

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИНТЕРФЕЙСА GIGASPACEWIRE, РЕАЛИЗОВАННОГО НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ

М.О. Маковская

А.В. Синягин

С.А. Казначеев

m.o.makovskaya@vpk.npomash.ru

vpk@vpk.npomash.ru

АО «ВПК «НПО машиностроения», г. Реутов, Московская обл.,
Российская Федерация

Аннотация

В настоящее время в космической отрасли применяется множество специализированных интерфейсов передачи данных, предназначенных для решения частных задач с учетом возможностей элементной базы. Такая ситуация приводит к необходимости использовать различные преобразователи интерфейсов при сопряжении разнородных линий передачи информации. Вследствие этого снижаются отдельные характеристики создаваемых систем, возрастают структурная сложность и длительность отработки. Таким образом, существует необходимость применения унифицированного высокоскоростного сетевого интерфейса в составе бортовой аппаратуры и при наземной отработке изделий. С учетом изложенного наиболее перспективно выглядят сетевые интерфейсы семейства SpaceWire. В связи со вступлением в силу отечественного стандарта рассмотрен реализованный в новейшей отечественной элементной базе высокоскоростной интерфейс GigaSpaceWire — расширение интерфейса SpaceWire с улучшенными характеристиками. В целях оценки возможности использования GigaSpaceWire в качестве надежного интерфейса передачи данных создано рабочее место, разработано программное обеспечение и проведена серия экспериментов. Установлено, что реальные характеристики контроллера интерфейса GigaSpaceWire не полностью соответствуют заявленным в стандарте, а практическое применение соответствующей элементной базы связано с рядом особенностей

Ключевые слова

GigaSpaceWire, сетевой интерфейс, космическая отрасль, высокоскоростная передача данных, baremetal-драйвер, системы реального времени

Поступила 05.11.2024

Принята 05.12.2024

© Автор(ы), 2025

Введение. Долгое время мультиплексный канал информационного обмена (МКИО) претендовал на лидирующую роль в космической отрасли, но с учетом свойственных ему ограничений не стал универсальным. Со временем возникла потребность в увеличении скорости передачи данных и числа абонентов на линии связи, снижении энергопотребления за счет применения современной элементной базы. В современных наземных интеллектуальных системах обработки данных необходимо применение высокоскоростной передачи данных. Одними из наиболее перспективных сетевых интерфейсов в космической отрасли считаются интерфейсы семейства SpaceWire, в первую очередь из-за заявленной универсальности [1–3].

Процесс внедрения в бортовые системы космических аппаратов (КА) технологии SpaceWire в России осуществляется на протяжении последних десятилетий. На этом пути решены многие технические задачи, как в части стандартизации сетевого протокола, так и в части его интеграции в серийно выпускаемые микросхемы. В 2020 г. запущен спутник «Норби» [4, 5] с модулями SpaceWire, GigaSpaceWire и SpaceFibre на борту в качестве полезной нагрузки.

В связи с интеграцией контроллера интерфейса GigaSpaceWire в современную элементную базу и вступлением в силу стандарта¹ следует рассмотреть возможность применения GigaSpaceWire на борту КА. *Цель настоящей работы* — оценить возможность использования интерфейса GigaSpaceWire в космической отрасли как надежного интерфейса передачи данных. Для этого ставится задача измерения эффективной пропускной способности и стабильности подключения интерфейса на разных частотах.

В дальнейшей перспективе планируется рассмотреть интерфейс SpaceFibre² [6], отечественный стандарт на который вступил в силу в 2024 г. Интерфейс активно внедряется в зарубежные КА [7, 8] и является следующим шагом в высокоскоростной передаче данных в космической отрасли [9].

¹ ГОСТ Р 70020–2022. Космическая техника. Интерфейсы и протоколы высокоскоростного межприборного информационного обмена и комплексирования бортовых систем космических аппаратов. SpaceWire-RUS. М., Российский институт стандартизации, 2022.

² ГОСТ Р 71083–2023. Космическая техника. Интерфейсы и протоколы высокоскоростного межприборного информационного обмена и комплексирования бортовых систем космических аппаратов. SpaceFibre-RUS. М., Российский институт стандартизации, 2022.

Условия проведения эксперимента. Для проектирования надежного КА важно точно знать эффективную пропускную способность интерфейса и возможности стабильной работы на заданных частотах. Задача тестирования SpaceWire на соответствие международным стандартам решена в [10, 11]. Авторы указанных работ разработали рабочее место и алгоритм для решения задачи тестирования. Стенд комплексного тестирования бортовых сетей SpaceWire для испытаний контроллера информационно-управляющего интерфейса рассмотрен в [12].

Скорость передачи данных SpaceWire составляет 400 Мбит/с при максимальной длине кабеля 10 м. На практике такая длина кабеля не всегда является достаточной, а стабильная передача данных на максимальной частоте трудно достижима. Вследствие применения двух линий передачи данных при DS-кодировании реализация гальванической развязки является затруднительной. Для улучшения описанных характеристик разработан GigaSpaceWire, являющийся расширением SpaceWire [13, 14]. Увеличение длины линии передачи данных до 100 м позволяет использовать интерфейс GigaSpaceWire для реализации линий связи не только внутри блока, но и для межблочного и межмодульного соединений. Следует отметить потенциальную возможность гибкого подключения наземных обеспечивающих систем к бортовой магистрали при отработке изделий.

