

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

-----\*\*\*-----



**NGUYỄN XUÂN SƠN**

**PHÂN TÍCH VÀ ĐÁNH GIÁ HIỆU NĂNG MẠNG VLC  
TRONG NHÀ DỰA TRÊN CÔNG NGHỆ CDMA**

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

**Hà Nội - 2021**

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG

-----\*\*\*-----



NGUYỄN XUÂN SƠN

# **PHÂN TÍCH VÀ ĐÁNH GIÁ HIỆU NĂNG MẠNG VLC TRONG NHÀ DỰA TRÊN CÔNG NGHỆ CDMA**

**Chuyên ngành: Kỹ thuật viễn thông**

**Mã số: 8.52.02.08**

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

**NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC**  
**TS. PHẠM THỊ THÚY HIỀN**

**Hà Nội - 2021**

## **LỜI CAM ĐOAN**

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu mà tôi đã thực hiện dưới sự hướng dẫn của TS. Phạm Thị Thúy Hiền. Các số liệu, kết quả trong luận văn là trung thực và chưa từng được ai công bố trong bất kỳ công trình nào khác.

Tác giả luận văn

**NGUYỄN XUÂN SƠN**

## MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN .....	i
MỤC LỤC.....	ii
DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU, CHỮ VIẾT TẮT .....	v
DANH MỤC BẢNG.....	vii
CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ TRUYỀN THÔNG ÁNH SÁNG NHÌN THẤY ...	1
1.1 Tổng quan về công nghệ VLC .....	1
1.1.1 Giới thiệu về công nghệ VLC .....	1
1.1.2 Lịch sử phát triển công nghệ VLC .....	1
1.1.3 Đặc điểm công nghệ VLC .....	5
1.1.3.1 Dung lượng.....	5
1.1.3.2 An toàn .....	5
1.1.3.3 Bảo mật.....	5
1.2 Cấu trúc hệ thống VLC .....	6
1.2.1 Mô hình hệ thống .....	6
1.2.2 Phía phát.....	7
1.2.2.1 Cấu trúc phía phát.....	7
1.2.2.2 Hoạt động của LED .....	7
1.2.2.3 Phân loại đèn LED .....	8
1.2.3 Kênh truyền.....	11
1.2.3.1 VLC đơn kênh (Hệ thống 1 đầu vào – 1 đầu ra: SISO) .....	11
1.2.3.2 VLC đa kênh .....	12
1.2.4 Phía thu.....	13
1.2.4.1 Bộ tách sóng quang .....	13
1.2.4.2 Bộ tập trung quang .....	15

1.2.4.3	Bộ lọc quang.....	16
1.2.5	Các phương pháp điều chế sử dụng trong VLC.....	16
1.2.5.1	Phương pháp điều chế khóa bật tắt OOK.....	16
1.2.5.2	Phương pháp điều chế vị trí xung biến đổi .....	19
1.2.5.3	Phương pháp điều chế R-RZ (Reverse- RZ) .....	22
1.2.5.4	Phương pháp điều chế khóa dịch màu (Color-Shift Keying).....	23
1.3	Ứng dụng của VLC trong cuộc sống .....	24
1.3.1	Ứng dụng trong cuộc sống thông minh.....	24
1.3.2	Ứng dụng trong nhà xưởng thông minh và IoT .....	27
1.4	Kết luận chương.....	27
Chương 2: Kỹ thuật đa truy nhập phân chia theo mã CDMA .....		28
2.1	Nguyên lý của kỹ thuật đa truy nhập phân chia theo mã (CDMA) .....	28
2.2	Kỹ thuật trải phổ .....	28
2.2.1	Trải phổ chuỗi trực tiếp.....	30
2.2.2	Trải phổ nhảy tần số .....	32
2.2.3	Trải phổ nhảy thời gian .....	33
2.3	Kỹ thuật đa truy nhập phân chia theo mã quang.....	34
2.3.1	Kỹ thuật đa truy nhập phân chia theo mã quang.....	34
2.3.2	Các hệ thống OCDMA quang .....	34
2.3.3	Mã sử dụng trong hệ thống CDMA quang.....	36
2.3.3.1	Mã nguyên tố 1D .....	36
2.3.3.2	Mã nguyên tố 2D WH/TS .....	38
2.3.4	Nhiều trong hệ thống CDMA quang.....	41
2.3.4.1	Nhiều bộ thu .....	41
2.3.4.2	Nhiều đa truy nhập .....	41

2.4	Kết luận chương .....	42
CHƯƠNG 3: PHÂN TÍCH VÀ ĐÁNH GIÁ HIỆU NĂNG MẠNG VLC DỰA TRÊN KỸ THUẬT CDMA .....		
		43
3.1	Giới thiệu chung.....	43
3.2	Mạng và mô hình kênh .....	46
3.2.1	Mã hóa mạng tương tự .....	46
3.2.2	Mô hình kênh VLC .....	49
3.3	Phân tích hiệu năng .....	50
3.3.1	Tỉ lệ lỗi bit .....	51
3.3.2	Thông lượng mạng .....	53
3.4	Các kết quả số liệu .....	55
3.5	Kết luận chương.....	60
KẾT LUẬN .....		61
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....		62

## DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU, CHỮ VIẾT TẮT

Viết tắt	Tiếng Anh	Tiếng Việt
BER	Bit error rate	Tỷ lệ bit lỗi
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
NLOS	None Light of Sight	Tầm nhìn không thẳng
OLED	Organic Light emitting diode	Đèn quang điện hữu cơ
PPM	Pulse Position Modulation	Điều chế vị trí xung
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
PWM	Pulse Width Modulation	Điều chế độ rộng xung
FDMA	Frequency Division Multiple Access	Đa truy nhập phân chia theo tần số
CPC	Compound Parabolic Concentrator	Bộ tập trung quang
APD	Avalanche Photo-Diode	Diode quang thác điện tử
CSK	Color-Shift Keying	Điều chế khóa dịch màu
SSL	Solid-State Sighting	Ánh sáng bán dẫn
NRZ-OOK	Non-Return-to-Zero ON/OFF Keying	Mã hóa không trở về

		không
VPM	Variable Pulse Position Modulation	Điều chế xung biến đổi
CDMA	Code Division Multiple Access	Đa truy nhập phân chia theo mã
OCDMA	Optical Code Division Multiple Access	Đa truy nhập phân chia theo mã quang
TDMA	Time Division Multiple Access	Đa truy nhập phân chia theo thời gian
WDMA	Wavelength Division Multiple Access	Đa truy nhập phân chia theo bước sóng



## DANH MỤC BẢNG

Bảng 1.1 Lịch sử phát triển của VLC .....	3
Bảng 1.2 So sánh các tham số của VLC, IRB và FRB .....	6
Bảng 2.1 Phép toán cộng và nhân trong $GF(7)$ .....	37
Bảng 2.2 Chuỗi nguyên tố $S_i$ trong $GF(7)$ .....	38
Bảng 2.3 Bộ mã nguyên tố trong $GF(7)$ .....	38
Bảng 2.4: Mã nguyên tố xây dựng từ $p = 5$ .....	39
Bảng 2.5 Bộ mã nguyên tố 2D $p=5$ .....	40
Bảng 3.1 Các hằng số và tham số mạng .....	55

## DANH MỤC HÌNH

Hình 1.1 Dải phổ ánh sáng nhìn thấy.....	1
Hình 1.2 Mô hình của một hệ thống VLC .....	7
Hình 1.3 Thành phần phía phát của hệ thống VLC .....	7
Hình 1.4: Cơ chế hoạt động của LED .....	8
Hình 1.5 Phân loại LED .....	9
Hình 1.6 Hai cách tạo ra ánh sáng trắng từ LED .....	10
Hình 1.7 Cường độ phát xạ của LED: (a) LED đơn chip, (b) LED RGB.....	10
Hình 1.8 Mô hình kênh truyền LOS .....	12
Hình 1.9 Thành phần thu hệ thống VLC.....	13
Hình 1.10 Cấu trúc Diode PIN .....	14
Hình 1.11 Cấu trúc Diode thác APD.....	15
Hình 1.12 Bộ tập trung quang CPC .....	15
Hình 1.13 Quá trình phản xạ tại CPC .....	16
Hình 1.14 Điều chế NRZ-OOK .....	17
Hình 1.15 Hàm cơ sở (a) và không gian tín hiệu NRZ-OOK (b) .....	17
Hình 1.16 Tăng độ sáng bằng cách chèn thêm các ký hiệu dư thừa CS .....	19
Hình 1.17 Hàm cơ sở của 2-PPM.....	20
Hình 1.18 Mô hình VPM cấu tạo từ 2-PPM với độ sáng 50%(a) và PWM để điều chỉnh độ sáng (b) .....	20
Hình 1.19 Dạng sóng của tín hiệu VPM với độ rộng xung 75% .....	21
Hình 1.20 Điều chỉnh sáng tối trong điều chế VPM .....	21
Hình 1.21 Tín hiệu cơ bản của hai phương pháp RZ và IRZ.....	22
Hình 1.22 Tín hiệu R-RZ cơ bản.....	22

Hình 1.31 Khả năng ứng dụng VLC ở trong khoang máy bay .....	24
Hình 1.32 Hệ thống giao thông thông minh sử dụng VLC .....	25
Hình 1.33 VLC trong truyền thông dưới nước .....	25
Hình 1.34 Ứng dụng VLC trong bệnh viện .....	26
Hình 1.35 Ứng dụng VLC trong định vị .....	26
Hình 2.1: Quá trình trải phổ và nén phổ trong kỹ thuật CDMA .....	28
Hình 2.2 Sơ đồ khối điều chế và khối giải điều chế DS-SS .....	30
Hình 2.3 Phổ của tín hiệu trước và sau khi trải phổ .....	31
Hình 2.4 Dạng sóng của tín hiệu trước trải phổ và sau trải phổ .....	31
Hình 2.5 Phổ của tín hiệu FH – SS .....	32
Hình 2.6 Sơ đồ khối tạo và khối thu tín hiệu FH – SS .....	32
Hình 2.7 Truyền tín hiệu theo kỹ thuật trải phổ theo thời gian .....	33
Hình 2.8 Sơ đồ khối tạo và khối thu tín hiệu TH – SS .....	33
Hình 2.9 Chia sẻ tài nguyên theo mã .....	34
Hình 2.10 Sơ đồ khối của hệ thống OCDMA .....	36
Hình 3.1 Mô hình mạng VLC .....	46
Hình 3.2 (a) Chuyển tiếp hai chiều thông thường; (b) Mã hóa mạng số; (c) Mã hóa mạng tương tự [15] .....	47
Hình 3.3 Sơ đồ khối của bộ phối hợp .....	49
Hình 3.4 Tỷ lệ lỗi bit (BER) theo công suất quang phát của người dùng c với $K=8$ người dùng. ....	57
Hình 3.5 Tỷ lệ lỗi bit (BER) theo công suất quang phát của người dùng c với $r = 0.5$ m. ....	58
Hình 3.6 Tỷ lệ lỗi bit theo số lượng người dùng hoạt động với điều khiển công suất .....	59

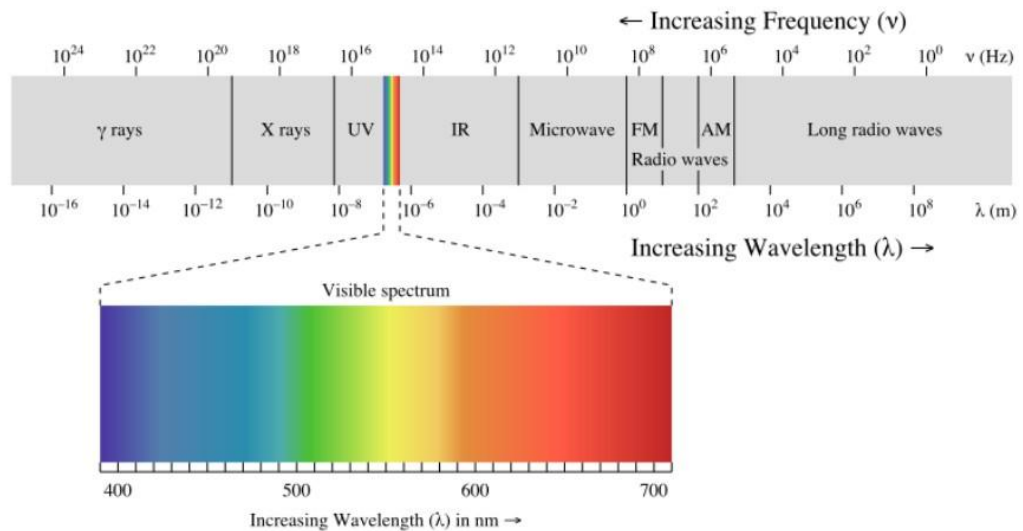
Hình 3.7 Thông lượng mạng theo số lượng người dùng hoạt động với $N = 5000$ bits .....	59
Hình 3.8 Tỷ lệ lỗi bit theo góc nhìn với $\Psi_c$ với $\phi_{12} = 70^\circ$ , $P_c, dT = 290$ mW và $K$ $= 8$ người dùng .....	60

# CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ TRUYỀN THÔNG ÁNH SÁNG NHÌN THẤY

## 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 một hệ thống thông tin không dây, hệ thống này hoạt động 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**

Công nghệ VLC được biết đến với việc sử dụng ánh sáng để truyền tin, tiết kiệm năng lượng so với hạ tầng chiếu sáng có sẵn. Hơn thế nữa, VLC so với công nghệ tần số vô tuyến được xem như thân thiện hơn rất nhiều.

### 1.1.2 Lịch sử phát triển công nghệ VLC

Nhiều năm trước, đã có rất nhiều nghiên cứu về VLC và ý tưởng sử dụng LED để chiếu sáng và truyền tin.

Động lực chính để công nghệ này phát triển chính là việc chiếu sáng bằng chất bán dẫn ngày càng được chú tâm, tuổi đời của LED dài hơn, có độ sáng cao so

với những nguồn sáng nhân tạo hiện tại. Cùng với đó là tốc độ băng thông/dữ liệu cao, bảo mật về dữ liệu tốt, giúp cho an toàn sức khỏe và tiết kiệm được năng lượng.

Khái niệm về VLC được biết đến là một phương thức truyền thông tin. Phương thức này ra đời từ năm 1870, khi mà Alexander Granham Bell đưa ra mô hình truyền dẫn về tín hiệu âm thanh được sử dụng bằng gương chiếu sáng nhưng vẫn tạo ra được để dao động tạo ra bởi âm thanh của một người. Mô phỏng đầu tiên của VLC đó là máy phát âm thanh, mô phỏng này được diễn ra vào năm 1880 khi mà con người sử dụng ánh sáng mặt trời tựa như một nguồn sáng. Khi đó, Bell và Tainter đã thực hiện thành công khi truyền tin ở khoảng cách 213 mét với thí nghiệm máy phát âm thanh sử dụng ánh sáng. Nhưng, hệ thống khi đó của Bell vẫn gặp nhiều nhược điểm, cơ bản là hệ thống phụ thuộc vào ánh sáng mặt trời, một loại ánh sáng không phải lúc nào cũng có được.

Ánh sáng bán dẫn được hình thành bởi sự phát quang điện. Từ những năm 1990, LED với độ sáng cao được giới thiệu với mục đích chiếu sáng. Chỉ từ vài năm, hiệu quả của việc sử dụng LED để chiếu sáng tăng lên nhanh chóng từ 0.1lm/W tới hơn 230lm/W, thời gian sống của LED lên tới 100000 giờ. Hiện tại, chúng ta có thể thấy các nguồn chiếu sáng khác như OLED trong đó OLED sử dụng độ chiếu sáng tương đối thấp khoảng 100lm/W và thời gian hoạt động ngắn hơn so với LED. Bởi vậy, OLED hạn chế sử dụng hiển thị các màu sắc khác nhau, chiếu sáng chung ở thời điểm hiện tại. Tuy nhiên, OLED chính là giải pháp thay thế cho chiếu sáng và truyền tin ở những khu vực lớn.

Đối với những đèn chiếu sáng cổ điển có hiệu năng chiếu sáng trong khoảng 52lm/W và những đèn huỳnh quang sử dụng ánh sáng đỉnh của LED trắng vượt qua 260lm/W. Từ hai so sánh trên, SSL sẽ trở thành một công nghệ cần thiết đối với việc tiết kiệm năng lượng, đảm bảo an toàn với môi trường. Công nghệ sử dụng SSL 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.

