

СВЯЗЬ ЧЕРЕЗ ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

ИНТЕРНЕТ НА ЛАМПОЧКЕ

Наряду с намерениями заменить лампочки накаливания твердотельными светильниками на основе сверхъярких светодиодов у «продвинутых» инженеров возникла идея: а почему бы не использовать короткие, не различимые глазом, вспышки светодиода для передачи данных различным устройствам, находящимся в пределах его прямой видимости. Можно ли установить связь со своим компьютером, смартфоном, телевизором, радиоприемником или термостатом простым включением освещения. Очевидно, эта фантастическая идея осуществима. Проводимые сегодня успешные разработки в области передовой светодиодной технологии позволяют включать каждый новый светодиод в магистраль сети и устанавливать беспроводную связь с любым устройством в помещении, не загружая уже переполненные радиочастотные диапазоны (обратную передачу нетрудно организовать схожим образом — при помощи в первую очередь светодиодов подсветки ЖК-экранов и фотоприемников на потолке). По мнению специалистов, скорость беспроводной передачи данных с помощью излучения светодиодов может достичь 100–200 Мбит/с и более. По-видимому, такие системы передачи не найдут применения в компьютерной технологии, но окажутся весьма перспективными для установления связи с множеством других не связанных друг с другом устройств. Рассмотрим возможности передачи данных с помощью «холодных» светодиодов.

БЕСПРОВОДНЫЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ СВЕТОДИОДОВ. ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ

Впервые передача данных с помощью световых волн видимого спектра была осуществлена в 1880 году знаменитым изобретателем, ученым и первопроходцем Александром Гремом

В.Майская

Беллом и его помощником Чарльзом Саммером Тейнтером. По значимости созданное и запатентованное устройство, названное фотофоном (Photophone), Белл ценит выше телефона. Но лишь в 1931 году в компании Bell Telephone Laboratories был рассмотрен вопрос о возможности использования видимого света для беспроводной передачи данных с целью предотвращения несанкционированного доступа к ним. И только в 2003 году крупными японскими фирмами, в том числе Casio, NEC, Panasonic Electric Works, Samsung, Sharp и Toshiba, а также операторами телекоммуникационных систем, такими как NTT Docomo был образован консорциум VLCC по системам связи через световые волны видимого спектра (Visible Light Communications, VLC). Цель консорциума — исследование, разработка, планирование и стандартизация созданных японскими фирмами беспроводных систем связи на основе световых волн видимого спектра.

Сегодня VLC-системы рассматриваются как весьма ценное будущее поколение систем беспроводной связи, которые по скорости передачи данных превзойдут современные системы. Кодирование данных в этих системах осуществляется за счет быстрого, не воспринимаемого глазом человека, выключения/включения (мигания) источника света, который одновременно выполняет функцию устройства освещения. Такие источники света видимого диапазона, как лампы накаливания и люминесцентные лампы невозможно переключать достаточно быстро для обеспечения высокоскоростной передачи. Проведенные в Японии испытания VLC-систем показали, что при использовании в качестве источника видимого света флуоресцентных ламп скорость передачи была равна 10 Кбит/с, тогда как в случае применения светодиодов (СД) скорость достигала нескольких мегабит в секунду. Таким образом, светодиод — единственный приемлемый источник сигнала для VLC-систем. Возможность быстрой модуляции (с частотой ~20 МГц) излучения СД уже сегодня позволяет достичь скорости передачи 100 Мбит/с, требуемой для поддержки через Интернет телевидения высокой четкости и телемедицинских услуг. К достоинствам светодиодных VLC-систем относится



и высокая конфиденциальность передаваемой информации, поскольку в отличие от ВЧ/СВЧ беспроводных систем, данные которых могут легко перехватываться за пределами помещения, в котором они установлены, VLC-системы передают информацию только в пределах прямой видимости приемника. И еще одно достоинство светодиодных систем связи через световые волны видимого спектра – это поддержка широко распространенной инфраструктуры систем освещения. Достаточно присоединить СД к системе освещения. При этом потребляемая мощность светодиодов меньше, чем у других осветительных приборов.

