

Форм-фактор 6U: старые достоинства и новые возможности для встроенных систем

Пётр Павлов (Москва)

Статья обращает внимание на достоинства компонентов форм-факторов 6U. В их числе – возможность создания систем с самой высокой плотностью вычислительных ресурсов и каналов ввода/вывода, большие диапазоны масштабирования этих ресурсов, возможность в ряде случаев построения более компактных систем по сравнению с возможностями форм-фактора 3U. Приведены примеры компонентов форм-фактора 6U на основе самых современных процессоров и высокопроизводительных интерфейсов, в том числе модулей, стойких к самым разнообразным факторам неблагоприятных воздействий при эксплуатации конечного оборудования.

Встроенные системы – компьютерный «интеллект» современного оборудования – строятся, по сути, на основе двух базовых архитектур. Одна из них – это помещённая в корпус (системный блок в промышленном исполнении) материнская плата или её аналог с установленными (при необходимости) модулями расширения (дополнительная память, интерфейсы беспроводной связи и т.п.).

Стандарт PICMG 1.0/1.3 является промышленным вариантом архитектуры материнской платы, а COM-архитектура – это своеобразно вывернутая наизнанку концепция материнской платы, где аналог материнской платы – модуль COM (Computer On Module, компьютер на модуле), устанавливается на квазианалог модуля расширения – плату-носитель со специализированными интерфейсами и/или иными специализированными подсистемами. Архитектура стеков («этажерок») на основе модулей форм-фактора PC/104 – не что иное, как оригинальная реализация архитектуры встроенной системы на основе материнской платы для жёстких условий эксплуатации.

Помимо упомянутых спецификаций (или экосистем стандартов) PICMG



Рис. 1. Внешний вид модульных крейтовых систем

1.0/1.3, COM, PC/104, к архитектурному сегменту встроенных систем на основе материнских плат относятся изделия стандартов EBX, ITX, ATX и ETX.

Вторая базовая архитектура встроенной системы – объединительная панель в корпусе, к которой подключены одноплатный компьютер (Single Board Computer, blade, он же блейд или «лезвийный» компьютер/сервер) или несколько одноплатных компьютеров, а также модули ввода/вывода. И геометрия, и форм-факторы всех этих элементов гармонизированы на основе стандарта Евромеханики. Наиболее известные примеры подобной архитектуры закреплены стандартами ассоциаций VITA (VME/VXS/VPX) и PICMG (CompactPCI/AdvancedTCA/MicroTCA). Далее мы будем использовать для обозначения таких встроенных систем (см. рис. 1) термин «модульные крейтовые системы».

По мнению Рея Олдермана (Ray Alderman) [1], лидера организации VITA, сегмент архитектур на основе псевдоматеринских плат сегодня метастабилен. Ориентированный в значительной степени на предельно компактные габариты встроенных систем, он испытывает на себе влияние разнообразия форм-факторов внутрифирменных стандартов, претендующих на утверждение в качестве открытых стандартов. Эта ситуация имеет вполне объективные причины, корни которых можно найти и в технологиях миниатюризации и интеграции электронных компонентов (габариты плат могут становиться меньшими), и в таком явлении, как «консюмеризация» электроники (возможность быстрого возврата инвестиций в разработ-

ку внутрифирменного форм-фактора, конкурентного на массовом потребительском рынке).

Однако промышленная и военная электроника встроенных систем, в отличие от электроники потребительской, тяготеет к установившимся стандартам, поколения (версии) которых основаны на преемственности. Это обеспечивает заказчикам уверенность в технической надёжности компонентов и решений, возможность выбора таких компонентов и решений среди нескольких поставщиков, надёжные гарантии долговременной поддержки со стороны поставщиков. Именно поэтому на промышленном и военном рынках, даже без рекламной поддержки, по-прежнему популярны форм-факторы систем стандартов VME/VXS/VPX, CompactPCI и форм-факторы с вертикальным габаритом модулей 6U, как это ни удивительно в условиях тотального наступления форм-факторов SFFB (Small Form Factor Boards, одноплатные компьютеры и модули малых форм-факторов) и идеологии SWaP-оптимизации (SWaP – Size, Weight and Power; габариты, масса и энергопотребление).

Что такое 6U и 4HP?

Рынок систем VITA VME и CompactPCI отличается, по мнению Рея Олдермана, гармоничной упорядоченностью. И это мнение имеет под собой прочные основания. Базовые габариты встроенных систем промышленного класса стандартов VME/VXS/VPX и CompactPCI определяются 19-дюймовой шириной стойки или крейта (482,6 мм). Внутреннее пространство крейта делится на горизонтальные слоты (Horizontal Pitch, HP). В 19-дюймовом крейте можно разместить 21 слот шириной 4 «единицы» HP (20,3 мм, или 0,8 дюйма). В некоторых случаях компоненты, устанавливаемые на модуле, не укладываются в габарит 4HP; тогда используются кратные 4HP габариты 8 или 12 HP.

Лицевая панель модуля, вставляемого в слот шириной 4/8/12 HP, стандартно имеет высоту 132 мм (форм-фактор 3U, Eurocard) или 265 мм (форм-фактор 6U, dual Eurocard). Собственно же платы, лежащие в основе конструкции

модулей форм-факторов 3U и 6U, имеют габариты 100 × 160 и 233 × 160 мм соответственно.

В мире модульных крейтовых систем царит полная гармония и разумное «многообразие», которые, впрочем, не ограничивают свободы создания крейтов «половинной» ширины от 19 дюймов, или оборудования высотой 1U (например, блока вентиляторов) для устанавливаемых в стойку встроенных систем, или модуля шириной 1 дюйм (что предусмотрено, например, стандартом VITA 47 REDI/Ruggedized Enhanced Design Implementation, Рекомендации по созданию конструкций с повышенным уровнем стойкости к неблагоприятным внешним воздействиям).

