

# АРХИТЕКТУРА СЕТЕВОГО ИНТЕРФЕЙСА SIM-SIM С ПОДДЕРЖКОЙ ПИТАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ МОДУЛЕЙ

В. П. Дашевский<sup>1\*</sup>, В. Ю. Будков<sup>1</sup>

<sup>1</sup> СПИИРАН, Санкт-Петербург, 199178, Российская Федерация

\* Адрес для переписки: [vladimir.dashevsky@gmail.com](mailto:vladimir.dashevsky@gmail.com)

## **Аннотация**

Описаны существующие современные решения связи распределенных модулей систем автоматизации и различных робототехнических комплексов. Предложена архитектура программно-аппаратных средств Sim-Sim, поддерживающая систему приоритетов и прерываний, позволяющая передавать данные и питание по общему коаксиальному кабелю. Архитектура применяется для питания и связи бортовых сенсоров, образующих иерархическую распределенную сенсорную сеть на робототехническом средстве. Приведен сравнительный анализ разработанной архитектуры и современных решений.

## **Ключевые слова**

сетевой интерфейс, сенсорная сеть, электропитание, интернет вещей, роботы.

## **Информация о статье**

УДК 004.71

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 21.09.17, принята к печати 01.12.17.

**Ссылка для цитирования:** Дашевский В. П., Будков В. Ю. Архитектура сетевого интерфейса Sim-Sim с поддержкой питания распределенных модулей // Информационные технологии и телекоммуникации. 2017. Том 5. № 4. С. 25–35.

# NETWORK INTERFACE ARCHITECTURE SIM-SIM WITH POWER SUPPLY OF DISTRIBUTED MODULES

V. Dashevsky<sup>1\*</sup>, V. Budkov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> SPIIRAS, St. Petersburg, 199178, Russian Federation

\* Corresponding author: [vladimir.dashevsky@gmail.com](mailto:vladimir.dashevsky@gmail.com)

**Abstract**—The existing modern communication solutions for distributed modules of automation systems and different robotic complexes are described. The firmware architecture of network interface

Sim-Sim is proposed, which supports a system of priorities and interrupts that allows devices to transmit data and power over a common coaxial cable. The architecture is used to power and communicate on-board sensors that form a hierarchical distributed sensor network on a robotic device. The comparative analysis of the developed architecture and modern solutions is given.

**Keywords**—Network interface, sensor network, power supply, Internet of things, robots, cyberphysical systems.

#### **Article info**

Article in Russian.

Received 21.09.17, accepted 01.12.17.

**For citation:** Dashevsky V., Budkov V.: Network interface architecture Sim-Sim with power supply of distributed modules // Telecom IT. 2017. Vol. 5. Iss. 4. pp. 25–35 (in Russian).

## **Введение**

Современные систем автоматизации и различные робототехнические системы требуют подключения большого количества различных датчиков и управления актуаторами в режиме реального времени [1, 2, 3, 4]. Традиционный способ реализации, при котором все устройства напрямую подключены к системе управления, требует прокладки большого количества проводов, сложных схем подключения для снятия точных показаний с датчиков, уменьшает максимальную частоту циклов управления исполнительными устройствами. Появление недорогих и мощных микроконтроллеров позволило изменить подход к созданию таких систем. Передающие измерительные преобразователи, в которых показания датчика снимаются микроконтроллером, установленным рядом с ним, отправляют в систему управления данные в цифровом виде. Микроконтроллерная система может производить калибровку датчиков, предварительную обработку и выборку данных, определять нештатные ситуации, сохранять лог с данными в случае потери связи с центральным контроллером. Исполнительные устройства также оснащаются локальной системой управления, которая может работать в полуавтономном режиме, принимая высокоуровневые команды от центрального контроллера. Но стандартные интерфейсы, применяемые для организации связи в цифровых системах, не универсальны и имеют ряд параметров, которые могут ограничивать их применение при создании таких систем.

