



## Стандарт CompactPCI Serial для построения модульных встраиваемых компьютерных систем

Компания ПРОСОФТ

Рассматривается базовая спецификация CompactPCI Serial из семейства популярных спецификаций для построения встраиваемых компьютерных систем CompactPCI: ключевые нововведения в отношении разъемов, интерконнектов, электропитания, механической конструкции и кондуктивного охлаждения. Освещаются вопросы совместимости с предыдущими спецификациями CompactPCI 2.0, 2.16 и 2.30. Сравняются возможности для построения систем, предоставляемые CompactPCI Serial и конкурирующими спецификациями VPX/OpenVPX и MicroTCA.

Ключевые слова: встраиваемые компьютерные системы, разъемы, интерконнекты, электропитание, кондуктивное охлаждение, форм-факторы, кросс-платы.

Встраиваемые компьютерные системы можно условно поделить на два класса по типу их внутренней архитектуры: монолитные (например, автомобильный компьютер либо блок электроники принтера или сканера) и модульные, состоящие из различных блоков или плат (например, блок обработки данных радаров). Первые, как правило, производятся большими компаниями и миллионными тиражами, что позволяет выделять для их разработки огромные инженерные ресурсы, вести разработку, начиная от процессора, и быстро окупать затраты. Со вторыми существенно сложнее, так как их серийность исчисляется от единиц до максимум десятков тысяч штук, да и задачи, которые «ложатся на их плечи», часто невозможно выполнить каким-либо одним контроллером или процессором, а требуется объединение множества часто разнородных ресурсов с мощностью потребления в десятки, а то и сотни ватт. Соответственно, для объединения электронных модулей нужно использовать ту или иную технологию.

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 теряя при этом в новизне и технологичности самого решения. По сути, стандарт — это и есть технология обеспечения совместимости модулей различных производителей для создания целостной системы.

Вопросы выбора стандарта непросты для разработчиков электронных систем в основном по двум причинам. Первая — сами стандарты со временем развиваются в техническом аспекте. Уследить за этим достаточно сложно: нужно вести мониторинг появля-

ющихся изменений, приобретать обновленные версии, прочитывать, а главное — усваивать содержимое, что, как правило, требует применения «коллективного инженерного разума». Вторая причина — сам по себе стандарт может выглядеть интересно с технической точки зрения, но не быть популярным на рынке. Соответственно, будет сложно найти те или иные необходимые модули как на этапе разработки системы, так и (что бывает существенно хуже) на этапе серийного производства системы.

Семейство спецификаций CompactPCI пополнилось в 2011 г. спецификацией CompactPCI Serial. Она была разработана с целью обновить интерконнекты обмена данными между модулями в системах CompactPCI и тем самым обеспечить решение задач построения модульных систем в течение последующих 15...20 лет.

История CompactPCI началась в 1999 г. (рис. 1), когда появилась первая так называемая базовая спецификация, объединившая 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

Семейство CompactPCI®. Интерконнекты обмена данными  
Кросс-платформенная обратная совместимость

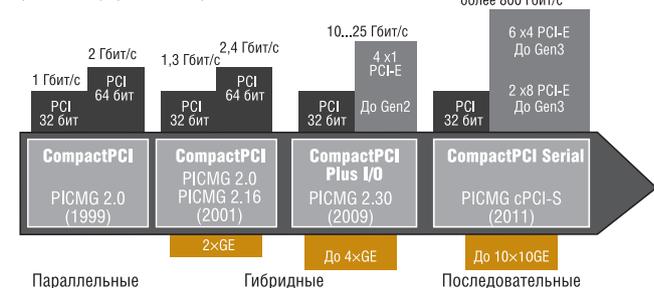


Рис. 1. Развитие интерконнектов межмодульного обмена данными семейства стандартов PICMG CompactPCI

универсального интерконнекта, обеспечивающего как обмен данными при совместных вычислениях, так и обмен данными с периферийными модулями и модулями хранения. В последние 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 было добавлено четыре канала x1 PCI-E и еще два канала Ethernet. И наконец, в 2011 г. была принята спецификация CompactPCI Serial, существенно увеличивающая пропускные способности по всем типам интерконнектов: обмена данными — PCI-E и Ethernet, под системы хранения — SAS/SATA и под системы 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 ознакомиться с деталями, то можно увидеть, что спецификация CompactPCI Serial является новой базовой спецификацией в семействе, и это очень важно для промышленности и разработчиков встраиваемых систем.