Однако эта «демократия» модульных крейтовых систем далека от хаоса габаритов семейств и подсемейств плат форм-факторов экосистемы SFFB. На рисунке 2 приведено сопоставление форм-факторов далеко не полной выборки стандартов рынка SFFB. Более полный набор этих стандартов приведён на интернет-ресурсе <http://smallformfactors.com/articles/list-smallform-factors>. Представленный там список спецификаций форм-факторов SFFB-модулей насчитывает более сотни наименований.

О достоинствах модульных крейтовых систем

Базовая архитектура встроенной системы на основе крейта, в котором размещается объединительная панель с подключёнными к ней (при помощи разъёмов, необходимых для интеграции системы и её последующего обслуживания) модулями системы питания, одноплатами компьютерами и модулями сетевых коммутаторов ввода/вывода, является весьма удобной для широкого спектра промышленных и оборонных приложений. Стандарт PICMG 1.0/1.3 является промышленным вариантом архитектуры материнской платы, а COM-архитектура – это своеобразно вывернутая наизнанку концепция материнской платы, где аналог материнской платы – модуль COM (Computer On Module, компьютер на модуле), устанавливается на квазианалог модуля расширения – плату-носитель со специализированными интерфейсами и/или иными специализированными подсистемами. Поэтому она востребована в многопроцессорных системах для высокопроизводительных вычислений (при создании радаров, сонаров, систем радиоэлектронной разведки, тренажёрных комплексов) и автоматизированных многоканальных испытательных и измерительных систем.

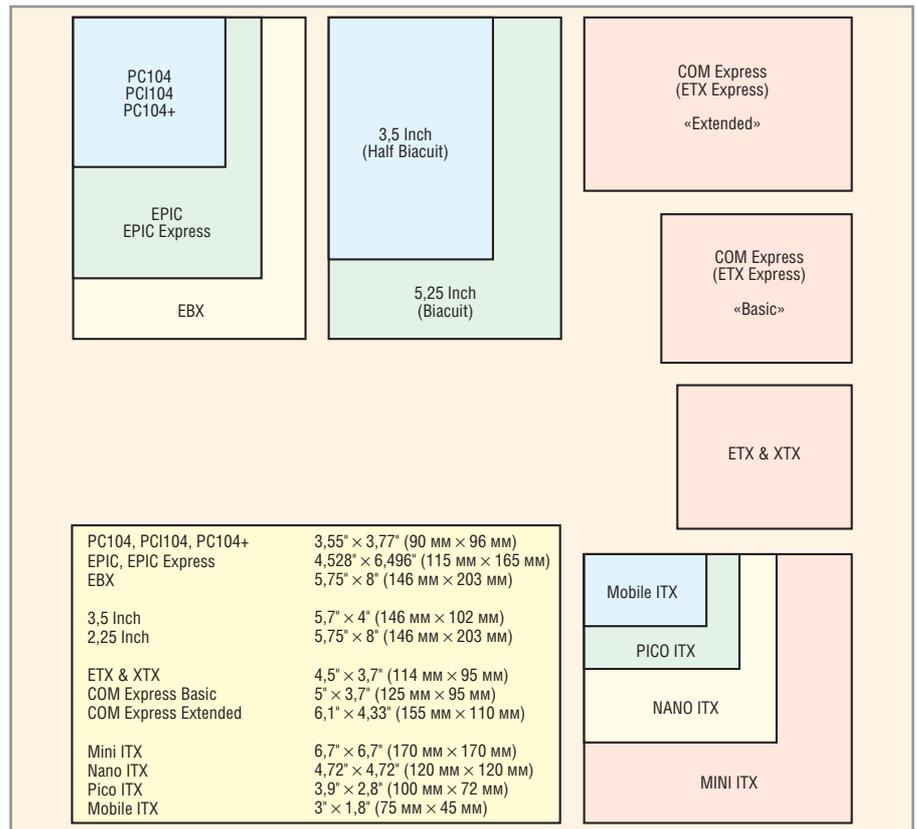


Рис. 2. Разнообразие форм-факторов рынка SFFB

В подобных приложениях модульные крейтовые платформы позволяют решать такие задачи, как:

- создание адекватной системы каналов ввода/вывода и/или интерфейсов подключения с одновременной

минимизацией длины кабельных подключений;

- минимизация габаритов за счёт совместного использования модулями ресурсов питания, систем охлаждения и шин передачи данных;
- масштабируемость в течение жизненного цикла системы, т.е. изменение конфигурации каналов ввода/вывода и наращивание вычислительных

ресурсов без коренной переработки системы, за счёт изменения или дополнения набора модулей в крейте и подключения новых кабелей.

Возможности масштабирования модульных крейтовых систем расширяет соблюдение принципов обратной совместимости при развитии стандартов такого оборудования ассоциациями VITA и PICMG. История подобного развития связана с повышением пропускной способности системного интерфейса: сначала повышалась пропускная способность параллельных шин VMEbus и PCI, потом эти шины начинали сосуществовать с интерфейсом на основе последовательной передачи и коммутации пакетов данных (технология switch fabric), затем появились спецификации, использующие только switch fabric, а также многоуровневую архитектуру передачи данных на базе различных последовательных интерфейсов и технологии switch fabric. При этом для разных категорий передаваемых сигналов и данных – Utility (рабочие сигналы), Management (сигналы и данные управления), Control (сигналы и данные контроля), Data (данные) и Expansion (коммуникации с модулями расширения), используются наиболее подходящие интерфейсы из набора технологий Ethernet, Serial RapidIO, PCI Express, Aurora и т.п.

