

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ**Е.Д. Челноков**

jenek-elets@mail.ru

И.Д. Духин

duhin.02@mail.ru

Д.А. Стахов

dima.I2002@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация**Аннотация**

На сегодняшний день широкое распространение в области передачи данных получили беспроводные сети — радиосети. Это обусловлено простотой их использования, низкой стоимостью и приемлемой пропускной способностью. В статье подробно рассмотрено современное состояние беспроводных протоколов связи, достаточно непопулярных по сравнению с популярными технологиями Wi-Fi и Bluetooth, выполнены оценка перспектив их использования и сравнение их между собой по некоторым параметрам, важным как для определенной компании, так и для обычного человека. Анализ способствует выбору наиболее оптимального стандарта беспроводной передачи данных для организации эффективной сети.

Ключевые слова

Сети, телекоммуникационные технологии, канал связи, беспроводное взаимодействие, ZigBee, ANT, NFC, LoRa, LiFi, IR, альтернативная связь, протокол, передача данных

Поступила в редакцию 31.05.2023

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023

Введение. Сегодня, в период активного развития беспроводных сетей, тема альтернативных технологий беспроводной связи становится все более популярной в телекоммуникационном сообществе. Как только технология будет окончательно сформирована, производители предложат широкий ассортимент продукции по разумным ценам, что приведет к увеличению спроса на нее и росту продаж. В свою очередь, это будет способствовать дальнейшему совершенствованию и развитию беспроводной среды. Словосочетание «беспроводная среда» может ввести в заблуждение, поскольку оно означает полное отсутствие проводов в сети, но на самом деле это не так. Обычно беспроводные компоненты взаимодействуют с сетью, в которой в качестве среды передачи используется кабель. Такая сеть со смешанными компонентами называется гибридной.

Беспроводная связь — это передача данных между устройствами без использования проводов или кабелей. Она осуществляется через радиоволны, инфракрасный свет или другие методы передачи сигнала. Беспроводная связь используется в различных устройствах, таких как смартфоны, ноутбуки, планшеты, маршрутизаторы и другие устройства. Беспроводные технологии вклю-

чают Wi-Fi, Bluetooth, NFC, 3G/4G и др. Они позволяют людям обмениваться информацией и подключаться к Интернету в любом месте и в любое время.

Популярность беспроводной связи растет взрывообразными темпами, открывая для операторов новые рынки — от реализации сетевых игр на экранах сотовых телефонов до вызова служб экстренной помощи. Это связано с распространением блокнотных компьютеров, систем поискового вызова (так называемых пейджеров) и появлением систем класса «персональный секретарь» (Personal Digital Assistant — PDA), расширением функциональных возможностей сотовых телефонов. Такие системы должны обеспечить деловое планирование, расчет времени, хранение документов и поддержание связи с удаленными станциями. Девизом этих систем стали слова *anytime, anywhere*, т. е. предоставление услуг связи вне зависимости от места и времени. Кроме того, беспроводные каналы актуальны там, где невозможна или дорога прокладка кабельных линий и значительные расстояния.

До недавнего времени большинство беспроводных компьютерных сетей передавала данные со скоростью от 1,2 до 14,0 Кбит/с, зачастую только короткие сообщения (передача файлов больших размеров или длинные сеансы интерактивной работы с базой данных были недоступны). Новые технологии беспроводной передачи оперируют со скоростями в несколько десятков мегабит в секунду. К настоящему времени люди уже привыкли к технологии Wi-Fi. Эта технология стала частью повседневной жизни, и теперь настало время для повсеместного распространения широкополосной беспроводной связи. Однако существует множество альтернативных технологий беспроводного взаимодействия для осуществления передачи данных. У каждого из них есть свои преимущества и недостатки, сферы применения и продажи, целевая аудитория пользователей и возможность приложения. В настоящее время выделяют несколько альтернативных технологий передачи данных:

- 1) ZigBee;
- 2) ANT;
- 3) NFC;
- 4) LoRa;
- 5) Li-Fi;
- 6) IR.

Все эти технологии в той или иной степени можно сравнить с привычными нам Wi-Fi, 5G и LTE. Освоение новых способов передачи данных по беспроводной связи привело к новым способам применения шифрования информации и обеспечения безопасности. Программа и методы использования устройств выбираются непосредственно пользователем для определенной сферы применения и эксплуатации.

