

УДК 004.048

ПАРАМЕТРЫ КАНАЛА УТЕЧКИ АКУСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПОСРЕДСТВОМ МОДУЛЯЦИИ ВИДИМОГО СВЕТА

Статья поступила в редакцию 01.03.2019, в окончательной версии – 08.04.2019.

Власенко Александра Владимировна, Кубанский государственный технологический университет, 350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2, кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой компьютерных технологий и информационной безопасности, e-mail: alex_vlasenko@list.ru

Швырев Борис Анатольевич, Научно-исследовательский институт ФСИН России, 125130, Российская Федерация, г. Москва, ул. Нарвская, 15а, стр. 1,

кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник НИЦ-3, e-mail: bor2275@yandex.ru

Тимонов Дмитрий Александрович, Краснодарское высшее военное училище имени генерала армии С.М. Штеменко, 350063, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Красина, 4, начальник лаборатории Научно-исследовательского центра, e-mail: dmitrii-timonov@bk.ru

В статье рассматривается принципиальная возможность формирования канала утечки акустической информации посредством изменения параметров светового потока, испускаемого светодиодными осветительными приборами, под воздействием звуковых колебаний. Рассматривается структура и модель канала утечки посредством модуляции светового потока. Научное подтверждение рассматриваемого канала заключается в существовании коммуникационной технологии связи посредством модуляции видимого света, которая получила название Light Fidelity или Li-Fi. В работе приводится оценка отношения сигнал – шум в приемной части канала утечки и дальности передачи информации. Рассчитанные оценочные значения дальности канала утечки свидетельствуют о его высокой потенциальной опасности.

Ключевые слова: пропускная способность, модель канала утечки акустической информации, модуляция видимого света, Li-Fi, отношение сигнал – шум

Графическая аннотация (Graphical annotation)



THE PARAMETERS OF THE LEAKAGE OF ACOUSTIC INFORMATION BY MODULATING THE VISIBLE LIGHT

The article was received by editorial board on 01.03.2019, in the final version – 08.04.2019.

Vlasenko Alexandra V., Kuban State Technological University, 2 Moskovskaya St., Krasnodar, 350072, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Computer Technologies and Information Security, e-mail: alex_vlasenko@list.ru

Shvyrev Boris A., Research Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia, bld. 1, 15a Narvskaya St., Moscow, 125130, Russian Federation,

Cand. Sci. (Physics and Mathematics), Leading Researcher, e-mail: bor2275@yandex.ru

Timonov Dmitry A., Krasnodar Higher Military School named after the General of army S.M. Shtemenko, 4 Krasin St., Krasnodar, 350063, Russian Federation,

Head of the laboratory of the Research Center, e-mail: dmitrii-timonov@bk

The article discusses the fundamental possibility of forming a leakage channel of acoustic information by changing the parameters of the luminous flux emitted by LED lighting devices, under the influence of sound vibrations. The structure and model of the leak channel is considered by modulating the luminous flux. The scientific confirmation of the channel in question is the existence of a communication technology by means of modulating the visible light, which is called Light Fidelity or Li-Fi. The paper presents an estimate of the signal-to-noise ratio in the receiving part of the leakage channel and information transmission distance. The calculated estimated values of the leakage channel range indicate its high potential danger.

Key words: bandwidth, leakage channel model of acoustic information, modulation of visible light, Li-Fi, signal-to-noise ratio

Введение. Защита информации – это сложная, многогранная проблема, решение которой требует использования комплекса организационных, технических, правовых и иных мер.

Общезвестно, что информация (как обрабатываемая средствами вычислительной техники, так и обсуждаемая) содержится в информативных сигналах. Канал утечки акустической информации может формироваться посредством преобразования информации в виброакустические колебания, электромагнитные колебания радиочастот, инфракрасного диапазона, лазерного излучения. Появление современных осветительных приборов на основе светодиодов создает предпосылки формирования канала утечки информации посредством модуляции величины светового потока. Рассмотрим модель канала утечки информации посредством модуляции видимого света, создаваемого светодиодами.

Формирование канала утечки информации. Последние годы характеризуются интенсивным освоением оптического диапазона для передачи данных. Такая ситуация обусловлена высокой информационной емкостью светового поля как носителя информации, высокой скоростью передачи данных по информационным каналам и принципиальной легкостью осуществления математических операций со световыми полями. Одним из способов создания таких полей является модуляция видимого света, создаваемого светодиодами осветительных приборов. Модуляция реализуется путем управления параметрами тока, протекающего через светодиод. Управление током осуществляет микроконтроллер.

Наличие в схеме управления светодиодами микроконтроллеров потенциально формирует угрозу возникновения канала утечки информации.