Chính vì vậy mà LED là các nguồn lý tưởng để ứng dụng với hai mục đích chiếu sáng và truyền dữ liệu ở cả trong nhà và ngoài trời trong tương lai, khi đó có thể tiết kiệm năng lượng rất nhiều. Bằng việc sử dụng LED kết hợp ba màu: đỏ, xanh lá và xanh da trời, khi đó tiến hành sử dụng máy phát để kết hợp giữa ánh sáng xanh và huỳnh quang. Từ đó tạo nên những nghiên cứu và phát triển về hệ thống VLC.

Lịch sử phát triển 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	LED được công bố là thiết bị truyền dẫn dữ liệu tốc độ cao, sử dụng bằng thiết bị di động tại Nhật Bản.
2005	Hệ thống truyền dẫn VLC tới điện thoại di động được thử nghiệm thực tế với tốc độ 10 kb/s và vài Mb/s. Thiết bị sử dụng là đèn huỳnh quang và LED tại Nhật Bản.
2007	Sử dụng màn hình LCD để thực hiện truyền dẫn VLC. Thiết bị sử dụng đèn nền LED.
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	Ban hành tiêu chuẩn kỹ thuật đầu tiên của VLCC. Phổ tần sử dụng VLC được đưa ra.
2010	Công nghệ VLC được phát triển, các thiết bị như TV, PC, điện thoại di động là những thiết bị được đưa vào áp dụng.
2010	GPS được đưa ra tại Nhật Bản, môi trường ở đây là trong nhà.
2010	Tốc độ truyền dẫn của VLC lên đến 500Mb/s trong khoảng cách 5m, thực hiện bởi Siemen và viện Heinrich Het, Đức.
2010	IEE đưa ra tiêu chuẩn cho các công nghệ sử dụng VLC
2011	Hệ thống VLC-OFDM được trình diễn, sử dụng tốc độ 124Mb/s, LED trắng phủ phốt pho, 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>- Một mạng nội bộ đã tiến hành sử dụng VLC với tốc độ truyền lên đến 1.25 Gbit/s vào 04/2014 bởi công ty Stins Coman của Nga</li> <li>- Hệ thống VLC với LED RGB có tốc độ 300 Mbit/s trong cự ly 25 feet được sản xuất bởi Axrtek 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: Đối với phổ sóng vô tuyến: gấp 10000 lần so với sóng ánh sáng và được miễn phí khi sử dụng chúng.
- ❖ Mật độ dữ liệu: So với công nghệ WIFI: VLC có thể đạt được mật độ dữ liệu lên tới 1000 lần. Bởi vì vật cản không thể ngăn được ánh sáng nhìn thấy còn sóng vô tuyến bị thoát ra ngoài và gây nhiễu.
- ❖ Tốc độ cao: Vì băng thông lớn, cường độ của ánh sáng chiếu ra lớn nên VLC dễ dàng đạt được tốc độ cao nhờ nhiễu thấp.
- ❖ Dễ dàng quản lý: Vì ánh sáng nhìn thấy dễ quản lý hơn vso với sóng vô tuyến, bởi vì không gian giới hạn.

#### **1.1.3.2 An toàn**

- ❖ Sức khỏe con người được đảm bảo.
- ❖ Trên máy bay, việc truyền dẫn không bị ảnh hưởng. Các thiết bị trong bệnh viện không bị gây nhiễu bởi các máy móc.

#### **1.1.3.3 Bảo mật**

- ❖ Vì VLC không thể đâm xuyên qua các vật, chỉ truyền tập trung ở một khu vực nhất định nên rất khó để thu thập hay tìm hiểu các tín hiệu thông tin.
- ❖ Có thể quản lý truyền dẫn thông tin dễ dàng bởi đây là ánh sáng nhìn thấy, không cần phương thức bảo mật phức tạp..
- ❖ Đối với các đường truyền tốc độ cao: chúng ta chỉ cần đường lên với tốc độ thấp để: download video, audio, duyệt Web... Qua đó ta có thể giải quyết vấn đề này bằng việc sử dụng công nghệ VLC.

Dưới đây là Bảng 1.2 so sánh các đặc tính của VLC và công nghệ IR và RF:

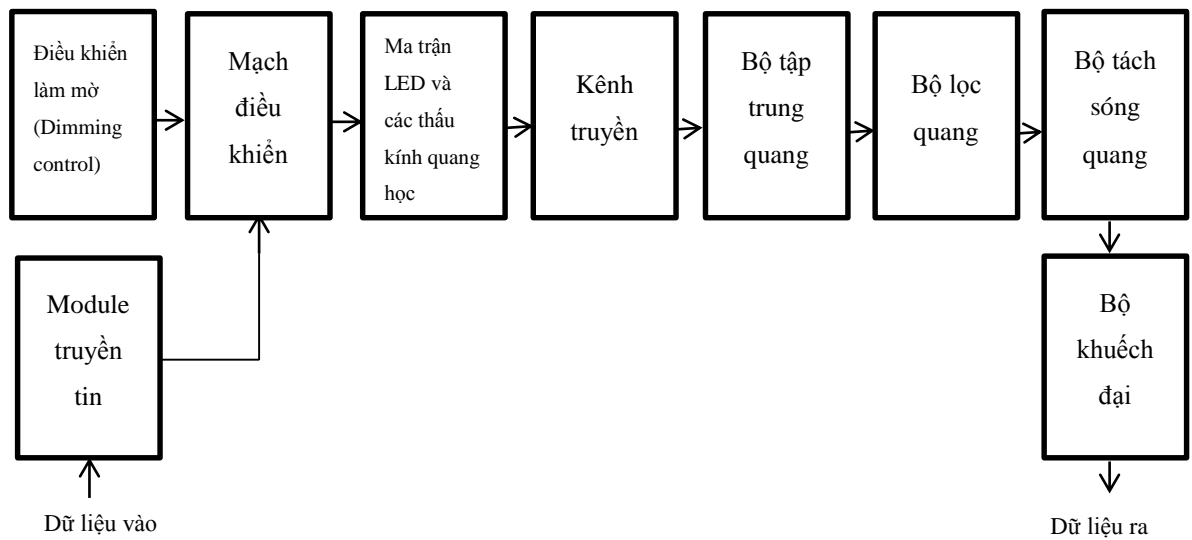
**Bảng 1.2 So sánh các tham số của VLC, IRB và FRB**

<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**

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

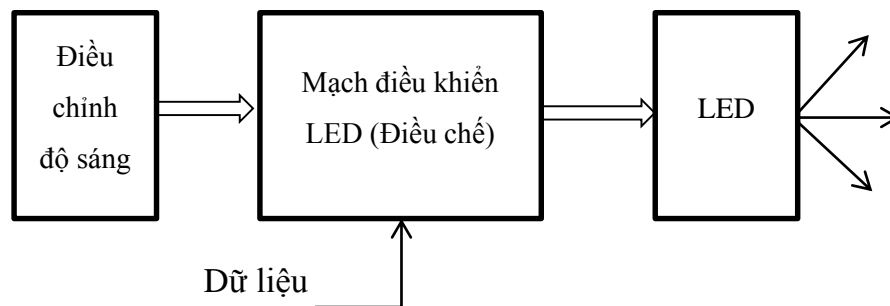


**Hình 1.2 Mô hình của một hệ thống VLC**

## 1.2.2 Phía phát

### 1.2.2.1 Cấu trúc phía phát

Các thành phần của phía phát bao gồm thiết bị phát bán dẫn ánh sáng nhìn thấy (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).



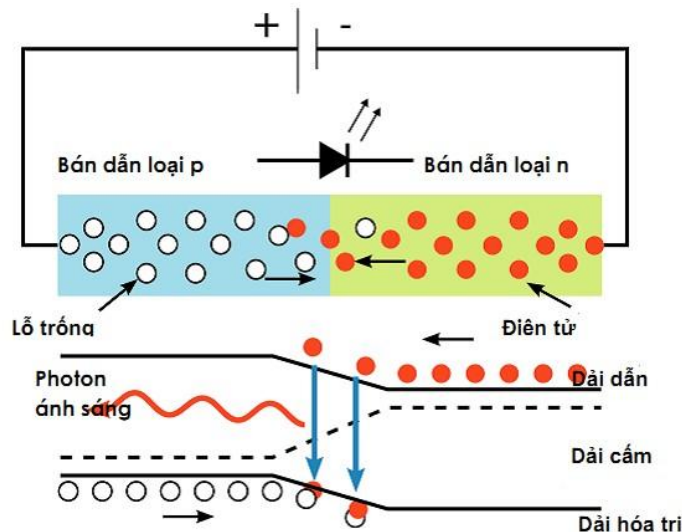
**Hình 1.3 Thành phần phía phát của hệ thống VLC**

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.

### 1.2.2.2 Hoạt động của LED

Khi phân cực thuận LED sẽ nhận được dòng bơm khiến các điện tử ở vùng hóa trị nhảy lên vùng dẫn. Khi ở điều kiện bình thường, các điện tử trong vùng hóa trị sẽ lớn so với vùng dẫn. Khi ở trạng thái được kích thích, các điện tử chuyển sang

mức năng lượng khác khiến điện tử vùng dẫn lớn hơn so với vùng hóa trị. Đây chính là hiện tượng đảo mật độ. Đồng thời, do điện trường phân cực thuận tác động, ở lớp tích cực, các điện tử cũng như các lỗ trống được khuếch tán. Tại đây, từng cặp điện tử, lỗ trống được kết hợp và photon ánh sáng sẽ được phát ra. Chủ yếu ở đây là hiện tượng phát xạ tự phát. Hoạt động trên được diễn tả qua hình 1.4.



**Hình 1.4: Cơ chế hoạt động của LED**

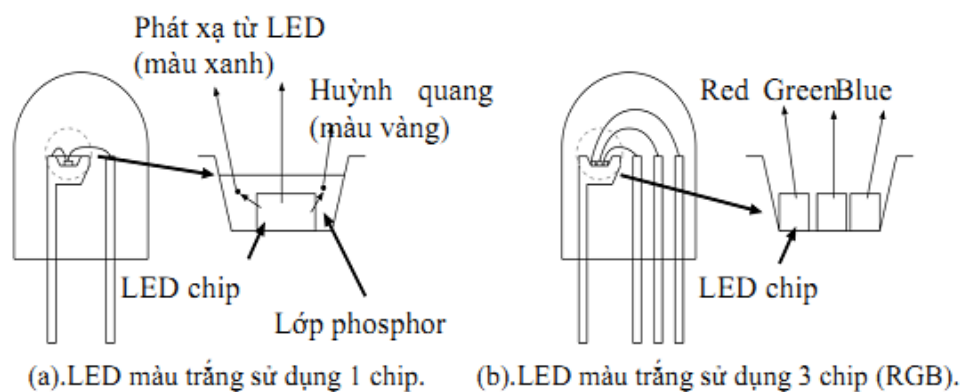
Đối với LED thì việc điều chỉnh mức làm mờ là một thuận lợi. Tuy nhiên, LED có trở ngại đó là không thể làm mờ chính xác khi áp dụng với các đèn dây tóc và đèn phóng điện qua khí. Đó là bởi vì đáp ứng thời gian trong suốt hoạt động chuyển mạch tắt mở của LED rất ngắn (chỉ vài chục nano giây). Khi đó, người ta điều chế dòng điều khiển của LED, chuyển LED về trạng thái ON, OFF với một tần số tương đối cao. 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

Có rất nhiều loại LED được sử dụng để chế tạo ra ánh sáng trắng bao gồm LED đơn màu phủ photophor hoặc LED RGB (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 cấu tạo với một chip bán dẫn xanh, phủ thêm lớp photophor bên ngoài. Khi cấp điện, chip sẽ

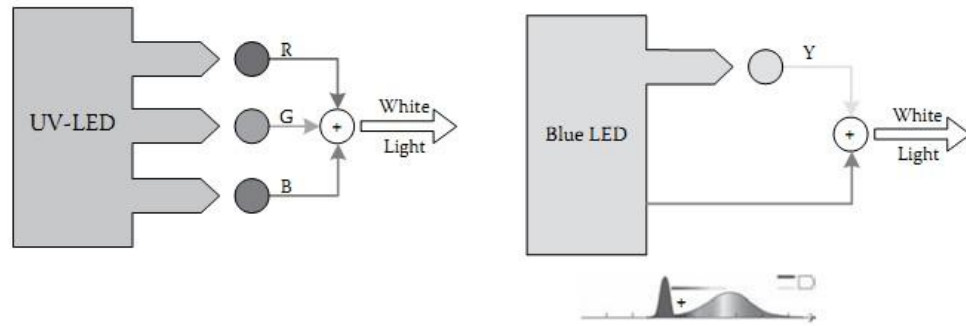
phát ra ánh sáng màu xanh, phot pho sẽ phát ra huỳnh quang màu vàng. Kết hợp hai màu tạo ra ánh sáng trắng. Loại thứ hai là LED cấu tạo với ba chip màu riêng biệt R (~625nm), G(~525nm), B(~470nm). Sau đó ba màu này kết hợp tạo ra ánh sáng trắng.

LED đơn chip phủ phot pho có ưu điểm là giá thành rẻ, mạch điều khiển không phức tạp tuy nhiên tồn tại nhiều hạn chế như lớp phot pho chỉ hoạt động khi chip màu xanh sáng, do vậy tốc độ đáp ứng sẽ thấp hơn so với RGB. Ở hình 1.5(a) LED đơn chip có thêm hạn chế đó là băng thông và cách khắc phục ở đây là sử dụng bộ lọc ở bên thu trước khi có ánh sáng tới photodiode. Trong hình 1.5(b), LED RGB mang tới 3 kênh truyền riêng, mỗi kênh sử dụng một chip LED do đó rất phù hợp cho hệ thống WDM. Tuy nhiên khi truyền dẫn trong VLC cần đảm bảo cân bằng về màu sáng và ánh sáng.



**Hình 1.5 Phân loại LED**

Vì lý do LED sử dụng trong chiếu sáng và truyền thông nên cần xác định được đại lượng đặc trưng là cường độ chiếu sáng và công suất quang. Trong đó, cường độ chiếu sáng chính là độ sáng của bóng đèn, còn công suất quang là năng lượng phát ra từ LED.



**Hình 1.6 Hai cách tạo ra ánh sáng trắng từ LED**

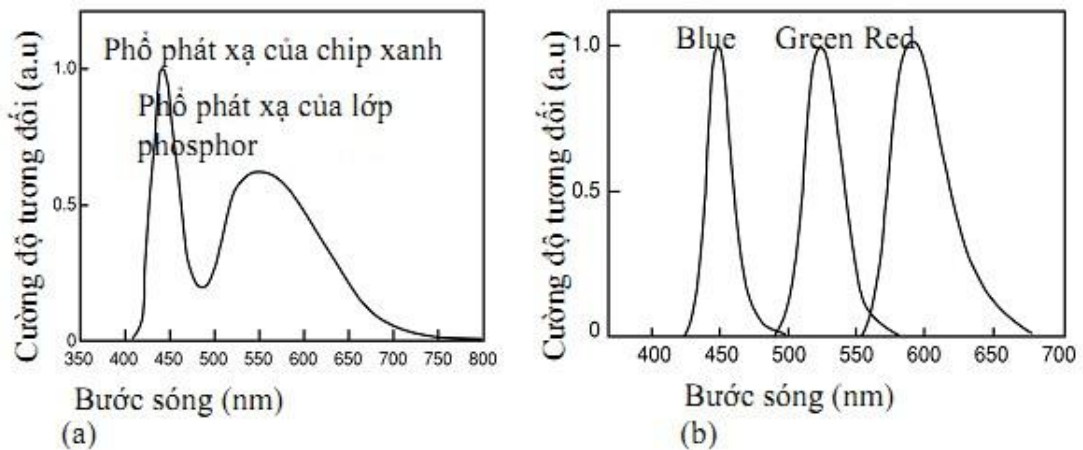
Cường độ chiếu sáng được tính bằng quang thông qua mỗi góc khối theo công thức:

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

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**

Lumen (ký hiệu là lm) là đơn vị SI sử dụng đo tổng lượng quang thông phát ra từ nguồn sáng. Nhưng quang thông khác với công suất đó là phản ánh sự thay đổi của độ nhạy đối với mắt người còn công suất quang làm

cho ta biết được toàn bộ năng lượng của ánh sáng mà không cần phải cảm nhận bằng mắt người.