Так в чем же преимущество светодиодных VLC-систем перед существующими средствами беспроводной связи?

Система «приемлемого оптического ближнего доступа» RONJA (Reasonable Optical Near Joint Access), разработанная в Чехии, обеспечивает передачу данных с помощью видимого красного света на расстояние до 1,4 км или ИК-излучения на расстояние 0,78 км. Как и другие VLC-системы RONJA может передавать данные в пределах прямой видимости. Густой туман или снегопад пагубно влияют на ее скорость передачи.

ИК-системы связи широко используются для передачи данных в ноутбуках, пультах управления телевизорами, а также в мобильных телефонах. Ассоциация по инфракрасной технологии передачи данных (IrDA) выпустила более 30 стандартов на технические параметры ИК-систем. Росту спроса на эти системы способствовал выпуск протокола

IrSimple ver.1.0, который заполнил недостающее звено в связи между цифровой камерой и телевизором. Частота излучения СД и ИК-приборов примерно одинакова (несколько сотен терагерц), однако ИК-излучение не безопасно для глаз, поскольку плотность мощности его велика и оно не видно человеку. А это накладывает ограничения на скорость передачи ИК-систем беспроводной связи. Надлежащим образом разработанные для VLC-систем светодиоды гораздо безопаснее для человеческих глаз.

ВЧ/СВЧ-системы связи широко распространены. Однако наличие в зданиях множества устройств, работающих в трех независимых частотных диапазонах беспроводных сетей передачи данных, часто приводит к несанкционированному доступу к конфиденциальной информации. Кроме того, исследования ВЧ/СВЧ-систем показали, что излучаемые ими сигналы могут вносить помехи в работу чувствительного электронного оборудования, используемого, например в медицинских учреждениях, на некоторых промышленных предприятиях и в летательных аппаратах. Средства связи через световые волны видимого спектра могут решить эти проблемы и позволят создать биологически дружелюбную окружающую среду системы (см. таблицу). К тому же, свободное использование беспроводной связи на высоких частотах запрещено законом, тогда как светодиодные VLC-системы не нужно лицензировать (пока).

Таким образом, как отметили эксперты консорциума VLCC, средства коммуникации через световые волны видимого спектра обладают высокой скоростью передачи и безвредны

Сравнение ВЧ- и светодиодных беспроводных систем связи

Свойство	ВЧ-система на 2,4 ГГц	Система на базе светодиодов	Преимущество
Безопасность/конфиденциальность	Стены прозрачны для сигнала	Данные могут передаваться только в пределах прямой видимости. Излучение не опасно для глаз	Светодиодная система
Допустимая полоса частот	Сигналы одной частоты могут создавать помехи друг другу, и многотерминальный канал связи приходится использовать поочередно. Уровень сигнала уменьшается	Возможно направленное излучение света в соответствии с различными условиями среды	Светодиодная система
Стоимость выделения дополнительной полосы частот	Очень высокая, если она есть	Ничего не стоит (пока)	Светодиодная система
Помехи	Наличие многих пользователей одного канала приводит к снижению скорости передачи. Работают в диапазоне, отведенном для промышленных научных и медицинских целей	Видимое естественное (солнечное) излучение и искусственное освещение (не светодиодов) вызывают уменьшение скорости передачи	Неопределенное
Многолучевое замирание	Деструктивная интерференция: ВЧ-сигнал отражается от поверхности и может оказаться не в фазе	Интерференция воспринимается как шум; сигнал не пропадает	Светодиодная система
Резервирования пунктов доступа	Достигается за счет многочисленных пунктов доступа	Обеспечивают многочисленные светодиоды	Светодиодная система
Скорость передачи	100 Мбит/с в развернутой системе	Сопоставимое значение, но для получения высокой совокупной скорости требуется повторная передача	Светодиодная система
Стоимость, долл.	< 20	< 2 (данные Ассоциации по инфракрасной технологии передачи данных)	Светодиодная система

как для человека, так и для электронной аппаратуры, в отличие от ВЧ- и ИК-систем беспроводной связи. По-видимому, при дальновидности разработчиков светодиодные LVC-системы смогут оказать серьезное влияние на промышленность телекоммуникационных средств связи и сформировать ситуацию, когда технические открытия смогут быть реализованы с помощью существующих технологий.

ВОЗМОЖНЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ LVC-СИСТЕМ

Визуальная сигнализация и связь

В системах морского флота, транспортных системах и других часто используются цветные световые сигналы, например, для обозначения опасности (красный свет). Дополнение таких систем средствами обмена информацией могут улучшить безопасность и другие характеристики систем управления транспортным потоком. Благодаря высокой надежности в таких системах широко используются СД. Еще в 2005 году специалистами Университета Нагойи (Япония) была продемонстрирована возможность использования таких СД для установления связи с транспортными средствами, оснащенными камерой с высокой скоростью обработки видеоданных (500 кадров/с). Источник излучения видимого спектра состоял из 192 СД, разделенных на восемь групп. Скорость передачи системы составила 2,78 Кбит/с.

В Европейском сообществе проводится исследовательская программа, предусматривающая изучение возможности установления связи между машинами.

Отображение информации и связь

Информационные панели и дорожные указательные знаки зачастую выполняются на СД, напряжение которых можно регулировать с тем, чтобы передавать дополнительную информацию камере смартфона или ручного терминала. Например, направив камеру мобильного телефона на световую рекламу какого-либо кафе или ресторана, можно будет получить сведения о его адресе, меню, а возможно и бланк заказа. Такие панели могут найти применение в аэропортах, музеях и других средах, где нужна информация о местонахождении искомого объекта.

Связь

Прямая связь через световые волны видимого спектра между ручными терминалами характеризуется малой расходимостью луча и, следовательно, малыми потерями в канале передачи. По-видимому, с помощью техники VLC-передачи данных удастся создать системы широкополосной связи для передачи высококонфиденциальной информации.

Освещение и связь

Как уже отмечалось, белые СД могут одновременно использоваться для освещения и передачи данных другим устройствам, находящимся в помещении, или для обмена данными между автомобилями через излучение фар. Появились сооб-

щения и о широковещательных системах передачи музыкальных программ на СД. Очевидно, это наиболее перспективное приложение LVC-систем и можно ожидать, что в области таких беспроводных систем доступа к домашним сетям будет наибольший объем разработок.

Позиционирование и связь

LVC-системы позволяют определять местоположение в помещении электронного бытового прибора или пользователя мобильным телефоном, оснащенных датчиком изображения. Существует ряд схем, выполняющих такую функцию. Но при этом основное назначение используемых светодиодов – освещение помещения. Это означает, что стандарты на LVC-системы должны отличаться от стандартов других беспроводных систем связи.

МЕРЫ ПО ПРОДВИЖЕНИЮ VLCC-СИСТЕМ

Достоинства светодиодных коммуникационных систем и открывающиеся перспективы их применения побудили Консорциум VLCC в 2008 году предложить комитету по стандартизации беспроводных персональных сетей IEEE 802.15 добавить в стандарт пункт 7, с тем чтобы сравнять статусы средств коммуникации через световые волны видимого спектра и беспроводных ВЧ-/ИК-систем связи. К середине 2010 года проект стандарта 802.15.7 был одобрен рабочей группой комитета Института инженеров по электротехнике и электронике. Правда, по мнению технического редактора стандарта IEEE 802.15, специалиста компании Intel Рика Зобертса (Rick Roberts), для принятия стандарта необходимо еще решить множество проблем. В первую очередь это вопросы, связанные с взаимодействием с другими системами передачи информации. Тем не менее, можно ожидать, что в 2011 году стандарт будет закончен. При этом он в первую очередь будет касаться осветительных функций СД, а затем и функций передачи данных через световые волны видимого спектра.

