

Я. В. Микитюк, С. В. Молчанов

ПОСТРОЕНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ ЛОКАЛЬНОЙ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОЙ СЕТИ СВЯЗИ

Рассмотрена возможность применения технологии Li-Fi с использованием одного основного излучающего светодиода и нескольких переизлучающих для обеспечения абонентского доступа. Применение данного метода позволяет достигнуть пропускной способности до 10 Гбит/с.

The authors considered the possibility of using Li-Fi technology using one main emitting LED and several re-emitting LEDs to provide subscriber access. The use of this method allows achieving a throughput of up to 10 Gbit / s.

25

Ключевые слова: технология Li-Fi, освещенность, помехоустойчивость, абонентский доступ.

Keywords: Li-Fi technology, illumination, noise immunity, subscriber access.

Растущая популярность мобильных устройств, поддерживающих и использующих технологию Wi-Fi, негативно сказывается на их пропускной способности. Установленные повсеместно Wi-Fi роутеры, работающие в достаточно узком радиочастотном диапазоне, создают многочисленные помехи, что приводит к снижению скорости двухстороннего обмена данными.

В настоящей работе рассматривается идея создания альтернативной технологии подключения к сети Интернет посредством использования видимого света — Li-Fi, позволяющая с помощью оптических решений организовать нисходящий канал связи с высокой пропускной способностью. Так как трафик абонентов носит ассиметричный характер и восходящий канал является менее востребованным, чем нисходящий, для его организации можно использовать стандартную технологию Wi-Fi.

Принципиальным отличием Wi-Fi от Li-Fi является то, что первый в качестве канала для передачи данных использует радиочастоты, а второй — спектр видимого света (диапазон которого превышает Wi-Fi в 1000 раз) [1].

Принцип работы Li-Fi заключается в следующем. Все данные из Интернета по проводам поступают в модернизированный драйвер светодиодной источника, который преобразует (то есть модулирует) сигнал в двоичный код. Если светодиод включен, то передается «1», если выключен — «0». Переключение режимов «включено / выключено» происходит с огромной скоростью, поэтому человеческие глаза не воспринимают моргание светоизлучающего устройства. Внешне для пользователя светодиодный источник остается постоянно включенным и работающим с неизменной интенсивностью.

На приемном конце (компьютере или любом мобильном устройстве) установлен высокочувствительный фотодетектор. Он восприни-



мают мельчайшие изменения интенсивности светового потока и преобразует их в электрические сигналы, которые с помощью специального модуля усиливаются и преобразуются обратно в поток данных [2].

К достоинствам технологии Li-Fi для беспроводной передачи данных следует отнести большую скорость передачи / приема данных, безопасность от преднамеренного сканирования персональной информации, высокую энергоэффективность, универсальность и помехозащищенность [3].

К недостаткам системы подключения к Интернету через Li-Fi относят ограниченный радиус действия и восприимчивость к прямым солнечным лучам, которые могут создавать помехи для передачи данных [4].

26

Для расчета и моделирования системы к рассмотрению было принято стандартное офисное помещение площадью 30,6 м². Для этого помещения был произведен расчет освещенности в соответствии с требованиями Строительных норм и правил Российской Федерации [5], световой поток составил 21953 Лм. Данный световой поток может быть обеспечен с помощью 10 светодиодов мощностью 25 Вт.

Для построения системы связи и выбора мощности излучателя были произведены расчет энергетического бюджета и потерь, возникающих в процессе передачи излучения, а также потерь в пластиковом волноводе, по которому излучение распространяется до переизлучающих фотодиодов. Данные потери имеют малые значения ввиду небольшой протяженности участка и не являются основными.

Для расчета потерь, возникающих при распространении оптического сигнала в атмосфере, был проведен обзор литературы и выявлены факторы, оказывающие влияние на распространение сигнала внутри помещений. Основными эффектами являются многолучевость, обусловленная многократными отражениями оптических сигналов от стен и других объектов, дифракция на многочисленных острых краях предметов, расположенных внутри комнаты, и рассеяние. Эти эффекты создают сложную интерференционную структуру, сильно изменяющуюся при перемещении людей и других объектов. Многообразие условий приводит к необходимости использовать некоторые эмпирические модели, основанные на многочисленных экспериментах по исследованию условий распространения оптических сигналов внутри помещений [6].

Выбранная модель оптического канала связи, описанная формулой (1), позволяет учесть планировку здания, поглощение и отражение используемых строительных материалов, а также расстояние и длину волны, на которой происходит излучение:

$$L_p = 10 \log \left[\left(\frac{1}{2\pi d^2} + \frac{\sum S\bar{a}}{1-\bar{a}} \right) \left(\frac{\lambda^2}{4\pi} \right) \right], \quad (1)$$

где L_p – потери при распространении сигнала внутри помещения, дБ; d – расстояние между передающей и приемной антеннами, м; S – площадь рассматриваемого участка, м²; \bar{a} – средний коэффициент поглощения рассматриваемого участка; λ – длина волны, м.



