

TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN DE TEXTO MEDIANTE LUZ VISIBLE DE LEDS Y SENSOR DE LUZ

TRANSMISSION AND RECEPTION OF TEXT USING VISIBLE LIGHT AND A LIGHT SENSOR

Sergio Sandoval Reyes

Instituto Politécnico Nacional
sersand@cic.ipn.mx

Resumen

La comunicación por luz visible o VLC por su acrónimo en inglés (Visible Light Communication), emplea luz proveniente de láseres, o bien de diodos LED (Light Emitting Diode), para transmitir información analógica como audio y video, o digital como texto e imágenes. La VLC puede utilizarse como un medio transmisor ubicuo de información, dado que los dispositivos que producen luz (lámparas de interior/exterior, semáforos de tráfico, anuncios luminosos, faros de vehículos, etc.), se utilizan en todas partes. La transmisión de la información se realiza modulando la intensidad de la luz (la modulación de información digital es más difícil que la analógica). En el receptor la información es inicialmente recobrada a través de un sensor de luz, que suele estar conectado a una computadora y/o microcontrolador para la recuperación final de la información. En este artículo se detalla como aportación, una aplicación basada en VLC para transmitir texto empleando módulos LED y sensor de luz de LittleBits, modulación OOK (On-Off-Keying), y una computadora Raspberry Pi programada en Python. El texto consistió de la frase "Hola Li-Fi", repetido muchas veces. La transmisión-recepción del texto por luz, sólo se pudo realizar a distancias menores a 10 cm. Se encontró que la intensidad de los LEDs, la sensibilidad del sensor de luz, la alineación entre ellos, así como la luz ambiental, influyen en la recepción de la información.

Palabras Claves: OOK, Raspberry Pi, Python, Texto, VLC.

Abstract

The communication by visible light or VLC by its acronym in English (Visible Light Communication), uses light coming from lasers, or from LED diodes (Light Emitting Diode), to transmit analog information as audio and video, or digital as text and images . The VLC can be used as a ubiquitous transmitter of information, since the devices that produce light (indoor / outdoor lamps, traffic lights, illuminated signs, vehicle headlights, etc.) are used everywhere. The transmission of information is done by modulating the intensity of the light (modulation of digital information is more difficult than analog). In the receiver the information is initially recovered through a light sensor, which is usually connected to a computer and / or microcontroller for the final recovery of the information. In this article, an application based on VLC to transmit text using LED modules and light sensor from LittleBits, OOK (On-Off-Keying) modulation, and a Raspberry Pi computer programmed in Python is detailed. The text consisted of the phrase "Hello Li-Fi", repeated many times. The transmission-reception of the text by light, could only be done at distances less than 10 cm. It was found that the intensity of the LEDs, the sensitivity of the light sensor, the alignment between them, as well as the ambient light, influence the reception of the information.

Keywords: OOK, Raspberry Pi, Text, VLC.

1. Introducción

La comunicación de luz visible (es decir, VLC), [TED, 2011], [Tsonev, 2013] se puede usar para transmitir audio, voz y datos. Utiliza luz láser o luz de diodos emisores (LED) y detectores de luz en los extremos de transmisión y recepción, respectivamente (figura 1). Funciona en la banda óptica de 380 a 780 nm que es luz visible y de ahí el nombre VLC [Sherman, 2013], [Haas, 2013], [Vincent, 2013]. Para transmitir información, esta tiene que estar codificada, y luego la luz tiene que ser modulada y demodulada en los lados del transmisor y del receptor. Luego, la información recibida debe decodificarse y procesarse para recuperarla por completo. El éxito de esta recuperación depende de varios factores, entre ellos:

- El número, la forma y la longitud de onda de los LED empleados.
- El número y tipo de detectores de luz (fotorresistencia, fotodiodo, LED polarizado inversamente, etc.) utilizados.
- El método de codificación (RZ: Return to zero, No-RZ, Polar NRZ, etc.).
- El esquema de modulación (OOK, WPM, VWPM, PPM, OFDM, etc.).
- La sincronización y la distancia entre los LED y el detector de luz. VLC requiere línea de visión entre emisor y receptor [Wikipedia, 2017].

