

УДК 004.7

Петрусъ Иван Павлович

ФГБОУ ВПО «Уральский Государственный Университет Путей Сообщения»

Россия, Екатеринбург¹

Аспирант

E-Mail: petrus_ivan@mail.ru

Гузенкова Елена Алексеевна

ФГБОУ ВПО «Уральский Государственный Университет Путей Сообщения»

Россия, Екатеринбург

Аспирант

E-Mail: eguzenkova@usurt.ru

Аспекты практического использования беспроводной оптической технологии передачи данных

Аннотация: Цель исследования: Данная статья посвящена исследованию аспектов практического использования беспроводной оптической технологии передачи данных на базе светодиодов видимого излучения. Актуальность данной темы обусловлена тем, что рассматриваемая технология является инновационной и пока не эксплуатируется, так как требуется раскрытие её потенциалов, а также областей и способов применения. Метод или методология проведения работы: Исследование имеет междисциплинарный и проблемно-ориентированный характер, в нём используются методы сравнения и проведения аналогий. Область применения результатов: Результаты исследования могут быть использованы для построения сетей передачи данных принципиально нового типа во многих областях, особенно в тех, которые чувствительны к радиоволнам. Результаты: Изучение принципа действия и технических характеристики сетей передачи данных построенных на базе данной технологии позволяет заявить о том, что технология беспроводной оптической передачи данных на базе светодиодов видимого излучения имеет достаточный потенциал, чтобы серьезно потеснить на рынке информационных технологий многие существующие современные радиочастотные технологии передачи данных, например, такие как Wi-Fi и WiMax.

Ключевые слова: Беспроводные сети передачи данных; инфракрасные оптические беспроводные системы; коммуникационная линия в видимом свете; комнатные беспроводные оптические каналы связи; локальные сети; радиочастотная линия передачи; радиочастотные технологии передачи данных; светодиоды; светодиодные лампы; энергоэффективные беспроводные сети.

Идентификационный номер статьи в журнале 85TVN214

¹ 620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66

Инновационная технология беспроводной оптической передачи данных – VLC-технология (Visible Light Communication – коммуникационная линия в видимом свете), использующая в качестве передатчика данных светодиоды видимого излучения, сравнима и даже превосходит по пропускной способности новейшие технологии беспроводной радиочастотной передачи данных [11, 12] и обладает рядом преимуществ по сравнению с ними.

Принцип действия технологии заключается в том, что светодиоды, излучающие в видимой области спектра электромагнитных волн, одновременно освещают помещение и с огромной скоростью включаются и выключаются. Эти включения и выключения складываются в массивы бинарных данных, то есть, по сути, происходит передача данных в двоичном коде [3, 13]. Человеческий глаз не воспринимает более 100 мерцаний в секунду, поэтому эти модуляции воспринимаются как сплошной поток света [3].

Максимальная скорость переключения светодиодов ограничивается способом их производства, который определяет их устойчивость к перегоранию, эта же устойчивость не позволяет использовать люминесцентные лампы и лампы накаливания для передачи данных по технологии VLC. Методом оптического мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов (O-OFDM – Optical orthogonal frequency-division multiplexing) с квадратурной фазовой манипуляцией (QPSK – Quadrature Phase Shift Keying), на световой поток излучаемый белыми светодиодами происходит наложение данных при помощи модуляций. На практике метод O-OFDM реализуется при помощи алгоритма быстрого вычисления преобразования Фурье (FFT – Fast Fourier transform), то есть дискретного преобразования Фурье [6, 16].

На опыте продемонстрировано, что в сети VLC на светодиодах, с использованием одного белого светодиода при бинарном сигнале в канале с аддитивным белым гауссовским шумом (АБГШ) и высоким отношении сигнал/шум и использовании QPSK в сочетании с методом кодированного OFDM (COFDM – coded OFDM), который подразумевает канальное кодирование методом прямой коррекции ошибок (FEC – Forward Error Correction), вероятность ошибки на бит (BER – Bit Error Rate) составляет $2 \cdot 10^{-5}$ при расстоянии 90 см от передатчика до приёмника [6].

Метод цифровой модуляции OFDM позволил использовать микросветодиоды для передачи миллионов световых пучков разной интенсивности в секунду.

