

# НОВЫЕ СТАНДАРТЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ

Потенциальные возможности цифровых систем, как известно, напрямую зависят от пропускной способности интерфейсов обмена данными. Потребность в широкополосных интерфейсах особенно остро проявилась в телекоммуникационных и других информационных приложениях. Именно интересы развития данного сектора стали причиной очередных революционных изменений в технологиях интерфейсов, и сейчас уже можно говорить о ключевых технических решениях в этой области. Речь идет об использовании параллельно-последовательных шин.

Нетерпение фирм-производителей в стремлении получить долгожданные высокоскоростные промышленные интерфейсы столь значительно, что многие из них пошли путем разработки собственных вариантов спецификаций, не дожидаясь принятия официальных стандартов. Как следствие, к настоящему времени на рынке встраиваемых процессорных средств процедура стандартизации проходит весьма обширное число спецификаций компьютерного оборудования. Бесспорное лидерство среди них занимает параллельно-последовательная шина PCI Express.

Как известно, датой ее рождения считается 22 июля 2002 года, когда была опубликована базовая спецификация протокола и сигнального уровня PCI Express 1.0, а также спецификация на разъемы, форм-факторы плат и энергопотребление карт. Начиная с 2004 года PCI Express прочно утвердилась в офисных и серверных решениях, вытеснив своих предшественниц PCI и PCI-X, а также их конкурента — AGP. Фактически данный стандарт представляет собой совокупность независимых последовательных каналов передачи данных. Поскольку обмен данными в них осуществляется параллельно (но не синхронно) по всем доступным последовательным каналам, такой интерфейс, по сути, является параллельно-последовательным. Его сигнальный уровень составляет 0,8 В. Каждый канал состоит из двух дифференциальных сигнальных пар LVDS (Low Voltage Differential Signaling — низковольтная дифференциальная передача сигналов), для подключения которых достаточно иметь лишь четыре контакта. В сигнальном протоколе используется избыточное, защищенное от помех кодирование, согласно которому каждый байт при передаче представляется десятью битами. Пиковая пропускная способность одного канала при тактовой частоте 2,5 ГГц теоретически составляет 2,5 Гбит/с в каждом направлении одновременно (полный дуплекс), однако за вычетом избыточного кодирования эффективная скорость передачи данных падает до 2 Гбит/с.

Стандартизованы 1-, 2-, 4-, 8-, 16- и 32-канальные варианты (рис. 1) (до 6,4 Гбайт/с при передаче в одну сторону и вдвое больше



В.Слюсар

при передаче в обоих направлениях). Уже анонсировано второе поколение PCI Express, которое будет базироваться на тактовой частоте 5 ГГц (5 Гбит/с на один канал односторонней передачи). Массовое внедрение соответствующих решений ожидается в 2006–2007 годах. В перспективе планируется применение шин с тактовой частотой 10 ГГц.

Стандарт PCI Express ориентирован на межсоединения типа чип-чип, плата-плата и может быть реализован в медном или волоконно-оптическом вариантах. При этом цена системного решения оказывается ниже стоимости PCI. Существенно, что PCI Express имеет развитые возможности автоконфигурации, горячей замены плат, менеджмента питания, обнаружения и коррекции ошибок. Он поддерживает виртуальные каналы передачи данных, узловой и одноранговый обмен, коммутацию пакетов, разнообразные структуры данных, гарантированные времена отклика, а на уровне приложений — совместимую с PCI программную модель.

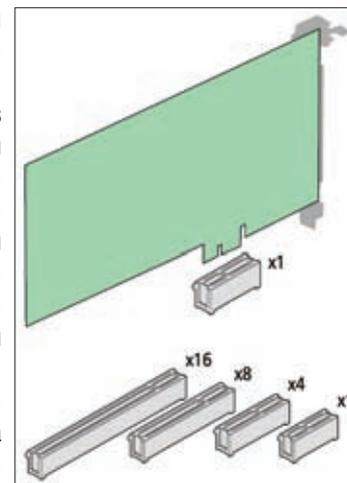
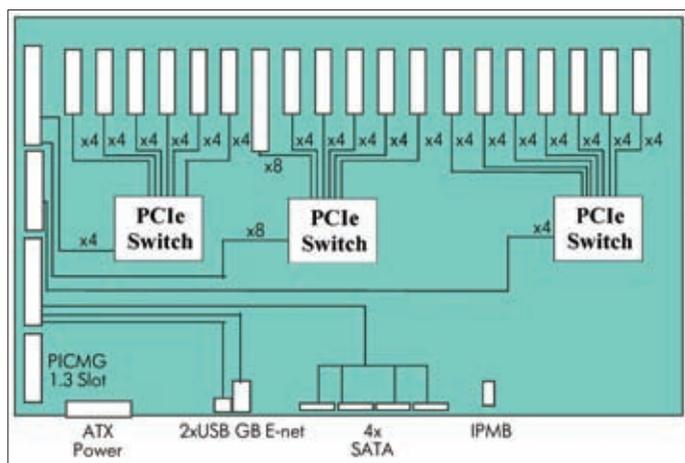