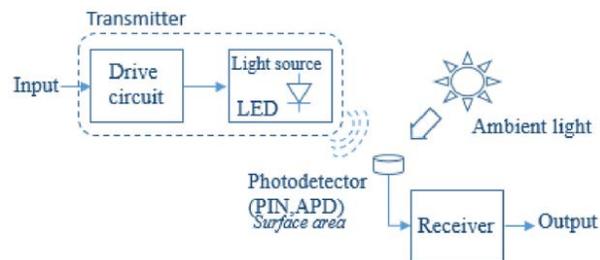


Figura 1 Estructura general de un enlace VLC.

Este artículo describe una aplicación basada en VLC que utiliza la modulación OOK (On-Off Keying) para transmitir texto usando una computadora Raspberry Pi como fuente y destino de datos (para simplificar el problema de sincronización entre el emisor-receptor), Python como lenguaje de programación, y módulos LEDs y sensor de luz de LittleBits, para facilitar la implementación del hardware.

2. Métodos

Los sistemas VLC basados en LED generalmente se implementan usando un esquema de modulación de intensidad y detección directa, con una configuración de línea de visión (LOS: Line Of Sight) o canal [Aleksandar, 2013], figura 2. En el transmisor, la modulación de intensidad de la luz se implementa mediante la codificación de la corriente directa que fluye a través del LED (se utilizan frecuencias altas de modulación para evitar el parpadeo).

En el receptor, la señal transmitida se recupera mediante detección directa. En este método simple, se usa un fotodiodo para convertir la potencia de la señal óptica incidente en una corriente proporcional.



Figura 2 Transmisión-recepción de datos mediante VLC.

Transmisor VLC

Un transmisor típico VLC basado en LED contiene un generador de señal (fuente de información, en este caso texto), un codificador (Raspberry Pi codifica sus puertos de salida como RZ), un modulador, seguido por el controlador y la óptica LED [Vinnarasi, 2017], figura 3. Los métodos de modulación disponibles para VLC, deben soportar atenuación y proporcionar mitigación de parpadeo. Las señales una vez moduladas se utilizan para conmutar los LEDs a las frecuencias deseadas usando controladores (Drivers) LED. Estos controladores se basan en amplificadores de transconductancia para convertir las señales de voltaje, en señales de corriente correspondientes para excitar las fuentes de luz (en este caso uno o más LEDs) para la transmisión de la información.

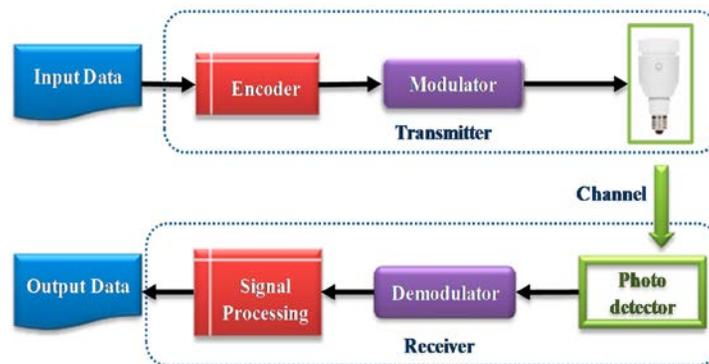


Figura 3 Transmisión de información VLC mediante luz de LED.