### 1.2.3 *Kênh truyền*

Trong thông tin liên lạc, kênh truyền 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 phần 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

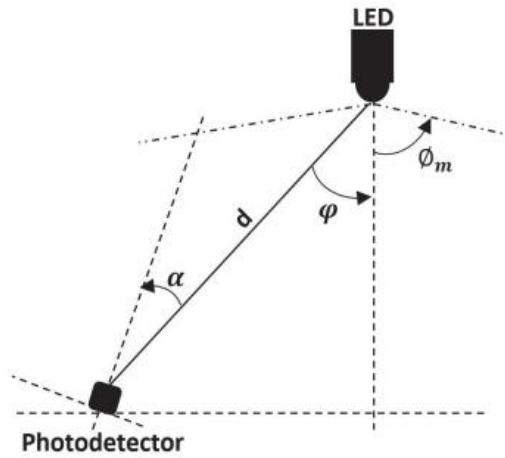
$B$  là băng thông kênh truyền

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

$g$  là độ lợi kênh

Ánh sáng trong 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**

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 tương ứng như ăng ten và bộ tách sóng.



Ma trận 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:

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

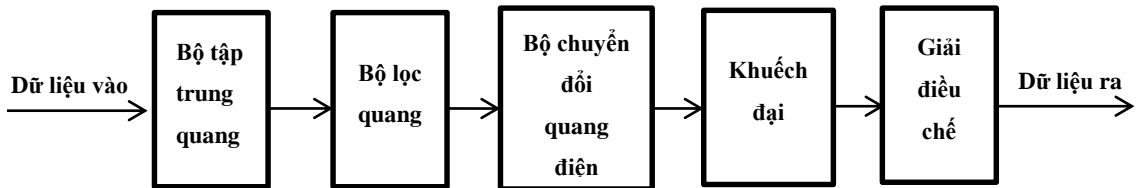
Trong đó:  $\Gamma = \min(n, z)$  và  $C_{\text{SISO}}$  là dung lượng kênh truyền hệ thống VLC đơn kênh

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

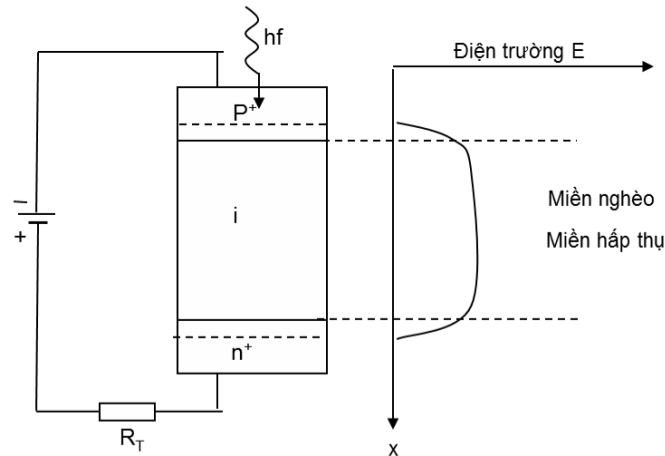
Thành phần chính trong phía thu của hệ thống VLC là bộ tách sóng quang. Như trong hình 1.9 ta thấy phía thu của hệ thống còn có thêm các thành phần: Bộ tập trung quang, bộ lọc quang mạch khuếch đại và bộ giải điều chế.



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. 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**

Bộ tách sóng quang có thể hoạt động với các bước sóng dài chỉ khi miền nghèo rộng cần thiết, khi đó ánh sáng thâm nhập được sâu hơn vào vật liệu bán dẫn. Muốn đạt được thì vật liệu loại n cần được pha trộn ít và giống như bán dẫn thuần (i), khi đó Diode PIN được định thiên ngược. Ánh sáng bắt đầu từ phía p, mỗi photon có năng lượng cao hơn hoặc bằng năng lượng của dải cấm  $E_g$  sẽ vượt qua dải cấm để đi tới dải dẫn bằng cách kích thích điện tử. Quá trình này sẽ tạo ra trong dải hóa trị một lỗ trống và từ đó hình thành các cặp điện tử-lỗ trống. Còn đối với lớp nghèo, bằng tác động do điện trường ngoài, các cặp điện tử-lỗ trống bị tách ra khỏi nhau, điện tử sẽ đi về phía n còn lỗ trống về p. Chúng sẽ đi ra mạch ngoài và từ đó tạo thành dòng điện. Dòng tách quang  $I_p$  được sinh ra

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

Trong đó:  $e$  là điện tích của điện tử

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

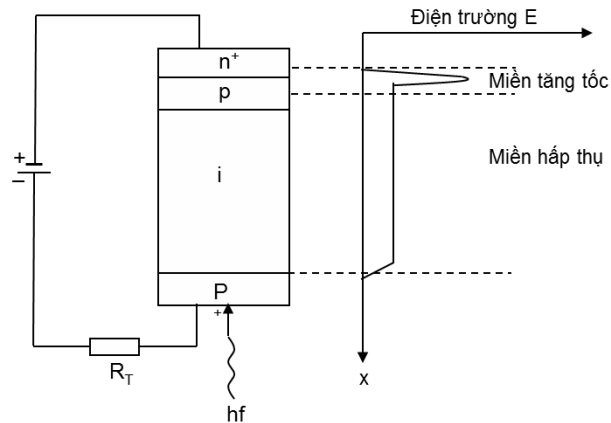
$d$  là độ rộng của miền hấp thụ

$P_0$  là công suất của ánh sáng tới.

Với APD, nguyên lý hoạt động của Diode tách quang thác cũng tương tự. Tuy nhiên, các cặp điện tử-lỗ trống sẽ bị va đập với các nguyên tử bán dẫn do gia tốc trong miền điện trường. Dưới tác động của quá trình ion hóa sinh ra từ va chạm mà tạo thành các cặp điện tử-lỗ trống thứ cấp. Qua miền điện trường, các hạt tải

điện thứ cấp được gia tốc do đó tạo ra các cặp điện tử-lỗ trống mới và có hiệu ứng thác.

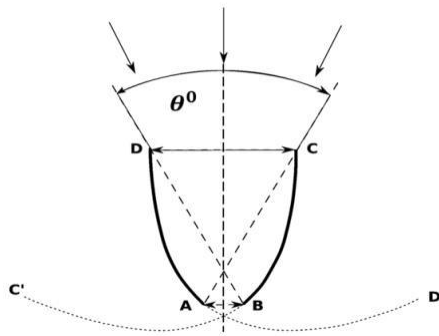
Trong VLC, Diode Pin và APD silicon với độ nhạy quang từ 190nm tới 1000nm sẽ phù hợp với bước sóng của VLC.



**Hình 1.11 Cấu trúc Diode thác APD**

#### 1.2.4.2 Bộ tập trung quang

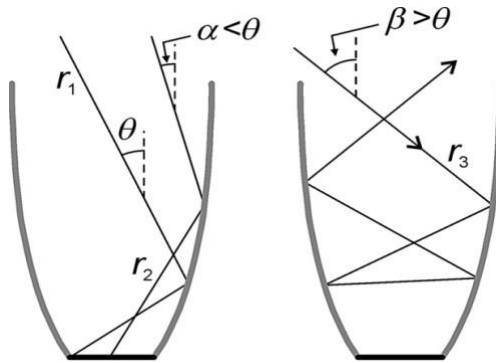
Tác dụng của bộ tập trung quang là tập trung ánh sáng vào máy thu. Bộ tập trung quang thường được sử dụng trong VLC là bộ tập trung quang CPC.



**Hình 1.12 Bộ tập trung quang CPC**

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

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

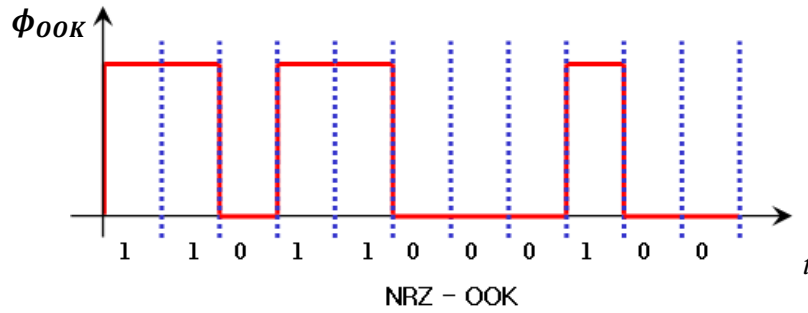
Bộ lọc quang dùng để loại bỏ các ánh sáng từ nguồn bên ngoài (ánh sáng mặt trời, ánh sáng đèn) cũng như ánh sáng khác gây nhiễu. Ngoài ra, tín hiệu sẽ được qua các bộ khuếch đại trước khi được giải điều chế.

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.

### 1.2.5 Các phương pháp điều chế sử dụng trong VLC

#### 1.2.5.1 Phương pháp điều chế khóa bật tắt OOK

Trong hệ thống truyền dẫn không dây sử dụng tia hồng ngoại thì phương pháp OOK được áp dụng rất phổ biến. Phương pháp này còn được gọi là mã hóa không trở về không (NRZ-OOK)



**Hình 1.14 Điều chế NRZ-OOK**

Phương pháp điều chế NRZ-OOK bao gồm hai mức, cùng với đó là hai ký hiệu ứng với công suất  $2p$  hoặc  $0$ . Tín hiệu có thể được biểu diễn bằng hàm cơ sở  $\phi_{OOK}(t)$  được cho bởi biểu thức:

$$\phi_{OOK}(t) = \frac{1}{\sqrt{T}} \text{rect}\left(\frac{t}{T}\right) \quad (1.7)$$

Trong đó:

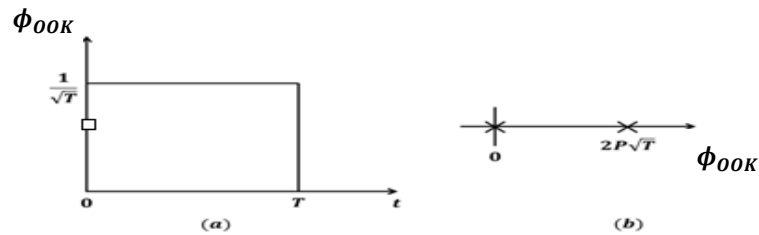
$T$  là chu kỳ ký hiệu và  $\text{rect}(t)$  được cho bởi công thức:

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

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:

$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} 2P\sqrt{T}A_{[k]}\phi_{OOK}(t - kT) \quad (1.8)$$

Với  $A[k] \in \{0,1\}$  và được chọn thống nhất, biên độ trung bình của  $x(t)$  được đặt tại  $P$ . Không gian tín hiệu của NRZ-OOK bao gồm hai điểm và được mô tả như trong hình 1.14



**Hình 1.15 Hàm cơ sở (a) và không gian tín hiệu NRZ-OOK (b)**

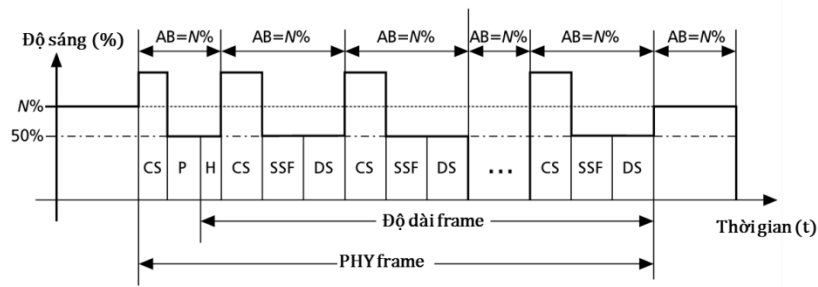
OOK có nhược điểm là hiện tượng nhấp nháy được tạo ra do nguyên tắc bật tắt theo bit 0,1. Để khắc phục hiện tượng này, tín hiệu sẽ được mã hóa với mã Manchester trước khi đưa vào điều chế, với mã hóa Manchester bit 0 được ký hiệu bằng 01, bit 1 được ký hiệu bằng 10, do đó sẽ tạo ra được bộ mã cân bằng 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).
- ❖ Giữ nguyên các mức tuy nhiên thay đổi về thời gian mức cao (tức thời gian tín hiệu ở mức cao/ chu kỳ) sử dụng phương pháp chèn ký hiệu dư thừa vào để điều chỉnh tăng giảm độ sáng. Ví dụ: độ sáng của dữ liệu là A% với chu kỳ  $T_1$  và các ký hiệu dư thừa có độ sáng B% với chu kỳ  $T_2$ , độ sáng trung bình N% sẽ được tính theo công thức:

$$N = \frac{AT_1 + BT_2}{T_1 + T_2} \quad (1.9)$$

Mỗi phương pháp đều có ưu nhược điểm riêng. Phương pháp thứ nhất sẽ gây ra hiện tượng thay đổi màu sắc vì khi đặt lại hai mức bật/tắt – tốc độ bit được giữ nguyên nhưng lại gây ra hiện tượng màu sắc thay đổi. 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 1.16 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  $\frac{1}{2}$  (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 1.16 Tăng độ sáng bằng cách chèn thêm các ký hiệu dư thừa CS**

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

Phương pháp điều chế vị trí xung biến đổi là phương pháp điều chế mới hơn, phương pháp này cung cấp cho VLC : 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 cung cấp chức năng không gây nhấp nháy và điều chế độ rộng xung cung cấp chức năng điều khiển độ sáng.

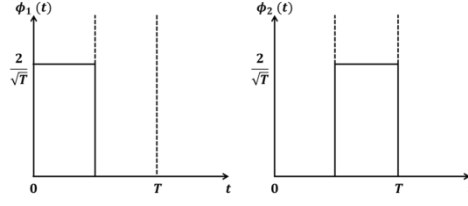
Đối với 2-PPM, mỗi chu kỳ ký hiệu sẽ ứng với 2 chu kỳ con (với  $M=2$ ). Trong một chu kỳ con, thông tin được gửi đi bằng cách truyền một cường độ quang khác, chu kỳ con còn lại được giữ nguyên. Mỗi chu kỳ thì không trùng lặp về thời gian do đó các ký hiệu sẽ là trực giao. Ví dụ ta có không gian tín hiệu  $M$ ,  $M$ -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:

$$\phi_m(t) = \sqrt{\frac{M}{T}} \text{rect} \left( \frac{t - \left(\frac{T}{M}\right)(m-1)}{\frac{T}{M}} \right) \quad (1.10)$$

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 1.17 Hàm cơ sở của 2-PPM**

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

$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} MP \sqrt{\frac{T}{M}} \phi_{A[k]}(t - kT) \quad (1.11)$$

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.