### **1 Обзор существующих сетевых интерфейсов распределенных модулей**

Рассмотрим наиболее распространенные интерфейсы связи между устройствами. Интерфейс RS-232 предназначен для организации соединения только точка-точка, имеет низкую скорость передачи данных, ограничен по длине соединения и не может обеспечить питанием подключенные устройства. В отличие от него интерфейс RS-485, обладает большей защищенностью от помех и позволяет строить магистраль из многих устройств. К недостаткам реализации на RS-485 можно отнести проблему с питанием устройств, проблему поиска неисправности в магистрали, например, короткого замыкания, и отсутствие стандартного механизма предотвращения коллизий в магистрали. Для избегания

конфликтов магистраль должна управляться центральным арбитром, который сам ведет опрос магистрали. В общем случае невозможно вести такой опрос эффективно, поскольку арбитр не знает заранее, кого необходимо опрашивать. Обеспечение питанием модулей может осуществляться как с применением дополнительных проводов, так и по проводам, используемым для передачи данных. Компания TI предлагает решение на стандартных модулях SN65HVD96<sup>1</sup>. Но, так как модули принимают дифференциальное напряжение, а конденсаторы убирают постоянную составляющую, то разница между линиями может стать меньше порогового значения определения единицы, и стандартная схема включения передатчика напрямую в линию не будет работать. Поэтому для передачи данных была предложена схема реализации трехуровневого передатчика на двух модулях и одном D-триггере, при этом в качестве приемника используется один модуль SN65HVD96. Стандарт CAN был разработан для организации надежного взаимодействия между оборудованием на транспортных средствах без использования главного сервера. К достоинствам данного стандарта можно отнести встроенные системы контроля ошибок и арбитража доступа к шине. Стандарт поддерживает различные топологии в виде шины, звезды или их комбинации. В стандарте описан формат используемых фреймов, но он не регламентирует высокоуровневые протоколы, что позволяет удобно реализовывать передачу любой информации. В качестве недостатков можно выделить отсутствие стандартных механизмов управления потоком и адресации устройств, но при этом существует большое количество специализированных высокоуровневых протоколов, которые решают эти задачи. Также к недостаткам можно отнести небольшое количество данных в одном пакете – до 8 байт при общем его размере до 16. В стандарте нет описания возможности передачи питания, но существуют решения, которые позволяют это делать. Например, работа [5] посвящена организации передачи питания по линиям данных в автомобильной CAN-шине для экономии места и упрощения соединения между цифровыми блоками управления. Решение представляет собой реализацию питания по линиям данных в рамках стандарта в IEEE P802.3bv для кабелей с витой парой между CAN-устройствами. В CAN используются униполярный код без возврата к нулю (NRZ) который включает в себя в основном постоянную составляющую, поэтому в такой реализации невозможно передавать энергию потребителям по проводам с данными. Для передачи питания предлагается использовать биполярный AMI код, поскольку коды AMI-NRZ не включают компоненты постоянного тока. Проведенная симуляция и реальные эксперименты показали, что предложенная система может обеспечить одновременную передачу данных и постоянного питания по одной паре проводов.

Стандарт USB предоставляет более высокую скорость передачи данных по шине, но у него также имеется ряд недостатков, которые ограничивают его использования в данной области. Количество устройств на одной шине ограничено 127, длина кабеля ограничена 5 метрами в случае использования без повторителей/усилителей. Также стандарт полностью описывает физический уровень шины, включая механическую часть. Предлагаемые варианты соединений не имеют фиксирующих механизмов и герметичных исполнений, а также обла-

---

<sup>1</sup> Using SN65HVD96 to Create a Power-Over-Data and Polarity Immunity Solution. URL: <http://www.ti.com/lit/an/slla336/slla336.pdf>

дают большими размерами. При этом шина позволяет подавать питание от нее на устройства, но максимальная мощность потребителя ограничена 7,5 Вт, а для USB 3.0 до 100 Вт в новом стандарте USB power delivery [6].

Протокол Ethernet потенциально является наиболее удобным и расширяемым интерфейсом. Он обладает пропускной способностью до 100 Гб/с, дальность до 100 метров. В качестве физического средства соединения устройств может использоваться коаксиальный кабель, но современные реализации Ethernet сводятся к применению соединений с помощью 8 жильной витой пары, что требует установки концентраторов и построения топологии типа звезда. Также в настоящее время существует несколько стандартов на передачу питания в Ethernet (PoE)<sup>2</sup>. Напряжение в линию может подаваться как с помощью оконечных устройств, так и встраиваемых непосредственно в линию. При этом питания может передаваться по проводам как используемым для передачи данных в 100BASE-TX или 10BASE-T, так и по не свободным парам. Питающее устройство (PSE) может поддерживать любой из вариантов передачи, а приемное устройство обязано поддерживать оба. Также PSE перед началом работы должно проверять поддерживает ли оконечное устройство PoE. В последнем разрабатываем стандарте мощность доступная для потребителя может достигать до 71 Вт при напряжении от 41 до 52 В. Основным недостатком данного интерфейса являются относительно большой размер разъема, который не приемлем при создании миниатюрных датчиков в распределенной сенсорной сети.

