

Защищенная телекоммуникационная система на основе технологии связи в видимом диапазоне света с интерфейсом PLC

Ю. В. Зачиняев, С. А. Пливак, А. С. Шумилин

Южный федеральный университет, Институт компьютерных технологий и информационной безопасности, Таганрог

Аннотация: В работе рассматривается вопрос создания защищенной среды передачи данных в организации на основе технологии VLC (visible light communication) с применением PLC (power line communication) модема.

В ходе исследования проведен анализ отечественной и зарубежной литературы и патентной документации, подтвердивший актуальность данной тематики и необходимость в совершенствовании и адаптации технологии для отечественных организаций, обоснована потенциально лучшая защищенность системы от несанкционированного доступа к данным по сравнению с проводными и Wi-Fi сетями

Предложена структурная схема, реализующая передачу данных на основе технологии VLC, предусматривающей использование светодиодных источников освещения в качестве передатчиков системы связи, с интеграцией интерфейса PLC.

Использование интерфейса PLC позволяет упростить монтаж и реализацию передающих модулей VLC, поскольку информационный сигнал к последним подается по силовым линиям, обеспечивающим питание осветительных приборов.

Произведена оценка условий функционирования системы передачи данных на основе технологии VLC с интерфейсом PLC, выявившая, что при минимально допустимом отношении сигнал/шум равным бдБ, пропускная способность канала равна 8МБит/с, а коэффициент битовых ошибок стремится к нулю.

Результаты исследований могут быть использованы при построении корпоративной сети по технологии VLC с интерфейсом PLC, также найти свое применение для дальнейшего изучения данной технологии.

Ключевые слова: VLC, Li-Fi, PLC, передача данных видимым светом, приемный модуль, передающий модуль, оптический сигнал, телекоммуникационная система.

Введение. Использование беспроводных сетей Wi-Fi в организациях является одним из уязвимых мест для перехвата информации злоумышленниками. Так, на многих предприятиях технология Wi-Fi задействована для передачи данных в отдельных сегментах корпоративной сети, несмотря на то, что она потенциально несет угрозу безопасности данных. [1] Очевидно, что с ростом трафика по беспроводным и, соответственно, доступным для анализа и перехвата каналам связи острее становятся вопросы, связанные с обеспечением защищенности от несанкционированного доступа в корпоративном документообороте.

Стандартные средства защиты информации, предусмотренные спецификациями Wi-Fi - WPA и WPA2, и использующие аутентификацию всех абонентов и шифрование данных, с развитием вычислительной техники теряют свою эффективность [2].

Как и в любых других радиотехнических системах связи в сетях Wi-Fi возможны проблемы электромагнитной совместимости оборудования, загруженности частотных диапазонов. Практически любой Wi-Fi маршрутизатор, использующийся в корпоративных сетях, работает на частоте 2,4 либо 5 ГГц. В этом же диапазоне работают и микроволновые печи, различное промышленное оборудование, а также смежные Wi-Fi сети. В результате интерференции происходит ухудшение и даже потеря сигнала, значительное снижение скорости, сбои в работе оборудования [3].

Одним из путей повышения защищенности передаваемых данных в корпоративных сетях и решения проблем электромагнитной совместимости с радиооборудованием при высоких требованиях к скорости передачи данных и мобильности абонентских устройств видится использование технологии VLC (visible light communication – “передача видимым светом”). Данная технология относится к беспроводной связи и использует оптическое излучение видимого диапазона спектра (длина волны от 380 нм до 780 нм) в качестве переносчика данных [4-5]. Другими словами, основу VLC технологии составляет открытая оптическая система связи, в которой в качестве передающего модуля выступает светодиод/система светодиодов системы освещения выделенного помещения.

В настоящее время прогресс в области производства светодиодов позволил существенно повысить их энергоэффективность и быстродействие, что открывает перспективы по использованию систем связи с видимым светом для использования в корпоративных сетях передачи данных [6].

Анализ литературы свидетельствует об актуальности темы и высоком интересе научного сообщества к проблемам реализации VLC. Так, в [7-8] анализируются особенности применения технологии VLC в местах, где

запрещено использование радиооборудования (реанимационные палаты медицинских учреждений, салоны самолетов и др.).