Механизмы модуляции видимого света могут быть как естественного происхождения (посредством возникновения микрофонного эффекта из-за использования как минимум конденсаторов в схеме управления светодиодами), так и искусственного (посредством сознательного размещения в контроллере микрофонов высокой чувствительности, цифровых микрофонов с технологией MEMS).

Структура канала утечки информации. Особенность формирования канала утечки определяет его следующую структуру: источник акустической информации, микрофон, контроллер светодиода, светодиод, свободное пространство, оптическая система, фотодетектор, преобразователь, несанкционированный получатель информации.

Преобразование акустического сигнала в изменяющийся световой поток происходит посредством амплитудной модуляции или манипуляции применительно к цифровым сигналам. Применение цифровых сигналов и цифровых видов модуляции в канале утечки акустической информации обеспечивает лучшие энергетические характеристики по сравнению с амплитудной модуляцией аналогового сигнала. Светодиод, обладая высоким быстродействием, позволяет изменять свою интенсивность с незаметной для человека частотой. В [1, 2] показано, что использование частоты приключения светодиодов 200 Гц и выше становится незаметным для человека, но приводит к суммарному изменению интенсивности освещения.

Для формирования канала утечки используется как прямой луч от светодиода, так и рассеянный сигнал. Преобразование информационного оптического сигнала неизбежно приводит к его затуханию. Оптическая система, обладая значительно большей апертурой по сравнению с площадью фотоприемника, позволяет повысить энергетическую эффективность канала утечки информации. Фотоприемник линейно преобразует интенсивность светового потока в электрический ток, поступающий на усилитель и последующие блоки обработки, позволяющие получить передаваемый акустический сигнал.

Физическая реализуемость канала утечки. Существование такого канала утечки стало возможным с появлением осветительных приборов, основным световым элементом которых являются яркие светодиоды. Научное подтверждение этого факта заключается в существовании коммуникационной технологии связи посредством модуляции видимого света. Она получила название Light Fidelity или Li-Fi [3]. Профессор Харальд Хаас [3] придумал термин «Li-Fi» на конференции TED Global Talk 2011 г., где он представил идею «беспроводных данных из каждого источника» [4].

Параметры канала утечки информации. Одним из параметров канала утечки информации является отношение сигнал – шум на приемной стороне. Будем полагать помехи рассматриваемому каналу в виде сторонних источников и переотражений в виде белого шума с гауссовским распределением. В оптических каналах качество передачи обычно определяется дробовым шумом [5]. Основной вклад в отношение сигнал – шум в рассматриваемом канале утечки применительно к низкой интенсивности переотраженных сигналов и излучению сторонних источников за счет угловой селекции вносит шум

предварительного усилителя, что позволяет не учитывать для предварительной оценки дробовой шум. Тогда канал утечки имеет модель

$$Y(t) = \gamma \int X(\tau)h(t-\tau)d\tau + N(t),$$

где $Y(t)$ – ток поступающий на предварительный усилитель; γ – чувствительность фотодетектора; $N(t)$ – белый гауссовский шум; $h(t)$ – импульсная характеристика; $X(t)$ – передаваемый оптический импульс.

Рассмотрим бинарную амплитудную манипуляцию БАМн. В данном виде манипуляции логическая единица передается максимальной интенсивностью света, выключением света передается логический ноль.

Коэффициент ошибок по битам (Bit Error Rate (BER)) передаваемой информации при передаче прямоугольных импульсов с длительностью, равной периоду бита, имеет вид:

$$BER = Q(\sqrt{q}),$$

где q – отношение сигнал – шум,

$$Q(x) = (1/\sqrt{2\pi}) \int_x^\infty e^{(-y^2/2)} dy.$$

Для отношения сигнал – шум принятой оптической мощности $q = 10$ коэффициент $BER = 10^{-4}$. Битовые ошибки приводят к ухудшению разборчивости канала утечки акустической информации, достоверности информации, снижению пропускной способности.

В [6] приводится график зависимости отношения сигнал – шум от угла обзора светодиода (рис. 1). Из рисунка видно, что из-за отклонения от оси свечения светодиода уменьшается отношение сигнал шум и соответственно увеличивается коэффициент ошибок.

