

Li-Fi на земле, в небесах и на море

Дальнейшее развитие информационных технологий предъявляет все возрастающие требования к эффективности каналов передачи и обработки данных. При этом мобильность потребителей контента приводит к широкому распространению беспроводных (Wireless) технологий передачи данных. В статье предлагается краткое рассмотрение предыстории и истории, а также уже имеющихся и предполагаемых областей применения оптических технологий передачи данных в открытом пространстве на небольшие расстояния, при этом наибольшее внимание будет уделено вопросам использования Li-Fi. Исторический обзор по возможности сопроводим системным анализом не только возможностей Li-Fi, но и ее предшественников, конкурентов и попутчиков.

Олег Зотин
zotin@niitm.spb.ru

Экспансия Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee и ряда других разновидностей радиотехнологий в последние десятилетия вытеснила другие типы возможных беспроводных технологий в малозначимые сегменты рынка беспроводной передачи информации на малые расстояния и решила, таким образом (на текущий момент),

проблему т. н. «последней мили» и даже последних дюймов. Тем интереснее на этом фоне наблюдать попытки возрождения конкурентной борьбы со стороны разработчиков широкого класса технологий VLC, включая и технологию Li-Fi [1].

Немного предыстории

*Нельзя к чему-то прийти,
не оставив чего-то позади.*
Дж. Андайк

Передача сообщений с помощью звуковой и световой сигнализации была известна с древних времен [2]. Затем, после изобретения радио, было немедленно востребовано беспроводное управление различными объектами. Никола Тесла (Nikola Tesla, 1856–1943 гг.) еще в 1898 г. на выставке в Нью-Йорке показал публике радиоуправляемый катер. Аналогичное изобретение продемонстрировал в 1903 г. испанский инженер Леонардо Торрес Кеведо (Leonardo Torres de Quevedo, 1852–1936 гг.). Он же пытался приспособить его для управления снарядами и торпедами, но не нашел понимания у военного ведомства. В результате первые примеры использования радиосвязи для подрыва боеприпасов и управления полетом ракет появились только накануне и в ходе Второй Мировой войны.

Первыми бытовыми приборами, которым потребовалось оперативное дистанционное управление, стали черно-белые телевизоры. Пульты для их управления были разработаны в середине 1950-х годов, причем практически на равных конкурировали две технологии управления: с помощью луча света и ультразвуковая. Первые световые



Рис. 1. Один из первых VLC ПДУ

пульта дистанционного управления (ПДУ), сильно напоминающие ручные фонарики (рис. 1), имели весьма ограниченные функциональные возможности и умели, как правило, только включать/выключать телевизор, переключать каналы и управлять звуком.

В 1974 г. был выпущен первый цветной телевизор с микропроцессорным инфракрасным (ИК) управлением, поскольку успехи микроэлектроники привели в это время к созданию ИК-светодиодов и чувствительных в этом диапазоне фотодиодов. Телевизор в это время уже имел экранную индикацию (On-Screen Display, OSD) — на экране отображался номер канала.

Ближе к концу 1970-х годов появилась потребность в еще более сложных типах ПДУ, которые могли бы управлять телетекстом, включавшим новостные сводки, котировки акций, результаты спортивных матчей и лотерей, прогнозы погоды, программы телепередач и субтитры. Пульт, позволяющий выбирать трехзначный номер страницы телетекста, должен был иметь кнопки для цифр от 0 до 9, другие управляющие кнопки, например для переключения между текстом и изображением, а также обычные телевизионные кнопки для управления громкостью, яркостью, цветностью и переключением каналов. Решающее влияние на производителей телевизоров на этом этапе оказали телевещательные компании, по запросу которых уже к 1977–1978 гг. появились многофункциональные ИК ПДУ с первым, весьма экономичным протоколом ИК-связи.

Дальнейшее развитие ПДУ часто связывают с именем Стивена Возняка (Stephen Gary Wozniak aka WOZ), который после ухода в феврале 1987 г. из компании Apple, основанной им вместе со Стивом Джобсом (Steven Paul Steve Jobs, 1955–2011 гг.), создал компанию CL9. Целью новой компании стало создание ПДУ, который мог бы управлять несколькими электронными устройствами.

Уже к осени 1987 г. в CL9 был создан инновационный ПДУ CORE. Это был первый программируемый пульт, который мог также и «обучаться» сигналам от различных устройств, кроме того, встроенные часы позволяли ему запускать программы в назначаемое время. Однако сложность управления этим ПДУ не способствовала его коммерческому успеху.