ZigBee. Беспроводной протокол, в котором для подключения устройств используются маломощные радиосигналы. Он основан на стандарте IEEE 802.15.4, который определяет физический уровень и уровень управления доступом к сре-

де для низкоскоростных беспроводных персональных сетей (LR-WPAN). По сравнению с Wi-Fi и Bluetooth, топология которых имеет тип «звезда» и поэтому при отключении узлового устройства из строя выйдет вся сеть, в технологии ZigBee применяется топология типа mesh (рис. 1), что повышает надежность сети благодаря избыточным связям. Все устройства, имеющие постоянный доступ к питанию, выступают в роли роутера и занимаются маршрутизацией данных, но при этом при отключении одного роутера или даже координатора (организатора сети) сеть продолжит функционировать [1].

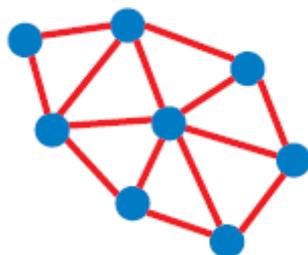


Рис. 1. Топология mesh

Координатор (ZC) — узел, с которого начинается организация сети и осуществляется управление ею. С помощью этого узла выбирают политику безопасности сети, управляет подключением к сети новых устройств и другими параметрами сети, такими как частотный канал.

Маршрутизатор (ZR) — узел, который имеет постоянное питание и может бесперебойно участвовать в работе сети. На нем происходит маршрутизация трафика. С помощью специальных таблиц маршрутизации роутеры занимаются прокладкой оптимального маршрута и поиска нового в случае отключения какого-либо узла. Роутерами могут служить различные устройства, такие как умные розетки или блоки управления освещением. Главное — наличие постоянно подключения к сети.

Конечное устройство — это устройство, включенное в сеть через маршрутизатор или координатор. Оно не участвует в маршрутизации сети и отправляет сигналы только при наступлении определенного события, например при срабатывании какого-либо датчика или нажатии кнопки выключателя. Когда оно не передает данные, устройство находится в спящем режиме, экономя энергию от встроенного источника питания. Данные от него передаются на «родительский» узел, который представляет собой маршрутизатор или координатор, с которого уже идут дальше по сети.

Технология ZigBee (рис. 2) предоставляет средства для построения безопасной сети, защита которой основана на использовании 128-битных криптографических ключей и шифровании данных. В сети выделяется один узел, являющийся доверительным центром, в задачи которого входят управление подключением новых устройств к сети и работа с ключами шифрования.



Рис. 2. Модуль ZigBee

Для установки соединения используется ключ Link key, который передается в открытом виде, что является слабым звеном в процессе установления безопасного подключения. Для шифрования сетевых пакетов в одной сети используется общий для всех устройств ключ Network key, который периодически обновляется доверительным центром [2].

Данная технология используется в компьютерной периферии, при автоматизации жилья, а также для построения промышленных сетей мониторинга и управления. На данный момент технология ZigBee создала исключительный стандарт, подкрепленный наличием производства согласованных аппаратных средств и программных протоколов. Протоколы ZigBee дают устройствам возможность находиться в спящем режиме в течение наибольшего периода времени, что значительно увеличивает время автономной работы [3].

ANT. Это беспроводная технология передачи данных, которая используется для связи между спортивными датчиками и устройствами, такими как велокомпьютеры, часы и другие гаджеты. Она была разработана компанией Garmin в 2003 г. и с тех пор стала популярной среди спортсменов и любителей активного образа жизни. ANT-технология позволяет построить сенсорную сеть, работающую в диапазоне ISM 2,4 ГГц, в которой имеется 125 частотных каналов шириной 1 МГц [4]. ANT ориентирована на использование с датчиками, поскольку ее главной особенностью является малое энергопотребление (менее 60 мкА при передаче), которое достигается низкой скоростью обмена данными, небольшим радиусом действия и возможностью использования широкополосного режима без подтверждения получения сообщения. В сети ANT может находиться до 65 533 узлов, при этом скорость обмена данными между узлами может составлять до 60 Кбайт/с. Что до безопасности сети — она обеспечивается стандартом шифрования AES-128 и 64-битным криптографическим ключом.