Также существует большое количество работ, посвященных разработке открытых, некоммерческих систем. Например, работа [7] посвящена описанию проекту FlexSEA, направленного на разработку программно-аппаратной архитектуры в основном для носимых робототехнических устройств. Предложенная многоуровневая архитектура состоит из трех основных модулей: 1) FlexSEA-Plan – встраиваемый вычислительный модуль с ОС на базе Linux, применяемый для запуска высокоуровневых приложений и требовательных к вычислениям алгоритмов; 2) FlexSEA-Manage, отвечающий за коммуникацию между модулями, предоставляющий интерфейс доступа к сети для FlexSEA-Plan, и может использоваться как самостоятельный сервер, если не требуется высокопроизводительных вычислений; 3) FlexSEA-Execute – исполнительный модуль, к которому могут подключаться электромоторы и тензодатчики, и который имеет набор встроенных сенсоров: температуры, тока и IMU. Основной интерфейс связи – RS-485 с использованием специализированного протокола передачи данных. Таким образом, решение позволяет создавать законченные робототехнические системы, но не решает проблему прокладки кабелей питания и имеет ограниченную скорость передачи данных. Однако полная открытость системы позволяет адаптировать ее для своих требований.

Также существуют коммерческие решения, позволяющие использовать линии питания в качестве среды передачи данных. Компания Yamar предлагает большой выбор интегральных схем для передачи информации с использованием различных стандартов, таких как CAN, UART, SPI<sup>3</sup>. Применение таких систем

---

<sup>2</sup> IEEE 802.3-2015. IEEE Standard for Ethernet. URL: <https://standards.ieee.org/findstds/standard/802.3-2015.html>

<sup>3</sup> Yamar Electronics. URL: <http://yamar.com>

позволяет уменьшить общее число проводов, но для реализации системы связи необходимо разрабатывать высокоуровневые протоколы.

## **2 Предлагаемая программно-аппаратная реализация сетевого интерфейса с поддержкой питания распределенных модулей**

Учитывая существующие современные решения, была предложена оригинальная архитектура модулей приёмо-передачи данных с поддержкой подачи питания по каналу связи. В разработанной архитектуре программные средства подразделяются на следующие категории:

1) Прикладное программное обеспечение отвечает за реализацию функций, доступных конечному пользователю через прикладной сервис. Прикладные программы соединяются с сервером, посредством которого могут управлять актуаторами, считывать показания датчиков или получать информацию о каких-либо событиях в сети.

2) Сервер отвечает за реализацию объектной модели системы. Объектная модель описывается формализованным языком, который используется прикладными программами для формирования запросов к серверу. Сервер транслирует эти команды в атомарные инструкции, которые передаются на уровень драйверов.

3) Back-end драйверы реализуют трансляцию команд сервера в команды конечных устройств и передают их в соответствии с протоколами управления конкретным оборудованием. Драйверы освобождаются от полной поддержки объектной модели системы и реализуют ее лишь частично, в зависимости от свойств конечного оборудования. Это позволяет использовать любое оборудование, реализовав соответствующий back-end модуль.

Общая архитектура модулей приемо-передачи и связи между ними представлена на рис. 1. В предлагаемой архитектуре канал связи используется для подачи питания. Основными компонентами приемо-передающего модуля являются генератор несущей частоты, фильтры на переменную составляющую сигнала (данные) и постоянную (питание). Передача питания осуществляется по постоянной составляющей напряжения, а данных по переменной. Высокая несущая частота передачи данных позволяет выделить полезный сигнал на основе фильтров небольшого размера. Десятипиновый разъем модуля используется для подключения внешних устройств, находящихся в сети, и имеет входы/выходы для подачи внешнего питания до 48 В.

В проведенных экспериментах в качестве опытного образца приемо-передающего модуля использовалась схема на основе детекторного приемника. По UART интерфейсу модуль подключался к двум компьютерам для передачи данных между ними, а в качестве потребителя электропитания использовался сервопривод (12 Вт). Несущая частота составляла 50 МГц, а модулирующая 57,2 кГц.