Только к началу 2000-х после резкого возрастания количества бытовых электроприборов, требовавших дистанционного управления, эти идеи нашли некоторое воплощение. Многие специалисты и потребители стали отмечать запутанность и неуклюжесть при пользовании несколькими ПДУ. Так, только для управления домашним кинотеатром могло потребоваться использование до пяти пультов: для спутникового приемника, видеомэгагнитофона, DVD-проигрывателя, звукового усилителя и собственно телевизора. Из-за разобщенности систем управления некоторые из них нужно было использовать

друг за другом, и это становилось весьма обременительным.

Появление карманных персональных компьютеров с инфракрасным портом позволило создавать универсальные ПДУ с программируемым управлением. Однако в силу высокой стоимости этот метод не получил распространения.

Острота проблемы постепенно устранялась за счет комплексирования бытовой электронной аппаратуры и отмирания отдельных ее представителей (например, видеомэгагнитофонов). Разрабатываемые в это время специальные универсальные обучаемые и программируемые ПДУ, в силу относительной сложности программирования и применения, не нашли широкого распространения. Всевозможные варианты использования некоторых мобильных телефонов для дистанционного управления (по каналу Bluetooth) также не пользовались популярностью у потребителей.

Почти одновременно с появлением задачи дистанционного управления бытовыми приборами возникла необходимость беспроводной передачи информации от первых вычислительных машин на появившиеся в это время автоматические печатающие устройства. В конце 1970-х годов был разработан первый ИК-интерфейс для передачи информации на расстояние нескольких метров — от калькулятора на матричный принтер. В 1993 г. была создана ассоциация IrDA (Infrared Data Association), в рамках которой специалисты ведущих ИТ-корпораций (HP, Microsoft, IBM и др.) последовательно создали ряд стандартов ИК-передачи данных между мобильными устройствами со все возрастающей скоростью: SIR (Serial InfraRed), MIR (Medium InfraRed), VFIR (Very Fast InfraRed), UFIR (Ultra Fast InfraRed), Giga-IR и, наконец, X Giga-IR, который достиг скорости в 5/10 Гбит/с (рис. 2).

В результате был получен относительно недорогой и удобный беспроводной способ передачи данных на небольшие расстояния, использующий узкий ИК-диапазон (850–900 нм)

с малой мощностью потребления и не требующий сертификации, что позволило создать недорогую аппаратуру.

Основным функциональным (системным) отличием VLC от радиоканала является необходимость нахождения в зоне оптической доступности партнера по связи (в прямой его видимости или же в зоне приема отраженного сигнала). Иногда это является важным достоинством, например при необходимости скрытой передачи, но чаще становится недостатком, заставляющим искать зону уверенной связи. Кроме этого, большинство пластмасс радиопрозрачны, а для VLC требуются прозрачные в нужном диапазоне световых волн колпачки, что усложняет конструкцию корпусов. По всей видимости, именно эти, на первый взгляд не совсем главные, свойства и позволили радиотехнологиям вытеснить VLC из области мобильной связи на близкие расстояния, оставив для нее область волоконно-оптической связи, где решающим фактором стало малое затухание оптического сигнала при его передаче по оптоволокну.

Таким образом, современным беспроводным сетям передачи данных, кроме обычных требований технического характера (минимальное энергопотребление при высокой пропускной способности) и экономического толка (небольшая стоимость), необходимо отвечать также разнообразным повышенным требованиям по удобству использования.

Стремительное развитие светодиодных технологий освещения в последнее десятилетие подвигло разработчиков на попытку возрождения VLC для связи на небольших расстояниях. Действительно, широкое применение светодиодов в общем освещении, да еще с интеллектуальным управлением, (технология Connected Lighting) в сочетании с «умными» гаджетами, в которые не составляет большого труда встроить (или же подключить к ним) VLC-адаптер, предоставляет довольно заманчивые возможности. Такой своеобразный «ребрендинг» технологии IrDA получил наименование Li-Fi. При этом

