

Программное обеспечение блока проверки последовательного интерфейса

Д. Е. Гурьев

Аннотация—Протокол мультиплексного канала передачи данных (ГОСТ Р 52070-2003, MIL-STD-1553B) применяется для организации сетей летательных аппаратов и некоторых других целей. Разработка, отладка, аттестация устройств сопряжения предъявляют жесткие требования к оборудованию для тестирования.

В настоящее время российская компания НТЦ «Модуль» разрабатывает новый модуль для тестирования устройств мультиплексного канала - «Блок проверки последовательного интерфейса», обладающий преемственностью с предыдущей разработкой – модулем УЭМ-МК, в части основной функциональности. При этом в новом модуле принципиально иначе решены вопросы взаимодействия с управляющим вычислителем (управляющей ПЭВМ). Для этого взаимодействия используется канал технологической сети с использованием протоколов Ethernet и TCP/IP.

В связи с этим возникла задача адаптировать имеющееся ПО УЭМ-МК к новому модулю, по возможности - с минимальными затратами.

Задача решена путем фиксации API для прикладных программ и разработки и реализации прикладного протокола связи между новым модулем и прикладным ПО.

В статье приводится описание архитектуры предшествующего модуля УЭМ-МК и его программного обеспечения, архитектуры нового модуля, предложена и обоснована архитектура программного обеспечения для нового модуля, представлено текущее состояние проекта по разработке ПО и планы по его дальнейшему развитию.

Ключевые слова—МКПД, ГОСТ Р 52070-2003, MIL-STD-1553B, УЭМ-МК, Ethernet, TCP/IP, МП, MDIO.

I. ВВЕДЕНИЕ

Протокол «Интерфейс магистральный последовательный системы электронных модулей», известный также как ГОСТ Р 52070-2003 [1], MIL-STD-1553B [2], мультиплексный канал передачи данных (МКПД) или «манчестерский канал», применяется для организации бортовых сетей летательных аппаратов различного назначения, а также для бортовых сетей кораблей и судов или сетей управления технологическими процессами.

Модуль универсального устройства и параметрического тестера УЭМ-МК разработан российской компанией НТЦ «Модуль» в 2014-2019 годах и удовлетворяет всем требованиям к аппаратуре

Статья получена 9 апреля 2026 года.

Гурьев Дмитрий Евгеньевич, научный сотрудник лаборатории открытых информационных технологий факультета Вычислительной математики и кибернетики, Московский Государственный Университет им. М.В.Ломоносова (email: gouriev@oit.cmc.msu.ru, ORCID iD: 0000-0003-1093-108X).

тестирования устройств мультиплексного канала [3].

В настоящее время НТЦ «Модуль» разрабатывает новый модуль для тестирования устройств мультиплексного канала - «Блок проверки последовательного интерфейса» (БППИ), - обладающий преемственностью с модулем УЭМ-МК в части основной функциональности. При этом в новом модуле принципиально иначе решены вопросы взаимодействия с управляющим вычислителем (управляющей ПЭВМ). Для этого взаимодействия используется канал технологической сети с использованием протоколов Ethernet и TCP/IP.

В состав программного обеспечения модуля УЭМ-МК входили следующие основные компоненты [4]:

- драйвер («unpuem»);
- расширенная библиотека функций («uem»);
- интерактивная графическая среда БПОУЭМ («brouem»);
- и некоторые другие,

в совокупности обеспечивающие определенную функциональную полноту.

При разработке нового модуля БППИ возникла задача адаптировать ПО УЭМ-МК к новому модулю, по возможности - с минимальными затратами.

Решению этой задачи и посвящена настоящая статья.

При этом дополнительной задачей было расширение спектра платформ, на которых будет выполняться новое ПО. В качестве основной целевой платформы выбрана ОС Astra Linux (только 64 бита), при этом требуется сохранить возможность выполнения ПО на платформе Windows 32 и 64 бита.

Модернизированные компоненты ПО получили названия «unpuem_net», «uem_net» и «brouem_net» соответственно. В архитектуре ПО БППИ эти компоненты получили статус «клиентских» компонентов. В дополнение к ним, важным элементом архитектуры является серверная программа «uemnode», непосредственно взаимодействующая с устройством, а также протокол взаимодействия по технологической сети, связывающий компоненты «uemnode» и «unpuem_net».

Далее в разделе II приводится описание архитектуры предшествующего модуля УЭМ-МК и его программного обеспечения, в разделе III – описание архитектуры нового модуля БППИ, в разделе IV – проект архитектуры программного обеспечения БППИ. В разделе V обсуждается детали архитектуры ПО, а также текущее состояние разработки и планы по дальнейшему развитию.