Результаты сравнения по ключевым параметрам применяемого интерфейса МКИО [15] и перспективных интерфейсов GigaSpaceWire, SpaceWire, предназначенных для построения бортовых сетей, приведены в табл. 1.

Так, заявленная пропускная способность GigaSpaceWire в 1000 раз больше, чем МКИО, и в 10 раз больше, чем SpaceWire. Для интерфейса GigaSpaceWire гальваническая развязка не предусмотрена, кроме случая использования волоконно-оптической линии связи (ВОЛС). В результате применения 8b/10b-кодирования [16] для дуплексной передачи данных используются две дифференциальные пары, в отличие от четырех в интерфейсе SpaceWire. В то же время такая схема кодирования снижает на 20 % реальную пропускную способность. Узлы SpaceWire и GigaSpaceWire соединяются по принципу точка–точка и с использованием коммутаторов объединяются в сети.

Стандарт на интерфейс выпущен в 2022 г., однако первые версии интерфейса GigaSpaceWire реализованы в отечественных микросхемах еще в 2013 г. В России элементная база с контроллером GigaSpaceWire реализуется компанией АО НППЦ «Элвис». Элементная база (АО НППЦ «Элвис») со встроенным интерфейсом GigaSpaceWire приведена в табл. 2

Последняя версия контроллера интерфейса GigaSpaceWire доступна в системе на кристалле 1892BM206 (данные проверены на момент написания работы). На кристалле 1892BM206 реализован контроллер МКИО, это удобно для сравнения интерфейсов. Таким образом, для оценки возможностей интерфейса GigaSpaceWire, реализованного на основе современной отечественной элементной базы, использован отладочный модуль на основе СнК (Системы–на–Кристалле, в зарубежной литературе SoC, System–on–Chip) 1892BM206 [17]. Указанная элементная база выбрана из-за доступности на рынке, наличия серийного производства и возможности использования на борту КА [18].

В конфигурацию рабочего места, собранного для оценки интерфейса GigaSpaceWire, входят отладочный модуль с кристаллом 1892BM206, осциллограф для контроля линии передачи данных, щупы и средства разработки. Измерение параметров линии и передача данных осуществляются посредством соединения двух контроллеров интерфейса GigaSpaceWire кабелем SATA из комплекта поставки отладочного модуля. Поскольку отсутствует кабель длиной 100 м, работа контроллера на предельном расстоянии не тестировалась.

В процессе формулирования требований к условиям проведения эксперимента выявлены следующие особенности эксплуатации GigaSpaceWire на кристалле 1892BM206:

- отсутствует операционная система реального времени (ОСРВ) [19];
- отсутствует пакет поддержки платы (в зарубежной литературе BSP, Board Support Package);
- отсутствует baremetal-драйвер интерфейса GigaSpaceWire;
- отладочный инструментарий из состава IDE (Integrated Development Environment) содержит ошибки, что приводит к некорректному отображению регистров и нестабильной работе;
- многочисленные неточности в документации;
- скудный набор примеров программ.

Следовательно, для достижения поставленной цели необходимо разработать baremetal-драйвер интерфейса GigaSpaceWire и ПО функционального тестирования. В процессе эксперимента необходимо обеспечить контроль параметров линии передачи данных с использованием поверенных средств измерения.

При проектировании драйвера интерфейса GigaSpaceWire предъявлялись следующие требования.

1. В целях обеспечения переносимости разрабатываемого ПО в потенциально возможные к применению на этой аппаратной архитектуре

ОСРВ необходимо обеспечить идеологическое единообразие вызовов с API POSIX [20] и BSD Sockets.

2. Драйвер интерфейса GigaSpaceWire должен обеспечивать установку и разрыв соединения; управление частотой передачи данных во всем доступном диапазоне; управление кредитованием на линии; прием/передачу заданного объема данных; диагностику состояний автомата в процессе установки соединения.

3. В связи с отсутствием коммутатора отладка сетевого уровня GigaSpaceWire невозможна, поэтому драйвер должен обеспечивать функционал канального уровня.

Описание эксперимента. Контроль параметров линии передачи данных обеспечен встроенным функционалом осциллографа. Построены маски соответствия входного и выходного сигналов по параметрам, указанным в ГОСТ Р 70020–2022. По требованиям ГОСТ выходной сигнал передатчика (входной сигнал приемника) интерфейса не должен попадать в затененный регион маски соответствия выходного (входного) сигнала. Осциллограф формирует глазковую диаграмму приемника и передатчика, накладывая развертки различных сегментов потока данных (рис. 1). Измеренные сигналы приемника и передатчика не попадают в затененные регионы маски соответствия входного и выходного сигналов по ГОСТ Р 70020–2022.