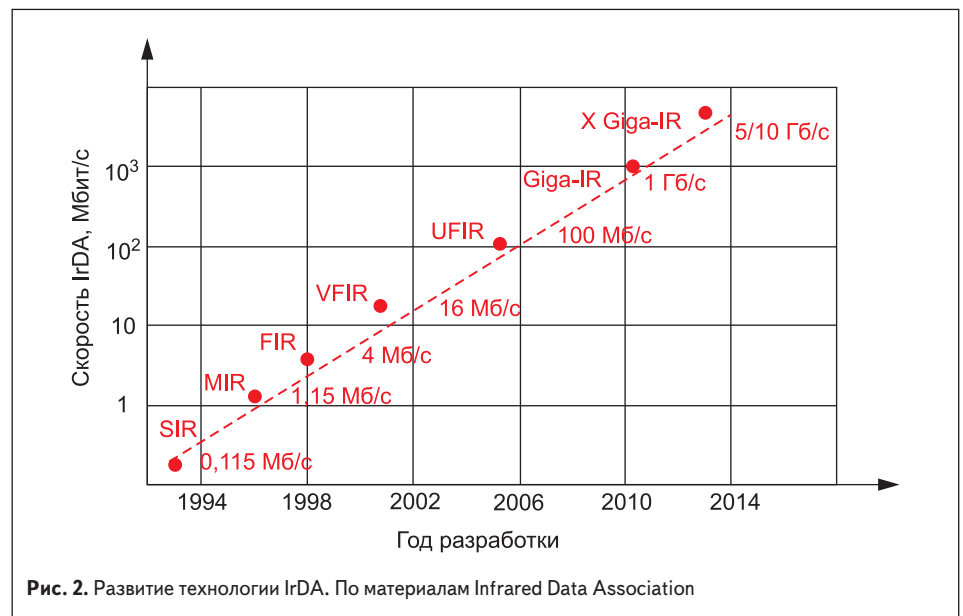


Рис. 2. Развитие технологии IrDA. По материалам Infrared Data Association



Рис. 3. USB-адаптеры: Li-Fi-X dongle (в центре) и IrDA

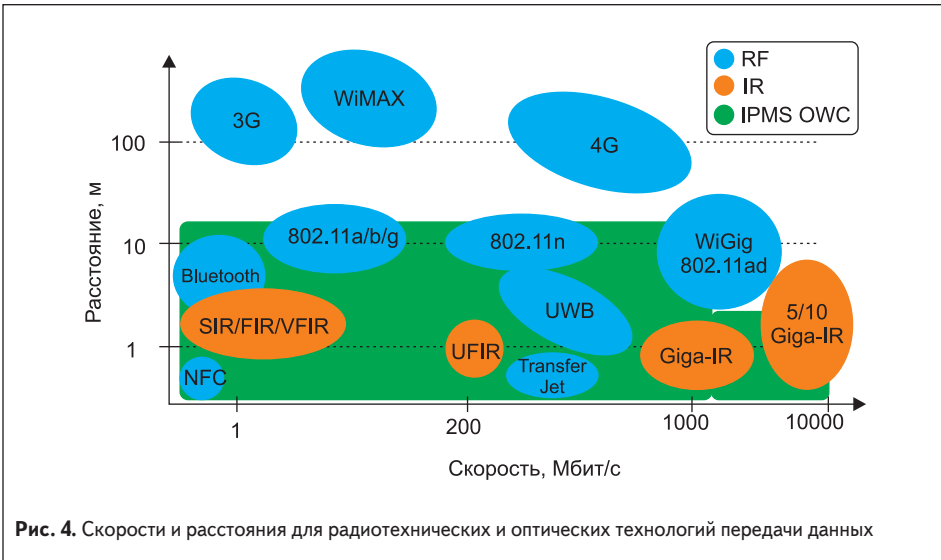


Рис. 4. Скорости и расстояния для радиотехнических и оптических технологий передачи данных



Рис. 5. Современный ПДУ и фотоприемное устройство телевизора

USB-адаптеры для Li-Fi (рис. 3) отличаются от адаптеров для IrDA лишь несколько увеличенными габаритами и направленностью излучения вверх, а не вбок. Прародителем же технологии Li-Fi был назначен фотофон Белла — исходя, по всей видимости, из необходимости забыть недавнее сокрушительное поражение от того же Wi-Fi.

На графике (рис. 4), представленном Институтом фотонных микросистем Фраунгофера (Fraunhofer Institute for Photonic Microsystems, IPMS), показаны зоны использования радиочастотных (RF) и инфракрасных (IR) технологий и возможная зона для предлагаемой институтом оптической беспроводной связи (Optical Wireless Communication, OWC), которую можно считать одним из вариантов воплощения Li-Fi.

Характерно, что RF-технологии долгое время не применялись для управления бытовой техникой и использовались, по большей части, в военных целях, а также для управления различными движущимися и летающими моделями.

Весьма причудливую форму приняло современное соперничество RF- и IR-технологий в области беспроводного управления на небольшом расстоянии, что можно увидеть на разных подходах к управлению телевизорами и компьютерами.

