

**HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG**

-----



**BÙI NGỌC DŨNG**

**XÂY DỰNG HỆ THỐNG TRUYỀN ÂM THANH  
SỬ DỤNG CÔNG NGHỆ VLC**

**Chuyên ngành : KỸ THUẬT VIỄN THÔNG**  
**Mã số : 8.52.02.08**

**LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT**  
*(Theo định hướng ứng dụng)*

**HÀ NỘI - 2020**

**HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG**

-----



**BÙI NGỌC DŨNG**

**XÂY DỰNG HỆ THỐNG TRUYỀN ÂM THANH  
SỬ DỤNG CÔNG NGHỆ VLC**

**Chuyên ngành : KỸ THUẬT VIỄN THÔNG**  
**Mã số : 8.52.02.08**

**LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT**  
*(Theo định hướng ứng dụng)*

**NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC: TS. TRƯỜNG CAO DŨNG**

**HÀ NỘI - 2020**

## **LỜI CAM ĐOAN**

Tôi cam đoan đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi.

Các số liệu, kết quả nêu trong luận văn là trung thực và chưa từng được ai công bố trong bất kỳ công trình nào khác.

Người viết luận văn

Bùi Ngọc Dũng

## MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN .....	i
MỤC LỤC.....	ii
Danh mục các ký hiệu, các chữ viết tắt.....	iv
danh mục các Bảng .....	v
danh mục các hình.....	vi
MỞ ĐẦU.....	1
Chương 1: TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ VLC .....	3
1.1 Tổng quan về công nghệ VLC.....	3
1.1.1 Giới thiệu về công nghệ VLC.....	3
1.1.2 Lịch sử phát triển công nghệ VLC.....	3
1.1.3 Đặc điểm công nghệ VLC .....	7
1.2 Cấu trúc hệ thống VLC.....	10
1.2.1 Mô hình hệ thống.....	10
1.2.2 Phía phát .....	10
1.2.3 Kênh truyền.....	14
1.2.4 Phía thu .....	17
1.3 Ứng dụng của VLC trong cuộc sống.....	20
1.3.1 Ứng dụng trong cuộc sống thông minh .....	20
1.3.2 Ứng dụng trong nhà xưởng thông minh và IoT.....	23
1.4 Kết luận chương .....	24
Chương 2: Mô hình và đặc tính hệ thống truyền âm thanh ứng dụng công nghệ VLC .....	25
2.1 Giới thiệu mô hình hệ thống.....	25
2.2 Kịch bản mô hình .....	25

2.3	Đặc tính các thành phần trong hệ thống .....	26
2.3.1	Các kỹ thuật điều chế .....	26
2.3.2	Kỹ thuật mã hóa .....	44
2.3.3	Tốc độ truyền âm thanh .....	46
2.3.4	Cự ly truyền dẫn .....	47
2.4	Kết luận.....	49
Chương 3: Thiết kế hệ thống và đánh giá .....		50
kết quả .....		50
3.1	Thiết kế hệ thống .....	50
3.1.1	Sơ đồ khối hệ thống .....	50
3.1.2	Đặc tính các thành phần trong hệ thống .....	50
3.1.3	Sơ đồ nguyên lý phía phát .....	51
3.1.4	Sơ đồ nguyên lý phía thu .....	52
3.2	Kết quả và đánh giá .....	53
3.2.1	Kết quả .....	53
3.2.2	Đo đạc và đánh giá.....	54
3.3	Kết luận.....	57
kết luận và kiến nghị .....		58
Tài liệu tham khảo.....		60

## DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU, CÁC CHỮ VIẾT TẮT

Viết tắt	Tiếng Anh	Tiếng Việt
APD	Avalanche Photo-Diode	Diode quang thác điện tử
BER	Bit error rate	Tỷ lệ bit lỗi
CPC	Compound Parabolic Concentrator	Bộ tập trung quang
CSK	Color-Shift Keying	Điều chế khóa dịch màu
IM/DD	Intensity Modulation/ Direct Detection	Điều chế cường độ, phát hiện trực tiếp
LED	Light emitting diode	Đèn LED
LOS	Light of Sight	Tầm nhìn thẳng
MIMO	Multi Input – Multi Output	Phương pháp MIMO
NLOS	None Light of Sight	Tầm nhìn không thẳng
OLED	Organic Light emitting diode	Đèn quang điện hữu cơ
OOK	On Off Keying	Điều chế OOK
PPM	Pulse Position Modulation	Điều chế PPM
PWM	Pulse Width Modulation	Điều chế PWM
RGB	Red Green Blue	Mô hình màu đỏ, xanh lá, xanh lam
SNR	Signal to Noise Ratio	Tỉ số tín hiệu trên tạp âm
VLC	Visible light communication	Truyền thông bằng ánh sáng nhìn thấy

## DANH MỤC CÁC BẢNG

Bảng 1.1 Lịch sử phát triển của VLC. ....	6
Bảng 1.2 So sánh các tham số của VLC, IRB và FRB .....	9
Bảng 2.1 Các dải màu trong không gian màu CIE 1931 với tọa độ màu x,y .....	37
Bảng 2.2 Các trường hợp kết hợp dải màu hợp lệ .....	39
Bảng 2.3 Tọa độ của các ký hiệu với ba dải màu được chọn.....	43

## DANH MỤC CÁC HÌNH

Hình 1.1 Dải phổ ánh sáng nhìn thấy (nguồn Internet).....	3
Hình 1.2 Mô hình của một hệ thống VLC .....	10
Hình 1.3 Thành phần phía phát của hệ thống VLC .....	10
Hình 1.4: Cơ chế hoạt động của LED (nguồn Internet).....	11
Hình 1.5 Phân loại LED (nguồn Internet).....	13
Hình 1.6 Hai cách tạo ra ánh sáng trắng từ LED (nguồn Internet) .....	13
Hình 1.7 Cường độ phát xạ của LED: (a) LED đơn chip, (b) LED RGB.....	14
Hình 1.8 Mô hình kênh truyền LOS. (nguồn Internet) .....	15
Hình 1.9 Thành phần thu hệ thống VLC.....	17
Hình 1.10 Cấu trúc Diode PIN (nguồn Internet).....	17
Hình 1.11 Cấu trúc Diode thác APDs. (nguồn Internet).....	19
Hình 1.12 Bộ tập trung quang CPC (nguồn Internet) .....	19
Hình 1.13 Quá trình phản xạ tại CPC (nguồn Internet) .....	20
Hình 1.14 Khả năng ứng dụng VLC ở trong khoang máy bay (nguồn Internet).....	21
Hình 1.15 Hệ thống giao thông thông minh sử dụng VLC (nguồn Internet).....	22
Hình 1.16 VLC trong truyền thông dưới nước (nguồn Internet) .....	22
Hình 1.17 Ứng dụng VLC trong bệnh viện (nguồn Internet) .....	23
Hình 1.18 Ứng dụng VLC trong định vị (nguồn Internet).....	23
Hình 2.1 Mô hình hệ thống truyền âm thanh sử dụng công nghệ VLC.....	25
Hình 2.2 Kỹ thuật điều chế OOK.....	26
Hình 2.3 Điều chế NRZ-OOK .....	27
Hình 2.4 Hàm cơ sở (a) và không gian tín hiệu NRZ-OOK (b) .....	28
Hình 2.5 Biểu diễn khoảng cách nhỏ nhất .....	28
Hình 2.6 Tăng độ sáng bằng cách chèn thêm các ký hiệu dư thừa CS .....	30
Hình 2.7 Hàm cơ sở của 2-PPM.....	31
Hình 2.8 Mô hình VPM cấu tạo từ 2-PPM với độ sáng 50%(a) và PWM để điều chỉnh độ sáng (b) .....	32
Hình 2.9 Dạng sóng của tín hiệu VPM với độ rộng xung 75% .....	33



Hình 2.10 Điều chỉnh sáng tối trong điều chế VPM.....	33
Hình 2.11 Tín hiệu cơ bản của hai phương pháp RZ và IRZ.....	34
Hình 2.12 Tín hiệu R-RZ cơ bản.....	34
Hình 2.13 Dạng sóng của R-RZ với 50 % chu kì làm việc.....	35
Hình 2.14 Điều khiển sáng tối trong R-RZ.....	35
Hình 2.15 Hàm gán màu X,Y,Z.....	36
Hình 2.16 Không gian màu CIE 1931 với hai trục x,y và 7 dải màu 000 đến 110...38	
Hình 2.17 Quá trình mã hóa dữ liệu.....	39
Hình 2.18 Không gian ký hiệu 4-CSK.....	40
Hình 2.19 Ánh xạ dữ liệu đối với 4-CSK .....	41
Hình 2.20 Không gian tín hiệu 8-CSK.....	41
Hình 2.21 Ánh xạ dữ liệu đối với 8-CSK .....	42
Hình 2.22 Không gian ký hiệu 16-CSK.....	42
Hình 2.23 Ánh xạ dữ liệu đối với 16-CSK .....	42
Hình 2.24 Tạo mã Manchester.....	45
Hình 2.25 Mạch cắt dữ liệu đơn giản để khôi phục các mức logic nhị phân.....	46
Hình 3.1 Sơ đồ khối hệ thống .....	50
Hình 3.2 Sơ đồ nguyên lý phía phát.....	51
Hình 3.3 Sơ đồ nguyên lý phía thu .....	52
Hình 3.4. Sơ đồ thiết lập thử nghiệm hệ thống .....	53
Hình 3.5. Kết quả đo kiểm trên Oxilo của hệ thống với (a) 80 cm và (b) 65 cm .....	54
Hình 3.6. Kết quả đo điện áp kênh CH2 trên hai chân photodiode khi có ánh sáng và không có ánh sáng.....	55
Hình 3.7. Kết quả đo điện áp chân 7 của LM358 và chân GND của photodiode khi có ánh sáng và không có ánh sáng .....	56

## MỞ ĐẦU

Ngày nay truyền thông không dây đã trở thành vấn đề cơ bản trong cuộc sống của chúng ta và chúng ta truyền một lượng lớn dữ liệu mỗi ngày. Cách truyền dữ liệu không dây chủ yếu là bằng các sóng điện từ, đặc biệt là sóng vô tuyến. Tuy nhiên, các sóng vô tuyến chỉ có băng tần giới hạn do phổ tần bị hạn chế và giao thoa. Thêm vào đó, phổ tần vô tuyến đã chật chội và khó khăn cho việc tìm kiếm dung lượng vô tuyến để hỗ trợ các ứng dụng truyền thông.

Có một loại truyền thông không dây với tương lai hứa hẹn có thể bổ sung cho các sóng vô tuyến đó là truyền thông bằng ánh sáng nhìn thấy – VLC. VLC là một công nghệ truyền thông dữ liệu mà sử dụng các nguồn ánh sáng như là một máy phát tín hiệu, không khí như là môi trường truyền dẫn hay kênh truyền là một thiết bị nhận tín hiệu. Nói chung máy phát thường là diode phát quang LED trong khi các thiết bị ở phía thu là bộ tách sóng quang, thường là diode tách sóng. Bằng cách sử dụng VLC cho các ứng dụng khoảng cách ngắn, chúng ta có thể bổ sung cho các sóng vô tuyến để đạt được các tốc độ dữ liệu cao và một băng thông rộng.

Thực tế là truyền tin bằng ánh sáng nhìn thấy cung cấp rất nhiều phương pháp truyền không dây không tốn tiền và không bị quản lý. Xung quanh chúng ta có rất nhiều nguồn sáng và hạ tầng hỗ trợ. Thật lãng phí nếu không tái sử dụng những tài nguyên này, và ánh sáng sẽ là một phần trong tổ hợp các nguồn tài nguyên dùng trong truyền thông không dây của tương lai. Có rất nhiều ứng dụng của VLC đã và đang triển khai, ví dụ như trong các môi trường hầm mỏ vì lý do an toàn nên hạn chế dùng sóng radio, cần một hệ thống giao tiếp an toàn hơn. Hay trong bệnh viện với các môi trường nhạy cảm với sóng radio thì việc giao tiếp từ xa trở nên khó khăn hơn. Với lý do đó, nội dung của luận văn trình bày về: Xây dựng hệ thống truyền âm thanh ứng dụng công nghệ VLC.

Bố cục của luận văn gồm 3 chương:

Chương I: “Tổng quan về công nghệ VLC”.

Chương II: “Mô hình và đặc tính hệ thống truyền âm thanh ứng dụng công nghệ VLC”.

Chương III: “Thiết kế hệ thống và đánh giá kết quả”.

Do hiểu biết còn hạn chế nên luận văn chắc chắn không tránh khỏi nhiều thiếu sót. Em rất mong nhận được sự góp ý của các thầy cô để luận văn được hoàn thiện hơn.

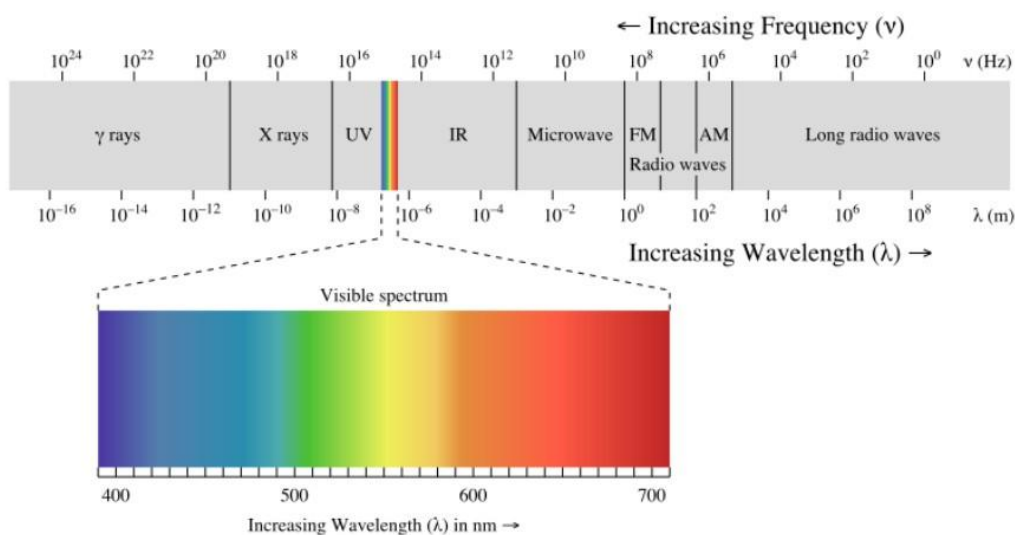
Em xin chân thành cảm ơn các thầy cô giáo trong Khoa Điện tử-Viễn thông, trường Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông đã giúp đỡ em trong suốt quá trình học tập. Em xin cảm ơn TS.Trương Cao Dũng đã hướng dẫn em trong quá trình thực hiện và hoàn thành luận văn.

## CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ VLC

### 1.1 Tổng quan về công nghệ VLC

#### 1.1.1 Giới thiệu về công nghệ VLC

Truyền thông bằng ánh sáng nhìn thấy – VLC là cái tên được đưa ra cho một hệ thống thông tin không dây mang thông tin bằng cách điều chế trong phổ ánh sáng nhìn thấy (400-700nm), dải phổ được sử dụng cho việc chiếu sáng. Các tín hiệu truyền thông tin được mã hóa bởi ánh sáng chiếu sáng.



**Hình 1.1 Dải phổ ánh sáng nhìn thấy (nguồn Internet)**

VLC ngày càng được quan tâm với việc sử dụng ánh sáng chiếu sáng cho truyền tin để tiết kiệm năng lượng bằng cách sử dụng sự chiếu sáng để mang thông tin sử dụng hạ tầng chiếu sáng có sẵn. Hơn nữa, công nghệ VLC thân thiện với môi trường so với công nghệ tần số vô tuyến. Sự phát triển thêm một công nghệ vô tuyến VLC là kết quả của nhu cầu ngày một lớn của việc kết nối không dây tốc độ cao.

#### 1.1.2 Lịch sử phát triển công nghệ VLC

Nhiều năm trước, chúng ta thấy có nghiên cứu về VLC và ý tưởng sử dụng các LED cho cả việc chiếu sáng (illumination) và truyền tin (data communications).

Động lực chính cho công nghệ này bao gồm việc chiếu sáng bằng chất bán dẫn (solid-state lighting) ngày càng phổ biến, tuổi đời dài hơn của LED có độ sáng cao so với các nguồn ánh sáng nhân tạo khác như đèn dây tóc, tốc độ băng thông/dữ liệu cao, bảo mật dữ liệu, an toàn sức khỏe, và tiết kiệm năng lượng.

Khái niệm VLC như là một phương thức truyền thông tin được ra đời từ những năm 1870 khi Alexander Granham Bell mô tả thành công truyền dẫn của một tín hiệu âm thanh sử dụng một gương được tạo ra để dao động bởi âm thanh của một người. Mô tả thực tế đầu tiên của VLC, được gọi là máy phát âm thanh bằng ánh sáng (photophone), diễn ra vào năm 1880 sử dụng ánh sáng mặt trời như là một nguồn sáng. Bell và Tainer thành công trong việc truyền tin một cách rõ ràng qua khoảng cách khoảng 213 mét trong thí nghiệm máy phát âm thanh bằng ánh sáng. Tuy nhiên, hệ thống của Bell có một vài nhược điểm như là nó phụ thuộc vào ánh sáng mặt trời, một loại ánh sáng bị gián đoạn. Sự phát triển về hiện tượng trong quang điện tử (optoelectronics), cụ thể là các nguồn sáng bán dẫn trong các thập kỉ qua dẫn đến sự nổi lên một lần nữa của truyền thông tin quang không dây.

Ánh sáng bán dẫn là ánh sáng được tạo ra bởi sự phát quang điện. Những năm 1990, các LED độ sáng cao với mục đích chiếu sáng nói chung được giới thiệu. Chỉ trong vài năm, hiệu quả chiếu sáng của LED được tăng lên nhanh chóng từ 0.1lm/W tới hơn 230lm/W và với thời gian sống khá cao 100000 giờ. Bây giờ chúng ta có thể thấy có loại nguồn chiếu sáng mới khác như OLED (organic LED). OLED có hiệu quả chiếu sáng tương đối thấp khoảng 100lm/W và thời gian sống khá ngắn so với LED, do đó hạn chế các ứng dụng cho hiển thị màu sắc khác nhau và chiếu sáng nói chung ở hiện tại. Trái lại OLED lại là giải pháp thay thế cho chiếu sáng và truyền tin khu vực lớn.

So với các đèn chiếu sáng cổ điển với hiệu quả chiếu sáng bị giới hạn 52lm/W và đèn huỳnh sáng đỉnh của LED trắng vượt quá 260 lm/W, thấp hơn rất nhiều so với hiệu quả chiếu sáng dự đoán trong lý thuyết đạt tới 425 lm/W. Trong những năm tới, có những bằng chứng rõ ràng về việc tăng mức độ của chất lượng chiếu sáng của LED. Từ quan điểm nhìn môi trường, ánh sáng bán dẫn

(solid-state lighting -SSL) sẽ là một công nghệ cần thiết cho việc tiết kiệm năng lượng và bảo vệ môi trường. Công nghệ sử dụng ánh sáng bán dẫn có ưu điểm như sau:

- ❖ Tuổi đời thiết bị dài.
- ❖ Chịu được độ ẩm cao.
- ❖ Không có thủy ngân.
- ❖ Kích thước nhỏ và gọn hơn.
- ❖ Hiệu quả biến đổi năng lượng cao hơn (với white LED hiệu quả chiếu sáng lớn hơn 200lm/W).
- ❖ Tiêu thụ năng lượng thấp hơn.
- ❖ Chuyển mạch nhanh hơn.

Vì lý do này mà LED ánh sáng trắng là các nguồn lý tưởng cho các ứng dụng trong tương lai ở cả trong nhà và ngoài trời cho hai mục đích chiếu sáng và truyền dữ liệu, do đó dẫn đến tiết kiệm năng lượng đáng kể trên toàn cầu. Với sự xuất hiện của LED ánh sáng trắng tạo bởi sự kết hợp của ba màu cơ bản đỏ, xanh lá cây và xanh da trời, hay bởi cách sử dụng máy phát ánh sáng xanh kết hợp với một huỳnh quang, các nghiên cứu và sự phát triển của hệ thống VLC trong nhà được thúc đẩy. Các nguồn của VLC có công suất đầu ra quang cao và các đặc tính phát lớn để thực hiện cho việc chiếu sáng. Hơn nữa, các thiết bị này có đáp ứng kênh không dây riêng biệt, khác so với với truyền tin không dây hồng ngoại.