Но всегда при реализации этих «маршрутных карт» предусматривалась возможность построения гетерогенных модульных крейтовых систем, включающих набор из унаследованных (legacy) и современных модулей. В качестве примера можно привести развитие стандартов крейтовых систем на основе шины VMEbus для повышения пропускной способности системного интерфейса на основе параллельной передачи данных. Эта базовая характеристика эволюционировала от 40 Мб/с (первоначальный вариант) до 320 Мб/с (стандарт VITA 1.5, протокол 2eSST/2-edge Source Synchronous Transfer, протокол синхронизируемой источником передачи по фронту и спаду тактового импульса). Промежуточными значениями были 80 и 160 Мб/с. Все поколения спецификаций в этом ряду обладают обратной совместимостью, т.е. унаследованные модули (и, соответственно, приложения, написанные для них) могут использоваться в одном крейте с модулями, поддерживающими более современные спецификации.

При дальнейшем развитии экосистемы спецификаций крейтовых систем а-

ссоциацией VITA был разработан стандарт VITA 41 или VXS/VMEbus Switched Serial (одобрен ANSI в 2006 г.) с целью объединения в одной системе возможностей использования протоколов параллельной передачи данных и последовательной передачи данных на основе коммутации пакетов. Для этого в стандарте предусмотрены два типа слотов – для модулей работы с данными и для модулей коммутаторов [3]. Базовые габариты и часть системного разъёма унаследованных модулей VME и новых модулей VXS были оставлены одинаковыми.

При создании нового стандарта ассоциации VITA – VPX/OpenVPX (VITA 46/VITA 65), реализующего принципиально новую архитектуру крейтовой системы с многоуровневой системой коммуникаций и на основе последовательной передачи данных, была предусмотрена возможность решения на основе гибридной объединительной панели [4], позволяющей использовать в одном крейте унаследованные модули VME и модули в стандарте VPX/OpenVPX.

Аналогичный подход был использован при развитии стандартов построения модульных компьютерных систем стандарта CompactPCI. На начальных этапах развития этой экосистемы оборудования, спецификации описывали конструкции с подключением отдельных модулей к параллельной шине PCI на объединительной панели. При переходе от технологии с шиной общего доступа к коммуникациям на основе последовательной передачи данных, подкомитет CompactPCI Plus разработал два стандарта. Наряду со спецификацией CompactPCI Serial (PICMG CPCI-S.0), которая позволяет создавать вычислительные системы на основе высокоскоростных последовательных интерфейсов, была разработана и спецификация PICMG 2.30 CompactPCI PlusIO, открывающая путь к модернизации находящихся в эксплуатации систем стандарта CompactPCI.

Стандарт PICMG 2.30 CompactPCI PlusIO основывается на спецификации CompactPCI PICMG 2.0, дополняя её новым описанием выводов и функциональных возможностей разъёма J2 системного слота 32-битной системы. В базовом стандарте эти сигналы определяются как сигналы ввода/вывода через объединительную панель без дальнейшей детализации. Стандарт CompactPCI PlusIO использует эту неопределённость в своих целях на ос-

нове нового разъёма, механически совместимого со старым и обеспечивающего передачу сигналов со скоростью до 5 Гбит/с. Это позволило в дополнение к шине PCI использовать в объединительной панели технологии PCI Express, SATA, USB и Ethernet. Но при этом разъём отвечал требованиям, предъявляемым к «механике» разъёма базовой системы CompactPCI, что обеспечивало механическую совместимость.

ФОРМ-ФАКТОР 3U ПРОТИВ 6U

Форм-фактор 3U CompactPCI в какой-то момент времени (конец 1990-х – начало 2000-х) обладал бесспорными достоинствами среди встроенных модульных крейтовых систем. В их числе – возможность организации 64-разрядных вычислений и развитая поддержка тыльного ввода/вывода в системах формата 3U CompactPCI. Последнее особенно важно для встроенных систем, работающих в жёстких условиях внешних механических воздействий, поскольку упрощает замену вышедшей из строя платы. Ещё одно достоинство форм-фактора 3U в том, что «естественная» жёсткость модулей и большие значения частот собственных резонансов делают их менее подверженными негативному влиянию вибраций и ударных нагрузок. И тем не менее...

При анализе достоинств «маленького» (3U) и «большого» (6U) форм-факторов внутри экосистемы VME/VXS/VPX & CompactPCI и экосистем VME/VXS/VPX и CompactPCI по отдельности представление о том, что 3U «абсолютно» компактнее 6U, легко опровергается. Внимательный анализ показывает, что эффективная площадь модуля формата 3U (за вычетом площади, занимаемой разъёмом и прижимными фиксаторами, обеспечивающими кондуктивный отвод тепла) составляет лишь треть от эффективной площади модуля формата 6U. Поэтому система, состоящая, например, из девяти модулей формата 3U, потребует для своего размещения объём в 1,5 раза больший, чем эквивалентная ей по функциональным возможностям система на основе модулей форм-фактора 6U [2]. Если принять во внимание и большую свободу разработчика в части использования высокопроизводительных процессорных платформ и борьбы с взаимным влиянием высокочастотных сигналов, то для опытных разработчиков модули форм-факторов 6U оказываются эффективным «строительным материалом» для встроенных сис-

