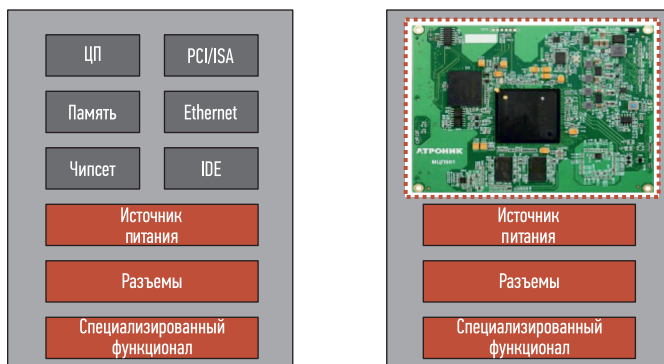


КОМПЬЮТЕРНЫЕ МОДУЛИ: ПРЕИМУЩЕСТВА ПРИМЕНЕНИЯ И ПОПУЛЯРНЫЕ СТАНДАРТЫ

АЛЕКСЕЙ МЕДВЕДЕВ, К. Т. Н.
mav@atronik.ru

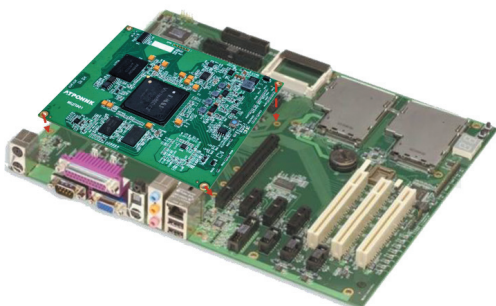
В статье рассмотрим особенности и преимущества использования компьютерных модулей (КМ) при разработке промышленных вычислительных систем и комплексов. Сравним наиболее популярные стандарты таких модулей и приведем примеры их применения.

РИС. 1. ▶
Устройство КМ



Компьютерные модули, называемые также компьютерами на модуле (Computer-on-Module) или системами на модуле (System on module), становятся все более популярным решением многих задач, в которых требуется быстро создать специализированный вычислительный узел, используя встроенный компьютер с необходимыми компонентами периферии. Эти модули — хороший выбор для промышленных применений, особенно в случаях, когда решения на базе стандартных одноплатных встраиваемых компьютеров неэффективны.

РИС. 2. ▼
Несущая плата с КМ



КМ позволяет вместить весь вычислительный узел в модуль малого форм-фактора, который может быть установлен на платах-носителях, содержащих специализированные схемы ввода-вывода и питания (рис. 1).

В стандартном модуле есть все ключевые возможности персонального компьютера, такие как графика, Ethernet, звук, оперативная и постоянная память или интерфейсы для ее подключения, параллельный и последовательный порты, порты USB и системные шины (PCIe, PCI, ISA, I²C, SPI, LPC). Пользователю нужно лишь добавить специально разработанную несущую плату для выполнения определенных функций. На этой плате (рис. 2) размещаются все интерфейсные разъемы для подключения системы к периферийным устройствам — жестким дискам, дисплеям и т. д.

Благодаря компактным размерам и широкому набору интерфейсов, выводимых через стандартные разъемы, КМ позволяют совмещать современную функциональность

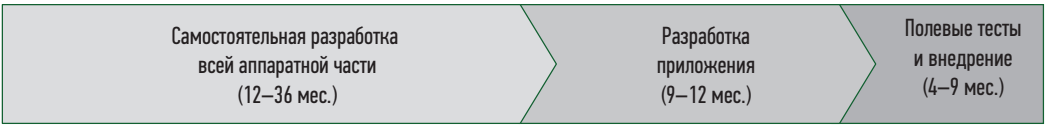
и компьютеров, и приложения, а также специализированные интерфейсы в рамках одной встраиваемой системы. КМ широко применяются как для решения задач, которые невозможно эффективно решить с помощью стандартных встраиваемых плат, так и для обновления технического устройства существующих систем.

Практически все преимущества использования КМ — экономические. Самое главное из них — снижение стоимости и ускорение разработки вычислительного узла.

Большинство компаний не обладает ресурсами для разработки вычислительного устройства на современных процессорах с нуля. Разработка и отладка одноплатного компьютера для каждого поколения процессоров и современных быстродействующих шин, а также техническая поддержка пользователей могут быть чрезвычайно дорогостоящими и трудоемкими. На рис. 3 показано сравнение сроков полного и полузаказного проектирования.