В том же 2008 году консорциум VLCC заключил соглашение с IrDA на проведение совместных работ по объединению VLC-технологии с используемыми в мобильных телефонах ИК-средствах связи. Цель соглашения – улучшение существующих и будущих коммерческих оптических систем связи, используемых в самых разнообразных устройствах (видеокамерах, автомобильных электронных системах, сигнальных устройствах, средствах освещения помещений, мобильных телефонах, принтерах, пунктах взимания дорожных сборов, дорожных знаках, дисплеях). В результате в 2009 году консорциум VLCC выпустил первый стандарт, который на основе заданного IrDA спектра допускает использование световых волн видимого спектра. Теперь путем незначительной модификации существующие оптические модули стандарта IrDA можно будет применять в светодиодных VLC-системах и тем самым



снизить их стоимость по мере расширения применения IrDA-устройств в портативной аппаратуре.

Представители промышленности, институты по стандартизации и компании уже ведут программы по созданию VLC-систем связи на основе светодиодов, в том числе и хорошо финансируемые правительственные. И ставки здесь велики, поскольку сегодня активизировались работы по переходу к твердотельным устройствам освещения, рынок которых оценивается в триллионы долларов. Громадный рынок таких устройств, который по прогнозам компании Strategies Unlimited к 2014 году составит 7,3 млрд. долл., побуждает практически каждую крупную исследовательскую организацию и компанию приступить к изучению возможностей светодиодных VLC-приложений.

Исследованиями в этой области помимо японских компаний заняты крупнейший телекоммуникационный оператор Франции France Telecom, компании группы Orange, относящиеся к France Telecom, концерны Siemens (Германия), Telefonica (Испания), университеты Рима, Дортмунда, Ильменау, Эдинбурга, Афин и Калифорнии, Оксфордский университет.

С января 2008 года изучение проблем беспроводной связи с помощью СД было включено в исследовательский проект Европейского союза Omega, в котором участвуют 20 европейских компаний (в том числе Siemens) и научных организаций. Работы по проекту были начаты в 2008 году,

закончатся они в 2010-м. Цель проекта – создание дружественной пользователю домашней сети со скоростью передачи данных до 1 Гбит/с, обеспечивающей беспроводную связь между домашней техникой и Интернетом, а также друг с другом.

На возможность применения световых волн видимого спектра в беспроводных системах связи обратил внимание и Национальный научный фонд США, который предложил включить исследования в области VLC-систем в работу организованного при Политехническом институте Ренсселера Технического исследовательского центра в области твердотельных осветительных приборов (Engineering Research Center, ERC). Программа Smart Lighting по изучению твердотельных осветительных приборов рассчитана на 10 лет. Помимо Политехнического института Ренсселера, в ней участвуют более 30 ученых различных университетов, в том числе университетов Бостона и Нью Мексико. На программу Национальный научный фонд планирует затратить 18,5 млн. долл. Предусматривается изучение всех аспектов светодиодных систем, включая цвет излучения, его интенсивность, энергопотребление, поляризацию и модуляцию. Цель этих работ – применение СД не только в качестве средств беспроводной связи, но и для контроля таких показателей, как частота сердцебиения, или для определения самого полезного для здоровья чело-

века уровня освещения помещения в любое время дня. Изучается и возможность использования излучения видимого спектра в системах биодатчиков, в медицинской диагностики и терапии.

Чего же добились на сегодняшний день разработчики беспроводных систем связи на основе СД?

ДОСТИГНУТЫЕ УСПЕХИ

К первым демонстрациям возможностей VLCC относится представленный в 2007 году на выставке по информационным технологиям Inter BEE компанией Fuji Television Network опытный образец ЖК-панели, в которой была предусмотрена функция передачи данных с помощью видимого света. Передача осуществлялась с помощью светодиодов подсветки ЖК-панели, прием – с помощью фотоэлемента, подключенного к карманному компьютеру, на экран которого и выводился переданный текст. Технология VLC была предложена корпорацией NEC в соответствии со стандартами, разрабатываемыми консорциумом VLCC. Частота переключения светодиодов составляла 28,8 кГц, скорость передачи данных – 4,8 Кбит/с. Основное назначение такой ЖК-панели – помощь людям с плохим зрением и слухом. Так появилась возможность передавать титры или звук на слуховой аппарат. Правда, пока стоимость светодиодной подсветки панели достаточно высокая, вследствие чего ЖК-панель не вызывает большого интереса пользователей. Но при ее удешевлении такая ЖК-панель станет доступной. Пока о ее коммерческой реализации сведений нет.