Покажем далее новизну и значимость CompactPCI Serial как новой базовой спецификации и обсудим вопрос, почему именно понадобилось разрабатывать новую базовую спецификацию CompactPCI Serial, а не предлагать для решения задач такие спецификации, как VPX, OpenVPX консорциума VITA (www.

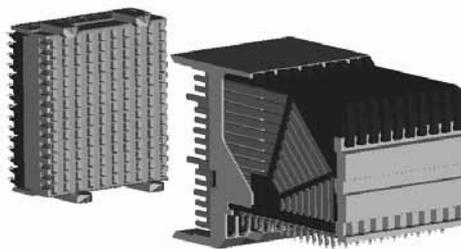


Рис. 2. Внешний вид разъемов CompactPCI Serial AirMax VS® компании FCI, устанавливаемых на кросс-платы (слева) и модули-лезвия (справа)

vita.com) или MicroTCA и ATCA консорциума PICMG (www.picmg.org).

**Ключевые нововведения CompactPCI Serial**

CompactPCI Serial имеет 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, позволяя тем самым применять мезонинную концепцию построения модулей-лезвий с подключением мезонинов напрямую к кросс-платам.

**Интерконнекты**

CompactPCI Serial четко прописывает назначение контактов (распиновку) четырех типов интерконнектов и одну контрольную шину I2C на разъемах системных контроллеров и разъемах периферии: 8 каналов PCI-E, два из которых — x8, остальные шесть — x4; восемь каналов Ethernet Base-T; восемь каналов SAS/SATA; восемь каналов USB 2.0/3.0; шину I2C для контроля и мониторинга служебных параметров системы. 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-то системы могут быть построены для подключения только одного модуля приложения или периферии (Per.), другие — для подключения до 24 прикладных модулей.

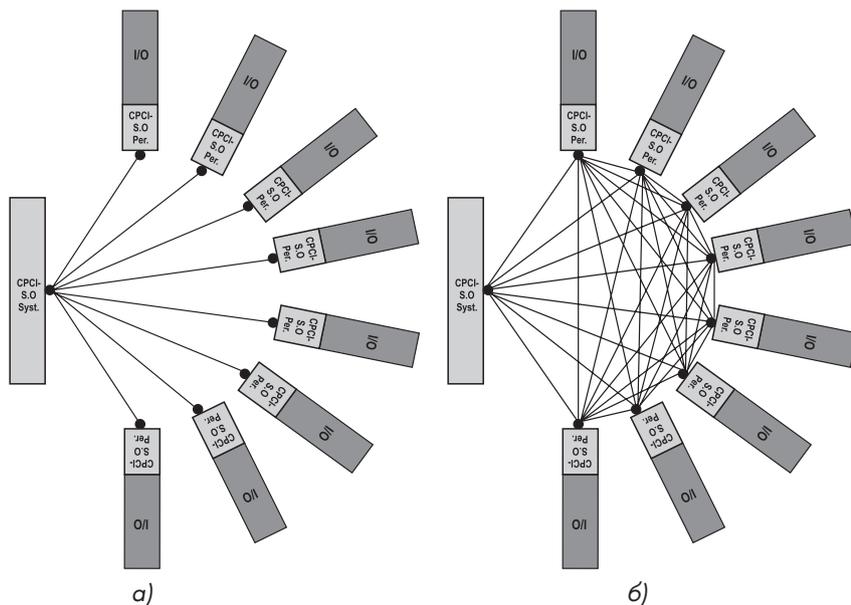


Рис. 3. Топологии межмодульных интерконнектов в спецификации CompactPCI Serial: а) PCI-E, SATA и USB; б) Ethernet