Расчет произведен для трех различных случаев: наибольший возможный средний коэффициент поглощения материалов, наименьший и для среднего значения. Результаты расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты расчета потерь и энергетического запаса канала связи

Параметры оценки потерь сигнала	Расчетные значения		
Средний коэффициент поглощения \bar{a}	0,9	0,5	0,3
Потери L_p , дБ	149,26	146,48	139,26
Энергетический запас, дБ	14,74	17,52	24,74

Для оценки границ работоспособности системы необходимо исследовать качественные характеристики принимаемого сигнала в зависимости от используемого типа кодирования и модуляции с помощью динамического моделирования. Для проведения моделирования рассматриваемой сети была выбрана среда *OptiSystem*, позволяющая планировать, тестировать и моделировать современные оптические сети. С учетом ранее полученных исходных данных была построена схема участка системы связи, представленная на рисунке 1.

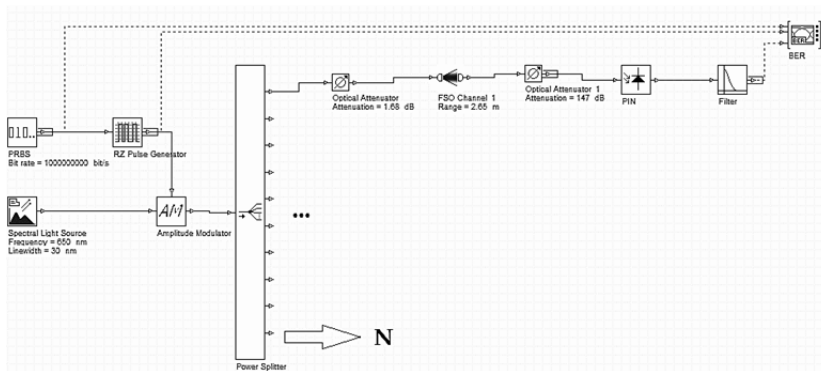


Рис. 1. Схема предлагаемой системы связи в среде *OptiSystem*

В данной схеме в качестве излучателя используется элемент *Spectral Light Source*, позволяющий моделировать различные источники света, в том числе и светодиоды. Заданы начальные характеристики: рабочая длина волны 650 нм, мощность 250 Вт (53,98 дБм), а также ширина полосы излучения 30 нм как минимально возможная для излучающего светодиода. В состав передатчика входят модулятор, генератор псевдослучайной двоичной последовательности битов, позволяющий задавать скорость работы системы (изначально установлена скорость 1 Гбит/с на канал), и генератор кода. При построении схемы было выбрано RZ-кодирование, так как анализ показал, что при данном кодировании при-



нимаемый сигнал имеет более высокие показатели качества, чем при кодировании NRZ. В качестве модулятора был выбран амплитудный модулятор, поскольку при одинаковых условиях работы он обеспечивает лучшие показатели качества работы системы. Модуляторы Маха — Цендера и электроабсорбционный модулятор также обеспечивают достаточные для устойчивой работы системы Q-фактор и коэффициент ошибок BER, но имеют более сложное устройство и высокую стоимость по сравнению с амплитудным модулятором.

Первый аттенуатор представляет собой потери, приходящиеся на распространение в пластиковом волноводе, равные 1,68 дБ. Канал FSO моделирует распространение в свободном пространстве, а второй аттенуатор моделирует потери при многолучевом распространении, рассчитанные по формуле (1) и равные 146,48 дБ.

На данной модели было исследовано влияние мощности излучателя на сигнал с помощью BER-анализатора, позволяющего произвести двухступенчатую оценку качества принимаемого сигнала. Коэффициент ошибок BER является основным показателем качества цифровых систем передачи. Каждый сетевой стандарт имеет определенное допустимое значение BER, и только в том случае, если BER не превышает допустимое значение, работа системы считается нормальной. Для технологии Li-Fi данным допустимым значением является 10^{-5} . Помимо частоты возникновения ошибок, данный анализатор позволяет определить Q-фактор — параметр, отражающий качество сигнала цифровой системы передачи. Значения Q-фактора по результатам моделирования приведены на рисунке 2.



Рис. 2. Зависимость Q-фактора от мощности излучателя

Значения коэффициента ошибок BER представлены в таблице 2.