II. АРХИТЕКТУРА ПРЕДШЕСТВУЮЩЕГО МОДУЛЯ УЭМ-МК И ЕГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Модуль УЭМ-МК разработан в виде встраиваемого модуля интерфейса VXI [5],[6], внутри которого находятся две платы:

- мезонинный модуль интерфейса МКПД (ММ), который обеспечивает функциональность универсального устройства и тестера протокола;

- плата носителя мезонинов НМ-М (производства Холдинга «Информтест»), которая обеспечивает сопряжением с шиной VXI, а также содержит ОЗУ достаточно большого объема, организованное в виде двух буферов FIFO (от мезонинного модуля и к нему).

Обмен данными между мезонинным модулем и носителем мезонинов выполняется по специфицированному интерфейсу [7].

Этот интерфейс состоит из двух частей: интерфейс управления, который используется для чтения и записи значений в регистрах ММ, и интерфейса данных, который используется для пересылки данных, передаваемых и принимаемых по МКПД.

Модуль УЭМ-МК вставляется в слот крейта VXI. Типичным решением является установка управляющей ПЭВМ с программным обеспечением в другой слот этого же крейта, как показано на Рисунке 1.

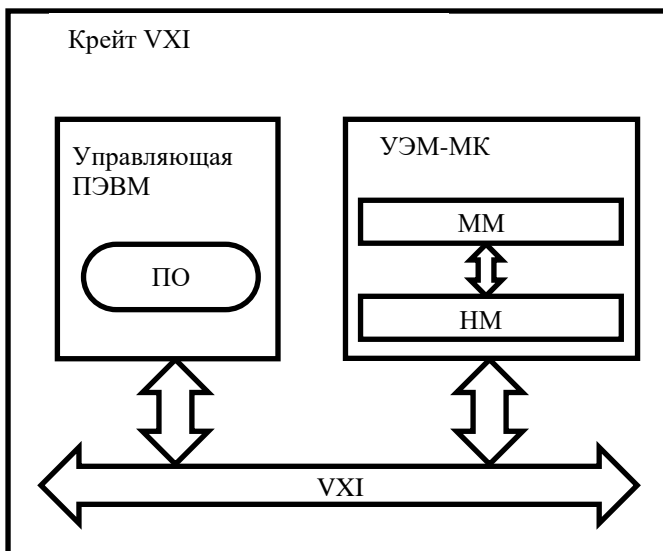


Рисунок 1. Взаимодействие УЭМ-МК с управляющей ПЭВМ и программным обеспечением в составе крейта VXI. Обозначения: ММ – мезонинный модуль, НМ – носитель мезонинов, ПО – программное обеспечение.

Состав программного обеспечения и взаимодействие его компонентов показаны на Рисунке 2.

Драйвер (драйвер мезонинов) `unpmem` обеспечивает доступ к регистрам и ОЗУ мезонинного модуля и передачу потоков данных через FIFO-буферы носителя мезонинов. Он работает во взаимодействии с драйвером носителя мезонинов `unmbase` [8] и драйвером универсальной коммуникационной среды VISA. Драйвер экспортирует приложениям набор низкоуровневых функций доступа для открытия и закрытия сеанса связи с устройством, чтения и записи

регистров, передачи данных из и в ОЗУ мезонинов через FIFO-буфера носителя мезонинов. В составе драйвера имеется функция самоконтроля устройства. Драйвер скомпилирован как 32-разрядная динамическая библиотека (DLL).

Расширенная библиотека функций `uem` предназначена для разработки приложений, использующих УЭМ-МК, для создания собственных сценариев тестирования или имитации сетевого окружения, а также собственных средств анализа трафика МКПД. Библиотека предоставляет расширенный набор высокоуровневых проблемно-ориентированных функций, позволяющих управлять всеми аспектами работы устройства.