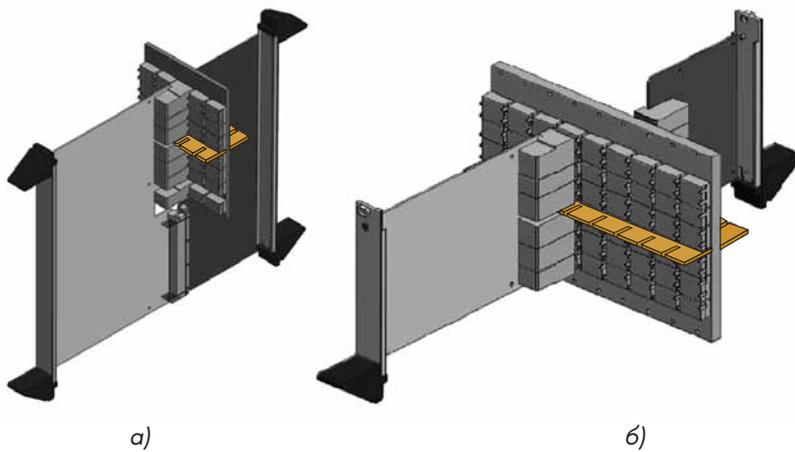


Рис. 4. Примеры подключения фронтальных и тыльных плат ввода/вывода к кросс-платам CompactPCI Serial для систем 6U (а) и 3U (б)

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.

Разработчиками предусмотрены различные варианты реализации систем CompactPCI Serial и гибридных систем с монолитными и составными кросс-платами. Преимуществами такого подхода являются снижение цен на кросс-платы: они стали меньше по размеру и проще в изготовлении, а также возможность 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 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 пита-

нием высокопроизводительных модулей шириной 8HP или 12HP 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. Этот вариант предполагает упаковку стандартной платы в металлическую кассету, которая вставляется в систему с шагом 5HP 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 спецификаций CompactPCI новая спецификация CompactPCI Serial предоставляет разработчикам систем очень 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 могут быть использованы в системах 6U. Сводная информация о совместимости стандартных модулей семейства спецификаций CompactPCI приведена в табл. 1.

Спецификация CompactPCI Serial позволяет реализовать гибридные системы, в которых периферия базируется как на последовательных интерконнектах, так и на наследственных шинах PCI 32 или 64 разряда. В связи с этим приведем некоторые примеры.

1) В формате 3U гибридную систему можно реализовать, например, с помощью модуля-моста PCI-E/PCI, подсоединяемого кабелем к системному контроллеру, и двух кросс-плат, разместив, например, сегмент PCI слева, а сегмент CompactPCI Serial справа. Такой вариант реализован компанией MEN Micro. В варианте, предлагаемом компанией FASTWEL, мост реализован на мезонине слева для системного контроллера CPC510, что позволяет устанавливать его в слот системного контроллера PICMG 2.30 и поддерживать периферию как CompactPCI, так и PICMG 2.30 [1].