Современные ПДУ для телевизоров (рис. 5) превратились в нечто, больше напоминающее компьютерную клавиатуру с набором клавиш, некоторые из которых имеют функциональное назначение, остающееся загадкой для большинства пользователей. В то же время если заглянуть на тыльную сторону некоторых продвинутых моделей телевизоров, то можно с удивлением обнаружить там так знакомый многим геймерам джойстик (рис. 6), который может полностью функционально заменить ПДУ (например, в случае его потери); при этом управление ведется переключением пунктов меню на экране.

Эволюция управления компьютером пошла своим, довольно своеобразным путем. После революционного изобретения компьютерной мышки через некоторое время начал проис-



Рис. 6. Джойстик управления телевизором

ходить целый ряд революционных же изменений ее датчика перемещения [3] (механический двухколесный датчик→механический шаровой с контактным датчиком→оптомеханический→оптические датчики первого и второго поколения), появились также лазерные и индукционные мышки. Через некоторое время у мышки начал атрофироваться хвостик, поскольку она стала элементом радиуправления (рис. 7). По всей видимости, перед тем как в недалеком будущем появятся попытки управления компьютером непосредственно силой мысли, нам еще предстоит попользоваться мышками, лишенными оптического датчика перемещения, поскольку уже существуют миниатюрные акселерометры достаточной чувствительности. В действительности такая «инерционная» беспроводная мышь разработана [4] и уже составляет серьезную конкуренцию давно существующим беспроводным оптическим мышкам-напальчникам [5], поскольку имеет меньшее энергопотребление, обладает лучшей чувствительностью, меньшим весом и более проста в использовании [3].

Может быть, нам предстоит также лицезреть и управление компьютером с помощью взгляда.

Остается только гадать, на каком витке развития этих двух технологий произойдет объединение принципов управления такими, по сути своей одинаковыми, дисплеями. Пока же даже фантазии голливудских сценаристов и режиссеров, выпустивших в 2006 г. кинокомедию Click (в отечественном прокате «Клик. С пультом по жизни»), не хватает для хотя бы приблизительного понимания направления прогресса в этой области управления.

Что касается Li-Fi, то все больше разработчиков агитируют за использование этой технологии во всех возможных средах, где любознательному представителю человеческого рода может потребоваться оперативная высокоскоростная связь с оцифрованным внешним миром.

На земле

*Румата удивился. — Ты знаешь мое имя?
— Знаю, — сказал Киун.
— Я узнал вас по обручу на лбу.
А. и Б. Стругацкие. Трудно быть богом.*

Важной площадкой конкурентной битвы беспроводных близкодействующих интерфейсов неожиданно для многих стали супермаркеты. В этих храмах общественного потребления в гораздо большей степени, чем, например, в музеях, оказались востребованы системы информирования посетителей (покупателей). По оценке заинтересованных разработчиков, первые сетевые ритейлеры, которые рискнут вложить в продвижение такого рода систем, обеспечат увеличение размера покупательской корзины до 10%. Уже первые пилотные проекты таких систем, внедренные в гипермаркетах Швейцарии (Marc O'Polo), Германии (EDEKA, Paschmann), США (Target, Walmart), Дубаи (Aswaaq), Франции (Carrefour, E.Leclerc Langon), Гонконга (Tai Po Mega Mall), Сингапура (CapitaLand Mall) и Японии (Ginza Six Mall), предусматривают размещение в торговых залах многочисленных точек до-



Рис. 7. Радиомышь и USB ZigBee адаптер

ступа [3]. Кроме информирования (рис. 8), эти системы обеспечивают отслеживание маршрута следования каждого посетителя по его гаджету (Indoor Positioning System, IPS) с точностью определения положения до 0,3 м. Это позволяет идентифицировать покупателя и выдавать ему необходимые, с точки зрения ритейлера, подсказки. В качестве следующего шага технического прогресса так и хочется предложить расширение этой системы позиционирования до экспертной облачной системы за счет подключения к ней через Интернет ряда «умных» домашних вещей идентифицированного покупателя, включая его «умный» холодильник, «умный» тренажер, «умные» весы и «умный» унитаз, что обеспечит полный замкнутый цикл его персонального продуктового обслуживания.

По мнению Google, технологии IPS в будущем получат не меньшее распространение, чем технологии спутниковой навигации, поскольку в городах люди большую часть времени проводят в помещении и в транспорте. Аналогичные системы позиционирования можно развернуть также и на открытых пространствах, например привязывая их к интеллектуальным системам городского освещения. Такой всевидящий изощренный механизм контроля существенно превышает по своим характеристикам систему, описанную в известном фантастическом романе-антиутопии Дж. Оруэлла «1984».