Пожалуй, наилучших результатов на сегодняшний день добилась компания Siemens, побившая собственный рекорд по беспроводной передаче данных с помощью излучения светодиодов со скоростью 200 Мбит/с. В сотрудничестве с учеными Института Генриха Герца (Германия) ими достигнута скорость передачи данных на расстояние до 5 м, равная 500 Мбит/с. В экспериментах использовались сверхъяркие белые светодиоды марки Ostar компании Osram с яркостью $20 \cdot 10^6$ кд/м² и эффективностью 36 лм/Вт при токе 350 мА. Была также показана возможность применения до пяти светодиодов для передачи данных на большие расстояния со скоростью до 100 Мбит/с.

Исследования в области VLC-систем активно ведут ученые шотландских научных организаций. Так, в Эдинбургском университете удалось осуществить VLC-передачу данных со скоростью 100 Мбит/с при использовании в качестве источника излучения созданных учеными университета ламп на основе светодиодов. Сейчас работы направлены на достижение скорости передачи данных 1 Гбит/с.

А по утверждению разработчиков Института фотоники и Университета Стратклайда, такая скорость передачи

уже достигнута в VLC-системе на основе матрицы микро-светодиодов, излучающих на длине волны 450 нм. Матрица содержит 16×16 индивидуально адресуемых светодиодов (пикселей) диаметром 72 мкм, излучающих на длинах волн 370, 405 и 450 нм. Ширина полосы при модуляции -3 дБ без возврата к нулю и длине волны 450 нм составила ~245 МГц при коэффициенте ошибок по символам менее $1 \cdot 10^{-10}$.

Учеными Академии наук Китая получена скорость передачи VLC-системы в 2 Мбит/с.

Интерес представляют проводимые в Институте Нью Мексико в рамках программы Smart Lighting работы по увеличению эффективности и скорости переключения светодиодов и достижению ширины полосы в несколько гигагерц за счет создания новых архитектур. Профессором Стивом Хэрси (Steve Hersee) разработан процесс получения светодиодов на основе нанопроводов, в которых свет излучают вертикальные столбцы, состоящие из нескольких миллионов нанопроводов, которые коаксиально наматываются на центральный нанопровод. Светодиоды на основе нанопроводов изготавливаются на традиционном для СД материале – нитриде галлия. Диаметр нанопроводов составляет 100–500 нм, высота вертикального столбца – 5–10 мкм. Плотность дефектов светодиодов на основе нанопроводов практически равна нулю, против $\sim 10^6$ см⁻² для обычных СД. По утверждению профессора Хэрси, разработанная в Университете Нью Мексико технология создания светодиодов на нанопроводах пригодна для массового производства. В июле 2010 года планировалось провести оценку СД новой архитектуры и определить задачи по их совершенствованию на 2011 год.

Передача данных через световые волны видимого спектра – важная технология, которая позволит расширить пригодный для применения диапазон беспроводных систем связи, не будет вызывать повреждений чувствительного электронного оборудования и нарушать хранимые данные, а также обеспечит создание более дружественных пользователю и окружающей среде средств связи. Результаты, получаемые в ходе разработки VLC-систем, могут быть использованы в существующей телекоммуникационной технологии и могут помочь создать гибридные устройства, например, такие как системы связи на большие расстояния с использованием как видимого излучения (при хорошей погоде и видимости) и менее безопасного РЧ/ВЧ-излучения (при плохой погоде и видимости). ○