Рис. 1. Интерфейс PCI Express

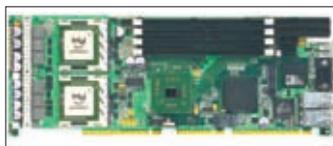
В промышленных приложениях, не критичных к условиям эксплуатации, технология PCI Express реализуется в рамках спецификации SHB Express (PICMG 1.3) [1–4] (сокращение SHB означает System Host Boards — основные системные платы). Данные технические требования модифицируют популярную пассивную объединительную плату с разъемами PCI-ISA, заменяя шину ISA на PCI Express. Спецификация SHB предполагает применение одноплатного компьютерного модуля, стыкуемого непосредственно с разъемами пассивной кросс-платы, в которой содержится множество слотов PCI Express. Сегодня на рынке уже доступен достаточно представительный ряд объединительных плат SHB. К примеру, американская компания One Stop Systems предлагает несколько вариантов таких плат стоимостью около 1500 долларов (рис. 2). Аналогичные решения, в том числе с 16-канальными слотами, анонсировала другая американская фирма — Trenton Technology.

Модули SHB Express могут выпускаться в полноразмерном и укороченном (половиной длины) вариантах. Полноразмерный вариант процессорной платы SHB Express может иметь три (рис. 3) или четы-



**Рис.2. Объединительная плата SHB компании One Stop System**

ре разъема. Один разъем обеспечивает одно 16-канальное соединение (x16) PCI Express или два 8-канальных (x8), другой – одно 4-канальное соединение (x4) PCI Express или четыре одноканальных и 8 тактовых линий PCI Express. Третий разъем предназначен для подведения дополнительного питания и линий ввода-вывода. Четвертый – необязательный и может использоваться для связи с 32-битными шинами PCI/PCI-X [3, 4].



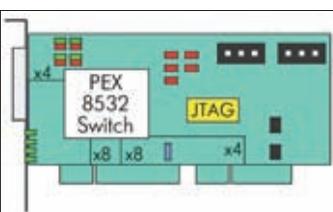
**Рис.3. Одноплатный компьютерный модуль MAX OSS-SHB-2X-3.4-xxx компании One Stop Systems**

Продуманная технология SHB позволяет увеличить предельно допустимую рассеиваемую мощность на одну полноразмерную плату SHB в два раза по сравнению с PCI/ISA спецификацией PICMG 1.1/1.2, ограничивая ее суммарным уровнем 500,72 Вт. Соответственно, допустимая мощность полуразмерной платы SHB не должна превышать 127,38 Вт. Для подвода дополнительного 12-В питания на процессорном модуле SHB-спецификации предусмотрена установка 4-контактного разъема [5].

Среди других преимуществ нового дизайна по сравнению с PCI-решениями следует отметить простоту реализации высокоскоростного межкрейтового обмена данными за счет использования специальных многоканальных кабелей PCI Express и соответствующих модульных шлюзов кабель-плата (рис.4) [6].

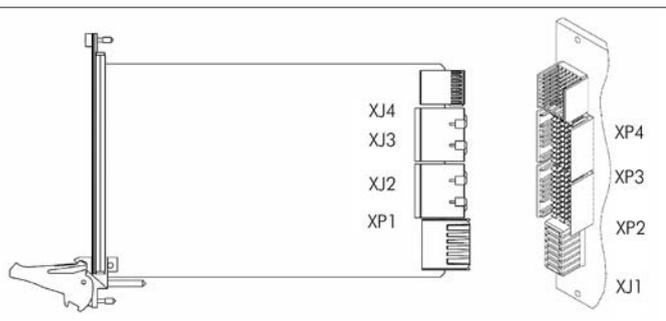
Для жестких условий эксплуатации группа PICMG предлагает новые модификации стандарта CPCI: CompactPCI Express 3U и CompactPCI Express 6U (PICMG EXP.0 R1.0). Основным протоколом обмена данными в них служит, как видно из названия, PCI Express. На рис.5 представлен вариант типового модуля CompactPCI Express формата 3U и соответствующего ему фрагмента кросс-платы [7].