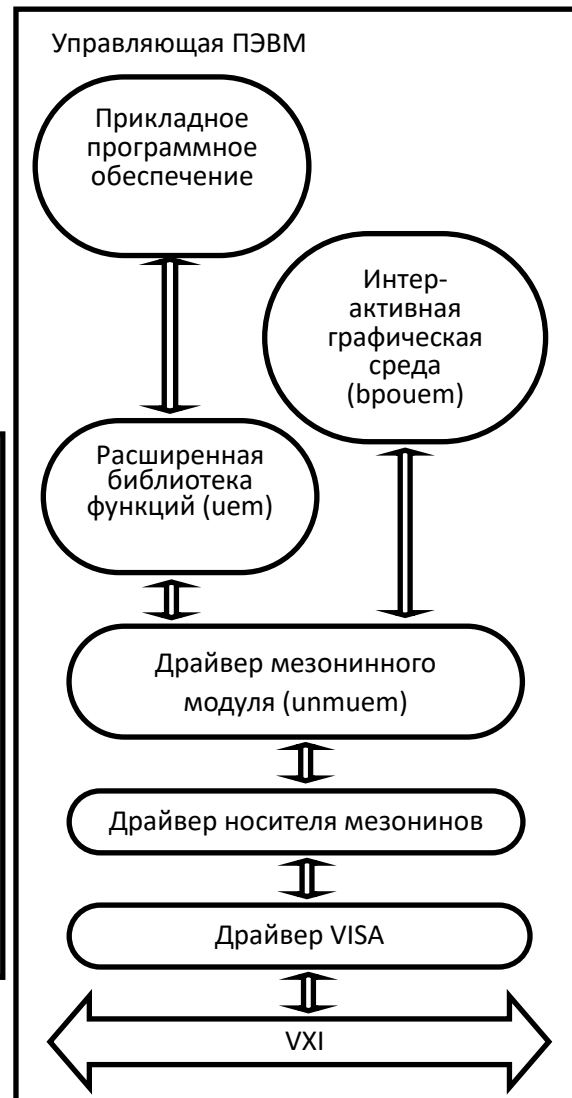


Рисунок 2. Программное обеспечение УЭМ-МК и его программное окружение.

Библиотека является надстройкой над драйвером УЭМ-МК и выполнена в виде DLL

Интерактивная графическая среда `brouem`, позволяет использовать все возможности модуля при решении задач тестирования, отладки и диагностики устройств сопряжения. Программа позволяет создавать собственные сценарии тестирования или имитации сетевого окружения в диалоговом режиме, а также выполнять запись и анализ сетевого трафика.

III. АРХИТЕКТУРА НОВОГО МОДУЛЯ БППИ

Основная функциональность модуля УЭМ-МК сосредоточена в мезонинном модуле (ММ). Именно мезонинный модуль формирует и распознает сигналы и сообщения МКПД, детектирует ошибки передачи и распознавания, при необходимости – искусственно вносит ошибки в передаваемые сообщения.

В новом модуле БППИ мезонинный модуль сохранен почти без изменений. В остальном же архитектура БППИ принципиально отличается от УЭМ-МК.

Центральным компонентом архитектуры является плата Terasic DE1-SoC [9], имеющая в своем составе микросхему Altera Cyclone® V SE 5CSEMA5F31C6N, которая, в свою очередь состоит из двух основных частей – программируемой логики FPGA и фиксированной части «Hard Processor System» (HPS). HPS в своем составе имеет следующие устройства [10]:

- двухъядерный процессор ARM Cortex-A9 800 МГц,
- 1 Гб ОЗУ (DDR3 SDRAM)
- 2 MAC-контроллера Ethernet 10/100/1000 Мбит/с (один из них (EMAC1) через устройство PHY в составе платы DE1-SoC соединен с внешним разъемом RG45, другой (EMAC0) предназначен для использования совместно с программируемой логикой FPGA)
- два интерфейса USB, выведенные на разъемы платы DE1-SoC,
- конвертер последовательного интерфейса RS-232 в USB, также выведенный на разъем платы, и использующийся как системная консоль,
- и многие другие устройства, которые не очень важны для обсуждаемой задачи.

Фактически плата Terasic DE1-SoC способна работать как одноплатная ЭВМ, функциональность

которой расширяется за счет программируемой логики FPGA. Возможна работа под управлением ОС Linux Debian.

Мезонинный модуль подключается к программируемой логике FPGA микросхемы Altera Cyclone® V SE 5CSEMA5F31C6N, как показано на Рисунке 3 (подключение выполняется через коммутационную плату, на рисунке не показанную).

В FPGA реализована логика, обеспечивающая взаимодействие с ММ по *интерфейсу управления* и *интерфейсу данных*, - так же, как это в УЭМ-МК обеспечивал носитель мезонинов [7].

В сторону остальной аппаратуры микросхемы Altera Cyclone® V логика FPGA реализует интерфейс МП [11], имитируя приемопередатчик Ethernet PHY, сигнальные линии интерфейса соединены с MAC-контроллером EMAC0.

Данные, передаваемые по *интерфейсу данных*, в обоих направлениях, инкапсулируются в кадры протокола Ethernet.