Modulación VLC

Aunque existen diferentes esquemas de modulación para VLC, principalmente las modulaciones de:

- Encendido/apagado (OOK: On-Off-Keying).
- Posición de pulsos variable (VPPM: Variable Pulse Position Modulation).
- Codificación por desplazamiento de color (CSK: Color Shift Keying).
- Multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing), [10] son las más populares. De todas ellas, OOK es el esquema de modulación más utilizado en VLC debido a su sencilla implementación. En este método, básicamente la intensidad del LED se cambia entre dos niveles distinguibles correspondientes a los bits de datos (1 ó 0), figura 4a. Un OOK modificado llamado Variable OOK (VOOK) puede proporcionar atenuación. Esto se consigue cambiando el ciclo de trabajo de datos a través de la modulación de ancho de pulso (PWM: Pulse Width Modulation), con sólo 1 bit de información transportada por período de símbolo (figura 4b).

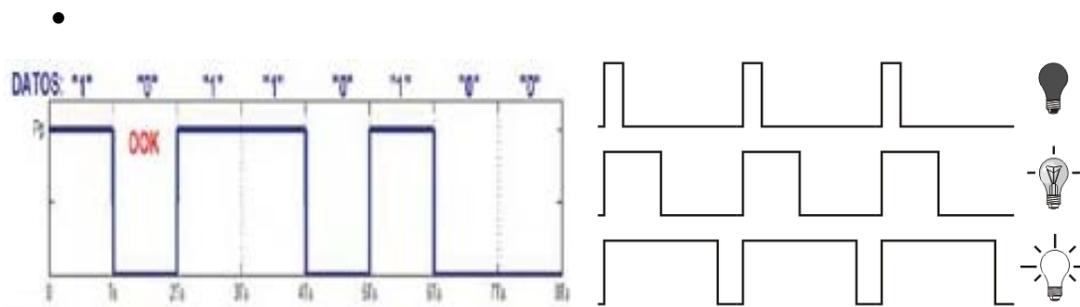


Figura 4 Codificación OOK y Codificación OOK con PWM.

Receptor VLC

Un receptor VLC simple consiste en un foto-detector seguido de un amplificador, figura 5. La fotocelda o fotorresistencia LDR (Light Detect Resistor) de la figura 5, es una resistencia cuyo valor en ohmios (Ω) varía ante los cambios de la luz incidente. La fotocelda presenta un valor bajo de resistencia ante la presencia de luz y un alto valor ante la ausencia de luz.

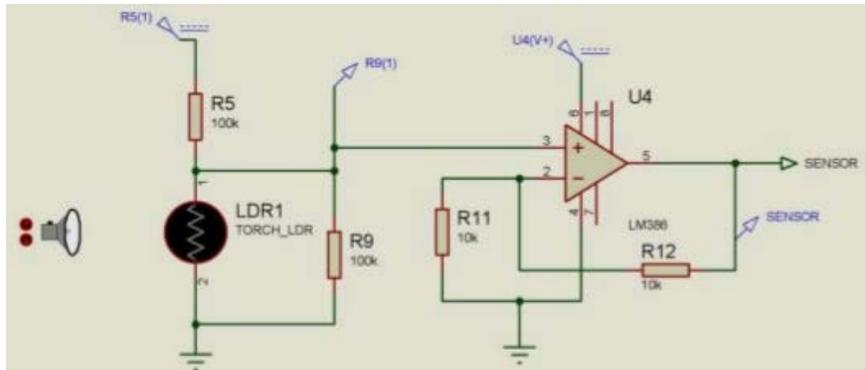


Figura 5 Una LDR como foto-detector seguido de un amplificador.

Desarrollo

A continuación, desarrollamos una aplicación VLC para transmitir una frase de texto usando dos LED en el transmisor y un foto-detector en el receptor. Mediremos también la velocidad de este enlace. Para ello usaremos en el transmisor como fuente de datos, una computadora Raspberry Pi 3 (RBPi3), figura 6, y cinco módulos (“bits”) de LittleBits [LittleBits, 2018]: energía, botón, proto, divisor y dos LED brillantes, figura 7.