Ранее в 2011 году немецкие ученые из института телекоммуникаций Фраунгофера, института Генриха Герца (Fraunhofer Institute for Telecommunications, Heinrich Hertz Institute) (Берлин, Германия) заявляли, что в лабораторных условиях способны достичь скорости передачи данных с помощью светодиодов в 1 Гбит/сек [13].

В октябре 2011 года китайские исследователи сообщили, что создали светодиод на микрочипе, с помощью которого им удалось передавать данные со скоростью до 150 Мбит/сек и обеспечивать подключение к интернету сразу четырех компьютерам [15].

Профессор Эдинбургского университета (University of Edinburgh) (Великобритания), почетный профессор университета Jacob's University города Бремен (Германия) доктор технических наук Харальд Хаас (Harald Haas) занимается разработкой новой технологии уже более десяти лет, он является специалистом по оптической беспроводной передаче данных университета Эдинбурга и одним из инициаторов проекта D-Light и сооснователем коммерческого проекта PureVLC [14]. В июне 2011 года доктор Харальд Хаас продемонстрировал, что светодиодная лампа, оснащенная модулятором для кодирования сигнала, может передавать на компьютер видеоизображение высокой четкости (HD, аббревиатура от английских слов high-definition) [3]. Он же и является автором название

технологии VLC на светодиодах – технология Li-Fi (аббревиатура составлена по аналогии с аббревиатурами Hi-fi и Wi-Fi, из английских слов light и fidelity, которые в переводе означают свет и точность соответственно).

Технология Li-Fi способна предоставить надежный и дешевый способ подключения к интернету практически из любого места с помощью светодиодного освещения.

Университетами Эдинбурга, Оксфорда (Oxford) и Кэмбриджа (Cambridge) и при финансировании британским Советом по исследованиям в области инженерных и физических наук (Engineering and Physical Sciences Research Council) был инициирован проект изучения передачи данных с помощью, так называемого, ультрапараллельного видимого света (Ultra-parallel visible light communications project). Микросветодиоды, разработанные в Университете Стратклайд (University of Strathclyde) (Глазго, Великобритания), испускают параллельные потоки света, таким образом, в разы, увеличивая количество данных, которое может быть передано за единицу времени. "Представьте себе головку душа, которая направляет воду строго параллельными струями, - а мы таким же образом заставили вести себя свет", - объясняет профессор Харальд Хаас [3].

Используя микросветодиодную лампу, удалось достичь скорости передачи данных 3,5 Гбит/сек через каждый из трех цветов – красный, зеленый и синий, – которые вместе составляют белый свет [5]. Это означает, что, сложив спектральные каналы, можно передавать данные с общей скоростью 10 Гбит/сек. Сброс сигнала у использующихся светодиодов и фотодиодов происходит достаточно быстро для того, чтобы не выдерживать паузу для его надёжного затухания.

Пропускная способность технологии Li-Fi, согласно вышедшему в декабре 2012 года стандарту IEEE 802.15.7 для VLC-технологий, регламентирована в пределах 96 Мбит/с [12].

Видимый свет является той частью электромагнитного спектра, которая расположена в диапазоне между 385 ТГц и 790 ТГц, эта часть спектра в 10 тысяч раз более широкая, чем спектр радиоизлучения, что говорит о более широких возможностях технологий VLC по сравнению с беспроводными радиочастотными технологиями передачи данных.

Для организации обратной передачи данных сеть на базе технологии Li-Fi требует комбинированного использования с другими технологиями передачи данных, такими как PowerLAN (она же dLan – direct Lan, или PLC – Power Line Communication, коммуникации по линии электропередач), суть которой заключается в передаче данных по силовым проводам, или высокоскоростная инфракрасная передача данных (VFIR или UFIR – Very Fast Infrared и Ultra Fast Infrared соответственно, что в переводе с английского означает «очень быстрое инфракрасное излучение» и «ультрабыстрое инфракрасное излучение») [10] как это принято в проекте PureVLC [14]. На рис. 1 схематично продемонстрирована локальная сеть передачи данных на базе комбинации технологии Li-Fi и технологии VFIR для обратной связи, где Li-Fi-трансмисмиттер содержит в себе фотодиодный приёмник, декодер, инфракрасный излучатель, а также USB-интерфейс (Universal Serial Bus – универсальная последовательная шина):