В результате для установки системы достаточно одного тонкого коаксиального кабеля. Он имеет широчайшую номенклатуру исполнений под разные условия применения, технологичен в монтаже и обслуживании – всего одна центральная жила. Используется специализированный инструмент для обжима и существует большое количество видов разъёмов с резьбовыми соединениями. При этом модули развязаны по переменной составляющей, которая использует

ся для передачи данных, для повышения общей пропускной способности шины и улучшению соотношения сигнал-шум.

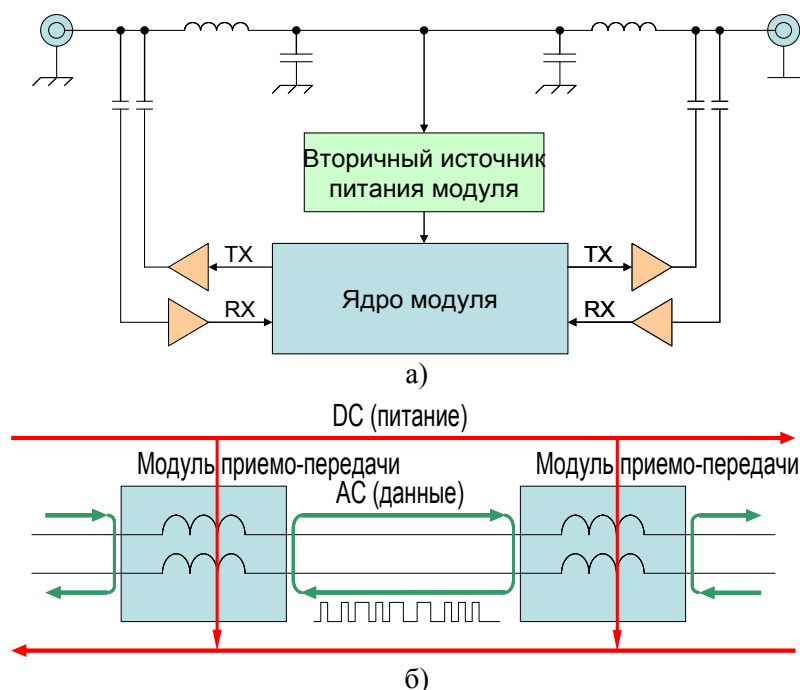


Рис. 1. Разработанная архитектура: а) модуль приемника-передатчика б) шина

При такой архитектуре связи каждый узел является также ретранслятором для соседних узлов, что позволяет делать длинные сегменты кабеля между соседними узлами. Также это позволяет легко выявлять проблемы с кабельной системой, поскольку магистраль можно разрывать в любом месте, размыкая штатные разъёмы. При этом локализация проблемы в значительной степени доступна на программном уровне.

На рис. 2 приведена общая структура программно-аппаратных средств с различными вариантами топологии сети с основными модулями. В системе можно выделить четыре основных типа модулей. Ведущий TCP/IP сервер – основной сервер, через который аппаратные интерфейсы получают доступ к сетям TCP/IP. На ведущей серверной машине установлено системное ПО, которое обеспечивает доступ прикладных приложений к устройствам, объединенным в сеть Sim-Sim. Использование TCP/IP позволяет развязать платформу сервера и прикладного ПО (операционная система, среда проектирования и язык разработки). Ведомый сервер – это сервер, включенный в подчинении к другому серверу для того, чтобы прикладное ПО могло работать с одним главным сервером. Он реализуется в виде специального back-end драйвера. По своей сути драйвер довольно прост, он транслирует команды главного сервера подчиненному серверу, но только в том случае, когда они адресованы в управляемую им информационную магистраль. Смысл подчиненного сервера заключается в удобстве администрирования системы, если она территориально распределена между разными зданиями. Подчиненные сервера стоят удаленно и непосредственно управляют оборудованием, а главный сервер позволяет прикладным программам управлять оборудованием через одно единственное соединение.