Для взаимодействия по *интерфейсу управления* используется управляющая часть интерфейса МП – интерфейс MDIO. Для этой цели логика FPGA реализует два ведомых устройства на шине MDIO: устройство с адресом 0 имитирует стандартные регистры приемопередатчика Ethernet PHY, который все время находится в состоянии соединения (Link Up), и устройство с адресом 2, чтение и запись значений регистров которого транслируется в чтение и запись значений регистров ММ по *интерфейсу управления*.

Модуль БППИ – это единый конструктив, объединяющий мезонинный модуль и одноплатную ЭВМ Terasic DE1-SoC.

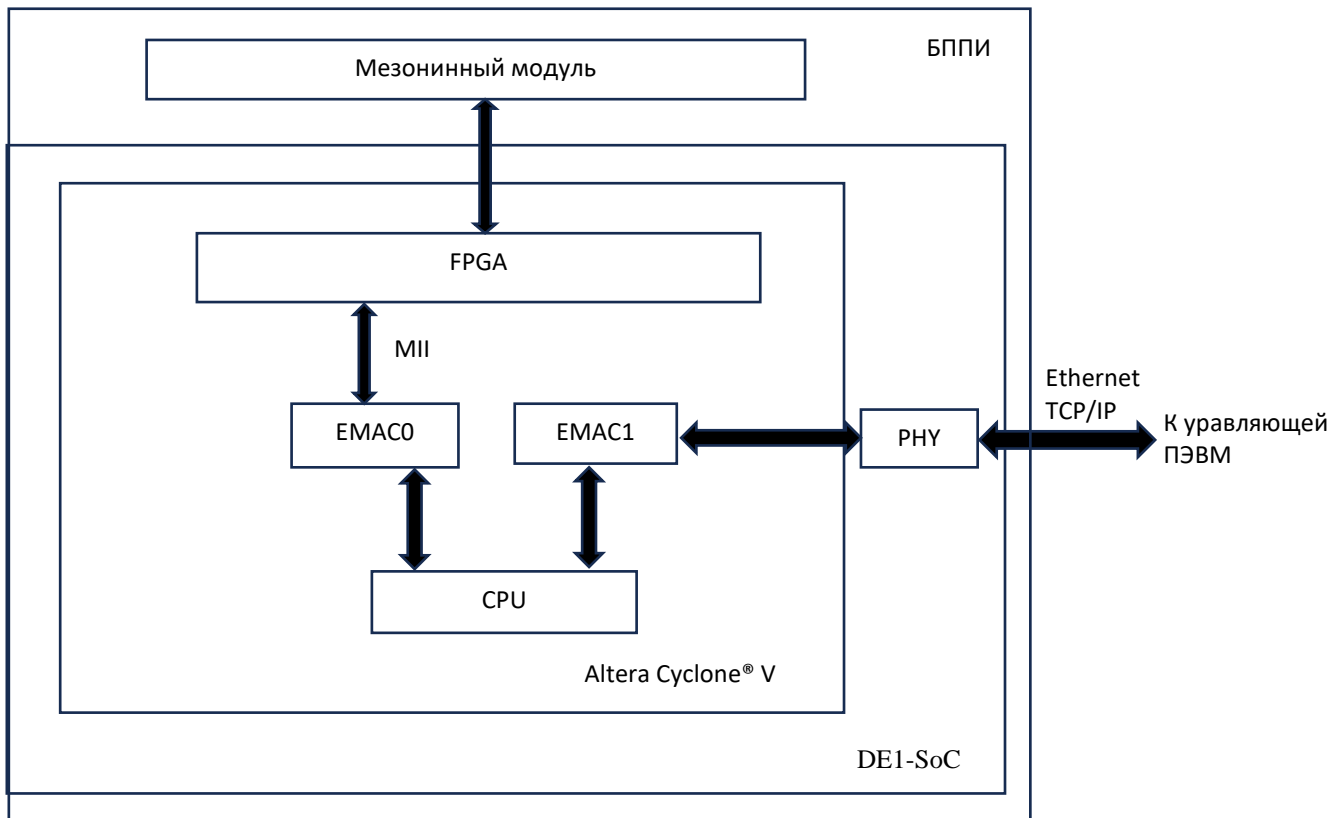


Рисунок 3. Архитектура модуля БППИ

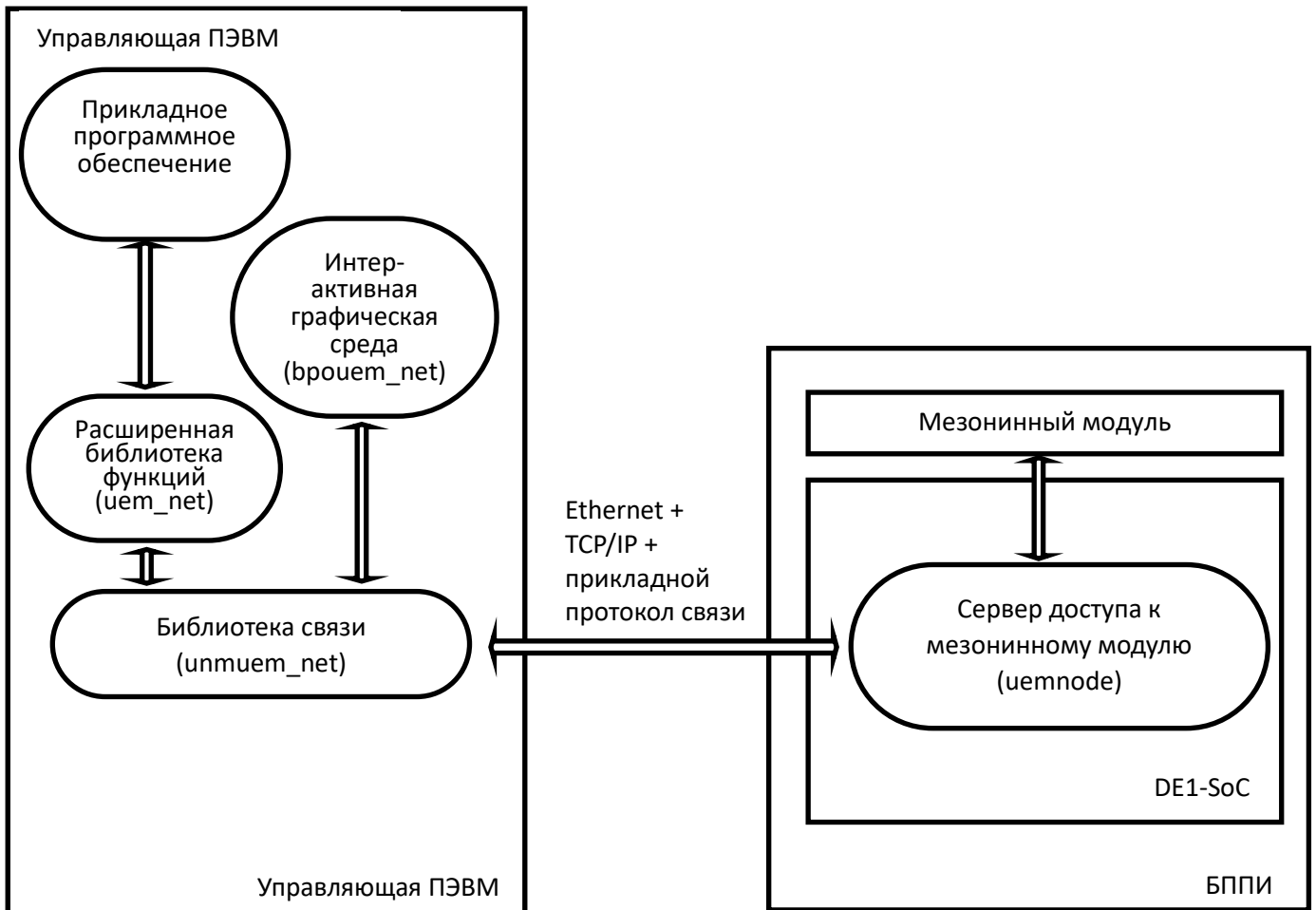


Рисунок 4. Взаимодействие компонентов программного обеспечения БППИ

IV. АРХИТЕКТУРА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОДУЛЯ БППИ

Основная задача при разработке ПО БППИ – адаптировать унаследованные компоненты ПО: интерактивную графическую среду `brouem`, расширенную библиотеку функций `uem`, другое прикладное ПО к работе с новым устройством, по возможности – с минимальными затратами.

Для этой цели решено сохранить в неизменном виде программный интерфейс (API), который ранее экспортировал драйвер `unmuem`. Далее этот набор функций обозначается как `unmuem_api`.

Реализует это набор функций «библиотека связи», получившая название `unmuem_net`. Эта библиотека поддерживает протокол связи со встроенным программным обеспечением модуля БППИ. Протокол пока не имеет названия, в настоящей статье будет обозначаться как *прикладной протокол связи*.