Đầu tiên, VLC được bắt đầu ở phòng thí nghiệm Nakagawa ở đại học Kio ở Nhật năm 2003. Nghiên cứu này tiếp tục được theo đuổi và phát triển ở trên toàn thế giới. Bằng cách đóng mạch và ngắt mạch LED ánh sáng trắng phổ lân quang (phosphorescent white LEDs) nhanh chóng, tốc độ dữ liệu lên tới 40Mbps dễ dàng được thực hiện. Sử dụng cùng kỹ thuật khóa đóng mở, tốc độ dữ liệu cao hơn vượt 100Mbps có thể đạt được với LED ánh sáng trắng RGB. Các LED hốc cộng hưởng có thể đạt được tốc độ dữ liệu vượt quá 500Mbps. Các LED cộng hưởng sử dụng các phản xạ Bragg, hoạt động như các gương để tăng ánh sáng được phát. Thêm vào

đó, nó làm tăng độ trong suốt của phổ so với LED thường, do đó nâng cao khả năng truyền tin. Khái niệm về VLC được mô tả ở bảng 1.1 dưới đây:

**Bảng 1.1 Lịch sử phát triển của VLC.**

<b>Thời gian</b>	<b>Sự kiện</b>
2004	Công bố hệ thống LED truyền dẫn dữ liệu tốc độ cao trên thiết bị di động tại Nhật Bản.
2005	Thử nghiệm thực tế hệ thống truyền dẫn VLC tới điện thoại di động với tốc độ 10 kb/s và vài Mb/s sử dụng đèn huỳnh quang và LED tại Nhật Bản.
2007	Thực hiện truyền dẫn VLC từ màn hình LCD sử dụng đèn nền LED tới thiết bị cầm tay, hãng tivi Fuji Nhật Bản.
2007	Hiệp hội VLC (VLCC) tại Nhật Bản đưa ra hai chuẩn: Tiêu chuẩn cho hệ thống định danh sử dụng ánh sáng và tiêu chuẩn cho hệ thống VLC. Hiệp hội công nghệ thông tin và điện tử Nhật Bản-JEITA đã chấp nhận các tiêu chuẩn này thông qua hai văn bản JEITA CP-1221 và JAITA CP-1222.
2008	Phát triển các tiêu chuẩn toàn cầu cho mạng gia đình sử dụng ánh sáng và tia hồng ngoại để truyền dẫn thông qua dự án OMEGA của EU. Thực hiện truyền dẫn sử dụng 5 đèn LED với tốc độ ~100Mb/s.
2009	VLCC đã ban hành tiêu chuẩn kỹ thuật đầu tiên của họ trong đó xác định phổ tần số sử dụng VLC.
2010	Phát triển công nghệ VLC cho các thiết bị điện như TV, PC, điện thoại di động ở đại học Calfinia, USA.
2010	Công bố hệ thống định vị toàn cầu GPS với môi trường trong nhà ở Nhật Bản.
2010	Truyền dẫn với hệ thống VLC đạt tốc độ 500Mb/s với khoảng cách 5m, thực hiện bởi Siemen và viện Heinrich Het, Đức.

2010	Phát triển tiêu chuẩn cho các công nghệ sử dụng VLC bởi IEEE.
2011	Trình diễn hệ thống truyền dẫn VLC-OFDM với tốc độ 124Mb/s, sử dụng LED trắng phủ phospho, đại học Edinburgh, Anh
2013	Giáo sư Harald Haas đã thực hiện truyền dữ liệu với tốc độ lên đến 1.6 Gbps thông qua đèn LED đơn sắc
2015	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Công ty Stins Coman của Nga đã thực hiện một mạng nội bộ sử dụng VLC có tốc độ truyền dữ liệu lên đến 1.25 Gbit/s vào 04/2014</li> <li>- Axrtek đã sản xuất hệ thống VLC với LED RGB hai chiều với tên gọi thương mại là MOMO, có tốc độ 300 Mbit/s trong cự ly 25 feet vào 10/2014</li> </ul>
2016	Vào năm 2016 sản phẩm Li-1st của công ty PureLifi ra đời. Theo nhà sản xuất nói thì đây là sản phẩm đầu tiên ứng dụng công nghệ VLC được bán rộng rãi. Li-1st hiện có thể mang lại tốc độ truyền tải 5Mbps cho cả kênh upload lẫn download, tương đương 625KB/s
2017	Vào năm 2017 công ty PureLifi cho ra sản phẩm LiFi-X bao gồm một thiết bị có đèn LED gắn vào cổng USB, cho tốc độ truyền nhận dữ liệu lên đến 42Mbps.

### 1.1.3 Đặc điểm công nghệ VLC

#### 1.1.3.1 Dung lượng

- ❖ Băng thông lớn: Phổ tần của sóng ánh sáng nhìn thấy ước tính lớn gấp 10000 lần so với phổ sóng vô tuyến và hoàn toàn miễn phí khi sử dụng.
- ❖ Mật độ dữ liệu: Công nghệ VLC có thể đạt được mật độ dữ liệu gấp 1000 lần so với WIFI bởi ánh sáng nhìn thấy không xuyên qua vật cản nên chỉ tập trung trong một không gian, trong khi sóng vô tuyến có xu hướng thoát ra ngoài và gây nhiễu.
- ❖ Tốc độ cao: công nghệ VLC có thể đạt được tốc độ cao nhờ vào nhiễu thấp, băng thông lớn và cường độ chiếu sáng lớn ở đầu ra.



- ❖ Dễ dàng quản lý: việc quản lý trở nên khá dễ dàng do không gian chiếu sáng giới hạn, là ánh sáng nhìn thấy nên dễ dàng quản lý hơn so với sóng vô tuyến

#### 1.1.3.2 Hiệu năng

- ❖ Chi phí thấp: Công nghệ VLC yêu cầu ít thành phần hơn so với công nghệ sử dụng sóng vô tuyến.
- ❖ Sử dụng đèn LED để chiếu sáng có hiệu quả rất cao: tiêu thụ năng lượng thấp, hiệu quả chiếu sáng, giá thành tương đối rẻ và độ bền cao.
- ❖ Truyền thông dưới nước: Việc truyền thông tin dưới nước đối với sóng vô tuyến là rất khó khăn, nhưng đối với công nghệ VLC thì có thể thực hiện việc đó dễ dàng hơn.

#### 1.1.3.3 An toàn

- ❖ An toàn đối với sức khỏe con người.
- ❖ Việc truyền dẫn bằng sóng ánh sáng không gây nhiễu đối với máy bay, không gây nhiễu với các máy móc sử dụng trong bệnh viện. Không gây hại với sức khỏe con người

#### 1.1.3.4 Bảo mật

- ❖ Vì truyền thông bằng sóng ánh sáng chỉ tập trung ở một khu vực nhất định, không thể đâm xuyên qua các vật thể nên sẽ rất khó để thu thập hay do thám các tín hiệu thông tin.
- ❖ Không cần các phương pháp bảo mật phức tạp, do là ánh sáng nhìn thấy nên việc quản lý truyền dẫn thông tin vô cùng dễ dàng.
- ❖ Công nghệ VLC rất phù hợp cho các ứng dụng yêu cầu đường xuống tốc độ cao, trong khi chỉ cần đường lên với tốc độ thấp như: download video, audio, duyệt Web... Qua đó, ta có thể giải quyết được vấn đề quá tải trong mạng truyền thông tin không dây.
- ❖ Dưới đây là bảng so sánh các đặc tính của VLC và công nghệ IR và RF:

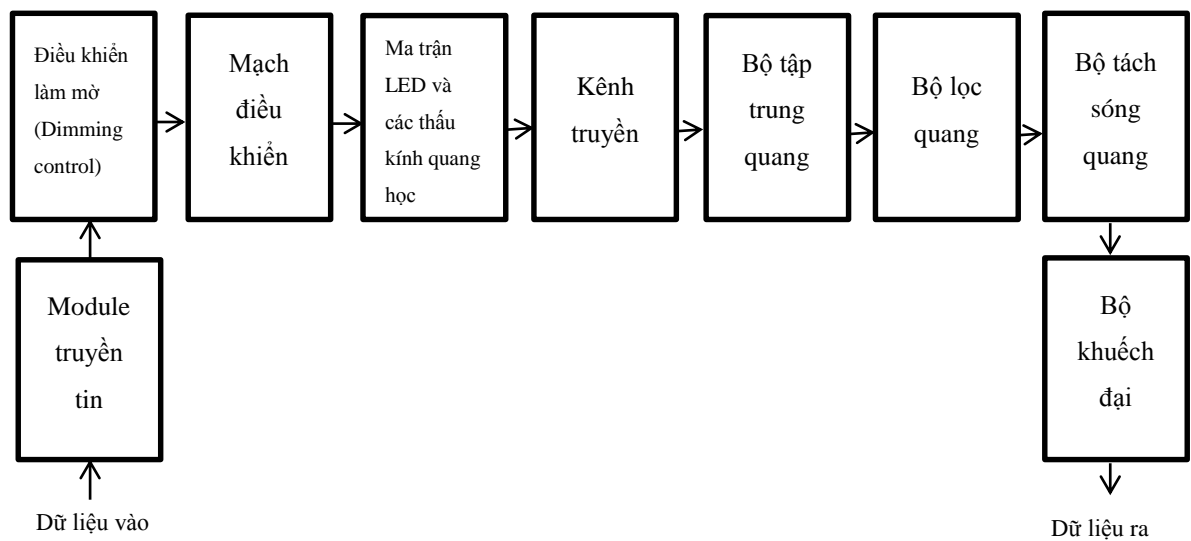
**Bảng 1.2 So sánh các tham số của VLC, IRB và FRB**

<b>Đặc tính</b>	<b>VLC</b>	<b>IRB</b>	<b>RFB</b>
Băng thông	Không bị hạn chế, 400 nm - 700 nm	Không bị hạn chế, 800 - 1600nm	Bị điều chỉnh và bị hạn chế
Nhiều sóng điện từ và mối nguy hiểm	Không	Không	Có
LOS	Có	Có	Không
Khoảng cách	Ngắn	Ngắn tới dài (ngoài trời)	Ngắn tới dài (ngoài trời)
Bảo mật	Tốt	Tốt	Kém
Tiêu chuẩn	Đang phát triển (IEEE 802.15.7)	Phát triển tốt cho trong nhà (IrDa), đang phát triển cho ngoài trời	Đã hoàn thiện
Các dịch vụ	Chiếu sáng và truyền tin	Truyền tin	Truyền tin
Các nguồn nhiễu	Ánh sáng mặt trời và ánh sáng xung quanh khác	Ánh sáng mặt trời và ánh sáng xung quanh khác	Tất cả các thiết bị điện tử và điện
Tiêu thụ công suất	Tương đối thấp	Tương đối thấp	Trung bình
Tính di động	Bị giới hạn	Bị giới hạn	Tốt
Khoảng bao phủ	Hẹp và rộng	Hẹp và rộng	

## 1.2 Cấu trúc hệ thống VLC

### 1.2.1 Mô hình hệ thống

Một hệ thống VLC bao gồm 3 thành phần chính: Hệ thống phát, kênh truyền và hệ thống thu. Hình 1.2 mô tả mô hình của một hệ thống VLC

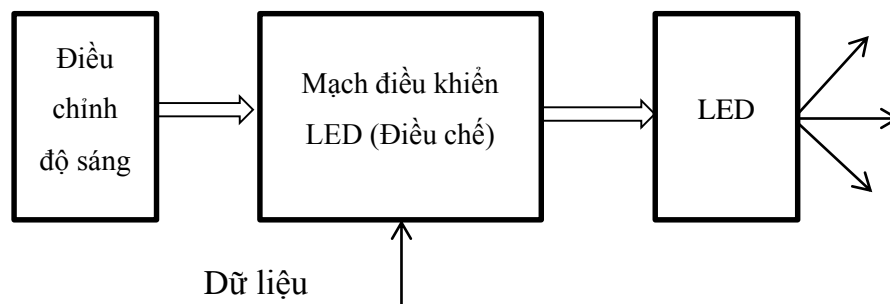


Hình 1.2 Mô hình của một hệ thống VLC

### 1.2.2 Phía phát

#### 1.2.2.1 Cấu trúc phía phát

Các thành phần của phía phát của VLC là thiết bị phát bán dẫn dẫn ánh sáng nhìn thấy, nó có thể là LED hoặc Laser bán dẫn, phụ thuộc vào ứng dụng, mạch điều chỉnh độ sáng (dimming control) và mạch điều khiển LED (điều chế) (hình 1.3).

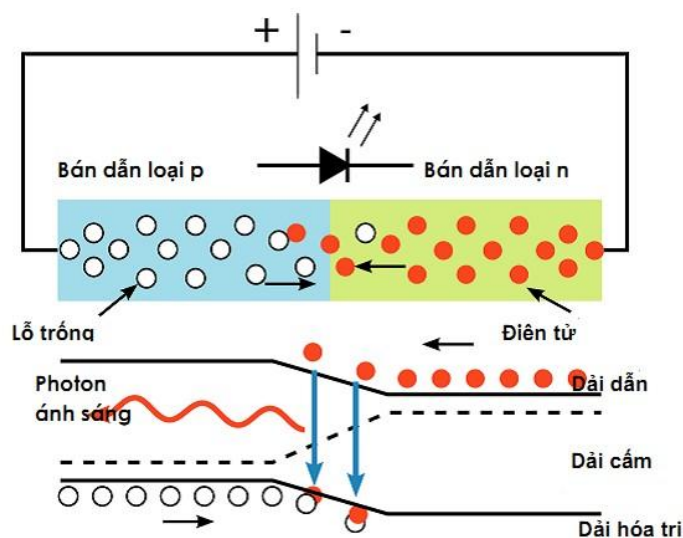


Hình 1.3 Thành phần phía phát của hệ thống VLC

Cả laser và LED đều có thể sử dụng cho truyền dữ liệu, nhưng khi thành phần phát của VLC phải hoạt động đồng thời như máy phát dữ liệu và như một thiết bị chiếu sáng ở cùng một thời điểm thì LED ưu tiên được sử dụng. Trong các phần sau, LED được phân loại và chúng ta sẽ thấy LED ánh sáng trắng được sử dụng cho chiếu sáng và cho truyền dẫn dữ liệu.

#### 1.2.2.2 Hoạt động của LED

Khi phân cực thuận cho LED sẽ có dòng bơm qua LED làm cho các điện tử đang ở vùng hóa trị nhảy lên vùng dẫn. Đây là hiện tượng đảo mật độ do ở điều kiện bình thường, nồng độ điện tử ở vùng hóa trị sẽ rất lớn so với nồng độ điện tử ở vùng dẫn nhưng khi được kích thích, các điện tử nhảy mức năng lượng làm cho nồng độ điện tử ở vùng dẫn lớn hơn so với nồng độ điện tử ở vùng hóa trị. Đồng thời, dưới tác dụng của điện trường phân cực thuận, các điện tử từ lớp N sẽ được khuếch tán sang lớp tích cực và các lỗ trống ở lớp P cũng được khuếch tán sang lớp tích cực. Tại đây, các cặp điện tử và lỗ trống sẽ tái hợp (re-combine) và phát xạ ra photon ánh sáng. Hiện tượng phát xạ ở đây chủ yếu là hiện tượng phát xạ tự phát. Hoạt động của LED mô tả như hình vẽ trên.



**Hình 1.4: Cơ chế hoạt động của LED (nguồn Internet)**

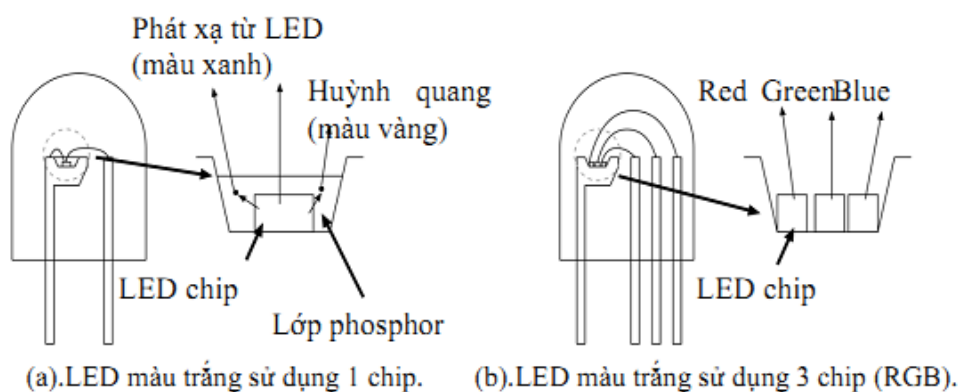
Cơ chế làm mờ chính xác là trở ngại đối với các đèn dây tóc và đèn phóng điện qua khí, nhưng lại thuận lợi với LED cho việc điều chỉnh mức làm mờ (dimming control). Đó là bởi vì đáp ứng thời gian trong suốt hoạt động chuyển mạch tắt mở của LED rất ngắn (chỉ vài chục nano giây). Do đó, bằng cách điều chế dòng điều khiển (driver current) của LED ở một tần số tương đối cao thì có thể chuyển LED ở trạng thái ON và OFF mà không thể nhận biết bởi mắt người. Do đó, ánh sáng phát xạ từ LED ở dạng của một tần số cao lặp lại và một dòng xung công suất trung bình thấp. Dòng bức xạ trung bình phát ra bởi LED tuyến tính với độ rộng tương đối của tín hiệu làm mờ (dimming signal). Phụ thuộc vào các ứng dụng và các yêu cầu an toàn, máy phát có thể là LED hay Laser. Nhưng ở các ứng dụng cả cho chiếu sáng và truyền thông như VLC, người ta ưa chuộng sử dụng LED hơn.

### 1.2.2.3 Phân loại đèn LED

Hệ thống phát sử dụng các đèn LED để truyền tải thông tin với tốc độ lên tới hàng trăm Mb/s. Có rất nhiều loại LED được sử dụng để chế tạo ra ánh sáng trắng bao gồm LED đơn màu phủ phosphor (Phosphor based-LED) hoặc LED RGB (Red- Green-Blue) (hình 1.5). Với LED RGB, mỗi một màu ta có thể sử dụng để truyền một kênh dữ liệu riêng biệt. Loại thứ nhất sử dụng một chip bán dẫn xanh (blue) và sau đó phủ thêm một lớp phosphor bên ngoài hay còn gọi là LED màu trắng đơn chip. Khi dòng điện được cung cấp cho chip LED màu xanh, chip này sẽ phát ra ánh sáng xanh, phosphor sau đó được kích thích bởi màu xanh và sẽ phát ra huỳnh quang màu vàng. Sự kết hợp của hai loại màu này cho ra ánh sáng trắng. Loại thứ hai là LED cấu tạo với ba chip màu riêng biệt R (~625nm), G(~525nm), B(~470nm), (Red Green Blue). Sau đó ba màu này trộn lại với nhau để tạo ra ánh sáng trắng.