Компания One Stop Systems анонсировала в марте 2005 года свой одноплатный компьютерный модуль OSS-CPCIe-CPU-4U-2.0 формата 3U CPCI Express с поддержкой процессора Pentium M 2,0 ГГц (частота шины FSB – 533 МГц). Этот модуль использует чипсет Intel E7520/6300ESB и имеет два 8-канальных интерфейса PCI Express для связи с объединительной платой. Заявленная цена производителя составляет 3795 долл. (включая 1-Гбайт ОЗУ).



**Рис.4. Вариант выполнения коммутаторов каналов PCI Express SHB**

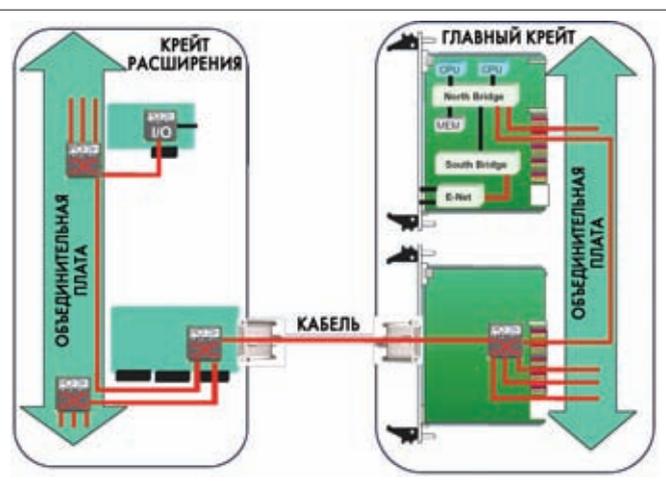
В рамках принятой летом 2005 года спецификации CPCI Express (CompactPCI Express PICMG EXP.0 R1.0 Specification, PCI Industrial



**Рис.5. Типовой модуль 3U CompactPCI Express и фрагмент кросс-платы**

Manufacturers Group, July 27, 2005) предусмотрено несколько разновидностей модулей, отличающихся назначением и числом каналов PCI Express, подводимых к разъемам объединительной платы. Наибольшим количеством каналов (16-канальный и 8-канальный обмен данными) обладают процессорный модуль и платы ввода-вывода, для которых требуется обеспечить максимум пропускной способности. Гибридные модули, решающие задачи, некритичные к скорости обмена, имеют разъем 32-битной CPCI и, кроме того, 8-канальную шину данных PCI Express. Еще один тип плат – коммутаторы, которые обслуживают перечисленные типы устройств и позволяют переключать до 8 потоков 4-канальной передачи.

Аналогичная градация модулей предусмотрена и для формата плат 6U. В варианте размещения модулей 6U CPCI Express системы обработки сигналов, базирующейся на использовании 14-слотовой объединительной платы, каждый периферийный модуль соединяется с кросс-платой по 8-канальной шине PCI Express. При этом в составе системы предусмотрен мощный коммутатор, позволяющий реализовать 8-канальную межкрейтовую сигнальную магистраль. Данная технология позволяет без проблем связать в единую высокоскоростную сеть множество крейтов, выполненных по различным стандартам (рис.6). Прежде подобные системы могли объединяться в лучшем случае с помощью гигабитного Ethernet.



**Рис.6. Вариант соединения 6U крейта CPCI Express с крейтом расширения, выполненным по спецификации SHB**

Аналогично своему прототипу CPCI, спецификация CPCI Express 6U предусматривает использование мезонинных карт расширения, получивших наименование ХМС. В основу мезонинных карт ХМС по-прежнему положен форм-фактор мезонинов PMC для несущих плат 6U, использовавшихся в стандартах CPCI и VME. Отличие состоит в применении в ХМС двух новых разъемов высокоскоростных интерфейсов (Rapid I/O или PCI Express). При этом сохраняются те же габариты,

в том числе и высота мезонинных карт. Примечательно, что ХМС совместимы по контактам с несущими платами нового VME-стандарта VITA 42 [8].

