



PHÂN TÍCH ẢNH HƯỞNG CỦA ĐƯỜNG PHẢN XẠ, SỰ PHÂN BỐ NGUỒN SÁNG VÀ MÔ HÌNH THỰC NGHIỆM TRONG TRUYỀN THÔNG ÁNH SÁNG DÙNG LED

Analysis the effects of reflection, the light source distribution and modeling experiment in communications using LED light

¹Nguyễn Thanh Sơn, ²Nguyễn Đức Hoàng, ³Bùi Hồng Trang, ⁴Phan Thị Thu Hiền

¹nguyenthanson@lhu.edu.vn, ²nguyenduchoang1711@gmail.com,

³buihongtranglhu@gmail.com, ⁴phanhien28495@gmail.com,

^{1,2,3,4}Khoa Cơ Điện - Điện Tử, Trường Đại học Lạc Hồng, Đồng Nai, Việt Nam

Đến tòa soạn: 07/08/2017; Chấp nhận đăng: 08/09/2017

Tóm tắt. Những năm gần đây đã gia tăng đáng kể các nghiên cứu tập trung khai thác ứng dụng của đèn LED dùng chung cho cả hai mục đích là chiếu sáng và truyền thông tốc độ cao. Tuy nhiên, hai hạn chế lớn nhất khi sử dụng ánh sáng LED trong truyền thông là khoảng cách truyền ngắn và môi trường truyền phải theo tầm nhìn thẳng (Line-of-sight). Trong nghiên cứu này, chúng tôi đề xuất giải quyết ba vấn đề. Thứ nhất phân bố công suất nguồn sáng, thứ hai phân tích ảnh hưởng của góc truyền, cuối cùng là tính toán nguồn phản xạ ảnh hưởng lên năng lượng thu của photodiode. Ngoài ra, chúng tôi cũng đã xây dựng mô hình thực nghiệm để thực hiện truyền thông. Kết quả mô phỏng cho thấy năng lượng thu của máy thu bị tác động rất lớn bởi góc truyền và sự phản xạ ánh sáng, ngoài ra nếu phân bố nguồn sáng hợp lý sẽ cải thiện đáng kể năng lượng thu. Hơn nữa, Kết quả nghiên cứu thực nghiệm đã chứng minh rằng tốc độ truyền dữ liệu của hệ thống đề xuất có thể đạt được 115 Kbps ứng với khoảng cách truyền là 80cm.

Từ khóa: Phản xạ ánh sáng; Ánh sáng khả kiến; Phân bố nguồn sáng; Truyền thông ánh sáng

Abstract. In recent years there has been a significant increase in the number of studies that focus on the use of common LEDs for both lighting and high-speed communications. However, two difficulties in using the light in communication are the short transmission distance and the line-of-sight transmission environment. In this study, we propose addressing three issues. First, the distribution of light source power, the second is the effect of the transmission angle, the final is to calculate the reflected power affecting the energy of the photodiode. In addition, we have also built empirical models for communication implementation. The simulation results show that the receiver energy is greatly affected by the angle of incidence and the reflection of the light, and that, if properly distributed, a significant increase in energy is obtained. Moreover, the results of empirical studies have shown that the proposed data transfer rate can reach 115 Kbps with a transmission distance of 80 cm.

Keywords: Reflection of light; Visible light; Light distribution; Light communication

1. GIỚI THIỆU

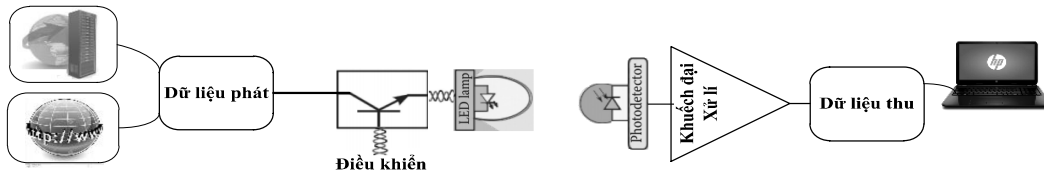
Hiện nay, lượng điện dùng trong chiếu sáng ở Việt Nam chiếm khoảng trên 25% và sẽ tăng cao hơn trong những năm tới. Trong khi các nguồn cung cấp năng lượng ngày càng khan hiếm, cạn kiệt không thể đáp ứng đủ yêu cầu. Để khắc phục, trên thế giới hiện nay, Mỹ và các nước như Nhật, Úc, Hàn Quốc, Trung Quốc và Việt Nam đã sử dụng đèn LED thay thế các loại đèn chiếu sáng truyền thống. Với việc thay thế này, cùng với chính sách quản lý hiệu quả, kết quả thu được có thể giảm 50% lượng điện dùng cho chiếu sáng. Chính vì điều đó mà việc sử dụng đèn LED ngày càng phổ biến trên thế giới và hứa hẹn nhiều ứng dụng trong tương lai ở Việt Nam.