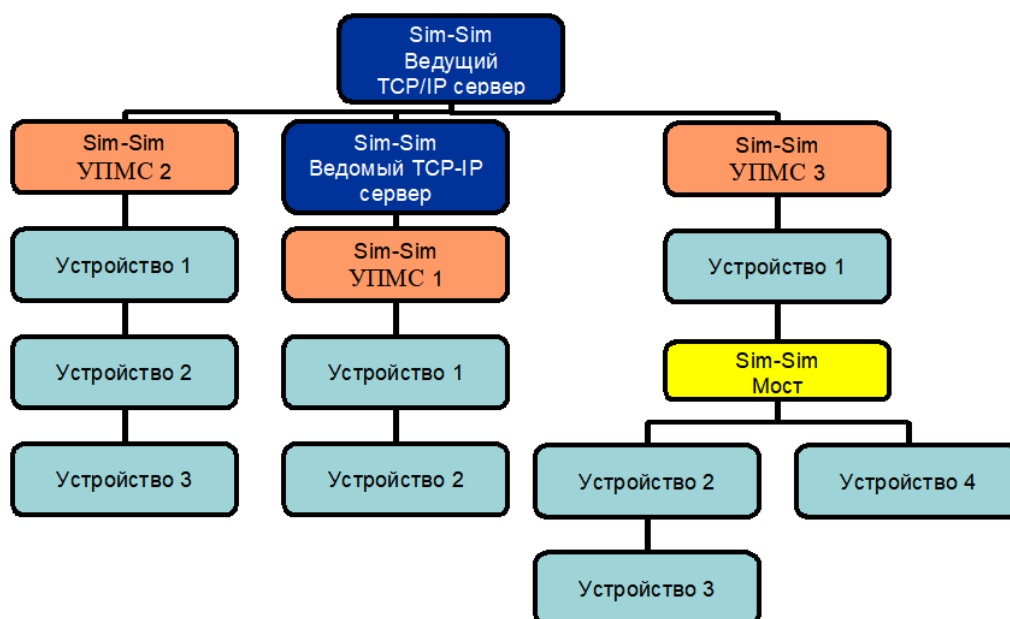


Рис. 2. Общая структура программных и аппаратных средств

Наиболее простая схема соединений – набор последовательно соединенных устройств, подключенных к компьютеру через УПМС (первая ветвь на рис. 2). Сервер нумерует все устройства в цепи и дает возможность обращаться к ним прикладным приложениям. Другой способ подключения – через ведомый сервер (вторая ветвь на рис. 2). Такой вариант организации сети может использоваться, когда шины разделены большим расстоянием, но должны быть представлены в одном адресном пространстве. В таком случае ведущий сервер работает как прокси и перенаправляет все запросы от клиентского ПО на ведомый сервер, работающий как виртуальный контроллер шины. На третьей ветви на рис. 2 показана еще одна возможность организации сети – использование моста. Он позволяет разделить основную шину на мелкие сегменты для уменьшения общей длины проводов и ускорения получения данных от устройств за счет распараллеливания запросов.

Устройство подключения магистрали считывателей (УПМС), схема которого показана на рис. 3, осуществляет взаимодействие магистрали с ЭВМ путем использования одного из стандартных интерфейсов ЭВМ, таких как Ethernet или USB. Оно обеспечивает передачу и прием информационных пакетов, а подачу питания в магистраль до 150 Вт. Так как в общем случае питание магистрали может потребовать значительной мощности, УПМС должно осуществляться отдельно от питания самой ЭВМ. Устройство управляется напрямую Sim-Sim сервером, который направляет полученную информацию прикладному ПО через TCP-IP. Также устройство может быть самостоятельным сервером.