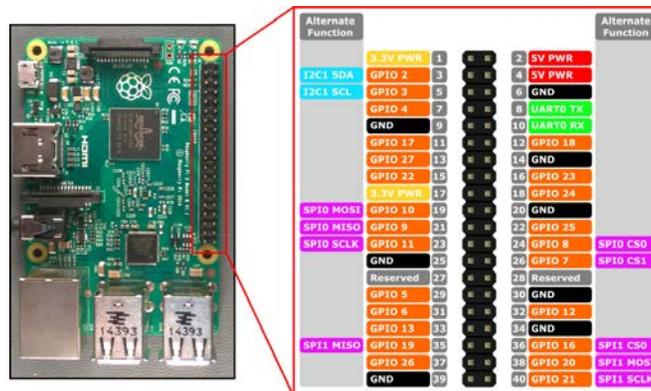


Figura 6 Raspberry Pi 3 y diagrama de pines: SPI MOSI y MISO.

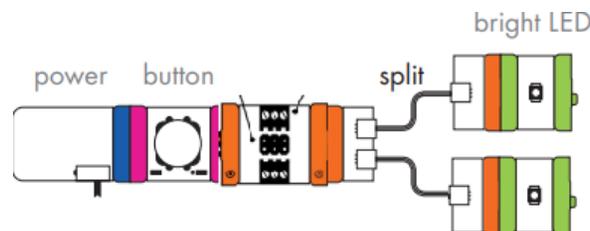


Figura 7 Transmisión VLC con LittleBits: Energía, botón, proto, divisor y LEDs.

El RBPi3 ejecutará un programa escrito en Python que leerá texto ascii byte por byte, y enviará cada byte a través del puerto 19 de salida SPI-MOSI (Serial Peripheral Interface, Master Output-Slave Input), hacia el módulo proto, señales OOK para excitar a dos LEDs. Mientras que, en el receptor, se emplean tres componentes LittleBits: energía, sensor de luz y otro bit proto, figura 8.



Figura 8 Recepción VLC con módulos LittleBits: Sensor de luz y proto.

El sensor de luz captura la luz emitida por los dos LED y la reconvierte en una señal digital OOK, que alimenta al módulo proto. Este módulo a su vez regresa esta señal a través de dos conectores (señal y tierra), al puerto de entrada 21 SPI-MISO (Master Input-Slave Output), del RBPi.

3. Resultados

Para transmitir texto a través de VLC, el RBPi3 con un script escrito en Python, se declara y nombra un arreglo de bytes "tx_data" y se escribe el texto "Hola Li-Fi", con la directiva "ord", que convierte cada carácter ascii en dos números hexadecimales, figura 9. Luego, con un bucle "while", se lee cada byte de "tx_data" y se envía al puerto de salida SPI-MOSI 19, utilizando la directiva spi.xfer(). Esta salida MOSI se alimenta utilizando dos conectores de cable (señal y tierra), en la entrada del módulo "proto" (conector central inferior en la figura 8). El módulo proto recibe y divide las señales OOK para controlar los dos LED. El breve código en Python para ejecutar lo anterior se muestra en la figura 9.

En este código, es necesario importar las siguientes bibliotecas: "SPI", y "Array". El uso de los módulos LittleBits simplificó mucho la implementación del hardware. El módulo de energía se alimentó con una batería de 9 V, y esto fue necesario porque las salidas del RBPi3 son de bajo voltaje (3.3 voltios) y baja corriente (los

pinos individuales no deben proporcionar más de 16 mA y el GPIO completo no más de 50 mA), que no es lo suficiente para excitar a dos LED brillantes [Raspberry Pi, 2018]. Estos LED son LEDs amarillos simples con una longitud de onda de 550 a 600 nm, flujo luminoso de 4 a 5 lm, y consumen alrededor de 16 a 20 mA cada uno, con un ángulo de apertura de aproximadamente 120 grados, figura 10.