Совершенно естественным образом точки доступа в гипермаркетах могут быть совмещены со светодиодными светильниками, освещающими полки с товарами. Казалось бы,

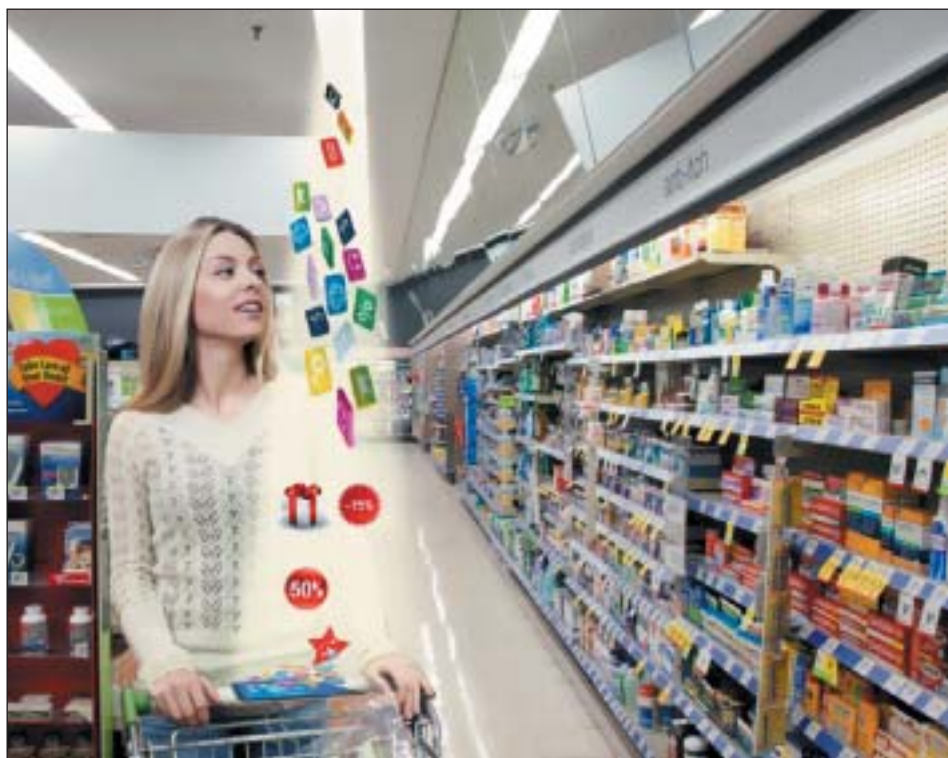


Рис. 8. Li-Fi в супермаркете



Рис. 9. Прототип кольца Li-Fi

ничего не мешает и собственно коммуникацию реализовать с помощью Li-Fi.

Однако, поскольку большая часть гаджетов все-таки носится в карманах, непроницаемых для светового излучения, а отслеживание покупателей, наряду с их принудительным (или добровольным) информированием является важнейшей для ритейлеров функцией, для Li-Fi следует ожидать печальных

результатов на этой конкурентной площадке. Действительно, четыре мировых светотехнических гиганта (Osram, Philips, GE и Zumtobel), включившиеся в эту конкурентную гонку, внедряют на интеллектуальных светильниках, наряду с Li-Fi, и Bluetooth, часто отдавая предпочтение RF-технологии. Думается, что, пока не станет модным размещать гаджеты на открытых частях тела, в том числе в очках, серьгах, на пальцах (рис. 9), в наушниках, в налобных фонариках и т. п., или на одежде (Li-Fi-значки, пуговицы, кокарды и пр.), VLC-технологиям в этой области ничего хорошего не светит.

Еще одним попутчиком, который может способствовать продвижению Li-Fi, является анонсируемая уже не первый год технология Google Glass, которая хорошо сочетается с Li-Fi.

Что касается систем точного позиционирования в помещениях, то существует отечественный вариант такой системы UWB RTLS (Ultra Wide Band Real Time Location System), который был разработан с привлечением широкой международной кооперации. Основным предназначением системы RTLS является контроль положения людей и материальных объектов в реальном времени внутри зданий с точностью до 0,2 м [4]. Побудительным толчком для создания этой технологии стала авария на Саяно-Шушенской ГЭС. Трагедия такого масштаба усугубляется тем, что в момент