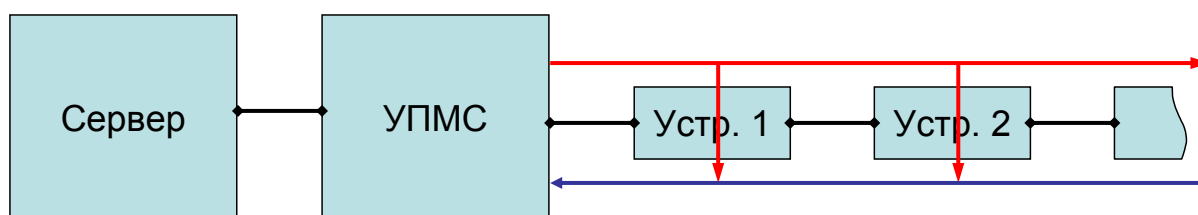


Рис. 3. Схема устройства подключения магистрали считывателя

Мост – это устройство, обеспечивающее сразу несколько функций. Его схема представлена на рис. 4. На сигнальном уровне мосты обеспечивают разделение магистрали на сегменты с целью уменьшения длины кабеля между терминаторами, уменьшения количества абонентов в отдельном сегменте. Мосты обеспечивают буферизацию данных при переходе из одного сегмента магистрали в другой. Мосты также имеют свой собственный адрес и могут управляться от центральной ЭВМ. Кроме информационных функций, мосты контролируют потребление энергии в подчиненных им сегментах магистрали, осуществляют защиту от короткого замыкания. В случае, если в отдельно взятом сегменте возникает короткое замыкание, ближайший к нему мост отключает его питание и сообщает об этом центральной ЭВМ. Мосты также могут быть автономными устройствами, выполняющими функции обработки, хранения информации и индикации состояния подчиненного им сегмента магистрали.

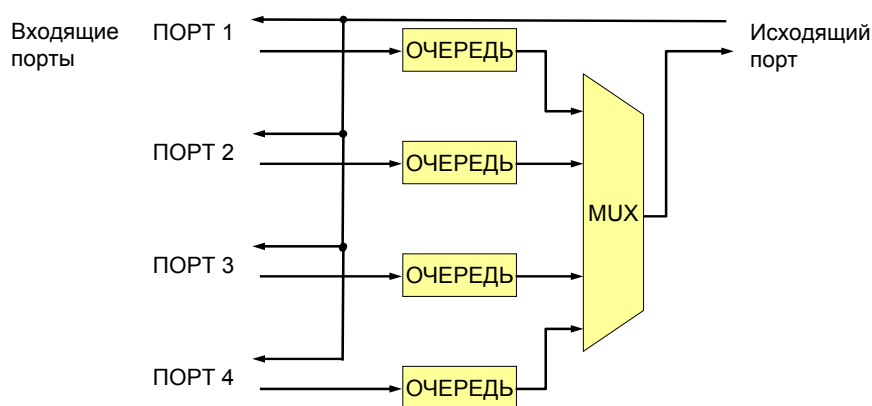


Рис. 4. Схема мостового устройства

В таблице приведены сравнительные характеристики различных сетевых интерфейсов, применяемых для организации связи между устройствами. Интерфейс RS-485 ограничен по максимальному количеству устройств в сети, не имеет встроенных механизмов арбитража и адресации данных, а также в случае возникновения неисправности в кабеле не позволяет быстро выявить ее местоположение. USB интерфейс ограничен по количеству устройств в одной шине, имеет ограниченную максимальную длину кабеля без повторителей, и неудобные для промышленного использования разъемы. Ethernet также имеет крупные разъемы, требует прокладки большого количества проводов и имеет большие размеры приемо-передающих модулей. Однако оба этих интерфейса обладают большой скоростью передачи данных и поддерживают возможность подачи питания.

Таблица.

Сравнительная таблица характеристик сетевых интерфейсов

|                         | RS-232      | RS-485            | CAN  | USB                       | Ethernet     | Sim-Sim              |
|-------------------------|-------------|-------------------|------|---------------------------|--------------|----------------------|
| Топология               | Точка-точка | Точка-точка, шина | Шина | Дерево                    | Звезда       | Daisy chain          |
| Максимальное количество | 2           | От 32             | 30   | До 127 с учётом хабов при | Более 4 млрд | До 127 в одной ветви |