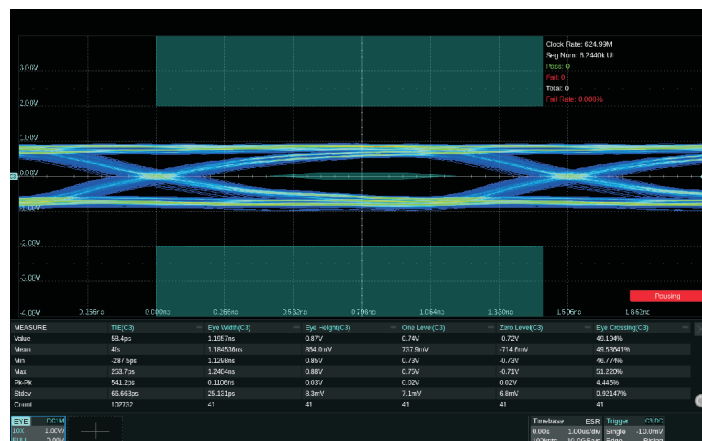
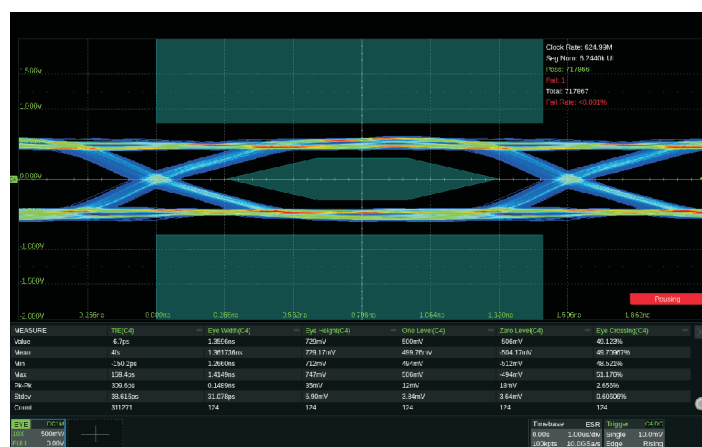
Интерфейс GigaSpaceWire управляется автоматом состояний, диаграмма работы которого приведена на рис. 2. У автомата состояний GigaSpaceWire тайм-ауты заменены на условия, в отличие от интерфейса SpaceWire.

Тем не менее в процессе разработки драйвера обнаружено, что в этой реализации автомата тайм-аут присутствует, что требует высокого быстродействия при управлении автоматом. По сравнению с драйвером под Linux для другой микросхемы удалось уменьшить длительность задержек. Колебания сигналов D0–D6, соответствующих состояниям автомата интерфейса GigaSpaceWire при попытке установить соединение, приведены на рис. 3. Состояние автомата регистрируется на осциллографе посредством выдачи импульса положительной полярности в дискретный порт ввода–вывода.

При разработке драйвера удалось достичь стабильного подключения на всех заявленных частотах, кроме 312 МГц.

Диаграмма длительности функций инициализации и передачи 3 Кбит по МКИО сверху и по GigaSpaceWire снизу приведена на рис. 4. Функция

инициализации OPEN у МКИО выполняется за 1 мс, в то время как у GigaSpaceWire — за 14 мс. Функция передачи 3 Кбит по МКИО заняла ~ 32 мс, а по GigaSpaceWire — ~ 30 мкс. Следует отметить длительность процессов инициализации и синхронизации контроллера интерфейса GigaSpaceWire относительно МКИО.

 a 

6

Рис. 1. Глазковые диаграммы приемника (а) и передатчика (б)

При измерении пропускной способности с помощью встроенного в СнК интервального таймера и контроля измерений на осциллографе выявлена зависимость пропускной способности от объема передаваемых данных. Зависимость пропускной способности от объема данных интерфейсов МКИО, SpaceWire, GigaSpaceWire, SpaceFibre приведена на рис. 5. Заметно несоответствие заявленной и реальной пропускных способностей интерфейсов. Кодирование 8b/10b снижает пропускную способность с заявлен-

ных 1250 до 1000 Мбит/с полезной информации. Установлено влияние передачи служебных символов, частоты вызовов функций и обращений контроллера DMA к памяти на пропускную способность интерфейса GigaSpaceWire.