При выборе готовых встраиваемых КМ необходимость в разработке вычислительного узла отпадает. Этот этап заменяется конфигурированием и разработкой относительно простой несущей платы, что обычно занимает 2–3 мес. Таким образом, при использовании КМ можно достичь двух- или трехкратного сокращения временных и финансовых затрат. При этом у разработчика появляется возможность применения недоступных ранее технологий и продуктов. Модульность архитектуры КМ позволяет быстро создавать готовые приложения, в том числе на основе технически сложных компонентов, созданных сторонними экспертами

Решение частной фирмы



Решение на базе компьютерного модуля

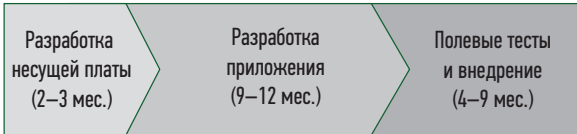


РИС. 3. ◀

Сравнение подходов к разработке вычислительного устройства

25–55 мес.

15–25 мес.

в своих областях. Благодаря этому разработчик системы может сконцентрироваться на собственных ключевых задачах и реализации технических требований к разрабатываемому устройству.

При использовании КМ разработку аппаратной и программной частей решения можно вести параллельно. В то время, когда инженеры-схемотехники продумывают архитектуру и трассировку платы-носителя, программисты могут работать над прикладным программным обеспечением, используя КМ и отладочную плату, предоставляемую производителями КМ специально для таких целей. Как правило, отладочные платы содержат большой набор интерфейсов, с помощью которого можно подключить к КМ необходимые модули расширения на основе стандартных форм-факторов и смоделировать аппаратную архитектуру системы.

К другим экономическим преимуществам использования КМ относятся возможности построения линейки продукции на базе КМ различной производительности, выбора производителя КМ с наилучшим соотношением цена/качество и прочие возможности, актуальные для мелкосерийных производств и узкоспециализированных рынков.

ОБЗОР РЫНКА

Мировой рынок КМ неуклонно растет с момента выпуска первого стандарта COM Express в 2005 г. С тех пор КМ нашли применение в самых разных вычислительных приборах и приложениях, а особенно в тех, которые требуют компактных компонентов и гибкого подхода к модернизации и адаптации под различные применения. Производители телекоммуникационного оборудова-

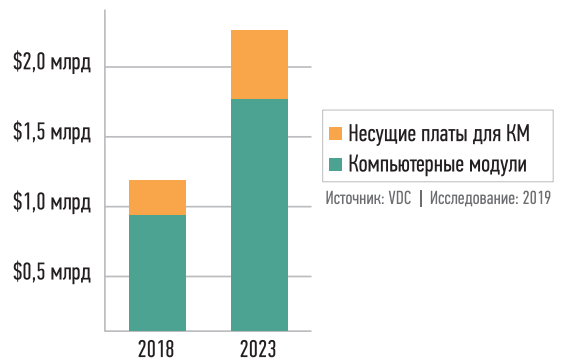
ния и аппаратуры связи, сетевых устройств, игровых автоматов, устройств промышленной автоматизации и медицинского оборудования уже много лет используют КМ.

По данным международного рейтингового агентства VDC Research (рис. 4), мировой рынок встраиваемых КМ начиная с 2020 г. показывает рост в 12,4% и к 2025 г. достигнет уровня \$5,51 млрд.

Особенно высоким спросом пользуются КМ стандарта COM Express. Их популярность основана на заложенной в стандарт гибкости, наличии нескольких типов размеров и назначений контактов при использовании общих разъемов и монтажных отверстий. COM Express поддерживает высокоскоростные последовательные интерфейсы, включая PCIe Express Gen 3, 10GbE, USB 3.0, SATA, а также графику высокого разрешения. Альтернативные архитектуры КМ, такие как Qseven и SMARC, имеют свои уникальные преимущества и предоставляют возможность использования процессоров с архитектурами ARM и x86 (рис. 5). Их активно применяют в маломощных и мобильных системах.

СТАНДАРТЫ

Сегодня существует множество стандартов и форм-факторов КМ, позволяющих быстро и эффективно создавать решения для тех или иных приложений практически во всех отраслях промышленности, телекоммуникаций, систем безопасности, транспорта, энергетики и т. д. Далее будут представлены стандарты КМ ETX, Qseven, SMARC COM Express и COM-HPC как наиболее популярные среди разработчиков и пользователей встраиваемых систем.



Источник: VDC | Исследование: 2019

ETX

Спецификация ETX (англ. Embedded Technology eXtended) появилась самой первой, и можно сказать, что именно с нее, разработанной компанией Kontron, фактически началась эра КМ. Главная особенность данной спецификации заключается в наличии шины ISA. Соответственно, КМ этого стандарта, как правило, выбирают заказчики, которым нужна эта шина.

