

УДК 621.3

DOI: 10.46548/21vek-2021-1056-0017

## РАЗРАБОТКА ШИНЫ ITBUS ПОВЫШЕННОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ НА ФИЗИЧЕСКОМ УРОВНЕ

© 2021

**Трубицков Сергей Владимирович**, кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры "Прикладная информатика"

**Ремонтов Андрей Петрович**, кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой "Прикладная информатика"

*Пензенский государственный технологический университет*

(440039, Россия, Пенза, пр. Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11, e-mails: sv\_trubitskoi@mail.ru, remontov@mail.ru)

**Аннотация.** Предложено обоснованное техническое решение физического уровня протокола *ITBUS* (*Infrared Transport Bus*). Разработан ряд важных дополнений стандарта *IrDA FIR*, стандарта передачи данных с использованием направленного полудуплексного последовательного инфракрасного канала. Обоснованы отличия и важные дополнения *ITBUS* на *PHY* – уровне от стандарта *IrDA FIR*. Предложено изменение топологии сети заключающиеся в физическом соединении точка-точка. Поддерживается шинная топология с соединениями типа точка-точка и точка-многоточка. *PHY*-уровень является частью общего стека *ITBUS*, состоящего из уровней: *PHY*, *LAP*, *CMD*. Разработаны детали аппаратно-программной реализации *PHY*-уровня *ITBUS* на ПЛИС и МК. Передача данных посредством последовательного ИК-канала поддерживается на расстоянии (длина оптического линка) до ~ 10 см (зависит от требуемого уровня битовых ошибок *Bit Error Rate*, *BER*), с установлением устойчивого соединения между двумя независимыми узлами (абонентами). Преобразование электрических импульсов в оптические (передача, *TX*) и обратно (прием, *RX*) реализуется с помощью ИК-приемопередатчика. Передача осуществляется путем включения/выключения передающего светодиода ИК-диапазона, прием – путем измерения тока смещения принимающего фотодиода ИК диапазона. Установленное соединение ограничено зоной прямой видимости и чувствительно к чистоте оптической среды между двумя узлами. Канал связи – полудуплексный: в каждый момент времени только один из двух узлов может передавать данные, а другой – принимать.

**Ключевые слова:** *Infrared Transport Bus* (инфракрасная шина передачи данных); физический уровень протокола передачи данных; задачи управления промышленными объектами.

## CALCULATION OF THE ITBUS BUS BANDWIDTH AT THE PHYSICAL LEVEL

© 2021

**Trubitskov Sergey Vladimirovich**, candidate of technical sciences, associate professor,  
associate professor of the department of applied informatics

**Remontov Andey Petrovich**, candidate of technical sciences, associate professor,  
head of the department of applied informatics

*Penza State Technological University*

(Russia, Penza, 440039, Baydukov Pr./Gagarin St., 1a/11, e-mails: sv\_trubitskoi@mail.ru, remontov@mail.ru)

**Abstract.** The technical description of the physical layer of the *ITBUS Protocol* (*Infrared Transport Bus*) and a number of important additions of the *IrDA FIR* standard aiming at data transmission using a targeting half-duplex serial infrared channel are considered in the article. The main points of differences and a number of important *ITBUS* additions at the *PHY* level from the *IrDA FIR* standard are shown. The main difference is in the network topology: in addition to the physical point-to-point connection the bus topology with point-to-point and multipoint connections is supported. The *PHY* level is a part of the total *ITBUS* stack consisting of the following levels: *PHY*, *LAP*, *CMD*. Some specifics of hardware and software implementation of the *ITBUS PHY*-level on the basis of *FPGA* and *MK* are described. Data transmission via a serial *IR* channel is kept at a distance (optical link length) up to ~ 10 cm (it depends on the required *Bit Error Rate*, *BER*) providing a stable connection between two independent nodes (subscribers). The conversion of electrical pulses into optical ones (*TX*, transmission) and vice versa (*RX*, reception) is realized by means of a *T-R* device. The transmission is carried out by turning on/off the transmitting *IR* of the *T-R* device, the reception is carried out by measuring the bias current of the receiving photodiode of the *IR* range. This connection is limited by the line of sight and is sensitive to the purity of the optical medium between two nodes. The communication channel is half – duplex: at any given time, only one of two these nodes can transmit data and the other one can receive it.

**Keywords:** *Infrared Transport Bus*, physical layer of data transmission protocol, management tasks of industrial facility.

**Введение.** Решение задачи импортозамещения предполагает локализацию передовых сетевых технологий на базе ведущих отечественных производителей оборудования автоматизированного контроля и управ-

ления для построения АСУ ТП любой сложности. Предложенные технические решения предназначены для программно-технических и измерительно-вычислительных комплексов, промышленных панельных

компьютеров и коммуникационного оборудования.

