

ОБЗОР ТЕХНОЛОГИИ LI-FI В СЕГМЕНТЕ ПОТРЕБИТЕЛЬСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Быстрынцева Наталья Владимировна

кандидат архитектуры

Любакова Юлия Сергеевна

магистр

Антонов Роман Александрович

аспирант

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет

информационных технологий, механики и оптики, г. Санкт-Петербург

Аннотация. Беспроводная коммуникация – одна из важнейших функций современных устройств. В статье производится анализ текущего уровня развития технологии Li-Fi – беспроводной передачи данных посредством электромагнитного излучения оптического спектра. На основе обобщения научных данных об особенностях, преимуществах и ограничениях технологии, а также обзора существующих разработок продуктов с применением Li-Fi в сегменте пользовательской электроники рассматриваются перспективы ее применения для пользовательского доступа в интернет.

Ключевые слова: Li-Fi, Visible Light Communications, беспроводная передача данных, беспроводная оптическая связь, светодиод.

Введение

Беспроводная коммуникация – одна из важнейших функций современных устройств, чья одновременная работа, направленная на передачу данных, способна заметно снизить доступную скорость беспроводной сети вследствие ограниченности радиочастотного спектра. Экспоненциальный рост производства беспроводных устройств таких как смартфоны, умные часы, голосовые помощники в виде умных колонок и т.п., использующих беспроводной способ передачи данных, приводит к нарастанию проблемы дефицита радиочастотного спектра [1].

Решением надвигающейся угрозы нехватки радиочастотного диапазона являются технологии на основе VLC (Visible Light Communication). Они позволяют использовать свет для обеспечения беспроводной передачи данных. К примеру, диапазон электромагнитного излучения оптического спектра в 10000 раз больше радиоволнового, что обеспечивает более широкую пропускную способность канала передачи данных, то есть большее количество подключенных одновременно устройств и потенциально более высокие скорости передачи информации. Несмотря на названные преимущества, технологии беспроводной оптической

передачи данных, в том числе Li-Fi, пока не становятся частью повседневной жизни людей. Наибольшая доля мобильного интернет-трафика приходится на смарт-устройства, в первую очередь, смартфоны. Доля коммуникации машина – машина (например, Интернет вещей) в глобальном интернет-трафике в 2016 г. составляла всего 2% (для сравнения, доля смартфонов – 81%) и, по оценкам Cisco, к 2021 г. должна увеличиться до 5% [1]. В связи с этим, целью данной статьи является оценка текущего уровня развития технологии и перспектив ее применения для пользовательского доступа в интернет (т.е. коммуникация человек – машина) на основе обобщения научных данных об особенностях, преимуществах и ограничениях технологии, а также обзора существующих разработок продуктов с применением Li-Fi в сегменте потребительской электроники.

Принцип работы Li-Fi, преимущества и недостатки

Принцип работы технологий класса VLC заключается в преобразовании передатчиком потока данных в модулированный свет с последующим декодированием этих данных приемником. Согласно стандарту IEEE 802.15, для того чтобы избежать негативного воздействия на человека, частота мерцания источника света, использующего технологии на основе VLC, при передаче данных должна быть более 200 Гц.

Термин «Li-Fi» (Light Fidelity) предложил профессор Эдинбургского университета Харальд Хаас (Harald Haas) во время своего выступления на конференции TED (Technology Entertainment Design). Этот термин подразумевает технологию, обеспечивающую двустороннюю беспроводную передачу данных на короткой дистанции при помощи модулированного света видимой части электромагнитного спектра. Процесс передачи данных осуществляется при помощи светодиодного источника света и устройства, способного преобразовать цифровой сигнал в модуляцию интенсивности света, незаметную для человеческого глаза. Процесс приема данных осуществляется при помощи фоточувствительных детекторов и устройства, способного осуществить дешифровку импульсного сигнала источника света. Стандарт JEITA CP-1221, принятый организацией VLCC (Visible Light Communication Consortium), определяет диапазон электромагнитных длин волн, используемых для Li-Fi – 380–750 нм. Но наряду с этим спектральным диапазоном некоторые производители оборудования для обеспечения передачи данных при помощи технологии Li-Fi используют ИК-диапазон.