В [9-11] предложена схема построения системы передачи данных на основе технологии VLC, реализующая манипуляцию по интенсивности - для передачи логической единицы на фотодетектор за единицу времени должен поступить оптический сигнал, для передачи логического нуля за единицу времени сигнал отсутствует.

В [12-13] анализируются методы модуляции оптического сигнала для использования в VLC-системах. Методы OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing) и CSK (Code Shift Keying) определены как наиболее сложные в реализации, при этом позволяющие добиться максимальной скорости передачи данных в 100 Гбит/с.

На основе литературного и патентного обзора была проведена классификация подходов и технологий построения систем передачи данных на основе технологии VLC.

По количеству излучающих светодиодов на передающей стороне можно выделить системы с использованием:

- одного информационного светодиода в составе массива неинформационных;
- массива информационных светодиодов;
- блока светодиодов различных цветов.

По способу модуляции оптического излучения светодиодов можно выделить следующие подходы построения систем VLC:

- ООК (Вкл-Выкл манипуляция, простейшая форма манипуляции по интенсивности);
 - PPM (фазово-импульсная модуляция);
 - VPPM (переменная фазово-импульсная модуляция);
-

- OFDM (модуляция с ортогонально частотным разделением каналов);
- CSK (цветовая манипуляция).

Анализ литературы и патентной документации позволил синтезировать обобщенную структурную схему, позволяющую реализовать любой из обозначенных методов модуляции в рамках технологии VLC с использованием интерфейса PLC.

Технология PLC (power line communication – “передача данных по силовым линиям”) — телекоммуникационная технология, базирующаяся на использовании электросетей для высокоскоростного информационного обмена. Возможность использования технологии PLC позволит упростить установку и монтаж системы VLC, а также повысить надежность с точки зрения информационной безопасности [14]. На рис.1 показана схема, иллюстрирующая принцип работы технологии VLC с интерфейсом PLC.

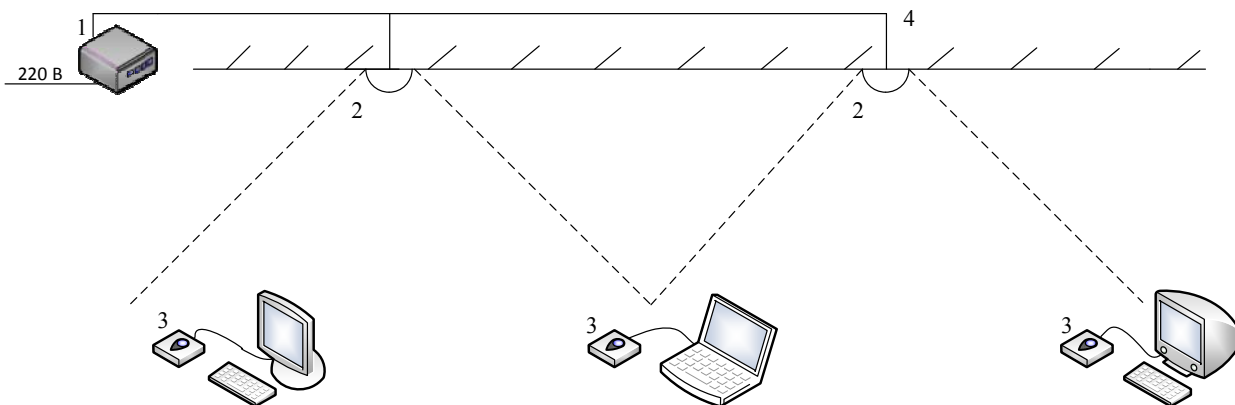


Рис. 1. – Принцип работы технологии VLC с интерфейсом PLC (1 - PLC адаптер; 2 - передающий модуль VLC; 3 - приемный модуль VLC; 4 - линия электропитания)

Разработка передающей части системы. В передающий модуль VLC информационный сигнал поступает по силовым линиям (линии электропередач) через PLC-модем, выделяющий из питающего напряжения информационный сигнал. Передающий модуль в свою очередь включает в

себя согласующее устройство, модулятор, устройство управления светодиодом и светодиодный источник освещения (рис.2).