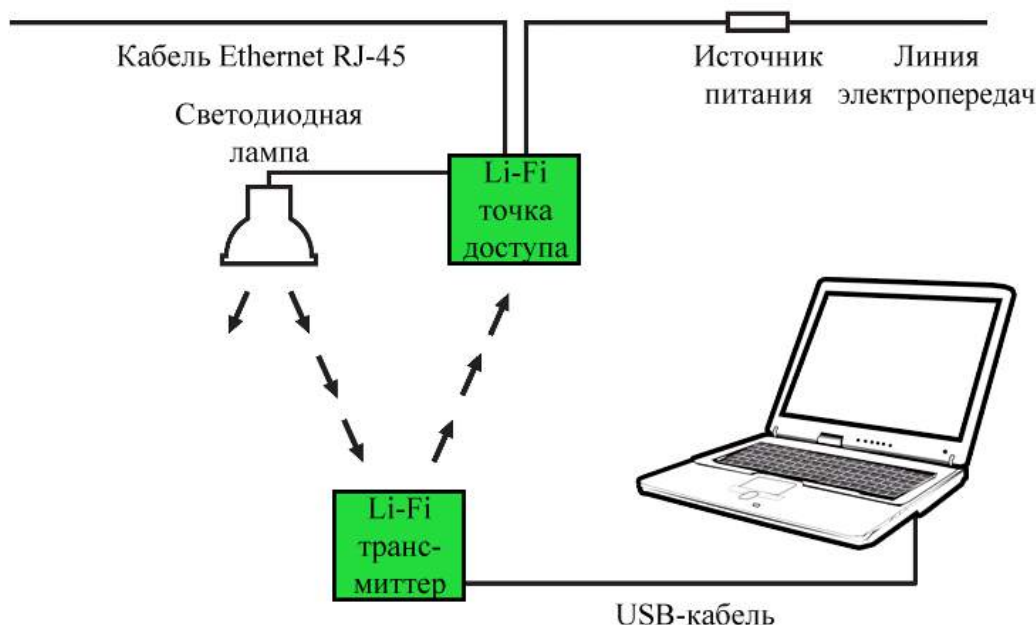


Рис. 1. Схематичное представление локальной сети Li-Fi

В то время как рабочий диапазон частот сетей на базе технологий Wi-Fi и WiMax загружен пользователями, а загруженность какого-либо канала передачи приводит к закономерному снижению скорости передачи данных по данному каналу, из-за необходимости поочередного использования этого канала [2], сети Li-Fi могут передавать сигнал неограниченному числу пользователей в зоне покрытия без негативного взаимовлияния друг на друга сигналов, принимаемых пользователями.

Клиенты радиочастотных сетей передачи данных могут создавать помехи внутри своей сети другим её пользователям или создавать помехи другим сетям, которые пересекаются по рабочему диапазону частот. В результате таких пересечений могут возникать коллизии сигналов из различных сетей. Если сигналы одних сетей будут вмешиваться в различные производственные процессы предприятий или будут вклиниваться в сети передачи данных медицинских учреждений, транспортных и научных организаций и в сети средств массовой информации, то это может привести к серьезным негативным последствиям. Что вполне возможно, в связи с тем, что например, сети Wi-Fi на базе стандартов 802.11b, 802.11g, 802.11n находящиеся на рабочей частоте 2,4 ГГц могут пересекаться с сетями LTE, рабочий диапазон частот которых определен в промежутке от 0,7 ГГц до 2,7 ГГц в Российской Федерации на сегодняшний день. Рабочий диапазон сетей Li-Fi находится далеко за этими пределами, поэтому сети VLC на базе светодиодов видимого излучения пригодны для использования в зонах чувствительных к радиоволнам.

В радиочастотных сетях передачи данных возникает необходимость платного расширения допустимой полосы частот, которая ограничена, а в сетях Li-Fi выделение дополнительной полосы бесплатно и не требует процедуры лицензирования, что упрощает использование технологии Li-Fi.

К тому же, радиочастотные технологии передачи данных могут оказывать негативное влияние на организм человека [4], и хотя влияние сетей Li-Fi не изучено, существуют исследования, показывающие, что светодиодный свет является наиболее комфортным для человеческих глаз [1].

Радиус действия сетей по технологии Li-Fi позволяет полностью покрыть сигналом закрытое целевое помещение (кабинет, аудиторию, зал) и не станет выходить за его пределы,

в отличие от радиочастотных технологий [3, 14], что говорит о более высоком уровне конфиденциальности данных, о более простом способе их защиты от несанкционированного доступа. Инженеры института телекоммуникаций Фраунгофера способны передавать данные со скоростью 800Мбит/сек в зоне 10м² по этой технологии [13]. Это делает технологию Li-Fi отличным решением для разворачивания беспроводной сети в домашних условиях.