Ngoài những tính năng nổi trội kể trên, đèn LED còn có một khả năng rất thú vị khác mà thời gian gần đây đang được các nhà nghiên cứu trên thế giới quan tâm đó là khi điều khiển các đèn LED nhấp nháy thật nhanh để truyền dữ liệu có thể tạo ra hệ thống kết nối mạng không dây tốc độ cao. Theo một nghiên cứu được thực hiện bởi viện Fraunhofer của Đức, công nghệ này hiện có thể truyền dữ liệu với tốc độ lên đến 1 Gigabit/giây.(1)

Khái niệm hệ thống truyền thông bằng ánh sáng khả kiến (Visible Light Communications, VLC) hay còn gọi là LiFi đã thu hút sự chú ý của nhiều nhà nghiên cứu, chủ yếu nhờ vào tính phổ biến của công nghệ đèn LED. Gần đây, nghiên

cứ VLC đã bắt đầu được thực hiện ở Nhật. Phòng thí nghiệm Nakagawa của đại học Keio đã xuất bản rất nhiều bài báo nghiên cứu về VLC, cụ thể như những phân tích cơ bản về VLC [1], sự kết hợp của VLC với truyền thông trên đường dây điện [2]. Ở Hàn Quốc cũng đã công bố rất nhiều nghiên cứu như kết quả đo cho điều chế băng thông của LED [3]. Nghiên cứu của đại học Oxford về vấn đề điều chế băng thông của LED ứng dụng cho VLC cũng đã được công bố [4]. Tuy nhiên, tất cả những nghiên cứu trên đang gặp phải một vấn đề khó khăn chung cần giải quyết đó là khoảng cách truyền thông đạt được còn rất hạn chế, độ tin cậy truyền thông chưa cao do đầu phát và phía thu phải truyền theo tầm nhìn thẳng (Line-of-sight). Một trong những giải pháp để giải quyết hai khó khăn trên đó là làm thế nào để tập trung năng lượng thu được tối ưu nhất ở máy thu.

Nghiên cứu này, chúng tôi đã thực hiện tính toán chi tiết và mô phỏng nhiều trường hợp phân bố khác nhau của các đèn LED, ngoài ra cũng đã phân tích ảnh hưởng của góc truyền, tính toán đường phản xạ ảnh hưởng lên năng lượng thu của Photo diode áp dụng cho một văn phòng làm việc tiêu chuẩn. Kết quả đã chứng minh rằng nếu phân bố hợp lý nguồn sáng của các đèn LED sẽ thu được năng lượng tối ưu nhất. Đồng thời cũng cho thấy rõ những yếu tố quan trọng làm ảnh hưởng đến phân bố công suất thu tại máy thu.



Hình 1. Cấu trúc của một hệ thống VLC cơ bản

Ngoài ra, kết quả thu được từ mô hình thực nghiệm bước đầu cho thấy hệ thống hoạt động ổn định, tốc độ truyền dữ liệu có thể đạt được 115Kbps ứng với khoảng cách là 80cm.

Bố cục của bài báo được trình bày cụ thể theo thứ tự sau: mô hình tính toán phân bố nguồn sáng được trình bày trong phần 2, phần 3 sẽ phân tích ảnh hưởng của góc truyền, đường phản xạ, phần 4 thực hiện phân tích và mô phỏng, cuối cùng kết luận được đưa ra trong phần thứ 5.

2. MÔ HÌNH TOÁN CỦA HỆ THỐNG VLC

2.1 Mô hình hệ thống VLC tiêu biểu

Cấu trúc của một hệ thống VLC cơ bản được trình bày ở Hình 1. Hệ thống VLC phát tín hiệu số bằng cách điều khiển thay đổi liên tục ON/OFF của đèn LED và thu dữ liệu thông qua photodiode. Bộ phận phát bao gồm khối dữ liệu số, khối điều khiển, và khối các đèn LED. Khối đèn LED được điều khiển đóng ngắt với thời gian rất ngắn (vài chục nano-giây), do đó nó có thể vừa chuyển đổi dữ liệu tốc độ cao, vừa đảm bảo chiếu sáng. Dữ liệu số cần phát sau khi được điều chế, sẽ được gửi đến mạch điều khiển để điều khiển LED phát dữ liệu. Ở máy thu, tín hiệu ánh sáng nhận được thông photodiode, tín hiệu này sẽ được đưa đến khối khuếch đại để khuếch đại biên độ tín hiệu, loại bỏ tạp nhiễu, sau đó đưa đến khối giải điều chế xử lý để khôi phục lại dữ liệu ban đầu.