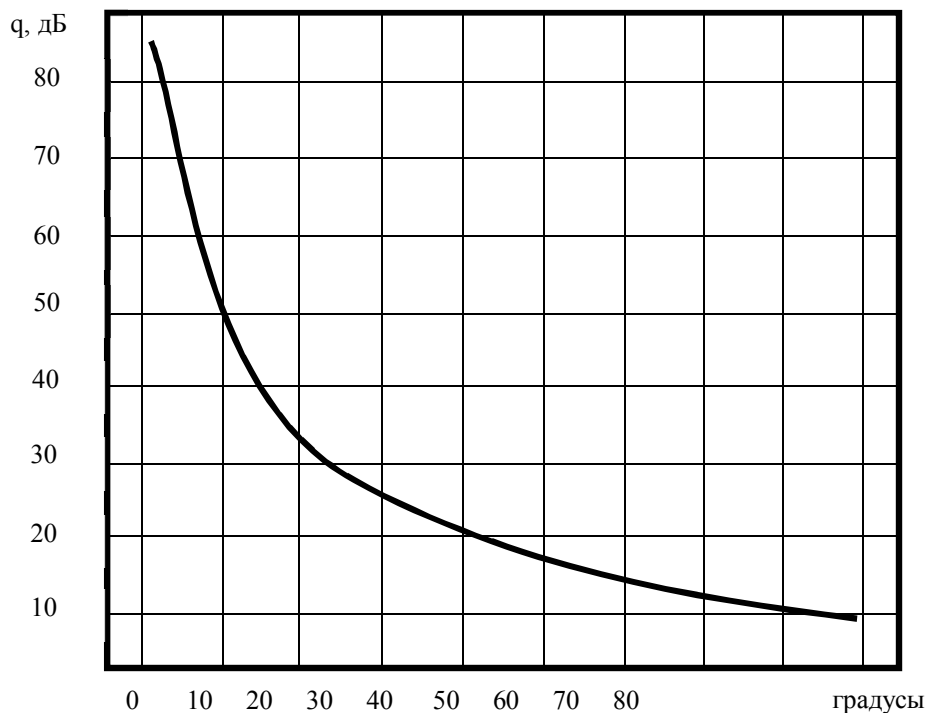


Рисунок 1 – Зависимость отношения сигнал – шум и угла обзора светодиода

В [7] авторы отмечают реализуемость в лабораторном эксперименте скорости передачи данных 11 МБит/с на расстоянии 3 м. В [8] при использовании ярких светодиодов, синего фильтра и бинарной амплитудной модуляции была получена скорость передачи данных 280 Мбит/с на расстоянии 23 см. Эксперименты не использовали оптические линзовые системы, исследования проводились с целью получения наибольшей скорости передачи данных. Далее будем основываться на этих значениях и выражении для скорости передачи данных в виде

$$\tilde{N}(r) = \Delta f \log(1 + (10^{q/10})/r^2),$$

где C – пропускная способность; Δf – полоса пропускания; q – отношение сигнал – шум в дБ.

Полоса пропускания оптического канала передачи данных в разных исследованиях принимает значения от 0,4 до 120 МГц [8]. Мы в расчетах будем использовать 10 МГц. На рисунке 2 представлена зависимость пропускной способности канала утечки информации от расстояния.

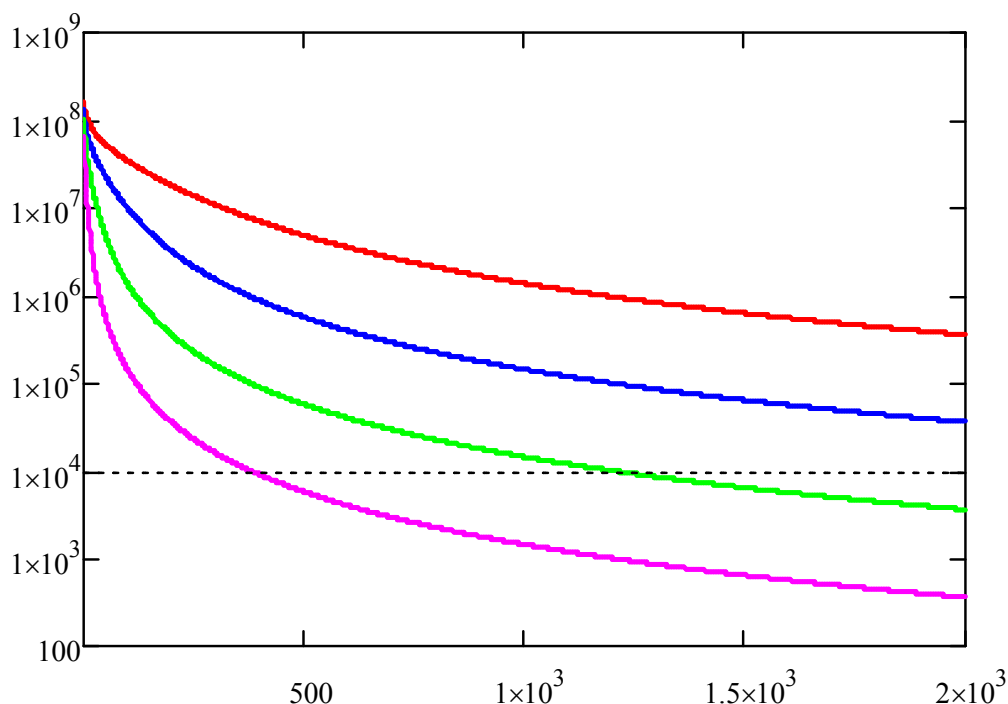


Рисунок 2 – Изменение пропускной способности канала утечки речевой информации за счет модуляции видимого света с расстоянием: 1 – при $q = 50$ дБ; 2 – при $q = 40$ дБ; 3 – при $q = 30$ дБ; 4 – при $q = 20$ дБ