аварии отсутствуют объективные данные о фактическом местонахождении людей. В результате затрудняется поиск выживших, а погибшие могут длительное время числиться пропавшими без вести. Характерно, что для UWB RTLS были выбраны технологии, основанные на измерении времени распространения радиосигнала от передатчика до приемника (time of flight), CSS (Chirp Spread Spectrum) и SDS-TWR (Symmetrical Double-Sided Two Way Ranging), которые обеспечивают требуемую точность позиционирования и соответствуют международным стандартам ISO 24730-5 и IEEE 802.15.4-2011 соответственно. Для связи в RTLS используется ячеистая сеть ZigBee (IEEE 802.15.4) ввиду минимального из всех существующих радиотехнологий энергопотребления автономных гаджетов (т. н. меток). Ввиду использования специализированных меток, UWB RTLS может найти применение в промышленности, на предприятиях энергетики, во ФСИН, на объектах МО и Росрезерва, для мониторинга перевозимых грузов на складах, сигнализации в опасных зонах — везде, где остро необходим контроль положения людей и материальных объектов в ограниченных пространствах.

В небесах

*Ночной зефир¹
Струит эфир.
Шумит,
Бжит
Гвадалквивир.
А.С. Пушкин.*

Если не брать во внимание весьма возможные будущие успехи VLC в дальней космической лазерной связи (Free Space Optic Communication, FSO), то наиболее вероятной зоной внедрения VLC на летательных аппаратах, скорее всего, станут салоны пассажирских самолетов (рис. 10), где, как известно, любая активность в радиодиапазоне не является желательной. Совмещение индивидуального освещения каждого пассажирского кресла с индивидуальной же доставкой широкополосного Li-Fi-контента кажется на первый взгляд красивым и рациональным техническим решением. Однако в данном случае (при стационарном положении пользователя в кресле пассажирского салона) подключение любого гаджета по проводному интерфейсу не проигрывает беспроводной коммуникации, давая заодно и возможность подзарядки встроенного аккумулятора. Возможность же создания универсального беспроводного зарядного устройства для широкого спектра мобильных электронных аксессуаров представляется весьма сомнительной. Кроме этого, уже появился ряд отечественных и зарубежных компаний, которые, после проведения тестирования, начали оснащать свои летательные аппараты Wi-Fi-роутерами.

Немаловажной областью возможного применения Li-Fi может оказаться поддержание скрытой связи с беспилотными летательными аппаратами (БПЛА). Современные страто-



Рис. 10. Li-Fi на борту самолета

¹Зефир (др.-греч. Ζέφυρος, «западный», микен. ze-pu-ro) — западный ветер, господствовавший, по мнению микенцев и греков, в восточной части Средиземного моря. Он начинался весной и достигал наибольшей интенсивности к летнему солнцестоянию [8].

сферные БПЛА типа Zephyr (фирма QinetiQ), Pathfinder (NASA), Aquila (Facebook) и отечественный БПЛА «Сова» имеют электропривод винтов с питанием днем от солнечных батарей на крыльях, а ночью — от литий-серных батарей. Эти сверхлегкие углепластиковые гиганты с размахом крыльев в несколько десятков метров смогут парить в стратосфере на высоте более 15 км практически неограниченное время [9], особенно в экваториальных широтах.

Такие БПЛА можно оснастить фотокамерой, которая обеспечит непрерывную видеосъемку в полосе до 50 км с разрешением до 10 см. Предполагается, что использование эскадрильи стратосферных БПЛА станет экономически более выгодной технологией в сравнении с содержанием существующей группировки низкоорбитальных спутников дистанционного зондирования Земли. Возможность постоянного барражирования над заданным районом придает стратосферным БПЛА особо важное значение при наблюдении за природными катастрофами (пожары, наводнения, извержения вулканов) и локальными военными конфликтами. Важным свойством разведывательной модификации аппарата, парящего в стратосфере в режиме радиомолчания, является невозможность его надежного фиксирования современными радиолокационными средствами ввиду минимального количества металлических деталей на борту. Наблюдать его днем в оптическом диапазоне также невозможно ввиду релеевского рассеяния солнечного света в низлежащей атмосфере. Такой аппарат будет возможно разве что кратковременно увидеть в лучах восходящего/заходящего Солнца на фоне темного неба, правда, время его наблюдения будет в десятки раз меньше, чем, например, у крупного спутника, — ввиду быстрого попадания БПЛА в тень после захода Солнца. Кроме того, если направить полет БПЛА в сторону заходящего светила, это минимизирует отраженное вниз солнечное излучение, так что обнаружить его будет практически невозможно.

В случае реализации этого проекта потребуется скрытый сброс на Землю потока получаемой стратосферным БПЛА видеоинформации. Если не использовать алгоритмы сжатия, то максимальную величину этого потока можно оценить в несколько десятков Гбит/с, что требует разработки технологии лазерной FSO-связи следующего поколения.