|  | RS-232  | RS-485  | CAN  | USB  | Ethernet  | Sim-Sim  |
|--|---|---|--|--|---|--|
| устройств  |   |   |  | высоте<br>дерева не<br>более 8   |   |  |
| Длина<br>соедине-<br>ния, м                        | 15  | 1000  | 40   | 5  | 100   | 100  |
| Скорость<br>передачи<br>данных                     | 56 кб/с   | 50 МБ/с   | до 1 Мб/с  | до 10 Гб/с   | до 100 Гб/с   | до 200 Мб/с<br>между<br>локальны-<br>ми устрой-<br>ствами                      |
| Тип<br>разъема                                     | DB-25   | Не опреде-<br>лен стан-<br>дартом   | Не опреде-<br>лен основ-<br>ным стан-<br>дартом,<br>но есть<br>в других,<br>основан-<br>ных на нем | Несколько<br>видов стан-<br>дартных<br>разъемов  | RJ-45   | Разновид-<br>ности SMA   |
| Макси-<br>мальная<br>мощность<br>потребите-<br>лей | Не поддер-<br>живает пе-<br>редачу пи-<br>тания | Не под-<br>держивает<br>передачу<br>питания   | Не под-<br>держивает<br>передачу<br>питания  | до 100   | до 150  | до 150   |
| Арбитраж в<br>сети и раз-<br>решение<br>коллизий   | Нет   | Нет   | Есть   | Нет необ-<br>ходимости   | Есть  | Есть   |
| Управле-<br>ние прио-<br>ритетом<br>пакетов        | Нет   | Нет   | Да   | Да   | Да  | Да   |
| Напряже-<br>ние, В                                 | + -12   | -7-12   | 5, 3.3   | 5 данные,<br>5, 9, 15, 20<br>питание   | 48  | 5-48   |
| Среда<br>передачи<br>данных                        | Много-<br>жильный<br>кабель                     | Витая пара<br>(полу-<br>дуплекс) или<br>2 (полный<br>дуплекс)<br>для данных<br>отдельный<br>провод для<br>питания | Витая пара<br>для данных<br>отдельный<br>провод для<br>питания                                     | 1-5 витых<br>пар для<br>данных и<br>отдельные<br>проводники<br>в том же<br>кабеле для<br>питания | 2-4 витых<br>пар для<br>данных и<br>для пита-<br>ния одно-<br>временно<br>или коак-<br>сиальный<br>кабель для<br>данных и<br>отдельный<br>провод для<br>питания | Коаксиаль-<br>ный кабель<br>для данных<br>и для пита-<br>ния одно-<br>временно |

Интерфейс CAN предназначен для создания промышленной автоматизации, но он ограничен по возможностям ветвления сети и максимальной скорости передачи данных. Предлагаемый интерфейс Sim-Sim позволяет подобрать разъем под требуемые задачи, обладает небольшими размерами приемопередающего модуля, имеет возможность позволяет быстро находить неис-

правности в сети. Использование мостов позволяет ускорять опрос шины за счет возможности распараллеливания запросов. Таким образом, предложенное решение обладает требуемым набором характеристик для организации большинства сенсорных сетей, но наиболее подходящим для него является применение для сильно разветвленных сетей с большим количеством датчиков, требующих внешнего питания, и малым трафиком [8, 9, 10].

### Заключение

Рассмотрены существующие современные решения связи распределенных модулей систем автоматизации и различных робототехнических комплексов. Задача соединения распределенных модулей осложняется, тем что сбор данных в сложных системах производится с тысячи и более сенсоров и актуаторов, обеспечивая соблюдение приоритетов при передаче данных в режиме реального времени. При этом необходимо минимизировать время получения сигнала от объектов в центральной системе управления. Среди недостатков существующих сетевых интерфейсов выявлены: сложность нахождения мест короткого замыкания и нарушения связности сети, также как правило используются достаточно крупные разъемы.

Предложена архитектура программно-аппаратных средств Sim-Sim, поддерживающая систему приоритетов и прерываний, позволяющая передавать данные и питание по общему коаксиальному кабелю, разъемы которого имеют небольшие размеры. Архитектура применяется для питания и связи бортовых сенсоров, образующих иерархическую распределенную сенсорную сеть на робототехническом средстве. Приведенный сравнительный анализ разработанной архитектуры с современными сетевыми интерфейсами показал преимущество Sim-Sim в сетях, обладающих высокой связностью и разветвленностью с небольшим информационным потоком.

### Литература

1. Базванов А. А., Гавриленко А. Б. Применение разработанной интерфейсной платы для сопряжения блоков мобильного робота // Гироскопия и навигация. 2006. № 2 (53). С. 104.
2. Ивин А. Г., Михальченко Д. И. Высокопроизводительная модульная многопоточная система обмена данными для робототехнических комплексов // Информационные технологии и телекоммуникации. 2017. Т. 5. № 2. С. 74–84.
3. Дмитриев В. Н., Сорокин А. А., Тушнов А. С., Аксёнов В. Ю. Повышение эффективности систем управления жизнеобеспечением зданий за счет использования сетевых датчиковых устройств // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2014. № 2. С. 58–66.
4. Кучерявый Е. А., Молчанов Д. А., Петров В. И. Открытые исследовательские задачи и возможные приложения для сетей связи терагерцового диапазона частот // Информационные технологии и телекоммуникации. 2017. Т. 5. № 1. С. 54–67.
5. Matsushita T., Umehara D., Wakasugi K. Poster: Power over data lines for CAN using AMI code // IEEE Vehicular Networking Conference (VNC). 2016. pp. 1–2.
6. Carmo J. P., Antunes J., Silva M. F., Ribeiro J. F., Goncalves L. M., Correia J. H. Characterization of thermoelectric generators by measuring the load-dependence behavior // Measurement. 2011. Vol. 44. № 10. pp. 2194–2199.
7. Duval J. F., Herr H. M. FlexSEA: Flexible, Scalable Electronics Architecture for wearable robotic applications // 2016 6th IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechanics (BioRob). 2016. pp. 1236–1241.