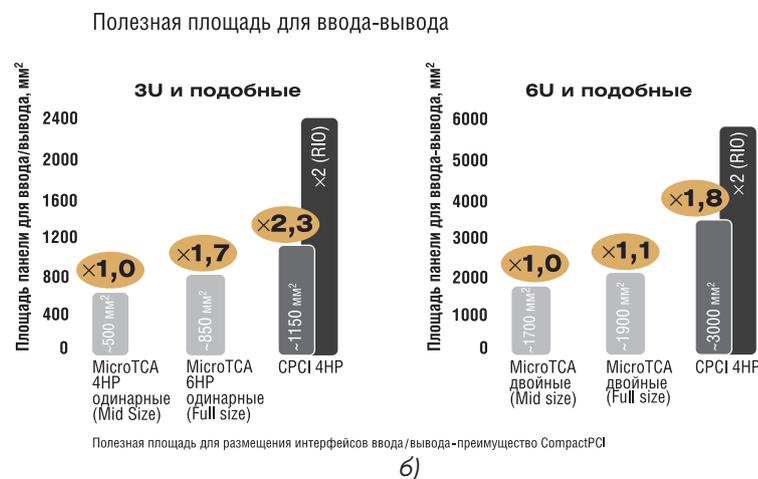
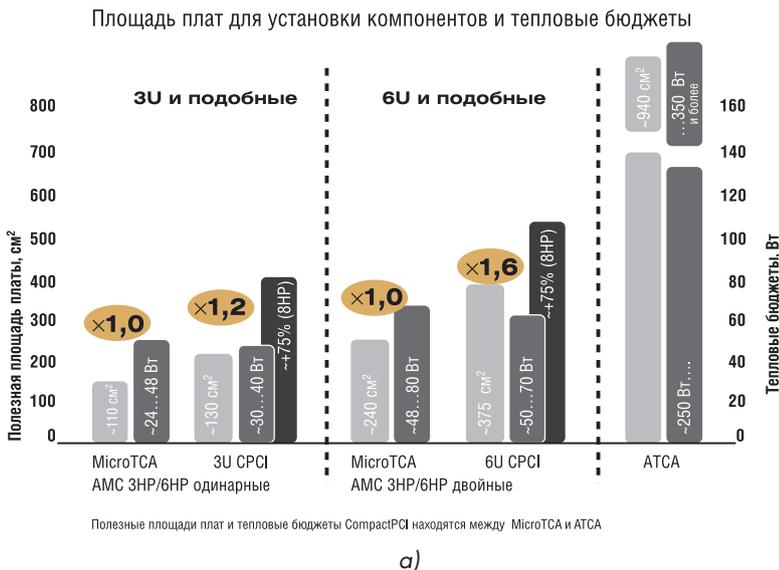


Рис. 5. Сравнение технологий CPCI/VME, MicroTCA и ATCA: а) по полезным площадям плат для размещения электронных компонентов и способностям для воздушного отвода тепла; б) по полезной площади панелей для размещения разъемов ввода/вывода

2) Способ реализации совместимости с наследственными модулями на базе PCI-шины в формате 6U был описан ранее.

3) Совместимость с PICMG 2.16 поддержана в формате 6U дополнительным разъемом с двумя каналами Ethernet.

### Экосистема центральных процессоров для CompactPCI Serial

Увеличение подводимой мощности к системным контроллерам CompactPCI Serial до 79,8 Вт (3U) и 171 Вт (6U) позволяет устанавливать 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 частнофирменных 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 [2] и MicroTCA и одна в консорциуме VITA — VPX/OpenVPX. Это правильный вопрос, и ответ на него очень важен с точки зрения понимания преимуществ той или иной архитектуры построения системы 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 3HP, 4HP или 6HP и два размера платы — одинарный и двойной.

Если сравнить площади плат CPCI/VME с площадями AMC и ATCA, то два очевидных вывода, связанных с возможностями размещения электронных компонентов, радиаторов и воздушного отвода тепла, напрашиваются сами собой:

1) модули ATCA предлагают возможности, несопоставимые и таким образом никак не конкурирующие с CPCI/VME и MicroTCA (рис. 5 а);

2) модули CPCI/VME в формате 3U имеют сравнимые характеристики с модулями-лезвиями AMC одинарного размера для систем MicroTCA, в то время как в формате 6U модули CPCI/VME показывают существенные преимущества (плюс 60%) перед MicroTCA.