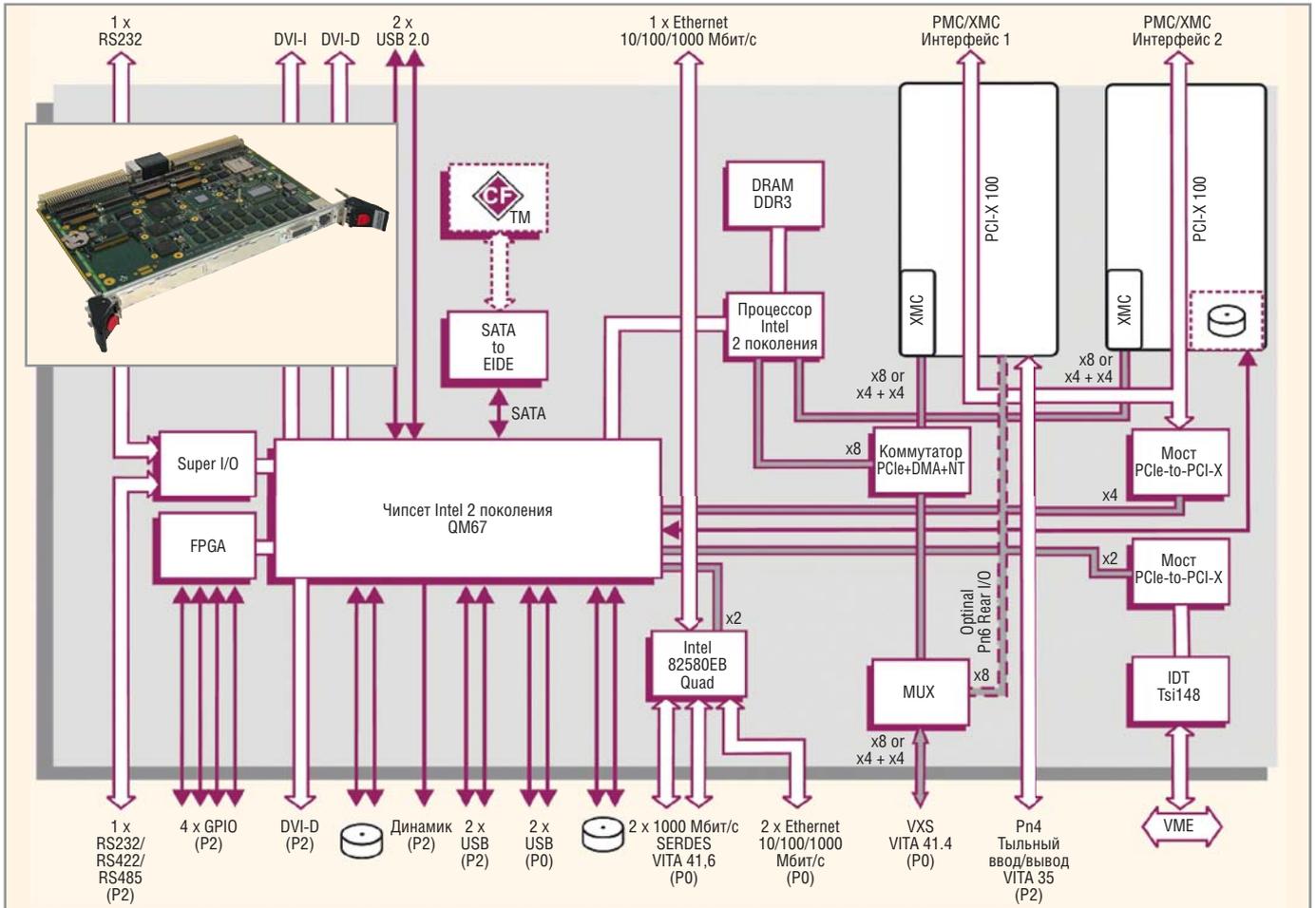


Рис. 3. Одноплатный компьютер VX 81x/09x компании Concurrent Technologies и его блок-схема

тем. Например, если функциональные возможности встроенной системы укладываются в схемотехнику, размещаемую на шести или менее платах модулей форм-фактора 3U, то модули формата 6U позволяют реализовать более компактное решение, особенно с учётом большого разнообразия COTS-модулей форм-фактора 6U.

Что касается стойкости к жёстким условиям эксплуатации, то рекомендации экосистемы стандартов VITA в части создания высоконадёжных систем (в частности, стандарты VITA 48 Ruggedized Enhanced Design Implementation (REDI), спецификация VITA 47 Environmental, Design and Construction, Safety, and Quality for Plug-In Units Standard) вместе с технологиями конкретных производителей позволили создать и пополнять широкую номенклатуру модулей форм-фактора 6U, устойчивых к жёстким воздействиям при эксплуатации.

СОВРЕМЕННЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МОДУЛЯХ ФОРМ-ФАКТОРА 6U

Одноплатные компьютеры VX 81x/09x компании Concurrent Technologies (изображение и блок-схема представ-

лены на рисунке 3) выполнены на базе стандарта VITA 41 (VXS). В основе их конструкции – процессоры Intel Core iX второго поколения. Это может быть четырёхъядерный Core i7-2715QE или двухъядерный Core i5-2515E плюс до

16 Гб памяти типа ECC DDR3 SDRAM, а также устанавливаемые по заказу модуль Compact Flash и жёсткий диск с форм-фактором 2,5 дюйма.