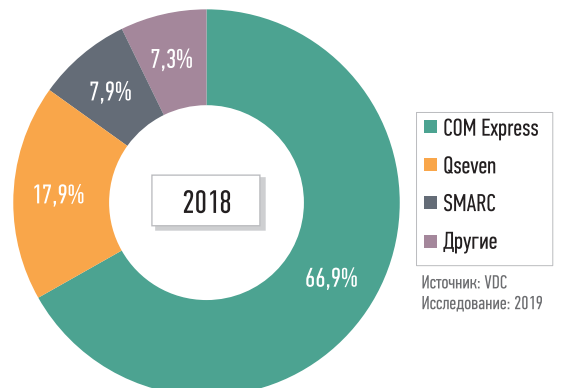
Размер платы в КМ стандарта ETX составляет 95×114 мм (рис. 6).

РИС. 4. ▲

Объем продаж КМ в мире за 2018–2023 гг.

РИС. 5. ▼

Рынок КМ, сегментированный по форм-факторам (% общего объема продаж)



Источник: VDC | Исследование: 2019

РИС. 6. ►
Габаритные размеры
модулей ETX

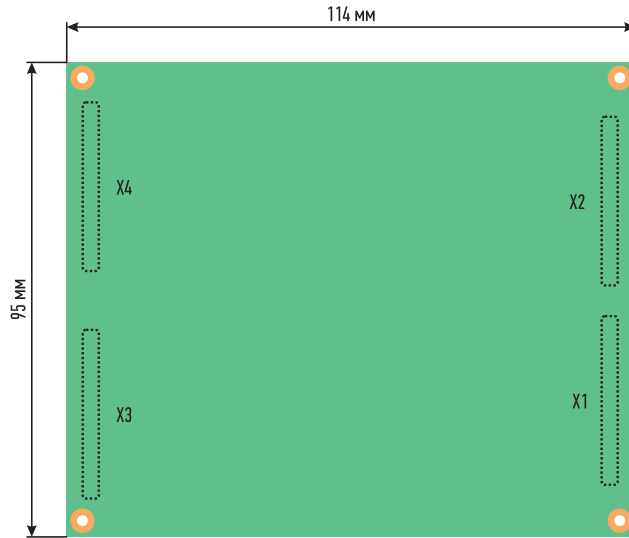


РИС. 7. ►
Модуль МЦП901
производства
АО «НПК «АТРОНИК»

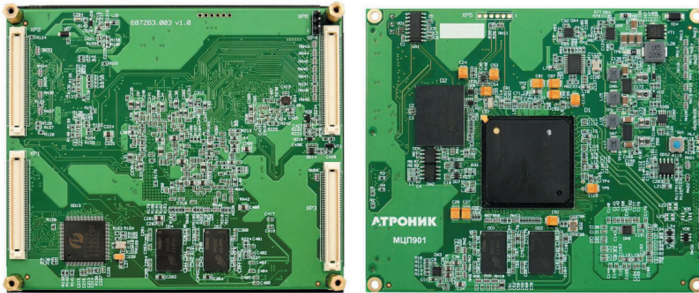


РИС. 8. ►
Габаритные размеры
модулей QSeven

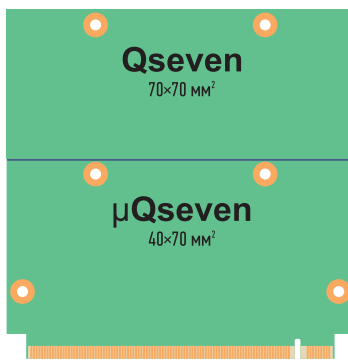
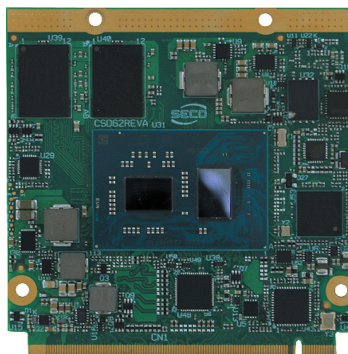


РИС. 9. ►
Модуль ATLAS
производства Seco



Модули этого стандарта имеют габариты 70×70 или 40×70 мм. QSeven предполагает использование всего одного разъема MХМ (такие разъемы широко применяются для подключения высокоскоростных графических карт PCI Express в ноутбуках), устанавливаемого на плате-носителе, и краевых двухсторонних контактов на плате КМ.

Основные характеристики модулей стандарта Qseven приведены в табл. 1.