Кроме того, нужно отметить, что производители CPCI/VME широко используют возможность увеличения ширины плат до 8HP и даже 12HP путем установки дополнительных плат и размещения необходимого функционала на них, в то время как производители функциональных модулей AMC не могут выйти за максимальный размер 6HP, так как этот размер определяется ограничением на толщину мезонинов в ATCA (AMC — это мезонин для ATCA). Отсюда вывод: спецификации CPCI/VME позволяют устанавливать большее число компонентов и компонен-

ты большего размера на модули-лезвия, а также выносить бо́льшие тепловые нагрузки при воздушном охлаждении, чем модули AMC в системах MicroTCA.

Площади передних панелей, определяющие возможности для установки тех или иных разъемов и возможности по вводу/выводу тех или иных интерфейсов, то преимущество модулей CPCL/VME становится очевидным сразу (рис. 5 б).

Справедливости ради необходимо отметить, что новый стандарт MicroTCA.4, принятый в 2011 г., 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, по возможностям для расширения площади плат и установки компонентов на платах можно утверждать, что спецификации CompactPCI и VME выигрывают у MicroTCA, в то время как по возможностям ввода/вывода они имеют существенное преимущество перед MicroTCA [3].

### Сравнение CompactPCI Serial с VPX и OpenVPX

Стандарты семейства VPX/OpenVPX разрабатывались группой компаний-подрядчиков министерства обороны США с целевой задачей обновления спецификации VME и создания новой технологии построения модульных встраиваемых систем в применении к задачам своего заказчика. Первоначально стандарт VPX (ANSI/VITA 46.0-2007 VPX: Base specification) основывался на использовании новых пластинчатых разъемов MultiGig RT2 от Tyco Electronics с пропускной способностью 6,25 ГГц и позволял использовать 64 дифференциальные пары для обеспечения межмодульного взаимодействия в си-

стеме на базе 3U-плат и 192 — для 6U. Недавно для систем VPX/OpenVPX стандартизован (ANSI/VITA 60.0–2012 VPX: Alternative Connector for VPX) новый разъем, имеющий сравнимую с CompactPCI Serial пропускную способность 10 ГГц. Соответственно, у производителей VPX-модулей и систем нет преграды для увеличения скорости, требуется только своевременная и организованная миграция к использованию нового разъема, так как модули и кросс-платы VITA 46 несовместимы с VITA 60.

Следующим и, возможно, самым важным различием является подход к описанию распиновок в стандартах CompactPCI Serial и VPX/OpenVPX. А именно, CompactPCI Serial четко определяет, на каком контакте разъема какой сигнал должен присутствовать. OpenVPX отдает это определение так называемым профилям (назначение контактов и топология соединений), которые подразделяются на профили модулей, слотов и кросс-плат, причем число профилей каждого типа, описанное в спецификации OpenVPX, для модулей 3U и 6U исчисляется десятками, а иногда и сотнями (таблица). Кроме того, список стандартизованных интерконнектов шире, чем в CompactPCI Serial, а топологии их соединений включают двойную звезду, кольцо, односвязную цепь и др. Фактически OpenVPX выступает в роли справочника (чего разработчики OpenVPX и не скрывают даже в названии стандарта ANSI/VITA 65.0-2010 OpenVPX Architectural Framework for VPX), описывающего большое многообразие реализаций технологий межмодульного обмена, в то время как CompactPCI Serial описывает конкретную реализацию технологии. Последствия этого просты и сложны одновременно: межмодульная совместимость возможна только в рамках совместимых профилей, что на практике означает — от одного про-