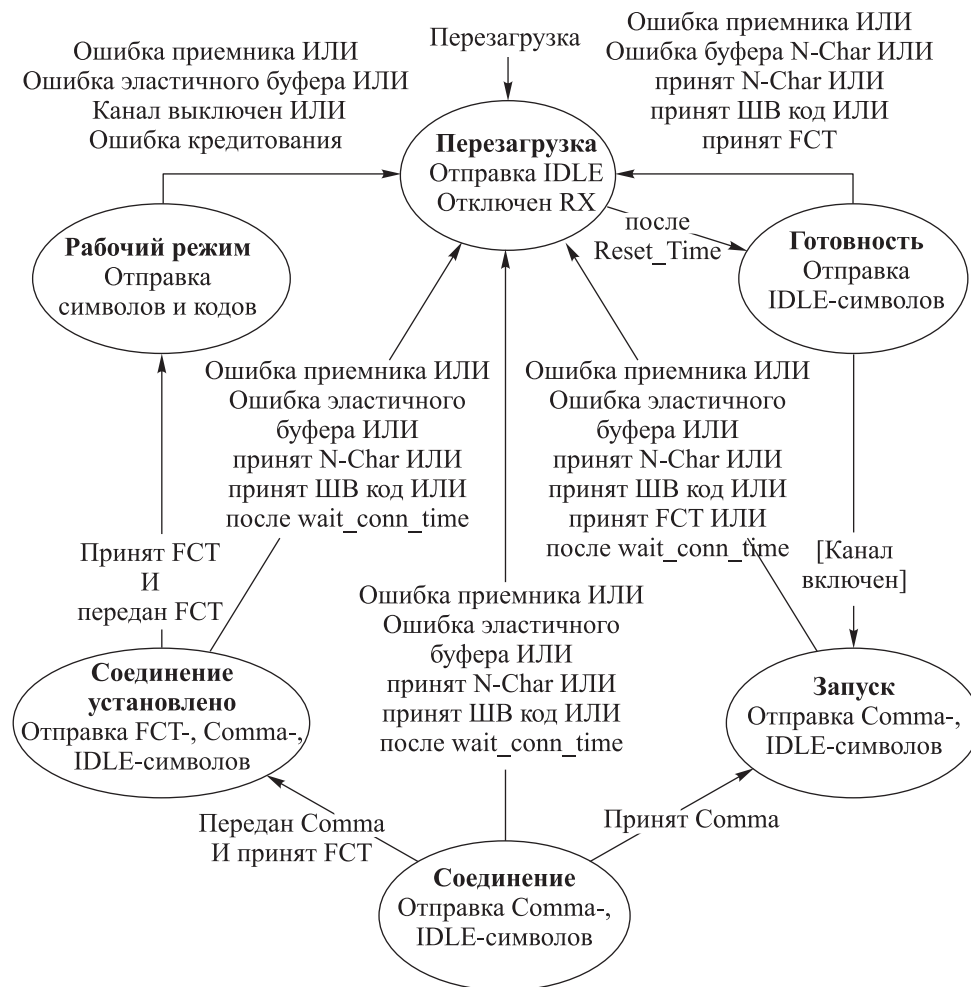


Рис. 2. Диаграмма работы автомата состояний канального интерфейса GigaSpaceWire (ГОСТ Р 70020–2022)

Служебный символ Comma поддержки соединения передается с определенной частотой, настраиваемой в зависимости от частоты передачи для поддержания соединения между контроллерами, что увеличивает объем передаваемых данных и уменьшает скорость передачи данных.

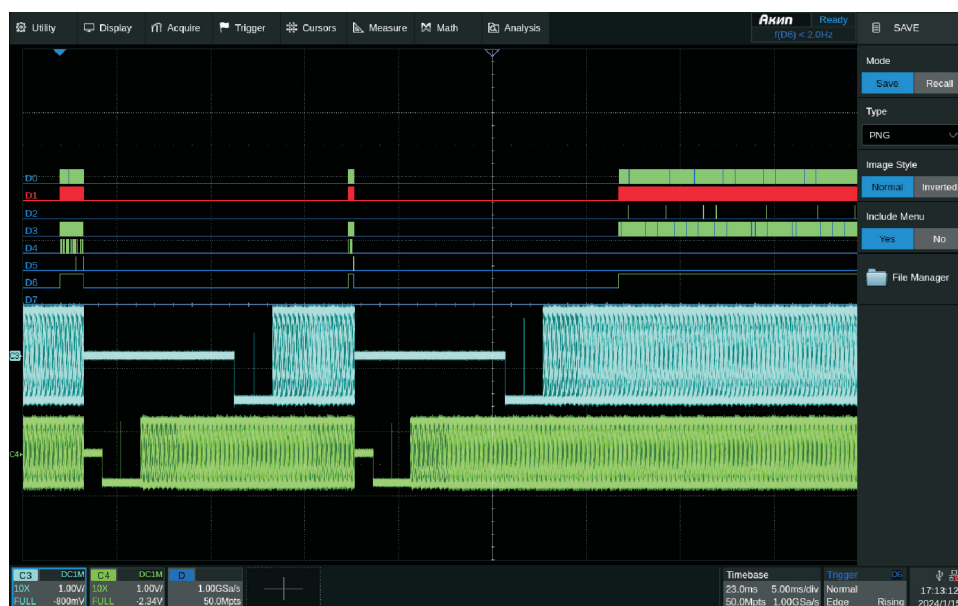


Рис. 3. Колебания сигналов автомата состояний при установке соединения:
 D0 — перезагрузка; D1 — готовность; D2 — запуск; D3 — соединение;
 D4 — соединение установлено; D5 — рабочий режим; D6 — установка соединения;
 C3, C4 — сигналы приемника и передатчика