Одной из особенностей технологии ANT является адаптивная изохронная технология. Она позволяет разделить сигнал по одному из частотных каналов на сотни временных интервалов для того, чтобы передача проходила в момент свободный от помех смежных частотных каналов [5]. Данная технология находится в открытом доступе, что позволило ей собрать большое сообщество вокруг нее. Большое распространение получили недорогие радиомодули NRF 24

серии от Nordic Semiconductor, с помощью которых можно разворачивать небольшие беспроводные сети для личного использования. С помощью технологии ANT можно передавать данные о скорости, расстоянии, пульсе, температуре и других параметрах. Эти данные могут быть использованы для мониторинга тренировок, анализа результатов и оптимизации тренировочного процесса. Кроме спорта, технология также используется в других областях, таких как здравоохранение, промышленность и даже домашние приборы. Например, она может быть использована для мониторинга здоровья пациентов в больницах или для управления системами отопления и кондиционирования в домах.

NFC. Near field communication («связь в близком поле») — технология беспроводной передачи данных малого радиуса действия, которая дает возможность обмена данными между устройствами, находящимися на расстоянии около 10 см. Это передача данных по радиоволне, но в отличие от Wi-Fi и Bluetooth использует эффект электромагнитной индукции. Разница в том, что если поднести какое-нибудь устройство (например, смартфон) к специальной NFC-метке, в ней из-за эффекта индукции возникнет напряжение, достаточное для работы микросхемы. Таким образом, на метках нам не нужен источник питания, что является несомненным плюсом, но особенность в виде крайне маленького расстояния передачи сильно ограничивает сферу применения данной технологии.

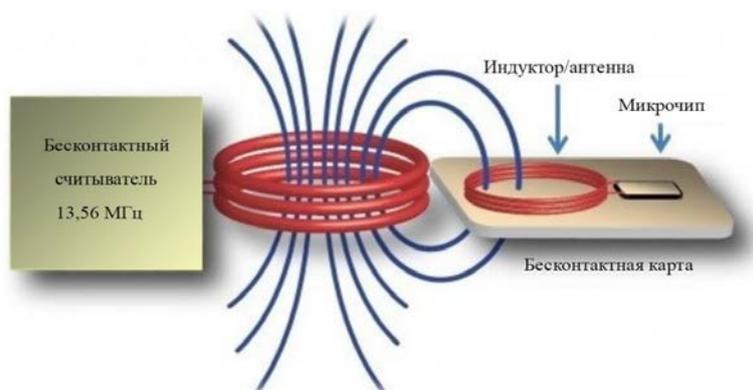


Рис. 3. Принцип работы электромагнитного поля в NFC

С физической точки зрения NFC-метка представляет собой катушку, в которой наводится ЭДС индукции, и микросхему (рис. 3). Технология работает на частоте 13,56 МГц и позволяет передавать данные со скоростью 100...400 Кбит/с, но только на крайне коротком расстоянии. Работа этой технологии описана в стандартах ISO 14443 [6].

Технология может работать в трех режимах:

- 1) активном — смартфон записывает или считывает данные с метки;
- 2) равноправном — два девайса, например смартфона, подключаются друг к другу;

3) пассивном — смартфон «прикидывается» меткой (например, банковской картой).

Плюсами данной технологии, помимо низкого энергопотребления и отсутствия источника питания на метках, являются высокая скорость подключения (меньше 0,1 мс) и высокая безопасность, обусловленная ограниченностью дальности действия.

Сами NFC-метки бывают двух типов: те, на которые можно самостоятельно записывать информацию, и те, на которые нельзя. Примером первых служат специальные метки, на которые с помощью смартфона можно записать, например, пароль от Wi-Fi, и давать после этого гостям его считывать. Примером вторых служат проездные и банковские карты. Эта технология идеально подходит для банковских карт, ведь, как было сказано выше, она обеспечивает высокую безопасность и скорость.

Таким образом, можно сказать, что технология NFC нашла нишевое применение и годится только для передачи заранее записанных данных или для выполнения простейших операций. Метки из-за ограничений в энергопотреблении не могут представлять собой сколь угодно сложные устройства, а малая дальность действия не позволяет применять технологию для построения беспроводных сетей.

LoRa. LoRa — технология модуляции маломощных радиосигналов с большой устойчивостью в диапазоне ниже 1 ГГц со скоростью 0,3...50 Кбит/с и дальностью до 15 км, что применяется для межмашинной коммуникации. Это достигается благодаря тому, что в интерфейсе LoRa используется широкополосные радиосигналы с линейной частотной модуляцией, которые хорошо функционируют даже в городах с большой зашумленностью радиоканалов, однако стоит учитывать, что передаваемый сигнал может иметь большую задержку вплоть до нескольких десятков секунд.