Спецификация позволяет вывести дополнительные (определяемые производителем) интерфейсы ввода-вывода в специально предназначенном для этого месте на плате КМ. Низкое тепловое рассеяние предполагает использование маломощных процессоров, что в совокупности с возможностью отвода тепла через специальную теплопроводящую пластину на плате и далее на корпус позволяет создавать безвентиляторные решения.

Qseven дает возможность использовать процессоры с архитектурой x86 и ARM. Благодаря тонкой конструкции модули Qseven помещаются в компактные корпуса и поэтому отлично подходят для мобильных приложений и приложений IoT.

SMARC

Стандарт SMARC (англ. Smart Mobility ARChitecture) был разработан консорциумом SGET в 2013 г. Модули этого стандарта быстро стали очень популярными масштабируемыми строительными блоками, позволяющими разработчикам создавать приложения нового поколения.

КМ SMARC предназначены для разработки компактных вычислительных устройств. Область применения таких КМ постоянно расширяется по мере развития технологий «Интернета вещей» и искусственного интеллекта и уже охватывает множество решений: от автоматизации производства до обработки изображений, мультимедиа и т. п.

Кроме того, модули SMARC рекомендовали себя в качестве строительных блоков для очень маленьких портативных устройств, энергопотребление которых не должно превышать нескольких ватт, а вычислительная мощность должна быть особенно высокой.

Модули могут быть построены на процессорах с архитектурами

Все сигналы ввода-вывода, а также полноценная реализация шин ISA и PCI выводятся на четыре низкопрофильных разъема типа HIROSE на нижней стороне платы.

Список основных интерфейсов и их распределение по разъемам X1–X4 можно найти в табл. 1.

КМ спецификации ETX (рис. 7) до сих пор широко распространены и используются при решении задач промышленной автоматизации, визуализации технологических процессов и в других приложениях, где не требуются высокая производительность процессора и наличие широкополосных коммуникационных интерфейсов.

QSeven

Создатели спецификации Qseven (рис. 8) — компании Congatec и Seco (рис. 9). Данная спецификация была разработана с целью как можно больше удешевить КМ, тем самым сделав их более доступными и более приемлемыми для относительно простых приложений.

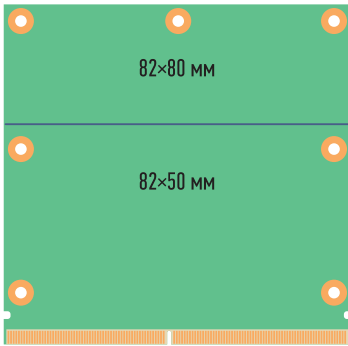


РИС. 10. ◀ Габаритные размеры модулей SMARC

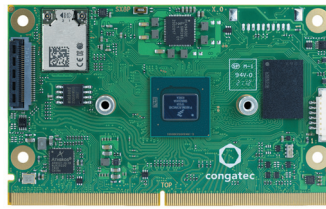


РИС. 11. ▶ Модуль conga-SMX8-Plus производства Congatec

Спецификация определяет два размера модуля: 82×50 и 82×80 мм (рис. 10).

Печатные платы модуля имеют 314-контактный краевой разъем, который соединяется с низкопрофильным 314-контактным прямоугольным разъемом на несущей плате (рис. 11).

ARM, X86 или RISC — аналогичных тем, которые используются в таких привычных устройствах, как планшетные компьютеры и смартфоны.

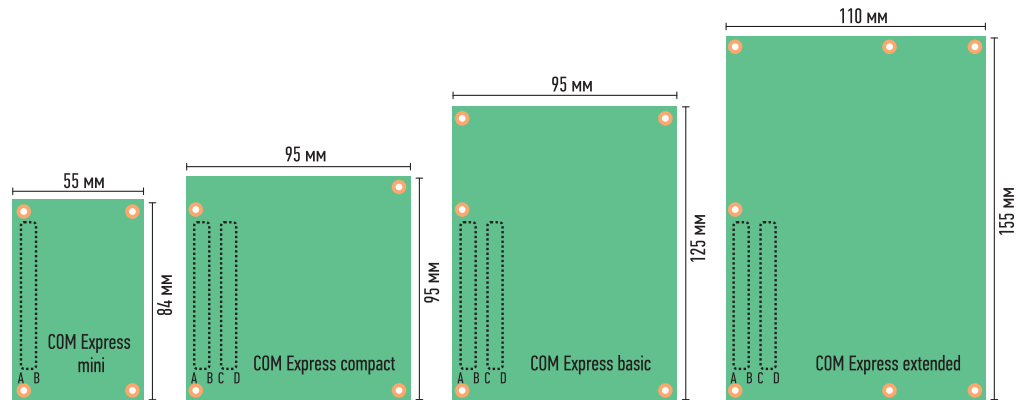
COM Express

Стандарт COM Express описывает четыре типоразмера КМ — Mini, Compact, Basic и Extended (рис. 12).