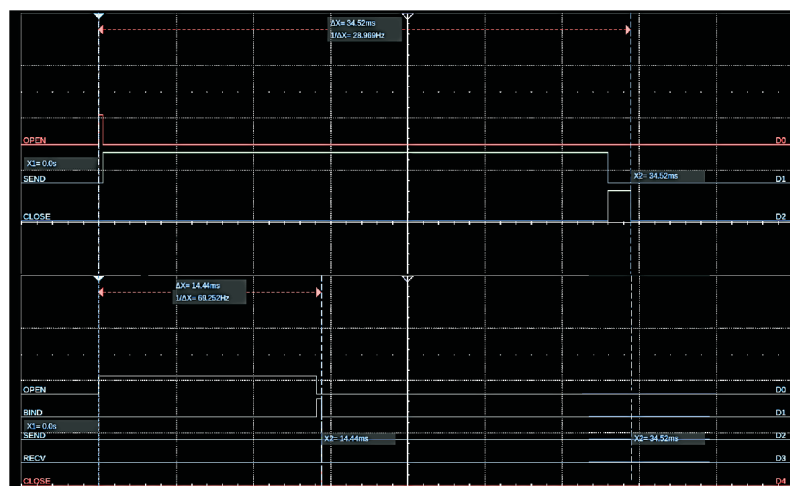


Рис. 4. Диаграмма длительности функций передачи 3Кбит по МКІО
 (верхняя группа) и GigaSpaceWire (нижняя группа):
 OPEN — инициализация; BIND — настройка приемника; SEND — передача данных;
 RECV — прием данных; CLOSE — выключение контроллера

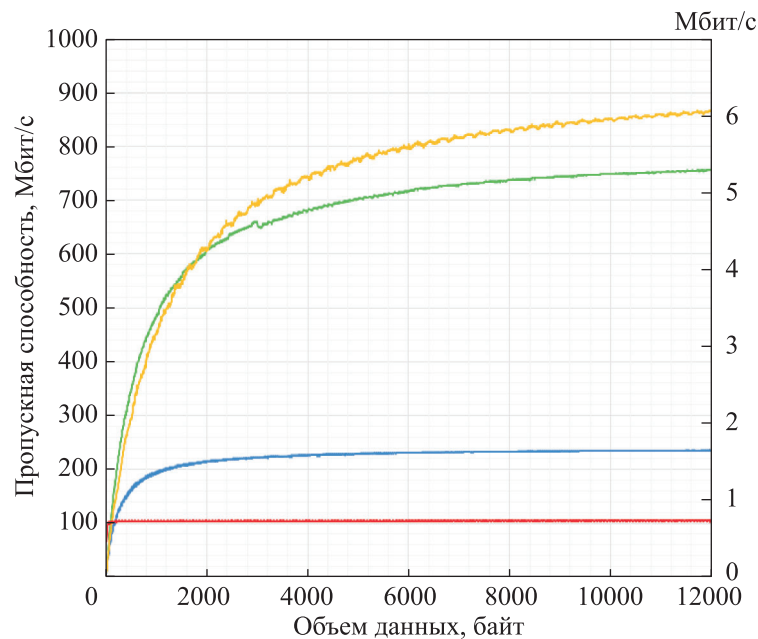


Рис. 5. Зависимость пропускной способности интерфейсов от объема данных:

1 Мбит/с — МКИО (—); 300 Мбит/с — SpaceWire (—);
1250 Мбит/с — GigaSpaceWire (—) и SpaceFibre (—)

Заключение. Реальная пропускная способность интерфейса GigaSpaceWire в рассматриваемой реализации достигает $\sim 0,75$ Гбит/с. Вследствие отсутствия в настоящее время коммутатора интерфейс GigaSpaceWire может быть использован только в режиме точка-точка. Отсутствует гальваническая развязка (без использования ВОЛС). Заявленная поддержка OCPB и системных функций присутствует, но требует дополнительного ПО. Задержка доставки сообщения мала по сравнению с МКИО.