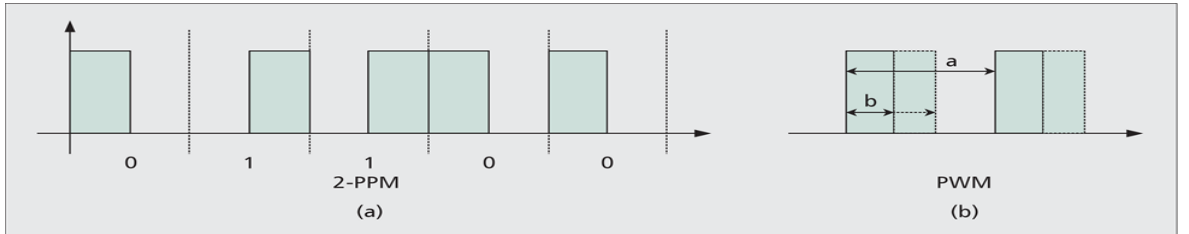
Công suất quang trung bình của mỗi chu kỳ không đổi bằng  $P$  với công suất đỉnh của mỗi chu kỳ là  $MP$ . Bởi các điểm trong không gian tín hiệu trực giao và cách đều với nhau nên xác suất lỗi ký hiệu được tính theo công thức:

$$P_{e(\text{ký hiệu})} \approx (M - 1) \cdot Q \left( P \sqrt{\frac{M}{2R_s \sigma^2}} \right) \quad (1.12)$$

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:

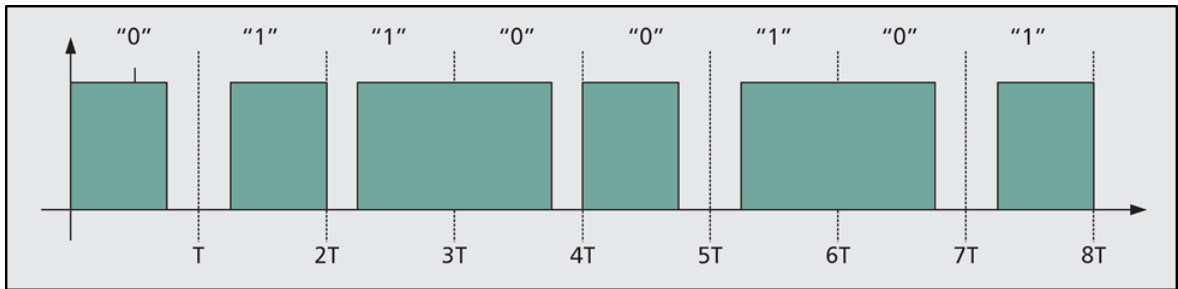
$$P_e \approx \frac{M}{2} \cdot Q \left( P \sqrt{\frac{M \log_2 M}{2R \sigma^2}} \right) \quad (1.13)$$

Với tốc độ bit:  $R = R_s \log_2 M$



**Hình 1.18 Mô hình VPM cấu tạo từ 2-PPM với độ sáng 50%(a) và PWM để điều chỉnh độ sáng (b)**

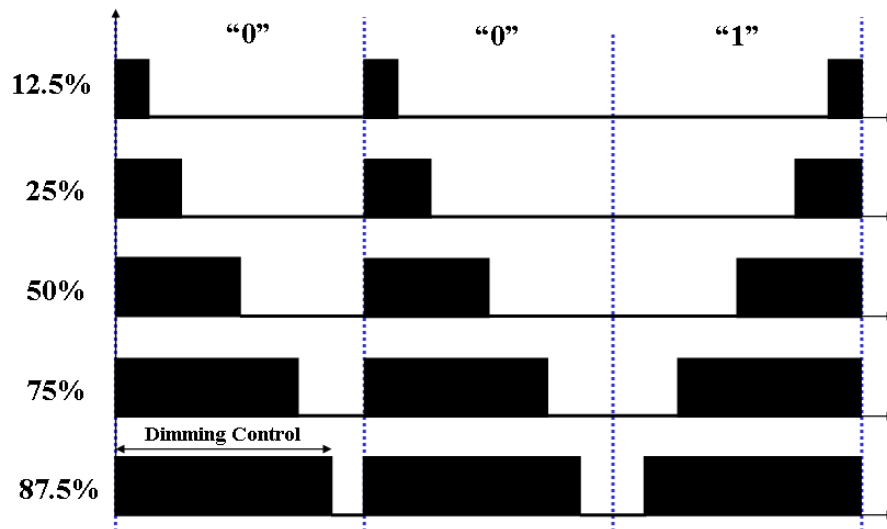




**Hình 1.19 Dạng sóng của tín hiệu VPM với độ rộng xung 75%**

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.

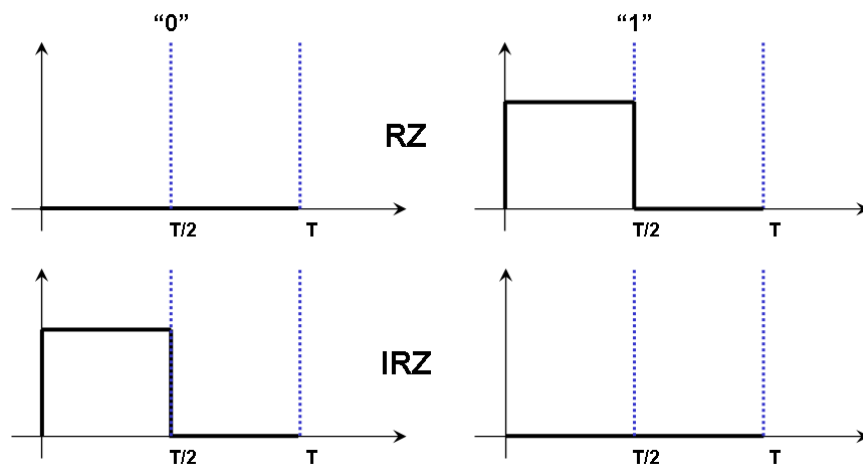
Trong hình 1.18b, độ rộng xung có thể được điều chỉnh để cung cấp độ sáng theo yêu cầu. Hình 1.19 mô tả dạng sóng của VPM có thể đạt được 75% độ sáng với bit 0 và 1 có độ rộng xung là 75%.



**Hình 1.20 Điều chỉnh sáng tối trong điều chế VPM**

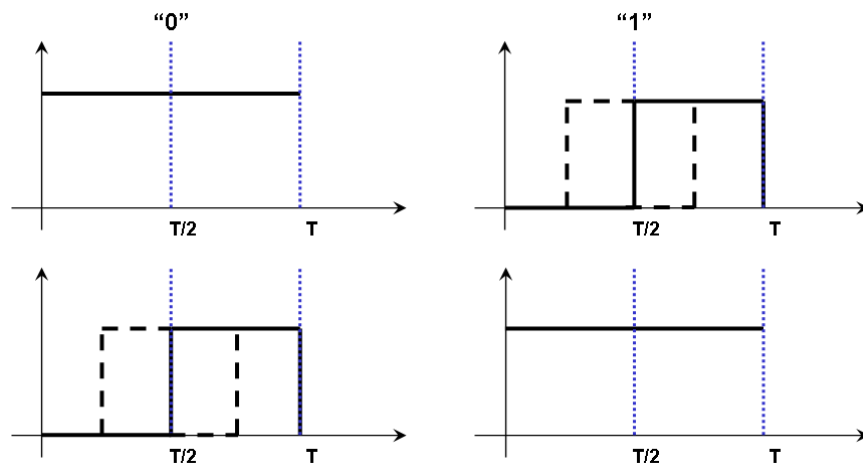
### 1.2.5.3 Phương pháp điều chế R-RZ (Reverse- RZ)

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 1.21 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 1.21.



**Hình 1.22 Tín hiệu R-RZ cơ bản**

#### 1.2.5.4 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 phốt pho, tuy nhiên lớp phốt pho 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. Phương pháp điều chế CSK có thể xem gần tương đồng với phương pháp điều chế khóa dịch tần ở chỗ các đoạn bit sẽ được điều chế với màu sắc phát ra. Ví dụ như đối với điều chế 4-CSK (hai bit cho một ký hiệu), một trong bốn bước sóng thích hợp 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:

$$C = \bar{x}(\lambda)X + \bar{y}(\lambda)Y + \bar{z}(\lambda)Z \quad (1.14)$$

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

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.

### **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 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 do đó ánh sáng dựa trên LED được sử dụng ở trong khoang của máy bay 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.

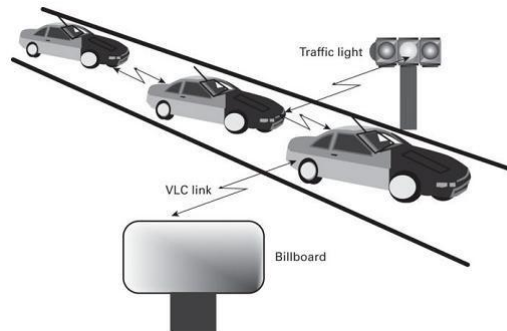


**Hình 1.31 Khả năng ứng dụng VLC ở trong khoang máy bay**

##### **❖ 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 1.32 Hệ thống giao thông thông minh sử dụng VLC**

❖ Truyền thông dưới nước

Khi ở dưới nước, nơi các công nghệ sóng vô tuyến không thể hoạt động thì VLC đem tới đường truyền tốc độ cao. Từ đó truyền thông giữa các thợ lặn và phương tiện được thiết lập.



**Hình 1.33 VLC trong truyền thông dưới nước**

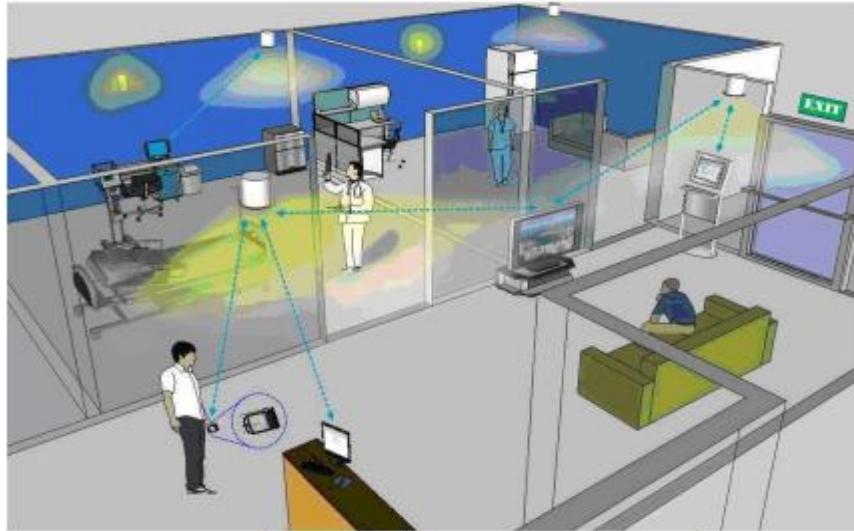
❖ Các môi trường đặc thù khác

VLC có ích khi sử dụng trong bệnh viện vì tại đây có rất nhiều các thiết bị gây can nhiễu với sóng vô tuyến.

Mặt khác, các bác sĩ có thể sử dụng các máy tính bảng để truy cập và cập nhật dữ liệu của bệnh nhân thay vì đi tới các văn phòng hoặc sử dụng các giấy tờ

văn bản. Các bác sĩ cũng có thể theo dõi tình hình sức khỏe của người bệnh khi đang ở 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 1.34 Ứng dụng VLC trong bệnh viện**

❖ 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 1.35 Ứng dụng VLC trong định vị**

### ***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

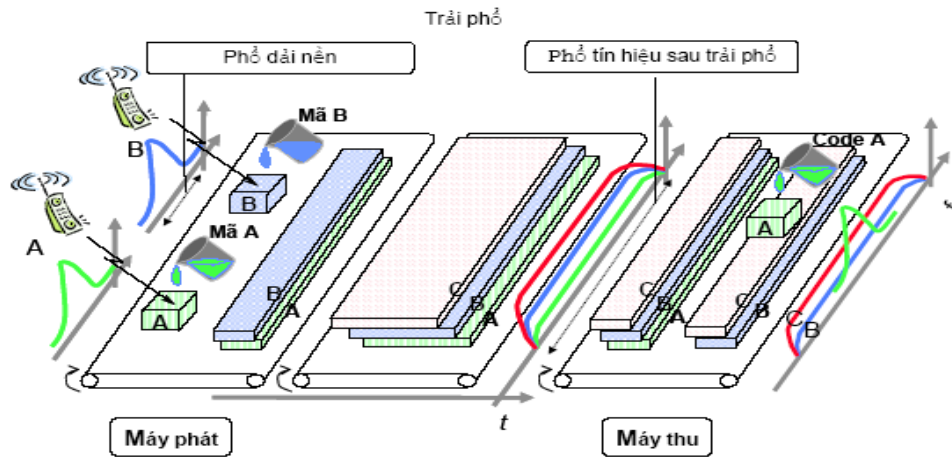
## **1.4 Kết luận chương**

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: KỸ THUẬT ĐA TRUY NHẬP PHÂN CHIA THEO MÃ CDMA

### 2.1 Nguyên lý của kỹ thuật đa truy nhập phân chia theo mã (CDMA)

Trong hệ thống CDMA, mỗi người dùng được gán cho một chuỗi mã xác định, và tất cả các người dùng có thể sử dụng chung khoảng băng tần trong cùng một khoảng thời gian. Do CDMA dựa trên nguyên lý trải phổ, do đó ở mỗi trạm phát sẽ sử dụng một chuỗi trải phổ giả ngẫu nhiên tác động vào tín hiệu tin tức. Khi máy thu nhận được tín hiệu từ nhiều trạm phát khác nhau, nó sẽ lấy tín hiệu mong muốn bằng cách giải mã tín hiệu bằng chuỗi mã riêng của chính tín hiệu đó (hình 2.1). Ta có được kết quả này là do tính tự tương quan và tương quan chéo của các chuỗi mã trải phổ.



**Hình 2.1: Quá trình trải phổ và nén phổ trong kỹ thuật CDMA**

Trong hình 2.1, phía bên máy thu cần nhận tín hiệu từ phía người dùng A, do đó đã tiến hành chuỗi mã riêng cho A để giải mã. Khi đó, tín hiệu từ những người dùng không mong muốn (B,C) trở thành các tín hiệu gây nhiễu với tín hiệu A. Khi đó, tín hiệu A được thu một cách dễ dàng.

### 2.2 Kỹ thuật trải phổ

Kỹ thuật trải phổ ra đời từ nhu cầu bảo mật thông tin trong quân sự. Lý do để kỹ thuật này ra đời chính là khiến tín hiệu phát giống với tạp âm. Các máy thu không mong muốn sẽ không thể tách và lấy được bản tin. Để biến đổi các bản tin



được mã hóa thành tín hiệu tựa tạp âm, ta sử dụng mã ngẫu nhiên để mã hóa bản tin này. Tuy nhiên, máy thu mong muốn sẽ biết được mã hóa để biết được mã hóa một cách chính xác, từ đó đồng bộ với mã hóa ban đầu và lấy bản tin. Do vậy, hệ thống phải sử dụng mã giả. Mã này sử dụng độ rộng băng tần lớn rất nhiều so với băng tần của bản tin. Bản tin được mã hóa sao cho tín hiệu sau khi mã hoá có độ rộng phổ gần bằng độ rộng phổ của tín hiệu giả ngẫu nhiên. Quá trình này được gọi là “quá trình trải phổ”.

### **Một hệ thống thông tin được xem là trải phổ khi thỏa 2 điều kiện**

+ Băng thông tín hiệu đã trải phổ lớn hơn rất nhiều so với băng thông tín hiệu thông tin.

+ Mã dùng để trải phổ độc lập với tín hiệu thông tin.

### **Ưu điểm của kỹ thuật thông tin trải phổ**

#### **+ Khả năng đa truy cập**

Đồng ý cho người dùng hoạt động trên cùng một dải tần, một giải thời gian tuy nhiên máy thu vẫn tách được tín hiệu để thu về. Bởi vì khi đó mỗi người đã được cấp một mã trải phổ riêng biệt. Máy thu nhận được tín hiệu từ người dùng sẽ giải mã và tách ra tín hiệu mong muốn.

#### **+ Tính bảo mật thông tin cao**

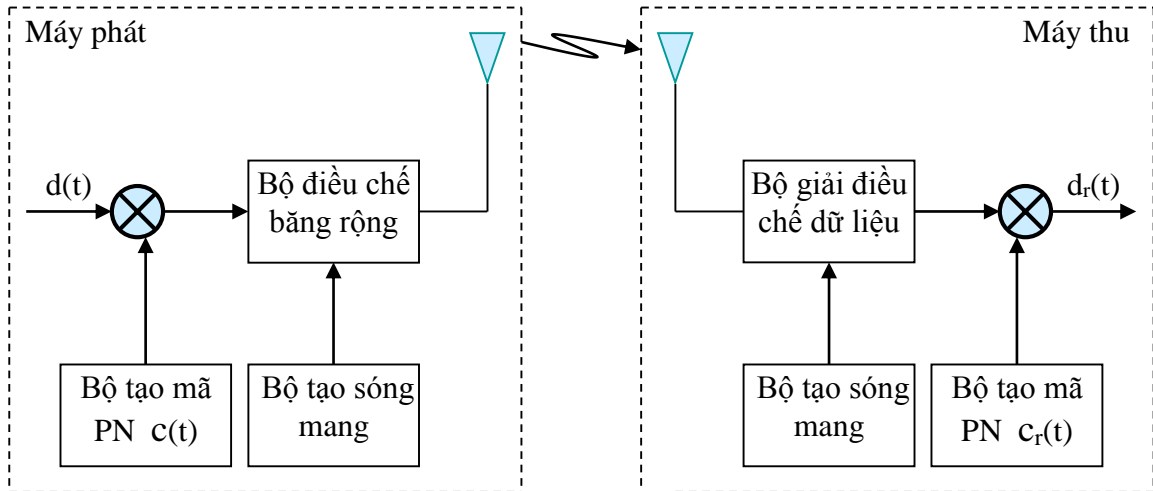
Đối với mức nhiễu nền, mật độ phổ công suất rất thấp. Bởi vậy các máy thu không trong hệ thống rất khó phát hiện được tín hiệu khi đang truyền ở môi trường nhiễu. Chỉ khi sử dụng máy thu phù hợp với quy luật của chuỗi giả ngẫu nhiên mới có thể thu được tín tức đưa ra.