2.2 Phân bố công suất thu của hệ thống VLC với một nguồn sáng (Single-Source)

Do LED được dùng cho hai mục đích chiếu sáng và truyền thông, nên cần định nghĩa hai thông số là cường độ sáng và công suất phát quang. Cường độ sáng dùng để mô tả độ sáng của LED, công suất phát quang là tổng số năng lượng tỏa ra từ một đèn LED.

Từ mô hình VLC trong Hình 1, các tham số được cho như trong hình 2 và tham khảo [5,6], ta có công suất thu được tại máy thu là:

$$P_r = P_t \times H(0)_{LOS} \quad (2)$$

P_t : công suất phát quang, $H(0)_{LOS}$: path loss trong môi trường truyền LOS.

Cường độ sáng được cho bởi:

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (3)$$

Φ : cường độ sáng, Ω : góc không gian

Φ có thể được tính toán từ dòng năng lượng Φ_e như trình bày trong [6]:

$$\Phi = K_m \int_{380}^{780} V(\lambda) \Phi_e(\lambda) d\lambda \quad (4)$$

$V(\lambda)$: đường cong độ sáng tiêu chuẩn, K_m : cường độ sáng nhìn thấy lớn nhất, với $K_m \approx 683 \text{ lm/W}$ tại chiều bước sóng 555 nm.

Công suất phát quang P_t được tính bởi công thức:

$$P_t = \int_{\Lambda_{\min}}^{\Lambda_{\max}} \int_0^{2\pi} \Phi_e d\theta d\lambda \quad (5)$$

Λ_{\max} , Λ_{\min} : được xác định từ đặc tuyến độ nhạy của photodiode.

Theo [6] và như trình bày trong Hình 2 thì $H(0)_{LOS}$ được tính theo công thức:

$$H(0) = \begin{cases} \frac{(m+1)A}{2\pi d^2} \cos^m(\varphi) T_s(\psi) g(\psi) \cos(\psi), & 0 \leq \psi \leq \psi_{con} \\ 0, & \psi > \psi_{con} \end{cases} \quad (6)$$

ψ là góc tới đối với trục vuông góc với bề mặt thu, $T_s(\psi)$ và $g(\psi)$ là độ lợi của bộ lọc và bộ tổng hợp ánh sáng, ψ_{con} là FOV (field of view) của máy thu, d là khoảng cách giữa LED đến photodiode, A là vùng hoạt động tích cực của bộ thu Photodiode, m là những hệ số phản xạ Lambertian.

Hệ số phản xạ Lambertian m xác định bởi:

$$m = -\frac{\ln 2}{\ln(\cos \Phi_{1/2})} \quad (7)$$

$\Phi_{1/2}$ là bán góc tại nửa cường độ sáng của 1 LED (Góc chiếu) xem trong Hình 4.

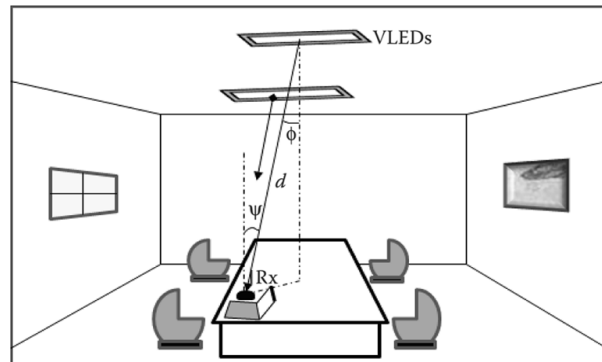
Độ lợi của bộ tổng hợp quang tại máy thu được cho bởi:

$$g(\psi) = \begin{cases} \frac{n^2}{\sin^2 \psi_{con}}, & 0 \leq \psi \leq \psi_{con} \\ 0, & \psi > \psi_{con} \end{cases} \quad (8)$$

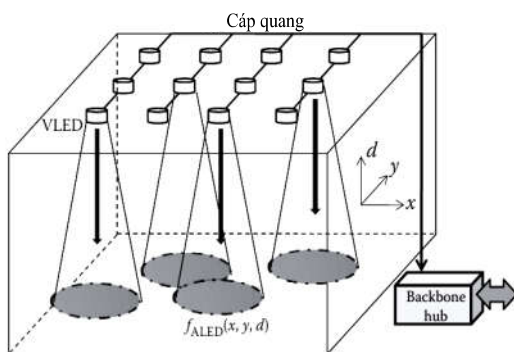
n là hệ số phản xạ thu được của photodiode.

2.3 Mô hình của VLC với đa nguồn sáng (Multisource)

Những nghiên cứu trước đây trên hệ thống VLC đều áp dụng nguồn sáng đơn (Single-Source). Tuy nhiên, để đảm bảo chiếu sáng, hầu hết các phòng đều sử dụng nhiều nguồn sáng. Do đó nếu nghiên cứu dựa trên một nguồn sáng thì không phù hợp thực tế.