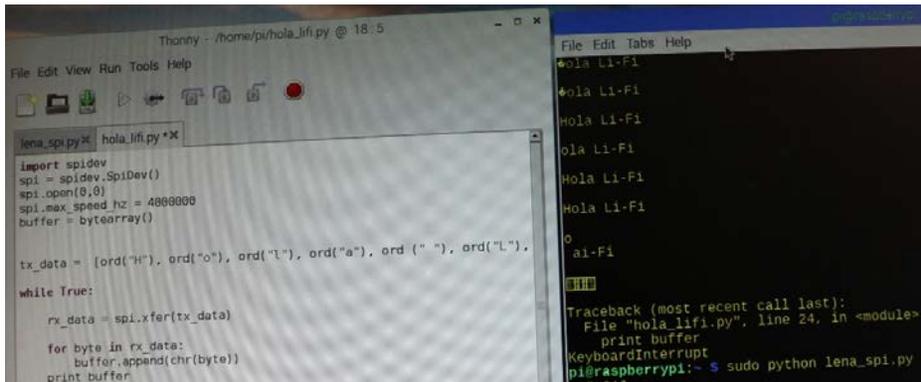


Figura 9 Código en Python (izquierda) y resultados (derecha) para enviar texto vía VLC.



Figura 10 LED amarillo brillante y módulo de alimentación.

Como se mencionó, el texto “Hola Li-Fi” se envió a través de VLC como luz LED. Esta luz se recibe a través de un módulo sensor de luz que luego lo envía de vuelta a través de otro módulo proto, al puerto MISO 21 del RBPi. Este sensor de luz no solo recibe la señal de luz OOK sino que también tiene un amplificador de transimpedancia para una operación de alta velocidad. El sensor de luz tiene 2 modos, figura 8. En modo LIGHT, a medida que la luz que brilla sobre el sensor se hace más brillante, pasa más señal a través de él. En modo OSCURO, la señal aumenta a medida que se oscurece. Además, el sensor de luz tiene un dial de sensibilidad o regulador deslizante para ajustar cuánta luz se necesite para

cambiar la señal, y tiene un rango de sensibilidad espectral de 500 a 600 nm, similar a la longitud de onda de los LED, figura 11.

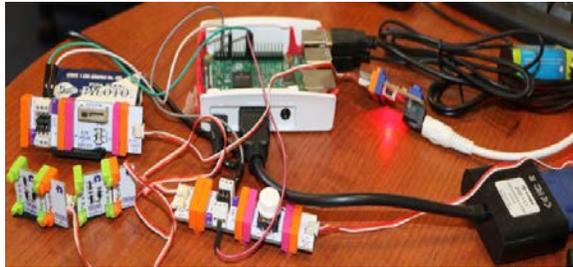


Figura 11 Circuito receptor de texto vía VLC.

El texto recuperado de la entrada de SPI MISO se almacena en un búfer, se guarda y se muestra, como se puede ver en las últimas líneas de código en Python de la figura 9.

Métrica del enlace transmisor-receptor

En virtud de que la transmisión (LEDs) y recepción (Sensor de luz) del enlace se realiza empleando SPI de Raspberry, surgen dos interrogantes:

- **¿Cuál es la velocidad de este enlace?** Velocidad del enlace transmisor-receptor: Raspberry Pi implementa el modo estándar de SPI (como se mencionó en la sección 2.4), a través de las señales MOSI (pin 19), MISO (pin 21) y SCLK (la señal de reloj). Con MOSI se envían comandos y datos (a los LEDs) durante la transmisión, y con MISO se reciben datos (del Sensor de luz), durante la recepción. En SPI los comandos y datos tienen una longitud de 8 bits, pero un bit extra se añade para indicar si el byte es un comando (como `spi.xfer(tx_data)`), o un dato (el parámetro `tx_data`). Todo ello sincronizado por la señal de reloj SCLK.

Por lo tanto el número de bits en la transmisión-recepción de la instrucción `rx_data = spi.xfer(tx_data)` (Octava línea de código de la figura 9), son $3 \times 9 = 27$ bits (1 instrucción, 1 dato transmitido, y 1 dato recibido). Ahora bien, dado que la velocidad de reloj que se está utilizando es de 4 MHz (cuarta línea de la figura 9), y cada bit de instrucción o dato requiere un ciclo de

reloj, la velocidad del enlace transmisión-recepción resulta en: 4,000,000 ciclos/s/ (27 ciclos por bits de instrucción-datos) = 148.148 kbps.