ТАБЛИЦА 1. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ НАИБОЛЕЕ ПОПУЛЯРНЫХ ТИПОВ КМ

Стандарт	Габаритные размеры, мм	Основное питание, В	Максимальное энергопотребление, Вт	Разъемы соединения с платой-носителем	Базовые интерфейсы
ETX	95×114	5	В спецификации не определено	4 разъема по 100 контактов типа HIROSE; FX8-100S-SV или FX8C-100S-SV5	X1: PCI, USB, Audio, X2: ISA, X3: VGA, LCD, COM1, COM2, IrDA, LPT/Floppy, Mouse/Keyboard, X4: IDE 1, IDE 2, Ethernet, I ² C и др.
QSeven	70×70 или 40×70	5	12	230-контактный краевой разъем типа MXM	4×PCI Express×1, 2×SATA, 4×USB 2.0, 3×USB 3.0, 2×LVDS, 1×DP, 1×Audio, 1×Gb Ethernet, 1×SDIO, 1×SPI, 1×I ² C, 1×LPC, 1×служебный
SMARC	82×50 или 82×80	5	15	314-контактный краевой разъем типа MXM3	4×Ethernet + 2×PCIe или 2×Ethernet, 4×PCIe, eSPI/QSPI, HDA/2×IIS, LVDS 2×24/eDP/MIPI DSI, 4×MIPI CSI, HDMI & DP++, 1×SATA, 6×USB 2.0/2×USB 3.0, 14×GPIO/SDIO, 4×SER/CAN, 1×SPI/IIC
COM Express Mini, Type 10	55×84	12	68	1 разъем с 220 контактами типа TE 3-6318490-6	4×PCI Express, 8×USB 2.0, 2×USB 3.0, 2×SATA, 1×LVDS/eDP, 1×DDI/DP, 1×HD Audio, 1×Gb Ethernet, SPI, LPC/eSPI, IEEE 1588, 2×COM/1×CAN, 8×GPIO
Com Express Compact, Type 6	95×95	12	137	2 разъема по 220 контактов типа TE 3-1827231-6	24×PCI Express, 8×USB 2.0, 4×USB 3.0, 4×SATA, 2×LVDS, 1×VGA, 1×HD Audio, 1×Gb Ethernet, 1×LPC/eSPI, 1×IEEE 1588, 1×SPI, 8×GPIO, 3×DDI, 2×COM/1×CAN
Com Express Basic, Type 6	95×125	12	137	2 разъема по 220 контактов типа TE 3-1827231-6	24×PCI Express, 8×USB 2.0, 4×USB 3.0, 4×SATA, 2×LVDS, 1×VGA, 1×HD Audio, 1×Gb Ethernet, 1×LPC/eSPI, 1×IEEE 1588, 1×SPI, 8×GPIO, 3×DDI, 2×COM/ 1×CAN
Com Express Basic, Type 7	95×125	12	137	2 разъема по 220 контактов типа TE 3-1827231-6	32×PCI Express, 4×USB 2.0, 4×USB 3.0, 2×SATA, 1×Gb Ethernet, 4×10 Gb Ethernet, 1×LPC/eSPI, 1×IEEE 1588, 1×SPI, 8×GPIO, 2×COM/1×CAN
COM-HPC/Client	Размер A: 95×120 Размер B: 120×120 Размер C: 160×120	12	251	Два высокоскоростных разъема по 400 контактов типа Samtec ASP-209946-01	49×PCI Express, 2×MIPI-CSI2/3, 2×10/25 Gb Ethernet, 8×USB 2.0, 4×USB 3.2, 4×USB 4.0, 3×DDI, 1×eDP/DSI, 2×SoundWire, I ² C, 2×SATA, 1×eSPI, 1×SMB, 2×I ² C, 1×IPMB, 2×UART, 12×GPIO
COM-HPC/Server	Размер D: 160×160 Размер E: 200×160	12	358	Два высокоскоростных разъема по 400 контактов Samtec ASP-209946-01	65×PCI Express, 8×10/25 Gb Ethernet, 8×USB 2.0, 2×USB 3.2, 2×USB 4.0, 2×SATA, 1×eSPI, 1×SMB, 2×I ² C, 1×IPMB, 2×UART, 12×GPIO

РИС. 12. ►
Габаритные размеры
модулей COM Express



Все четыре модуля имеют перекрывающиеся механические узлы, стандартизированные высоту и теплораспределители.