Влияние шумов, создаваемых окружающим светом, ограничивает использование технологии в хорошо освещаемых солнечным светом помещениях, на открытых пространствах и создаёт необходимость соблюдения условий для хорошей светопроницаемости между светодиодным излучателем и фотодиодом, так, например если между ними окажется рука, то передача будет прервана [2, 3].

Сети Li-Fi значительно проще встроить в существующую инфраструктуру, чем большинство сетей передачи данных на основе других технологий. Не требуется возведение базовых станций, а светотехника присутствует повсеместно и для построения сетей Li-Fi потребуется лишь использование для освещения светодиодных светильников с кодерами (с модуляторами). При этом возникает необходимость в больших дополнительных мощностных затратах [9], что также значительно удешевляет её эксплуатацию.

По мнению профессора Харальда Хааса, ещё одно преимущество новой технологии заключается в том, что при равномерном распределении светодиодных передатчиков можно достичь гораздо более точного и стабильного подключения к интернету внутри зданий [3]. Недостатком традиционных Wi-Fi-роутеров всегда было то, что сигнал слабеет по мере удаления от передатчика, и в домах и офисах появляются зоны, где связь слабая настолько, что соединение с интернетом становится нестабильным или вовсе отсутствует.

Область применения технологии Li-Fi в связи с её преимуществами очень обширна, кроме создания локальных сетей она может быть с успехом внедрена в те области нашей жизни, в которых беспроводные технологии передачи данных пока не используются.

Сети на базе технологии Li-Fi в отличие от беспроводных радиочастотных сетей передачи данных обладают электромагнитной совместимостью с электрооборудованием, потому возможно их развертывание на борту самолётов [7, 8], в космических шаттлах и станциях, в медицинских учреждениях и предприятиях, на которых производственные процессы связаны с радиопередачами.

Используя технологию Li-Fi в салоне самолёта, можно будет отказаться от километров кабелей обеспечивающих передачу видеосигнала на дисплеи встроенные в спинки сидений и обеспечить сетью передачи данных мобильные цифровые устройства пассажиров. То же актуально и в вагонах пассажирских поездов.

Возможность передачи сигнала на неограниченное количество устройств в зоне видимости открывает для технологии перспективы использования в местах массового скопления людей. Например, технология Li-Fi удобна для использования в зале ожидания аэропорта или на железнодорожном вокзале, на остановке общественного транспорта, где она может, освещая пространство, передавать данные о маршрутах транспорта, его расписании и его местонахождении на текущий момент по отношению к остановочному пункту.

Установка высокоскоростных инфракрасных передатчиков или модуляторов на светодиодную вспышку в мобильных телефонах открывает ещё больше прикладных возможностей. Таким образом, с технологией Li-Fi можно по-новому организовать работу мест общественного питания, когда клиенты получают меню, делают заказ и оплачивают счёт при помощи мобильного телефона. Вспышка мобильного телефона может стать передатчиком данных для идентификации личности на проходном пункте, для денежных транзакций при входе в метро или при посадке в общественный транспорт.

Оборудование транспортных средств по технологии Li-Fi позволит создавать беспилотные сети транспортного сообщения или же просто повысить безопасность и регулирование дорожного движения. Светодиодная фара или светодиодная лампочка рядом с фарой могут использоваться как передающие устройства данных о скорости и маршруте транспортного средства, а фотодиодные приёмники будут разнесены по корпусу автомобиля. При этом не требуется, чтобы каждое транспортное средство имело информацию обо всей дорожной сети, необходимо и достаточно данных от смежных участников дорожного движения. Ведь им, так же как и нам, когда мы пробираемся на оживленном пешеходном перекрёстке через толпу людей, нет необходимости в получении информации о скорости и маршруте движения каждого участника толпы, нам достаточно данных лишь о тех людях, которые находятся в непосредственной близости от нас, чтобы не произошло столкновение.