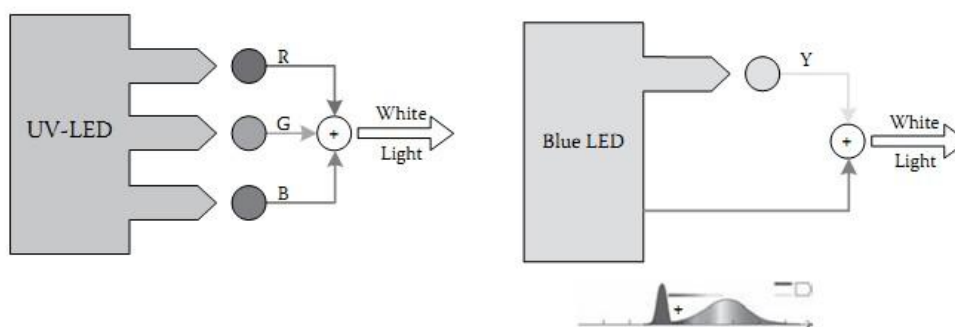
LED đơn chip phủ phosphor có giá thành rẻ hơn, mạch điều khiển ít phức tạp hơn tuy nhiên lại bị hạn chế, thêm nữa, lớp phosphor chỉ phát xạ ánh sáng sau khi chip màu xanh phát xạ, do vậy tốc độ đáp ứng của LED đơn chip thấp hơn so với LED RGB. Như chúng ta thấy ở hình 1.5(a) ta thấy LED đơn chip có hạn chế về băng thông do vậy ta có thể khắc phục bằng cách sử dụng bộ lọc (blue filter) ở phía

thu trước khi ánh sáng được đưa đến photodiode. Còn ở hình 1.5(b), LED RGB có thể cung cấp 3 kênh truyền dẫn riêng, mỗi kênh ứng với một chip LED, thích hợp cho hệ thống WDM, nhưng một vấn đề cần phải đảm bảo sự cân bằng màu sắc của ánh sáng không bị thay đổi khi truyền dẫn VLC.



**Hình 1.5 Phân loại LED (nguồn Internet)**

Do LED được sử dụng vừa chiếu sáng vừa truyền thông nên ta cần phải xác định hai đại lượng đó là cường độ chiếu sáng và công suất quang truyền đi. Cường độ chiếu sáng được dùng để thể hiện độ sáng của một bóng đèn LED còn công suất quang truyền dẫn chỉ ra tổng năng lượng phát xạ từ LED.



**Hình 1.6 Hai cách tạo ra ánh sáng trắng từ LED (nguồn Internet)**

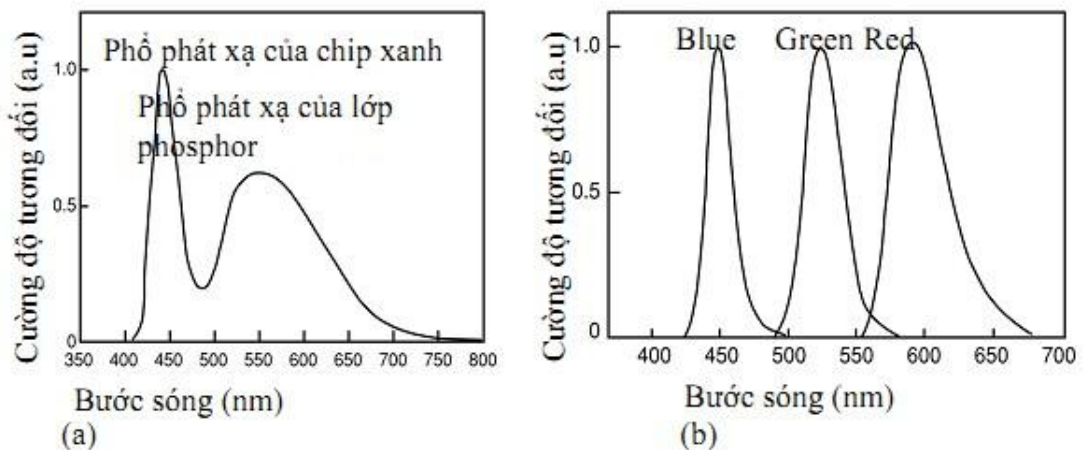
Cường độ chiếu sáng được tính bằng quang thông qua mỗi góc khối theo công thức:

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} \quad (1.1)$$

Trong đó:

- $\Phi$  là quang thông
- $\Omega$  là góc không gian

Cường độ phổ phát xạ tương đối của LED đơn chip và LED RGB được mô tả ở hình 1.7



**Hình 1.7 Cường độ phát xạ của LED: (a) LED đơn chip, (b) LED RGB**

Chú ý Lumen (ký hiệu là lm) là đơn vị SI dùng để đo tổng lượng quang thông bức xạ từ nguồn sáng phát ra. Tuy nhiên quang thông khác với công suất, quang thông phản ánh sự thay đổi độ nhạy ở mắt người đối với các bước sóng khác nhau trong khi đó công suất quang cho ta thấy toàn bộ năng lượng của ánh sáng được bức xạ ra dù cho mắt có cảm nhận được hay không.

### **1.2.3 Kênh truyền**

Trong thông tin liên lạc, kênh truyền là kết nối giữa phía phát và phía thu, được đặc trưng bởi khả năng truyền tín hiệu sóng mang và bị ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố như tạp âm, nhiễu... Trong công nghệ VLC, kênh truyền là phân kết nối giữa đèn LED và Photodetector. Có 2 loại kênh chính trong hệ thống VLC là:

- ❖ VLC đơn kênh liên quan đến một đèn LED và một Photodetector

- ❖ VLC đa kênh trong đó bộ phát được làm từ đèn LED nhiều màu và bộ thu Photodetector được tạo thành từ nhiều máy dò, mỗi máy đều nhạy cảm với một màu từ bộ phát.

### 1.2.3.1 VLC đơn kênh (Hệ thống 1 đầu vào – 1 đầu ra: SISO)

Trong VLC đơn kênh sử dụng một đèn LED và một Photodetector để truyền dẫn. Dung lượng kênh truyền  $C_{\text{SISO}}$  được tính bởi công thức:

$$C_{\text{SISO}} = \log_2 \left( 1 + \frac{g^2 P_t}{\sigma^2 B} \right) \quad (1.2)$$

Trong đó:  $P_t$  là công suất của máy phát

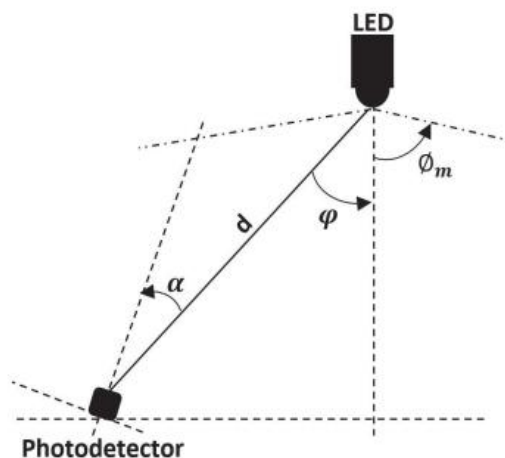
$B$  là băng thông kênh truyền

$\sigma^2$  là phương sai tổng tạp âm trong mô hình AWGN

$g$  là độ lợi kênh

Kênh truyền quang của hệ thống bao gồm 2 loại: ánh sáng tầm nhìn thẳng (LOS – Line of sight) trực tiếp hoặc không trực tiếp và ánh sáng không nhìn thẳng (NLOS – Non line of sight) tương ứng với các đường từ nguồn sáng đến phía thu và các thành phần được tạo ra bởi các phản xạ của tường hay của các thiết bị khác...

#### ❖ Mô hình LOS



**Hình 1.8 Mô hình kênh truyền LOS. (nguồn Internet)**



Trong mô hình LOS, có một liên kết thẳng giữa LED và Photodetector mà không gặp trở ngại nào. Sự khác biệt giữa LOS trực tiếp và LOS không trực tiếp là với LOS trực tiếp thì LED tạo với Photodetector 1 góc  $0^\circ$  ( $\varphi = 0$ ) còn với LOS không trực tiếp thì LED và Photodetector tạo với nhau 1 góc khác  $0^\circ$  ( $\varphi \neq 0$ )

#### ❖ Mô hình NLOS

Trong mô hình NLOS các tia sáng từ đèn LED chiếu tới Photodetector sau một hoặc nhiều lần phản xạ, điều này do trở ngại giữa phía phát và phía thu. Trong một liên kết NLOS điển hình, đáp ứng xung của kênh được xem như một tổng số tia sáng vô hạn sau nhiều lần phản xạ, và được thể hiện bằng:

$$H_{\text{NLOS}} = \sum_{k=0}^{\infty} h^{(k)} \quad (1.3)$$

Trong đó:  $h^{(k)}$  là đáp ứng xung của các tia trải qua  $k$  đường truyền.

#### 1.2.3.2 VLC đa kênh

Trong hệ thống kênh truyền VLC đa kênh sử dụng nhiều hơn một LED màu để đưa tín hiệu tin nhắn đến kênh. Trong trường hợp này chúng ta có hữu hạn  $n * z$  đèn LED và Photodetectors được sử dụng như ăng ten và máy dò tương ứng.

Ma trận chuyển giao trong hệ thống VLC đa kênh được biểu diễn:

$$H_{\text{multi}} = \begin{bmatrix} h_{1,1} & h_{1,2} & \dots & h_{1,n} \\ h_{2,1} & h_{2,2} & \dots & h_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ h_{z,1} & h_{z,2} & \dots & h_{z,n} \end{bmatrix}$$

Dung lượng kênh truyền  $C_{\text{multi}}$  trong hệ thống VLC đa kênh được biểu diễn bằng:

$$C_{\text{multi}} = \Gamma C_{\text{SISO}} \quad (1.4)$$

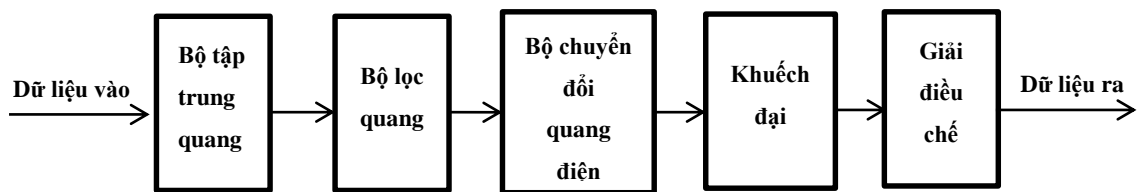
Trong đó:  $\Gamma = \min(n, z)$  và  $C_{\text{SISO}}$  là dung lượng kênh truyền hệ thống VLC đơn kênh

RGB-LEDs là mô hình đèn LED đa bước sóng được sử dụng nhiều nhất, ma trận chuyển kênh  $H_{3 \times 3}$  trong trường hợp này là một bộ phát RGB-LED được biểu diễn:

$$H_{3 \times 3} = \begin{bmatrix} h_{rr} & h_{rg} & h_{rb} \\ h_{gr} & h_{gg} & h_{gb} \\ h_{br} & h_{bg} & h_{bb} \end{bmatrix}$$

### 1.2.4 Phía thu

Thành phần chính trong phía thu của hệ thống VLC là bộ tách sóng quang (Photodetector). Như trong hình 1.9 ta thấy phía thu của hệ thống còn có thêm các thành phần: Bộ tập trung quang (Concentrator), bộ lọc quang (Optical Filter), mạch khuếch đại (Amplifier) và bộ giải điều chế.

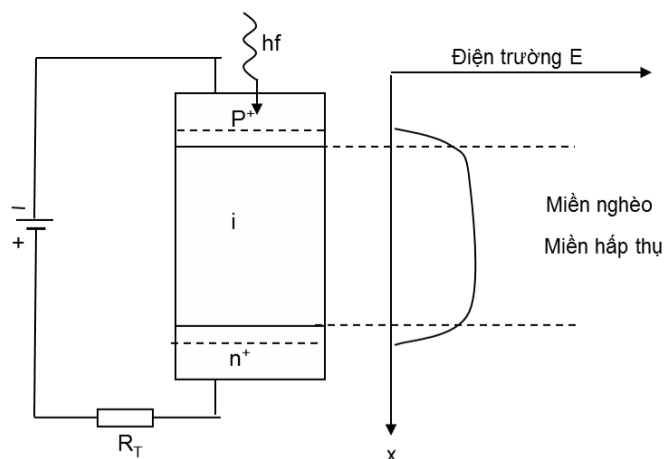


Hình 1.9 Thành phần thu hệ thống VLC

#### 1.2.4.1 Bộ tách sóng quang

Có 2 loại bộ tách sóng quang được sử dụng chính trong hệ thống thu VLC là Photo-diode và Phototransistor. Ở trong tiểu luận này chúng ta nghiên cứu về Photo-diode

Có 2 loại Photo-diode thường được sử dụng là Diode tách quang PIN (hình 1.10) và Diode tách quang thác APD (hình 1.11)



Hình 1.10 Cấu trúc Diode PIN (nguồn Internet)

Để có thể hoạt động được với các bước sóng dài mà tại đó ánh sáng thâm nhập sâu hơn vào vật liệu bán dẫn thì miền nghèo rộng là rất cần thiết. Muốn vậy vật liệu loại n được pha trộn ít và được xem như bán dẫn thuần (i). Loại bán dẫn pha trộn cao để tạo ra điện trở tiếp xúc thấp ( $n^+$  và  $p^+$ ). Diode PIN được định thiên nghịch. Ánh sáng đi vào từ phía p, mỗi photon ánh sáng có năng lượng hf lớn hơn hoặc bằng năng lượng dải cấm  $E_g$  của bán dẫn và kích thích điện tử từ dải hóa trị vượt qua dải cấm đi tới dải dẫn. Quá trình này để lại trong dải hóa trị một lỗ trống do đó hình thành các cặp điện tử-lỗ trống. Trong lớp nghèo, dưới tác động của điện trường ngoài, các cặp điện tử-lỗ trống này được tách ra, điện tử trôi về phía n và các lỗ trống trôi về phía p. Chúng đi ra mạch ngoài tạo thành dòng điện và được gọi là dòng tách quang  $I_p$

$$I_p = \frac{P_0 e (1-r)}{hf} [1 - \exp - \alpha_0 d] \quad (1.5)$$

Trong đó: e là điện tích của điện tử

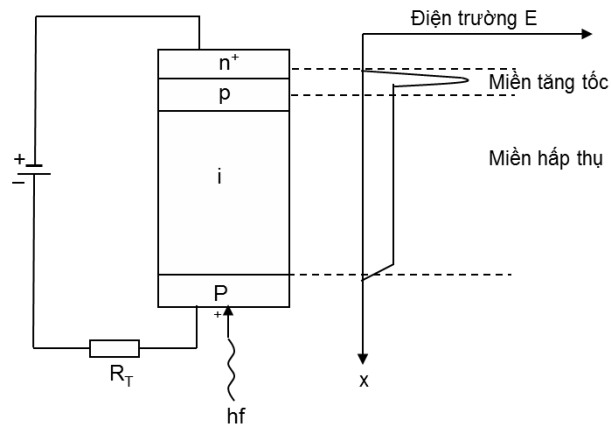
r là hệ số phản xạ Fresnel tại tiếp giáp bán dẫn – không khí.

d là độ rộng của miền hấp thụ

$P_0$  là công suất của ánh sáng tới.

Diode tách quang thác APD có nguyên tắc hoạt động tương tự nhưng các cặp điện tử-lỗ trống sẽ được qua một miền điện trường và được gia tốc, va đập mạnh vào các nguyên tử của bán dẫn và tạo ra các cặp điện tử-lỗ trống thứ cấp thông qua quá trình ion hóa do va chạm. Các hạt tải điện thứ cấp qua miền điện trường lại tiếp tục được gia tốc và tạo ra các cặp điện tử-lỗ trống mới gây ra hiệu ứng thác (hiệu ứng nhân).

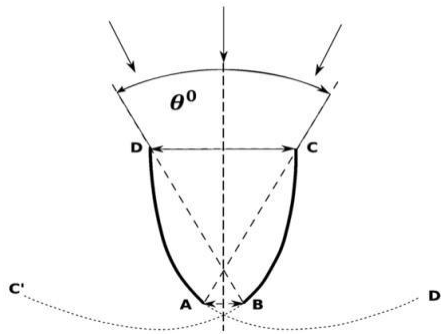
Trong VLC thường sử dụng Diode Pin và APD silicon với độ nhạy quang từ 190nm đến 1000nm, phù hợp với khoảng bước sóng của VLC.



**Hình 1.11 Cấu trúc Diode thác APDs. (nguồn Internet)**

#### 1.2.4.2 Bộ tập trung quang

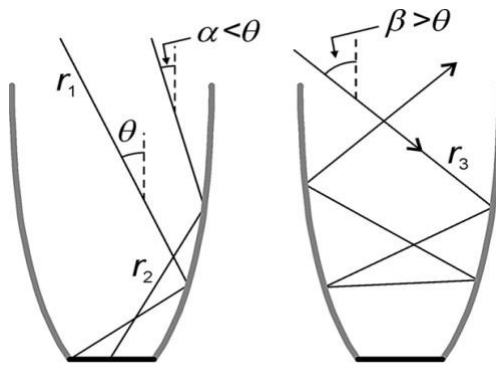
Tác dụng của bộ tập trung quang là tập trung ánh sáng vào máy thu. Bộ tập trung quang thường được sử dụng trong VLC là bộ tập trung quang CPC (Compound Parabolic Concentrator).



**Hình 1.12 Bộ tập trung quang CPC (nguồn Internet)**

Cấu tạo của bộ tập trung quang CPC như hình 1.12, gồm có hai gương parabol (AD và BC).

Góc  $\theta$  là góc chấp nhận, nếu tia sáng tới có góc tới nhỏ hơn  $\theta$ , nó sẽ được phản xạ tới AB, nếu góc tới lớn hơn  $\theta$ , tia sáng sẽ bị phản xạ ra ngoài.



**Hình 1.13 Quá trình phản xạ tại CPC (nguồn Internet)**

Xét một ví dụ với ba tia sáng tới bộ tập trung CPC là  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$  như mô tả ở hình 1.13

Tia  $r_1$ ,  $r_2$  có góc tới  $\alpha < \theta$  sẽ được phản xạ tới AB, tia  $r_3$  có góc tới  $\beta > \theta$  sẽ bị phản xạ ra ngoài. Đối với bộ tập trung quang CPC 3 chiều, tỉ số tập trung tối đa  $C$  được tính theo công thức:

$$C = \frac{1}{\sin^2 \theta} \quad (1.6)$$

Bộ tập trung quang được sử dụng để bù đắp cho sự suy giảm trong không gian lớn vì chùm sáng phân kỳ từ các LED chiếu tới diện tích lớn.

#### 1.2.4.3 Bộ lọc quang

Dùng để loại bỏ các ánh sáng từ nguồn bên ngoài (ánh sáng mặt trời, ánh sáng đèn) cũng như ánh sáng khác gây nhiễu. Ngoài ra, tín hiệu sẽ được qua các bộ khuếch đại trước khi được giải điều chế.

Hệ thống VLC nhạy cảm với ánh sáng mặt trời và các nguồn chiếu sáng khác, vì thế bộ lọc quang là rất quan trọng trong việc nhận tín hiệu ở một dải bước sóng nào đấy và loại bỏ các thành phần nhiễu không mong muốn.

### 1.3 Ứng dụng của VLC trong cuộc sống

#### 1.3.1 Ứng dụng trong cuộc sống thông minh

VLC có nhiều ứng dụng trong cuộc sống như: truyền thông tốc độ cao và giải trí trong nhà thông minh, văn phòng thông minh, giải trí trên xe hơi, truyền

thông phương tiện thông minh (vehicle to vehicle) truy nhập thông tin thành phố thông minh, mua sắm trực tuyến thông minh.

❖ Hàng không

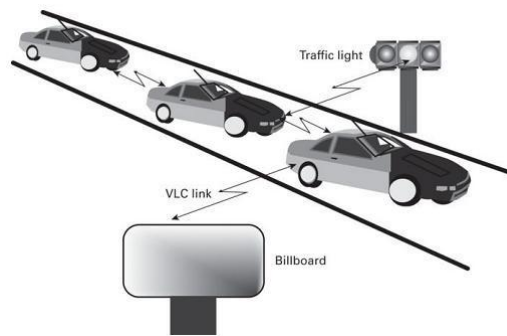
Các hành khách không được sử dụng sóng vô tuyến ở trong máy bay. Các ánh sáng dựa trên LED được sử dụng ở trong khoang của máy bay và mỗi ánh sáng này có thể là máy phát tiềm năng của VLC để cung cấp cả việc chiếu sáng và các dịch vụ đa phương tiện cho hành khách. Thêm vào đó, nó giảm giá thành và trọng lượng.