В практике часто возникают нестандартные задачи, связанные с необходимостью осуществлять управление промышленными объектами, находящимися в неблагоприятных условиях внешнего окружения, что в свою очередь обуславливает необходимость реализации шины передачи данных в нестандартной конфигурации и при условии обеспечения гальванической развязки.

**Материалы и результаты исследования.** Одним из путей решения данной задачи является использование оптической среды для передачи данных (*Infrared Transport Bus* (инфракрасная шина передачи)) протокола *ITBUS*, предназначенного для передачи данных с использованием направленного полудуплексного последовательного инфракрасного канала физического уровня (*PHY*) на скорости 4 Мбит/с.

Главное отличие и ряд важных дополнений *ITBUS* на *PHY*-уровне от стандарта *IrDA FIR* проявляется в топологии сети: кроме физического соединения точка-точка, поддерживается шинная топология с соединениями типа точка-точка и точка-многоточка.

В *ITBUS* шина реализована путем использования двух интерфейсов в каждом узле и объединения узлов в единую цепочку, протокол модуляции и демодуляции ИК приемопередатчика и детали аппаратно-программной реализации *PHY*-уровня *ITBUS* выполнены на ПЛИС и МК (рис. 1). Один из двух интерфейсов узла обслуживает часть шины слева от узла, другой – справа от узла. *PHY*-уровень является частью общего стека *ITBUS*, состоящего из уровней: *PHY*, *LAP*, *CMD* (в порядке возрастания иерархии), что повышает мощность интерфейса оптической среды [1-3].

Передача данных посредством последовательного ИК-канала поддерживается на расстоянии (длина оптического линка) до ~ 10 см (зависит от требуемого уровня битовых ошибок *Bit Error Rate*, *BER*), с установлением устойчивого соединения между двумя независимыми узлами (абонентами). Преобразование электрических импульсов в оптические (передача, *TX*) и обратно (прием, *RX*) реализуется с помощью ИК приемопередатчика. Передача осуществляется путем включения/выключения передающего светодиода ИК диапазона, прием – путем измерения тока смещения принимающего фотодиода ИК диапазона. Установленное соединение ограничено зоной прямой видимости и чувствительно к чистоте оптической среды между двумя узлами. Канал связи – полудуплексный: в каждый момент времени только один из двух узлов может передавать данные, а другой – принимать.

В протоколе *ITBUS* используется принятая в стан-

дарте *IrDA FIR* схема модуляции *4PPM*. Согласно *4PPM*, каждые два бита передаваемых данных объединяются в так называемую «битовую пару» (*data bit pair*; *DBP*). Каждой битовой паре ставится во взаимно-однозначное соответствие так называемый «*4PPM*-символ» (*4PPM data symbol*, *DD*). Символ состоит из 4-х «чипов» (*chips*). Только один из 4-х чипов, составляющих символ, содержит оптический импульс (короткая вспышка передающего светодиода ИК-приемопередатчика). Номинальная длительность оптического импульса равна длительности чипа и составляет 125 нс [4-7].

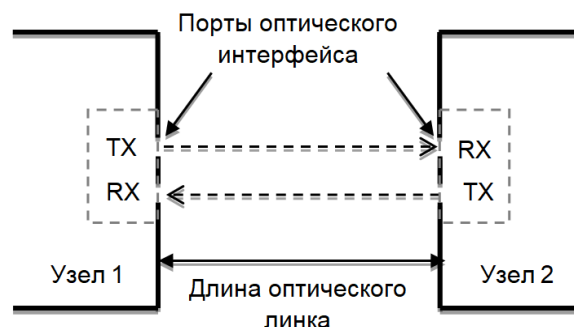


Рисунок 1 – Схема физического соединения точка-точка между двумя узлами *ITBUS*

Чип «1» соответствует оптическому импульсу (передающий светодиод излучает), чип «0» – отсутствию оптического импульса (передающий светодиод выключен). Кодирование данных *DBP*→*DD* для передачи осуществляется побайтно, начиная с младшей битовой пары каждого байта. Каждый кодированный *4PPM*-символ передается в оптический линк, начиная со старшего чипа (табл. 1).

Таблица 1 – Соответствие между битовой парой и *4PPM*-символом

Битовая пара (DBP)	<i>4PPM</i> -символ (DD)
00	1000
01	0100
10	0010
11	0001

*ITBUS* в отличие от стандарта *IrDA FIR* поддерживает топологию сети «шина» на *PHY*-уровне, в дополнение к базовому соединению точка-точка. Благодаря поддержке шинной топологии сети, реализуются соединения как типа точка-точка, так и типа точка-многоточка между различными узлами сети.

В *ITBUS* шина реализована путем использования двух интерфейсов в каждом узле и объединения узлов в единую цепочку. Один из двух интерфейсов узла обслуживает часть шины слева от узла, другой – справа от узла (рис. 2).