Несомненным преимуществом технологии Li-Fi, по сравнению с традиционными способами передачи данных при помощи радиочастотного спектра, является высокая энергоэффективность [2]. Это положительно сказывается на пользовательском опыте использования мобильных устройств и устройств, использующих IoT-технологии ввиду увеличения продолжительности автономной работы.

Технологии на основе VLC позволяют не резервировать для передачи данных определённую частоту в силу своего малого радиуса действия и возможности ограничения распространения света при помощи частично или полностью непроницаемых для света материалов. Это позволяет не лицензировать устройство, использующее свет для передачи данных, и не уплачивать налог за использование радиочастотного спектра, что положительно может сказаться на конечной стоимости устройства для пользователя.

Отдельно стоит отметить достоинство, которое упоминалось ранее, связанное с высокой скоростью передачи данных и пропускной способностью. В феврале 2015 г. исследователям из Оксфордского университета удалось достичь скорости передачи данных 224 Гб/с в лабораторных условиях на расстоянии 3 м между устройствами [3].

Передача данных при помощи света позволяет избежать скрытого негативного воздействия на человека. На основе технологии Li-Fi возможно организовать канал связи на опасных для использования радиочастот территориях: нефтехимических предприятиях, атомных электростанциях, пассажирских самолетах [4]. В случае с авиаперевозками переход на Li-Fi позволит снизить вес самолета за счет отказа от оборудования, обеспечивающего интернет-доступ в воздухе, что уменьшит расход топлива во время перелетов. Также это потенциально способно упростить сборку самолета, отказавшись от прокладывания коммутации в его салоне.

В технологиях на основе VLC небольшая зона покрытия и необходимость прямой видимости между устройствами или нахождения в зоне приема отраженного сигнала могут быть рассмотрены как недостатки, которые требуют периода привыкания у пользователей мобильных устройств.

Также немаловажно учитывать высокие требования к люминофору светодиодов, поскольку стандартные «белые» светодиоды низкого качества имеют большую инерционность люминофора, которая выражается в остаточном свечении после их отключения.

Качество связи при передаче данных при помощи света сильно зависит от условий эксплуатации, что усложняет обслуживание и разработку осветительных систем [5]. В то время как в помещении влияние прочих источников более ограничено, и излучатели Li-Fi могут быть основными источниками света, в открытых пространствах сильно влияние солнечной радиации. В этом случае мощность падающего паразитного света может составлять до 10 мВт/см^2 по сравнению с мощностью света, передающего информацию, которая может быть менее нескольких мкВт/см^2 [6]. Помимо этого, внешняя среда включает в себя множество разнообразных искусственных источников света (вывески, светофоры, фары автомобилей и пр.), а также подвержена влиянию атмосферных явлений (ветра, дождя, тумана), которые также способны оказывать существенное влияние на качество связи.

В результате развитие технологии для внедрения во внутренние пространства направлено на увеличение скорости передачи данных и совершенствование конструкции системы для интеграции ее в существующие устройства, в то время как для применения в открытых пространствах требуется дополнительно поиск способов устранения помех. В связи с этим, основные усилия разработчиков на данном этапе направлены, прежде всего, на системы Li-Fi внутри зданий.

Пользовательский доступ в интернет

Значительное распространение светодиодных систем освещения открывает возможность для внедрения технологии Li-Fi в осветительные приборы, что позволит использовать их в качестве точек высокоскоростного доступа в интернет для пользователей. Это направление довольно широко представлено в продуктах компаний pureLiFi, Oledcomm, Signify, VLNComm, которые считаются одними из ключевых игроков на рынке Li-Fi [7].