Второе поколение процессоров Intel Core iX поддерживает технологии

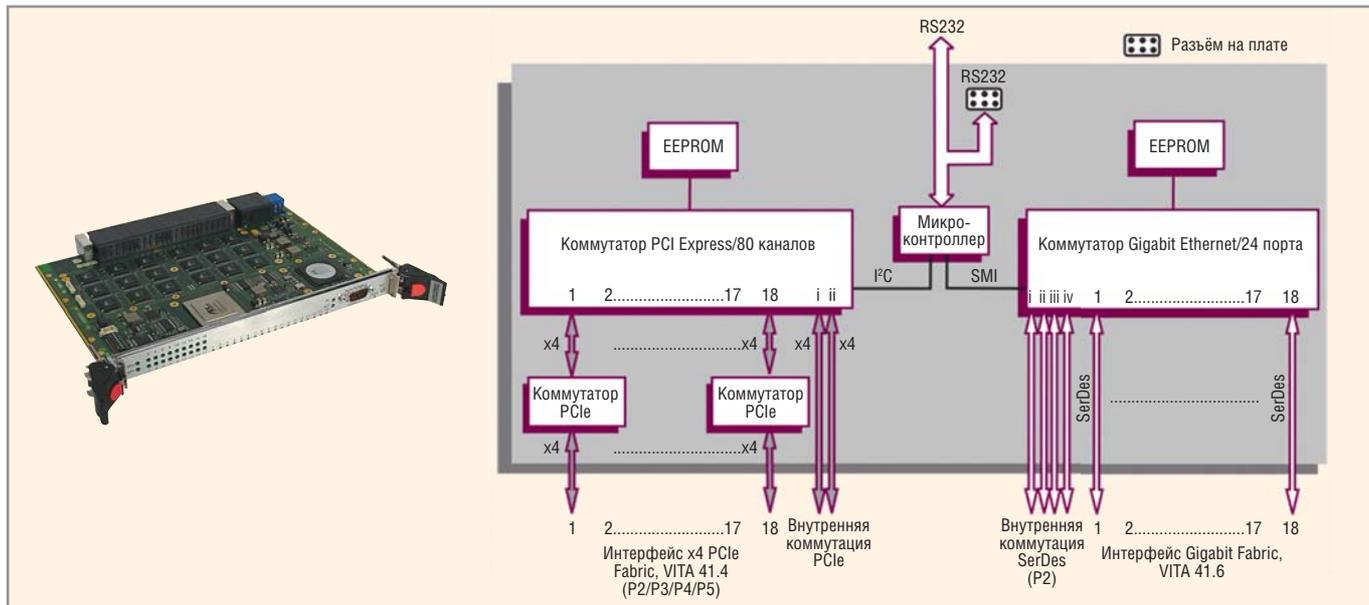


Рис. 4. Коммутатор FX 322/0xx компании Concurrent Technologies и его блок-схема

SATA600, PCI Express Gen 2, Intel Turbo Boost и обеспечивает новый уровень производительности в приложениях с поддержкой мультимедиа. Установка на VX 81x/09x процессоров Intel Core iX второго поколения позволила почти вдвое увеличить производительность в графических приложениях по сравнению с возможностями, обеспечиваемыми процессорами предыдущего поколения.

Модули VX 81x/09x поставляются компанией Concurrent Technologies в исполнениях для трёх рабочих температурных диапазонов 0...55°C (N-Series), -25...70°C (E-Series), -40...85°C (K-Series) и для двух уровней стойкости к неблагоприятным условиям внешних воздействий, включая ударные и вибронгрузки: RC (Ruggedized Conduction-Cooled, с кондуктивным теплоотводом) для температурного диапазона -40...85°C и RA (Ruggedized Air-Cooled, с воздушным охлаждением) для температурного диапазона -40...75°C.

Для систем стандарта 6U VXS компания Concurrent Technologies предлагает (также в нескольких исполнениях) коммутаторы FX 322/0xx (изображение и блок-схема представлены на ри-

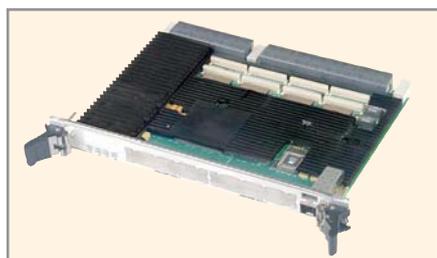


Рис. 5. Одноплатный компьютер CPU-111-10 компании Parvus и его блок-схема

сунке 4). На уровне передачи данных (Data) коммутатор FX 322/0xx может обслуживать до 18 модулей с интерфейсом x4 PCI Express. Коммутаторы FX 322/0xx позволяют сформировать системную сеть коммутируемой пакетной передачи данных между модулями системы на базе интерфейсов PCI Express и Gigabit Ethernet по топологии двойной звезды. Интерфейс Ethernet на основе коммутации пакетов позволяет организовать передачу данных между унаследованными модулями стандарта VME.

В конструкции коммутатора FX 322/0xx предусмотрен порт для подключения и работы с ещё одним коммутатором системы VXS. На уровне системного управления (Management), коммутатор FX 322/0xx поддерживает работу до 18 портов Ethernet 1000-Base-BX в соответствии со спецификацией VITA 41.6.

На базе процессоров Intel Core i7 и набора ИС Intel QM57 предлагаются также модули XCalibur4341, в том числе, одноплатный компьютер форм-фактора 6U VPX для многопроцессорных вычислений, разработанный в компании Extreme Engineering Solutions. На базе четырёхъядерного процессора Intel L5408 Xeон создан блейд-модуль CPU-111-10 компании Parvus (см. рис. 5) – производительный и высоконадёжный одноплатный компьютер форм-фактора 6U VPX (VITA 46) с интегрированным коммутатором 10 Gigabit Ethernet. Интеграция коммутатора позволяет CPU-111-10 поддерживать работу до восьми одноплатных компьютеров на основе полностью связанной (full mesh) топологии внут-

рисистемной сети, реализованной в конструкции объединительной панели.

Модуль CPU-111-10 ориентирован на использование совместно с объединительными панелями, поддерживающих ширину слота 1 дюйм. Вариант модуля с воздушным охлаждением предлагается с разъёмом универсального порта SFP+. Одноплатный компьютер CPU-111-10 предназначен для систем класса C4ISR (Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance and Reconnaissance, автоматизированные системы разведки, связи и управления войсковых порядков) на борту подвижных платформ в воздухе, на земле и на море.

Одноплатный компьютер IPN250 компании GE Intelligent Platforms в форм-факторе 6U OpenVPX (изображение и блок-схема представлены на рисунке 6) поддерживает возможности GPGPU-вычислений и может эксплуатироваться в системах, испытывающих жёсткие эксплуатационные нагрузки. GPGPU – это general-purpose computing on a graphics processing unit, или «использование графических процессоров для вычислений общего назначения», «прозрачная» интеграция расчётов общего назначения и так называемых «графических» вычислений на единой платформе Graphics Processing Unit (GPU). Использование технологий GPGPU обеспечивает большую гибкость решений и меньшую совокупную стоимость владения (total cost of ownership) по сравнению с решениями на основе ПЛИС/FPGA.