Таблица. Сравнение технологий CompactPCI Serial и VPX/OpenVPX

Параметры сравнения	CompactPCI Serial		VPX/OpenVPX	
	3U	6U	3U	6U
Пропускная способность разъемов, ГГц	> 12,5		< 6,25 (VITA 46.0) либо < 10 (VITA 60.0)	
Число дифференциальных пар, ед.	152	160	64	192
Назначение контактов	Определено спецификацией для модулей-лезвий		Задается профилями для модулей-лезвий (>170 ед.), слотов (26 ед.) и кросс-плат (16 ед.)	Задается профилями для модулей-лезвий (7 ед.), слотов (10 ед.) и кросс-плат (19 ед.)
Базовый высокоскоростной интерконнект	PCIe/ SRIO: 2x8 + 6x4 ед.		PCIe/ SRIO/ Infiniband/ Ethernet/ SATA/ SAS: до 20x4 в зависимости от топологии (звезда, двойная звезда, расширенная звезда, сеть, кольцо, daisy chain) и профиля	
Базовый интерконнект общего пользования	1/10GE: 8 каналов, каждый с каждым	1/10GE: 8 каналов, каждый с каждым + 2 на кросс-плату		
Интерконнект хранения	SATA/SAS: 8 каналов		-	
Интерконнект общего ввода/вывода	USB 2.0/3.0: 8 каналов		-	
Коммутатор последовательных интерконнектов	Встроен в системный контроллер		Отдельный модуль/компонент системы	
Обеспеченность питанием	79,8 Вт / 12 В	171 Вт / 12 В 91,2 Вт / 48 В	276 Вт / 3,3; 12	768 Вт / 3,3; 12 или 48 В
Кондуктивный теплоотвод	Путем адаптации плат для воздушного теплоотвода		Требует изначальной разработки плат под кондуктивный теплоотвод с уменьшением полезной площади для установки компонентов	
Совместимость модулей различных производителей	Гарантировано спецификацией		В рамках: 1) профиля и 2) разъемов (VITA 46.0 или VITA 60.0)	В рамках: 1) профиля, 2) разъемов (VITA 46.0 или VITA 60.0) и 3) схемы питания

изготовителя. В противоположность этому CompactPCI Serial позволяет собирать системы из модулей, производимых различными компаниями, так как межмодульная совместимость гарантирована спецификацией. И если мы обратимся к логике, использованной в начале статьи, то увидим, что CompactPCI Serial лучше выполняет функцию облегчения работы по созданию систем из модулей, поскольку эти модули гарантированно совместимы друг с другом.

Сильными сторонами спецификации VPX/OpenVPX являются очень высокие значения подводимой мощности на модуль, которая может быть использована для конструирования систем с жидкостным охлаждением, а также большее число дифференциальных пар в системах 6U VPX/OpenVPX по сравнению с CompactPCI Serial, позволяющее получить более высокие скорости межмодульного обмена при использовании ряда высокопроизводительных профилей [3].

#### Гранулярность модульных платформ

Применительно к модульным платформам гранулярность — это параметр, описывающий шаг, который нужно сделать разработчику системы, чтобы изменить ее. Гранулярность — важный параметр для тех разработчиков, которые планируют выпустить линейку продукции на базе той или иной технологии, но с различными характеристиками, например, для обслуживания различного числа абонентов или с разной вычислительной мощностью. В магистрально-модульных системах таким шагом обычно является один модуль системы. Метрика гранулярности может быть различной и выражаться в единицах мощности, объема или стоимости, измеряться числом операций в секунду и др.

Системы на базе стандарта ATCA имеет самую большую гранулярность — около 300 Вт и стоимость модулей порядка 5000...8000 долл. США. Таким образом, данные системы имеет смысл использовать при решении задач с высокими нагрузками на коммутационную или вычислительную подсистемы, характеризующимися терафлопами и десятками Гбит/с.

Системы VPX при тех же размерных и вычислительных параметрах имеют как минимум в 2 раза большую стоимость. Соответственно, их гранулярность по стоимости выше, что может приводить в каких-то случаях к выходу за рамки позволенного бюджета при построении линейки продукции.

Системы на базе стандарта ATCA имеет самую большую гранулярность — около 300 Вт и стоимость модулей порядка 5000...8000 долл. США. Таким образом, данные системы имеет смысл использовать при решении задач с высокими нагрузками на коммутационную или вычислительную подсистемы, характеризующимися терафлопами и десятками Гбит/с.