**Hình 1.14 Khả năng ứng dụng VLC ở trong khoang máy bay (nguồn Internet)**

❖ Giao thông thông minh

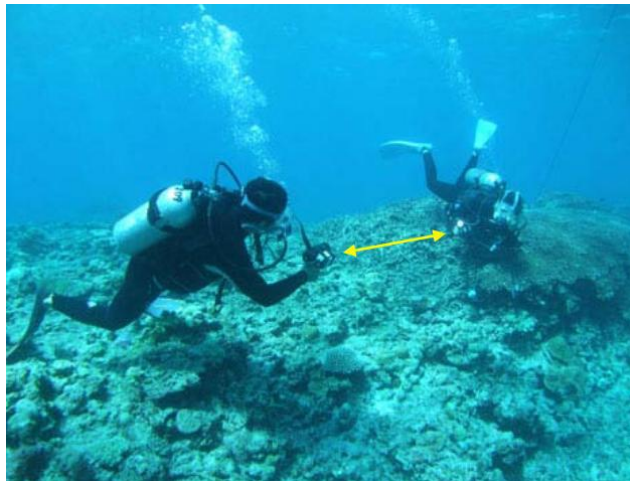
Trong hệ thống giao thông thông minh, công nghệ VLC được đề xuất như là một phương tiện cung cấp việc truyền tin giữa các phương tiện và thiết lập kết nối giữa các phương tiện với hệ thống hạ tầng giao thông như là đèn tín hiệu giao thông và bảng báo hiệu. Hệ thống này cung cấp các kết nối không dây ở khoảng cách từ ngắn đến trung bình một chiều hay hai chiều. Hệ thống này sử dụng đèn pha và đèn sau của các ô tô như là máy phát, và camera và bộ thu như là máy thu. Các đèn giao thông là một phần của máy phát ở trong phạm vi này.



**Hình 1.15 Hệ thống giao thông thông minh sử dụng VLC (nguồn Internet)**

❖ Truyền thông dưới nước

VLC có thể hỗ trợ đường truyền tốc độ dữ liệu cao dưới nước, nơi mà các công nghệ sóng vô tuyến không thể hoạt động. Do đó, truyền thông giữa các thợ lặn và các phương tiện là có thể.



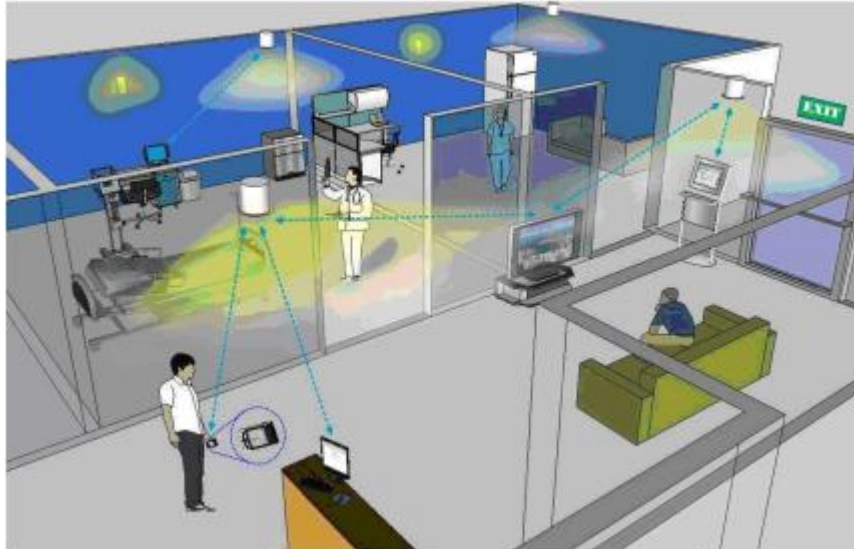
**Hình 1.16 VLC trong truyền thông dưới nước (nguồn Internet)**

❖ Các môi trường đặc thù

Ở trong các bệnh viện, có nhiều thiết bị có xu hướng gây can nhiễu với các sóng vô tuyến, vì vậy sử dụng VLC có nhiều lợi ích trong lĩnh vực này.

Mặt khác, công nghệ này giúp cho các bác sĩ truy cập và cập nhật dữ liệu của bệnh nhân sử dụng các máy tính bảng ở bên cạnh bệnh nhân thay vì sử dụng văn bản giấy tờ ở bên cạnh bệnh nhân hoặc ở văn phòng. Ứng dụng khác là một thiết bị được sử dụng để theo dõi tình trạng của bệnh nhân và các dữ liệu cần thiết từ xa.

Hoặc trong các môi trường làm việc nhạy cảm với sóng vô tuyến như hầm mỏ, dầu khí... việc truyền thông trở nên khó khăn, VLC có thể là một công nghệ an toàn và cung cấp chiếu sáng và truyền thông ở cùng một thời điểm.



**Hình 1.17 Ứng dụng VLC trong bệnh viện (nguồn Internet)**

❖ Định vị và dẫn đường

Định vị và dẫn đường là bài toán phổ biến trên các ứng dụng của thiết bị di động và robot. Ví dụ trong siêu thị sử dụng công nghệ chiếu sáng kết hợp với công nghệ VLC sẽ giúp người tiêu dùng có thể dễ dàng kết hợp với internet, hơn thế nữa họ còn có thể định vị để tìm được những mặt hàng nào mình đang cần tìm.



**Hình 1.18 Ứng dụng VLC trong định vị (nguồn Internet)**

### ***1.3.2 Ứng dụng trong nhà xưởng thông minh và IoT***



VLC được ứng dụng để xây dựng các nhà xưởng thông minh thông qua các việc: kết nối các thành phần thiết bị trong hệ thống IoT, thực thi truyền tin mệnh lệnh giữa các bộ phận quản lý với bộ phận nhân lực sản xuất trong xưởng, thực hiện giám sát lao động, chấm công lao động, giám sát quy trình sản xuất, giám sát chất lượng sản phẩm thông qua kết nối IoT và truyền thông tốc độ kết nối cao sử dụng hạ tầng kỹ thuật VLC

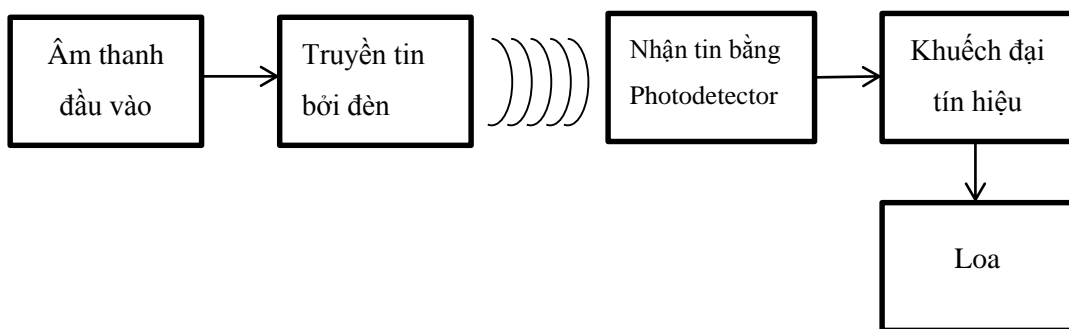
#### **1.4 Kết luận chương**

Chương 1 đã trình bày khái quát về hệ thống truyền thông bằng ánh sáng nhìn thấy với các đặc điểm quan trọng, các thành phần cụ thể và ứng dụng của công nghệ này. Đồng thời chương đầu cũng đã phân tích và giải thích động lực triển khai hệ thống VLC và đưa ra lý do nghiên cứu ứng dụng của VLC trong truyền thông tin.

## CHƯƠNG 2: MÔ HÌNH VÀ ĐẶC TÍNH HỆ THỐNG TRUYỀN ÂM THANH ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ VLC

### 2.1 Giới thiệu mô hình hệ thống

Xây dựng một mô hình truyền âm thanh sử dụng công nghệ VLC. Với nguồn thông tin âm thanh đầu vào, qua phía phát sử dụng đèn led phát truyền ánh sáng đến phía thu. Phía thu thu nhận ánh sáng, khuếch đại tín hiệu và cho kết quả đến thiết bị đầu ra. Hình 2.1 là sơ đồ khối của mô hình truyền âm thanh.



**Hình 2.1 Mô hình hệ thống truyền âm thanh sử dụng công nghệ VLC**

Một hệ thống VLC có thể dễ dàng thực hiện bằng cách điều chỉnh độ sáng tối của đèn LED. Việc điều chỉnh chính xác độ sáng tối với bóng đèn truyền thống là rất khó thực hiện. Trong khi đèn LED rất dễ dàng thực hiện vì thời gian chuyển mạch On-Off rất nhỏ. Vì vậy bằng việc điều chế dòng điện qua đèn LED ở tần số cao, chúng ta có thể thay đổi trạng thái On-Off của đèn LED mà không làm thay đổi cường độ của ánh sáng.

Với các đèn LED sử dụng cả mục đích chiếu sáng và truyền thông thì các tín hiệu điều khiển độ sáng và tín hiệu truyền thông phải độc lập, không gây nhiễu lên nhau. Phương pháp điều chỉnh độ rộng xung là tối ưu cho việc điều chỉnh độ sáng và truyền thông.

### 2.2 Kịch bản mô hình

Mô hình được thực hiện trong không gian trong nhà, với điều kiện ánh sáng phòng bình thường. Tín hiệu đầu vào âm thanh có thể phát từ điện thoại hoặc máy tính...truyền âm thanh đến bộ phát qua jack 3.5. Phía phát sử dụng vi điều khiển

Arduino nhận thông tin mã hóa rồi phát đi bằng ánh sáng đèn led trắng. Phía thu là một photodiode, sau khi nhận được ánh sáng từ phía phát giải mã rồi phát ra loa. Độ chính xác của việc truyền nhận thông tin phụ thuộc vào khoảng cách giữa bên phát và bên thu. Trong phạm vi luận văn mô hình em thực hiện có khả năng truyền tin với khoảng cách từ 10 đến 80 cm.

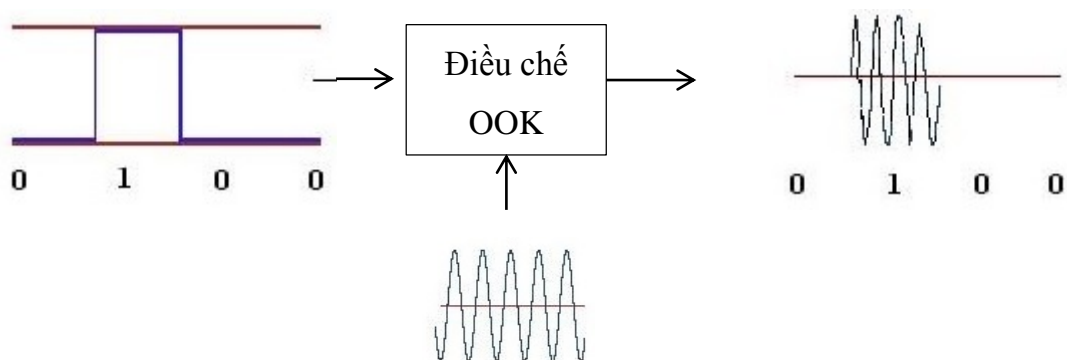
## 2.3 Đặc tính các thành phần trong hệ thống

### 2.3.1 Các kỹ thuật điều chế

#### 2.3.1.1 Phương pháp điều chế khóa bật tắt ON/OFF keying (OOK)

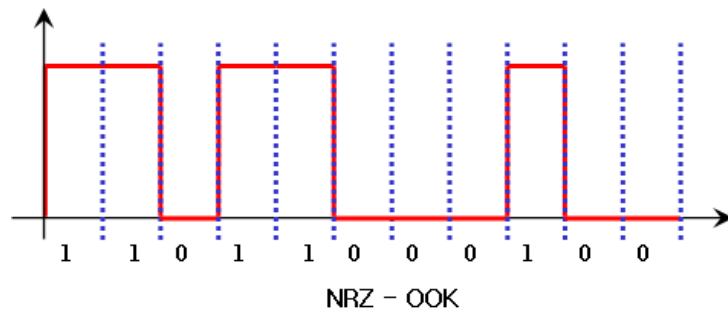
Phương pháp điều chế khóa bật tắt OOK là một phương pháp điều chế rất phổ biến trong các hệ thống truyền dẫn không dây sử dụng tia hồng ngoại. Phương pháp này còn được gọi là mã hóa non-return-to-zero ON/OFF Keying (NRZ-OOK). Kỹ thuật điều chế OOK là hình thức đơn giản nhất của điều chế khóa dịch chuyển biên độ ASK. ASK là kỹ thuật điều chế phổ biến được sử dụng trong giao tiếp dữ liệu số cho một số lượng lớn các ứng dụng RF tần số thấp. Nguồn truyền một sóng mang biên độ lớn khi nó gửi giá trị “1” và gửi một sóng mang biên độ nhỏ khi gửi giá trị “0”. Trong đó nguồn gửi của kỹ thuật OOK không có sóng mang khi gửi giá trị “0”.

Giá trị logic “0” tương ứng với mức thấp và giá trị logic “1” tương ứng với mức cao. Với hệ thống VLC thì với đèn LED phát tắt để truyền số “0” và bật để truyền số “1”.



**Hình 2.2 Kỹ thuật điều chế OOK**

Máy phát OOK phát ra một xung vuông có độ rộng  $1 / R_b$  và có cường độ  $2P$  (peak power – công suất đỉnh) biểu thị bit 1 và không có xung để biểu diễn bit 0. Băng thông yêu cầu bởi OOK là gần  $R_b$ .



**Hình 2.3 Điều chế NRZ-OOK**

Tín hiệu có thể được biểu diễn bằng hàm cơ sở  $\phi_{OOK}(t)$  được cho bởi biểu thức:

$$\phi_{OOK}(t) = \frac{1}{\sqrt{T}} \text{rect}\left(\frac{t}{T}\right) \quad (2.1)$$

Trong đó:

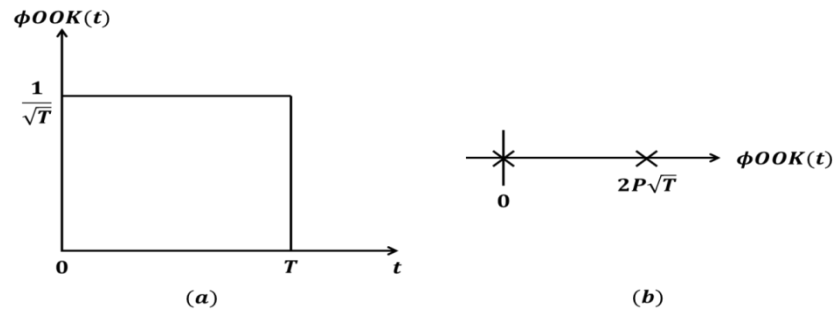
$T$  là chu kỳ kí hiệu và  $\text{rect}(t)$  được cho bởi công thức:

$$\text{rect}(t) = \begin{cases} 1 & \text{với } 0 \leq t \leq 1 \\ 0 & \text{với } t \neq \end{cases}$$

Sử dụng hàm cơ sở này ta có biểu thức cường độ ánh sáng theo miền thời gian được gửi qua kênh truyền theo biểu thức:

$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} 2P\sqrt{T}A[k]\phi_{OOK}(t - kT) \quad (2.2)$$

Với  $A[k] \in \{0,1\}$  và được chọn thống nhất, biên độ trung bình của  $x(t)$  được đặt tại  $P$  do phân bố của các ký tự. Không gian tín hiệu của NRZ-OOK bao gồm hai điểm và được mô tả như trong hình 2.4



**Hình 2.4 Hàm cơ sở (a) và không gian tín hiệu NRZ-OOK (b)**

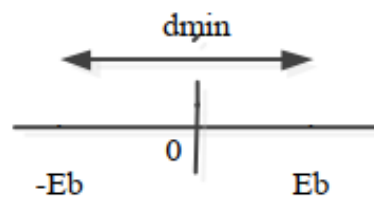
BER được cho trước trong điều kiện khoảng cách nhỏ nhất. Với loại máy thu này, máy thu chọn một tín hiệu từ tập tín hiệu đã biết xem cái nào gần nhất với tín hiệu nhận. Bởi vì máy thu quan sát các tín hiệu có thể gần nhất với tín hiệu nhận được. Do đó nó có thể ít tạo ra lỗi nhều. Một phép đo quan trọng của việc chống nhiễu của một tập tín hiệu cho trước là khoảng cách nhỏ nhất giữa các tín hiệu:

$$d_{min} = \min_{i \neq j} \|x_i - x_j\| \quad (2.3)$$

$$d_{min} = \min \int_{i \neq j} [x_i(t) - x_j(t)]^2 dt \quad (2.4)$$

Trong đó:  $d_{min}$  là khoảng cách nhỏ nhất Euclidean

Hình 2.5 biểu diễn hình học của khoảng cách Euclidean nhỏ nhất giữa hai tín hiệu.



**Hình 2.5 Biểu diễn khoảng cách nhỏ nhất**

Với trường hợp OOK, khoảng cách nhỏ nhất về mặt năng lượng trên bit được biểu diễn:

$$d_{OOK}^2 = 2E_b \quad (2.5)$$

Trong đó  $E_b$  là khoảng cách năng lượng trên bit. BER được cho trước về mặt khoảng cách là:

$$BER = Q\left(\frac{d_{min}}{\sqrt{2N_0}}\right) \quad (2.6)$$

Và BER của hệ thống OOK là:

$$BER_{OOK} = Q\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}}\right) = Q\left(\sqrt{\frac{2R^2 P_s^2 T_b}{N_0}}\right) \quad (2.7)$$

Trong đó:  $R$  là đáp ứng của bộ tách sóng quang,  $P_s$  là công suất quang trung bình,  $T_b$  là khoảng bit. Như vậy, về mặt lỗi bù (error function) nó được đưa ra như sau:

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2x}} \left[ \frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt \right] \quad (2.8)$$

Công suất yêu cầu bởi OOK để đạt được một BER cho trước là:

$$P_{OOK} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{N_0 R_b}{2}} Q^{-1}(BER) \quad (2.9)$$

Với bất kỳ cơ chế điều chế khác, để đạt được cùng xác suất lỗi, công suất được yêu cầu gần đúng là:

$$P_{OOK} = \left(\frac{d_{OOK}}{d_{min}}\right) P_{OOK} \quad (2.10)$$

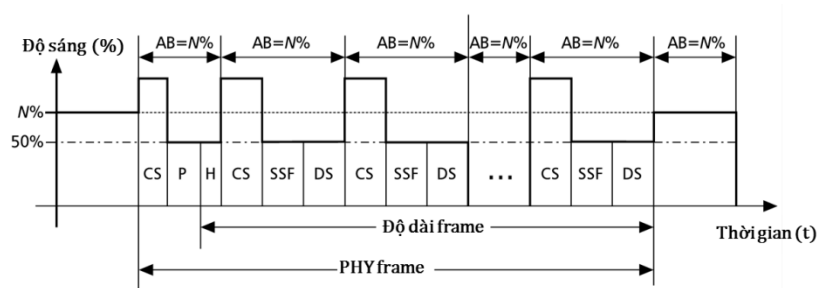
Phương pháp điều chế này có nhược điểm đó là gây ra hiện tượng nhấp nháy do nguyên tắc bật tắt nguồn sáng theo các bit 0,1. Để khắc phục hiện tượng này, tín hiệu sẽ được mã hóa với mã Manchester trước khi đưa vào điều chế, với mã hóa Manchester bit 0 được ký hiệu bằng 01, bit 1 được ký hiệu bằng 10, do đó sẽ tạo ra được bộ mã cân bằng số lượng các bit 0 và 1, tránh hiện tượng nhấp nháy. Việc điều chỉnh độ sáng trong NRZ-OOK có thể được thực hiện theo hai cách:

- ❖ Thay đổi mức độ bật, tắt đối với các ký tự (nghĩa là không cần phải tắt hẳn hoàn toàn nguồn sáng, mà chỉ cần mức độ đủ nhỏ để có thể phân định rõ ràng giữa hai mức).
- ❖ Hoặc các mức này vẫn giữ nguyên và thay đổi thời gian mức cao (Duty-Cycle) (tức thời gian tín hiệu ở mức cao/ chu kỳ) bằng cách chèn thêm các ký hiệu dư thừa (Compensation Symbols- CS) vào để điều chỉnh tăng giảm độ sáng. Ví dụ: độ sáng của dữ liệu là A% với chu kỳ T<sub>1</sub> và các ký hiệu dư thừa có độ sáng B% với chu kỳ T<sub>2</sub>, độ sáng trung bình N% sẽ được tính theo công thức:

$$N = \frac{AT_1 + BT_2}{T_1 + T_2} \quad (2.11)$$

Hai phương pháp trên đều có những ưu khuyết điểm riêng, đối với phương pháp thứ nhất, khi ta đặt lại hai mức bật/ tắt sẽ giữ nguyên tốc độ bit nhưng có thể gây ra hiện tượng thay đổi màu sắc do phải tác động đến quá trình điều khiển LED. Đối với cách thứ hai thì hai mức độ sẽ được giữ nguyên, nhưng sẽ làm chậm tốc độ bit do ta đã chèn thêm các bit phụ không mang tin.