Со стороны БППИ поддержкой *прикладного протокола связи* занимается новая программа, получившая название `uemnode`. Программа выполняется на одноплатной ЭВМ Terasic DE1-SoC под управлением ОС Linux Debian. Задача этой программы – взаимодействие с мезонинным модулем по интерфейсам МП и MDIO, передача данных из управляющей ПЭВМ в мезонинный модуль и обратно по *прикладному протоколу связи*. При разработке

программы учитывался опыт и использовались фрагменты кода одного из предыдущих проектов [12], связанного с тестированием аппаратуры Ethernet.

Более детально, процесс взаимодействия прикладного ПО с мезонинным модулем выглядит так:

1) Библиотека `uem`, приложение `brouem` или другая прикладная программа выполняет вызов функции из `unmuem_api`.

2) Библиотека связи `unmuem_net` транслирует этот вызов в сообщение *прикладного протокола связи* и отправляет в БППИ с использованием TCP/IP и Ethernet.

3) Программа `uemnode` получает это сообщение, разбирает его, и выполняет требуемые запросы к мезонинному модулю с использованием интерфейсов МП и MDIO.

4) Программа `uemnode` формирует ответное сообщение *прикладного протокола связи*, включающее результат выполнения запрошенной операции, а также данные, предоставленные мезонинным модулем, если операция этого требовала.

5) Библиотека связи `unmuem_net` получает и разбирает ответное сообщение и возвращает результаты через значение возврата и параметры вызванной функции `unmuem_api`.

Процесс взаимодействия представлен на Рисунке 4. Компоненты ПО `uem`, `brouem`, модернизированные

для работы с `uemnet_net` и БППИ, получили новые названия `uem_net` и `broemnet_net`, соответственно.

Временные характеристики нового технологического канала «`uemnet_net` ↔ прикладной протокол связи + TCP/IP + Ethernet ↔ `uemnode` ↔ МП + MDIO ↔ мезонинный модуль» несколько отличаются от характеристик старого технологического канала в модуле УЭМ-МК, поэтому в алгоритмы взаимодействия `uem_net`, `broemnet_net` с мезонинным модулем пришлось внести некоторые усовершенствования.

V. ДЕТАЛИ АРХИТЕКТУРЫ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

A. `uemnet_api`

Программный интерфейс `uemnet_api` используется не только для взаимодействия прикладных программ с библиотекой связи `uemnet_net`, но также и внутри проекта.

Он реализован как виртуализованный, так что при сохранении тех же самых вызываемых функций вызов фактически выполняется одной или другой реализацией этих функций. В проекте имеется несколько таких реализаций:

- в библиотеке связи интерфейс реализуется модулем `netclient` – клиентской частью *прикладного протокола связи*,
- в серверной программе `uemnode` интерфейс реализуется «драйвером МП» – компонентом, ответственным за непосредственное взаимодействие с мезонинным модулем,
- в серверной программе `simnode` интерфейс реализуется «симуляционным драйвером» (см. ниже).

Использование единого программного интерфейса позволяет разрабатывать программы, которые могут выполняться как на клиентской стороне – на управляющей ПЭВМ, так и на серверной стороне – непосредственно в модуле БППИ. Это особенно важно для разработки тестов аппаратуры и программного обеспечения БППИ.

B. Реализация *прикладного протокола связи*

Прикладной протокол связи реализуется двумя программными модулями: `netclient` и `netserver`.

Модуль `netclient` реализует программный интерфейс `uemnet_api` и транслирует вызовы функций в сообщения *прикладного протокола связи*.

Модуль `netserver` разбирает сообщения *прикладного протокола связи* и транслирует их в вызовы `uemnet_api`.

C. Программа `simnode`

Дополнительная программа `simnode` является симуляционным сервером. В ее состав входят программный модуль `netserver`, реализующий прикладной протокол связи со стороны сервера, и симуляционный драйвер. Симуляционный драйвер унаследован от проекта УЭМ-МК и выполняет частичную имитацию работы мезонинного модуля, а именно – имитацию работы регистров и встроенного ОЗУ модуля. В составе `simnode` симуляционный драйвер реализует программный интерфейс `uemnet_api`, в вызовы которого транслирует сообщения протокола

программный модуль `netserver`. Таким образом, программа `simnode` имитирует прикладной сетевой интерфейс модуля БППИ и часть его функций.

В проекте программа `simnode` используется для отладки *прикладного протокола связи* и реализаций `uemnet_api`.

К сожалению, симуляционный драйвер и, соответственно, программа `simnode` не умеют имитировать функциональность БППИ, связанную МКПД, и события на МКПД. При наличии такой возможности программа `simnode` позволяла бы отлаживать прикладное ПО при отсутствии реального модуля БППИ.