#### Резервирование

Будучи разработанным для использования при решении различных задач, стандарт CompactPCI Serial

поддерживает различные технологии резервирования и «горячей» замены. Разработчикам систем открыты разные 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).

Справедливо будет заметить, что 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. Высокий уровень межмодульной коммутации и поддержка большого числа стандартных интерфейсов, таких как Ethernet, — залог успеха в деле построения систем с распределенным резервированием на основе спецификации CompactPCI Serial.

#### 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 XX 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. Но новые возможности для CompactPCI Serial сейчас существуют, 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 значения гранулярности — вот неполный перечень тех преимуществ, которые играют здесь ключевую роль.

Если же мы рассмотрим частную сеть, например, сеть контроля за технологическим оборудованием или сеть управления транспортным средством,

то коммутационные мощности системы CompactPCI Serial позволяют использовать ее и для решения задач в ядре такой частной сети. И уже есть несколько успешных применений, например, система обеспечения беспроводным Internet 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).

### CompactPCI Serial в промышленных приложениях

Стандарты CPIC/VME прочно заняли место на многих нишевых рынках, таких как автоматизация производства, управление сложным технологическим оборудованием и станками с ЧПУ, управление и связь на транспорте, системы оборонного назначения и др. Новый стандарт CompactPCI Serial позволяет упростить процесс создания системы по сравнению с тем, что было раньше. Разработчик системы имеет выбор из четырех типов интерконнектов, что позволяет существенно сократить число 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 – модули расширения для проводной или беспроводной передачи данных, контроллеры CAN и COM-портов на основе 1 x1 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 x8 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 поддержи-

вается 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 все в этом мире, спецификации, по сути являющиеся общепризнанными технологиями построения встраиваемых систем, проходят через характерные временные этапы: становления, расцвета и массового использования, 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 можно говорить, что это время находится в диапазоне 15...25 лет. Однако в будущем этот срок может уменьшиться, так как развитие технологий ускоряется.

CompactPCI Serial – новая базовая спецификация для построения модульных компьютерных систем, сочетающая все хорошее из прошлого (габариты, механику, теплоотвод, совместимость с наследственными технологиями и др.) и все, что мы знаем хорошего сегодня (высокоскоростные последовательные интерконнекты, стандартные интерфейсы с гарантированной драйверной поддержкой и др.), для быстрого, что в данном случае означает эффективного и недорогого, построения современных систем. 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 оплачивая 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 1 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 долгую и счастливую жизнь на срок порядка 15...20 лет, а разработчикам систем на ее основе – отсутствие необходимости в освоении новой технологии [3].

О разработке продукции на базе спецификаций CompactPCI 2.30 и CompactPCI Serial объявили мно-

гие компании. По состоянию на начало 2012 г. это Schroff и Elma — кросс-платы и шасси, MEN Micro, FASTWEL, EKF, Emerson Embedded Computing, ADLINK — системные контроллеры и периферийные модули. Ожидаем, что в скором будущем появятся анонсы о выпуске специализированных прикладных и сопроцессорных модулей с FPGA, сетевыми процессорами, радиотрактами и др. Многие разработчики систем смогут достаточно легко производить свои частнофирменные прикладные модули, так как спецификация открыта, не содержит лицензируемых технологий и не связана с технологиями двойного при-

менения. Другими словами, барьеры для освоения спецификации минимальны.

#### Список литературы

1. Яковлев В. Базовые принципы построения высокопроизводительных и надёжных систем на основе изделий CompactPCI // Современные технологии автоматизации. 2012. №3.
2. Буравлев А. AdvancedTCA для построения систем в оборонной и аэрокосмической отраслях.
3. Буравлев А. Спецификация CompactPCI Serial среди открытых спецификаций для построения модульных встраиваемых компьютерных систем // Современные технологии автоматизации. 2012. №1.

Контактный телефон (495) 234-06-36.