Hình 2. Các thông số của hệ thống VLC

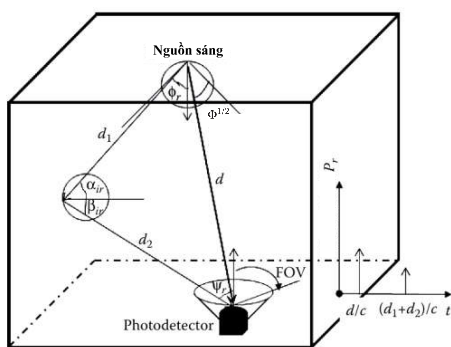


Hình 3. Cấu trúc VLC của một dãy LED (Multisource)

Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất mở rộng nghiên cứu cho cấu trúc VLC của một dãy LED (Multisource) áp dụng cho một căn phòng làm việc tiêu chuẩn như trình bày trong Hình 3.

Trong đề xuất này, mỗi LED được xem như một điểm nguồn sáng và đồ thị bức xạ của mỗi LED là một hàm của góc khối Θ trong không gian 3 bậc. Khi đó Θ được xác định như sau:

$$f_{ALED}(x, y, d) = \frac{f(\Theta)}{x^2 + y^2 + d^2} \quad (9)$$



Hình 4. Cấu trúc VLC với 1 đường phản xạ

2.4 Tính toán ảnh hưởng của đường phản xạ

Theo các nghiên cứu [6, 7 và 8] thì cường độ các đường phản xạ của ánh sáng LED phụ thuộc vào bước sóng và vật liệu để xây tường. Cũng theo [7] khi xem xét trường hợp có một đường phản xạ từ bức tường như trình bày trong Hình 4. Công suất thu được tại máy thu sẽ là tổng của độ lợi DC của đường đến trực tiếp $H_d(0)$ và đường phản xạ $H_{ref}(0)$:

$$P_r = \sum \left\{ H_d(0) + \int_{\text{Reflections}} P_d H_d(0) \right\} \quad (9)$$

Độ lợi DC của đường phản xạ thứ nhất được cho theo [7] là:

$$H_{ref}(0) = \begin{cases} \frac{A_r(m+1)}{2(\pi d_1 d_2)^2} \rho d A_{\text{wall}} \cos^m(\phi_r) \cos(\alpha_{ir}) \\ \times \cos(\beta_{ir}) T_s(\psi) g(\psi) \cos(\psi_r), & 0 \leq \psi_r \leq \psi_{con} \\ 0, & \psi_r > \psi_{con} \end{cases} \quad (10)$$

d_1 : là khoảng cách giữa đèn LED và điểm phản xạ, d_2 : là khoảng cách giữa điểm phản xạ và bề mặt máy thu, ρ : là hệ số phản xạ, dA_{wall} : là một khu vực phản xạ của vùng nhỏ, ϕ_r : là góc của bức xạ đến một điểm phản xạ, α_{ir} và β_{ir} là góc của bức xạ đến một điểm phản xạ và góc của bức xạ đến một máy thu, ψ_r là góc tới từ các bề mặt phản xạ. Chi tiết các thông số như trình bày trong Hình 4.

3. PHÂN TÍCH VÀ MÔ PHỎNG

3.1 Ảnh hưởng của đơn nguồn sáng (Single-Source) và đa nguồn sáng (Multisource) tới công suất thu của VLC

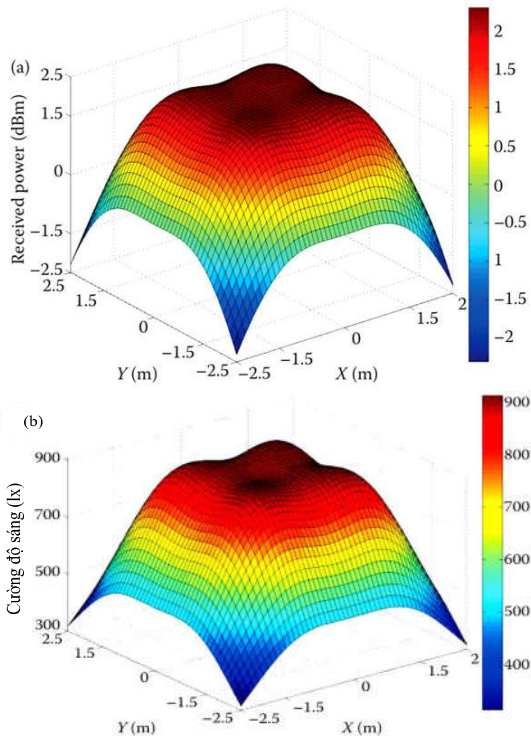
Để phân tích ảnh hưởng của đơn nguồn sáng (Single-Source) và đa nguồn sáng (Multisource) tác động lên phân bố công suất quang thu được tại máy thu của hệ thống VLC như trình bày tính toán trong phần 1. Trong nghiên cứu này, chúng tôi thực hiện mô phỏng sử dụng phần mềm Matlab, áp dụng cho một căn phòng tiêu chuẩn như trình bày trong hình 2 và 3, mô hình được ứng dụng trong môi trường truyền LOS (bỏ qua ảnh hưởng của nhiễu và phản xạ). Thông số thiết lập cho mô phỏng được trình bày chi tiết trong Bảng 1.