Добавление в симуляционный драйвер имитации работы интерфейса МКПД и самого МКПД могло бы быть одним из направлений дальнейшего усовершенствования программного обеспечения модуля БППИ.

D. Целевые платформы ПО БППИ

Серверная часть ПО БППИ представлена программой `uemnode`, и средой ее выполнения является ОС Linux Debian на одноплатной ЭВМ Terasic DE1-SoC.

Остальные компоненты ПО относятся к клиентской части и предназначены для выполнения на следующих платформах:

- ОС Linux, включая Astra Linux,
- ОС Windows, как 64-битные приложения и библиотеки,
- ОС Windows, как 32-битные приложения и библиотеки.

Сборка в ОС Linux выполняется при помощи компилятора `gcc v.6.3+`.

Сборка в ОС Windows выполняется средой и компилятором MS Visual Studio 2013.

В обоих случаях используется генератор проектов CMake [13].

Библиотеки `uemnet_net` и `uem_net` реализованы как динамические: `shared object .so` в ОС Linux, `dynamic link library .dll` в ОС Windows.

Графический интерфейс интерактивной среды `broemnet_net`, так же, как и ранее `broemnet`, реализован с использованием Qt Library [14] v.5.

E. Текущее состояние проекта

На момент публикации настоящей статьи все предусмотренные компоненты ПО БППИ реализованы вчерне (бета-версии) и проходят опытную эксплуатацию. С использованием этого ПО разрабатывается прикладное ПО БППИ, в том числе – тесты аппаратуры БППИ, программы тест-планов КШ и ОУ МКПД, предназначенные для сертификационных испытаний.

На последующие версии запланировано несколько необходимых усовершенствований, в том числе:

- новая реализация *прикладного протокола связи*,
- реализация монопольного и разделяемого режимов доступа к БППИ,
- автоматический поиск в сети устройств БППИ программами на управляющей ПЭВМ,
- информирование о доступности устройства БППИ и установленных с ним клиентских сеансах,

- дальнейшая отладка и устранение ошибок.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представлена и обоснована архитектура программного обеспечения модуля «Блок проверки последовательного интерфейса» (БППИ).

Представлено текущее состояние проекта по реализации этого программного обеспечения.

Намечены планы по дальнейшему усовершенствованию этого программного обеспечения.

Наиболее срочными задачами являются усовершенствования сетевого протокола взаимодействия прикладного ПО с модулем БППИ, а также отладка и исправление ошибок ПО.

В качестве задачи для более перспективных планов предложена задача имитации работы интерфейса МКПД и самого МКПД в программе simnode. Это позволило бы выполнять отладку прикладного программного обеспечения БППИ при отсутствии реального устройства.

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] ГОСТ Р 52070-2003. Интерфейс магистральный последовательный системы электронных модулей. Общие требования. – М.: Госстандарт России. – 2003. – 26 с.
- [2] MIL-STD-1553B NOTICE 4. DIGITAL TIME DIVISION COMMAND/RESPONSE MULTIPLEX DATA BUS. DOD, 1996. – 44 pgs.
- [3] Харин В.А., Демьянов П.Ю., Миронов Н.Ю., Стенькин Е.С. Модуль универсального устройства интерфейса и параметрического тестера МКПД по ГОСТ Р 52070-2003. // Журнал Труды НИИСИ РАН – 2017 – Т. 7 № 2. – С. 61-73.
- [4] Гурьев Д.Е., Лапонина О.Р., Миронов Н.Ю., Демьянов П.Ю. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОДУЛЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО УСТРОЙСТВА И ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ТЕСТЕРА МУЛЬТИПЛЕКСНОГО КАНАЛА ОБМЕНА // Современные информационные технологии и ИТ-образование, [S.l.], v. 14, n. 1, p. 193-212, mar. 2018. ISSN 2411-1473. Доступно на: <<http://sitito.cs.msu.ru/index.php/SITITO/article/view/357>>. Дата доступа: 06 mar. 2026. doi: <https://doi.org/10.25559/SITITO.14.201801.193-212>.
- [5] Hetherington D. The VXIbus: an introduction. // IEE Colloquium on Buses for Instruments: VXI and Beyond. – 1989 – P. 1/1 – 1/3. INSPEC ID: 3406954
- [6] Зайченко С.Н., Перцовский М.И. Новое поколение смешанных и динамических модульных информационно-измерительных и телеметрических систем в стандартах VXI и LXI. // Автоматизация в промышленности. – 2009 – №7 – С. 3-10.
- [7] ФТКС.468269.011 РЭ. НМ-М. Руководство по эксплуатации.
- [8] ФТКС.76902-01 32 01. ДРАЙВЕР НМ. Руководство системного программиста.
- [9] DE1-SoC User Manual. Terasic Technologies, 2015.
- [10] Cyclone V Hard Processor System Technical Reference Manual. Altera Corporation, 2015.
- [11] IEEE Std 802.3 - 2012. IEEE Standard for Ethernet. Clause 22.
- [12] Гурьев Д.Е. Управление приемопередатчиком Ethernet в условиях его тестирования и отладки. International Journal of Open Information Technologies ISSN: 2307-8162 vol. 6, no.4, 2018
- [13] CMake. <http://www.cmake.org>
- [14] Qt Library. <https://www.qt.io/developers/>

