



УДК 654.026

DOI: 10.22184/NanoRus.2019.12.89.128.130

СЕТЕВЫЕ ИНТЕРФЕЙСЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ: ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ

SPACECRAFT NETWORK INTERFACES: DEVELOPMENT PROSPECTS AND IMPLEMENTATION PROBLEMS

ГОРБУНОВ СЕРГЕЙ ФЕДОРОВИЧ

GORBUNOV SERGEY F.

ГРИШИН ВЯЧЕСЛАВ ЮРЬЕВИЧ

GRISHIN VIACHESLAV YU.

ЕРЕМЕЕВ ПЕТР МИХАЙЛОВИЧ

EREMEEV PETR M.

eremeevpm@mail.ru

eremeevpm@mail.ru

АО «Научно-исследовательский институт «Субмикрон»
124460, г. Москва, г. Зеленоград,
Георгиевский просп., 5, стр. 2

Submicron Scientific Research Institute JSC
bld. 2, 5 Georgievsky Ave.,
Zelenograd, Moscow, 124460

В статье анализируются тенденции развития космической техники в части внедрения сетевых интерфейсов. Рассматриваются различные сетевые интерфейсы. Делается вывод о том, что для космических применений наиболее перспективными являются интерфейсы семейства SpaceWire, включающие в себя также GigaSpaceWire и SpaceFibre.

Ключевые слова: SpaceWire; GigaSpaceWire; SpaceFibre.

The article analyzes trends in the development of space technology in the implementation of network interfaces. Various network interfaces have been considered. The report concludes that SpaceWire, GigaSpaceWire, SpaceFibre interface family is the most promising for space applications.

Keywords: SpaceWire; GigaSpaceWire; SpaceFibre.

Одной из основных тенденций развития современной техники является широкое внедрение цифровых и сетевых технологий. К сети подключены компьютеры, телефоны, телевизоры, кассовые аппараты. В ближайшей очереди на широкое подключение холодильники, лампочки освещения и многое другое. При этом космическая техника, являясь катализатором внедрения глобальных сетевых технологий, сама значительно отстает в их широком использовании. Бортовые комплексы управления космических аппаратов до сих пор содержат набор разнородных интерфейсов. Значительной вехой в унификации бортовых интерфейсов стало внедрение мультиплексного канала информационного обмена (МКИО) на основе зарубежного стандарта MIL STD 1553B. На его основе были выпущены две версии отечественных стандартов: ГОСТ 26765.52-87 и заменивший его ГОСТ Р 52070-2003 [1], который до сих пор служит фундаментом унификации бортовых интерфейсов КА. Предпринимались попытки дальнейшего развития данного интерфейса на основе стандарта STANAG 3910, которые широкого внедрения не получили. При этом сохранились потребности в увеличении скорости передачи и обработки информации, снижении энергопотребления, массы и стоимости космической техники, для чего требуется внедрение новых технологий передачи информации на основе достижений современной микроэлектроники.

Целью данной работы является определение того, какие типы интерфейсов нужны в перспективных космических аппаратах, на основе анализа тенденций развития наземной компьютерной техники и особых требований для космической техники, оценка перспектив их развития и проблем внедрения.

Какие же тенденции наблюдаются в развитии наземной техники в рамках уже отмеченного глобального вектора развития цифровых и сетевых технологий?

В первую очередь необходимо отметить практически полный отказ от параллельных шинных способов передачи информации и замену их высокоскоростными последовательными каналами связи. Давно ушли в прошлое шины ISA и PCI, дисковые интерфейсы SCSI и IDE. Локальную рыночную нишу занимает шина VME. Не получил широкого распространения интерфейс Parallel RapidIO.

Актуальными интерфейсами современных компьютеров являются PCI Express (PCIe), различные версии Ethernet от Fast Ethernet 100BASE-T и GbE 1000BASE-T в настольных компьютерах до 10/40/100 GbE в центрах обработки данных. В качестве дисковых интерфейсов используются последовательные интерфейсы SerialATA различных версий и PCIe для особо быстрых твердотельных SSD-накопителей. В промышленном и телекоммуникационном оборудовании применяется высокоскоростной последовательный интерфейс Serial RapidIO.