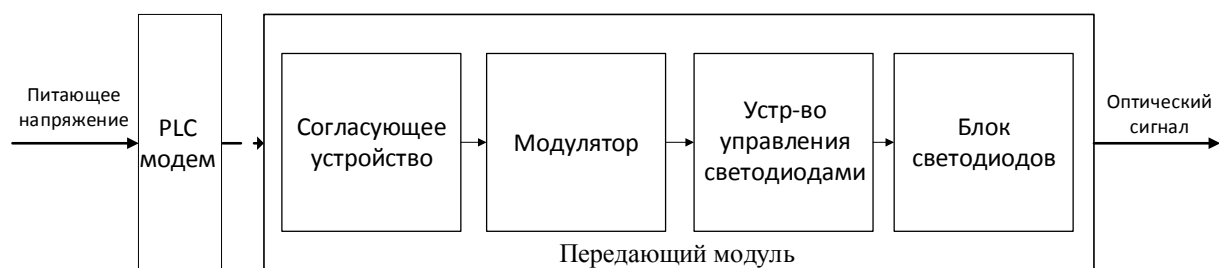


Рис. 2. – Структурная схема передающего модуля технологии VLC с интерфейсом PLC

Согласующее устройство приводит параметры сигнала с выхода модема в соответствие параметрам, требуемым для управления модулятором и светодиодами (сопоставляя параметры входного сигнала с параметрами устройства управления светодиодом). Модулированный сигнал поступает на устройство управления светодиодами, представляющее собой плату, содержащую микроконтроллер, с помощью которого происходит управление яркостью, частотой мерцания и выбором необходимых светодиодов из блока.

Разработка приемной части системы. Приемный модуль VLC технологии представляет из себя небольшой блок, в основе которого лежит фотодетектор (рис 3).

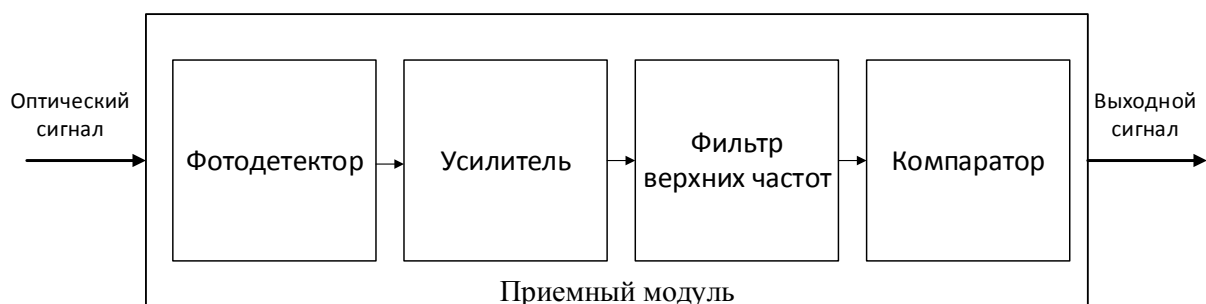


Рис. 3. – Структурная схема приемного модуля технологии VLC с интерфейсом PLC

С выхода фотодетектора детектированный сигнал попадает на малошумящий усилитель и фильтр для минимизации шума. Как правило, шум в приемнике VLC аналогичен шуму обычного приемника оптической

линии связи. Это может быть тепловой шум от резистора нагрузки и фотодиода, избыточный шум от усилителя, дробовой шум, а также любые другие источники света в помещении.

Обработанный сигнал поступает на вход компаратора, преобразующего принятый аналоговый сигнал в цифровую последовательность. Разработанная структура реализует симплексный режим. Для реализации дуплексного режима схема дополняется симметричным каналом.

Необходимые расчеты при внедрении системы на основе технологии VLC.

Для анализа особенностей внедрения системы VLC в конкретном помещении выбрана прямоугольная комната длиной 17 метров, шириной 11 метров, высотой 3.5 метра. Основные параметры оптического передатчика и приемника отображены в таб.1.