#### **+ Bảo vệ chống nhiễu đa đường**

Nhiều đa đường được sinh ra do sự phản xạ, tán xạ, nhiễu xạ của tín hiệu. Tín hiệu từ tất cả mọi đường truyền chính là các tín hiệu của bản sao phát đi nhưng đã bị giảm đi về biên độ, bị trễ với tín hiệu truyền thẳng. Do đó, các tín hiệu thu được đã sai lệch, không giống như tín hiệu từ phía phát. Chính vì vậy kỹ thuật trải phổ sử dụng để tránh nhiễu đa đường để thu được tín hiệu tốt nhất.

### 2.2.1 Trải phổ chuỗi trực tiếp

Nguyên lý cơ bản của hệ thống trải phổ chuỗi trực tiếp được thể hiện ở hình 2.2.



**Hình 2.2 Sơ đồ khối điều chế và khối giải điều chế DS-SS**

Tín hiệu truyền đi được biểu diễn dưới dạng lưỡng cực, sau đó nhân trực tiếp với chuỗi giả ngẫu nhiên. Ở máy thu, tín hiệu thu được nhân với chuỗi trải phổ lần nữa để tạo lại tín hiệu tin tức.

Tín hiệu cần truyền đi là  $d(t)$ , có dạng NRZ với  $d(t) = \pm 1$ , tốc độ bit  $f_b$ . Thực hiện nhân  $d(t)$  với chuỗi giả ngẫu nhiên  $c(t)$  có tốc độ bit  $f_c$  với  $f_c \gg f_b$ . Như vậy:

$$d(t)c(t) = \begin{cases} c(t), & d(t) = +1 \\ -c(t), & d(t) = -1 \end{cases} \quad (2.1)$$

Vì tốc độ bit  $f_c$  của chuỗi giả ngẫu nhiên lớn hơn nhiều so với tốc độ bit  $f_b$  của chuỗi tín hiệu truyền đi, nên tín hiệu  $d(t)$  sẽ bị chia nhỏ với tần số rất cao. Tần số này được gọi là tốc độ chip. Sau đó, chuỗi tích số  $d(t).c(t)$  được điều chế BPSK hoặc QPSK. Giả sử ta dùng điều chế BPSK, tín hiệu sau điều chế có biểu thức:

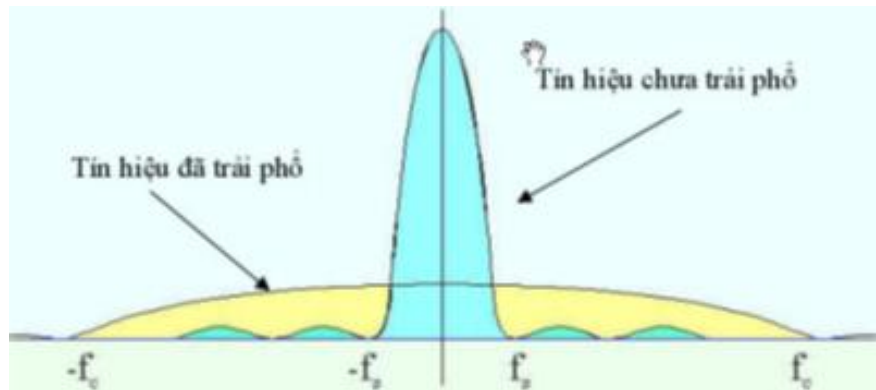
$$V_{DS-SS}(t) = \sqrt{2P_s} d(t).c(t).\cos \omega_0 t \quad (2.2)$$

Trong đó:  $P_s$  là công suất phát [W]

$\omega_0$  là tần số sóng mang [rad/s]

Nếu so sánh (2.2) với biểu thức của BPSK:

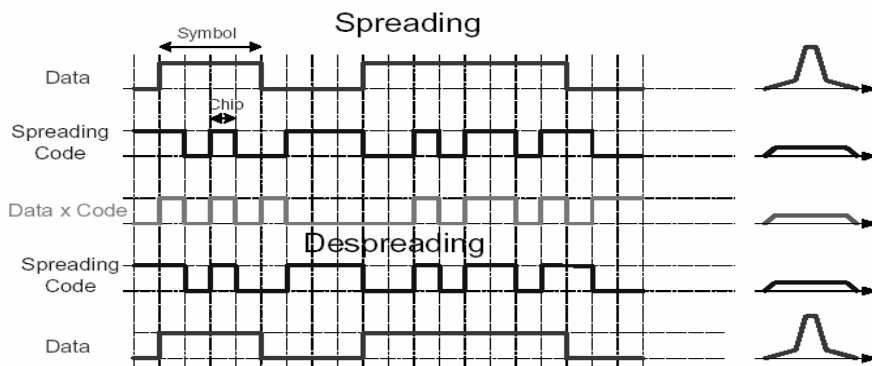
$$V_{BPSK}(t) = \sqrt{2P_s} d(t) \cos \omega_0 t \quad (2.3)$$



**Hình 2.3 Phổ của tín hiệu trước và sau khi trải phổ**

Ta nhận thấy: Với cùng công suất phát  $P_s$ , chuỗi số  $d(t).c(t)$  có tốc độ chip  $f_c$  chiếm dải phổ tần rộng hơn rất nhiều so với tín hiệu  $V_{BPSK}$  có tốc độ bit  $f_b$ , vì vậy, mật độ phổ công suất của tín hiệu trải phổ  $V_{DS-SS}$  thấp hơn nhiều so với mật độ phổ công suất của tín hiệu không trải phổ  $V_{BPSK}$ . Nếu  $f_c$  đủ lớn, mật độ phổ này sẽ rất thấp và xen lẫn với mức nhiễu nền khiến cho các máy thu thông thường rất khó khăn trong việc tách và lấy ra tín hiệu tin tức.

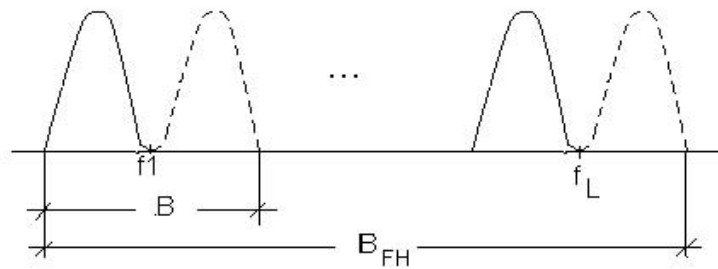
Tại máy thu, tín hiệu  $V_{DS-SS}$  được nhân với tín hiệu giả ngẫu nhiên  $c_r(t)$  được tái tạo ở máy thu, giải điều chế BPSK để thu lại tín hiệu tin tức ban đầu.



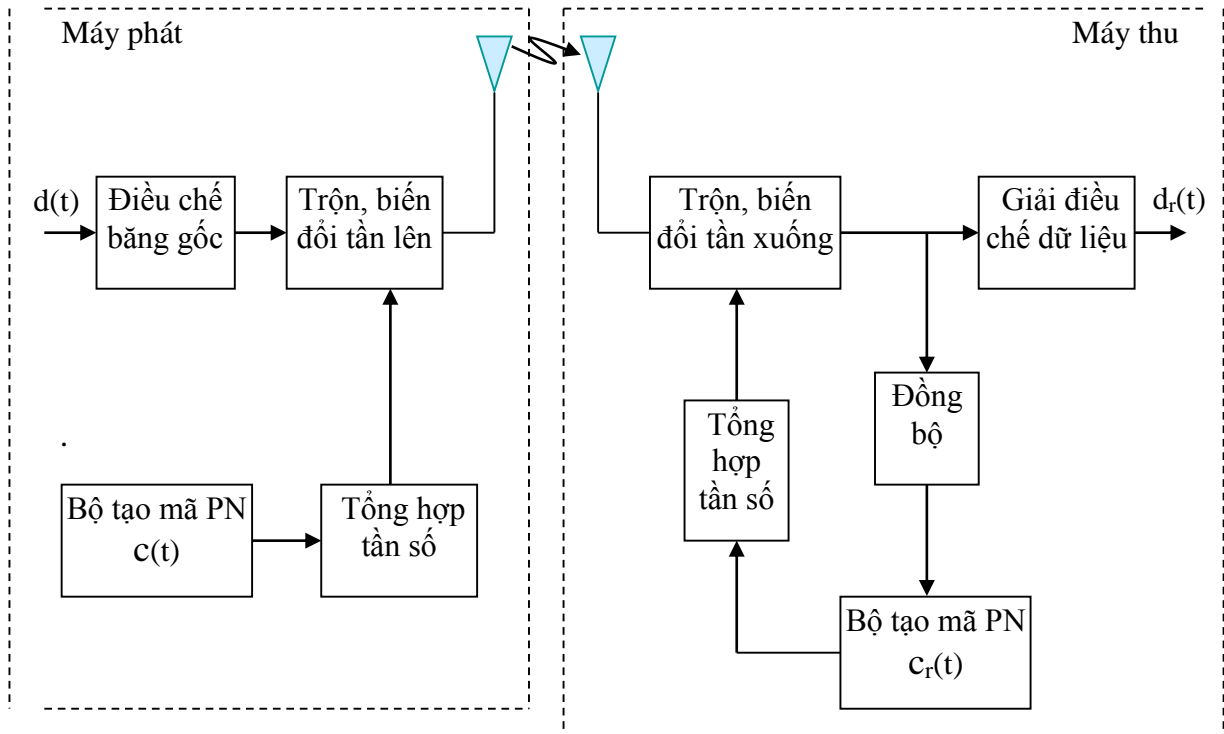
**Hình 2.4 Dạng sóng của tín hiệu trước trải phổ và sau trải phổ**

### 2.2.2 Trải phổ nhảy tần số

Kỹ thuật FH – SS được nghiên cứu dựa trên BFSK. Trong đó, tần số sóng mang được thay đổi liên tục theo một quy luật giả ngẫu nhiên (dựa trên chuỗi mã ngẫu nhiên sử dụng), nhờ vậy mà phổ của tín hiệu FH – SS được trải rộng trên trục tần số. Thật vậy, ứng với một tần số sóng mang, dải tần số của tín hiệu BFSK là  $B$ , vậy với tín hiệu FH – SS dùng  $L$  ( $L = 2^N - 1$ , với  $N$  là chiều dài chuỗi mã) trạng thái nhảy tần, phổ tần của tín hiệu FH – SS sẽ trải rộng đến  $B_{FH} = B \times L$  như hình 2.5



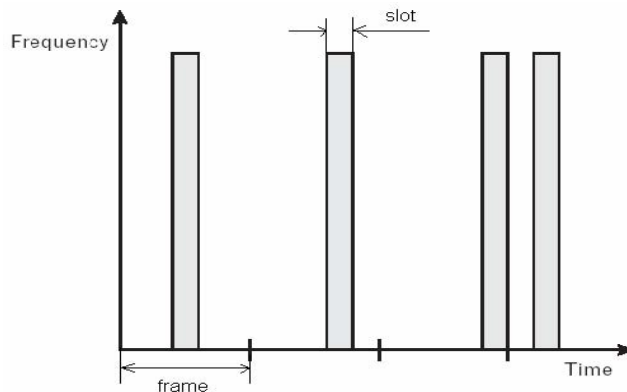
Hình 2.5 Phổ của tín hiệu FH – SS



Hình 2.6 Sơ đồ khối tạo và khối thu tín hiệu FH – SS

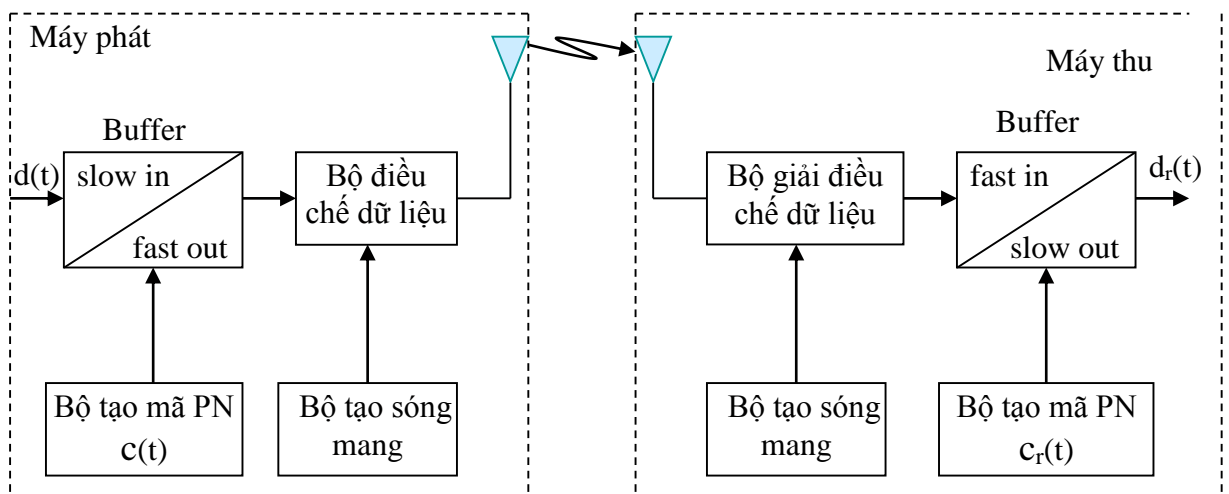
Tín hiệu FH – SS được tạo bởi mạch tổng hợp tần số điều khiển bởi  $N+1$  bit, trong đó bao gồm  $N$  bits của từ mã giả ngẫu nhiên và 1 bit số  $d(t)$  của tín hiệu thông tin cần truyền.

### 2.2.3 Trải phổ nhảy thời gian



**Hình 2.7 Truyền tín hiệu theo kỹ thuật trải phổ theo thời gian**

Trục thời gian được chia thành các khung (frame). Mỗi khung lại được chia thành  $k$  khe thời gian (slot). Trong một khung, mỗi  $k$  khe thời gian được chia sẻ cho từng user dựa theo mã. Tín hiệu truyền trong toàn bộ khung có tốc độ thấp hơn  $k$  lần so với tín hiệu truyền trong mỗi khe. Tần số cần thiết của tín hiệu truyền trong mỗi khe lại tăng gấp  $k$  lần.



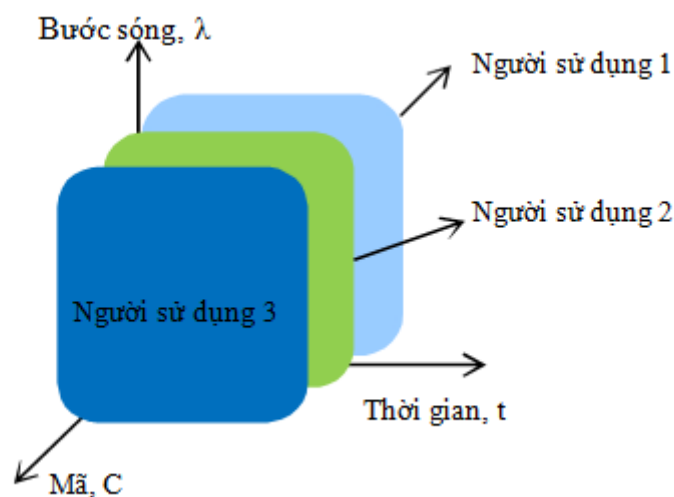
**Hình 2.8 Sơ đồ khối tạo và khối thu tín hiệu TH – SS**

## 2.3 Kỹ thuật đa truy nhập phân chia theo mã quang

OCDMA là kỹ thuật đa truy nhập phân chia theo mã quang, từ đó các mã quang sẽ được cung cấp để người dùng truy nhập vào mạng nhưng không thay vào khe thời gian. OCDMA khiến độ truyền dẫn nâng cao, tính linh hoạt để giúp người sử dụng cũng như tính bảo mật trở nên hoàn thiện hơn. OCDMA là công nghệ tiềm năng cho phép thay thế các công nghệ hiện tại trong mạng truy nhập quang.

### 2.3.1 Kỹ thuật đa truy nhập phân chia theo mã quang

Đối với công nghệ OCDMA, người dùng được sử dụng tài nguyên mạng theo hình thức gán mỗi người một mã thay vì sử dụng khe thời gian TDMA hoặc WDMA. Chính vì vậy, các tài nguyên cùng bước sóng, xảy ra cùng một lúc sẽ được tiếp cận bởi người dùng, được thể hiện trong hình 2.9: OCDMA thực hiện ghép kênh chuyển mạch và xen/rẽ các tín hiệu đa kênh qua mạng đường trục và mạng đô thị (MAN), hoặc kết hợp của TDM và WDM thông qua mã hóa và giải mã tín hiệu quang trực tiếp.