Hình 2.6 ví dụ về việc sử dụng các ký hiệu dư thừa để làm tăng độ sáng, do sử dụng mã Manchester để mã hóa nên thời gian mức cao luôn đạt ½ (tỉ lệ bit 0 và 1 như nhau), nói cách khác mức độ sáng là 50%, ta có thể chèn thêm các ký hiệu dư thừa vào để tăng thời gian sáng mức cao (tăng bit 1) khiến cho mức sáng trung bình cao hơn 50%.



**Hình 2.6 Tăng độ sáng bằng cách chèn thêm các ký hiệu dư thừa CS**

### 2.3.1.2 Phương pháp điều chế vị trí xung biến đổi

Phương pháp điều chế vị trí xung biến đổi (Variable Pulse Position Modulation- VPM) là phương pháp điều chế mới hơn, phương pháp này cung cấp 3 chức năng của VLC là: Không gây nhấp nháy, có thể điều chỉnh độ sáng và cung cấp một độ sáng đầy đủ. VPM là sự kết hợp của hai phương pháp điều chế là: Điều chế vị trí xung (2 Pulse Position Modulation- 2PPM) cung cấp chức năng không gây nhấp nháy và điều chế độ rộng xung (Pulse Width Modulation- PWM) cũng cấp chức năng điều khiển độ sáng.

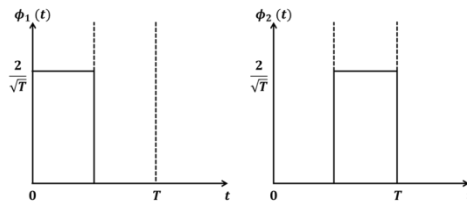
Trong phương pháp điều chế 2-PPM, mỗi chu kỳ ký hiệu sẽ được chia thành M chu kỳ con. Thông tin sẽ được gửi bằng cách truyền một cường độ quang khác không trong một chu kỳ con, trong khi các chu kỳ con còn lại vẫn giữ nguyên. Mỗi chu kỳ con sẽ không trùng lặp về thời gian, do đó mỗi ký hiệu là trực giao với nhau. Ví dụ ta có không gian tín hiệu  $M=N$ , M-PPM ký hiệu có thể được xem như một khối mã OOK với chu kỳ là MT trong đó cường độ ra bằng không ngoại trừ trong chu kỳ T.

Hàm cơ sở của M-PPM được đưa ra trong công thức:

$$\phi_m(t) = \sqrt{\frac{M}{T}} \text{rect}\left(\frac{t - \left(\frac{T}{M}\right)(m-1)}{\frac{T}{M}}\right) \quad (2.12)$$

Trong đó:  $m \in M$  và T là chu kỳ con.

Không gian tín hiệu của M-PPM là không gian Euclid M chiều với một điểm tín hiệu trên mỗi trục M.



**Hình 2.7 Hàm cơ sở của 2-PPM**

Cường độ sáng gửi qua kênh truyền được tính theo biểu thức:



$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} MP \sqrt{\frac{T}{M}} \phi_{A[k]}(t - kT) \quad (2.13)$$

Trong đó  $A[k]$  sẽ chọn ký hiệu xuất hiện trong  $M$ . các xung sẽ không âm trong toàn bộ thời gian do cấu tạo của chúng.

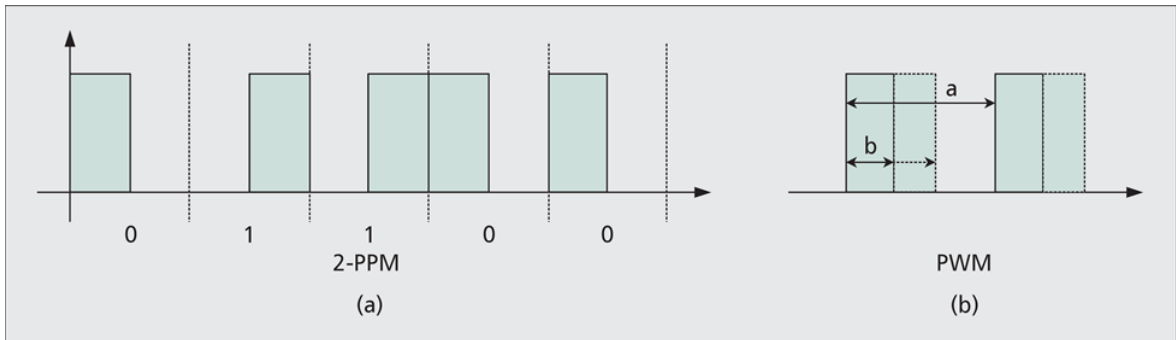
Công suất quang trung bình của mỗi chu kỳ không đổi bằng  $P$  với công suất đỉnh của mỗi chu kỳ là  $MP$ . Bởi các điểm trong không gian tín hiệu trực giao và cách đều với nhau nên xác suất lỗi ký hiệu được tính theo công thức:

$$P_{e(\text{ký hiệu})} \approx (M - 1) \cdot Q \left( P \sqrt{\frac{M}{2R_s \sigma^2}} \right) \quad (2.14)$$

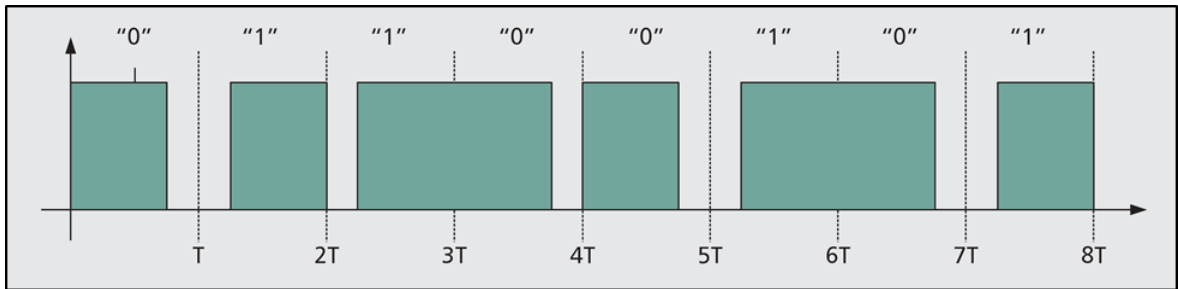
Trong đó:  $R_s = 1/T$  là tốc độ ký hiệu. Do các điểm trong không gian tín hiệu trực giao với nhau, xác suất lỗi ký hiệu có thể chuyển thành xác suất lỗi bit bằng cách lũy thừa với  $\frac{M}{2}/(M - 1)$ . Như vậy, xác suất lỗi bit được tính theo công thức:

$$P_e \approx \frac{M}{2} \cdot Q \left( P \sqrt{\frac{M \log_2 M}{2R \sigma^2}} \right) \quad (2.15)$$

Với tốc độ bit:  $R = R_s \log_2 M$



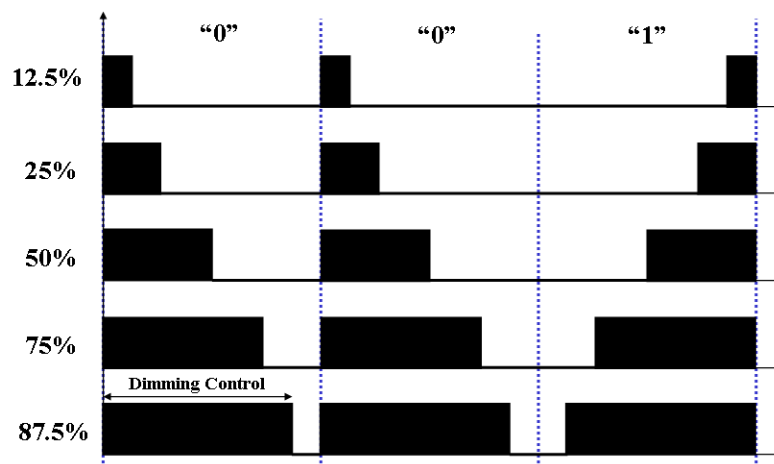
**Hình 2.8 Mô hình VPM cấu tạo từ 2-PPM với độ sáng 50%(a) và PWM để điều chỉnh độ sáng (b)**



**Hình 2.9 Dạng sóng của tín hiệu VPM với độ rộng xung 75%**

Trong VPM sử dụng PPM với  $M=2$  với mục đích tránh hiện tượng nhấp nháy và PWM để điều chỉnh độ sáng và có thể cung cấp độ sáng tối đa. Từ biến đổi (Variable) trong VPM có nghĩa là sự thay đổi thời gian mức cao (độ rộng xung) tùy theo mức độ ánh sáng cần thiết. Bit 0 và 1 trong VPM, được thể hiện bằng vị trí xung và có độ rộng xung giống nhau. Do trong VPM, độ sáng trung bình giữa bit 0 và 1 là không thay đổi nên tránh được hiện tượng nhấp nháy.

Trong hình 2.8b, độ rộng xung có thể được điều chỉnh để cung cấp độ sáng theo yêu cầu. Hình 2.9 mô tả dạng sóng của VPM có thể đạt được 75% độ sáng với bit 0 và 1 có độ rộng xung là 75%.

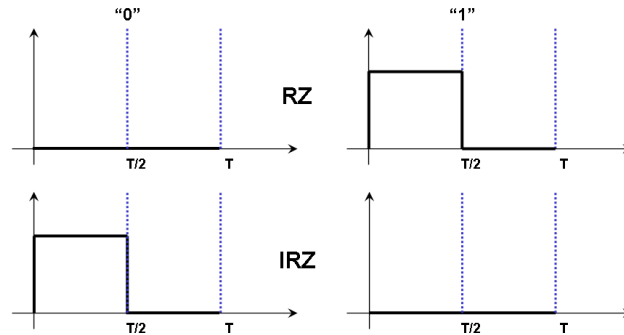


**Hình 2.10 Điều chỉnh sáng tối trong điều chế VPM**

### 2.3.1.3 Phương pháp điều chế R-RZ (Reverse- RZ)

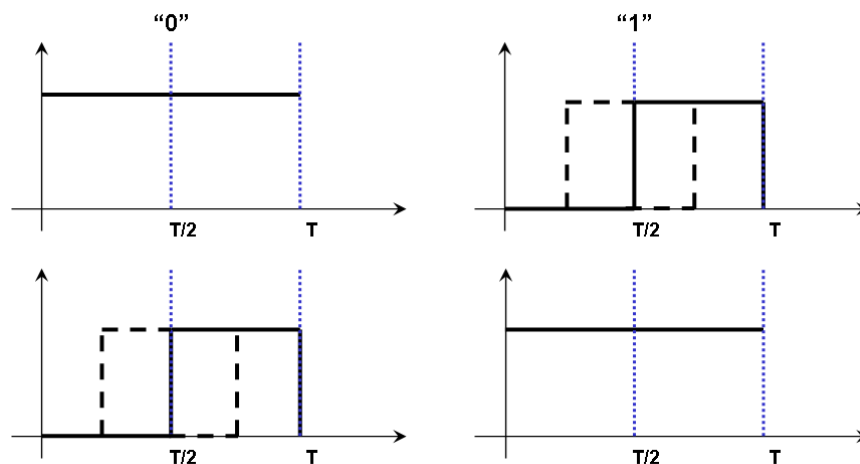
Phương pháp điều chế R-RZ cung cấp khả năng điều chỉnh độ sáng nhưng lại vẫn gây ra hiện tượng nhấp nháy. R-RZ là phương pháp điều chế kết hợp từ hai phương pháp là RZ (Return to Zero) và IRZ (Inverse Return to Zero). RZ định

nghĩa cả chu kì bit 0 là mức thấp, bit 1 nửa chu kì đầu là mức cao còn nửa chu kì sau là mức thấp. Còn với IRZ thì ngược lại với phương pháp RZ.



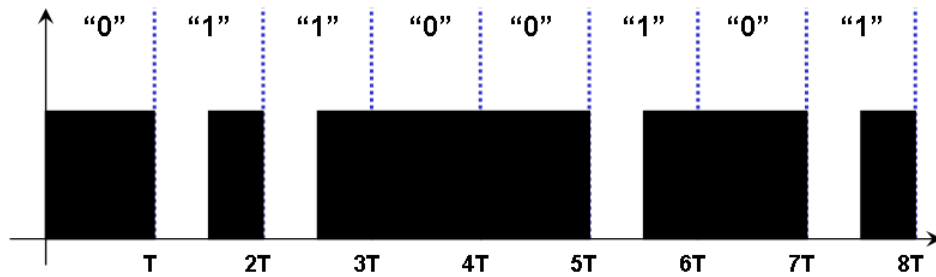
**Hình 2.11 Tín hiệu cơ bản của hai phương pháp RZ và IRZ**

R-RZ định nghĩa bit 0 là không có chuyển tiếp tín hiệu trong cả chu kỳ, còn bit 1 là có chuyển tiếp tín hiệu từ mức thấp lên mức cao, có thể kiểm soát bằng chu kỳ làm việc. Việc điều khiển chu kỳ làm việc cung cấp chức năng điều khiển sáng tối cho đèn LED. Hình 2.11.



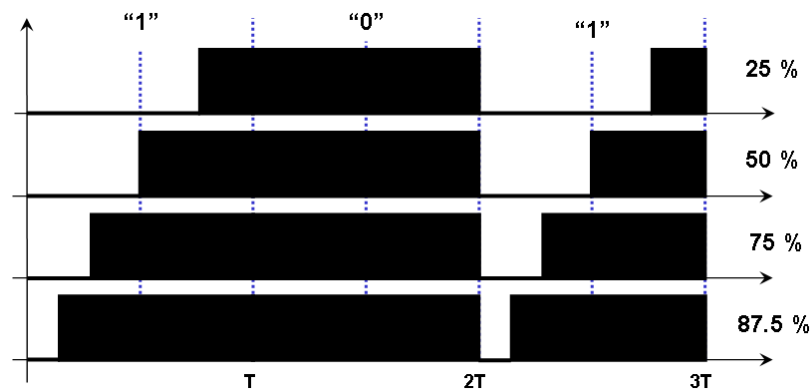
**Hình 2.12 Tín hiệu R-RZ cơ bản**

Chúng ta có thể kiểm soát dạng sóng của R-RZ với 50 % chu kỳ làm việc khi chúng ta cần giảm cường độ sáng xuống 50%. Trong R-RZ, hiện tượng nhấp nháy có thể xảy ra bởi vì trạng thái bật không liên tục trong mỗi khoảng thời gian. Hình 2.12.



**Hình 2.13 Dạng sóng của R-RZ với 50 % chu kỳ làm việc**

R-RZ cung cấp chức năng điều khiển cường độ sáng theo chu kỳ làm việc và cũng cấp độ sáng đầy đủ bằng cách tăng độ phân giải của chu kỳ làm việc như hình 2.13. Điều khiển sáng tối trong phương pháp này cũng tương tự như trong VPM.



**Hình 2.14 Điều khiển sáng tối trong R-RZ**

Ưu điểm của R-RZ là có thể điều khiển sáng tối của đèn LED và cũng cấp một cường độ sáng đầy đủ. Nó cũng có thể cung cấp khả năng chống nháy cho tín hiệu bằng cách sử dụng thêm mã 4B6B hoặc mã 4B5B cải tiến, việc sử dụng các mã này làm cho trạng thái bật của các đèn LED luôn không đổi theo các chu kỳ khác nhau.

#### 2.3.1.4 Phương pháp điều chế khóa dịch màu (Color-Shift Keying)

Như ta đã biết, ánh sáng trắng phát ra từ đèn LED được tạo ra theo hai cách. Cách thứ nhất sử dụng LED đơn chip xanh phủ Phosphor, tuy nhiên lớp Phosphor này sẽ làm chậm quá trình đáp ứng của đèn LED. Phương pháp khắc phục nhược điểm này là sử dụng LED RGB, đối với loại LED này, chúng ta sẽ dùng phương pháp điều chế khóa dịch màu Color-Shift Keying (CSK). Phương pháp điều chế

CSK có thể xem gần tương đồng với phương pháp điều chế khóa dịch tần (Frequency-Shift Keying- FSK) ở chỗ các đoạn bit sẽ được điều chế với màu sắc (bước sóng) phát ra. Ví dụ như đối với điều chế 4-CSK (hai bit cho một ký hiệu), một trong bốn bước sóng thích hợp (màu sắc) sẽ được sử dụng cho một cặp bit. Trong phương pháp điều chế CSK sử dụng không gian màu CIE 1931 do ủy ban quốc tế về chiếu sáng công bố để ánh xạ dữ liệu đầu vào thành các cặp giá trị tọa độ màu (XP, YP).

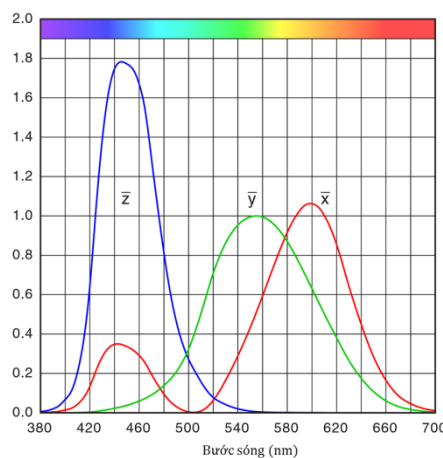
Giá trị tọa độ x,y được xác định trong CIE 1931 thông qua ba đại lượng X,Y và Z. Trong đó các giá trị X, Y, Z được bắt nguồn từ thông số của ba loại tế bào hình nón trong mắt người (có chức năng cảm nhận màu sắc trong ba khoảng bước sóng: ngắn, trung bình và dài) mô tả ba tính chất của màu sắc:

- ❖ Sắc độ: sáng hay tối.
- ❖ Tông màu.
- ❖ Độ bão hòa màu.

Một quang phổ đơn sắc C với bước sóng  $\lambda$  được biểu diễn với ba giá trị này như biểu thức:

$$C = \bar{x}(\lambda)X + \bar{y}(\lambda)Y + \bar{z}(\lambda)Z \quad (2.16)$$

Với  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$  là các hàm gán màu và có giá trị không âm.



**Hình 2.15 Hàm gán màu X,Y,Z**

Hình 1.25 mô tả đường cong phổ của ba hàm gán màu, với bước sóng từ 380nm đến 700nm. Trục tung là góc quan sát tiêu chuẩn (do các tế bào hình nón nhạy cảm nằm trong một vòng cung  $2^0$  của hố mắt). Với  $P(\lambda)$  là phân bố phổ màu, ta tính được giá trị X,Y, Z theo 1.24

$$X = k \int_{380}^{780} P(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \quad (2.17)$$

$$Y = k \int_{380}^{780} P(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \quad (2.18)$$

$$Z = k \int_{380}^{780} P(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \quad (2.19)$$

Các giá trị của K được chọn sao cho Y=1 hoặc Y=100.