Технология LoRa работает по протоколу LPWAN, который устанавливает топологию сети «звезда» или в случае развертывания крупных городских сетей топологию «звезда из звезд». Сеть LoRaWAN состоит из следующих элементов: сервер приложений, сетевой сервер, шлюзы и конечные узлы. Последние, в свою очередь, разделены на три класса:

1) *Bi-directional end-devices, Class A* отправляет на сервер пакет с данными, после чего выделяет два окна для получения ответа от сервера;

2) *Bi-directional end-devices, Class B* помимо двух окон после отправки пакета на сервер имеет дополнительное окно приема по заранее установленному расписанию;

3) *Bi-directional end-devices, Class C* имеет постоянное окно приема пакетов от сервера, кроме моментов передачи данных.

Поскольку протокол позволяет образовывать крупные сети, имеется шифрование AES для обеспечения безопасности и конфиденциальности. Также су-

существует возможность геолокации устройств LoRa с помощью временных меток интернет-шлюзов, принцип работы технологии схож с GPS. Основными преимуществами LoRa служат высокая дальность передачи данных и низкое энергопотребление, что позволяет использовать ее для создания беспроводных сетей в условиях ограниченного доступа к источнику питания. Также технология поддерживает работу в различных частотных диапазонах, что позволяет использовать ее в различных регионах мира без дополнительной настройки оборудования. Однако следует отметить, что скорость передачи данных в LoRa достаточно низкая по сравнению с другими технологиями беспроводной связи, такими как Wi-Fi или Bluetooth. Также в результате использования широкополосных радиосигналов технология LoRa может создавать помехи для других устройств, работающих на той же частоте. В целом данная технология модуляции является хорошим выбором для создания беспроводных сетей на больших расстояниях и в условиях ограниченного доступа к источнику питания, но не подходит для передачи больших объемов данных или для работы в условиях высокой плотности других радиосигналов.

Li-Fi. Light fidelity — связь, основанная на передаче данных через видимый свет. Суть технологии состоит в том, что двоичный код модулируется в свет, генерируемый светодиодами. Главное преимущество по сравнению с Wi-Fi заключается в том, что скорость передачи по технологии Li-Fi может достигать 224 Гбит/с, что делает эту технологию применимой в задачах, требующих большой пропускной способности. Передатчиком в данной технологии, как было сказано выше, является белый светодиод высокой яркости с моделирующим чипом (рис. 4). В качестве приемника служит чувствительный фотодиод [7].

В технологии Li-Fi используются протоколы, аналогичные протоколам IEEE 802.11, но задействованы волны видимого спектра вместо радиоволн.

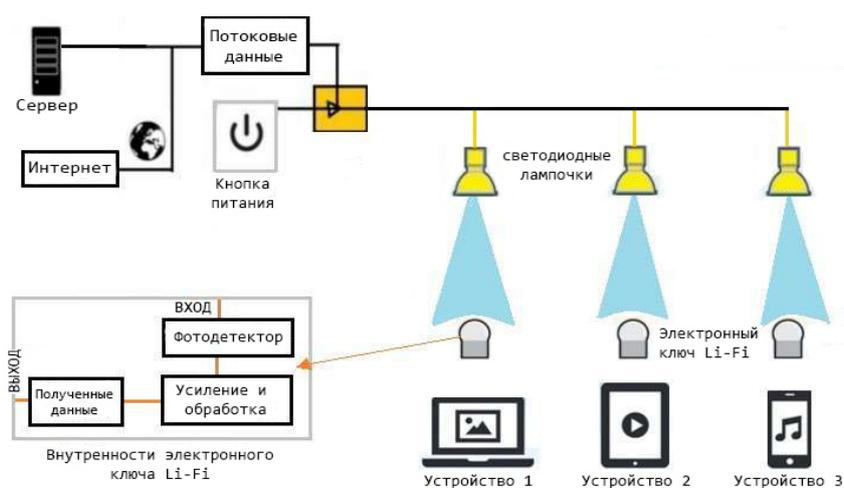


Рис. 4. Основные компоненты базовой системы Li-Fi

Стандарт Li-Fi IEEE 802.15.7 описывает физический и средний уровень управления доступом, который включает в себя три отдельных физических уровня с различной пропускной способностью: РНУ I, II и III. Уровень РНУ I предназначен для работы вне помещений и устанавливает скорость от 11,67 до 267,6 Кбит/с, уровень РНУ II обеспечивает скорость передачи от 1,25 до 96 Мбит/с, а уровень РНУ III предназначен для нескольких источников и использует особый метод кодирования Color Shift Keying (CSK), при этом скорость передачи составляет от 12 до 96 Мбит/с [8].