Несмотря на выявленные особенности, GigaSpaceWire остается высокоскоростным интерфейсом передачи данных. К положительным свойствам следует отнести модульность потенциально возможной сети, реализованной на базе GigaSpaceWire. В качестве недостатков отдельно следует отметить сложный автомат синхронизации и многоуровневую модель взаимодействия, которая приводит к необходимости задания функциональных профилей для конкретных случаев применения данного интерфейса.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Горбунов С.Ф., Гришин В.Ю., Еремеев П.М. Сетевые интерфейсы космических аппаратов: перспективы развития и проблемы внедрения. *Наноиндустрия*, 2019, спецвып., с. 128–130.
- [2] Новиков Г.А., Платошин Г.А., Шейнин Ю.Е. Особенности применения интерфейса SpaceWire в комплексах бортового оборудования. *Труды ГосНИИАС. Сер. Вопросы авионики*, 2018, № 7, с. 41–69. EDN: YTCOIP
- [3] Симахина Е.А., Еремеев П.М., Балиж К.С. Современный подход к унификации интерфейсов в космической отрасли. *Сб. статей 26-й Междунар. науч. конф. «Волновая электроника и инфокоммуникационные системы»*. Ч. 3. СПб., СПбГУАП, 2023, с. 216–219. EDN: EFKELD
- [4] Casas M.F., Parkes S., Florist A.F., et al. Testing SpaceFibre in orbit: the OPS-SAT and NORBY technology demonstrators. *ISC*, 2022.
URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9944068>
- [5] Свертилов С.И., Богомолов В.В., Дементьев Ю.Н. и др. Результаты летной эксплуатации группировки спутников размерности кубсат Московского университета. *К.Э. Циолковский и прогресс науки и техники в XXI веке. Матер. 56 Науч. чтений*. Ч. 1. Калуга, Эйдос, 2021, с. 21–24. EDN: OPLPQF
- [6] Суворов Е.А., Степанов В.Е., Оленев В.Л. Анализ технологии SpaceFibre для высокоскоростных бортовых сетей. *Космические аппараты и технологии*, 2023, т. 7, № 2, с. 100–106. DOI: <https://doi.org/10.26732/j.st.2023.2.02>
- [7] Marino A., Leoni A., Sterpaio L.D., et al. SpaceART SpaceWire and SpaceFibre analyser real-time. *IEEE 7th MetroAeroSpace*, 2020, pp. 244–248.
DOI: <https://doi.org/10.1109/MetroAeroSpace48742.2020.9160319>
- [8] Nannipieri P., Dinelli G., Marino A., et al. A serial high-speed satellite communication CODEC: design and complementation of a SpaceFibre interface. *Acta Astronautica*, 2020, vol. 169, pp. 206–215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2020.01.010>
- [9] Parkes S., Ferrer A., Gonzalez A., et al. SpaceFibre payload data-handling network. *ISC*, 2022. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9944056>
- [10] Максютин А.С., Мурыгин А.В., Ивлеников Д.В. и др. Разработка рабочего места и алгоритмов тестирования бортового оборудования SpaceWire. *Сибирский аэрокосмический журнал*, 2021, т. 22, № 4, с. 613–623.
DOI: <https://doi.org/10.31772/2712-8970-2021-22-4-613-623>
- [11] Максютин А.С., Казайкин Д.С., Дымов Д.В. и др. Разработка методики тестирования сетевых коммутаторов SpaceWire. *Сибирский аэрокосмический журнал*, 2022, т. 23, № 2, с. 197–208.
DOI: <https://doi.org/10.31772/2712-8970-2022-23-2-197-208>
- [12] Максютин А.С., Казайкин Д.С., Дымов Д.В. Применение аппаратно-программного комплекса автономного тестирования узла SpaceWire для проведения испытаний СБИС контроллера информационно-управляющего интерфейса. *Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы*, 2023, т. 10, № 2, с. 63–72. EDN: LMNMMS

- [13] Яблоков Е.Н. GigaSpaceWire, проблемы и решения. *Известия Самарского научного центра РАН*, 2016, т. 18, № 1-2, с. 428–431. EDN: WLWZQD
- [14] Шейнин Ю.Е., Яблоков Е.Н., Суворова Е.А. и др. Устройство коммуникационного интерфейса GigaSpaceWire. Патент РФ 2700560. Заявл. 19.06.2018, опубл. 17.09.2019
- [15] Воронин Ф.А., Назаров Д.С., Пахмутов П.А. и др. О принципах разработки программного обеспечения информационно-управляющей системы российского сегмента международной космической станции. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение*, 2018, № 2 (119), с. 69–86. EDN: YWEGDC.
DOI: <https://doi.org/10.18698/0236-3933-2018-2-69-86>
- [16] Марчук Т.М. Логическое кодирование 8B/10B. *Радиотехника и электроника. Сб. тез. докл. 56-й Науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов*. Минск, БГУИР, 2020, с. 192–193.
- [17] Петричкович Я.Я., Солохина Т.В., Глушков А.В. и др. Топология микропроцессора для приема и обработки пакетной информации. Патент РФ 2018630081. Заявл. 25.04.2018, опубл. 09.06.2018.
- [18] Костров В.В., Ракитин А.В. Радиолокационный космический сегмент дистанционного зондирования Земли в 2023 году: состояние и перспективы развития. *Радиолокационные и радионавигационные системы*, 2023, № 4, с. 11–31.
DOI: <https://doi.org/10.24412/2221-2574-2023-4-11-31>
- [19] Скрипко Д.В., Никитин Д.А. Совершенствование архитектуры операционных систем, используемых в ракетно-космической технике. *Актуальные проблемы авиации и космонавтики. Сб. матер. 9 Междунар. науч.-практ. конф.* Т. 1. Красноярск, СибГУ им. академика М.Ф. Решетнева, 2023, с. 195–198. EDN: EQHTIG
- [20] Cerf V.G. APIs, standards, and enabling infrastructure. *Commun. ACM*, 2019, vol. 62, no. 5, p. 5. DOI: <https://doi.org/10.1145/3322094>

Маковская Маргарита Олеговна — инженер-программист 2-й категории АО «ВПК «НПО машиностроения» (Российская Федерация, 143966, Московская обл., г. Реутов, ул. Гагарина, д. 33).

