резервирования. Например, периферийные модули могут быть дублированы или троированы, и замена вышедшего из строя модуля возможна без выключения системы («горячая» замена). Полное внутрисистемное дублирование может быть организовано при синхронизации работы двух сегментов CompactPCI Serial через каналы Ethernet (для систем 3U и 6U) или с участием внутрисистемных коммутаторов (только для 6U). Правда, внутрисистемное полное резервирование в настоящее время используется редко. Существенно чаще применяется распределенное резервирование, которое позволяет повысить работоспособность системы за счет расположения ее элементов в разных местах на объекте с питанием от различных источников и использованием распределенных линий связи.

CompactPCI Serial в сетевой инфраструктуре

Изначально первый стандарт CompactPCI был разработан с прицелом на использование в ядре публичных телекоммуникационных сетей. Но с конца 90-х годов прошлого века телекоммуникационные сети очень сильно изменились, и коммутационной мощности, предоставляемой системами CompactPCI (1–2 Гбит/с), стало не хватать. Сейчас их место в ядре публичных сетей прочно заняли системы ATCA с производительностью 10–40 Гбит/с и решения на базе стоечных серверов. А что же CompactPCI Serial? С обновленными высокими значениями пропускной способности внутренних интерконнектов стандарт CompactPCI Serial может быть успешно использован в системах, предназначенных для построения сетевой инфраструктуры, базирующейся на IP.

Однако CompactPCI Serial открывает перед разработчиками новые возможности, скорее, не в ядрах публичных телекоммуникационных сетей, а на их периферийных и пограничных участках. Вне зависимости от типа потребителей информации, будь то цифровой дом, цифровой транспорт, цифровой офис или абоненты, оборудование для их доступа в сеть должно уметь воспринимать различные проводные и беспроводные протоколы передачи данных, агрегировать и конвертировать эти потоки в TCP/IP и вести их первичную обработку.

Мощность CompactPCI Serial, конкурентные цены и низкие зна-

чения гранулярности – вот неполный перечень тех преимуществ, которые играют здесь ключевую роль.

Коммутационные мощности системы CompactPCI Serial позволяют использовать ее и для решения задач в ядре частной сети – например, в сети контроля за технологическим оборудованием или управления транспортным средством. И уже есть несколько успешных применений, достаточно вспомнить систему обеспечения беспроводным Интернетом в европейских поездах. Интересны также возможности стандарта CompactPCI Serial 6U для построения проводной сетевой инфраструктуры, связанные с поддержкой технологии питания клиентских устройств по сетевому кабелю (Power over Ethernet – PoE). Такими устройствами могут быть IP-камеры наблюдения, панельные компьютеры, контроллеры и другие устройства, потребляющие до 40 Вт. Посредством разъема P0/J0 модули 6U CompactPCI Serial могут быть обеспечены дополнительным питанием 48 В через кросс-плату с максимальным током 1,9 А (91,2 Вт).

Новый стандарт CompactPCI Serial позволяет упростить процесс создания промышленной системы. Ее разработчик имеет выбор из 4 типов интерконнектов, что позволяет существенно сократить количество мостов для связи периферии с системным контроллером. Прямое подключение SATA-дисков, включая использование встроенного в чипсет RAID, подключение USB-криптоключей или контроллеров с портами USB, USB-считывателей карт CompactFlash, SD и microSD – вот далеко не полный перечень возможностей CompactPCI Serial, реализация которых не требует микросхем-мостов и их драйверов.

Возможности выпуска периферии на базе PCI-E чрезвычайно широки. Начнем перечень примеров с простейших устройств – модулей расширения для проводной или беспроводной передачи данных,

контроллеров CAN и COM-портов на основе 1 × 1 PCI-E, продолжим графическими сопроцессорами нижнего уровня, контроллерами с «медным» или оптическим интерфейсами Gigabit или 10Gigabit Ethernet, завершим графическими и сетевыми DSP или FPGA-сoproцессорами верхнего уровня на основе 1 × 8 PCI-E. Важно заметить, что габариты CompactPCI Serial позволяют реализовывать данные прикладные платы в виде монолитных плат или в виде носителей карт MiniPCI Express, PCI-E, XMC, FMC и даже семейства PC/104.

Разработчики систем реального времени и разработчики прикладных высокопроизводительных комплексов, предназначенных, например, для обработки Фурье-преобразований, должны по достоинству оценить CompactPCI Serial как спецификацию, предоставляющую интерконнект обмена данными с низкой латентностью (PCI-E поддерживается системным контроллером, отсутствуют дополнительные коммутаторы и им присущие задержки) и высокими скоростями межмодульного обмена, позволяющими создавать кластеры, объединяющие ресурсы нескольких модулей.

Например, модуль FASTWEL CPC510 имеет полупрозрачный мост PCI-E, что позволяет устанавливать его как в слоте системного контроллера, так и в слоте периферии PCI-E, используя его как вычислительный сопроцессор с четырьмя ядрами, каждое из которых может выполнять до 8 инструкций двойной точности с плавающей запятой за такт.

Заключение

Как и всё в этом мире, спецификации проходят через характерные временные этапы: этап становления, этап расцвета и массового использования и этап постепенного ухода со сцены и умирания. Время жизни спецификации тесно связано со временем доступности на рынке модулей, произведенных

на ее основе. В данный момент этот срок колеблется в диапазоне от 15 до 25 лет. Однако в будущем он может уменьшиться, так как развитие технологий ускоряется. CompactPCI Serial поддерживает настолько высокие скорости обмена данными между модулями, что, скорее всего, следующая спецификация CompactPCI будет уже описывать оптические интерконнекты.

Всем ли приложениям сегодня требуются такие скорости? Конечно нет. Можно ли «масштабировать систему вниз», не переплачивая за новые технологии, например, использовать для реализации системы не все интерконнекты, предлагаемые спецификацией, а только выборочные, создавать компактные системы из 2–3 слотов, применять периферию на основе x1 PCI-E? Конечно да, для этого можно использовать как CompactPCI Serial, так и PICMG 2.30 – стандарты с совместимой периферией. Возможность поддержать высокую скорость обмена – это задел на будущее, который должен обеспечить спецификации счастливую жизнь лет на 15–20, а разработчикам систем на ее основе – отсутствие необходимости осваивать новую технику. О разработке продукции на базе спецификаций CompactPCI 2.30 и CompactPCI Serial объявили многие компании. По состоянию на начало 2012 года это Schroff и Elma (кросс-платы и шасси), MEN Micro, FASTWEL, ADLINK (системные контроллеры и периферийные модули). Ожидаем, что в скором будущем мы увидим анонсы о выпуске специализированных прикладных и сопроцессорных модулей с FPGA, сетевыми процессорами, радиотрактами и др. Многие разработчики систем смогут достаточно легко производить свои фирменные прикладные модули, так как спецификация открыта, не содержит лицензируемых технологий и не связана с технологиями двойного применения. Другими словами, барьеры для освоения спецификации минимальны.