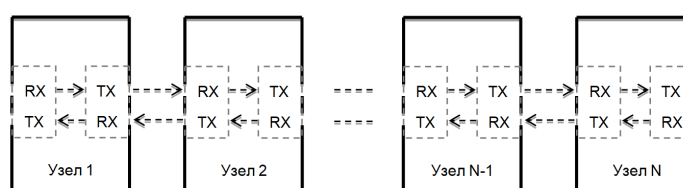


Рисунок 2 – Типичная топология сети *ITBUS*-шина

Шинная топология поддерживается за счет реализации режима «прозрачности», или ретрансляции, узлов. Когда режим прозрачности выключен, только соседние (смежные) узлы сети могут обмениваться данными на *PHY*-уровне, реализуя соединение точка-точка, как и в стандарте *IrDA FIR*. Включение режима прозрачности на выбранном узле запускает ретрансляцию принятых данных на *PHY*-уровне с *RX*-порта одного интерфейса на *TX*-порт другого интерфейса внутри этого узла. В результате, на *PHY*-уровне, каждый узел на шине может принять данные, отправленные другим узлом, при соответствующей конфигурации режима прозрачности на узлах шины.

Данные *PHY*-уровня передаются в пакетах. Пакет состоит из кадров. Кадры имеют фиксированную длину и формат. Признаком конца пакета является неактивное состояние оптического линка (*IDLE*, передающий светодиод выключен) в течение времени, равного или превышающего длительность кадра. *PHY* уровень *ITBUS* отличается от *PHY*-уровня *IrDA FIR* не только разбиением пакета на кадры. В отличие от стандарта *IrDA FIR*, где синхронизация приема данных *PHY*-уровня осуществляется только в начале пакета, синхронизация приема в *ITBUS* производится в начале каждого кадра пакета. Эти отличия обусловлены особенностями аппаратно программной реализации *ITBUS* [8-10].

Последовательное следование *PHY* - пакетов *ITBUS* в оптическом линке

IDLE	Пакет 1	IDLE	Пакет 2	IDLE	Пакет 3	IDLE
------	---------	------	---------	------	---------	------

Пакет состоит из обязательных 4-х кадров стартовой последовательности (*S-Kadr 1 ... S-Kadr 4*) и опциональных кадров данных (*D-Kadr 1 ... D-Kadr N*,  $N \geq 0$ ).

Формат *PHY* - пакета *ITBUS*

Кадры стартовой последовательности				Кадры данных		
S - Кадр 1	S - Кадр 2	S - Кадр 3	S - Кадр 4	D - Кадр 1	...	D - Кадр N-1 D - Кадр N

Формат кадра обусловлен особенностями аппаратно программной реализации *ITBUS*. Кадр имеет фиксированную длину и состоит из 2 х стартовых битов (*STA*), 4 х *4PPM*-символов данных (*DD 0*, *DD 1*, *DD 2*, *DD 3*) и 4 х стоповых битов (*STO*). Один кадр переносит один байт информации.

Формат *PHY* - кадра *ITBUS*

Стартовые биты STA	4PPM-символы данных DD #			Стоповые биты STO
10	DD 0	DD 1	DD 2	DD 3 0000

Стартовые биты служат признаком начала кадра. Также по ним выполняется синхронизация приема. Длительность одного бита равна длительности чипа и составляет 125 нс. Бит «1» соответствует оптическому импульсу (передающий светодиод излучает), бит «0» – отсутствию оптического импульса (передающий светодиод выключен).

Совокупность из 4-х *4PPM*-символов данных является результатом кодирования одного байта входных данных согласно схеме модуляции *4PPM*. Таким образом, суммарная длительность одного кодированного байта данных составляет 16 чипов или 16 х 125

нс = 2000 нс.

Стоповые биты служат признаком конца кадра. Также с их помощью реализуется межкадровое выравнивание. Длительность одного бита равна длительности чипа и составляет 125 нс. На протяжении всех 4-х стоповых битов оптический линк неактивен (передающий светодиод выключен).

Таким образом, суммарная длительность одного кадра равна длительности 22 чипов или 22 х 125 нс = 2750 нс. Так как один кадр переносит один байт информации, далее содержимое кадра будет обозначаться как байт в не кодированном виде.

Стартовая последовательность (*S-Kadr 1 ... S-Kadr 4*) является обязательной частью пакета и состоит из 4-х кадров. Первые два кадра необходимы для «раскачивания» *RX*-тракта *ИК*-приемопередатчика после периода неактивности оптического линка. Их искажение в процессе передачи и приема считается нормальным. Последние два кадра выполняют две функции: идентификация устройства как узла *ITBUS*, а также проверка схемы модуляции *4PPM*.