Следует указать, что в ближайшее время значительное распространение в процессорной технике промышленного и военного применения приобретет новый тип компьютерных систем с последовательно-параллельным интерфейсом – ATCA (Advanced Telecommunications Computing Architecture) [9]. Его версия стандарта PICMG 3.4 базируется на многоканальном применении интерфейсов PCI Express. Соответствующие процессорные модули, кросс-платы и крейты уже выпускаются фирмами Kontron (Германия), Kararel (Канада) и другими под процессоры Pentium M и Pentium 4. По прогнозу [10], в 2005 году доля систем ATCA на мировом рынке превысит 7,8% (для сравнения рынок VME-систем оценивается в 27,9%, а CPCI – в 28,8%).

Типовой модуль стандарта ATCA по сравнению с CPCI-платами имеет большие габариты – 8Ux280 мм, толщина 1,2 дюйма (6HP), общая площадь 903 см<sup>2</sup> вместо 6Ux160 мм толщиной 0,8 дюйма (4HP) при общей площади 367 см<sup>2</sup> – в CPCI. Это позволяет расположить на нем, например, вдвое больше каналов АЦП и ЦАП, интегрировать значительные массивы памяти, устройства многопроцессорной обработки и т.п.

Существенно, что в стандарте ATCA допустимая рассеиваемая мощность на одну плату составляет 150–200 Вт, тогда как в CPCI-модуле формата 6U – лишь 50 Вт. Суммарная пропускная способность интерфейса ATCA PICMG 3.4 по каналам PCI Express достигает приблизительно 2,4 Тбит/с против 4 Гбит/с для шины CPCI по версии 64 бит/66 МГц. Такие возможности предоставляют ATCA-модулям существенные преимущества при реализации цифровых антенных решеток для перспективных радиолокационных [6] и телекоммуникационных систем [11], командных пунктов военного назначения.

Хорошо продумана технология питания модулей стандарта ATCA. В них удалось избежать больших токовых нагрузок на линиях питания кросс-плат благодаря переходу к применению 48-В напряжения с формированием необходимых номиналов электропитания непосредственно в самих модулях с помощью DC/DC-конверторов. Это позволило при значительных рассеиваемых мощностях размещать в одном крейте до 16 модулей ATCA (14 модулей на 19-дюймовом шасси) с общим электрическим потреблением до 3,2 кВт.

Типовая плата ATCA имеет три зоны контактов (рис.7). Первая из них расположена внизу платы и предназначена для разводки двойных линий питания 48 В, мониторинга и тестирования конверторов питания, разводки сигналов менеджмента системы, передачи сигналов адресации плат. Во второй зоне может располагаться до пяти ВЧ-разъемов, образующих транспортную магистраль данных (базовый и сетевой интерфейсы PCI Express и т.п.) и обеспечивающих разводку тактовых сигналов, сигналов модификации каналов. В качестве ВЧ-разъемов используются так называемые ZD-коннекторы фирм

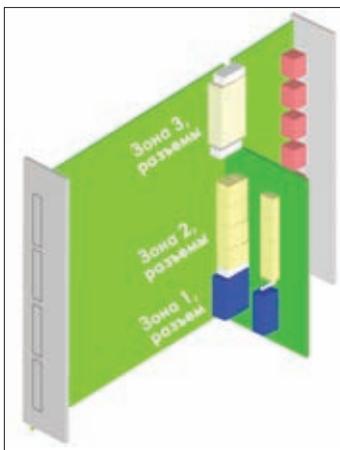


Рис.7. Типовая плата ATCA

ERNI и Tyco Electronics, содержащие по 40 дифференциальных пар контактов, окруженных заземлением (рис.8) [12]. Контакты располагаются в 10 строк по четыре дифференциальных пары в каждой. Базовый интерфейс ATCA всегда

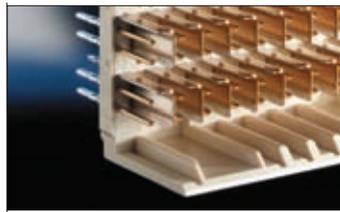


Рис.8. ZD-коннектор

конфигурируется по топологии двойной звезды и может содержать до 16 базовых каналов, под каждый из которых отводится одна строка ZD-коннектора. Сетевой интерфейс может поддерживать все возможные типы топологий, содержит до 15 каналов, каждый из которых занимает две строки ZD-коннектора.