Помимо высокой скорости передачи достоинством данной технологии может служить повышенная безопасность в сравнении с передачами через радиоволны, ведь свет легко блокируется стенами и не выходит за пределы помещения. Это дает возможность использовать Li-Fi на военных объектах. Также свет в отличие от радиоволн нормально распространяется в воде, что также делает возможным использования света для передачи данных при подводных работах. Недостатками служат ограниченный радиус действия (около 10 м, тогда как у Wi-Fi — 32 м) и невозможность использования технологии на улице при солнечном свете либо в темноте при отсутствии светодиодных ламп.

Таким образом, в связи со своими ограничениями Li-Fi не может полностью заменить обычные технологии передачи через радиоволны, однако при реализации в замкнутом хорошо освещенном пространстве может обеспечить высокую скорость передачи данных.

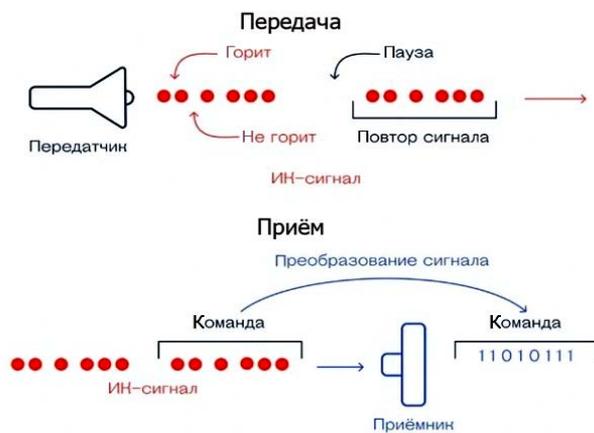


Рис. 5. Схема передачи данных по технологии IR

IR. IR — связь, при которой для передачи используется инфракрасное излучение (ИК). Данные передаются от передатчика к приемнику посредством коротких импульсов ИК-светодиода передатчика (рис. 5). Главными преимуществами технологии являются ее простота и низкое энергопотребление. Как уже было сказано выше, для ИК-связи необходимы приемник и передатчик. Передатчик состоит из модулятора и передающего ИК-светодиода. Биты по стандар-

ту IrDa кодируются так: логический ноль передается одиночным ИК-импульсом длиной от 1,6 мс до 3/16 периода передачи битовой ячейки, а единица передается как отсутствие импульса. Таким образом, самое низкое энергопотребление достигается при использовании минимальной длины импульса, т. е. 1,6 мс. Приемник состоит из фотореле, который преобразует входной ИК-сигнал [9].

Приемник и передатчик должны находиться в зоне прямой видимости, что служит главной причиной малой популярности этой технологии. Основными источниками помех являются солнечный свет и флюоресцентные лампы, поэтому на приемник нужно ставить полосовые фильтры для защиты. Таким образом, хоть ИК-передача во многих сферах уже является устаревшей технологией, тем не менее до сих пор ей находится применение. Стоит также отметить, что ИК-технология часто используется для односторонней связи. К примеру, пульты от телевизора, работая на батарейках, должны обладать низким энергопотреблением, а также в домашних условиях нет никаких проблем обеспечить прямую видимость между передатчиком и приемником, что делает ИК-технология незаменимой в данном применении.

Чтобы понимать различия технологий беспроводной связи, сведем их характеристики в общую таблицу. На основе этих данных пользователь может понять, какая технология будет ему нужна для того или иного вида использования в зависимости от требуемых условий.