Hình 2.9 Chia sẻ tài nguyên theo mã

### 2.3.2 Các hệ thống OCDMA quang

Nếu chúng ta phân loại dựa vào sự khác biệt của các phương pháp mã hóa tín hiệu quang, ta có thể chia thành ba loại hệ thống OCDMA:

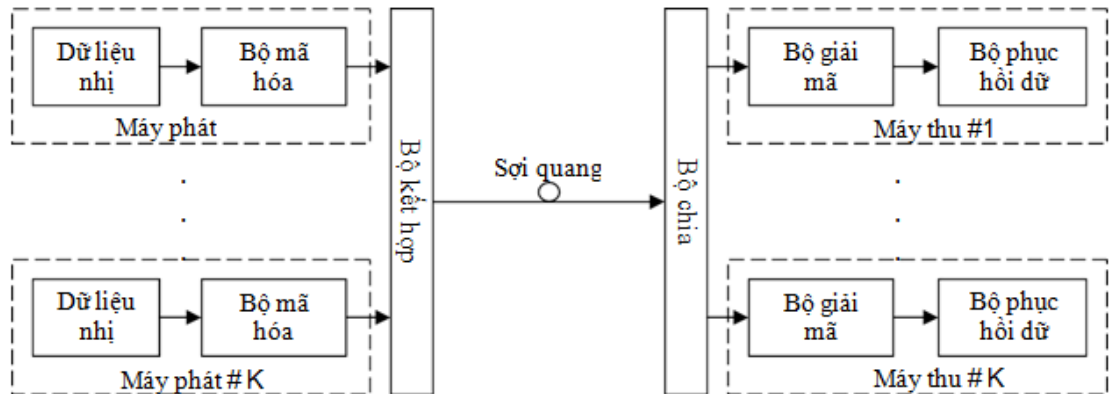
- Hệ thống OCDMA mã hóa trong miền thời gian, trong đó bao gồm hệ thống trải phổ truyền thống và hệ thống mã hóa pha theo thời gian.
- Hệ thống OCDMA mã hóa trong miền tần số, bao gồm bước mã hóa pha phổ (SPE) và hệ thống mã hóa biên độ phổ (SEA).
- Hệ thống OCDMA mã hóa lai ghép sử dụng kết hợp các phương thức mã hóa nêu trên. Ví dụ chúng ta có thể có được mã hóa 2-D bằng cách kết hợp mã hóa trong miền thời gian và miền bước sóng, hệ thống OCDMA trải thời gian/nhảy bước sóng (WH/TS). Nếu mã hóa theo không gian được kết hợp với thời gian và bước sóng ta sẽ có được mã hóa không gian/ thời gian/bước sóng.

Nếu chúng ta sắp xếp chúng theo số lượng tài nguyên (thời gian, không gian, bước sóng) được sử dụng, ta có thể được chia thành các hệ thống OCDMA một chiều (1D OCDMA), các hệ thống OCDMA hai chiều (2D OCDMA) và hệ thống OCDMA ba chiều (3D OCDMA). Nếu sự phân cực này cũng đưa vào mã hóa, ta có thể đạt được các hệ thống bốn chiều (4D OCDMA).

Nếu chúng ta phân loại các hệ thống OCDMA theo số lượng các bước sóng được sử dụng để mã hóa, chúng có thể được chia thành các hệ thống OCDMA đơn bước sóng và các hệ thống OCDMA đa bước sóng.

### **Kiến trúc hệ thống OCDMA**

Kiến trúc điển hình của một hệ thống OCDMA được minh họa trong hình 2.10. Tín hiệu từ  $K$  bộ phát được kết hợp bằng một bộ kết hợp và phát đến tất cả các bộ thu bằng một bộ chia quang. Một sợi quang được sử dụng để kết nối từ phía phát đến phía thu và được chia sẻ giữa tất cả các người dùng.



**Hình 2.10 Sơ đồ khối của hệ thống OCDMA**

### 2.3.3 Mã sử dụng trong hệ thống CDMA quang

Mã OCDMA phải tuân theo những nguyên tắc, đó là:

- Để khởi tạo mã cần có một bộ tham số đầu vào, đầu ra của quá trình tạo mã là một tập các từ mã đôi một khác nhau.
- Một từ mã có thể chuyển đổi sang từ mã khác bằng phép dịch.
- Các từ mã trong bộ mã dễ dàng phân biệt được với nhau.

Nếu xét theo lý thuyết mã hóa thì các loại mã cần có những tính chất sau:

- Tất cả các mã trong bộ mã phải có giá trị tự tương quan đạt đỉnh và các giá trị tương quan của từ mã đó với phiên bản dịch của chính nó giảm theo độ dịch của từ mã.
- Hàm tương quan chéo giữa một từ mã bất kì và tất cả những từ mã khác trong bộ mã thấp hơn nhiều so với giá trị tự tương quan.

#### 2.3.3.1 Mã nguyên tố 1D

Quá trình tạo mã nguyên tố 1D dựa trên một phép toán cơ bản của toán học đại số: phép tính đồng dư. Vì vậy mã nguyên tố 1D được coi là mã thuộc về lớp mã tuyến tính đồng dư. Ý tưởng cơ bản để tạo nên mã đồng dư như sau. Đầu tiên, chọn lấy một số nguyên tố  $p$ , từ  $p$  ta sẽ tạo ra một nhóm các chuỗi từ mã  $y_{\downarrow i}(j) \mid 0 \leq i, j \leq p-1$ , bằng cách sử dụng toán tử đồng dư trên trường toán học Ga-loa cơ số



$p \in \text{GF}(p)$ . Sau đó, dựa theo các thuật toán cụ thể mà ánh xạ các chuỗi mã này thành những chuỗi mã nhị phân và giá trị  $y_i(j)$  sẽ có ý nghĩa là: các chip '1' ở vị trí thứ  $j$  của từ mã thứ  $i$ . Phép toán lấy đồng dư thường được sử dụng có thể được định nghĩa như sau:

$$y_i(j; a, b) = \{i(aj + b)\} \bmod_p \quad (2.4)$$

với  $a$  và  $b$  là những hằng số. Khi  $a=1$  và  $b=0$  thì tương ứng với đó là chuỗi mã nguyên tố được tạo ra. Bảng 2.1 minh họa các toán tử cộng và nhân đồng dư trong trường  $\text{GF}(7)$ .

**Bảng 2.1 Phép toán cộng và nhân trong  $\text{GF}(7)$**

<b>+</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>		<b>.</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>0</b>	0	1	2	3	4	5	6	<b><math>\text{GF}(7)</math></b>	<b>0</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>1</b>	1	2	3	4	5	6	0		<b>1</b>	0	1	2	3	4	5	6
<b>2</b>	2	3	4	5	6	0	1		<b>2</b>	0	2	4	6	1	3	5
<b>3</b>	3	4	5	6	0	1	2		<b>3</b>	0	3	6	2	5	1	4
<b>4</b>	4	5	6	0	1	2	3		<b>4</b>	0	4	1	5	2	6	3
<b>5</b>	5	6	0	1	2	3	4		<b>5</b>	0	5	3	1	6	4	2
<b>6</b>	6	0	1	2	3	4	5		<b>6</b>	0	6	5	4	3	2	1

Kí hiệu một chuỗi mã nguyên tố là  $S_i$  :

$$S_i = (S_{i,0}, S_{i,1}, \dots, S_{i,j}, \dots, S_{i,(p-1)}), i = 0, 1, \dots, p-1 \quad (2.5)$$

với các phần tử trong chuỗi mã  $S_{i,j}$  được định nghĩa như sau:

$$S_{i,j} = \{ij\} \bmod_p \quad (2.6)$$

trong đó,  $S_{i,j}$ ,  $i$  và  $j$  là các phần tử thuộc trường  $\text{GF}(p)$ .

Sau đó để tạo ra chuỗi mã nhị phân  $C_i$  từ  $S_i$ , ta áp dụng phép ánh xạ sau:

$$C_i(j, k) = \{(1|k = S_i(j) + jp | j = \{0, 1, 2, \dots, p-1\} @ 0 | \neq)\} \quad (2.7)$$

$$C_i = (C_{i,0}, C_{i,1}, \dots, C_{i,j}, \dots, C_{i,(p-1)}), i = 0, 1, \dots, p-1, n = p^2 \quad (2.8)$$

Ở đây, mỗi chuỗi mã 1D có độ dài là  $n = p^2$  và trọng số là  $w = p$ . Giá trị tương quan cực đại của một mã với phiên bản dịch của chính nó là  $Y_a = p - 1$ , giá trị tương quan chéo cực đại là  $Y_c = 2$ . Với  $p = 7$ , chuỗi nguyên tố  $S_i$  và chuỗi mã nhị phân nguyên tố  $C_i$  trong GF(7) được minh họa trong Bảng và Bảng .

**Bảng 2.2 Chuỗi nguyên tố  $S_i$  trong GF(7)**

$i$	$S_{i,0}$	$S_{i,1}$	$S_{i,2}$	$S_{i,3}$	$S_{i,4}$	$S_{i,5}$	$S_{i,6}$
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	2	3	4	5	6
2	0	2	4	6	1	3	5
3	0	3	6	2	5	1	4
4	0	4	1	5	2	6	3
5	0	5	3	1	6	4	2
6	0	6	5	4	3	2	1

Từ Bảng ta có thể thấy mỗi mã nguyên tố 1D được chia thành  $p$  khối, mỗi khối có độ dài bằng  $p$ . Trong mỗi khối này, chỉ có duy nhất một chip ‘1’ trong đó. Ưu điểm của mã nguyên tố 1D là dễ khởi tạo. Tuy nhiên, số lượng người dùng tối đa mà mã nguyên tố 1D hỗ trợ bằng với số nguyên tố khởi tạo bộ mã  $p$ . Vì vậy, để hỗ trợ nhiều người dùng hơn, bắt buộc số nguyên tố phải lớn.

**Bảng 2.3 Bộ mã nguyên tố trong GF(7)**

$i$	$C_i$						
0	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000
1	1000000	0100000	0010000	0001000	0000100	0000010	0000001
2	1000000	0010000	0000100	0000001	0100000	0001000	0000010
3	1000000	0001000	0000001	0010000	0000010	0100000	0000100
4	1000000	0000100	0100000	0000010	0010000	0000001	0001000
5	1000000	0000010	0001000	0100000	0000001	0000100	0010000
6	1000000	0000001	0000010	0000100	0001000	0010000	0100000

### 2.3.3.2 Mã nguyên tố 2D WH/TS

Mã nguyên tố hai chiều trải thời gian/nhảy bước sóng - 2D WH/TS ra đời nhằm giải quyết vấn đề về hạn chế số lượng mã mà mã nguyên tố 1D để lại. Số lượng mã nguyên tố 1D bằng chính số nguyên tố  $p$  khởi tạo vì vậy khi số lượng

người dùng tăng thì đồng nghĩa với việc chuỗi trái phỏ phải dài, từ đó dẫn đến hiệu quả truyền dẫn giảm xuống đáng kể, làm trầm trọng thêm MAI. Việc sử dụng mã 2D WH/TS đã được kiểm chứng rằng nó không chỉ hỗ trợ nhiều người dùng hơn mã 1D mà còn cải thiện hiệu năng của hệ thống, đơn giản hóa việc điều khiển và quản lý, rút ngắn quá trình xử lý và giá thành phần cứng khi triển khai.

Mã 2D WH/TS được xây dựng dựa trên sự mở rộng của mã 1D. Ở đây, ta sử dụng hai số nguyên tố để xây dựng nên bộ mã. Bảng 0. và Bảng 0. được đưa ra để minh họa quá trình tạo mã.

Ta gọi số nguyên tố sinh chuỗi trái thời gian là  $p_s$  và số nguyên tố sinh chuỗi nhảy bước sóng là  $p_h$ . Để minh họa đơn giản quá trình, giả sử số nguyên tố  $p_s = p_h = p$  được sử dụng chung cho cả hai quá trình sinh mã. Từ số nguyên tố này, một bộ chuỗi mã được tạo ra, nguyên tắc tạo giống như trong phần **Error! Reference source not found..** Với  $p = 5$ , chuỗi nguyên tố  $S_i$  tạo ra là:  $S_0 = (0\ 0\ 0\ 0\ 0)$ ,  $S_1 = (0\ 1\ 2\ 3\ 4)$ ,  $S_2 = (0\ 2\ 4\ 1\ 3)$ ,  $S_3 = (0\ 3\ 4\ 1\ 2)$  và  $S_4 = (0\ 4\ 3\ 2\ 1)$ . Tiếp đến đặt các chuỗi mã  $H_i \mid i = 1, 2, 3, 4$  như sau:  $H_1 = (0\ 1\ 2\ 3\ 4)$ ,  $H_2 = (0\ 2\ 4\ 1\ 3)$ ,  $H_3 = (0\ 3\ 4\ 1\ 2)$  và  $H_4 = (0\ 4\ 3\ 2\ 1)$ . Chuỗi mã  $S_i$  chính là chuỗi mã trái thời gian và chuỗi mã  $H_i$  là chuỗi mã trái bước sóng. Ở đây cần chú ý rằng trong các chuỗi mã  $H_i$  thì vị trí bit '1' chính là chỉ số của bước sóng trong chuỗi nhảy bước sóng, vì vậy mà chuỗi mã  $H_0$  chứa toàn '0' không được sử dụng do nó không có nghĩa khi kết hợp với các chuỗi mã trái thời gian.

**Bảng 0.4: Mã nguyên tố xây dựng từ  $p = 5$**

$j$												
$i$	0	1	2	3	4	Chuỗi mã nguyên tố $S_i$						
0	$(s_0)$	0	0	0	0	0		10000	10000	10000	10000	10000
1	$(s_0)$	0	1	2	3	4	$(H_1)$	10000	01000	00100	00010	00001
2	$(s_0)$	0	2	4	1	3	$(H_2)$	10000	00100	00001	01000	00010
3	$(s_0)$	0	3	1	4	2	$(H_3)$	10000	00010	01000	00001	00100

4	$(s_0)$	0	4	3	2	1	$(H_4)$	10000	00001	00010	00100	01000
---	---------	---	---	---	---	---	---------	-------	-------	-------	-------	-------

Bước tiếp theo được tiến hành như sau: lấy lần lượt các chuỗi mã trái thời gian và các chuỗi mã nhảy bước sóng kết hợp với nhau theo quy luật: chuỗi mã trái thời gian  $S_i$  quy định vị trí xung còn chuỗi mã nhảy bước sóng  $H_i$  quy định bước sóng của xung đó. Kết quả được thể hiện trong Bảng 0..