Từ đó, các giá trị của x,y được tính theo biểu thức:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad (2.20)$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z} \quad (2.21)$$

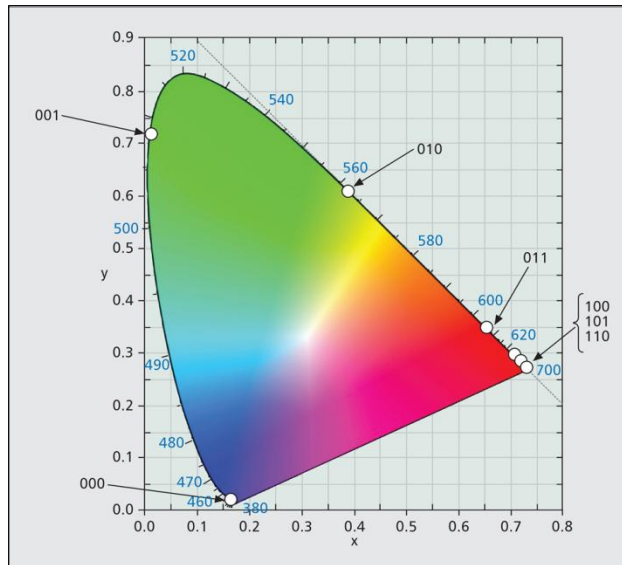
Hàm giá trị x,y mô tả tông màu, độ bão hòa của màu và độc lập với sắc độ của màu.

Trong phương pháp điều chế CSK, chuẩn IEEE 802.15.7 đã chia phổ thành 7 dải màu để hỗ trợ cho việc lựa chọn màu của đèn LED dùng cho truyền dẫn.

**Bảng 2.1 Các dải màu trong không gian màu CIE 1931 với tọa độ màu x,y**

Dải (nm)	Mã	Bước sóng trung tâm (nm)	(x , y)
380-450	000	415	(0.18, 0.01)
450-510	001	480	(0.09, 0.13)
510-560	010	535	(0.19, 0.78)
560-600	011	580	(0.51, 0.49)

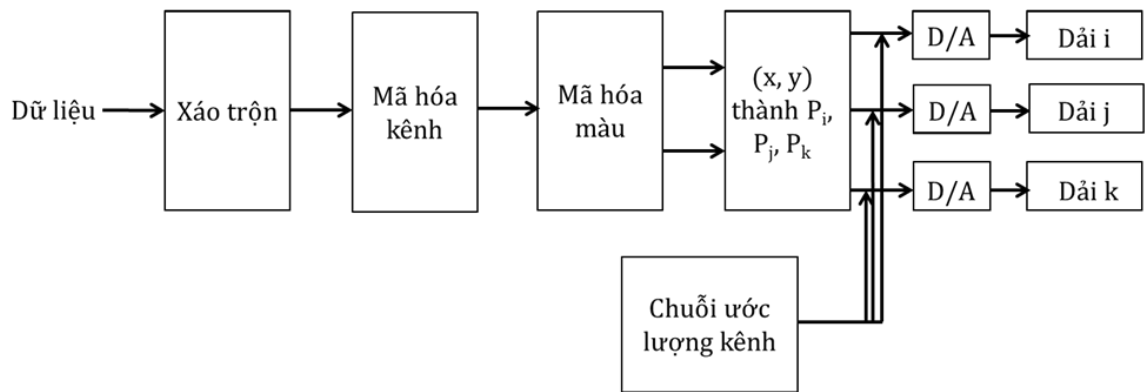
600-650	100	625	(0.70, 0.30)
650-710	101	680	(0.72, 0.28)
710-780	110	745	(0.73, 0.27)



**Hình 2.16 Không gian màu CIE 1931 với hai trục x,y và 7 dải màu 000 đến 110**

Hình 2.16 mô tả không gian màu CIE 1931 với hai trục tọa độ x, y và đường cong phổ cùng với 7 dải màu dùng cho truyền dẫn.

Hình 2.17 mô tả quá trình mã hóa dữ liệu, dữ liệu sau khi được xáo trộn để đảm bảo tính ngẫu nhiên và mã hóa kênh, sẽ được chuyển tới khối mã hóa màu. Sau đó, chuỗi bit dữ liệu sẽ được phân chia thành từng khối nhỏ hơn, mỗi khối nhỏ này được ánh xạ với một ký hiệu. Mỗi ký hiệu có tọa độ màu (x, y) riêng và tương ứng với một điểm trong không gian ký hiệu. Mỗi ký hiệu có số bit tương ứng với khối dữ liệu đã được chia nhỏ.



**Hình 2.17** Quá trình mã hóa dữ liệu

Không gian tín hiệu CSK được tạo thành từ ba dải màu khác nhau và có dạng hình tam giác với các đỉnh là bước sóng trung tâm của ba dải màu được chọn. Bảng 2.2 chỉ ra các dạng kết hợp của ba dải màu, những trường hợp không hợp lệ như: 110-101-100 hoặc 100-011-010 sẽ bị loại bỏ.

**Bảng 2.2** Các trường hợp kết hợp dải màu hợp lệ

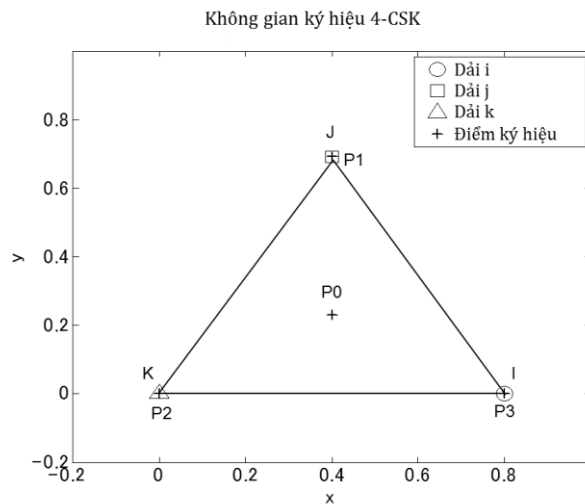
STT	Các trường hợp kết hợp dải màu hợp lệ		
	Dải i	Dải j	Dải k
1	110	011	001
2	110	011	000
3	110	010	001
4	110	010	000
5	101	011	001
6	101	011	000
7	101	010	001
8	101	010	000
9	100	011	001
10	100	011	000



11	100	010	001
12	100	010	000
13	011	010	001
14	011	010	000

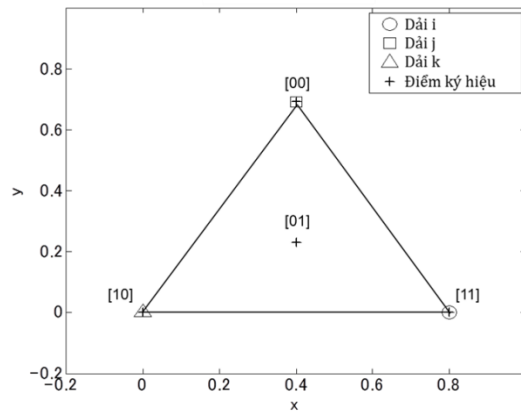
Sau khi chọn lựa được ba dải màu thích hợp, ta sẽ xác định được tọa độ của các đỉnh hình tam giác trong không gian ký hiệu.

❖ Không gian ký hiệu đối với 4-CSK (2 bit/ ký hiệu)



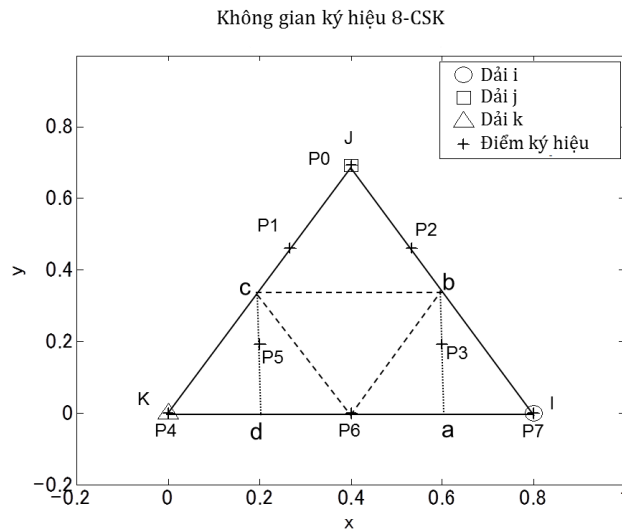
**Hình 2.18 Không gian ký hiệu 4-CSK**

Không gian ký hiệu 4-CSK gồm 4 điểm ký hiệu lần lượt là  $P_0$ ,  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ , với  $P_0$  là trọng tâm của hình tam giác  $IJK$  và ba điểm còn lại là ba đỉnh tam giác có tọa độ tương ứng với tọa độ của ba dải màu  $(i,j,k)$  được lựa chọn. Dữ liệu được ánh xạ theo quy tắc như hình 2.19



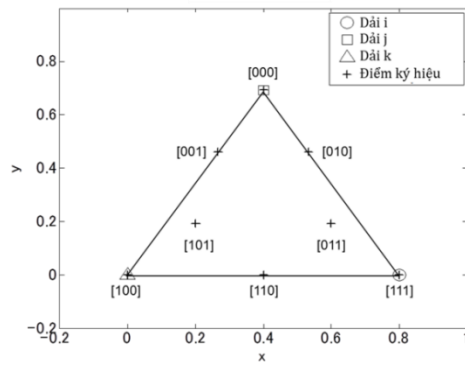
**Hình 2.19** Ánh xạ dữ liệu đối với 4-CSK

❖ Không gian ký hiệu đối với 8-CSK (3 bit/ ký hiệu)



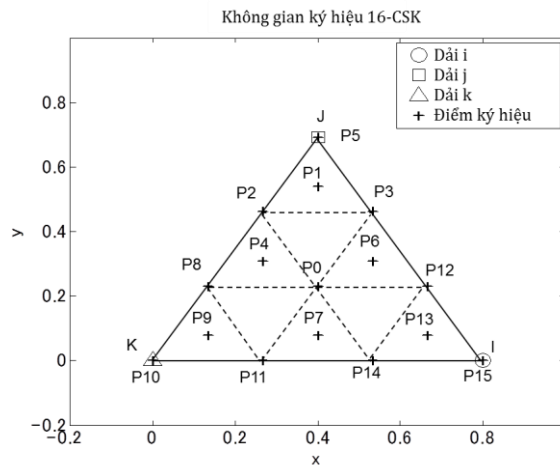
**Hình 2.20** Không gian tín hiệu 8-CSK

Tương tự như 4-CSK, không gian ký hiệu của 8-CSK gồm 8 điểm ký hiệu từ P0 đến P7 với 3 đỉnh tam giác IJK lần lượt là P7, P0, P4. b, c lần lượt là trung điểm của JK và IJ. P1 và P2 chia JK và IJ theo tỉ lệ 1/3. P6 là trung điểm IK, P5 và P3 tương tự chia cd và ab theo tỉ lệ 1/3. Quy tắc ánh xạ dữ liệu như hình 2.21



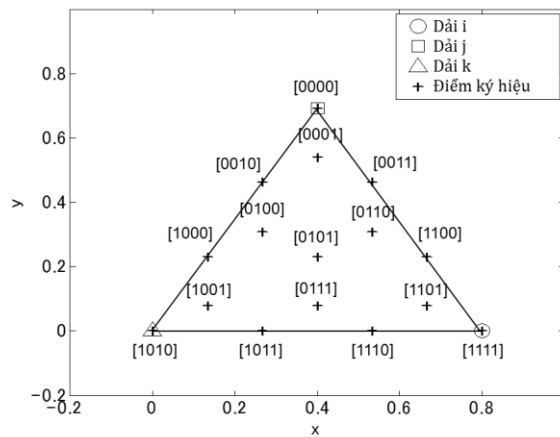
**Hình 2.21 Ánh xạ dữ liệu đối với 8-CSK**

❖ Không gian ký hiệu đối với 16-CSK (4 bit/ ký hiệu)



**Hình 2.22 Không gian ký hiệu 16-CSK**

Quy tắc ánh xạ dữ liệu như hình 2.23:



**Hình 2.23 Ánh xạ dữ liệu đối với 16-CSK**

Sau khi dữ liệu được chuyển thành tọa độ  $(x_p, y_p)$  trong hệ tọa độ màu  $x, y$ . Các giá trị tọa độ sẽ tiếp tục được chuyển thành một bộ ba giá trị cường độ chiếu sáng  $P_i, P_j, P_k$  với ba dải màu được chọn trong không gian màu thông qua biểu thức :

$$x_p = P_i x_i + P_j x_j + P_k x_k \quad (2.22)$$

$$y_p = P_i y_i + P_j y_j + P_k y_k \quad (2.23)$$

$$1 = P_i + P_j + P_k \quad (2.24)$$

Trong đó:  $(x_i, y_i), (x_j, y_j), (x_k, y_k)$  lần lượt là tọa độ của các bước sóng trung tâm của 3 dải màu được chọn. Bảng 1.5 cho thấy một ví dụ về việc chọn lựa ba dải màu cụ thể.

Sau khi đã tính toán được  $P_i, P_j, P_k$  các giá trị này sẽ được chuyển đổi D/A thành tín hiệu tương tự và đưa đến các LED. Phía thu hoàn toàn là quá trình ngược lại,  $(x_p, y_p)$  sẽ được tính toán dựa vào cường độ sáng thu được và giải mã thành dữ liệu.

**Bảng 2.3 Tọa độ của các ký hiệu với ba dải màu được chọn**

Các dải màu kết hợp		Tọa độ $(x_p, y_p)$ của các điểm ký hiệu		
Mã	Tọa độ $(x, y)$	4 CSK	8 CSK	16 CSK

110	(0.730 0.270)	[0 0] - (0.190 0.780)	[0 0 0] - (0.190 0.780)	[0 0 0 0] - (0.190 0.780)
010	(0.190 0.780)	[0 1] - (0.367 0.353)	[0 0 1] - (0.187 0.523)	[0 0 0 1] - (0.249 0.638)
000	(0.180 0.010)	[1 0] - (0.180 0.010)	[0 1 0] - (0.370 0.610)	[0 0 1 0] - (0.187 0.523)
		[1 1] - (0.730 0.270)	[0 1 1] - (0.519 0.383)	[0 0 1 1] - (0.370 0.610)
			[1 0 0] - (0.180 0.010)	[0 1 0 0] - (0.246 0.381)
			[1 0 1] - (0.244 0.253)	[0 1 0 1] - (0.367 0.353)
			[1 1 0] - (0.455 0.140)	[0 1 1 0] - (0.429 0.468)
			[1 1 1] - (0.730 0.270)	[0 1 1 1] - (0.426 0.211)
				[1 0 0 0] - (0.183 0.267)
				[1 0 0 1] - (0.242 0.124)
				[1 0 1 0] - (0.180 0.010)
				[1 0 1 1] - (0.363 0.097)
				[1 1 0 0] - (0.550 0.440)
				[1 1 0 1] - (0.609 0.298)
				[1 1 1 0] - (0.547 0.183)
				[1 1 1 1] - (0.730 0.270)

Một số ưu điểm của phương pháp điều chế CSK:

- Màu sắc cuối cùng ở đầu ra sẽ được đảm bảo nhờ tọa độ màu x,y.
- Tổng năng lượng của tất cả các nguồn sáng là không đổi, mặc dù mỗi nguồn có thể có công suất phát khác nhau.
- Không có tình trạng nhấp nháy.

CSK hỗ trợ điều chỉnh độ sáng bằng cách điều chỉnh biên độ dựa vào sự thay đổi dòng điện vào LED. CSK hỗ trợ thay đổi biên độ với các bộ chuyển đổi số/tương tự, do đó hỗ trợ các phương pháp điều chế cao hơn mang lại tốc độ dữ liệu lớn hơn

### 2.3.2 Kỹ thuật mã hóa

Hệ thống sử dụng kỹ thuật mã hóa Manchester.

Việc điều chế tín hiệu phải diễn ra ở tần số cao sao cho mắt người không thể cảm nhận được bất kỳ hiện tượng nhấp nháy nào. Các tiêu chuẩn như IEEE 802.15.7 cho thấy tần số 200 Hz để tránh mỏi mắt và các tác động có hại khác. Ngay cả khi tần số đủ cao vẫn có thể xuất hiện sự nhấp nháy do sự xuất hiện liên

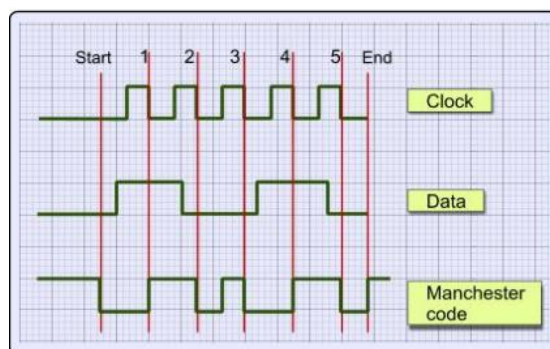
tiếp của bit 1 và 0 trong dữ liệu truyền đi. Kỹ thuật điều chế Manchester sẽ giảm thiểu hiệu ứng này.

Mã hóa Manchester là một hệ thống được sử dụng trong nhiều hệ thống truyền thông kết hợp với OOK. Phương pháp này mã hóa số 0 vào chuỗi 01 và số 1 vào chuỗi 10. Điều này có hai lợi thế rõ ràng trong hệ thống VLC.

Đầu tiên, ngay cả ở tần số cao, một chuỗi số không dài theo sau là một chuỗi dài sẽ được coi là nhấp nháy khó chịu của đèn LED. Mã hóa Manchester giải quyết điều này bằng cách luôn gửi một số lượng và số bằng nhau.

Thứ hai, bộ khuếch đại tự động của máy thu sử dụng giá trị trung bình của đầu vào để tính toán khuếch đại, bị nhiễu bởi các chuỗi dài có cùng giá trị. Ví dụ, sau khi quan sát một chuỗi số không dài, bộ khuếch đại tự động sẽ tăng khuếch đại và do đó làm hỏng tín hiệu. Mã hóa Manchester đảm bảo rằng một chuỗi như vậy không bao giờ xảy ra.

Mã Manchester tuân theo một thuật toán để mã hóa dữ liệu giống như tất cả các phương thức mã hóa khác. Chuyển đổi từ Cao sang Thấp được biểu thị logic 0 và chuyển đổi từ Thấp sang Cao được biểu thị logic 1. Cách tạo mã Manchester như ví dụ trong hình 2.24

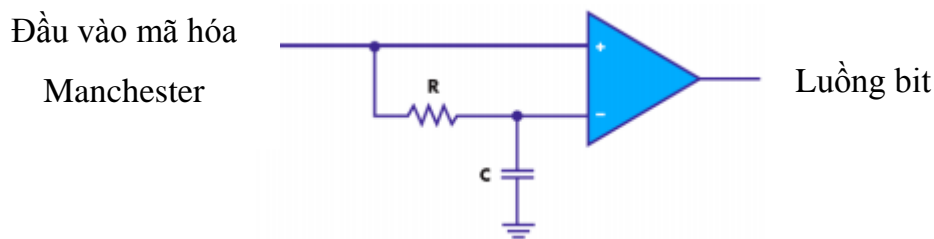


**Hình 2.24 Tạo mã Manchester**

Như trong ví dụ 2.24, từ trái sang phải, trên mỗi cạnh của xung clock xảy ra mã hóa. Có sự chuyển đổi từ Thấp sang Cao, ở cạnh rơi đầu tiên của xung clock, dữ liệu là Cao. Mã có chuyển đổi Cao sang Thấp vì dữ liệu ở mức Thấp, trên cạnh rơi

thứ hai của xung clock, thuật toán tương tự được sử dụng cho phần còn lại của tín hiệu.

Để giải mã tín hiệu được mã hóa Manchester, hệ thống sử dụng mạch như trong hình 2.25. Mạch này được gọi là bộ cắt dữ liệu, nó không yêu cầu xung clock. Điều này giúp loại bỏ các lỗi có thể xảy ra do jitter hoặc không khớp giữa tín hiệu truyền và nhận đồng hồ.



**Hình 2.25 Mạch cắt dữ liệu đơn giản để khôi phục các mức logic nhị phân**

Với mã Manchester, tần số của đồng hồ gấp đôi tốc độ bit của dữ liệu gốc. Ưu điểm của việc sử dụng mã hóa Manchester trong hệ thống truyền tín hiệu âm thanh số qua kênh truyền thông ánh sáng nhìn thấy được:

Quá trình chuyển đổi tín hiệu xảy ra ít nhất một lần mỗi bit, cho phép nhận tín hiệu khử để thực hiện khôi phục và đồng bộ hóa đồng hồ.