Первой системой в сегменте потребительской электроники стала Li-1st компании pureLiFi, представленная в 2013–2014 гг [8]. Li-1st обеспечивала полнодуплексную коммуникацию с пропускной способностью 11,5 Мбит/с и послужила основой для дальнейших разработок компании: Li-Flame (2014–2015 гг.), LiFi-X (2016–2017 гг.), LiFi-XC (2017 г.). Развитие продукта двигалось по направлению увеличения скорости передачи данных, миниатюризации устройств и их адаптации для использования с существующей техникой (как осветительной, так и компьютерной). В результате LiFi-XC уже представляет собой компактную (88*88*20 мм) точку доступа, которая интегрируется в существующую светодиодную систему освещения и поддерживает подключение посредством как Power Line Communications (PLC), так и Power over Ethernet (POE), и электронный адаптер (размер 85*29.4*10.2 мм, вес 42 г) с разъемом USB 2.0 для подключения к компьютеру или планшету с поддержкой Windows 10, Windows 7, Linux и Mac OS [9]. Адаптер оснащен ИК-светодиодом для восходящей передачи данных. LiFi-XC обеспечивает пропускную способность 43 Мбит/с как по нисходящему, так и по восходящему каналу, что почти в 4 раза выше, чем первая система Li-1st. Дальнейший шаг по миниатюризации технологии – это ее интеграция в ноутбуки, планшеты и смарт-устройства: первые прототипы в виде ноутбука Dell и чехла для смартфона Samsung с интегрированными клиентскими модулями были представлены pureLiFi на Mobile World Congress–2018 [10].

Аналогичная система представлена компанией Signify (прежнее название – Philips Lighting). Компания предоставляет светильники со встроенным чипом для модуляции тока светодиода. Среди первых светильников с поддержкой Li-Fi – Philips PowerBalance gen2, а также светильники Philips LuxSpace. Philips PowerBalance gen2 – квадратная светодиодная панель, встраиваемая в подвесные потолки; ее можно использовать для более широкого охвата

в рабочих помещениях офисов или образовательных учреждений. Philips LuxSpace downlight представляет собой встраиваемый точечный светильник и больше подходит для создания локальных безопасных зон Li-Fi, например, в гостиницах. Клиентский модуль также представлен USB-адаптером, подключаемым к ноутбуку или планшету, и оснащенным ИК-светодиодом для передачи данных обратно к светильнику. Системы компании Signify обеспечивают пропускную способность 30 Мбит/с и одновременное подключение до 15 пользователей к одной точке доступа [11].

Signify анонсировала свои светильники с поддержкой Li-Fi в 2018 г., однако первое промышленное решение осветительного прибора со встроенным Li-Fi модулем было представлено в 2016 г. компанией Lucibel в сотрудничестве с pureLiFi [9]. Точка доступа подключается к магистральной сети с использованием POE или PLC. Позднее, в 2017 г., pureLiFi и Linmore представили первые светодиодные линейные светильники Light Bars с возможностью интеграции компонентов Li-Fi, предназначенные для замены люминесцентных ламп [9]. В качестве клиентского используется модуль LiFi-X или LiFi-XC.

Французской компанией Oledcomm совместно с производителем светодиодного оборудования STEP также разработаны встраиваемые светодиодные потолочные панели для офисов LiFiNET. Для подключения компьютера или планшета используется электронный адаптер с разъемом USB 2.0. Однако, продукт LiFiNET обеспечивают пропускную способность всего 1 Мбит/с по восходящему и нисходящему каналам и одновременное подключение 1 пользователя [12], что значительно уступает характеристикам систем компаний-конкурентов: Signify и pureLiFi.

На рынке представлены осветительные приборы другого типа с поддержкой Li-Fi – настольные лампы. Принцип их работы одинаков: лампа подключается к Ethernet-кабелю и трансформирует поток данных в модуляцию светодиода; для подключения пользователю требуется электронный USB-адаптер с фотоприемником и ИК-светодиодом для обратной передачи данных.