Конструкция IPN250 объединяет графический процессор NVIDIA GT240 с

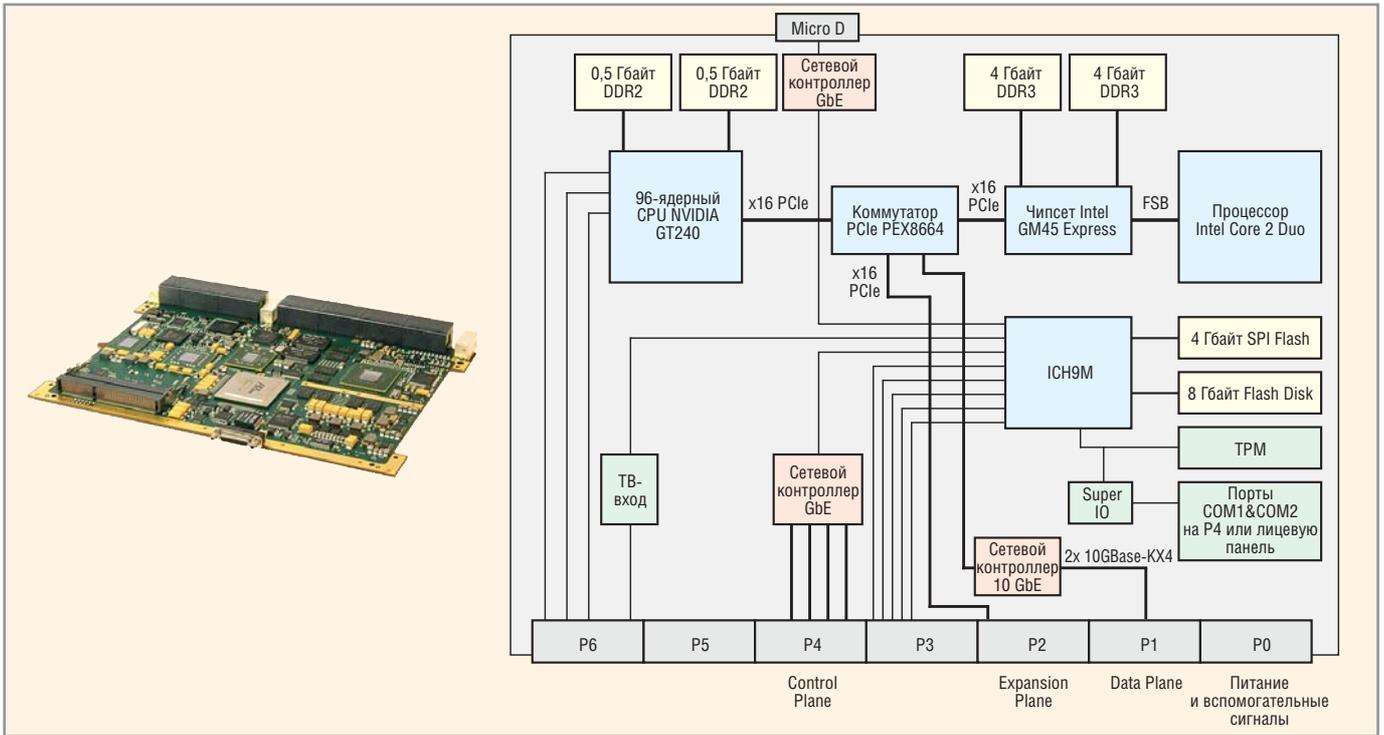


Рис. 6. Одноплатный компьютер IPN250 компании GE Intelligent Platforms и его блок-схема

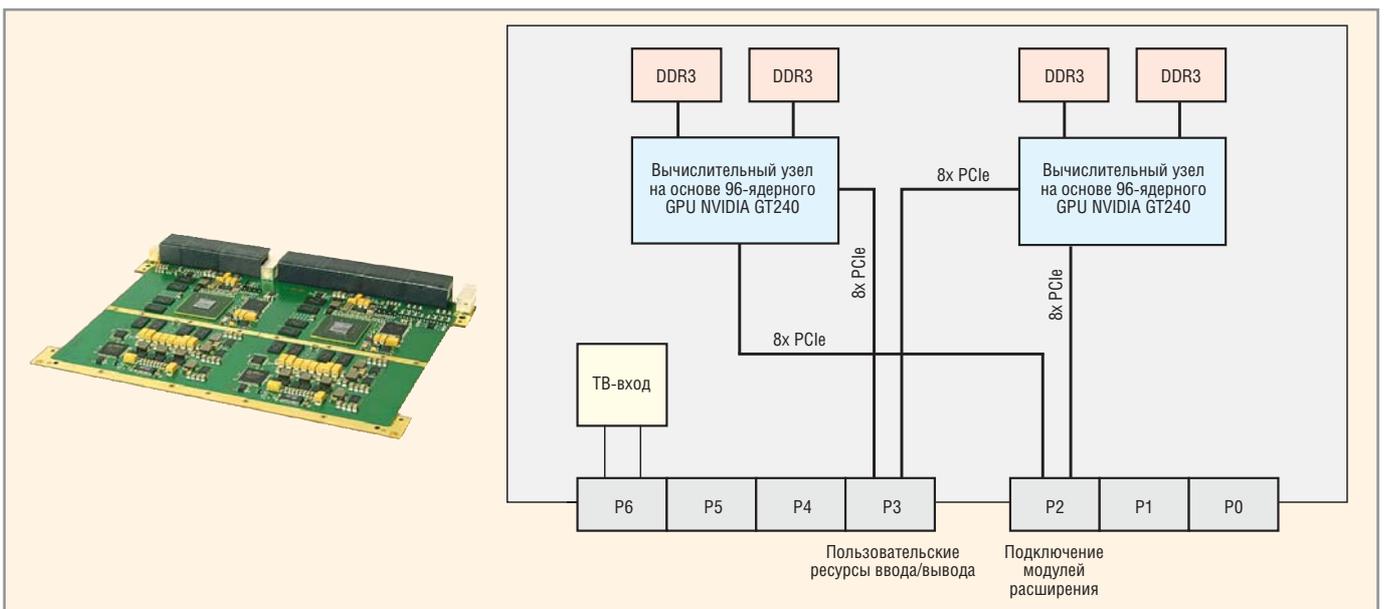


Рис. 7. Одноплатный компьютер NPN240 компании GE Intelligent Platforms и его блок-схема