Таблица №1.

Параметры оптического передатчика и приемника

Параметр	Значение
Мощность оптического передатчика (светодиода)	0,18 мВт
Полоса пропускания	2 МГц
Рабочая длина волны	870 нм
Токовая чувствительность фотодиода	0,62 А/Вт
Шумовой ток фотодетектора	1,25 пА/Гц

Учитывая эффекты рассеивания и поглощения видимого света в атмосфере, а также характеристики используемого оборудования, можно вычислить максимальное расстояние, при котором будет передача данных будет производится с приемлемым коэффициентом ошибок. Для этого необходимо, чтобы отношение сигнал/шум, которое представляет собой эффективное напряжение полезного сигнала к эффективному напряжению шума приемника для цифровых систем было выше 6 дБ.

Подставив значения чувствительности фотодетектора и шумового тока, можно вычислить внутренние шумы приемника.

$$P_{\text{шум}} = \frac{1,25 \cdot 10^{-9} \frac{A}{Гц} \cdot 2Гц}{0,62 \frac{A}{Вт}} = 0,004 \text{ мВт} . \quad (1)$$

Тогда для мощности сигнала, требуемой на входе приемного модуля для обеспечения требуемого отношения сигнал/шум, можно записать:

$$P_{\text{сигнал}} = (10^{\text{SNR}/10}) \cdot P_{\text{шум}} , \quad (2)$$

$$P_{\text{сигнал}} = (10^{6\text{дБ}/10}) \cdot 0,004 \text{ мВт} = 0,016 \text{ мВт} .$$

VLC передатчик излучает сигнал мощностью 0,18 мВт, а минимально допустимое значение на входе приемника должно быть 0,016 мВт. Обратившись к закону Бугера-Ламберта-Бера, можно вычислить предельное расстояние D , позволяющее обеспечить допустимое затухание.

Коэффициент затухания по закону Бугера-Ламберта-Бера имеет следующий вид:

$$K = e^{-(k_{\text{атм}} \cdot D)} , \quad (3)$$

где K – коэффициент затухания, D – расстояние, $k_{\text{атм}}$ – показатель поглощения.

В рассматриваемом случае показатель поглощения связан с длиной волны излучения 780 нм и безразмерным показателем поглощения в атмосфере, равным 75 дБ.

$$K_{\text{атм}} = \frac{4\pi k}{\lambda} = \frac{4\pi \cdot 75\text{дБ}}{780\text{нм}} = 0,56\% .$$

Выразив L и подставив значения, найдем расстояние на котором происходит затухание сигнала.

$$D = -\frac{(\ln K)}{K_{\text{атм}}} = -\frac{(\ln 0,09)}{0,56} \approx 4,3 \text{ м} .$$

Предположив, что все VLC приемники располагаются на офисном столе (высоту стола брать равной 1 м), а максимальное расстояние $D=4,3$ м, можно найти какую площадь покрывает один передатчик, монтируемый в потолочную систему освещения.

Зона покрытия от одного передатчика рассчитывается по формуле

$$S = \pi \cdot R = \pi(D^2 - L^2), \quad (4)$$

где D – расстояние от передатчика до приемника; L – длина нормали передатчика до приемника; R – радиус искомой зоны покрытия.

Подставив все значения в формулу (4) получим:

$$R \approx 3,4 \text{ м},$$

$$S = \pi \cdot (4,3^2 - 2,5^2) \approx 36 \text{ м}^2.$$

Так как площадь исследуемого помещения равна 187 м^2 , а один передатчик способен покрыть площадь 36 м^2 , то для данного выделенного помещения потребуется шесть VLC передатчиков, монтируемых в потолок.

Оптимальное расположение светодиодов VLC передатчика в офисном помещении заданных размеров представлено на рис. 5.