Oledcomm на выставке 2018 International CES представила MyLiFi – коробочное решение для домашнего использования, и MyLiFiPro с усиленными алгоритмами кибербезопасности для использования в офисах и других общественных зданиях. Лампа имеет возможность диммирования и изменения цветовой температуры от 2200 К до 6500 К и управляется со смартфона с помощью специального приложения, позволяющего программировать режимы освещения и использования Li-Fi. MyLiFi обеспечивает пропускную способность всего 13 Мбит/с по нисходящему и 10 Мбит/с по восходящему каналам и одновременное подключение 1 пользователя [12]. Такие характеристики уступают как продуктам конкурентов, так и современным возможностям Wi-Fi.

Для применения в офисах в линейке продуктов Oledcomm также представлена напольная лампа LUDICLiFi. В комплекте с клиентским USB-модулем предоставляет доступ в интернет со скоростью всего 1 Мбит/с и одновременное подключение 1 пользователя [12]. Лампа LiFiCare, предназначенная для использования в медицинских учреждениях, обладает теми же характеристиками передачи данных, что и LUDICLiFi [12]. Однако, для данного продукта производитель делает акцент на отсутствие радиоволн и, следовательно, решение проблематики использования Wi-Fi в больницах, что частично может компенсировать недостаток продукта в виде низкой скорости соединения.

Настольную лампу, предоставляющую доступ в интернет посредством видимого света, разработали также в компании VLNComm. Их продукт LumiLamp обеспечивает скорость передачи данных до 23 Мбит/с и одновременное подключение до 7 абонентов в зоне покрытия 1м^2 [13].

Вариант коробочного решения для создания Li-Fi сети без модификации существующей системы освещения представлен компанией FireFly Li-Fi, принадлежащей LightPointe Communications. Система SecureLink представляет собой комплект из точки доступа и клиентского модуля, оснащенных светодиодами (красными, зелеными, синими или ИК), причем точка доступа не позиционируется как источник освещения, светодиод в ней служит только для передачи данных. Точка доступа SecureLink закрепляется на потолке, но в отличие от других предлагаемых решений Li-Fi с использованием стандартных потолочных светильников с широким светораспределением, излучающих свет во всех направлениях, оптику SecureLink можно настроить таким образом, чтобы зашифрованный световой сигнал находился в относительно узком конусе света, который нельзя перехватить. Для дополнительной безопасности SecureLink позволяет использовать цветовое кодирование RGB для визуализации различных сегментов сети (уровней доступа к безопасности) на основе разрешенного пользователю доступа к данным или необходимости в информации (например, высший менеджмент может иметь свои потоки данных, закодированные красным цветом, а потоки данных персонала более низкого уровня могут быть закодированы синим цветом). По данным разработчиков, данная система обладает самой высокой скоростью передачи данных из рассмотренных ранее – до 700 Мбит/с (при использовании цветных светодиодов), 1,3 Гбит/с (при использовании ИК-светодиодов) [14].

Рассмотренные системы Li-Fi пока не находят массового применения, однако, производится их тестовое внедрение, главным образом, в офисные пространства. Например, рассмотренные выше светильники, разработанные Lucibel совместно с pureLiFi, были установлены в офисах французских компаний SAP France, Nexity; протестированы во время

Европейских дней Французского общества кардиологов в помещениях Дворца конгрессов в Париже [15].

В 2017 г. BT (British Telecommunications) Defence, которая разрабатывает информационно-коммуникационные технологии для британских военных, разведки и служб безопасности, в сотрудничестве с pureLiFi оснастила системой Li-Fi кампус научно-исследовательских лабораторий Adastral Park [9]. В данном случае, клиент заинтересован, прежде всего, в качествах Li-Fi с точки зрения безопасности передачи данных, так как сотрудники кампуса занимаются секретными исследованиями и разработками для военного сектора.