96 ядрами, процессор Intel Core 2 Duo с тактовой рабочей частотой 2,26 ГГц и 8 Гб памяти DDR3 SDRAM. Эти базовые компоненты обеспечивают производительность до 390 Гфлопс на слот. Архитектура модуля IPN250 предусматривает поддержку «двоенного» уровня передачи данных (two primary data planes) и использование технологии 10 Gigabit Ethernet при построении систем на основе нескольких одноплатных компьютеров.

Для обслуживания передачи данных на уровне коммуникаций с модулями расширения (Expansion) в конструкции IPN250 предусмотрен интерфейс

на основе технологии PCI Express Gen2 с 16 каналами (lanes). Для коммуникаций на уровне передачи данных системного управления (Management) реализованы два порта Ethernet 1000Base-T и два порта Ethernet 1000Base-Bx.

Ещё большую производительность GPGPU-вычислений обеспечивает модуль NPN240 (изображение и блок-схема представлены на рисунке 7). В основе конструкции NPN240 – два графических 96-ядерных процессора Nvidia GT240, что обеспечивает максимальную производительность 750 Гфлопс на слот. Несколько модулей NPN240 могут подключаться к единому хос-

ту (или нескольким центральным процессорам) для создания кластеров с производительностью в тысячи гигафлопс. Одноплатный компьютер NPN240 является удобной платформой для встроенных систем высокопроизводительных вычислений с высокой плотностью ресурсов, к конструкции которых предъявляются особые требования в части минимизации габаритов, массы и энергопотребления.

Модульные крейтовые системы на основе компонентов форм-фактора 6U столь популярны, что в этих габаритах предлагаются и весьма экзотичные платформы. Сегодня хорошо известно



Рис. 8. Носитель мезонинов PEX441 компании GE Intelligent Platforms



Рис. 9. 6U VME-модуль VP A45/01x компании Concurrent Technologies

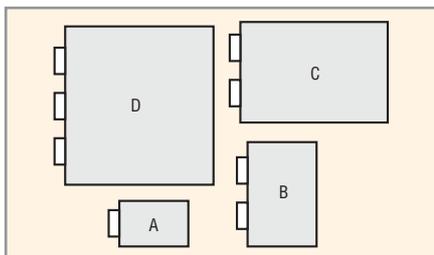


Рис. 10. Сравнение возможных габаритов модулей стандарта VXI

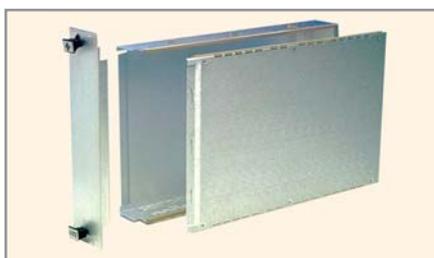


Рис. 11. Комплект электромагнитных экранов для модуля стандарта VXI-1 4.0 (C-size)

о возможности интеграции встроенных систем на базе мезонинов AdvancedTCA (экосистема стандартов MicroTCA). Аналог, менее известный и пока менее популяризируемый, можно найти и в системе стандартизации VITA. Так, компания GE Intelligent Platforms предлагает модуль PEX441 (см. рис. 8) форм-фактора 6U VPX.

Габариты модулей стандарта VXI (в дюймах)

Габариты	Высота	Глубина	Разъёмы
A	3,9	6,3	P1
B	9,2	6,3	P1; P2*
C	9,2	13,4	P1; P2*
D	14,4	13,4	P1; P2*; P3*

* Разъёмы P2 и P3 являются заказными

Это изделие разработано для применения в жёстких условиях эксплуатации и может нести до двух мезонинов XMC разных назначений с тепловыделением до 30 Вт. Мезонины могут выступать в качестве подсистем расширения возможностей ввода-вывода, подсистем для высокопроизводительных вычислений на базе микросхем программируемой логики (ПЛИС/FPGA), цифроаналоговых и аналого-цифровых интерфейсов. Конструкция PEX441 обеспечивает установку на этот носитель всех современных типов мезонинов в стандарте XMC, а также создание системы на основе массива XMC-мезонинов с высоким энергопотреблением. В случае применения модуля PEX441 можно устанавливать мезонины на него, а не на высокопроизводительные процессорные модули. Это позволяет более равномерно распределить источники высокой тепловой нагрузки между слотами форм-фактора 6U VPX, использующими как системы принудительного воздушного охлаждения, так и системы кондуктивного отвода тепла.

Модули PEX441 предлагаются в пяти исполнениях стойкости к внешним условиям эксплуатации, а также – по заказу – в полном соответствии со стандартом VITA 48 REDI.

Другой «экзотический» пример – использование процессора Intel Atom в конструкции модуля форм-фактора 6U. Так, компанией Concurrent Technologies разработано и предлагается для ответственных применений на основе процессора Intel Atom N270 семейство VME-модулей форм-фактора 6U VP A45/01x (см. рис. 9).