Ít bị lỗi hơn trong môi trường ồn ào.

### **2.3.3 Tốc độ truyền âm thanh**

Âm thanh kỹ thuật số là công nghệ được sử dụng để ghi, lưu trữ, thao tác, tạo và tái tạo âm thanh bằng các tín hiệu âm thanh đã được mã hóa ở dạng kỹ thuật số.

Trong hệ thống âm thanh kỹ thuật số, tín hiệu điện tương tự đại diện cho âm thanh được chuyển đổi bằng bộ biến đổi tương tự sang số (ADC) thành tín hiệu số, thường sử dụng điều chế mã xung. Tín hiệu số này sau đó có thể được ghi lại, chỉnh sửa, sửa đổi và sao chép bằng máy tính, máy phát lại âm thanh và các công cụ kỹ thuật số khác. Khi muốn nghe bản ghi âm trên tai nghe hoặc loa (hoặc khi người dùng muốn nghe tệp âm thanh kỹ thuật số), bộ chuyển đổi kỹ thuật số sang tương tự (DAC) thực hiện quy trình ngược lại, chuyển đổi tín hiệu kỹ thuật số trở lại một tín

hiệu tương tự, sau đó được gửi qua bộ khuếch đại công suất âm thanh và cuối cùng đến loa.

Đặc điểm của âm thanh số

- ❖ Rời rạc
- ❖ Giới hạn
- ❖ Được đại diện bởi 2 chữ số nhị phân là 0 và 1

2 đặc trưng cho tín hiệu âm thanh kỹ thuật số:

- ❖ Tần số mẫu(Sample frequency)
- ❖ Tốc độ bit (Bit rate)

Tốc độ bit hay Bit rate hay gọi biến  $R$  là số bit được truyền đi hoặc xử lý trong mỗi đơn vị thời gian. Số bitrate cao thì nó càng mang nhiều thông tin. Nội dung càng chất lượng. Đối với âm thanh, tốc độ bit là để chỉ khối lượng dữ liệu được truyền trong một khoảng thời gian nhất định. Tùy thuộc vào hoàn cảnh sử dụng, những đơn vị dùng để đo lường bitrate thường là kbit/s (kilobit trên giây) và Mbps (megabit trên giây). Dù sử dụng đơn vị nào, con số bitrate càng cao càng tốt.

Bitrate Audio là dùng để chỉ tốc độ truyền của 1 tập tin, file âm thanh. File âm thanh ở đây gồm các định dạng phổ biến như: mp3, wav, ogg, aac, amr, wma, flac,....Tốc độ bitrate Audio càng cao thì chất lượng file đó càng tốt. Âm thanh sẽ được truyền tải đầy đủ hơn so với các bitrate Audio thấp hơn. Ví dụ với MP3 đây là định dạng âm thanh cung cấp cách nén dữ liệu có tổn hao. Chất lượng âm thanh tăng lên khi tăng tốc độ bit lên. Những tốc độ bitrate audio của định dạng Mp3 gồm:

- 32 kbit/s – nhìn chung chỉ chấp nhận được đối với lời nói
- 96 kbit/s – thường dùng cho lời nói hoặc phát luồng chất lượng thấp
- 128 or 160 kbit/s – chất lượng tốc độ bit tầm trung
- 192 kbit/s – tốc độ bit cho chất lượng trung bình
- 256 kbit/s – một tốc độ bit chất lượng cao thường dùng
- 320 kbit/s – cấp độ cao nhất được hỗ trợ bởi tiêu chuẩn MP3

#### **2.3.4 Cự ly truyền dẫn**



Mô hình cổ điển của một chuỗi điều chế cường độ và phát hiện trực tiếp (IM/DD) được thể hiện bởi:

$$Y(t) = S.X(t) \otimes h(t) + N(t) \quad (2.25)$$

Trong đó:  $S$  là độ nhạy của bộ tách sóng quang ( $A / W$ ),

$h(t)$  đại diện cho đáp ứng xung của kênh,

$X(t)$  là quang truyền công suất và nhiễu  $N(t)$

Công suất quang trung bình phía phát  $P_t$  được cho bởi công thức:

$$P_t = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T X(t) dt \quad (2.26)$$

Công suất nhận được cần thiết để đạt được hiệu suất mong muốn phụ thuộc vào công suất quang bị mất trong không gian trống. Nó được cho bởi:

$$P_r = H_0 P_t \quad (2.27)$$

Trong đó:  $H_0 = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) dt$

Việc truyền thông tin bằng công nghệ không dây luôn chịu ảnh hưởng rất lớn từ nhiễu, truyền thông tin bằng ánh sáng nhìn thấy cũng không nằm ngoài ảnh hưởng đó. Trong công nghệ VLC chịu ảnh hưởng bởi hai loại nhiễu là:

❖ Nhiễu nhiệt (Thermal Noise).

Nhiễu nhiệt là nhiễu gây ra bởi dòng điện không mong muốn, do chuyển động nhiệt của các hạt mang điện. Nguồn gây ra nhiễu nhiệt trong hệ thống VLC là do các yếu tố khuếch đại ở phía thu gây ra. Nhiễu nhiệt được sinh ra độc lập với tín hiệu thu và được mô hình hóa theo phân bố Gaussian.

❖ Nhiễu nổ (Shot Noise).

Nhiễu nổ là loại nhiễu chính trong công nghệ VLC, nguồn gây ra nhiễu nổ gồm có nguồn nhiễu tự nhiên như mặt trời và ánh sáng nhân tạo như đèn sợi đốt hay đèn huỳnh quang... các nguồn nhiễu này sẽ gây ra một bức xạ nền, bức xạ nền này sẽ gây ra một dòng liên tục trong diode tách quang và do tính chất ngẫu nhiên của

quá trình tách quang sẽ gây ra nhiễu nỏ. Một nguồn khác gây ra nhiễu nỏ là dòng tới ngược chiều đi qua tải khi không có ánh sáng tới bộ tách quang, nguyên nhân gây ra là do nhiệt ở lớp tiếp giáp hoặc khiếm khuyết ở bề mặt.

Hàm mật độ công suất nhiễu được mô tả như sau:

$$N_0 \cong N_{shot} = 2q\gamma P_n \quad (2.28)$$

Trong đó:  $\gamma$  là hệ số đáp ứng

$P_n$  là năng lượng ánh sáng trung bình

Phương sai của nhiễu tổng được tính như sau:

$$\sigma_{total}^2 = \sigma_{thermal}^2 + \sigma_{shot}^2 \quad (2.29)$$

Ta nhận được tỷ số tín hiệu trên nhiễu của tín hiệu điện là:

$$SNR = \left( \frac{\gamma P_r}{\sigma_{total}} \right)^2 \quad (2.30)$$

Giá trị BER là:

$$BER = Q \sqrt{SNR} = Q \left( \frac{\gamma P_r}{\sigma_{total}} \right) \quad (2.31)$$

Trong đó hàm  $Q(x)$  là hàm  $Q$  được sử dụng để tính xác suất của phân bố Gauss và được tính bằng:

$$Q(x) = \frac{1}{2\pi} \int_x^\infty e^{-y^2/2} dy \quad (2.32)$$

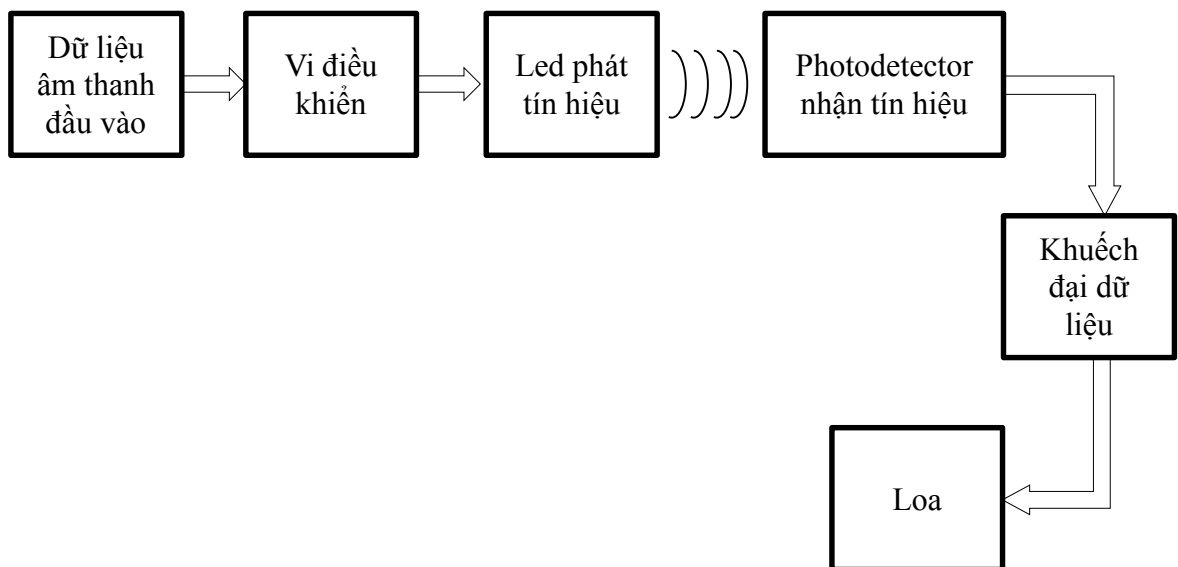
## 2.4 Kết luận

Chương 2 đã tìm hiểu tổng quan về hệ thống truyền âm thanh sử dụng công nghệ VLC, các thành phần và đặc tính của hệ thống.

## CHƯƠNG 3: THIẾT KẾ HỆ THỐNG VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ

### 3.1 Thiết kế hệ thống

#### 3.1.1 Sơ đồ khối hệ thống



**Hình 3.1 Sơ đồ khối hệ thống**

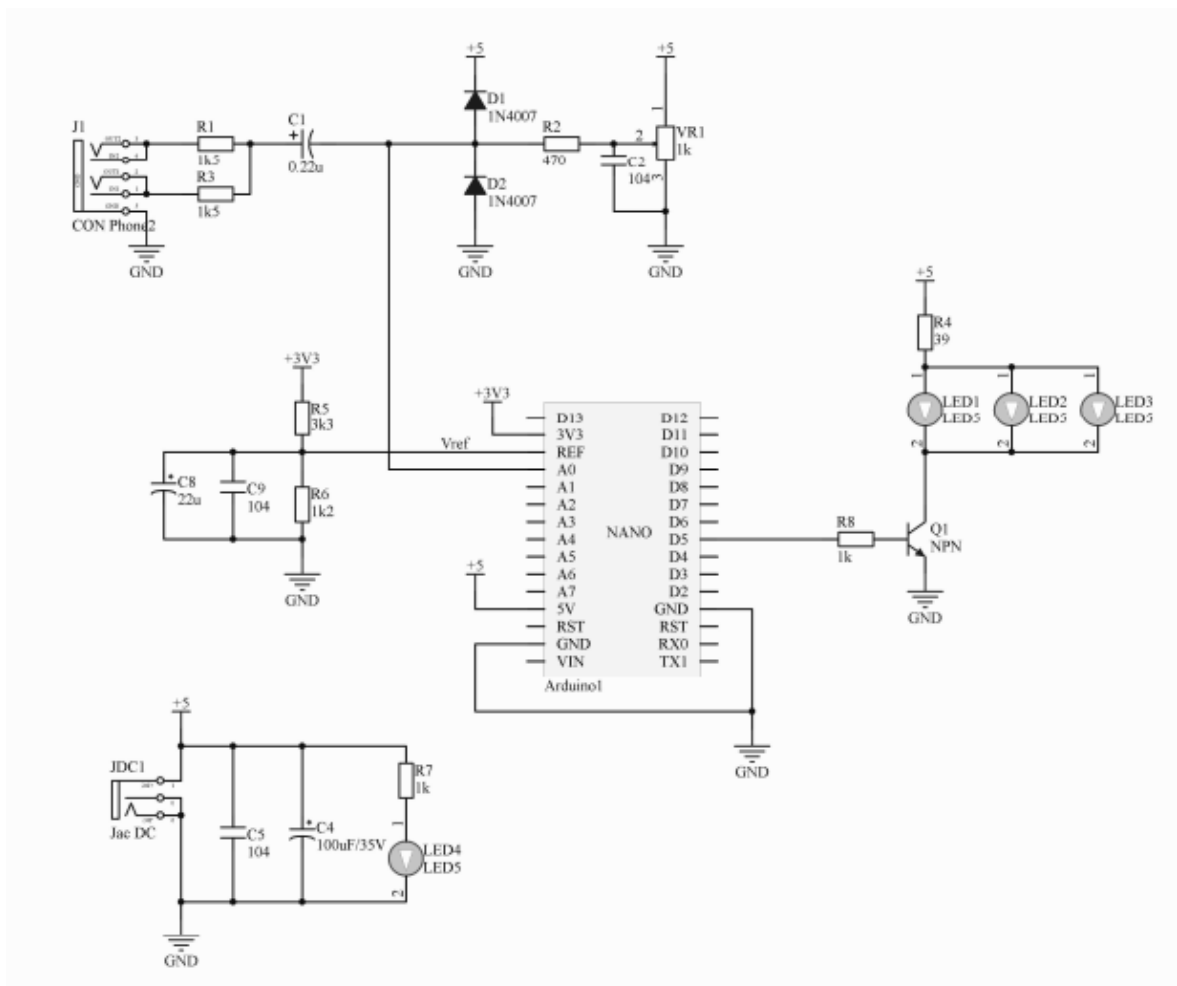
Tín hiệu đầu vào là tín hiệu âm thanh, qua vi điều khiển thành tín hiệu số kèm tần số sóng mang từ đó điều khiển các led phía phát bật tắt theo tín hiệu. Phía thu là một photodetector sau khi nhận tín hiệu từ đèn led phía phát, qua bộ khuếch đại tín hiệu và chuyển dữ liệu phát ra loa.

#### 3.1.2 Đặc tính các thành phần trong hệ thống

- ❖ Kỹ thuật điều chế sử dụng trong hệ thống là kỹ thuật điều chế khóa bật tắt ON/OFF keying (OOK). Do kỹ thuật điều chế OOK có cấu trúc đơn giản, có cấu tạo không phức tạp, dễ thực hiện và triển khai nhưng vẫn đáp ứng đủ tính cần thiết của hệ thống để điều chế tín hiệu.
- ❖ Kỹ thuật mã hóa trong hệ thống là mã hóa Manchester. Do mã hóa Manchester thường được sử dụng trong hệ thống truyền thông kết hợp với

điều chế OOK. Phương pháp này mã hóa số 0 vào chuỗi 01 và số 1 vào chuỗi 10. Điều này có nhiều lợi thế trong hệ thống VLC: Mã hóa Manchester luôn gửi một số lượng và số bằng nhau nên sẽ giải quyết được vấn đề đèn led sẽ nhấp nháy do sự xuất hiện liên tiếp của bit 0 hoặc 1. Thứ hai, bộ khuếch đại tự động của máy thu sử dụng giá trị trung bình của đầu vào để tính toán khuếch đại, bị nhiễu bởi các chuỗi dài có cùng giá trị. Ví dụ, sau khi quan sát một chuỗi số không dài, bộ khuếch đại tự động sẽ tăng khuếch đại và do đó làm hỏng tín hiệu. Mã hóa Manchester đảm bảo rằng một chuỗi như vậy không bao giờ xảy ra.

### 3.1.3 Sơ đồ nguyên lý phía phát



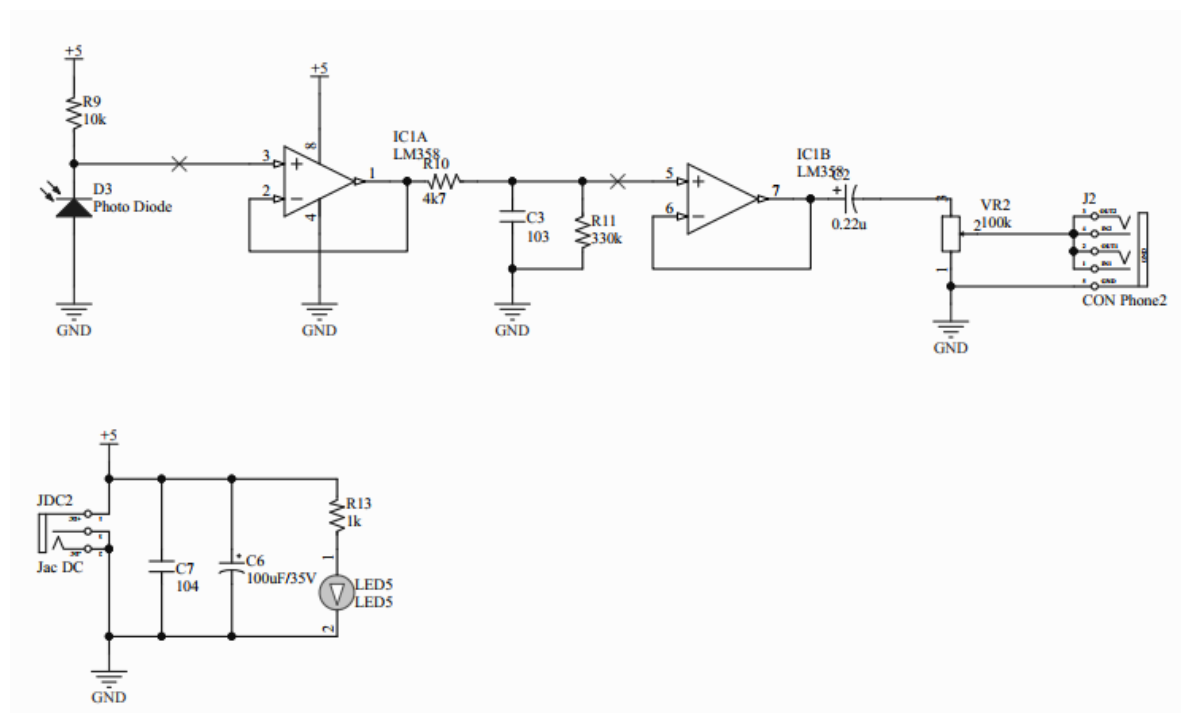
Hình 3.2 Sơ đồ nguyên lý phía phát

Phía phát sử dụng vi điều khiển Arduino. Vi điều khiển Arduino nhận tín hiệu analog từ nguồn phát qua Jack cắm 3.5mm, mã hóa, cho tín hiệu đầu ra ở chân D5 với tần số sóng mang 62kHz và điều khiển Led.

Vi điều khiển sử dụng trong mạch là vi điều khiển Arduino Nano. Khi nhận tín hiệu tương tự từ đầu vào, vi điều khiển chuyển tín hiệu tương tự sang tín hiệu số. Kèm theo sóng mang PWM có tần số 62kHz. Với vi điều khiển Arduino Nano thì tần số PWM cao nhất tạo ra được là 62 kHz và cho tín hiệu ra ở chân D5.

Từ tín hiệu ra ở chân D5 của vi điều khiển, kết hợp với 1 transistor NPN điều khiển LED bật tắt theo tín hiệu ra ở chân D5. Mạch sử dụng 3 LED để tăng độ rộng của vùng ánh sáng phát.

### 3.1.4 Sơ đồ nguyên lý phía thu



**Hình 3.3 Sơ đồ nguyên lý phía thu**

Photodiode thu nhận thông tin ánh sáng từ led phát qua bộ cắt khuếch đại dữ liệu rồi phát âm thanh ra loa qua Jack 3.5 mm.

Mạch phía thu, photo diode nhận tín hiệu quang từ phía Led phát, thông tin qua IC LM358, ic này có nhiệm vụ cắt các tín hiệu từ photo diode để khôi phục các

dữ liệu bit nhị phân. Tín hiệu sau khi được khôi phục qua bộ lọc thông thấp RC lọc đi các tín hiệu cao tần sau đó qua tiếp mạch khuếch đại thuật toán rồi phát cho tín hiệu ra loa qua jack 3.5 mm.