Также сетями Li-Fi пользуется британская инженерная компания британская Babcock – важнейший партнер Королевского военно-морского флота и Министерства обороны. Babcock создала специальное здание The Connected Facility на своей верфи Devenport в Плимуте для тестирования и оценки передовых технологий, что позволит разрабатывать новые модели функционирования, основанные на использовании цифровых данных. В 2017 г. в течение 4 недель pureLiFi установил и продемонстрировал использование сети Li-Fi, которая состояла из серии светодиодных светильников, обеспечивающих освещение и передачу данных в здании. С помощью системы LiFi-X от pureLiFi осуществляется беспроводная передача и сбор информации из ряда связанных с Li-Fi датчиков вибрации, расположенных на шести воздушных компрессорах низкого давления. Информация о вибрации с датчиков посредством системы Li-Fi последовательно и надежно передается на сервер и интеллектуальный экран, так что она может быть визуализирована и наглядно отображать состояние материала. Babcock дополнительно использует установленную сеть Li-Fi для подключения к планшету на базе Windows для доступа к информации о поддержке и техническом обслуживании, такой как руководства пользователя, рабочие инструкции и 3D-модели в нужном месте [9].

Полностью функциональную сеть от pureLiFi для доступа в интернет в своих классах и залах заседания в 2018 г. разместила также компания Ubitech [9], занимающаяся образованием в сфере телекоммуникаций.

Signify также внедряет свои разработки в реальные условия: в 2018 г. их светильники были установлены в офисе французской компании ICADE (недвижимость) и в данный момент обеспечивают сотрудникам широкополосный доступ в Интернет с помощью светодиодов, передающих информацию на скорости до 30 Мбит/с [11]. Пользователи подключаются к сети через специальные USB-адаптеры.

Геопозиционирование в здании

Другим направлением применения Li-Fi в закрытых пространствах для взаимодействия с пользователями служит геопозиционирование. Продукты Li-Fi для внутренней навигации

активно разрабатывает компания Oledcomm, причем, они представляют собой решения для интеграции в существующую светодиодную систему освещения: передающие и приемные модули GEOLiFi, набор средств разработки (SDK) для создания приложений по сбору и обработке получаемых данных о местоположении [10]. Такая система под названием LiFinStore была реализована во французском гипермаркете крупной сети E. Leclerc. E. Leclerc необходимо было получить точные данные о ежедневной / еженедельной / ежемесячной активности, привычках и поведении клиентов, проанализировав их пути, для повышения качества обслуживания покупателей и увеличения продаж. В светодиодные светильники были встроены передающие модули GEOLiFi, а покупательские тележки оснащены специальными Li-Fi трекерами. Программное обеспечение собирает анонимные данные о перемещениях покупателей и визуализирует их в виде тепловых карт [10]. Важно отметить, что в данном случае геопозиционирование работает только для сбора данных, прямого взаимодействия с пользователями не происходит.

На основе тех же компонентов Oledcomm была реализована в тестовом режиме система геопозиционирования, предоставляющая информацию пользователям. На станции La Défense парижского метрополитена установлены трубчатые светодиодные лампы со встроенными модемами GEOLiFi, изготовленные в сотрудничестве с производителем освещения STEP lighting. Смартфон пользователя подключается к сети посредством электронного адаптера с mini jack-разъемом, который получает сигнал данных и позволяет точно отображать местную геолокацию на смартфоне через специальное приложение метрополитена. Кроме того, конкретное текстовое содержимое транслируется определенной лампой, а затем синтезируется приемником Li-Fi посредством преобразования текста в речь, чтобы обеспечить индикацию местоположения для людей с ослабленным зрением [10]. Однако, данное решение пока не получило распространения на другие станции метрополитена, возможно, в первую очередь, из-за необходимости электронных адаптеров для подключения пользователей.