The Software for “The Verification Block for The Serial Interface” Device

Dmitry E. Gouriev

Abstract—Digital time division command/response multiplex data bus (MIL-STD-1553B) is used in onboard networks of air- and spacecraft, and in some other circumstances. Goals of design, debugging, and validation of interface devices make strong requirements for testing hardware.

Currently the RC Module company in Russian Federation is designing the new hardware module for testing the interface devices, named as “The Verification Block for The Serial Interface”. This new module has continuity in the main functionality from previous one, referred as UEM-MK. In the same time, the means for interaction with the controlling computer in the new module are designed very different than in the UEM-MK. The new means are based on the Ethernet connection and the TCP/IP protocol stack.

In this connection, there is a need to redesign the software for UEM-MK to make it able to control the new module, - with minimal cost, if possible.

This goal has been achieved by fixing the API and by design and implementation of the application-level connection protocol between the new module and the application software.

The article describes the architecture of the previous module UEM-MK and it’s software, the architecture of the new module, proposes and substantiates the architecture of the software of the new module, represents the current state of the software development project and discusses the further plans.

Keywords—multiplex data bus, MIL-STD-1553B, UEM-MK, Ethernet, TCP/IP, MII, MDIO.

REFERENCES

- [1] GOST R 52070-2003. Interfejs magistral'nyj posledovatel'nyj sistemy jelektronnyh modulej. Obshhie trebovaniya. – M.: Gosstandart Rossii. – 2003. – 26 s. (in Russian)
- [2] MIL-STD-1553B NOTICE 4. DIGITAL TIME DIVISION COMMAND/RESPONSE MULTIPLEX DATA BUS. DOD, 1996. – 44 pgs.
- [3] Harin V.A., Demyanov P.Y., Mironov N.Y., Stenkin E.S. Advanced MIL-STD-1553B multiplex data bus tester and interface module. // Trudy NIISI RAN – 2017 – T. 7 № 2. – S. 61-73. (in Russian)
- [4] Gouriev D.E., Laponina O.R., Mironov N.U., Demyanov P.U. The software of the advanced MIL-STD-1553B multiplex data bus tester and interface module: features and implementation details. // Modern Information Technologies and IT-Education, [S.l.], v. 14, n. 1, p. 193-212, mar. 2018. ISSN 2411-1473. (in Russian) Available at: <<http://sitito.cs.msu.ru/index.php/SITITO/article/view/357>>. Date accessed: 06 mar. 2026. doi: <https://doi.org/10.25559/SITITO.14.201801.193-21>
- [5] Hetherington D. The VXIbus: an introduction. // IEE Colloquium on Buses for Instruments: VXI and Beyond. – 1989 – P. 1/1 – 1/3. INSPEC ID: 3406954
- [6] Zaichenko S.N, Pertsovsky M.I. A new generation of mixed and dynamic modular information-measuring and telemetry systems in the VXI and LXI standards. Automation in industry. 2009; 7:3-10 (in Russian)
- [7] FTKS.468269.011 RE. NM-M. Operating manual. (in Russian)
- [8] FTKS.76902-01 32 01. The Driver of the NM. Systems programmer's manual (in Russian)
- [9] DE1-SoC User Manual. Terasic Technologies, 2015.
- [10] Cyclone V Hard Processor System Technical Reference Manual. Altera Corporation, 2015.
- [11] IEEE Std 802.3 - 2012. IEEE Standard for Ethernet. Clause 22.
- [12] Gouriev D.E. Tools to control an Ethernet transceiver under testing and debugging. // International Journal of Open Information Technologies ISSN: 2307-8162 vol. 6, no.4, 2018
- [13] CMake. <http://www.cmake.org>
- [14] Qt Library. <https://www.qt.io/developers/>