Модули размера Mini предназначены для компактных мобильных приложений, требующих наличия высокоскоростных интерфейсов, поддержки высококачественной графики и длительного времени автономной работы.

К основным характеристикам модулей Mini относятся:

- размер: 84×55 мм;
- высота стека между несущей платой и модулем: 5 или 8 мм;
- широкий диапазон входного напряжения питания: 4,75–20 В;
- один 220-контактный разъем (второй разъем обычно не используется).

Кроме того, хотя это и не является обязательным требованием, модули Mini часто содержат напаянный Flash-накопитель.

Модули Compact предназначены для мобильных и стационарных систем с габаритными ограничениями. Среди основных характеристик:

- размер: 95×95 мм;
- высота стека между несущей платой и модулем: 5 или 8 мм;

- высота модуля с теплоотводом: 18 мм;
- возможность установки одного (или двух сложенных) модулей SO-DIMM с горизонтальным креплением;
- два 220-контактных разъема.

Модули Basic также предназначены для мобильных и стационарных систем с габаритными ограничениями. К их основным особенностям относятся:

- размер: 125×95 мм;
- высота стека между несущей платой и модулем: 5 или 8 мм;
- высота модуля с теплоотводом: 18 мм;
- возможность установки одного (или двух сложенных) модулей SO-DIMM с горизонтальным креплением;
- два 220-контактных разъема.

Модули Extended разработаны для приложений, которым требуется больший объем системной памяти. Доступно размещение в модуле полноразмерных модулей DIMM.

Ключевые особенности модулей Extended:

- размер: 155×110 мм;
- высота стека между несущей платой и модулем: 5 или 8 мм;
- высота модуля с теплоотводом: 18 мм;
- возможность установки двух полноразмерных модулей памяти DIMM или mini DIMM либо двух модулей SO-DIMM горизонтального или вертикального монтажа;
- два 220-контактных разъема;
- возможность использовать центральные процессоры с более высокой производительностью, чем у KM Compact и Basic.

Из-за габаритов модули Extended не пользуются популярностью у потребителей модулей COM Express.

Присоединение KM COM Express к платам-носителям осуществляется через один или два высокоплотных низкопрофильных разъема с определенными типами назначения контактов. Наиболее популярны типы распиновки с номерами 6, 7 и 10. При этом для каждого типа распиновки стандарт COM Express описывает набор обязательных (минимальный набор) и дополнительных (максимальный набор) интерфейсов.

Основные характеристики модулей стандарта COM Express и описание интерфейсов для популярных типов распиновки контактов приведены в табл. 1. Пример модуля показан на рис. 13.

СОМ-НРС

Такие приложения, как искусственный интеллект и беспроводная связь 5G, требуют большой пропускной способности и вычислительной мощности оборудования. Соответственно, необходимы новые подходы к проектированию встраиваемых компьютеров: производительности существующих стандартов уже недостаточно для обеспечения растущих требований рынка встраиваемых систем.

Ведущие производители KM и встраиваемых систем, входящие в консорциум PICMG, создали новый стандарт KM под названием COM-NPC, призванный дополнить существующий стандарт COM Express и облегчить разработку высокопроизводительных приложений.

По сравнению с COM Express стандарт COM-NPC обеспечивает более высокую производительность встраиваемых систем (табл. 2). 440 контактов модуля COM Express уже недостаточно для создания мощных

РИС. 13. ▼
Модуль МЦП1301
производства
АО «НПК «АТРОНИК»