Сравнение характеристик различных технологий беспроводной связи

Свойство	Название технологии							
	ZigBee 	ANT 	NFC 	LoRa 	Li-Fi 	IR 	Bluetooth 	Wi-Fi 
Тип модуляции сигнала	OQPSK	GFSK	AM	FSK	SDMA OFDM CSK	PAM	GFSK	QAM
Скорость передачи	250 Кбит/с	60 Кбит/с	400 Кбит/с	50 Кбит/с	>1 Гбит/с	16 Мбит/с	3 Мбит/с	300 Мбит/с
Дальность связи	10–100 м	до 30 м	0–10 см	до 15 км	10 м (больше при подходящих условиях и интенсивности света)	5–50 см Односторонняя — 10 м	до 100 м	до 100 м
Частота передачи	2,4 ГГц	< 1 ГГц	13,56 МГц	2,4 ГГц	Видимый свет	ИК-излучение	2,4 ГГц	2,4 ГГц, 5 ГГц
Стандартизация	IEEE 802.15.4	–	IEC 18092, IEC 21481	LoRaWAN	IEEE 802.15.7	IrDa	IEEE 802.15.1	IEEE 802.11n

Свойство	Название технологии							
	ZigBee 	ANT 	NFC 	LoRa 	Li-Fi 	IR 	Bluetooth 	Wi-Fi 
Топология	Mesh	Point to point, Star	Point to point	Star	Star	Point to point	Point to point	Star
Безопасность	AES-128	AES-128 and 64-bit key	–	AES-64, AES-128	–	–	56–128-bit key	WPA, WPA2

Выводы. В статье рассмотрено несколько альтернативных технологий беспроводной связи, каждая из которых имеет свои преимущества и ограничения. Привычные нам технологии Wi-Fi и Bluetooth содержат в себе огромный спектр полезных и нужных пользователю характеристик и защитных механизмов, однако во множестве различных способов применения беспроводных технологий существуют варианты, которые намного лучше подойдут в определенных условиях эксплуатации. Так, технология ZigBee подходит для создания сетей умного дома и имеют низкое энергопотребление, но также имеют ограниченную дальность передачи данных. Технология LoRa обеспечивает высокую дальность передачи данных и низкое энергопотребление, но имеет низкую скорость передачи данных и может создавать помехи для других устройств. Технология IR была широко распространена в мобильных устройствах и ноутбуках производства 1990-х годов, но сейчас она уступила место другим технологиям, таким как Bluetooth и Wi-Fi. Сегодня IR-порты используются редко из-за ограниченной функциональности и возможностей, но, она все еще используется в некоторых устройствах, таких как пульты дистанционного управления для телевизоров и других электронных устройств.

В целом выбор технологии беспроводной связи зависит от конкретных потребностей и условий использования. Каждая из рассмотренных технологий может быть полезна в определенных сферах, и выбор должен основываться на анализе конкретных требований и возможностей. Некоторые альтернативные технологии до сих пор остаются загадкой для обычного пользователя в силу непопулярности и до конца нереализованного потенциала, однако не следует пренебрегать их использованием, если на то есть нужды и производственные средства.

Литература

- [1] Gislason D. *Zigbee wireless networking*. Newnes, 2008, 448 p.
- [2] Buttyran L., Czap L., Vajda I. Securing coding based distributed storage in wireless sensor networks. *Proceedings of the IEEE Workshop on Wireless and Sensor Network Security (WSNS)*, Atlanta, USA, 2008. <http://doi.org/10.1109/MAHSS.2008.4660132>

- [3] Muraviov K.A., Zakharova A.S., Prisyazhnyuk S.P. Method of Wireless Sensor Networks Simulation. *Proceedings — 2018 Global Smart Industry Conference*, 2018. <http://doi.org/10.1109/GloSIC.2018.8570125>
- [4] Колыбельников А.И. Обзор технологий беспроводных сетей Overview of wireless technology. *ТРУДЫ МФТИ Proceedings of Moscow institute of physics and technology*, 2012, т. 4, № 2, с. 3–29.
- [5] Филатов В.И., Борукаева А.О., Бердииков П.Г. Способы повышения помехозащитности в радиоканалах The ways of noise-immunity improvement in the radio channels. *Политехнический молодежный журнал*, 2019, № 3 (32). <http://doi.org/10.18698/2541-8009-2019-03-455>
- [6] Enrique Ortiz an Introduction to Near-Field Communication and the Contactless Communication API. URL: <https://www.oracle.com/technical-resources/articles/javame/nfc.html> (accessed June 29, 2023).
- [7] How LiFi works. URL: <https://lifi.co/how-lifi-works/> (accessed June 29, 2023).
- [8] Fiza Rasool. Li-Fi: The future of internet. URL: <https://www.getabstract.com/ru/%D0%9A%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BA%D0%BE%D0%B5-%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D0%BE%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5/li-fi-the-future-of-internet/35895?st=RELATED&si=9077> (accessed June 29, 2023).
- [9] Инфракрасный протокол связи? IrDA. URL: <https://www.ixbt.com/peripheral/irda.html?ysclid=li4hpd7w8z754282720> (дата обращения 26.05.2023).