Bảng 1. Thông số mô phỏng của hệ thống VLC

Thông số		Giá trị	
Phòng	Kích thước	$5 \times 5 \times 3 \text{ m}^3$	
	Nguồn phát	Hệ số phản xạ	0.8
		Vị trí (4 LED)	(1.25, 1.25, 3), (1.25, 3.75, 3), (3.75, 1.25, 3), (3.75, 3.75, 3)
		Vị trí (1 LED)	(2.5, 2.5, 3)
		$\Phi_{1/2}$	70°
Công suất phát/LED	20mW		
Số LED/dãy	60 x 60		
Máy thu	Cường độ sáng t. tâm	300-910 lx	
	Máy thu đặt cách sàn	0.85m	
	A	1 cm ²	
	ψ_{con} (FOV)	60	
Δt	0.5 ns		

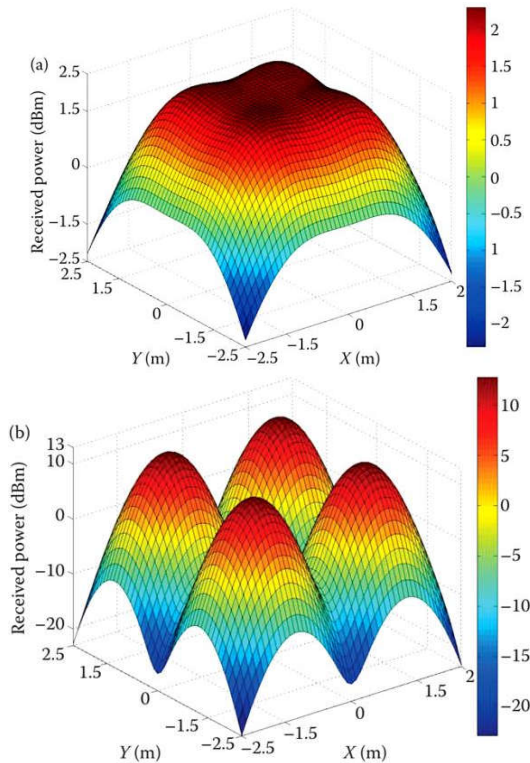
Hình 5a trình bày chiếu sáng sử dụng nguồn sáng đơn với bán góc $\Phi_{1/2}$ là 70° và thông lượng sáng cực đại tại trung tâm là 568.10 lx. Đối với chiếu sáng đa nguồn, mô phỏng sử dụng 4 nguồn sáng với bán góc $\Phi_{1/2}$ là 70° và thông lượng sáng trong khoảng 315-910 lx có giá trị trung bình là 717 lx được trình bày trong Hình 5b.

Kết quả mô phỏng cho thấy rằng tại máy thu hầu hết công suất quang thu được cho cả hai trường hợp có sự phân bố đồng đều tại trung tâm ứng với công suất cực đại 2.3 dBm và cực tiểu -2.3 dBm. Tuy nhiên, sử dụng 4 nguồn sáng thì phân bố công suất sẽ phù rộng hơn đáp ứng độ tin cậy truyền thông sẽ tốt hơn.



Hình 5. (a) Phân bố công suất ứng với 1 LED (Single-Source); (b) Phân bố công suất ứng với 4 LED (Multisource)

3.2 Ảnh hưởng của bán góc (Góc chiếu) tới phân bố công suất máy thu



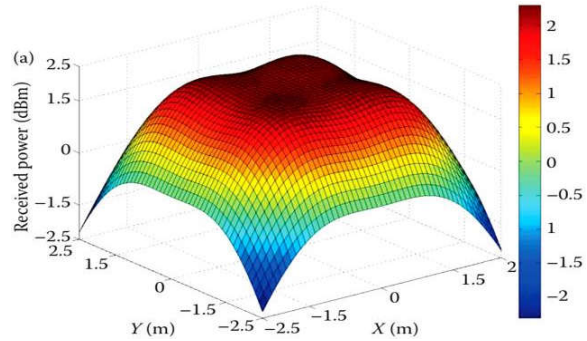
Hình 6. (a) Phân bố công suất ứng với $\Phi_{1/2}$ là 70° ; (b) Phân bố công suất ứng với $\Phi_{1/2}$ là 12.5°