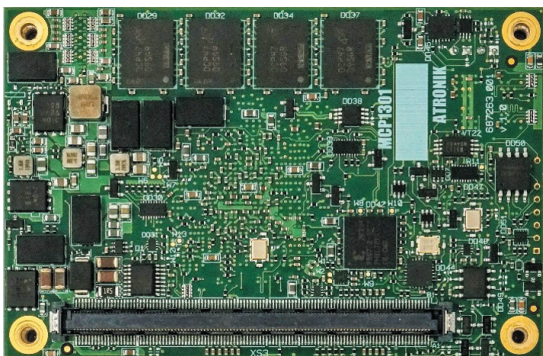


ТАБЛИЦА 2. СРАВНЕНИЕ COM-HPC И COM EXPRESS

COM-HPC/Client	COM Express Type 6	COM-HPC/Server	COM Express Type 7
2×400-контактный разъем	2×220-контактный разъем	2×400-контактный разъем	2×220-контактный разъем
2×NBBase-T (макс. 10 Гбайт)	1×NBBase-T (макс. 1 Гбайт)	2×NBBase-T (макс. 10 Гбайт)	1×NBBase-T (макс. 1 Гбайт)
48×PCIe + 1×PCIe (предназначен для BMC)	24×PCIe	64×PCIe + 1×PCIe (предназначен для BMC)	32×PCIe
2×SATA	4×SATA	2×SATA	2×SATA
4×USB 4.0, 4×USB 2.0	4×USB 3.1, 4×USB 2.0	2×USB 4.0, 2×USB 3.2, 4×USB 2.0	4×USB 3.1
2×25 GbE KR	LVDS 2×24/eDP/MIPI DSI	8×25 GbE KR	4×10 GbE KR
3×DDI + 1×eDP/DSI + SoundWire	3×DDI + 1×LVDS или 1×eDP + HDA	–	–
1×IPMI + 1×PCIe (BMC на несущей плате) для удаленного управления	–	1×IPMI + 1×PCIe (BMC на несущей плате) для удаленного управления	1×NSCI для удаленного управления
Низкоскоростные (IPMI, eSPI, SPI (BIOS), GPP SPI, SMB, 2×I ² C, 2×UART, 12×GPIO, MIPI CSI, MISC)	Низкоскоростные (eSPI/LPC, SPI (BIOS), SMB, I ² C, HDA, UART, 8×GPIO/SDIO, MISC)	Низкоскоростные (IPMB, eSPI, SPI (BIOS), GPP SPI, SMB, 2×I ² C, 2×UART, 12×GPIO, MISC)	Низкоскоростные (eSPI/LPC, SPI (BIOS), SMB, I ² C, UART, 8×GPIO/SDIO, MISC)

Примечание. BMC (Baseboard Management Controller) — контроллер для мониторинга и управления модулем.

вычислительных устройств. Кроме того, производительность разъема COM Express также постепенно приближается к пределу, хотя он может легко работать с тактовой частотой 8 ГГц и пропускной способностью 8 Гбит/с PCIe Gen 3.

Доступны два типоразмера модулей COM-HPC (табл. 3, рис. 14):

- Клиентский модуль COM-HPC/Client. Предназначен для использования в вычислительных устройствах, которым требуется один или несколько дисплеев, набор интерфейсов ввода-вывода с низкой, средней и очень высокой пропускной способностью, мощные процессоры и компактные размеры. Типичными областями применения являются медицинское оборудование, высокоточные или высокопроизводительные приборы, промышленное оборудование, игровые автоматы для казино, защищенные компьютеры для применения на транспорте и в спецтехнике и т. п. Клиентские модули обычно используют SO-DIMM или napayannyyu пaмять. На КМ может быть установлено до четырех модулей памяти SO-DIMM. Размеры модулей и набор интерфейсов приведены в табл. 1.
- Серверный модуль COM-HPC/Server. Предназначен для использования в высокопроизводительных встраиваемых серверах без поддержки видео, которым требуется высокая производительности центрального процессора (до 150 Вт), большой объем

ТАБЛИЦА 3. КОНТАКТЫ МОДУЛЕЙ COM-HPC

Характеристики	COM-HPC/Client	COM-HPC/Server
Размер	A, B, C	D, E
PCIe	48+1	64+1
MPI-CSI	2	–
25 GbE KR	2	8
DDI	3	–
SoundWire, I2C	2	–
10GBASE-T	2	1
USB4	4	2
USB 3.2	–	2
USB 2.0	4	4
SATA	2	2
UART	2	2
eSPI, SPI	1, 2	1, 2
SMB/I2C	1, 2	1, 2
GPIO	12	12