Кадры данных (*D-Kadr 1 ... D-Kadr N*,  $N \geq 0$ ) не являются обязательной частью пакета. Каждый кадр переносит один байт данных.

Пропускной способностью шины *ITBUS* будем считать максимальную скорость передачи информации между какими-либо двумя узлами шины при отсутствии ошибок передачи. При этом будем отличать номинальную скорость – битовую скорость передачи данных без различия служебных и пользовательских данных, и эффективную скорость – скорость передачи пользовательских данных (полезной нагрузки).

**Заключение.** Номинальная скорость равна скорости передачи данных через *UART* – 4 Мбит/с, поскольку на всем пути следования данных, от передающего узла до принимающего, сужение пропускной способности не предусмотрено протоколом *ITBUS* [11].

Эффективная скорость зависит от формата (упаковки) полезной части передаваемых данных. Будем считать, что пакеты следуют один за другим с минимальной паузой, равной длительности кадра *ITBUS*, 2750 нс. Количество кадров в одном пакете практически неограниченно, поскольку синхронизация покадровая. Поэтому, в целях подсчета эффективной скорости будем предполагать, что количество кадров в пакете бесконечно велико. Следовательно, паузой между пакетами можно пренебречь. По той же причине можно пренебречь первыми четырьмя кадрами пакета – кадрами стартовой последовательности. Каждый кадр данных переносит 1 Байт полезной информации *PHY*-уровня. Длительность одного кадра равна 2750 нс. Отсюда получаем эффективную скорость передачи на *PHY*-уровне *ITBUS*:

$$R = \frac{1B}{2750 \text{ ns}} = \frac{8 \text{ bit}}{2.75 \text{ us}} = 2.91 \text{ MBit/s.}$$

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Трубицков С.В., Ремонтов А.П., Ветлугина Г.П. Аппаратно-программная реализации *PHY* - уровня шины *ITBUS*.

XVI Санкт-Петербургская международная конференция «Региональная информатика (РИ-2018)». Санкт-Петербург, 24-26 октября 2018 г.: Материалы конференции. \СПОИСУ. – СПб, 2018. – 631 с. С. 298 – 299. ISBN 978-5-907050-44-0.

2. Likhtsinder B. Y., Bakai Y. O. Wireless sensor network technologies //Vestnik of Samara State Technical University. Technical Sciences Series. – 2021. – Т. 29. – №. 1. – С. 92-103.

3. Lonca G. et al. Does material circularity rhyme with environmental efficiency? Case studies on used tires //Journal of Cleaner Production. – 2018. – Т. 183. – С. 424-435.

4. Абидарова А. А. ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ И ИХ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРОТОКОЛОВ IRDA //Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2021. – №. 5. – С. 285-289.

5. IEEE 802.15.4-2020. URL: [https://standards.ieee.org/standard/802\\_15\\_4-2020.html](https://standards.ieee.org/standard/802_15_4-2020.html) (дата обращения: 18.12.2020).

6. IEEE 802.15.1-2005. URL: [https://standards.ieee.org/standard/802\\_15\\_1-2005.html](https://standards.ieee.org/standard/802_15_1-2005.html) (дата обращения: 18.12.2020).

7. IEEE 802.16. URL: [https://standards.ieee.org/standard/802\\_16-2009.html](https://standards.ieee.org/standard/802_16-2009.html) (дата обращения: 18.12.2020).

8. ITU-T Y.4104/F.744: Service description and requirements for ubiquitous sensor network middleware. URL: [https://www.itu.int/rec/dologin\\_pub.asp?lang=e&id=T-REC-F.744-200912-I!!PDF&type=items](https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-F.744-200912-I!!PDF&type=items) (дата обращения: 18.12.2020).

9. ITU-T Y.4251/F.747.1: Capabilities of ubiquitous sensor networks for supporting the requirements of smart metering services. URL: [https://www.itu.int/rec/dologin\\_pub.asp?lang=e&id=T-REC-F.747.1-201206-I!!PDF-E&type=items](https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-F.747.1-201206-I!!PDF-E&type=items)

10. ITU-T Y.4403/Y.2026: Functional requirements and architecture of the next generation network for support of ubiquitous sensor network applications and services. URL: [https://www.itu.int/rec/dologin\\_pub.asp?lang=e&id=T-REC-Y.2026-201207-I!!PDF-R&type=items](https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-Y.2026-201207-I!!PDF-R&type=items).

10. IrDA Library of Specifications and Technical Papers for EMF. URL: <https://www.irda.org/library-ofspecs> (дата обращения: 18.12.2020).

11. Отчет НИР (НИОКР) «Расчет пропускной способности шины ITBUS на физическом уровне» №5/05-05-18 на выполнение от 20.06.2018г.

*Статья поступила в редакцию 08.10.2021*

*Статья принята к публикации 07.12.2021*