Trong thí nghiệm thứ hai, để phân tích ảnh hưởng của bán góc (Góc chiếu) tới phân bố công suất thu được tại máy thu,

chúng ta sẽ thay đổi giá trị bán góc $\Phi_{1/2}$ lần lượt là 70° và 12.5° áp dụng cho trường hợp 4 nguồn sáng. Kết quả thu được trong Hình 6a và 6b cho thấy rằng phân bố công suất sẽ không đồng đều trong trường hợp $\Phi_{1/2}$ là 12.5° . Hơn nữa trong Hình 6b chỉ rõ rằng công suất quang thu được có một sự thay đổi rất lớn phân bố giữa giá trị max và min trong khoảng 35 dB, dẫn đến SNR cao trong một vài vùng và tín hiệu sẽ bị gián đoạn trong vài vùng.

3.3 Ảnh hưởng của đường phản xạ tới phân bố công suất ở máy thu

Để phân tích ảnh hưởng của phản xạ đến phân bố công suất thu tại máy thu, trong mô phỏng thứ 3 này, chúng tôi sử dụng mô hình như trình bày trong Hình 4, ở đó có xem xét đến sự tác động của 1 đường phản xạ. Phân bố công suất thu được tại máy thu sẽ là tổng công suất được tạo ra giữa đường trực tiếp và đường phản xạ từ bức tường căn phòng. Mô phỏng trong Hình 7 rõ ràng cho thấy công suất thu được tại máy thu có giá trị trong khoảng -2.4 đến 2.8 dBm. Kết quả này chứng minh rằng công suất trung bình thu được khi có xem xét yếu tố 1 đường phản xạ sẽ lớn hơn 0.6 dBm so với công suất chỉ tạo ra do đường trực tiếp như trình bày trong Hình 5.

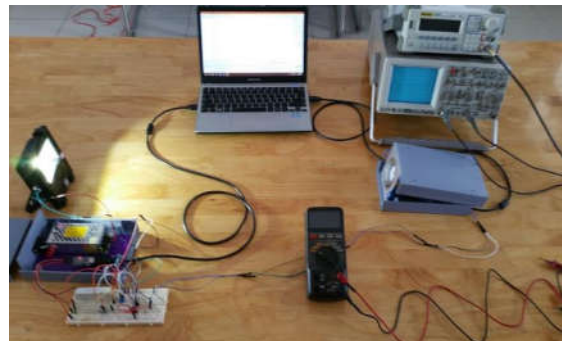


Hình 7. Phân bố công suất ở máy thu với phản xạ

4. MÔ HÌNH THỰC NGHIỆM VÀ KẾT QUẢ

4.1 Mô hình thực nghiệm

Sau khi thiết kế thi công mạch thực tế, mô hình bộ thu phát dữ liệu VLC được trình bày như Hình 8. Thiết bị đo bao gồm bộ LABVIEW NI MYDAQ dùng như OSCILLOSCOPE để phân tích tín hiệu thu và phát.



Hình 8. Bộ phát và thu đặt trong mặt phẳng nằm ngang

Hình 8 cho thấy LED và PD được đặt trên cùng một mặt phẳng. Bộ thu và phát được kết nối với hai cổng USB riêng biệt của cùng một máy tính. Do vậy, có thể xem PC này mô hình hóa hai PC ảo riêng biệt. Dữ liệu dạng chuỗi bit dữ liệu

và hình ảnh được truyền trong thời gian thực giữa hai PC này.



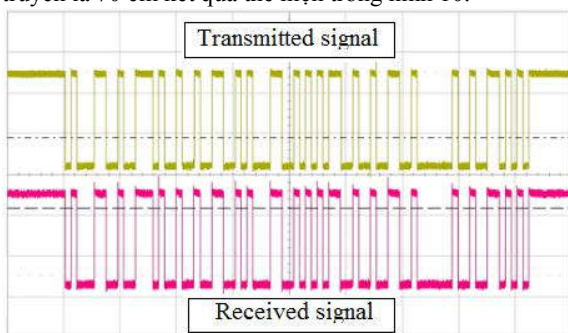
Hình 9. Module LabVIEW NI myDAQ dùng phân tích tín hiệu thu và phát

4.2 Phân tích kết quả

Sau đây là các thí nghiệm khác nhau đã được thực hiện để đánh giá khả năng truyền tin của hệ thống.

Thí nghiệm 1: Truyền chuỗi bit dữ liệu với tốc độ truyền khác nhau sử dụng mô hình kênh truyền thực VLC như hình 8, kết quả trình bày ở Hình 10 và 11.