- **¿Dónde yace la limitante de dicho enlace?** Limitantes del enlace transmisión recepción: En cuanto a qué limita el aumento de la velocidad en bits/s de este enlace, se tienen varios aspectos a considerar:
 - ✓ Velocidad de la interfaz MOSI-MISO de SPI: Sin utilizar los LEDs y el sensor de luz, es decir, conectando el pin 19 MOSI, directamente al pin 21 MISO del conector de Blackberry, se pudo constatar que la transmisión-recepción del texto “hola Li-Fi”, funcionó sin problemas con una señal de reloj SCLK desde 1 MHz-a 60-MHz. Sin embargo, cuando se conectaban dichos pines a los LEDs y al sensor de luz, solo operó de forma más o menos estable, a 4 MHz.
 - ✓ Número e intensidad de los LEDs: Se encontró que, a la velocidad de 4 MHz, la intensidad de una la luz de un LED disminuía, fue por ello que se decidió poner dos LEDs en paralelo. Poner tres o más LEDs en paralelo quizás hubiera mejorado, pero requiere enfocarlos para que su luz incida en el sensor de luz. Otra alternativa sería emplear un LED de mucho mayor intensidad, digamos de 1 Watt.
 - ✓ La sensibilidad del sensor de luz: Se encontró que el sensor de luz empleado de la empresa Littlebits, funciona muy bien para la transmisión-recepción, de señales analógicas como la música, sin embargo, para señales digitales, como es el caso de texto, su sensibilidad deja mucho que desear. Una alternativa es poner varios sensores de luz en paralelo, o bien, emplear otro tipo de sensores.
 - ✓ Distancia y alineación entre LEDs y sensor de luz: Debido a que la intensidad de la luz recibida por el sensor de luz, no era suficiente, la distancia y alineación entre ellos debió ser muy corta, del orden de 10 cm.
 - ✓ La luz ambiental: Se encontró que la luz fluorescente de las lámparas de iluminación ubicadas en el techo, afectan en cierto grado el funcionamiento de la transmisión-recepción de texto por medio de luz.

4. Discusión

La figura 9 también muestra que el texto recuperado no era perfecto. Eso se debió como se mencionó, a la presencia de ruido, principalmente: luz fluorescente de las lámparas del techo, desalineación y distancia entre los LED y el sensor de luz, y baja sensibilidad a la luz del sensor.

Después de varios ajustes en la configuración y algunos intentos, el texto finalmente se recuperó aceptablemente bien. Naturalmente, el ruido no puede eliminarse completamente y aumenta cuando la desalineación y la distancia entre los LED y el sensor de luz es mayor. Además, el brillo de los LED influye en el rendimiento. Esa fue la razón principal para usar dos LED en paralelo para aumentar la cantidad de luz enviada al sensor de luz.

Un aspecto que también es importante mencionar, es el por qué utilizar una computadora Raspberry en lugar de un microcontrolador tipo Arduino UNO. La razón principal es la velocidad. La velocidad de la Raspberry Pi 3, puede alcanzar la frecuencia de hasta 250 MHz [Raspberry Pi, 2018], mientras que el de Arduino UNO es apenas de 16 MHz. Por otra parte, el lenguaje de programación Python, es bastante robusto y viene incluido en el sistema operativo Raspbian de Raspberry.

Este trabajo difiere con respecto a trabajos similares a los de [Sandip, 2017], [Vinnarasi, 2017] y [Smita, 2017], en lo siguiente. En [Sandip, 2017] se emplean dos PCs, y dos microcontroladores UNO. Además, el software Matlab debe residir en ambas PC para conectarse con los microcontroladores y para procesar la descarga y descarga del texto. En [Vinnarasi, 2017] también se requiere el uso de dos microcontroladores (uno para la transmisión y el otro para la recepción), pero la transmisión de texto se realiza empleando luz infrarroja. En [Smita, 2017] además de los dos microcontroladores UNO, la transmisión-recepción de texto es en forma de chat.