8. Левоневский Д. К., Ватаманюк И. В., Савельев А. И. Многомодальная информационно-навигационная облачная система МИНОС для корпоративного киберфизического интеллектуального пространства // Программная инженерия. 2017. Т. 8. № 3. С. 120–128.
9. Денисов А. В., Яковлев Р. Н. Методы обеспечения устойчивости перемещения антропоморфного робота на основе обратного маятника // Завалишинские чтения. 2017. С. 227–231.
10. Ронжин А. Л., Дашевский В. П., Бизин М. М. Технологические основы управления парными соединениями в рое модульных роботов // 10-я Всероссийская мультиконференция: «Робототехника и мехатроника» (РиМ). 2017. С. 306–308.

### References

1. Bazvanov A., Gavrilenko A. Application of the Developed Interface Board for Interfacing the Blocks of the Mobile Robot // Gyroscopy and Navigation. 2006. No. 2 (53). pp. 104.
2. Ivin A., Mihalchenko D.: High-Performance Modular Multithreading Communication System for Robots // Telecom IT. 2017. Vol. 5. Iss. 2. pp. 74–84 (in Russian).
3. Dmitriev V., Sorokin A., Tushnov A., Aksenov V. Improving the Effectiveness of Control of Life Support Systems of Buildings based on Sensor Networks // Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics. 2014. No. 2. pp. 58–66.
4. Koucheryavy Y., Molchanov D., Petrov V.: Open Research Problems and Possible Applications for Therahertz Band Wireless Networks // Telecom IT. 2017. Vol. 5. Iss. 1. pp. 54–67 (in Russian).
5. Matsushita T., Umehara D., Wakasugi K. Poster: Power over data lines for CAN using AMI code // IEEE Vehicular Networking Conference (VNC). 2016. pp. 1–2.
6. Carmo J. P., Antunes J., Silva M. F., Ribeiro J. F., Goncalves L. M., Correia J. H. Characterization of thermoelectric generators by measuring the load-dependence behavior // Measurement. 2011. Vol. 44. No. 10. pp. 2194–2199.
7. Duval J. F., Herr H. M. FlexSEA: Flexible, Scalable Electronics Architecture for wearable robotic applications // 2016 6th IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechanics (BioRob). 2016, pp. 1236–1241.
8. Levonevsky D., Vatamanuk I., Savelev A. MINOS Multimodal Information and Navigation Cloud System for the Corporate Cyber-Physical Smart Space // Programmная ingeneriya. 2017. Vol. 8. No. 3. pp. 120–128.
9. Denisov A., Yakovlev R. Methods for ensuring the stability of the movement of anthropomorphic robots on the basis of an inverse pendulum // Zavalishin's Readings. 2017. pp. 227–231.
10. Ronzhin A., Dashevskiy V., Bizin M. Technological fundamentals of interface management in a swarm of modular robots // 10th All-Russian Multicoference: «Robotics and Mechatronics» (RaM). 2017. pp. 306–308.

#### ***Дашевский Владимир Павлович***

– кандидат технических наук, старший научный сотрудник, СПИИРАН, Санкт-Петербург, 199178, Российская Федерация, vladimir.dashevsky@gmail.com

#### ***Будков Виктор Юрьевич***

– кандидат технических наук, старший научный сотрудник, СПИИРАН, Санкт-Петербург, 199178, Российская Федерация, budkov@iias.spb.su

#### ***Dashevsky Vladimir***

– Candidate of Engineering Sciences, Senior Research Officer, SPIIRAS, St. Petersburg, 199178, Russian Federation, vladimir.dashevsky@gmail.com

#### ***Budkov Viktor***

– Candidate of Engineering Sciences, Senior Research Officer, SPIIRAS, St. Petersburg, 199178, Russian Federation, budkov@iias.spb.su