Для БПЛА, работающего в качестве ретранслятора для сотовой связи или Интернета, как это задумано, например, для аппарата типа Aquila (рис. 11), предусматривается вариант аналогичной FSO-связи в направлении поверхность Земли→БПЛА и даже БПЛА→БПЛА, с дальнейшей передачей на Землю конечному пользователю уже RF-сигнала.

На море

*Связь неважная, Матвей Сергеевич:
магнитная буря...
А. и Б. Стругацкие. Далекая Радуга.*

Как уже отмечалось в [10], технологии VLC широко применяются на флоте для связи



Рис. 11. БПЛА Aquila

корабль–корабль и корабль–берег. В XX в. для этого использовались прожектора с модуляцией светового потока управляемыми вручную шторками, при этом скорость передачи не превышала нескольких бит/с. С появлением технологий VLC на флоте стали появляться широкополосные системы передачи данных. В настоящее время в интересах ВМФ США проводится разработка Li-Fi-системы связи TALON (Tactical Line-of-Sight Optical Network). Этой системе предстоит заполнить значительный пробел в архитектуре военно-морской связи, заключающийся, в частности, в необходимости скрытой передачи массивов данных разведки, наблюдения и рекогносцировки. Для ВМФ США наибольшую актуальность TALON должна иметь при проведении операций авианосными ударными соединениями, когда из соображений сохранения секретности требуется соблюдать режим радиомолчания. На фотографии (рис. 12) показан опытный образец приемопередатчика системы TALON, который может быть размещен на ходовом мостике корабля, а также на береговой станции связи [11].

...и далее везде...

*Как лист увядший, падает на душу...
Тот свет звезды, что никому не нужен...
Из сонета Цурэна в переводе с ируканского
Кэтрин Кинн*



Рис. 12. Приемопередатчик морской Li-Fi-системы связи TALON

Технология Li-Fi за годы своего развития прошла несколько попыток воплощения для гражданского применения, включая Li-1st, LiFlame и Li-Fi-X. В одной из последних публичных демонстраций в начале этого года был показан светильник, обеспечивающий одновременную работу с 16 Li-Fi-пользователями на скорости передачи, достигающей до 45 Мбит/с [12].

В прошлом году ученые из Университета науки и технологий короля Абдуллы (Саудовская Аравия) провели ряд лабораторных экспериментов по повышению быстродействия Li-Fi и довели скорость коммуникации до 2 Гбит/с, что превышает скорость стандартного Wi-Fi в 20 раз.

Проблему повышения функциональности технологии Li-Fi пытаются решить прикреплением Li-Fi-гаджетов к аксессуарам обязательного ношения. Так, например, в современных складах вертикального хранения для этого могут быть использованы



Рис. 13. Li-Fi на складе

каска (рис. 13), что дополнительно обеспечит объективный IPS-контроль перемещения персонала.

Тем временем и технологии радиопередачи не стоят на месте. Уже появилась инновационная технология связи WiGig (802.11ad), обеспечивающая максимальную скорость передачи данных до 6,7 Гбит/с. Спецификой данной технологии является работа на высоких частотах (60 ГГц), что, однако, не позволяет сигналу проходить сквозь стены. Эту новинку часто называют «беспроводным USB», поскольку радиус ее действия не будет превышать нескольких метров.

Анонсирована и следующая прорывная технология радиопередачи — 100 Гбит/с на частоте 300 ГГц (разработка Hiroshima University) [13].

Что касается ближней бесконтактной связи сверхмалого радиуса действия, то представляется, что здесь наибольшую конкуренцию для Li-Fi может составить технология NFC (Near Field Communication), анонсированная еще в 2004 г. [14]. NFC является расширением стандарта бесконтактных карт (ISO 14443), которое объединяет интерфейс смарт-карты и считывателя в единое устройство. Таким образом, NFC совместима с существующей инфраструктурой бесконтактных карт, уже используемой в общественном транспорте и платежных системах. NFC нацелена, прежде всего, на использование в цифровых мобильных устройствах. Так же, как и в стандарте ISO 14443, в NFC связь поддерживается посредством индукции магнитного поля, где две рамочные антенны располагаются в пределах ближнего поля друг друга, эффективно формируя трансформатор с воздушным сердечником. Этот стандарт работает в пределах общественно доступных и нелицензируемых радиочастот ISM band около 13,56 МГц, с шириной полосы пропускания почти 2 МГц. Рабочее расстоя-

ние связи NFC-устройств с компактными стандартными антеннами не превышает 20 см. Поддерживаемая скорость передачи данных — 106, 212 или 424 кбод. Время установления связи — около 0,1 с.