Характерным является то, что все эти интерфейсы имеют практически одинаковые физические и символичные уровни передачи информации, использующие или электрические проводники со 100-Омным волновым сопротивлением, или волоконно-оптические линии связи, при этом ни один интерфейс не сумел вытеснить все остальные. Помимо рыночных причин, под этим имеется и техническое основание, так как требования к интерфейсам носят противоречивый характер.

Любая система состоит из элементов, объединенных между собой связями. Некоторые элементы могут быть связаны более тесно, чем остальные, образуя сильно связанные кластеры. В применении к компьютерным системам элементами системы являются вычислительные ядра, при этом сильно связанные ядра имеют общее поле памяти, а слабо связанные используют различные механизмы обмена



сообщениями. Вычислительные ядра также имеют сложную структуру, основанную на каком-либо внутреннем интерфейсе.

Требования к интерфейсу, используемому для создания элемента системы или сильно связанного кластера элементов с общим полем памяти, значительно отличаются от требований к интерфейсу между слабо связанными элементами. Если в первом случае интерфейс должен как можно более тесно объединять составные части вычислительного ядра или несколько ядер в сильно связанном вычислительном кластере, то во втором случае интерфейс должен достаточно надежно изолировать элементы системы, с тем чтобы любой вид отказа элемента системы не распространялся на соседние элементы. Условно назовем первый тип интерфейса «компьютерным», а второй тип интерфейса — «системным» или «сетевым». Компьютерные интерфейсы подразумевают возможность прямого адресного обращения к регистрам и памяти вычислительного ядра. Для построения многопроцессорных сильно связанных вычислительных кластеров используются также механизмы обмена сообщениями, при этом аппаратно реализуются протоколы обмена сообщениями вплоть до транспортного уровня. Сами протоколы реализуются так, чтобы минимизировать накладные расходы при обмене короткими сообщениями. В состав протоколов вводятся механизмы поддержки когерентного доступа к памяти. Типичными примерами компьютерных интерфейсов являются PCI Express и SerialRapidIO. Интерфейсы поддерживаются консорциумами производителей и позиционируются ими как интерфейсы для внутриплатного или межплатного обмена. Надежная изоляция элементов системы, связанных этим интерфейсом, и построение на них глобальных сетей практически невозможны.

В качестве системного интерфейса в наземных компьютерных сетях практически полностью преобладают различные реализации интерфейса Ethernet, в больших вычислительных сетях используются версии от 10 GbE и выше с волоконно-оптическими каналами связи, а в локальных сетях низшего уровня — 1 GbE и постепенно вытесняемый Fast Ethernet 100, использующие витую пару Cat5e. В последнее время в сетях низшего уровня все большее применение получают беспроводные сети WiFi в диапазонах 2,4 и 5 ГГц.

Системные интерфейсы позволяют строить глобальные и локальные вычислительные сети, надежно изолируя элементы системы друг от друга и поддерживая глобальную адресацию. К их недостаткам относятся относительно большие накладные расходы при обмене короткими сообщениями, а прямой доступ к регистрам и памяти соседних элементов системы в них принципиально недоступен.

Из проведенного анализа следует, что интерфейсы вычислительных систем, в том числе бортовых вычислительных систем космических аппаратов, принципиально не могут быть сведены к одному типу. Как минимум должен быть реализован какой-либо компьютерный интерфейс для построения элементов системы, а также должен быть реализован системный интерфейс, причем последний в двух вариантах — системный интерфейс верхнего уровня с акцентом на скорость передачи информации и интерфейс нижнего уровня с акцентом на простоту и стоимость реализации.

Для бортовых комплексов управления космических аппаратов необходим учет ряда специфических требований. В первую очередь это:

- необходимость работы в условиях ионизирующего излучения космического пространства (ЕИКП) и тяжелых заряженных частиц (ТЗЧ);

- повышенные требования по надежности в условиях длительного автономного функционирования;
- работа в реальном масштабе времени.

Помимо этого, имеется целый ряд технических требований по диапазону скоростей передачи информации, длинам линий связи, гальванической развязке и др.