Под разъемы третьей зоны отведено более 95 мм ATCA-платы, однако их тип стандартом жестко не регламентируется, оставляя право выбора за потребителем. В частности, в данной зоне могут быть установлены разъемы для связи с модулем расширения, который размещается с тыльной стороны кросс-платы и имеет размеры 8Ux70 мм x(6HP). Модуль может использоваться для подключения высокоскоростных оптических либо медных интерфейсов ввода-вывода данных.

Кросс-платы ATCA имеют толщину от 3 до 8 мм. Столь значительная толщина необходима для обеспечения достаточной прочности при механических и термических нагрузках, а также для реализации сложной топологии транспортных магистралей (например, 8-канального межмодульного интерфейса PCI Express в версии "каждый с каждым"). Естественно, цена подобных решений сравнительно высока.

Концепция ATCA опирается и на новый стандарт мезонинных карт Advanced Mezzanine Card (AMC), отличающийся от своего мезонинного прототипа PMC стандарта CPCI использованием при обмене с основным модулем ATCA интерфейса PCI Express или 10 Гбит-Ethernet. На одну плату ATCA могут устанавливаться одновременно четыре разных AMC-мезонина, которые имеют размеры 183,5 x 73 мм. Допускается применение сдвоенных по ширине AMC-карт. При этом потребляемая одинарным AMC-модулем мощность может достигать 35 Вт вместо 7,5–12 Вт у PMC-карт стандарта CPCI.

В целом ATCA-технология является новой модульной стратегией, которая позволяет достичь революционных изменений в пропускной способности и уровнях интеграции РЭА с цифровой обработкой данных. С учетом сказанного, странам СНГ имеет смысл распространить действие стандартов ATCA на своей территории, а отечественным разработчикам РЭА освоить их применение в конкретных изделиях, что придаст им дополнительную конкурентоспособность.

Большие габариты плат ATCA, позволяющие получить не достижимую ранее степень внутримодульной интеграции компонентов, в то же время могут представлять собой серьезное препятствие для их использования в мобильных приложениях. Поэтому вполне закономерным стало появление разновидности спецификации ATCA формата 6U, получившей наименование CompactTCA Express (PICMG STCA.0, PICMG 2.50) [13]. На первый взгляд, стандарт CompactTCA Express в определенной мере вступает в конкуренцию с уже рассмотренной спецификацией CPCI Express. Вполне возможно, что в конечном счете произойдет их слияние в единую спецификацию благодаря слишком большому количеству общих подходов. Однако на данном этапе CompactTCA Express можно рассматривать как более продвинутую спецификацию, отличающуюся иной топологией кросс-плат, которая обеспечивает соединение модулей в пределах объединенной платы по принципу "каждый с каждым". При этом каждый слот имеет свой уникальный логический номер, что позволяет установить жесткую корреляцию между номером канала PCI Express и конкретной платой. Максимальное число физических номеров плат – 16, причем номера могут изменяться перепрограммированием ПЗУ. Такое решение существенно упрощает идентификацию плат, ускоряет процесс реконфигурации сети при перезагрузках программного обеспечения, что очень важно для создания многопроцессорных систем на базе одного крей-



та. Другим важным преимуществом технологии CompactTCA перед CompactPCI Express является применение высоковольтной разводки питания с DC/DC-конвертированием на самих платах. Это позволяет, как уже отмечалось, снизить токовые нагрузки на питающие линии.

Платформы CompactTCA обеспечивают мобильность и универсальность телекоммуникационных приложений. Существенно, что разработчики новой спецификации PICMG 2.50 изначально предусматривают совместимость CompactTCA с существующими PICMG изделиями версий 2.16–2.20, не требующими использования PCI-шины. Это позволит создавать более продвинутые гибридные решения по сравнению с рассмотренными аналогами CPCI Express.



**Рис.9. Варианты топологии разводки каналов PCI Express в ATCA, CompactTCA и MicroTCA**

Еще одна новая спецификация – MicroTCA (PICMG MTCa.0) – предполагает, что мезонинные модули стандарта AMC (PICMG AMC.0), используемые в системах AdvancedTCA, стыкуются непосредственно со специальной кросс-платой высотой 4U. В дополнение к обычной версии MicroTCA (Micro Telecommunications Computing Architecture) разрабатываются также варианты для военных приложений. Используя тот же транспортный механизм, что и AMC, кросс-плата MicroTCA обеспечивает пропускную способность 12,5 Гбит/с на один слот. При этом, как и в ATCA, могут быть реализованы топологии "звезда", "двойная звезда" и "сетка" (рис.9). Модули MicroTCA имеют одинарную или двойную ширину и высоту. Они предназначены для установки в два типа крейтов: 19-дюймовый 30-сантиметровой глубины и кубический, имеющий все три габарита по 20 см.