Технология Li-Fi является более дешевым и энергоэффективным методом передачи данных, чем существующие беспроводные радиочастотные технологии передачи данных, повсеместное распространение светодиодного освещения делает её доступной и актуальной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Никифоров С. Д. Физические аспекты восприятия полупроводникового света человеческим глазом // Компоненты и технологии. 2008. № 89. С. 84–94. ISSN 2079-6811.
2. Петрусь И.П. Перспективы развития беспроводных технологий передачи данных // Технические науки — от теории к практике. № 10 (23). Часть I: сборник статей по материалам XXVII международной научно-практической конференции. Новосибирск: Изд. «СибАК». 2013. С. 30-34. ISSN 2308-5991.
3. Хаас Х. Беспроводная информация из каждой лампочки. URL: http://www.ted.com/talks/harald_haas_wireless_data_from_every_light_bulb.htm (дата обращения: 30.10.2013).
4. Avendaño C., Mata A., Sarmiento C., Doncel G. Use of laptop computers connected to internet through Wi-Fi decreases human sperm motility and increases sperm DNA fragmentation // Fertility and Sterility. 2012. Vol. 97, Issue 1. P. 39-45.e2. ISSN 0015-0282.
5. Condliffe, J. Will Li-Fi be the new Wi-Fi? // New Scientist magazine. 2011. No. 2822. P. 18.
6. Elgala H., Mesleh R., Haas H., Pricope B. OFDM visible light wireless communication based on white LEDs // Proc. 64th IEEE Veh. Technol. Conf., 2007. P. 2185–2189. ISSN 1550-2252.
7. Ghimire, B. & Haas, H. Resource Allocation in Optical Wireless Networks // Proc. of the 22nd Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC '11) IEEE. 2011. URL: <http://www.see.ed.ac.uk/~hxxh/pubs/pdf/gh1101.pdf> (дата обращения: 30.10.2013).
8. Haas, H. Air-Interface Requirements for Mobile Data Services, chapter in. The Handbook of Information Security. / ed. by H. Bidgoli. New York, John Wiley & Sons. 2006. Vol. 1. P. 712 – 731. ISBN 978-0-471-64830-7.
9. Han, C., Harrold, T., Armour, S., Krikidis, I., Videv, S., Grant, P., Haas, H., Thompson, J., Ku, I., Wang, C.-X., Le, T.A., Nakhai, M., Zhang, J. & Hanzo, L. Green Radio: Radio Techniques to Enable Energy-efficient Wireless Networks // IEEE Communications Magazine. 2011. Vol. 49 (6). P. 46-54. doi:10.1109/MCOM.2011.5783984
10. Hanzo, L., Haas, H., Imre, S., O'Brien, D., Rupp, M. & Gyongyosi, L. Wireless Myths, Realities and Futures: From 3G/4G to Optical and Quantum Wireless // Proc. IEEE. 2012. Vol. 100. P. 1853-1888. ISSN 0018-9219.
11. IEEE 802.11. URL: <http://standards.ieee.org/about/get/802/802.11.html> (дата обращения: 30.10.2013).
12. IEEE 802.15.7. URL: <http://standards.ieee.org/findstds/standard/802.15.7-2011.html> (дата обращения: 30.10.2013)
13. Paraskevopoulos, A. Data are traveling by light. URL: <http://www.fraunhofer.de/en/press/research-news/2011/august/data-traveling.html> (дата обращения: 30.10.2013).

14. Povey, G. What is Visible Light Communication? URL: <http://visiblelightcomm.com/what-is-visible-light-communication-vlc/> (дата обращения: 30.10.2013).
15. Thomson I. Forget Wi-Fi, boffins get 150Mbps Li-Fi connection from a lightbulb: Many (Chinese) hands make light work. URL: http://www.theregister.co.uk/2013/10/18/forget_wifi_chinese_boffins_get_150mbps_li_fi_connection_from_a_lightbulb (дата обращения: 30.10.2013).
16. Tsonev, D., Sinanovic, S., Haas, H. Complete Modeling of Nonlinear Distortion in OFDM-Based Optical Wireless Communication // IEEE Journal of Lightwave Technology. 2013. Vol. 31 (18). P.: 3064–3076. doi:10.1109/JLT.2013.2278675

Рецензент: Неволин Дмитрий Германович, ФГБОУ ВПО «Уральский Государственный Университет Путей Сообщения», г. Екатеринбург, зав. кафедрой проектирование и эксплуатация автомобилей, д.т.н., профессор.