Энергопотребление модуля VP A45/01x не превышает 20 Вт. Процессор Intel Atom N270/1,6 ГГц, набор ИС Intel 945GSE Express и 2 Гб памяти DDR2-533 SDRAM поддерживаются развитой периферией ввода/вывода и возможностью подключения модулей CompactFlash и PMC/XMC. Семейство одноплатных VME-компьютеров VP A45/01x предлагается как в коммерческом, так и в «усиленном» исполнении, в версиях с кондуктивным и принудительным воздушным охлаждением, что позволяет использовать его в промышленных и оборонных системах. Однако платформа 6U VME всё же выглядит «тяжеловесной» для процессоров Intel Atom.

Модульные крейтовые системы больших форм-факторов в измерительной технике

Первым опытом в этой области является разработка и развитие стандарта VXI на основе компьютерных платформ с шиной VME. Большие габариты модулей стандарта VXI позволяют создавать прецизионную многоканальную контрольно-измерительную и испытательную аппаратуру с высоким уровнем помехозащищённости. Стандартом VXI предусмотрена возможность использования модулей четырёх габаритов (см. таблицу и рис. 10); габариты A и B являются обычными и для стандарта VME, а большие габариты введены только в стандарте VXI.

Ширина слота системы VXI увеличена до 1,2 дюйма (0,8 дюйма для крейта VME), что позволяет использовать защитные экраны на модулях (см. рис. 11), необходимых для построения систем измерений, работающих как с низкочастотными аналоговыми сигналами малой амплитуды, так и с радиочастотными сигналами.

В самой современной на сегодняшний день версии стандарта VXI-1 4.0 за счёт использования нового разъёма (нового для VXI, но не для VME) введена поддержка протокола 2eSST системной шиной передачи данных и расширены возможности системы синхронизации и установки временных меток. Введение дополнительного разъёма P0 позволяет в системах стандарта VXI-1 4.0 использовать технологию PCI Express для организации межмодульных коммуникаций и создания каналов связи между модулями и вычислительными узлами.

Не так давно рынку был предложен новый стандарт модульных измерительных систем AXIe (AdvancedTCA Extensions for Instrumentation and Test, расширение стандарта AdvancedTCA для контрольно-измерительных систем). Консорциум разработчиков платформы AXIe был создан компаниями Aeroflex, Agilent Technologies и Test Evolution в ноябре 2009 г.

Стандарт ATCA, взятый за основу в спецификациях AXIe, ориентирован на высокие скорости передачи данных и производительные вычисления. Объединительная панель ATCA поддерживает каналы передачи данных в рамках модели многоуровневых коммуникаций, не ориентированной на конкретный протокол последовательной передачи данных с коммутацией пакетов.

Пропускная способность канала составляет 10 Гбит/с, а габариты модулей определяются конструктивом 8U (ширина 30 мм, высота 320 мм, глубина 280 мм). Эти базовые параметры позволяют рассчитывать на создание весьма производительного, многоканального контрольно-измерительного оборудования. Объединительная панель AXIe поддерживает два коммуникационных стандарта – Ethernet и PCI Express.

По сравнению с базовой спецификацией ATCA, стандарт AXIe внёс изменения в назначения сигнальных линий. Уменьшив число слотов с 16 до 14, спецификация AXIe 1.0 использовала освобожденные ресурсы для сигналов синхронизации, установки временных меток и создания локальной шины. Шина синхронизации (trigger bus) построена на основе сигнальных пар стандарта MIVDS (multipoint low-voltage differential signaling) и обслуживает все слоты. Кроме этого, были добавлены сигналы CLK100 (star clock), STRIG (star trigger), SYNC (star synchronization) и FCLK (fabric clock).

В числе прочих изменений стандарта ATCA – отказ от модулей тыльного подключения (Rear Transition Modules, RTMs). В системе AXIe предусмот-

рен лишь фронтальный ввод/вывод, а разъёмы, использовавшиеся в «материнском» стандарте для модулей тыльного подключения, используются для создания дополнительных линий сигналов запуска, калибровочной шины, аналоговой шины, а также для подключения линий ввода/вывода тестируемых устройств.

При работе многоканальных контрольно-измерительных систем с типичным количеством каналов от 200 до 600, внутреннее тепловыделение системы может составить 1...3 кВт. В связи с обеспечением высокой мощности питания и отвода тепла, для подобного оборудования требуется модульная крейтовая платформа с высокими значениями соответствующих параметров. Не для всех задач такого рода подойдёт оборудование форматов 3U и 6U PXI, созданное на основе стандартов CompactPCI, поскольку оно характеризуется ограниченными возможностями системы воздушного охлаждения из-за небольшой глубины (160 мм) и малого шага (0,8 дюйма) слотов при площади воздухозабора около 5 кв. дюймов.

Стандарт VXI, предусматривающий глубину слота 340 мм и шаг 1,2 дюйма,

обеспечивает воздухозабор площадью 16 кв. дюймов, достаточный для отвода тепловой мощности до 300 Вт. В то же время, несмотря на то что для модуля в стандарте AXIe специфицирована допустимая мощность рассеивания 1000 Вт, система поддерживается меньшей площадью воздухозабора (12,7 кв. дюймов). Возможно, именно это послужило причиной разработки жидкостного охлаждения для оборудования AXIe.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Alderman R.* The invasion of the form factors. <http://vita-technologies.com/articles/the-invasion-the-form-factors>.
2. *Nygaard T.* When half isn't exactly half: 3U vs. 6U VPX. <http://vita-technologies.com/articles/when-exactly-half-vs-vpx/>.
3. *Mascarin A., Roberts T.* VPX and VXS Strike a Balance of Choices for Designers. <http://www.cotsjournalonline.com/articles/view/100926>.
4. *Roberts T.* Hybrid backplanes combine OpenVPX and VME components. <http://vita-technologies.com/articles/hybrid-combine-openvpx-vme-components/>.
5. *Schmitz M.* CompactPCI Plus marks another advance into the future. *Boards & Solutions*, June 2009.