Рассмотренные здесь спецификации индустриального процессорного оборудования касались преимущественно решений, использующих PCI Express. При этом основная посылка состояла в предположении, что применение альтернативных транспортных магистралей вряд ли получит сопоставимое с PCI Express распространение. Справедливость данного выбора будет проверена уже в ближайшем будущем. Что же касается многообразия разрабатываемых спецификаций, то следует ожидать, что рыночные механизмы довольно скоро отберут наиболее жизнеспособные подходы, сделав их стоимость доступной для массового применения. Остальные же решения неизбежно отойдут в разряд экзотики, претендующей на ограниченные специализированные приложения.

Автор выражает признательность представителю ЗАО "РТСофт" (Москва) **А.Н. Рыбакову** за обсуждение вопросов, затронутых в статье.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. SHB Express. System Host Board PCI Express. Specification PICMG®1.3. Revision 0.91. – March 9, 2005.
2. **Jim Renahan.** SHB Express brings PCI Express to MilCOTS applications. – Trenton Technology, Inc., Jan/Feb 2005, pp. 6, 10.

<http://www.trentontechnology.com/support/whitepaper/SHBExpressinMilCOTSApplcations.pdf>

3. **Michael Bowling.** The new PICMG specifications for bringing PCI Express to industrial platforms. – CompactPCI and AdvancedTCA Systems / October 2004.

<http://www.trentonprocessors.com/support/whitepaper/NewPICMGSpecificationFeaturingPCIExpress.pdf>

4. **Jim Renahan.** New PICMG specifications expand PCI Express usage in embedded systems. – CompactPCI and AdvancedTCA Systems. December 2004.

<http://www.trentonprocessors.com/support/whitepaper/PCIExpressUsageinEmbeddedSystems.pdf>

5. **Jim Renahan.** Power Issues in Edge Card Systems.

<http://www.trentontechnology.com/support/whitepaper/PowerIssuesinEdgeCardSystems.pdf>

6. **Слюсар В. И.** Схемотехника цифрового диаграммообразования. Модульные решения. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2002, № 1.

7. **Steve Cooper.** PCI Express Form Factors.

<http://www.onestopsystems.com/new/data/PCI%20Express%20Form%20Factors.pdf>

8. VITA-42 XMC Committee Meeting – <http://www.vita.com/vso/vso200305/01-Wed/1045-VITA42-XMC.ppt>.

9. Advanced TCA PICMG 3.0. Short Form Specification. January 2003. – [http://www.picmg.org/pdf/PICMG\\_3\\_0\\_Shortform.pdf](http://www.picmg.org/pdf/PICMG_3_0_Shortform.pdf)

10. **J. Eric Gulliksen.** 2004 Merchant Computer Boards or Embedded/Real Time Applications Intelligence Program: Slot Single Board Computers and Embedded CPU Blades. – Embedded Hardware Practice Venture Development Corporation – November, 2004. – [http://www.vdc-corp.com/embedded/white/04/04\\_mcbrea.pdf](http://www.vdc-corp.com/embedded/white/04/04_mcbrea.pdf)

11. **Слюсар В.** Smart-антенны пошли в серию. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2004, №1.

12. 8. 2mm HM ZD Connector Introduction.

[http://www.vita.com/vso/vso200103/ernitycopres\\_rev4.1.pdf](http://www.vita.com/vso/vso200103/ernitycopres_rev4.1.pdf)

13. **Chuck Hill.** CompactTCA unifies platform architecture. – CompactPCI Systems. – May, 2003. –

[http://www.compactpci-systems.com/columns/spec\\_corner/pdfs/5.03.pdf](http://www.compactpci-systems.com/columns/spec_corner/pdfs/5.03.pdf)

14. **Laurie J. Burger** and **Michael G. Thompson.** MicroTCA: Packaging the potential of AdvancedTCA for smaller applications. – CompactPCI and AdvancedTCA Systems, December 2004. – <http://www.compactpci-systems.com/PDFs/Pentair.Dec04.pdf>