В этих условиях у разработчиков космических комплексов управления имеется два пути: использовать стандартные системные интерфейсы из числа используемых в наземных или авиационных комплексах или разработать свой собственный интерфейс. Идя по пути заимствования стандартных интерфейсов, разработчик может использовать или уже имеющуюся элементную базу, или спецификации интерфейса, на основе которых он будет вести собственную разработку. Естественно, для разработчика является предпочтительным первый вариант. Применение готовой элементной базы возможно только с учетом вышеперечисленных требований. Широкое внедрение в космической технике в результате получил только вышеупомянутый мультиплексный канал информационного обмена ГОСТ Р 52070-2003. Его успех определяется тем, что он пришел в космическую технику из авиационных комплексов, имеющих аналогичные высокие требования по надежности и работе в реальном времени. Требования по работе в условиях воздействия ЕИКП и ТЗЧ обеспечивались невысоким уровнем интеграции используемой элементной базы. Следующей логикой, были попытки заимствования из авиационной техники интерфейса FibreChannel, но они широкого внедрения не получили, так как готовые ЭРИ не обладают необходимым уровнем стойкости к ЕИКП и ТЗЧ, а сам интерфейс значительно сложнее в реализации, чем МКИО.

Реализуя собственные системные интерфейсы, разработчики космических аппаратов достигли значительных «успехов», создав целый «зоопарк» не стыкуемых между собой интерфейсов. Речь об унификации используемых компьютерных интерфейсов вообще никогда не шла, так как они скрыты от системы внутри ее элементов и считаются внутренним делом разработчика аппаратуры.

Данная картина наблюдается как в отечественной, так и в зарубежной космической технике. Целенаправленную попытку поправить ситуацию предприняло Европейское космическое агентство. Европейской ассоциацией по стандартизации в области космической техники (European Cooperation for Space Standardization — ECSS), работающей в рамках европейской космической программы, в 2003 году была принята первая версия стандарта SpaceWire — «Соединения, узлы, маршрутизаторы и сети». В 2008 году был принят действующий стандарт SpaceWire ECSS-E-ST-50-12C [2], основанный на стандартах IEEE 1355-1995 [3], TIA/EIA-644 [4] и IEEE Standard 1596.3-1996 [5]. Стандартом SpaceWire определяются физический, каналный и сетевой уровни по семиуровневой модели OSI. Появление стандарта на системный интерфейс космического назначения вызвало большой интерес у разработчиков. К сотрудничеству по развитию и использованию этого стандарта подключились космические агентства США (NASA) и Японии (JAXA), а затем и Роскосмос. В разработке стандарта принимают активное участие российские разработчики, в первую очередь Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения (ГУАП). Обладая значительными достоинствами, стандарт SpaceWire ECSS-E-ST-50-12C отвечает не всем требованиям разработчиков космической аппаратуры. Так, применяемый в нем способ кодирования затрудняет реализацию гальванической развязки. Заложенные в стандарт принципы адресации и маршрутизации приводят к трудностям



при реализации больших сетей реального времени [6, 7]. В то же время эти недостатки являются продолжениями его достоинств, среди которых можно отметить относительную простоту и дешевизну реализации для обеспечения связей на конечных звеньях большой сети космического аппарата, т. е. внутри приборов, между микросхемами или платами.

Становилось понятным, что от попыток заимствовать готовый интерфейс и приспособить его под нужды космической отрасли необходимо перейти к созданию нового интерфейса, изначально нацеленного на реализацию специфических требований космической отрасли, при этом обеспечивая протокольную совместимость с уже получившим определенное признание интерфейсом SpaceWire. Для реализации этого подхода 1 июня 2011 года в рамках 7-й Европейской рамочной программы был организован проект SpaceWire-RT [8]. Проект реализовывался международной кооперацией, в которую входили: университет Данди (Великобритания), ФГУП «НИИ «Субмикрон», Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, НПЦ «Элвис» (Российская Федерация), фирма «Астриум ГМБХ» (Германия). Результатом работы явилась разработка проекта стандарта, получившего название SpaceFibre. Данный стандарт подразумевает использование как волоконно-оптических линий связи, так и медных твин-аксиальных кабелей. Поддерживается агрегация нескольких (до четырех) линий связи в один канал. При технической скорости передачи информации в линии до 6,25 Гбит/с обеспечивается передача до 5 Гбит/с полезной информации на линию, или до 20 Гбит/с на канал, содержащий четыре линии.