Синягин Антон Владимирович — начальник сектора АО «ВПК «НПО машиностроения» (Российская Федерация, 143966, Московская обл., г. Реутов, ул. Гагарина, д. 33).

Казначеев Сергей Александрович — канд. техн. наук, старший научный сотрудник АО «ВПК «НПО машиностроения» (Российская Федерация, 143966, Московская обл., г. Реутов, ул. Гагарина, д. 33).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Маковская М.О., Синягин А.В., Казначеев С.А. Оценка возможностей интерфейса GigaSpaceWire, реализованного на основе современной отечественной элементной базы. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение*, 2025, № 2 (151), с. 63–77. EDN: TCTWGI

EVALUATING CAPABILITIES OF THE GIGASPACEWIRE INTERFACE IMPLEMENTED ON THE MODERN DOMESTIC ELEMENT BASE

M.O. Makovskaya

m.o.makovskaya@vpk.npomash.ru

A.V. Sinyagin

vpk@vpk.npomash.ru

S.A. Kaznacheev

JSC “MIC “NPO Mashinostroyenia”, Reutov, Moscow Region, Russian Federation

Abstract

Currently, space industry uses a variety of the specialized data transmission interfaces designed to solve specific problems taking into account the element base capabilities. This situation leads to the need to use various interface converters in pairing the dissimilar data transmission lines. As a result, separate characteristics of the systems being created are reduced, and their structural complexity and processing time increase. Thus, there appears a need to apply a unified high-speed network interface as part of the onboard equipment and in the ground product processing. Taking into account the above, network interfaces of the SpaceWire family look the most promising. In connection with the domestic standard coming in force, the paper considers the high-speed GigaSpaceWire interface, i.e., an extension of the SpaceWire interface with the improved characteristics, implemented in the latest domestic element base. In order to assess a possibility of using the GigaSpaceWire as a reliable data transmission interface, a workstation was created, software was developed, and a series of experiments were conducted. It was established that actual characteristics of the GigaSpaceWire controller were not fully corresponding to those declared in the standard, and practical application of the corresponding element base was associated with a number of features

Keywords

GigaSpaceWire, network interface, space industry, high-speed data transfer, baremetal driver, real-time systems

Received 05.11.2024

Accepted 05.12.2024

© Author(s), 2025

REFERENCES

- [1] Gorbunov S.F., Grishin V.Yu., Ereemeev P.M. Spacecraft network interfaces: development prospects and implementation problems. *Nanoindustriya* [Nanoindustry], 2019, spec. iss., pp. 128–130 (in Russ.).
- [2] Novikov G.A., Platoshin G.A., Sheynin Yu.E. SpaceWire interface application features in avionics suites. *Trudy GosNIAS. Ser. Voprosy avioniki*, 2018, no. 7, pp. 41–69 (in Russ.). EDN: YTCOIP

- [3] Simakhina E.A., Ereemeev P.M., Balizh K.S. [A modern approach to the unification of interfaces in the space industry]. *Sb. statey 26-y Mezhdunar. nauch. konf. "Volnovaya elektronika i infokommunikatsionnye sistemy"*. Ch. 3 [Proc. 26th Int. Sc. Conf. Wave Electronics and Info-Communication Systems. P. 3]. St. Petersburg, SpBGUAP Publ., 2023, pp. 216–219 (in Russ.). EDN: EFKELD
- [4] Casas M.F., Parkes S., Florist A.F., et al. Testing SpaceFibre in orbit: the OPS-SAT and NORBY technology demonstrators. *ISC*, 2022.
Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9944068>
- [5] Svertilov S.I., Bogomolov V.V., Dementyev Yu.N., et al. [Results of flight exploitation of Moscow university Cubsat satellite constellation]. *K.E. Tsiolkovskiy i progress nauki i tekhniki v XXI veke. Mater. 56 Nauch. chteniy*. Ch. 1 [K.E. Tsiolkovsky and Progress of Science and Technology in the 21st Century. Proc. 56th Scientific Readings. P. 1]. Kaluga, Eydos Publ., 2021, pp. 21–24 (in Russ.). EDN: OPLPQF
- [6] Suvorov E.A., Stepanov V.E., Olenev V.L. Analysis of the SpaceFibre technology for the high-bandwidth onboard networks. *Kosmicheskie apparaty i tekhnologii* [Spacecrafts & Technologies], 2023, vol. 7, no. 2, pp. 100–106 (in Russ.).
DOI: <https://doi.org/10.26732/j.st.2023.2.02>
- [7] Marino A., Leoni A., Sterpaio L.D., et al. SpaceART SpaceWire and SpaceFibre analyser real-time. *IEEE 7th MetroAeroSpace*, 2020, pp. 244–248.
DOI: <https://doi.org/10.1109/MetroAeroSpace48742.2020.9160319>
- [8] Nannipieri P., Dinelli G., Marino A., et al. A serial high-speed satellite communication CODEC: design and complementation of a SpaceFibre interface. *Acta Astronautica*, 2020, vol. 169, pp. 206–215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2020.01.010>
- [9] Parkes S., Ferrer A., Gonzalez A., et al. SpaceFibre payload data-handling network. *ISC*, 2022. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9944056>
- [10] Maksyutin A.S., Murygin A.V., Ivlenkov D.V., et al. Development of workspace and algorithms for testing SpaceWire onboard equipment. *Sibirskiy aerokosmicheskiy zhurnal* [Siberian Aerospace Journal], 2021, vol. 22, no. 4, pp. 613–623 (in Russ.).
DOI: <https://doi.org/10.31772/2712-8970-2021-22-4-613-623>
- [11] Maksyutin A.S., Kazaykin D.S., Dymov D.V., et al. Development of a methodology for testing SpaceWire network switches. *Sibirskiy aerokosmicheskiy zhurnal* [Siberian Aerospace Journal], 2022, vol. 23, no. 2, pp. 197–208 (in Russ.).
DOI: <https://doi.org/10.31772/2712-8970-2022-23-2-197-208>
- [12] Maksyutin A.S., Kazaykin D.S., Dymov D.V. Applying the hardware and software complex of autonomous testing of the SpaceWire node for testing the VLSI controller of the information and control interface. *Raketno-kosmicheskoe priborostroenie i informatsionnye sistemy* [Rocket-Space Device Engineering and Information Systems], 2023, vol. 10, no. 2, pp. 63–72 (in Russ.). EDN: LMNMMS
- [13] Yablokov E.N. Gigaspacewire, problems and decisions. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN* [Izvestia RAS SamSC], 2016, vol. 18, no. 1-2, pp. 428–431 (in Russ.). EDN: WLWZQD