На рисунке 2 горизонтальная линия соответствует пропускной способности стандартного канала 9600 бит/с, обеспечивающего передачу разборчивой речи. Графики в качественной форме демонстрируют характеристики канала утечки информации, показывающие возможности его физической реализации. Таким образом, из рисунка 2 следует, что дальность рассматриваемого канала утечки информации может составлять порядка 1000 метров.

Выводы. Рассмотренный канал утечки информации потенциально представляет вероятную угрозу утечки информации. Формирование канала утечки связано с использованием светодиодных осветительных приборов. Рассчитанные оценочные значения дальности канала утечки свидетельствуют о его высокой потенциальной опасности. Для противодействия рассматриваемому каналу утечки информации необходима разработка технических и административных мер противодействия. В отечественной доктрине информационной безопасности и стратегиях развития кибербезопасности иностранных государств отмечается важность своевременного реагирования на новые виды угрозы и развития комплекса мер, направленных на их нейтрализацию и уменьшение возможных потерь.

Библиографический список

1. Kwon J. K. Inverse source coding for dimming in visible light communications using NRZ-OOK on reliable links / J. K. Kwon // IEEE Photon. Technol. Lett. – 2010, 1 Oct. – Vol. 22 (19). – P. 1455–1457.
2. Ahn K.-I. Capacity analysis of M-PAM inverse source coding in visible light communications / K.-I. Ahn, J. K. Kwon // IEEE/OSA J. Lightw. Technol. – 2012, 15 May. – Vol. 30 (10). – P. 1399–1404.
3. Comprehensive Summary of Modulation Techniques for LiFi. – Режим доступа: www.lifi.eng.ed.ac.uk, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения 16.01.2018).
4. Harald Haas: Wireless data from every light bulb. ted. com.: Archived from the original on 8 June 2017.
5. Barry J. R. Wireless Infrared Communications / J. R. Barry. – Boston, MA : Kluwer Academic Press, 1994.
6. Toshihiko Komine. Fundamental Analysis for Visible-Light Communication System using LED Lights / Toshihiko Komine, Masao Nakagawa // IEEE Transactions on Consumer Electronics. – 2004. – Vol. 50, № 1.
7. Shamsudheen P. Performance Analysis of Visible Light Communication System for Free Space Optical Communication Link / P. Shamsudheen, E. Sureshkumar, Chunkath Job // Procedia Technology. – 2016. – Vol. 24. – P. 827–833. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.protec.2016.05.116>.
8. Latif Ullah Khan. Visible light communication: applications, architecture, standardization and research challenges / Latif Ullah Khan // Digital Communications and Networks. – 2017. – Vol. 3. – P. 78–88.

References

1. Kwon J. K. Inverse source coding for dimming in visible light communications using NRZ-OOK on reliable links. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2010, 1 Oct., vol. 22 (19), pp. 1455–1457.
2. Ahn K.-I., Kwon J. K. Capacity analysis of M-PAM inverse source coding in visible light communications. *IEEE/OSA J. Lightw. Technol.*, 2012, 15 May, vol. 30 (10), pp. 1399–1404.
3. *Comprehensive Summary of Modulation Techniques for LiFi*. Available at: www.lifi.eng.ed.ac.uk (accessed 16.01.2018).
4. Harald Haas: *Wireless data from every light bulb*. *ted.com*: Archived from the original on 8 June 2017.
5. Barry J. R. *Wireless Infrared Communications*. Boston, MA, Kluwer Academic Press, 1994.
6. Toshihiko Komine, Masao Nakagawa. Fundamental Analysis for Visible-Light Communication System using LED Lights. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2004, vol. 50, no. 1.
7. Shamsudheen P., Sureshkumar E., Job Chunkath. Performance Analysis of Visible Light Communication System for Free Space Optical Communication Link. *Procedia Technology*, 2016, vol. 24, pp. 827–833, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.05.116>.
8. Latif Ullah Khan. Visible light communication: applications, architecture, standardization and research challenges. *Digital Communications and Networks*, 2017, vol. 3, pp. 78–88.