Таблица 2

Зависимость коэффициента ошибок BER от пропускной способности

Величина	Измеренное значение							
Мощность, дБм	35	40	42	43	44	45	46	47
BER	0,028	6,80E-05	8,60E-06	7,50E-07	3,89E-11	1,81E-18	4,73E-21	3,09E-37

Из полученных результатов можно сделать вывод, что система работоспособна (обеспечивает коэффициент ошибок BER не выше 10^{-5}) начиная с мощности излучателя, равной 42 дБм, что соответствует 15,85 Вт. Дальнейшее увеличение мощности ведет к увеличению Q-фактора и понижению коэффициента ошибок BER, то есть к улучшению качества принимаемого сигнала, но вместе с тем увеличивается и стоимость данной системы. Таким образом, данная система может быть использована и в помещениях, не требующих высокого уровня освещенности, а в целях экономии электроэнергии может быть также применена система автоматической регулировки освещенности.

29

Предыдущие исследования проводились при фиксированной скорости 1 Гбит/с. Определим максимально возможную пропускную способность системы, при которой она продолжает работать в нормальном режиме. Для этого, пошагово увеличивая скорость передачи, проведем двухступенчатую оценку качества принимаемого сигнала. Значения Q-фактора по результатам моделирования приведены на рисунке 3.

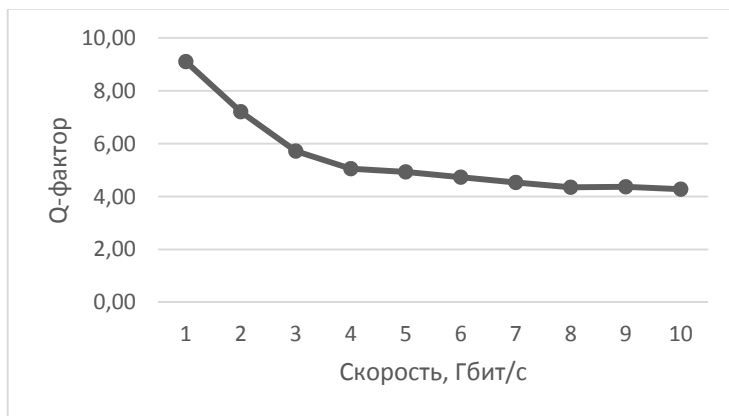


Рис. 3. Зависимость Q-фактора от пропускной способности канала связи

Значения коэффициента ошибок BER представлены в таблице 3.

Таблица 3

Зависимость коэффициента ошибок BER от пропускной способности

Величина	Измеренное значение					
Пропускная способность, Гбит/с	2	4	6	8	10	11
BER	3,00E-13	3,00E-08	1,00E-06	6,00E-06	9,00E-06	1,44E-05



Из результатов моделирования можно сделать вывод, что предлагаемая система связи позволяет обеспечить устойчивую работу при скоростях, достигающих 10 Гбит/с.

Таким образом, предложенная система является технически эффективной и экономически целесообразной, решая сразу две задачи: освещенность помещения, а также организация каналов связи пропускной способностью до 10 Гбит/с с BER, не превышающим 10^{-5} . Учитывая полученные результаты, можно говорить о применении типовых светодиодных излучателей для организации беспроводной сети абонентского доступа с высокой пропускной способностью, безопасностью и помехоустойчивостью, особенно при наличии большого числа электромагнитных помех.

Список литературы

1. Rani J., Chauhan P., Tripathi R. Li-Fi (Light Fidelity) – The Future Technology in Wireless Communication // Int. J. Appl. Eng. Res. 2012. Vol. 7, iss. 11.
2. Mutthamma M. A Survey on Transmission of Data through Illumination – Li-Fi // Int. J. Res. Comp. 2013. Vol. 2, iss. 12.
3. Gupta K., Saini A. Li-Fi – Light Fidelity Technology – A Review // Int. J. Emerg. Res. Manag. Technol. 2014. Vol. 3, iss. 10.
4. Sylvester C.S. Lo. Visible Light Communications. 2014. URL: http://d1.ourdev.cn/bbs_upload782111/files_34/ourdev_598613B6V930.pdf (дата обращения: 16.03.2019).
5. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий : санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. М., 2003. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».
6. Гавриленко В.Г., Яшинов В.А. Передача информации по беспроводным сетям в условиях пересеченной местности : учеб.-метод. матер. Н. Новгород, 2007.
7. Федорук М.П. Моделирование сверхскоростных телекоммуникационных линий связи // Матер. Всерос. конф. по волоконной оптике. Пермь, 2011.

Об авторах

Яна Владимировна Микитюк – магистрант, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.
E-mail: YMikitiuk@kantiana.ru

Сергей Васильевич Молчанов – канд. физ.-мат. наук, доц., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.
E-mail: SMolchanov@kantiana.ru

The authors

Iana V. Mikitiuk, Master's Student, I. Kant Baltic Federal University, Russia.
E-mail: YMikitiuk@kantiana.ru

Dr Sergey V. Molchanov, Associate Professor, I. Kant Baltic Federal University, Russia.
E-mail: SMolchanov@kantiana.ru