- [14] Sheynin Yu.E., Yablokov E.N., Suvorova E.A., et al. Ustroystvo kommunikatsionnogo interfeysa GigaSpaceWire [GigaSpaceWire communication interface device]. Patent RU 2700560. Appl. 19.06.2018, publ. 17.09.2019 (in Russ.).
- [15] Voronin F.A., Nazarov D.S., Pakhmutov P.A., et al. On principles behind developing software for the information and control system of the Russian orbital segment of the international space station. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Instrument Engineering*, 2018, no. 2 (119), pp. 69–86 (in Russ.). EDN: YWEGDC. DOI: <https://doi.org/10.18698/0236-3933-2018-2-69-86>
- [16] Marchuk T.M. [8B/10B logic coding]. *Radiotekhnika i elektronika. Sb. tez. dokl. 56-y Nauch. konf. aspirantov, magistrantov i studentov* [Radio Engineering and Electronics. Proc. Abs. 56th Sc. Conf. of Graduate Students, Undergraduates and Students]. Minsk, BGUIR Publ., 2020, pp. 192–193 (in Russ.).
- [17] Petrichkovich Ya.Ya., Solokhina T.V., Glushkov A.V., et al. Topologiya mikroprotsessora dlya priema i obrabotki paketnoy informatsii [Microprocessor topology for receiving and processing packet information]. Patent RU 2018630081. Appl. 25.04.2018, publ. 09.06.2018 (in Russ.).
- [18] Kostrov V.V., Rakitin A.V. Radar space segment of remote sensing of the Earth in 2023: status and development trends. *Radiolokatsionnye i radionavigatsionnye sistemy* [Radio Engineering and Telecommunication Systems], 2023, no. 4, pp. 11–31 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2221-2574-2023-4-11-31>
- [19] Skripko D.V., Nikitin D.A. [Improving the architecture of operating systems used in rocket and space technology]. *Aktualnye problemy aviatsii i kosmonavтики. Sb. mater. 9 Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. T. 1* [Actual Problems of Aviation and Cosmonautics. Proc. 9th Int. Sc.-Pract. Conf.]. Krasnoyarsk, SibGU im. akademika M.F. Reshetneva Publ., 2023, pp. 195–198 (in Russ.). EDN: EQHTIG
- [20] Cerf V.G. APIs, standards, and enabling infrastructure. *Commun. ACM*, 2019, vol. 62, no. 5, p. 5. DOI: <https://doi.org/10.1145/3322094>

Makovskaya M.O. — Engineer Programmer of the 2nd category, JSC “MIC “NPO Mashinostroyeniya” (Gagarina ul. 33, Reutov, Moscow Region, 143966 Russian Federation).

Sinyagin A.V. — Head of the Sector, JSC “MIC “NPO Mashinostroyeniya” (Gagarina ul. 33, Reutov, Moscow Region, 143966 Russian Federation).

Kaznacheev S.A. — Cand. Sc. (Eng.), Senior Researcher, JSC “MIC “NPO Mashinostroyeniya” (Gagarina ul. 33, Reutov, Moscow Region, 143966 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Makovskaya M.O., Sinyagin A.V., Kaznacheev S.A. Evaluating capabilities of the GigaSpaceWire interface implemented on the modern domestic element base. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Instrument Engineering*, 2025, no. 2 (151), pp. 63–77 (in Russ.). EDN: TCTWGI