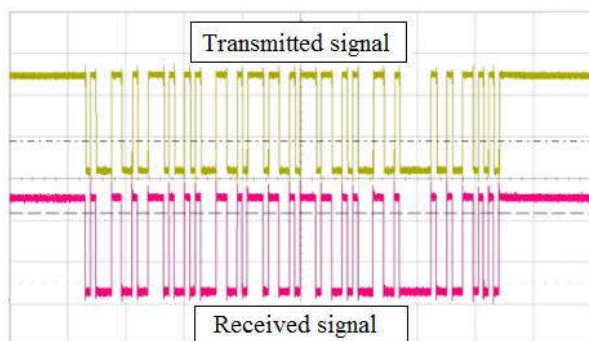
Trường hợp 1: tốc độ bit thiết lập 9,6 Kbps, khoảng cách truyền là 70 cm kết quả thể hiện trong hình 10.



Hình 10. Kết quả truyền nhận dữ liệu 9,6Kbps, 70cm

Kết quả từ hình 10 cho thấy rằng với khoảng cách giữa bộ phát và thu là 70cm, tốc độ truyền là 9,6 Kbps hệ thống hoạt động tốt.

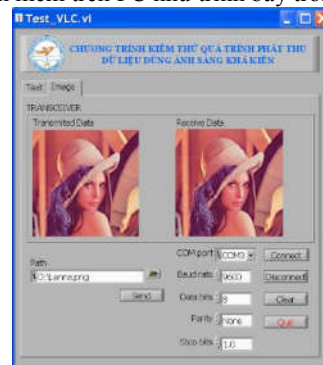
Trường hợp 2: tăng tốc độ bit lên 115,2 Kbps, khoảng cách truyền vẫn giữ là 70 cm kết quả thể hiện trong hình 11.



Hình 11. Kết quả truyền nhận dữ liệu 115,2Kbps, 70cm

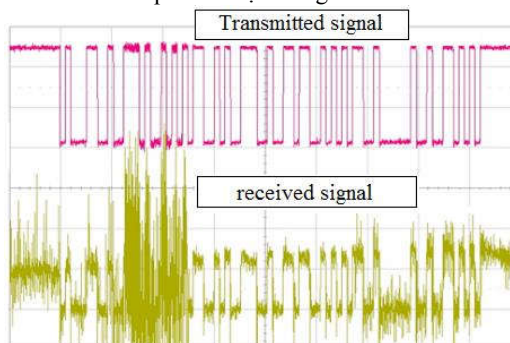
Kết quả từ Hình 11 cho thấy rằng với khoảng cách giữa bộ phát và thu là 70cm, tốc độ truyền tăng lên 115,2 Kbps hệ thống vẫn hoạt động tốt mặc dù có một vài nhiễu bắt đầu xuất hiện ở tín hiệu thu.

Thí nghiệm 2: Truyền ảnh Lena có dung lượng 31,6 kB. Độ phân giải 200 x 200 Pixels khoảng cách truyền là 70 cm. Kết quả truyền ảnh từ bộ phát đến bộ thu được thể hiện qua giao diện phần mềm trên PC như trình bày trong hình 12.



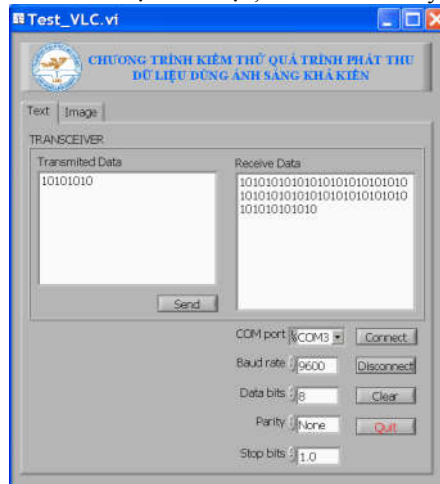
Hình 12. Kết quả giao diện truyền ảnh trên PC

Thí nghiệm 3: tốc độ bit truyền được thiết lập 115,2 Kbps, nhưng gia tăng khoảng cách truyền giữa bộ phát và thu lên 80 cm. Kết quả thể hiện trong hình 13.



Hình 13. Kết quả truyền nhận dữ liệu 115,2Kbps, 80cm

Kết quả thu được từ Hình 13 cho thấy khi gia tăng khoảng cách truyền lên 80cm, trong trường hợp này nhiễu đã xuất hiện rất nhiều ở tín hiệu thu được, lỗi kết nối đã xảy ra.



Hình 14. Kết quả truyền nhận dữ liệu 9,6Kbps và 115,2Kbps, 80cm sử dụng thêm LENS cho đèn LED

Thí nghiệm 4: để tăng khoảng cách truyền, tại bộ phát sử dụng thêm LENS cho đèn LED để tập trung ánh sáng vào một góc nhỏ hơn nhằm tăng hiệu suất phát quang. Thiết lập tốc độ và khoảng cách truyền giống như trong thí nghiệm 3. Kết quả được trình bày như Hình 14.