Заключение

Несмотря на более чем 10-летнюю историю развития (первые патенты в сфере Li-Fi появились еще в 2006 г., задолго до демонстрации технологии мировой общественности профессором Х. Хаасом на конференции TED в 2011 г.) и довольно большое количество разработанных продуктов, технология Li-Fi пока не находит широкого применения, в частности, в сфере пользовательского доступа в интернет. Одним из ключевых вызовов рынка является доминирование конкурентных технологий радиочастотной беспроводной связи. Развитие Li-Fi на современном этапе направлено, с одной стороны, на преодоление недостатков (например, повышение помехоустойчивости, уменьшение инерционности люминофоров), с

другой – на увеличение скорости, что в комплексе позволило бы конкурировать с существующими беспроводными технологиями передачи данных (в первую очередь, с Wi-Fi). Сдерживающим фактором сейчас является то, что существующая электроника не поддерживает этот вид беспроводной связи, и для доступа к сети Li-Fi пользователям требуются дополнительные устройства (электронные USB-адаптеры), что в условиях невыраженных преимуществ, по сравнению с Wi-Fi, становится критичным. Кроме того, развитие радиочастотной связи также не стоит на месте: растут скорости, диапазоны используемых частот. В этой ситуации необходим поиск таких сфер применения Li-Fi, где преимущества этой технологии (скорость и безопасность передачи данных, отсутствие необходимости лицензирования канала связи, отсутствие радиоволн и электромагнитных помех) будут неоспоримы. Возможно, Li-Fi станет актуальным, когда будет достигнут критический уровень перегрузки радиочастот, и потребители будут вынуждены использовать эту технологию, несмотря на ее недостатки. Несмотря на все вышесказанное, многие аналитики прогнозируют значительный рост рынка Li-Fi в ближайшие 3-5 лет [7], при этом VLC-сети станут неотъемлемой частью систем автоматизации зданий («умный дом»), Интернета вещей, «умных» городов, интеллектуальных систем наружного и внутреннего освещения. Возможно использование Li-Fi в качестве одного из элементов нового стандарта сотовой связи 5G, развитие гибридных радиооптических технологий. Вероятнее всего, Li-Fi не сможет полностью заменить существующие технологии радиочастотной беспроводной связи, но вполне способен дополнить их и занять свою нишу на рынке.

Список литературы:

1. Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2016–2021 White Paper // Cisco URL: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.html> (дата обращения: 29.08.2018).
2. Anju D. Li-Fi Technology-A Survey On The Applications, Advantages And Limitations // International Journal of Emerging Trends in Science and Technology. –2016. – №3. – С. 66–70.
3. Gomez A. et. al. Beyond 100-Gb/s Indoor Wide Field-of-View Optical Wireless Communications // IEEE Photonics Technology Letters. – 2015. – №4. – С. 367–370.
4. Suk-jin K., Hyangran L., Malrey L. A Study of 4G Network for Security System // The International Journal of Advanced Culture Technology. – 2015. – №3. – С. 77–86.
5. Khan L.U. Visible light communication: applications, architecture, standardization and research challenges // Digital Communications and Networks. – 2017. – №3. – С. 78–88.

6. Cailean A.-M., Dimian M. Current Challenges for Visible Light Communications Usage in Vehicle Applications: A Survey // IEEE Communications Surveys & Tutorials. – 2017. – №19(4). – С. 2681–2703.
7. Li-Fi Market Research Report- Global Forecast to 2023 // Market Research Future URL: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/visible-light-communication-li-fi-market-3561> (дата обращения: 29.08.2018).
8. Masterson V. New centre signals a bright future for Li-Fi industry in the UK // Infinite Magazine. – 2014. – С. 21–22.
9. URL: <https://purelifi.com/> (дата обращения: 29.08.2018).
10. pureLiFi announces LiFi breakthrough // ITP.net URL: <http://www.itp.net/616695-purelifi-announces-lifi-breakthrough> (дата обращения: 29.08.2018).
11. URL: <https://www.signify.com/ru-ru> (дата обращения: 29.08.2018).
12. URL: <http://oledcomm.com/> (дата обращения: 29.08.2018).
13. URL: <http://vlncomm.com/> (дата обращения: 29.08.2018).
14. URL: <https://www.fireflylifi.com/> (дата обращения: 29.08.2018).
15. URL: <http://www.lucibel.io/> (дата обращения: 29.08.2018).