Несмотря на все вышесказанное, многие аналитики считают, что VLC станет важной составляющей нашей будущей жизни. При этом VLC-сети станут органической частью грядущих «умных» офисов, интеллектуальных энергосетей, «Интернета вещей» и «умных» городов. Что касается интеллектуальных систем наружного и внутреннего освещения, то, по мнению светодиодного нобелевского лауреата Суджи Накамура (Shuji Nakamura, рис. 14), технология Li-Fi может вообще стать в них ключевой (csusial) [15].

Некоторые промежуточные выводы и предположения

Трудно быть богом, подумал Румата и сказал терпеливо: — Вы не поймете меня. Я вам двадцать раз пытался объяснить... а вы так и не поверили. А. и Б. Стругацкие.

По классификации академика В. М. Глушкова (1923–1982 гг.), каждая система проходит при создании пять стадий: шумиха, неразбериха, поиск виновных (собственно рабочий процесс), наказание невиновных и награждение непричастных. К этому перечню иногда еще добавляют стадию устрашения сочувствующих. К настоящему моменту технология Li-Fi находится примерно в середине третьей стадии своего развития.

В российских условиях наиболее актуальным может оказаться внедрение Li-Fi там, где требуется сочетание хорошей защищенности связи с точной геолокацией. Кроме перечисленных выше, это могут быть любые объекты, на которых стоит комплексная

задача контроля перемещения персонала и охрана периметров: склады особого хранения, угольные шахты, полярные станции, таможенные терминалы, пограничные переходы, контрольно-следовые полосы, а также зоны проведения спецопераций, армейская спецсвязь и т. д., и т. п. ■

Литература

1. Arnon Shlomi. Visible light communication. Cambridge (UK): Cambridge University Press, 2015.
2. О. Зотин. Li-Fi: светлое будущее беспроводных технологий или тупиковая ветвь развития? // Беспроводные технологии. 2016. № 3.
3. www.thg.ru/technews/20130415_100432.html
4. David van Dantzig. Neo Reflection Wireless 3D Finger Mouse preview, a 3D air finger mouse that seems to work well. www.itproportal.com/2013/05/16/neo-reflection-wireless-3d-finger-mouse-preview/
5. http://ru.science.wikia.com/wiki/Компьютерная_мышь
6. Robert Leeming. Ten retail indoor positioning projects you need to know. <http://luxreview.com/article/2017/03/ten-retail-indoor-positioning-projects-you-need-to-know>
7. www.rtlsnet.ru/technology/view/2
8. Предметно-понятийный словарь греческого языка. Микенский период. Л.: Наука, 1986.
9. Dean Sigler. Sion Power, Airbus, UAE Team Up to Set Dubai Altitude Record. [blog.cafefoundation.org. Cutting-edge Aviation News from the CAF Foundation. http://cafe.foundation/blog/sion-power-airbus-uae-team-set-dubai-altitude-record/](http://blog.cafefoundation.org/Cutting-edge-Aviation-News-from-the-CAF-Foundation)
10. О. Зотин. Li-Fi. Сегодняшние мифы и грядущие реальности // Беспроводные технологии. 2016. № 4.
11. Terence Bennett. Naval Applications for LIFI: the Transmitting Tool. <http://cimsec.org/naval-application-tech-lifi/27242>
12. Amy Nordrum. Mobile World Congress 2017: Pure Li-Fi Debuts New Li-Fi Luminaire and Shares Progress on Commercial Pilots. <http://spectrum.ieee.org/tech-talk/telecom/internet/mobile-world-congress-2017-purelifi-debuts-new-lifi-luminaire-and-shares-progress-on-commercial-pilots>
13. Amy Nordrum. New Terahertz Transmitter Shines With Ultrafast Data Speeds. IEEE Spectrum. <http://spectrum.ieee.org/tech-talk/telecom/wireless/new-terahertz-transmitter-outshines-the-competition>
14. К. Кочетков. Технология NFC в смартфонах и ее практическое использование. www.ixbt.com/mobile/nfc-2013.shtml
15. Robert Leeming. Li-Fi crucial to the future of lighting, says LED inventor. <http://luxreview.com/article/2017/02/li-fi-crucial-to-the-future-of-lighting-says-led-inventor>

В статье также использованы материалы сайтов www.oledcomm.com, www.irda.org, <http://nfc-forum.org>, www.rusf.ru/abs/books.htm и www.niitm.spb.ru.



Рис. 14. Суджи Накамура