Ivan Petrus

Ural State University of Railway Transport
Russia, Ecaterinburg
E-Mail: petrus_ivan@mail.ru

Elena Guzenkova

Ural State University of Railway Transport
Russia, Ecaterinburg
E-Mail: eguzenkova@usurt.ru

Aspects of practical using of wireless optical technology data transfer

Abstract: Purpose: This article covers the research of the aspects of practical using wireless optical data transfer technology based on light-emitting diodes visible radiation. The relevance of this topic due to the fact that the considered technology is innovative and has not exploited because must be disclosed its capabilities, as well as the areas and methods of application. Methodology: The research has interdisciplinary and problem-oriented nature. it uses the methods of comparison and analogy. Practical implications: The results of research can be used to build data networks of a new type in many areas, especially in those who are sensitive to radio waves. Results: Studying of the principle of action and technical characteristics of data networks based on this technology allows to declare that the wireless optical data transfer technology based on light-emitting diodes visible radiation has the potential to seriously push on the information technology market, many current modern radio transmission technologies, such as such as Wi-Fi and WiMax.

Keywords: Wireless local area network; visible light communication; infrared optical wireless system; indoor wireless optical channels; local networks; radiofrequency transmission line; radio transmission technologies; light-emitting diodes; lamps on light-emitting diodes; energy-efficient wireless networks.

Identification number of article 85TVN214

REFERENCES

1. Nikiforov S. D. *Komponenty i tehnologii - Components and technologies*, no. 89 (2008): 84-94. ISSN 2079-6811.
2. Petrus I. P. *Tekhnicheskiye nauki — ot teorii k praktike — Engineering — from theory to practice*, no. 10 (23) (2013): 30-14. ISSN 2308-5991.
3. Haas, H. Wireless data from every light bulb http://www.ted.com/talks/harald_haas_wireless_data_from_every_light_bulb.htm (accessed October 30, 2013).
4. Avendaño C., Mata A., Sarmiento C., Doncel G. *Fertility and Sterility* (2012). Vol. 97, Issue 1. pp. 39-45.e2. ISSN 0015-0282.
5. Condliffe, J. *New Scientist magazine*. 23 July 2011. no. 2822. p. 18.
6. Elgala H., Mesleh R., Haas H., Pricope B. *Proc. 64th IEEE Veh. Tech. Conf.*, 2007. P. 2185–2189. ISSN 1550-2252.
7. Ghimire, B. & Haas, H. *Proc. of the 22nd Annual IEEE Int. Symp. on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC '11) IEEE*. 2011. URL: <http://www.see.ed.ac.uk/~hxxh/pubs/pdf/gh1101.pdf> (accessed October 30, 2013).
8. Haas, H. *The Handbook of Information Security* / ed. by H. Bidgoli. New York, John Wiley & Sons. 2006. Vol. 1. pp. 712 – 731. ISBN 978-0-471-64830-7.
9. Han, C., Harrold, T., Armour, S., Krikidis, I., Videv, S., Grant, P., Haas, H., Thompson, J., Ku, I., Wang, C.-X., Le, T.A., Nakhai, M., Zhang, J. & Hanzo, L. *IEEE Communications Magazine*. 2011. Vol. 49 (6). pp. 46-54. doi:10.1109/MCOM.2011.5783984
10. Hanzo, L., Haas, H., Imre, S., O'Brien, D., Rupp, M. & Gyongyosi, L. *Proc. IEEE*. 2012. Vol. 100, pp. 1853-1888. ISSN 0018-9219.
11. IEEE 802.11. <http://standards.ieee.org/about/get/802/802.11.html> (accessed October 30, 2013).
12. IEEE 802.15.7. <http://standards.ieee.org/findstds/standard/802.15.7-2011.html> (accessed October 30, 2013).
13. Paraskevopoulos, A. Data are traveling by light. <http://www.fraunhofer.de/en/press/research-news/2011/august/data-traveling.html> (accessed October 30, 2013).
14. Povey, G. What is Visible Light Communication? URL: <http://visiblelightcomm.com/what-is-visible-light-communication-vlc/> (accessed October 30, 2013).
15. Thomson I. Forget Wi-Fi, boffins get 150Mbps Li-Fi connection from a lightbulb: Many (Chinese) hands make light work. http://www.theregister.co.uk/2013/10/18/forget_wifi_chinese_boffins_get_150mbps_li_fi_connection_from_a_lightbulb (accessed October 30, 2013).
16. Tsonev, D., Sinanovic, S., Haas, H. *IEEE Journal of Lightwave Technology*. 2013. Vol. 31 (18), pp: 3064–3076. doi:10.1109/JLT.2013.2278675