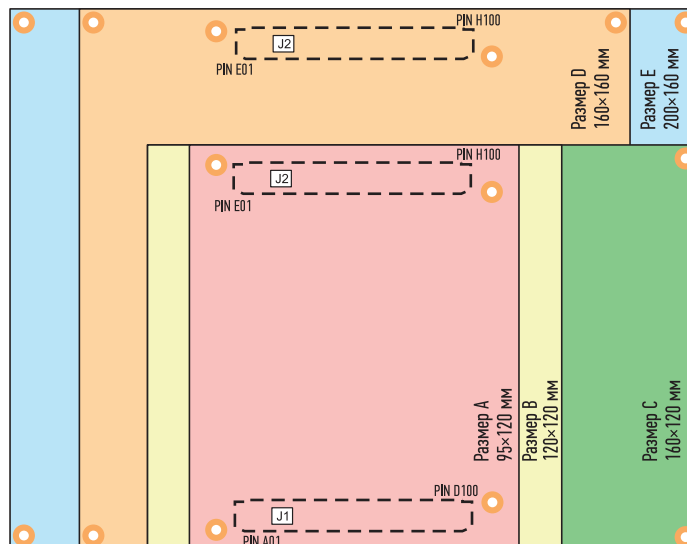


РИС. 14. Габаритные размеры модулей COM-HPC

РИС. 15. ▶
Модуль COM-NPC-sIDH
производства Adlink

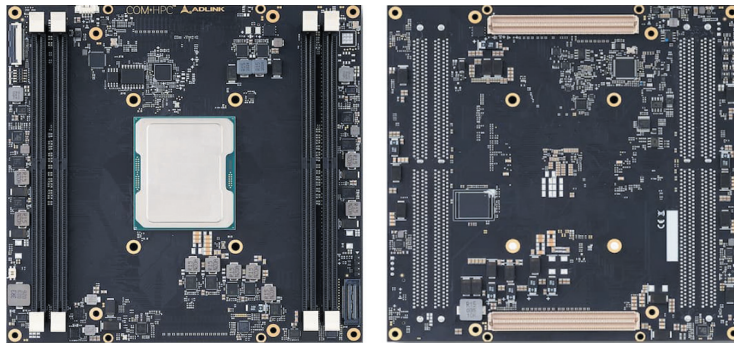


РИС. 16. ▶
Индикаторный блок BIOS
производства
АО «НПК «АТРОНИК»



памяти и большое количество операций ввода-вывода с высокой пропускной способностью, включая несколько каналов Ethernet 10 Гбит/с или 25 Гбит/с и до 65 каналов PCI Express на скорости до PCIe Gen 5. Типичные области применения — встраиваемое серверное оборудование, предназначенное для использования в полевых условиях, автономные транспортные средства, базовые станции вышек сотовой связи, медицинское оборудование, системы специального назначения и т. п. В серверных модулях обычно используются полноразмерные модули DIMM. В самом большом форм-факторе КМ может быть реализовано

до восьми полноразмерных модулей памяти DIMM. Типовые размеры модулей и набор интерфейсов описаны в табл. 1.

Контакты клиентского и серверного модулей имеют схожее назначение, но есть и различия, поэтому клиентские модули не следует использовать с несущей платой, предназначенной для использования с серверным модулем (и наоборот).

В COM-NPC применяются 400-контактные разъемы (рис. 15). На модуле могут быть установлены высокая пропускная способность на основе 800 контактов.

**ПРИМЕР
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КМ**

Системы, базирующиеся на КМ, встречаются во многих областях промышленности. Удобство использования платы-носителя и КМ позволяет применять такие системы практически во всех критически важных приложениях. Например, если разработчику нужно совместить собственную шину, давно и широко им используемую в производимом оборудовании, с современным набором интерфейсов ввода-вывода, добавить подсистему хранения информации и подсистему вывода графической информации на консоль оператора, то использование

КМ и носителя позволит создать такое оборудование в рамках существующих конструктивов и систем питания.

Рассмотрим пример разработки дисплея машиниста (рис. 16), показывающий преимущества быстрого выхода на рынок и масштабируемости, полученные от использования КМ.

Как правило, дисплей машиниста представляет собой 10-дюймовый панельный ПК со степенью защиты IP65 и клавиатурой по периметру для ввода данных и выбора экрана отображения состояния узлов локомотива.

Для реализации дисплея был выбран модуль COM Express — из-за возможности реализации на нем вычислительного ядра, в то время как на периферийных платах были размещены система питания, гальваническая развязка интерфейсов, источник бесперебойного питания и карта памяти. Контроллер клавиатуры, слоты расширения miniPCIe и карт памяти и ответная часть разъема COM Express были размещены на системной (несущей) плате.

Благодаря такому решению дисплей получил модульную конструкцию, которая позволяет использовать его для различных систем локомотивов: отображения информации от МСУД, системы видеонаблюдения или безопасности. К тому же в дисплее отсутствуют вентиляторы и другие движущиеся механизмы, что повышает его надежность и снижает уровень шума.

Модульный подход позволил относительно небольшой группе разработчиков завершить концептуальный проект и прототипирование в течение 12 недель, что является значительным улучшением по сравнению с обычным сроком в 6–9 мес.

За два года компания разработала пять модификаций дисплеев под разные локомотивы. При этом удалось обойтись без разработки новой системной платы: вместо перепроектирования всей материнской платы разработчикам просто нужно было устанавливать модуль расширения или заменять внешнюю клавиатуру.

Рис. 17 наглядно показывает, как использование КМ позволяет повысить надежность изделия, избавляя от необходимости использовать проводные соединения. Базовый набор интерфейсов, расположенный на КМ, подходит для создания практически любого вычислительного устройства. ●

РИС. 17. ▼
Опытные и серийные образцы контроллеров на базе КМ производства АО «НПК «АТРОНИК»