[Http://www.prosoft.ru](http://www.prosoft.ru)

## УЛЬТРАКОМПАКТНЫЕ МИНИ-КОМПЬЮТЕРЫ КОМПАНИИ COMPU LAB LTD.: ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИННОВАЦИИ И РЕАЛЬНЫЕ ПРОЕКТЫ

С.Н. Дроздов, С.В. Золотарев (Компания ФИОРД)

*Представлены ультра компактные мини-компьютеры (fit-PC2, fit-PC3, Intense PC) компании CompuLab (Израиль), хорошо известной среди специалистов в области ВКТ в качестве одного из ведущих производителей компьютеров-на-модуле. Приведены примеры некоторых реализованных проектов различного назначения в России и за рубежом, таких как новый патрульный автомобиль ДПС России, перспективные беспилотные летательные, автономные подводные и надводные аппараты.*

*Ключевые слова: компьютеры-на-модуле, мини-компьютеры, платы расширения, встраиваемые решения.*

Компания CompuLab Ltd (Израиль, Хайфа), основанная в 1992 г., широко известна в области встраиваемых компьютерных технологий (ВКТ) как разработчик компьютеров-на-модуле (CoM), одноплатных компьютеров (SBC) и законченных изделий на их основе [1]. По данным VDC (VDC Research Group — ведущая консалтинговая компания в области ВКТ) суммарный мировой объем выпуска CoM-модулей в денежном выражении в 2011 г. превосходит 0,5 млрд. долл. США. По оценке экспертов VDC, все последние годы компания CompuLab входит в пятерку крупнейших производителей в сегменте CoM-модулей. Хотя заметим, что эта оценка может быть не совсем точной (предположительно, в сторону уменьшения), так как большая часть продукции CompuLab приходится на системы специального назначения разных стран. Сегодня продукцией компании CompuLab пользуются более сотни фирм, более чем в 60 странах мира, в том числе в России. Спектр применений продукции CompuLab весьма широк: интеллектуальные сетевые устройства, военная и авиационная промышленность, медицинская техника, транспорт, телекоммуникационное оборудование, оборудование для индустрии развлечений. Одним из крупнейших внедрений продукции CompuLab в России стал проект по разработке комплексов обработки избирательных бюллетеней (КОИБ) производства компании Орион-Медик. В качестве основного управляющего контроллера использовался процессорный модуль компании CompuLab с ОС Linux. Программное обеспечение

КОИБ было разработано компанией ФИОРД. В прошлом году была произведена тысяча аппаратов, и они применялись на выборах различных уровней в 2012 г.

Большие возможности для пользователей открывает новое направление в деятельности CompuLab — выпуск на рынок готовых изделий, таких как открытые (Open-frame) мобильные платформы [2] и ультра компактные мини-компьютеры [3], в том числе «самые маленькие в мире PC» семейства fit-PC2. Дальнейший шаг в этом направлении — выпуск миниатюрных компьютеров fit-PC3 на базе APU AMD серии G с двухъядерным CPU (включая встроенный графический процессор Radeon HD 6310) и Intense PC с двухъядерным процессором Intel Core i7-3517UE (семейства Intel Ivy Bridge). В таблице представлены их сравнительные характеристики. Также упомянем еще один продукт этого класса от CompuLab — Trim Slice на базе процессора NVIDIA Tegra 2 (Dual Core ARM Cortex A9 + GeForce GPU). Отметим, что продукция компании CompuLab получила в 2011 г. российский сертификат соответствия ГОСТ Р. И, наконец, нельзя не упомянуть о миниатюрном безвентиляторном сервере MicroSVR на базе процессоров 3-го поколения Intel Core i7 с пассивным (контактным) охлаждением. MicroSVR имеет наиболее богатые возможности среди ультра компактных серверов на рынке данных устройств — 4 внутренних 2,5” жестких диска, поддержку RAID 0,1,5,10, сокет mSATA, подключение двух мониторов высокой четкости (WQXGA до 2560x1600 точек) и др<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> В данном контексте аббревиатура «PC» применяется для обозначения архитектуры компьютера — x86.