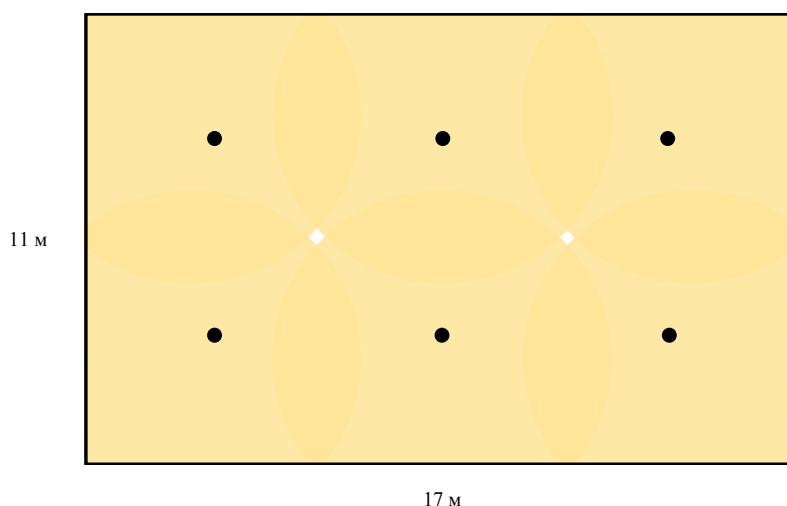


Рис. 5. – Зона покрытия помещения информационной составляющей
оптического излучения

Заключение. Предложена беспроводная система передачи данных по открытому каналу на основе технологии VLC с интерфейсом PLC.

Использование данной системы при реализации корпоративной сети позволяет добиться высокого уровня информационной безопасности на физическом уровне, сведя затраты по защите данных до минимума.

Произведен анализ литературы и патентной документации, подтвердивший актуальность данной тематики и позволивший составить классификацию всех имеющихся решений. Предложена структурная схема, реализующая передачу данных на основе технологии VLC с интерфейсом PLC, состоящая из двух модулей. Назначение каждого из узлов описаны в данной работе.

Произведенные расчеты демонстрируют процесс внедрения данной системы и анализируют эффективность её применения.

Использование технологии VLC с интерфейсом PLC позволит снизить шанс несанкционированного доступа к передаваемым данным. Поскольку для доступа к необходимой информации злоумышленнику потребуется непосредственное проникновение в помещение, что значительно усложняет перехват данных со стороны.

Полученные результаты могут быть использованы для дальнейшего изучения и анализа данной технологии.

Литература

1. Петров С.Н. Современное оптическое производство и некоторые тенденции его развития // Инженерный вестник Дона, 2009, №3 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2009/141.

2. Сторожок А.Е. Повышение производительности беспроводной сети // Инженерный вестник Дона, 2016, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3680.

3. Алексеев Д. А., Ермолаева В. В. Li-Fi — прорыв в науке или бесполезная игрушка. Преимущества и недостатки Li-Fi перед Wi-Fi // Молодой ученый. - 2015. - №11. - С. 161-164.

4. Денис Урман Технология Li-Fi поставила очередной рекорд скорости передачи данных // Новости высоких технологий. - 2013. URL: hi-news.ru/technology/tehnologiya-li-fi-postavila-ocherednoj-rekord-skorosti-peredachi-dannyx.html

5. Вакарев М., Безнос О.С. Новая технология беспроводного интернета Li-Fi // Современные наукоемкие технологии. - 2014. - №3. - С. 169-174.

6. Шумилини А.С., Пливак С.А. Защищенная система передачи данных на основе VLC технологии // V Международная конференция по фотонике и электронной оптике. - Москва: Сборник научных трудов М.: НИЯУ МИФИ, 2016. - С. 339-340.

7. C. Lee, C. Tan, H. Wong, M. Yahya Performance evaluation of hybrid VLC using device cost and power over data throughput criteria // International Society for Optics and Photonics. - 2013. - pp. 88 451A–93 451A.

8. C. Chow, C. Yeh, Y. Liu, P. Huang, Y. Liu Adaptive scheme for maintaining the performance of the in-home white-LED visible light wireless communications using OFDM // Opt. Commun. - 2013. - №vol. 292, no. 1. - pp. 49-52.

9. G. Cossu, A. Wajahat, R. Corsini, E. Ciaramella 5.6 Gbit/s downlink and 1.5 Gbit/s uplink optical wireless transmission at indoor distance // Proceedings of the European Conference on Optical Communication. - 2014. - №We.3.6.4.