5. Conclusiones

Se desarrolló una aplicación de transmisión y recepción de texto via VLC utilizando una computadora Raspberry Pi 3, dos LED brillantes y un sensor de luz

de LittleBits, así como la modulación OOK y la biblioteca SPI de Python. El texto, se recuperó aceptablemente bien, aunque con una pequeña presencia de ruido. Cabe señalar que este ruido se debe a la luz ambiental y a la distancia entre los LED y el sensor de luz.

Este trabajo estuvo apoyado por la Secretaría de Investigación y Posgrado del Instituto Politécnico Nacional. Proyecto SIP 20181758.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Aleksandar Jovicic, Junyi Li and Tom Richardson. 2013. "Visible light communication: opportunities, challenges and the path to market". DOI: 10.1109/MCOM.2013.6685754: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6685754/>
- [2] Haas, H. 2013. High-speed wireless networking using visible light. SPIE Newsroom. DOI: <http://dx.doi.org/10.1117/2.1201304.004773>.
- [3] Kwonhyung Lee; Hyuncheol Park. 2011. Modulations for Visible Light Communications With Dimming Control. IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 23, Issue 16, August. DOI: 10.1109/LPT.2011.2157676: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5773477/>.
- [4] LittleBits. 2018. <https://littlebits.cc/>.
- [5] Raspberry Pi. 2018. Raspberry Pi input and output pin voltaje and current capability. Mosaic Documentation Web. <http://www.mosaic-industries.com/embedded-systems/microcontroller-projects/raspberry-pi/gpio-pin-electrical-specifications>.
- [6] Raspberry Pi Documentation. 2018. Raspberry Pi SPI Readme, <https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/raspberrypi/spi/README.md>.
- [7] Sandip Das, Ankan Chakraborty, and Debjani Chakraborty. 2017. PC to PC data transmission using visible light communication. 2017 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI). DOI: 10.1109/ICCCI.2017.8117767. <http://ieeexplore.ieee.org/document/8117767/>.
- [8] Sherman, J. 2013. How LED Light Bulbs could replace Wi-Fi. Digital Trends. <http://www.digitaltrends.com/mobile/light-bulb-li-fi-wireless-internet/>.

- [9] Smita Pawar et al, 2017, LiFi Technology: Visible Light Communication and its Applications. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Vol. 8, Issue 2, Pp 51-54. <https://www.ijser.org/researchpaper/lifi-technology-visible-light-communication-and-its-applications.pdf>.
- [10] TED Ideas worth spreading. 2011. Harald Haas: Wireless data from every light bulb. http://www.ted.com/talks/harald_haas_wireless_data_from_every_light_bulb.
- [11] Tsonev, D., Videv, S. and Haas, H. December 18, 2013. Light fidelity (Li-Fi): towards all-optical networking. *Proc. SPIE (Broadband Access Communication Technologies VIII)* 9007 (2). DOI: <http://dx.doi.org/10.1117/12.2044649>.
- [12] Vincent, J. 2013. Li-Fi revolution: internet connections using light bulbs are 250 times faster than broadband. <http://www.independent.co.uk/news/science/li-fi-revolution-internet-connections-using-light-bulbs-are-250-times-faster-than-broadband-8909320.html>.
- [13] Vinnarasi, Liwei Ding, and S. T. Aarthy. 2017. Transmission of Data, Audio Signal and Text Using Li-Fi. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, Vol. 117, No. 17, Pp 179-186. <https://acadpubl.eu/jsi/2017-117-16/articles/17/24.pdf>.
- [14] Wikipedia. 2017. Visible Light Communication. https://en.wikipedia.org/wiki/Visible_light_communication.