**Bảng 0.5 Bộ mã nguyên tố 2D p=5**

Mã nguyên tố 2D, p=5						
$s_0H_1$	0	$\lambda_00000$	$\lambda_10000$	$\lambda_20000$	$\lambda_30000$	$\lambda_40000$
$s_0H_2$		$\lambda_00000$	$\lambda_20000$	$\lambda_40000$	$\lambda_10000$	$\lambda_20000$
$s_0H_3$		$\lambda_00000$	$\lambda_20000$	$\lambda_10000$	$\lambda_40000$	$\lambda_20000$
$s_0H_4$		$\lambda_00000$	$\lambda_40000$	$\lambda_20000$	$\lambda_20000$	$\lambda_10000$
$s_1H_1$	1	$\lambda_00000$	$0\lambda_1000$	$00\lambda_200$	$000\lambda_30$	$0000\lambda_4$
$s_2H_1$		$\lambda_00000$	$0\lambda_2000$	$00\lambda_400$	$000\lambda_10$	$0000\lambda_3$
$s_1H_3$		$\lambda_00000$	$0\lambda_3000$	$00\lambda_100$	$000\lambda_40$	$0000\lambda_2$
$s_1H_4$		$\lambda_00000$	$0\lambda_4000$	$00\lambda_300$	$000\lambda_20$	$0000\lambda_1$
$s_1H_1$	2	$\lambda_00000$	$00\lambda_100$	$0000\lambda_2$	$0\lambda_3000$	$000\lambda_40$
$s_2H_2$		$\lambda_00000$	$00\lambda_200$	$0000\lambda_4$	$0\lambda_1000$	$000\lambda_30$
$s_2H_3$		$\lambda_00000$	$00\lambda_300$	$0000\lambda_1$	$0\lambda_4000$	$000\lambda_20$
$s_2H_4$		$\lambda_00000$	$00\lambda_400$	$0000\lambda_3$	$0\lambda_2000$	$000\lambda_10$
$s_3H_1$	3	$\lambda_00000$	$000\lambda_10$	$0\lambda_2000$	$0000\lambda_3$	$00\lambda_400$
$s_3H_2$		$\lambda_00000$	$000\lambda_20$	$0\lambda_4000$	$0000\lambda_1$	$00\lambda_300$
$s_3H_3$		$\lambda_00000$	$000\lambda_30$	$0\lambda_1000$	$0000\lambda_4$	$00\lambda_200$
$s_3H_4$		$\lambda_00000$	$000\lambda_40$	$0\lambda_3000$	$0000\lambda_2$	$00\lambda_100$
$s_4H_1$	4	$\lambda_00000$	$0000\lambda_1$	$000\lambda_20$	$00\lambda_300$	$0\lambda_4000$

$s_3H_2$	$\lambda_00000$	$0000\lambda_2$	$000\lambda_40$	$00\lambda_100$	$0\lambda_3000$
$s_4H_3$	$\lambda_00000$	$0000\lambda_3$	$000\lambda_10$	$00\lambda_400$	$0\lambda_2000$
$s_4H_4$	$\lambda_00000$	$0000\lambda_4$	$000\lambda_30$	$00\lambda_200$	$0\lambda_1000$

---

Từ đây, ta có thể có một số nhận xét về mã 2D WH/TS như sau: số lượng chip trong một chuỗi từ mã là  $n = p_s^2$  và trọng số là  $w = p_s$  và kích thước của tập mã là  $p(p - 1)$ . Ngoài ra các giá trị tương quan cực đại của một mã với phiên bản dịch của chính nó là  $Y_a = 0$ , giá trị tương quan chéo cực đại là  $Y_c = 1$ , trong khi đó giá trị tự tương quan tối đa bằng trọng số của mã  $w$ . Như vậy, có thể thấy rằng mã 2D WH/TS đã tăng cường được số lượng người sử dụng, các ràng buộc về điều kiện tương quan nhỏ cũng làm cho các mã 2D WH/TS phù hợp hơn với việc truyền dẫn bất đồng bộ giữa những người sử dụng.

### 2.3.4 Nhiễu trong hệ thống CDMA quang

#### 2.3.4.1 Nhiễu bộ thu

Trong bộ thu có hai loại nhiễu chính đó là nhiễu lượng tử và nhiễu nhiệt. Nguyên nhân chính gây ra sự thăng giáng dòng tách quang tại bộ thu chính là hai loại nhiễu này trong khi công suất tín hiệu thu ( $P_{in}$ ) không đổi.

Bản chất của nhiễu lượng tử là do dòng điện tách quang được tạo ra từ dòng chuyển động của các điện tử mà các điện tử này lại được tạo ra một cách ngẫu nhiên theo thời gian. Về mặt toán học, sự thăng giáng của dòng điện do nhiễu lượng tử gây ra là một tiến trình Poisson dừng, và có thể xấp xỉ bởi thống kê Gauss. Phương sai của nhiễu nhiệt có thể biểu diễn dưới dạng

$$\sigma_{sh}^2 = 2e\Re P_{in} B_e \quad (2.9)$$

trong đó  $e$  là điện tích điện tử.  $\Re$  là đáp ứng của bộ tách sóng quang.  $B_e$  là băng thông điện (nhiều) hiệu dụng của bộ thu. Giá trị thực tế của  $B_e$  phụ thuộc vào thiết kế bộ thu.

#### 2.3.4.2 Nhiễu đa truy nhập

Nhiều đa truy nhập (MAI) là một trong những nguồn nhiễu chính trong các hệ thống OCDMA, là nguyên nhân chính gây suy giảm chất lượng của hệ thống. MAI gây ra bởi các người sử dụng hoạt động đồng thời trong mạng, các xung MAI là các xung quang xuất hiện đồng thời và có cùng bước sóng với xung mong muốn. Mức độ ảnh hưởng của MAI được quyết định bởi hai tham số chính: (1) số lượng người dùng cùng hoạt động trên mạng và (2) giá trị tương quan chéo giữa các chuỗi mã phân bổ cho các người dùng trên mạng.

Để giảm bớt ảnh hưởng của MAI, các loại mã có giá trị tương quan chéo nhỏ thường được sử dụng. Điều này đồng nghĩa với việc cần các chuỗi mã có độ dài lớn, ví dụ mã nguyên tố. Giải pháp thứ hai là sử dụng phương thức điều chế vị trí xung PPM. Tuy nhiên, cả hai giải pháp nêu trên đều dẫn tới làm hẹp độ rộng xung quang và hệ thống sẽ bị ảnh hưởng mạnh hơn bởi tán sắc.

## **2.4 Kết luận chương**

Chương 2 đã tìm hiểu nguyên lý CDMA, ba kỹ thuật trải phổ đó là: trải phổ chuỗi trực tiếp, trải phổ nhảy tần số, trải phổ nhảy thời gian, tìm hiểu về kỹ thuật đa truy nhập phân chia theo mã (OCDMA), cách phân loại hệ thống OCDMA cũng như các loại mã hay được sử dụng trong hệ thống CDMA quang.

## **CHƯƠNG 3: PHÂN TÍCH VÀ ĐÁNH GIÁ HIỆU NĂNG MẠNG VLC DỰA TRÊN KỸ THUẬT CDMA**

### **3.1 Giới thiệu chung**

Hệ thống truyền thông bằng ánh sáng nhìn thấy (VLC) dựa trên diốt phát quang (đèn LED) trong cơ sở hạ tầng chiếu sáng đã trở thành sự quan tâm nghiên cứu. Một số lợi thế có thể được cung cấp bởi VLC là chi phí hiệu quả, không cần giấy phép và bảo mật cao [2]. Nhiều nghiên cứu đã tập trung vào các kỹ thuật tiên tiến để cải thiện tốc độ dữ liệu của hệ thống VLC giữa các điểm [3,4]. Tuy nhiên, trong một hoàn cảnh thực tế như trong một ngôi nhà hoặc tòa nhà văn phòng, mạng VLC cần được thiết kế để hỗ trợ nhiều người dùng. Trong trường hợp này, mạng VLC có thể đóng vai trò như một mạng cục bộ không dây, vùng cá nhân (WLAN, WPAN) [2,5].

Một số kỹ thuật đa truy nhập đã được xem xét cho các mạng VLC đa người dùng bao gồm đa truy cập phân chia theo tần số trực giao quang (O-OFDMA) [6], đa truy cập không trực giao (NOMA) [7], đa truy cập phân chia theo không gian (SDMA) [8], và đa truy nhập phân chia theo mã quang (OCDMA) [9]. So với các kỹ thuật đa truy nhập thông thường khác, OCDMA mang lại một số ưu điểm, bao gồm truy cập không đồng bộ cho kết nối tốc độ cao, dung lượng mạng linh hoạt, chất lượng kiểm soát dịch vụ ở lớp vật lý và tính bảo mật vốn có [10]. Ngoài ra, OCDMA được coi là một trong những kỹ thuật tiết kiệm chi phí nhất để triệt tiêu hoặc hủy bỏ nhiễu đa người dùng (MUI).

Đã có một số nghiên cứu dành cho mạng VLC dựa trên OCDMA [1]. OCDMA đã được triển khai lần đầu tiên trong giao diện VLC cho mạng Ethernet [11]. Để dễ thực hiện, các mã quang ngẫu nhiên đã được sử dụng cho phương pháp OCDMA. Cơ chế đồng bộ cũng được sử dụng để chống lại các đặc tính kém tương quan. Trong quá trình thực hiện, giao tiếp chỉ được khảo sát giữa một máy phát và một máy thu, do đó tác động của nhiễu xảy ra giữa các người dùng không được xem xét. Noshad và cộng sự đã phát hiện tín hiệu đa cấp và mã trực giao quang (OOC) cho mạng VLC [12]. Các tác giả đã sử dụng thiết kế khối cân bằng không hoàn

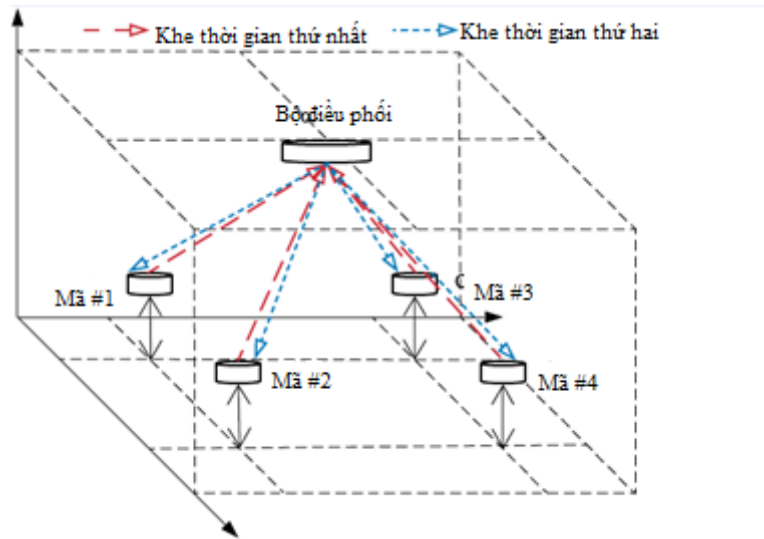
chính (BIBD) để xây dựng các ký hiệu đa cấp. Tỷ lệ lỗi bit (BER) của mạng lưới VLC được đề xuất được khảo sát so với số lượng người dùng đang hoạt động thông qua bộ mô phỏng. Ngoài ra, Idriss et al. đã nghiên cứu mạng VLC sử dụng OCDMA dựa trên kỹ thuật mã hóa biên độ phổ (SAC) [13]. Ba loại mã quang bao gồm mã Khazani-Syed (KS), mã tương quan chéo linh hoạt (FCC) và mã đồng dư bậc hai (MQC) sửa đổi đã được xem xét cho mạng VLC dựa trên SAC / OCDMA. Hiệu năng mạng đã được khảo sát thông qua mô phỏng cho trường hợp số lượng người dùng bị giới hạn ở 3 người dùng. Gần đây, các hệ thống VLC dựa trên OCDMA với các kịch bản ứng dụng khác nhau đã được Qiu và cộng sự nghiên cứu toàn diện [9]. Cụ thể hơn, các tác giả tập trung vào kiến trúc hệ thống, thiết kế mã và kịch bản ứng dụng của hệ thống VLC dựa trên OCDMA sử dụng mã lưỡng cực và mã đơn cực. Hiệu suất của chúng cũng được khảo sát về số lượng người dùng được hỗ trợ, BER và tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu (SNR) được yêu cầu. Bên cạnh đó, một nghiên cứu khác đã xem xét các kỹ thuật phân bổ tài nguyên trong mạng VLC dựa trên OCDMA với các vùng phủ sóng chồng chéo [14]. Việc phân bổ tài nguyên được sử dụng để gán mã cho một người dùng nhất định. Các thông số hiệu suất khác nhau bao gồm tốc độ dữ liệu có thể đạt được, xác suất ngừng hoạt động và phần trăm người dùng truy cập đã được giải quyết bằng mô phỏng. Cuối cùng nhưng không kém phần quan trọng, Chen et al. giải quyết và triển khai CDMA cho hệ thống VLC với kỹ thuật điều khiển mờ (giảm năng lượng và ánh sáng của LED di-ot) [15]. Các tác giả thực hiện hệ thống VLC thử nghiệm thời gian thực với lược đồ CDMA dựa trên lập trình chuỗi cổng tại hiện trường (FPGA), phương pháp này sẽ đạt được hiệu năng BER tốt.

Các nghiên cứu trên chủ yếu tập trung vào phân tích hiệu năng của hệ thống VLC dựa trên OCDMA sử dụng các loại mã quang khác nhau. Theo đó, phân tích hiệu năng chỉ tính đến tác động của sự can thiệp của nhiều người dùng và được điều chỉnh bởi các thuộc tính của mã. Tuy nhiên, để đánh giá được tính khả thi của mạng VLC đa người dùng sử dụng OCDMA thì chúng ta cần phải khảo sát một kịch bản thực tế hơn. Trong đó mô hình kênh VLC, các tham số của bộ thu phát VLC và giao



thức truyền hai chiều sẽ được xem xét cụ thể. Dựa trên sự thiếu sót tồn đọng của những nghiên cứu này, mục tiêu chính của chương 3 là đề xuất một kiến trúc mới cho mạng VLC trong nhà có thể hỗ trợ truyền hai chiều cho nhiều người dùng trong một phòng. Cụ thể hơn, có thể tóm tắt những đóng góp như sau:

- ❖ Đề xuất một kiến trúc mạng VLC hỗ trợ việc trao đổi dữ liệu giữa những người dùng trong một căn phòng như thể hiện trong Hình 3.1. Trong trường hợp này sẽ có thêm trường hợp không có kết nối tầm nhìn (LOS) giữa những người dùng do đến các vật cản. Để giải quyết trường hợp này, đề xuất sử dụng một bộ phối hợp gắn trên trần nhà, đóng vai trò như nút chuyển tiếp nhận tín hiệu từ một người dùng và sau đó chuyển tiếp nó đến những người dùng khác. Để kết nối mạng này với Internet, một nút cổng được kết nối với bộ phối hợp để giải mã tín hiệu từ nhiều người dùng và sau đó chuyển tiếp chúng đến Internet và ngược lại.
- ❖ Thực hiện thiết kế một giao thức cung cấp truyền dẫn bán song công hai chiều dựa trên mã hóa mạng tương tự (ANC) và hỗ trợ nhiều người dùng với sự trợ giúp của OCDMA. Sơ đồ truyền thống song công hai chiều thông thường cần bốn khe thời gian để trao đổi gói giữa hai người dùng trong khi ANC chỉ yêu cầu hai khe thời gian. Nhờ việc giảm các khe thời gian cần thiết, các mạng VLC được đề xuất có thể đạt được thông lượng lớn hơn.
- ❖ Xây dựng biểu thức toán học cho BER và thông lượng của mạng VLC được đề xuất kết hợp với mô hình kênh VLC trong nhà, các thông số của bộ thu phát VLC, tác động của tạp âm và nhiễu. Các biểu thức toán học thu được có thể sẽ được sử dụng để khảo sát hiệu suất mạng so với tham số lớp vật lý khác nhau để đánh giá tính khả thi của mạng VLC.

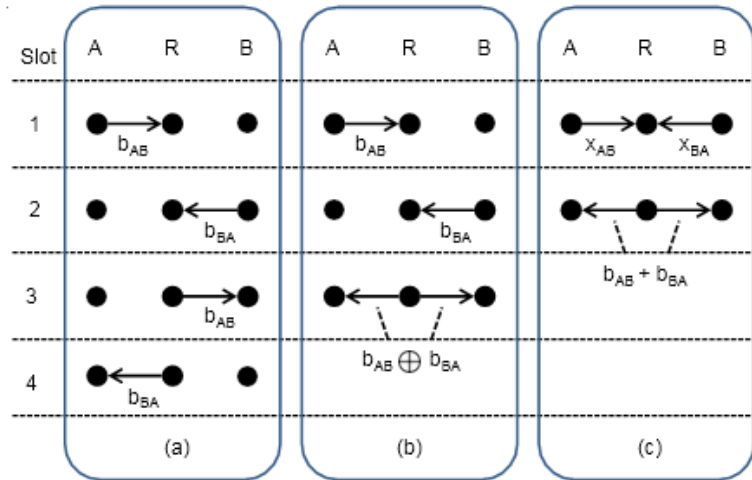


Hình 3.1 Mô hình mạng VLC

## 3.2 Mạng và mô hình kênh

### 3.2.1 Mã hóa mạng tương tự

Mã hóa mạng tương tự là mã hóa mạng của các tín hiệu vật lý mang thông tin từ nhiều nguồn. Về mặt lý thuyết, ANC đã được chứng minh rằng ANC sẽ gấp đôi dung lượng của mạng chuyển tiếp hai chiều chính tắc [15]. Trong chuyển tiếp hai chiều thông thường được trình bày trong Hình 3.2 (a), cần bốn khe thời gian để chuyển hai gói tin  $b_{AB}$  và  $b_{BA}$  giữa nút A và nút B qua nút chuyển tiếp R. Trong Hình 3.2 (b), mã hóa mạng kỹ thuật số (DNC) yêu cầu ba khe thời gian để chuyển  $b_{AB}$  và  $b_{BA}$ . DNC dựa trên chuyển tiếp giải mã và chuyển tiếp, trong đó nút chuyển tiếp phát  $b_R = b_{AB} \oplus b_{BA}$  đến nút A và nút B. Với mã hóa mạng tương tự được hiển thị trong Hình 3.2 (c), chỉ cần hai khe thời gian nhờ sử dụng chuyển tiếp khuếch đại và chuyển tiếp. Cụ thể hơn, trong khe thời gian đầu tiên, cả nút A và nút B đều truyền tín hiệu của chúng,  $s_{AB}$  và  $s_{BA}$ , tới nút chuyển tiếp. Tín hiệu nhận được tại nút chuyển tiếp, tức là,  $y_R = s_{AB} + s_{BA}$ , được khuếch đại và phát tới nút A và nút B trong khe thời gian thứ hai. Nút A trích xuất  $s_{BA} = y_R - s_{AB}$  (tương tự cho B).