Kết quả thu được từ Hình 14 cho thấy tín hiệu thu được tại bộ thu đã cải thiện đáng kể nhờ bộ tập trung ánh sáng.

5. KẾT LUẬN

Hệ thống VLC phát dữ liệu bằng cách điều khiển LED và nhận dữ liệu thông qua photodiode có rất nhiều ưu điểm, đây tiềm năng cho một thế hệ tiếp theo trong truyền thông không dây tốc độ cao. Tuy nhiên bên cạnh đó kỹ thuật này cũng tồn tại rất nhiều khuyết điểm cần giải quyết. Kết quả của nghiên cứu này đã phân tích được 3 yếu tố ảnh hưởng rất lớn đến phân bố công suất thu được tại máy thu. Kết quả thu được từ mô hình thực nghiệm bước đầu cho thấy hệ thống hoạt động ổn định, tốc độ truyền dữ liệu có thể đạt được 115,2 Kbps ứng với khoảng cách là 80cm. Hy vọng kết quả này sẽ làm nền tảng cho những nghiên cứu tiếp theo trong việc nâng cao, cải thiện khả năng ứng dụng của hệ thống VLC.

6. TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Wed: www.hhi.fraunhofer.de/LED-Backhaul
- [2] Y. Tanaka, T. Komine, S. Haruyama and M. Nakagawa, "Indoor Visible Light Data Transmission System Utilizing White LED Lights," IEICE Trans. Communication, vol. E86-B, pp.2440-2454, 2003.
- [3] T. Komine, M. Nakagawa, "Integrated system of white LED visiblelight communication and power-line communication," IEEE Trans. Consumer Electronics, vol. 49, no. 1, pp.71-79, February 2003.
- [4] Lee.C.G, Park.C.S, Kim.J.-H, Kim, D.H, "Experimental verification of optical wireless communication link using high-brightness illumination light-emitting diodes, Optical Engineering", Vol. 46, No. 12, 2007.
- [5] Minh, H.L, O'Brien.D.C, Faulkner.G.F, "Highspeed visible light communicaitons using multiple-resonant equalization", IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 20, No. 14, 2008.
- [6] J. M. Kahn and J. R. Barry, "Wireless Infrared Communications," in proc. of IEEE, vol. 85. pp. 265-298, February1997.
- [7] F.R. Gfeller and U. Bapst, Wireless in-house data communication via diffuse infrared radiation, Proceedings of the IEEE, 67, 1474-1486, 1979.
- [8] T. Komine and M. Nakagawa, Fundamental analysis for visible-light communication system using LED lights, IEEE Transactions on Consumer Electronics, 50, 100-107, 2004.
- [9] L. Kwonhyung, P. Hyuncheol and J.R.Barry, "Indoor channel characteristics for visible light communications", IEEE Communications Letters, 15, 217-219, 2011.

TIÊU SỬ TÁC GIẢ



Nguyễn Thanh Sơn

Sinh năm 1980. Nhận bằng thạc sĩ về thiết bị mạng và nhà máy điện của Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM năm 2007. Sau đó, nhận bằng tiến sĩ hệ thống điện năm 2013 tại Đại học Cát Lâm Trung Quốc. Hiện đang là Giám đốc Trung tâm Nghiên cứu Khoa học và Ứng dụng, Trường ngành Điện tử -Truyền thông Trường Đại học Lạc Hồng. Lĩnh vực quan tâm nghiên cứu là năng lượng tái tạo, năng lượng mới, truyền thông không dây tốc độ cao.



Nguyễn Đức Hoàng

Sinh năm 1995 tại Tỉnh Đắk Lắk . Hiện đang là sinh viên năm cuối Đại học Lạc Hồng chuyên ngành Điện tử Viễn thông. Lĩnh vực nghiên cứu : Lập trình, tự động hóa quy trình sản xuất v.v.



Bùi Hồng Trang

Sinh năm 1995 tại huyện Đức Phổ, Tỉnh Quảng Ngãi. Hiện đang là sinh viên năm cuối Đại học Lạc Hồng chuyên ngành Điện tử Viễn thông. Lĩnh vực đang nghiên cứu: Truyền thông không dây, kỹ thuật điều khiển thông minh v.v.



Phan Thị Thu Hiền

Sinh năm 1995 tại Huyện Tuy An, Tỉnh Phú Yên. Hiện đang là sinh viên năm cuối Đại học Lạc Hồng chuyên ngành Điện tử Viễn thông. Lĩnh vực đang nghiên cứu: Kỹ thuật điều khiển thông minh và truyền thông mạng tốc độ cao v.v.