Челноков Евгений Дмитриевич — студент кафедры «Проектирование и технология производства ЭА», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Духин Иван Дмитриевич — студент кафедры «Проектирование и технология производства ЭА», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Стахов Дмитрий Андреевич — студент кафедры «Проектирование и технология производства ЭА», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Муравьев К.А., старший преподаватель кафедры «Проектирование и технология производства ЭА», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Челноков Е.Д., Духин И.Д., Стахов Д.А. Альтернативные технологии беспроводной связи. *Политехнический молодежный журнал*, 2023, № 08 (85). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2023-8-928>

ALTERNATIVE WIRELESS TECHNOLOGIES

E.D. Chelnokov

I.D. Dukhin

D.A. Stakhov

jenek-elets@mail.ru

duhin.02@mail.ru

dima.I2002@mail.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

As of today, the wireless networks, or radio networks, became widespread in the data transmission. This is due to their ease in use, low cost and acceptable throughput. The paper examines in detail current state of the wireless communication protocols, which are quite unpopular compared to the recognized Wi-Fi and Bluetooth technologies, evaluates prospects for their application and compares them with each other in certain parameters important both for a particular company and for an ordinary person. Analysis contributes to selection of the most optimal wireless data transmission standard in organizing the efficient network.

Keywords

Networks, telecommunication technologies, communication channel, wireless interaction, ZigBee, ANT, NFC, LoRa, LiFi, IR, alternative communication, protocol, data transfer

Received 31.05.2023

© Bauman Moscow State Technical University, 2023

References

- [1] Gislason D. *Zigbee wireless networking*. Newnes, 2008, 448 p.
- [2] Buttyran L., Czup L., Vajda I. Securing coding based distributed storage in wireless sensor networks. *Proceedings of the IEEE Workshop on Wireless and Sensor Network Security (WSNS)*, Atlanta, USA, 2008. <http://doi.org/10.1109/MAHSS.2008.4660132>
- [3] Muraviov K.A., Zakharova A.S., Prisyazhnyuk S.P. Method of Wireless Sensor Networks Simulation. *Proceedings — 2018 Global Smart Industry Conference*, 2018. <http://doi.org/10.1109/GloSIC.2018.8570125>
- [4] Kolybel'nikov A.I. Overview of wireless technology. *Proceedings of Moscow institute of physics and technology*, 2012, vol. 4, no. 2, pp. 3–29. (In Russ.).
- [5] Filatov V.I., Borukaeva A.O., Berdikov P.G. The ways of noise-immunity improvement in the radio channels. *Politekhnikheskiy molodezhnyy zhurnal*, 2019, no. 3 (32). (In Russ.). <http://doi.org/10.18698/2541-8009-2019-03-455>
- [6] Enrique Ortiz *an Introduction to Near-Field Communication and the Contactless Communication API*. URL: <https://www.oracle.com/technical-resources/articles/javame/nfc.html> (accessed June 29, 2023).
- [7] *How LiFi works*. URL: <https://lifi.co/how-lifi-works/> (accessed June 29, 2023).
- [8] Fiza Rasool. *Li-Fi: The future of internet*. URL: <https://www.getabstract.com/ru/%D0%9A%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BA%D0%BE%D0%B5->

%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D0%BE%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5/li-fi-the-future-of-internet/35895?st=RELATED&si=9077 (accessed June 29, 2023).

- [9] *Infrakrasnyy protokol svyazi? IrDA* [Infrared communication protocol? IrDA]. URL: <https://www.ixbt.com/peripheral/irda.html?ysclid=li4hpd7w8z754282720> (accessed May 26, 2023).

Chelnokov E.D. — Student, Department of Electronic Equipment Design and Production Technology, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Dukhin I.D. — Student, Department of Electronic Equipment Design and Production Technology, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Stakhov D.A. — Student, Department of Electronic Equipment Design and Production Technology, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific adviser — Muravev K.A., Senior Lecturer, Department of Electronic Equipment Design and Production Technology, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Please cite this article in English as:

Chelnokov E.D., Dukhin I.D., Stakhov D.A. Alternative wireless technologies. *Politekhnichestkiy molodezhnyy zhurnal*, 2023, no. 08 (85). (In Russ.).

<http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2023-8-928>