Используя аналогию с наземными сетевыми интерфейсами, можно сказать, что SpaceWire является аналогом Fast Ethernet 100, а SpaceFibre — аналогом 10/40 GbE. Первый интерфейс используется для построения малых сетей и в качестве оконечных звеньев больших сетей, а второй — для построения больших сетей. В терминах космической аппаратуры малая сеть — это сеть, реализованная в рамках одного прибора или крейта, содержащего несколько приборов-модулей, а большая сеть связывает между собой несколько крейтов.

Отсутствие гальванической развязки для интерфейса SpaceWire в данном случае перестает быть недостатком, так как гальваническая развязка, как правило, не требуется в пределах одного прибора, а простота реализации SpaceWire облегчает его интеграцию в системы на кристалле. Относительная сложность реализации SpaceFibre компенсируется тем, что на первом этапе его можно реализовать только в одной специализированной СБИС маршрутизатора интерфейсов SpaceWire/SpaceFibre. Принципиально важным является то, что эти интерфейсы имеют общие протоколы верхнего уровня, что обеспечивает «прозрачную» передачу информации.

К проблемам внедрения в первую очередь можно отнести отсутствие отечественного стандарта. Если для интерфейса SpaceFibre

это еще можно частично оправдать отсутствием утвержденного международного стандарта, то для SpaceWire прошло уже 15 лет от утверждения его первой версии и 10 лет от утверждения текущей версии стандарта. С учетом того что российские разработчики принимали самое активное участие в разработке международных стандартов, такое положение вещей является недопустимым. В настоящее время подготовлен проект отечественного стандарта SpaceWire-RUS. Он совместим с международным стандартом ECSS-E-ST-50-12C и расширен гигабитным каналом связи GigaSpaceWire. Продолжая аналогию с наземными интерфейсами, можно отметить, что этот канал занимает место Gigabit Ethernet в линейке Ethernet интерфейсов. В отсутствие отечественных стандартов на сетевые интерфейсы разработчики пытаются использовать в качестве сетевых такие интерфейсы, как, например, SerialRapidIO. Имея несомненные преимущества, данный интерфейс, тем не менее, предназначен для построения сильно связанных вычислительных кластеров и, что прямо следует из его наименования, быстрого ввода-вывода информации. В данном качестве этот интерфейс также имеет полное право на существование в космических системах в целях унификации компьютерных интерфейсов.

Таким образом, линейка интерфейсов SpaceWire-GigaSpaceWire-SpaceFibre формирует набор сетевых интерфейсов, объединенных общими протоколами верхнего уровня, наиболее полно отвечающий требованиям космической отрасли к сетевым интерфейсам.

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ Р 52070-2003. Интерфейс магистральный последовательный системы электронных модулей.
- ECSS-E-ST-50-12C. SpaceWire — Links, nodes, routers and networks. — European Cooperation for Space Standardization (ECSS), 2008.
- IEEE 1355-1995. IEEE Standard for Heterogeneous InterConnect (HIC) (Low Cost Low Latency Scalable Serial Interconnect for Parallel System Construction). — IEEE Standards Department, 1995.
- ANSI / TIA / EIA-644-1995. Electrical Characteristics of Low Voltage Differential Signaling (LVDS) Interface Circuits. — Telecommunications Industry Association, March 1996.
- IEEE 1596.3-1996. Standard for Low-Voltage Differential Signals (LVDS) for Scalable Coherent Interface (SCI). — IEEE, July 1996.
- Журавлев В., Немытов А., Осипов Ю., Першин А. SpaceWire: Взгляд со стороны. Часть 1 // Современная электроника, 2017. — № 8.
- Журавлев В., Немытов А., Осипов Ю., Першин А. SpaceWire: Взгляд со стороны. Часть 2 // Современная электроника, 2017. — № 9.
- spacewire-rt.org.



ТЕХНОСФЕРА

РЕКЛАМНО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР

www.technosphere.ru

ЭЛЕКТРОНИКА

НАНОИНДУСТРИЯ

ФОТОНИКА

ПЕРВАЯ МИЛЯ

АНАЛИТИКА

СТАНКОИНСТРУМЕНТ

Цифровая экономика