### 3.2 Kết quả và đánh giá



**Hình 3.4. Sơ đồ thiết lập thử nghiệm hệ thống**

Sơ đồ thử nghiệm hệ thống được thiết lập đo kiểm như thể hiện trên Hình 3.4. Hệ thống âm thanh được phát từ một thiết bị điện thoại thông minh, thông qua jack cắm tiêu chuẩn 3.5 mm phối hợp trở kháng tốt để kết nối với hệ thống phát có sơ đồ nguyên lý hoạt động như ở Hình 3.1. Phía thu được nối với một loa ngoài có nguyên lý hoạt động như ở Hình 3.3.

#### 3.2.1 Kết quả

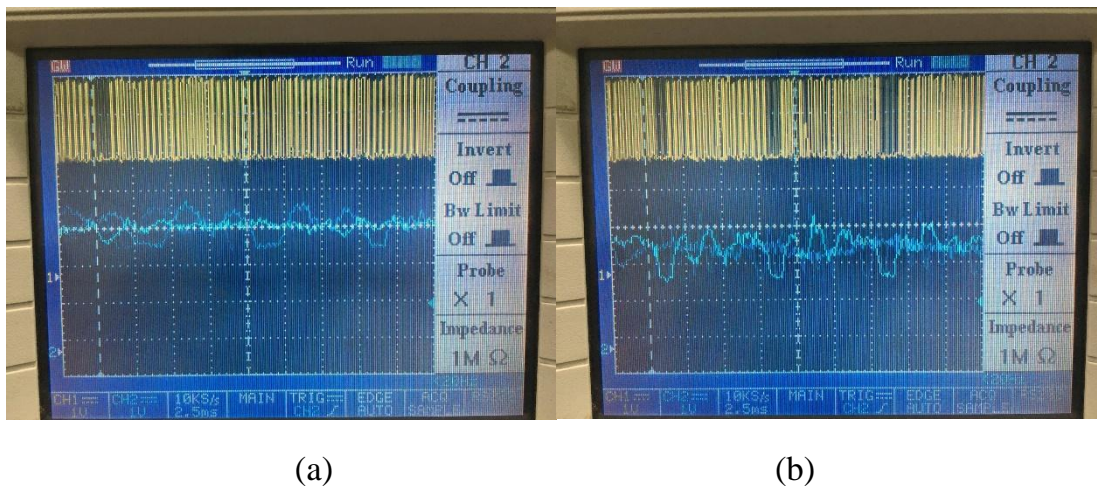
- ❖ Mạch được thiết kế chạy ổn định

- ❖ Với khoảng cách giữa phía phát và phía thu từ 10 đến 80 cm mạch cho kết quả truyền nhận âm thanh tốt giữa tín hiệu vào và ra
- ❖ Tốc độ truyền dữ liệu của hệ thống theo lý thuyết là 62Kb/s

### 3.2.2 Đo đạc và đánh giá

Tiến hành đo kiểm theo bài đo như sau: đặt kênh CH2 của Oxilo để đo dạng sóng của hai chân trên photodiode và đặt một đồng hồ vạn năng để đo mức điện áp giữa một chân của photodiode và chân 7 của vi mạch khuếch đại LM358.

Luận văn sẽ thực hiện thay đổi khoảng cách truyền dẫn (ký hiệu là tham số d) thử nghiệm để xem tín hiệu khi nào âm thanh nghe tốt, khi nào tín hiệu âm thanh nghe không rõ với điều kiện phía thu và phát được định hướng trong tầm nhìn thẳng của dạng tín hiệu truyền trong không gian tự do FSO (Free-space optics) với các mức dịch chuyển khoảng cách thay đổi trong mỗi lần đo là 5 cm. Để đảm bảo thử nghiệm âm thanh, ta đo kiểm âm thanh phát ra là từ “not until” được lặp đi lặp lại với một phổ âm tương đối đồng nhất. Kết quả thử nghiệm cũng được đo kiểm trong điều kiện ánh sáng môi trường bình thường trong phòng làm việc.

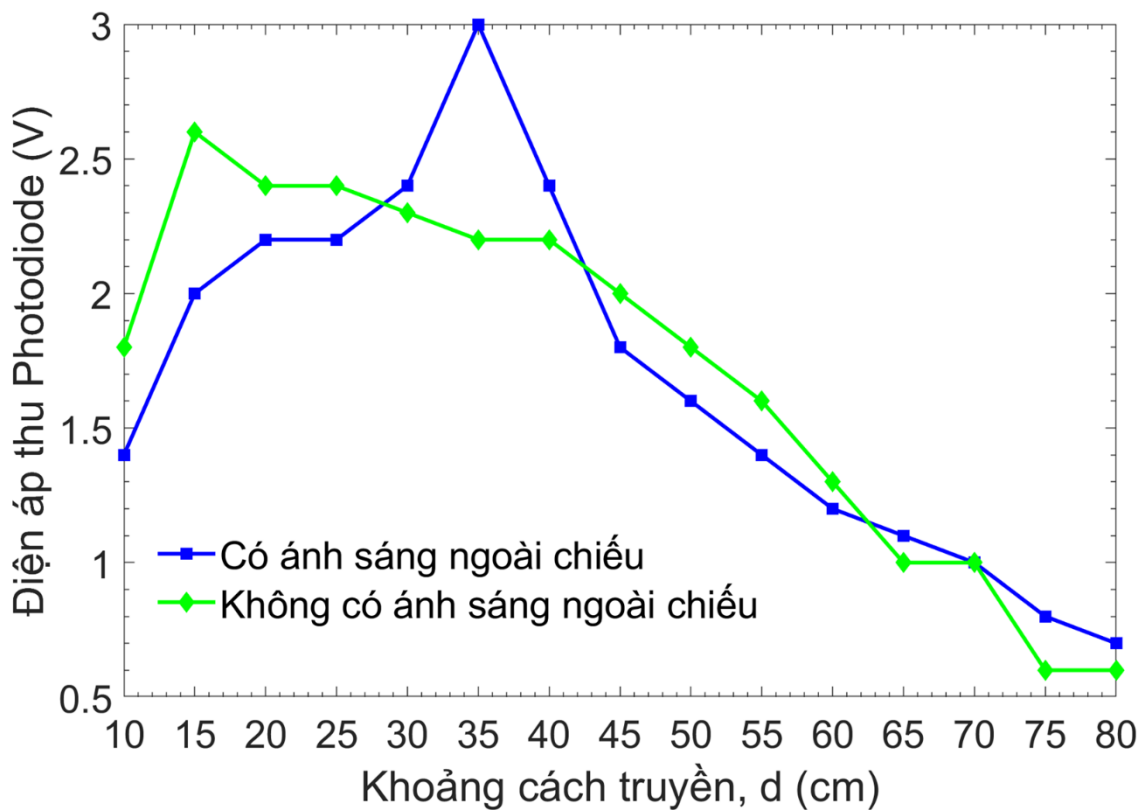


**Hình 3.5. Kết quả đo kiểm trên Oxilo của hệ thống với (a) 80 cm và (b) 65 cm**

Kết quả đo kiểm thính giác cho thấy rằng tại khoảng cách dưới 10 cm, âm thanh là không nghe được hoặc rất chói, ù. Khi khoảng cách lớn hơn 10 cm, tai người có nghe rõ âm thanh phát ra từ loa. Tăng khoảng cách lên tầm 20 cm → 50 cm thì âm thanh nghe được rất rõ và trong trẻo. Ở khoảng cách sau 45 cm, âm thanh

nghe vẫn khá rõ nhưng biên độ hơi nhỏ đi chút và độ trong trẻo giảm. Khi vượt qua 80 cm thì không còn nghe được âm thanh nữa.

Hình 3.5 thể hiện kết quả đo dạng sóng CH2 tại hai chân thu được từ Photodiode và CH1 qua chân D5 và GND qua một máy đo Oxilo ở khoảng cách 80 cm (a) và 65 cm (b) tương ứng với đường biến đổi màu xanh và vàng. Kết quả đo cho thấy rằng điện áp ở mức 80 cm trên kênh CH2 là trung bình trong khoảng 0.55 V  $\rightarrow$  0.6 V và khoảng cách 65 cm trên kênh CH2 là trung bình khoảng 1V.

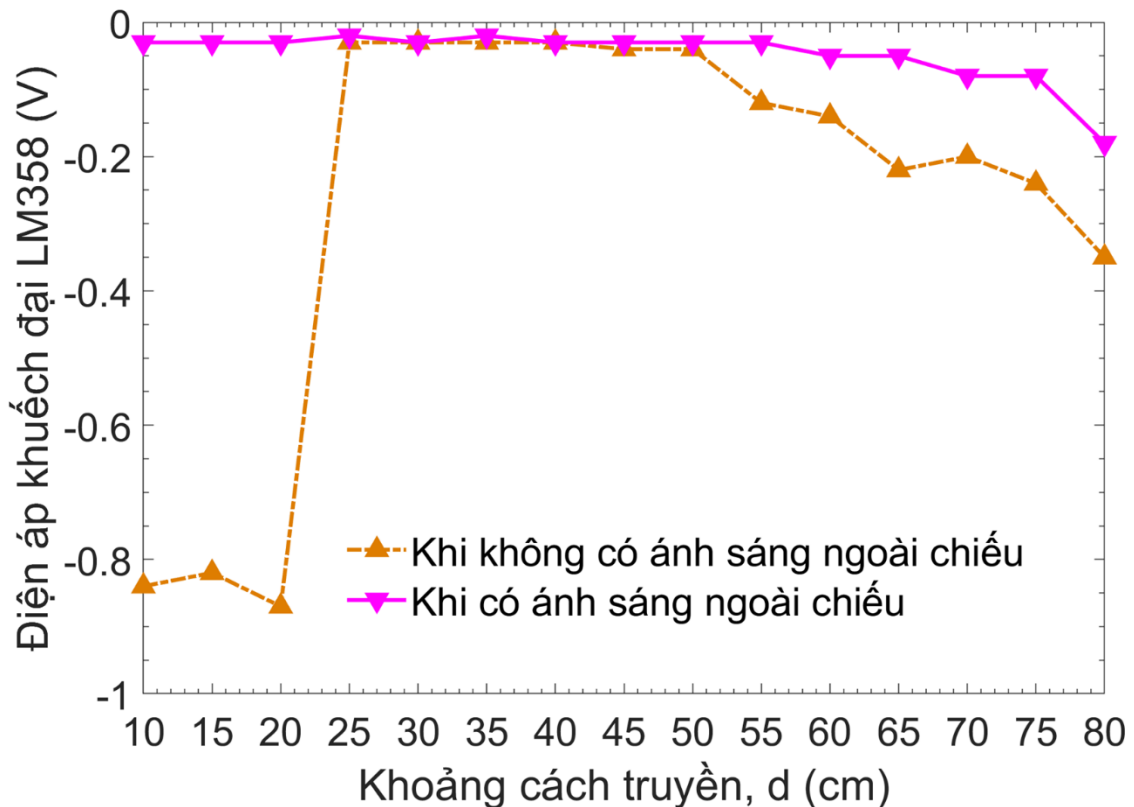


**Hình 3.6. Kết quả đo điện áp kênh CH2 trên hai chân photodiode khi có ánh sáng và không có ánh sáng**

Hình 3.6 thể hiện rõ ràng kết quả đo kiểm khi vẽ đồng thời dữ liệu đo đặc mức điện áp của kênh CH2 tại hai chân của photodiode thu khi có ánh sáng ngoài chiếu trong phòng đo (màu xanh blue) và khi tắt ánh sáng trong phòng (màu xanh green). Kết quả cho thấy là trong dải nghe rõ âm thanh từ 10 cm đến 80 cm thì mức



điện áp trên photodiode luôn lớn hơn 0.6 V cho cả hai trường hợp. Dưới mức 0.6 V này thì âm thanh nghe không được nữa vì mức tín hiệu thu dưới ngưỡng cho phép để đảm bảo tín hiệu thu được là có thể khôi phục âm thanh tốt ở loa ngoài để tai người nghe có thể cảm thụ được.



**Hình 3.7. Kết quả đo điện áp chân 7 của LM358 và chân GND của photodiode khi có ánh sáng và không có ánh sáng**

Tuy nhiên, trong kết quả đo thử nghiệm, không phải khi mức điện áp ở CH2 lúc nào lớn hơn 0.6 V khi phòng đo có ánh sáng bình thường hay tắt (để không có tạp nhiễu của ánh sáng môi trường tác động vào photodiode thu).

Hình 3.7 thể hiện kết quả đo lệch áp giữa chân 7 của IC khuếch đại tín hiệu LM358 với GND (đất) cho thấy rằng: ở khoảng cách gần ban đầu từ 10 cm đến 80 cm thì khi có ánh sáng ngoài chiếu (phòng sáng bình thường) thì âm thanh nghe rõ. Nhưng khi để phòng tối thì khoảng nghe rõ chỉ ở mức 25 cm đến 70 cm mà nghe tốt

và trong nhất chỉ ở từ 25 cm đến 50 cm ứng với mức điện áp của đầu ra LM358 là - 0.05 V (do điện áp là DC mà 2 que đo là đặt ngược chiều nên mới có giá trị âm) đúng như sự tương đồng của hai đường trên đồ thị của hình 3.7.

Kết quả cho thấy từ Hình 3.7 và nghe thực tế là mức điện áp này có giá trị tuyệt đối phải nhỏ hơn 0.3 V thì nghe mới rõ. Còn khi khoảng cách ngắn hơn, chẳng hạn từ 10 cm đến 25 cm (chính xác là khoảng 23 cm) khi mức này cao (giá trị tuyệt đối  $>0.3$  V) thì nghe không rõ khi không có ánh sáng chiếu. Điều này có thể lý giải là trong khoảng đó nếu chiếu sáng thì ánh sáng môi trường không hẳn là chỉ đóng vai trò nhiễu AWGN cho kênh truyền mà có thể đóng vai trò khuếch đại tín hiệu quang cho photodiode, vì vậy mà âm thanh mới nghe được rõ.

### **3.3 Kết luận**

Chương 3 đã đưa ra mô hình truyền âm thanh sử dụng công nghệ VLC, các kết quả đo đạc và đánh giá. Với khoảng cách từ 10 cm đến 80 cm thì phía thu của hệ thống cho kết quả nghe rõ âm thanh từ loa. Trong khoảng từ 20 cm đến 50 cm cho âm thanh đầu ra rõ ràng và trong trẻo. Vậy ta có thấy rằng khoảng cách giữa phía thu và phía phát ảnh hưởng rất lớn đến hiệu suất hệ thống. Khoảng cách càng dài có nghĩa là cường độ tín hiệu và điện áp phía thu nhận được càng giảm xuống và gây mất dữ liệu trong hệ thống.

## **KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ**

### **I. Kết luận đề tài.**

Các hệ thống VLC từ sự phát triển của LED là một công nghệ quan trọng. Nó có thể đưa ra việc truyền tin ở khắp nơi vì ánh sáng có thể có ở mọi nơi. Trong việc truyền dữ liệu, VLC là một ứng dụng lý tưởng cho việc truyền dữ liệu tốc độ cao và tình bảo mật. Trong luận văn này, công nghệ VLC ứng dụng trong hệ thống truyền âm thanh.

Luận văn đã xây dựng và thiết kế mô hình truyền âm thanh sử dụng công nghệ VLC thành công. thông số hiệu suất của VLC như điện áp, dòng điện và công suất đã được đo lường và phân tích. Dựa trên kết quả và phân tích đã được trình bày, việc thực hiện mạch khuếch đại tại máy phát và máy thu giúp cải thiện chất lượng tín hiệu của tín hiệu âm thanh trong hệ thống VLC. Dựa trên dữ liệu đã được phân tích, việc sử dụng mạch khuếch đại trong máy phát và máy thu khuếch đại tín hiệu âm thanh và làm cho việc đọc điện áp tăng ở máy phát và máy thu. Tuy nhiên, bộ khuếch đại cũng có thể làm tăng tiếng ồn trong hệ thống này. Dựa trên kết quả đo đạc đã được tiến hành trên nhiều khoảng cách khác nhau, ta có thể thấy rằng khoảng cách giữa máy phát và máy thu có thể ảnh hưởng đến hiệu suất hệ thống. Khoảng cách càng dài có nghĩa là cường độ tín hiệu và điện áp mà máy thu nhận được giảm xuống và gây mất dữ liệu trong hệ thống. Có thể kết luận rằng khoảng cách tối đa trong hệ thống này chỉ có thể đạt được ở mức 80 cm. Tuy nhiên, trong quá trình thực hiện hệ thống VLC, chúng ta cần có đường truyền dài hơn, để hệ thống này có thể thực hiện được cho công nghệ trong tương lai. Chúng ta cần xác định đèn LED và bộ tách sóng quang phù hợp hơn cho hệ thống VLC để đảm bảo khoảng cách truyền có thể tăng lên.

### **II. Thách thức**

Hệ thống truyền âm thanh sử dụng công nghệ VLC còn nhiều thách thức cần giải quyết:

- ❖ Giới hạn khoảng cách truyền dữ liệu

- ❖ Tăng tốc độ truyền dữ liệu
- ❖ Xử lý các nguồn ánh sáng nhiễu do môi trường tác động

### **III. Hướng phát triển của đề tài**

Xây dựng thêm hệ thống truyền tải video, văn bản...kết hợp với hệ thống truyền âm thanh.

Tăng khoảng cách truyền dữ liệu, đồng thời tăng số lượng LED phát để cải thiện thêm hiệu suất chiếu sáng.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] N. Wang, Y. Qiao, W. Wang, S. Tang, and J. Shen (2018), “Visible Light Communication based Intelligent Traffic Light System: Designing and Implementation,” in *Asia Communications and Photonics Conference, ACP*, pp. 1–3.
- [2] S. V. Tiwari, A. Sewaiwar, and Y. H. Chung (2015), “Smart home technologies using Visible Light Communication,” in *2015 IEEE International Conference on Consumer Electronics, ICCE 2015*, pp. 379–380.
- [3] L. Ding, F. Liu, Z. Yu, and Y. Wang (2013), “The demonstration of wireless access via visible light communications,” in *2013 International Conference on Wireless Communications and Signal Processing, WCSP 2013*, pp. 1–4.
- [4] Y. Wang *et al.*, “High-speed quasi-balanced detection OFDM in visible light communication,” *Opt. Express*, vol. 21, no. 23, p. 27558, 2013.
- [5] Y. Wang and N. Chi (2014), “A high-speed bi-directional visible light communication system based on RGB-LED,” *China Commun.*, vol. 11, no. 3, pp. 40–44.
- [6] M. Y. Soh, W. X. Ng, Q. Zou, D. Lee, T. H. Teo, and K. S. Yeo (2018), “Real-Time Audio Transmission Using Visible Light Communication,” in *TENCON 2018 - 2018 IEEE Region 10 Conference*, pp. 2223–2226.
- [7] S. Liang, Y. Zhou, M. Zhang, and N. Chi (2016), “Experiment of Audio Visual Communication System Based on White LED and Intelligent Mobile Terminal,” in *2016 15th International Conference on Optical Communications and Networks (ICOON) Experiment*, pp. 1–3.
- [8] S. Riurean, R. Stoica, and M. Leba (2017), “Visible Light Communication for Audio Signals,” *Int. J. Commun.*, vol. 2, pp. 24–27.
- [9] A. Baklanov, S. Grigoryeva, A. Alimkhanova, and E. Grigoryev (2019), “Audio Transmission System Using White LEDs,” *2019 Int. Sib. Conf. Control Commun.*, pp. 1–4.
- [10] G. Pang, C. Chan, and T. Kwan (2000), “Tricolor light emitting diode dot

matrix display system with audio output,” in *Conference Record of the 2000 IEEE Industry Applications Conference. Thirty-Fifth IAS Annual Meeting and World Conference on Industrial Applications of Electrical Energy*.

- [11] A. Assabir, J. Elmhamdi, A. Hammouch, and A. Akherraz (2016), “Transmission of the Sound at the Base of the PWM,” in *2nd International Conference on Electrical and Information Technologies ICEIT’2016*, pp. 1–6.