10. H. Takahashi, A. Al Amin, S. L. Jansen, I. Morita, H. Tanaka 8x66.8-Gbit/s coherent PDM-OFDM transmission over 640 km of SSMF at 5.6-bit/s/Hz spectral efficiency // Proc. European Conf. Exhibition Optical Communication (ECOC). - 2008. - №Th3.E.4.

11. Jitender Singh, Jitender Vikash A New Era in Wireless Technology using Light-Fidelity // International Journal of Recent Development in Engineering and Technology. - 2014. - №Volume 2. Issue 6. - pp. 46-49.

12. Mohammad Noshad, Maite Brandt-Pearce Can Visible Light Communications Provide Gb/s Service? // - 2013. - pp. 2-4.

13. P. J. Winzer, G. Raybon, and M. Duelk 107-Gb/s Optical ETDM Transmitter for 100G Ethernet Transport // Proc. European Conf. Exhibition Optical Communication (ECOC). - 2005. - №Paper Th4.1.1.

14. Sindhubala, B. Vijayalakshmi Design and implementation of visible light communication system in indoor environment // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. - 2015. - №VOL. 10. №. 7. - pp. 2282-2286.

References

1. Petrov S. N. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 209, №3 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2009/141.

2. Storojok A. E. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3680.

3. Alekseev D. A., Ermolaeva V. V. The Li-Fi a breakthrough in science or a useless toy. Advantages and disadvantages of Li-Fi to Wi-Fi. Young Scientist. 2015. №11. pp. 161-164

4. Denis Urman. Technology Li-Fi set a new speed record data. 2013. URL: hi-news.ru/technology/tehnologiya-li-fi-postavila-ocherednoj-rekord-skorosti-peredachi-dannyx.html

5. Vakarev M., Beznos O.S. The new technology of wireless Internet Li-Fi. Modern high technologies. 2014. №3. pp. 169-174.

6. Shumilin A.S., Plivak S.A. Secured data transmission system based on the vlc-technology. V international conference on photonics and optoelectronics. Moscow. MIFI. 2016. pp. 339-340.

7. C. Lee, C. Tan, H. Wong, M. Yahya Performance evaluation of hybrid VLC using device cost and power over data throughput criteria. International Society for Optics and Photonics. 2013. pp. 88 451A–93 451A.
8. C. Chow, C. Yeh, Y. Liu, P. Huang, Y. Liu Adaptive scheme for maintaining the performance of the in-home white-LED visible light wireless communications using OFDM. Opt. Commun. 2013. - №vol. 292, no. 1. pp. 49-52.
9. G. Cossu, A. Wajahat, R. Corsini, E. Ciaramella 5.6 Gbit/s downlink and 1.5 Gbit/s uplink optical wireless transmission at indoor distance. Proceedings of the European Conference on Optical Communication. 2014. №We.3.6.4.
10. H. Takahashi, A. Al Amin, S. L. Jansen, I. Morita, H. Tanaka 8x66.8-Gbit/s coherent PDM-OFDM transmission over 640 km of SSMF at 5.6-bit/s/Hz spectral efficiency. Proc. European Conf. Exhibition Optical Communication (ECOC). 2008. №Th3.E.4.
11. Jitender Singh, Jitender Vikash. A New Era in Wireless Technology using Light-Fidelity. International Journal of Recent Development in Engineering and Technology. 2014. -№Volume 2. Issue 6. pp. 46-49.
12. Mohammad Noshad, Maite Brandt-Pearce Can Visible Light Communications Provide Gb/s Service. 2013. pp. 2-4.
13. P. J. Winzer, G. Raybon, and M. Duelk 107-Gb/s Optical ETDM Transmitter for 100G Ethernet Transport. Proc. European Conf. Exhibition Optical Communication (ECOC). 2005. №Paper Th4.1.1.
14. Sindhubala, B. Vijayalakshmi Design and implementation of visible light communication system in indoor environment. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2015. №VOL. 10. №. 7. pp. 2282-2286.