**Hình 3.2 (a) Chuyển tiếp hai chiều thông thường; (b) Mã hóa mạng số; (c) Mã hóa mạng tương tự [15]**

Mô hình mạng

Mạng VLC với K người dùng và một bộ phối hợp, đóng vai trò như một nút chuyển tiếp. Trong trường hợp này, mã hóa mạng tương tự được áp dụng cho đa người dùng nhờ CDMA quang, trong đó mỗi người dùng được gán một chuỗi mã duy nhất. Nhiều cặp người dùng có thể trao đổi dữ liệu bất đồng bộ và đồng thời cùng với sự trợ giúp của bộ phối hợp. Trao đổi dữ liệu hai chiều giữa bất kỳ cặp người dùng nào đều xảy ra trong hai khe thời gian. Trong khe thời gian đầu tiên, tất cả người dùng trải phổ dạng sóng điện theo mức bit của họ thành dạng sóng quang theo mức chip, sau đó được truyền tới bộ phối hợp. Cụ thể hơn, người dùng thứ k gửi tín hiệu quang  $S_k(t)$  đại diện cho bit “1” trong khi không có tín hiệu nào được truyền cho trường hợp bit “0”.  $S_k(t)$  có thể được biểu thị như sau:

$$S_k(t) = \sum_{i=1}^L c_{k,i}(t)p(t - iT_c)\sqrt{P_k^{(T)}}\exp[j(\omega_c t + \theta_k)]; \quad (3.1)$$

Trong đó  $L$  là độ dài mã,  $T_c$  là thời gian chip và  $P_k^{(T)}$  là công suất truyền trên mỗi chip của người dùng thứ k. Tần số sóng mang quang và độ lệch pha được ký

hiệu tương ứng là  $\omega_c$  và  $\theta_k$ .  $p(t - iT_c)$  là xung hình chữ nhật, có giá trị là 1 trong khoảng thời gian  $t \in [0, T]$ ,  $c_{k,i}$  là chip thứ  $i$  của chuỗi mã  $c_k$ , trong đó  $1 \leq i \leq L$ .

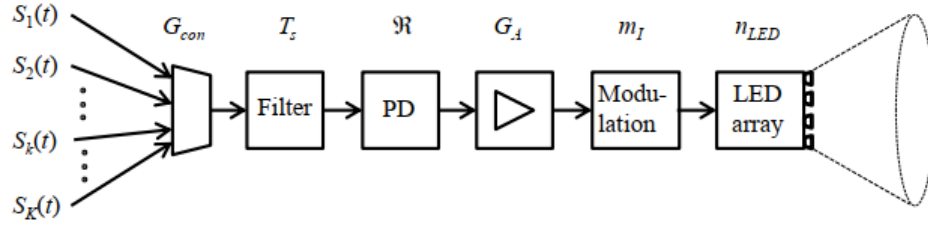
Tại bộ phối hợp (Hình 3.3), tín hiệu từ tất cả người dùng được kết hợp và chuyển đổi thành tín hiệu điện tại bộ tách sóng quang (PD). Tín hiệu điện kết hợp sau đó được khuếch đại và chuyển đổi trở lại thành tín hiệu quang bằng cách điều chỉnh cường độ của các điốt phát sáng (LED), được sắp xếp thành một chuỗi nhằm mục đích vừa truyền thông vừa chiếu sáng. Tín hiệu kết hợp ở đầu vào của bộ phối hợp trong thời gian một bit được xác định theo:

$$S_C^{(R)}(t) = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^L c_{k,i}(t) p(t - iT_c) \sqrt{P_k^{(R-C)}} \exp[j(\omega_c t + \theta_k)] \quad (3.2)$$

trong đó  $K$  là số lượng người dùng  $P_k^{(R-C)}$  là công suất nhận được trên mỗi chip tại bộ phối hợp,  $P_k^{(R-C)} = P_k^{(T)} H_k^U T_s G_{con}$ , trong đó  $H_k^U$  là hệ số kênh của tuyến lên,  $G_{con}$  là độ lợi của bộ tập trung quang và  $T_s$  là độ lợi của bộ lọc quang. Tín hiệu ở đầu ra của bộ phối hợp sau khi xử lý quang /điện /quang (O/E/O) có thể được biểu diễn như sau:

$$S_C^{(R)}(t) = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^L c_{k,i}(t) p(t - iT_c) \sqrt{P_k^{(T-C)}} \exp[j(\omega_c t + \theta_k)] \quad (3.3)$$

Trong đó,  $P_k^{(T-C)} = P_k^{(R-C)} \Re m_I G_A n_{LED}$ ,  $\Re$  là đáp ứng của PD,  $m_I$  là chỉ số điều chế,  $G_A$  là độ lợi của bộ khuếch đại và  $n_{LED}$  là số đèn LED trong mảng LED.



**Hình 3.3 Sơ đồ khối của bộ phối hợp**

Trong khe thời gian thứ hai, tín hiệu quang kết hợp được phát lại cho tất cả người dùng. Tại bộ thu của mỗi người dùng, tín hiệu quang trước tiên được chuyển đổi thành tín hiệu điện và sau đó được giải mã để loại bỏ tín hiệu khỏi tín hiệu kết hợp. Để không mất đi tính tổng quát, chúng ta có thể giả định rằng người dùng #c cố gắng tách tín hiệu từ người dùng #d. Tín hiệu tại bộ thu của người dùng #c, sau khi giải mã mạng tương tự, được biểu diễn như sau:

$$\begin{aligned} \hat{S}_d^{(T)}(t) = & \sum_{i=1}^L c_{d,i}(t)p(t - iT_c)\sqrt{P_d^{(R)}}\exp[j(\omega_c t + \theta_k)] \\ & + \sum_{k=1, k \neq c, d}^K \sum_{i=1}^L c_{k,i}(t)p(t - iT_c)\sqrt{P_k^{(R)}}\exp[j(\omega_c t + \theta_k)] \end{aligned} \quad (3.4)$$

Ở đây,  $\hat{S}_d^{(T)}$  là ước lượng tín hiệu được phát từ người dùng #d và  $P_k^{(R)} = P_k^{(T-C)}H_k^{(D)}T_cG_{con}$ , trong đó  $H_k^{(D)}$  là hệ số kênh tuyến xuống. Biểu thức số hạng đầu tiên trong công thức (3.4) là tín hiệu mong muốn trong khi số hạng thứ hai đại diện cho nhiễu đa người dùng. Cuối cùng, người dùng #c khôi phục các tín hiệu mong muốn từ Người dùng #d bằng cách sử dụng chuỗi mã thích hợp, tức là  $c_d(t)$ .

### 3.2.2 Mô hình kênh VLC

Kênh ánh sáng nhìn thấy có thể được mô hình hóa như một kênh nhiễu Gaussian trắng cộng quang tuyến tính (AWGN) và được biểu diễn như sau:

$$y(t) = x(t) \otimes h(t) + n(t) \quad (3.5)$$

Trong đó  $x(t)$ ,  $y(t)$ ,  $\otimes$  và  $h(t)$  tương ứng đại diện cho tín hiệu truyền tức thời, tín hiệu nhận tức thời, tích chập và đáp ứng xung kênh.  $n(t)$  là nhiễu Gaussian và ký hiệu  $\otimes$  biểu thị toán tử tích chập. Độ lợi kênh  $d_c$  là phép biến đổi Fourier của  $h(t)$  và có thể được xác định theo [16]:

$$H = \begin{cases} \frac{(m+1)A}{2\pi d^2} \cos^m(\phi) T_s(\psi) g(\psi) \cos(\psi), & 0 \leq \psi \leq \Psi_c, \\ 0, & \psi > \Psi_c, \end{cases} \quad (3.6)$$

Trong đó  $A$ ,  $d$ ,  $\phi$  và  $\psi$  tương ứng là diện tích vật lý của bộ tách sóng trong photodiode, khoảng cách giữa máy phát và bề mặt máy thu, góc chiếu xạ hợp với trục pháp tuyến của bề mặt máy phát và góc tới đối với trục pháp tuyến của bề mặt máy thu.  $T_s(\psi)$  là độ lợi của bộ lọc quang và  $\psi_c$  là độ rộng của trường nhìn (FOV) tại máy thu. Độ lợi của bộ tập trung quang tại máy thu,  $g_\psi$ , và bậc của phát xạ Lambertian,  $m$ , được xác định bởi [16]

$$g(\psi) = \begin{cases} \frac{n^2}{\sin^2 \Psi_c}, & 0 \leq \psi \leq \Psi_c, \\ 0, & \psi > \Psi_c, \end{cases} \quad (3.7)$$

$$m = \frac{\ln(2)}{\ln(\cos(\Phi_{1/2}))}, \quad (3.8)$$

Trong đó  $n$  và  $\Phi_{1/2}$  lần lượt là chiết suất và bán góc nửa công suất. Trong phân tích, hệ số kênh của đường lên  $H_k^{(U)}$  và đường xuống ( $H_k^{(D)}$ ) được tính bằng cách sử dụng công thức (3.6), trong đó  $d$ ,  $\phi$  và  $\psi$  được xác định dựa trên tọa độ của người dùng thứ  $k$  và người điều phối.

### 3.3 Phân tích hiệu năng

### 3.3.1 Tỷ lệ lỗi bit

Trong phân tích này, ta giả định rằng tất cả người dùng đều có cùng xác suất phát bit “1” và bit “0”, bằng 1/2. Về thuộc tính của bộ mã, ta ký hiệu  $L, w$  và  $\gamma$  tương ứng là độ dài mã, trọng số mã và giá trị tương quan chéo. Lỗi bit được tính toán dựa trên tín hiệu nhận được trong thời lượng một bit. Khi người dùng mong muốn gửi bit “1”, sẽ có  $w$  chip quang từ người dùng mong muốn và  $\lambda$  chip quang từ mỗi người dùng không mong muốn xuất hiện ở đầu ra của bộ giải mã OCDMA của máy thu. Khi người dùng mong muốn gửi bit “0”, chỉ  $\lambda$  chip quang từ người dùng không mong muốn xuất hiện ở đầu ra của bộ giải mã. Khi người dùng #c tách tín hiệu do người dùng #d gửi, dòng điện cho các trường hợp của bit “1” và bit “0” có thể được biểu diễn như sau:

$$I^{(1)} = \Re(wP_d^{(R)} + P_{MUI}), \quad (3.9)$$

$$I^{(0)} = \Re P_{MUI}, \quad (3.10)$$

trong đó  $\Re$  là đáp ứng của PD.  $P_{MUI}$  là công suất nhiễu đa người dùng, được điều chỉnh bởi giá trị tương quan chéo ( $\lambda$ ) và số lượng người dùng đang hoạt động ( $l$ ) như  $P_{MUI} = \sum_{k=1}^l \lambda P_k$ . Trong trường hợp công suất quang từ mỗi người dùng được điều khiển dựa trên vị trí của nó để công suất nhận được tại người dùng #c, từ tất cả người dùng đều giống nhau và được ký hiệu là  $P^{(R)}$ . Tổng công suất MUI được viết là  $P_{MUI} = l\lambda P_k^{(R)}$

Ta xét ba loại nhiễu trong khi phân tích hiệu suất năng bao gồm nhiễu nơ, nhiễu nhiệt và nhiễu giao thoa quang, có phương sai lần lượt được xác định theo: [16], [17]

$$\begin{aligned} \sigma_{sh-1}^2 &= 2q\Re(wP_d^{(R)} + P_{MUI})B + 2qI_B I_2 B, \\ \sigma_{sh-0}^2 &= 2q\Re P_{MUI} B + 2qI_B I_2 B, \end{aligned} \quad (3.11)$$

$$\sigma_{th}^2 = \frac{8\pi k T_k}{G_{ol}} C_{pd} A I_2 B^2 + \frac{16\pi^2 k \Gamma T_k}{g_m} C_{pd}^2 A_{PD}^2 I_3 B^3, \quad (3.12)$$

$$\sigma_{bn}^2 = 2 \left( \frac{BL}{B_0} \right) \Re^2 P_d^{(R)} \sum_{k=1}^l \lambda P_k^{(R)}. \quad (3.13)$$

Công thức (3.11) cho thấy phương sai nhiễu nỏ cho hai trường hợp bit “1” và bit “0” ( $\sigma_{sh-1}^2$  và  $\sigma_{sh-0}^2$ ), trong đó q,  $I_2$  và  $I_B$  là điện tích, tích phân thành phần hoặc “số hạng” thứ hai, và dòng điện nền được đo bằng cách sử dụng ánh sáng mặt trời trực tiếp. Băng thông nhiễu tương đương  $B = R_b$ , với  $R_b$  là tốc độ dữ liệu kênh VLC. Công thức (3.12) biểu thị phương sai nhiễu nhiệt, trong đó  $\kappa$  là hằng số Boltzmann,  $T_k$  là nhiệt độ tuyệt đối,  $G_{ol}$  là độ lợi điện áp vòng hở,  $C_{pd}$  là điện dung cố định của bộ tách sóng quang trên một đơn vị diện tích,  $\Gamma$  là hệ số nhiễu kênh bóng bán dẫn hiệu ứng trường (FET),  $g_m$  là hệ số truyền dẫn của FET, và  $I_3$  là tích phân thành phần (số hạng) thứ ba. Nhiễu giao thoa quang, được tính bằng công thức (3.13), được tạo ra khi tín hiệu quang mong muốn và tín hiệu gây nhiễu được kết hợp tại bộ tách sóng quang. Trong công thức (3.13),  $B_0$  là băng thông quang. Tổng phương sai nhiễu đối với các trường hợp của bit “1” và bit “0” tương ứng là

$$\sigma_1^2 = \sigma_{sh-1}^2 + \sigma_{th}^2 + \sigma_{bn}^2, \quad (3.14)$$

$$\sigma_0^2 = \sigma_{sh-0}^2 + \sigma_{th}^2. \quad (3.15)$$

Theo công thức (3.4), tín hiệu MUI được đóng góp từ  $K - 2$  người dùng gây nhiễu, trong đó  $l$  người dùng (trong số  $K - 2$  người dùng gây nhiễu) đang phát



bit “1”. Do đó,  $l$  có thể được mô hình hóa như một biến nhị thức với xác suất  $\frac{1}{2}$ . Giả sử rằng ngưỡng tối ưu được sử dụng, xác suất có điều kiện để gửi bit “1” và phát hiện bit “0” bằng xác suất gửi bit “0” và phát hiện bit “1”. Do đó, tỷ lệ lỗi bit có thể được tính toán:

$$BER = \sum_{l=1}^{K-2} \binom{K-2}{l} 2^{-(K-2)} Q\left(\frac{I^{(1)} - I^{(0)}}{\sigma_1 + \sigma_0}\right), \quad (3.16)$$

trong đó “ $Q(\cdot)$ ” là hàm  $Q$ .

### 3.3.2 Thông lượng mạng

Thông lượng mạng đề cập đến tốc độ dữ liệu trung bình của việc phân phối gói dữ liệu thành công qua mạng và được đo bằng bit trên giây ( $b/s$ ). Để tính toán thông lượng mạng, ta ký hiệu  $N$  là số bit của một gói dữ liệu và  $T_s$  là thời lượng của khe, nơi một gói được chứa. Theo đó, tốc độ dữ liệu danh nghĩa có thể được biểu thị bằng  $R_b = N/T_s$  ( $b/s$ ). Vì bộ phối hợp dựa trên ANC với chuyển tiếp khuếch đại và chuyển tiếp, các lỗi gói ở người dùng  $\#c$  phụ thuộc vào gói lỗi tại người dùng  $\#d$  và ngược lại. Do đó, định nghĩa  $\Omega_c$  và  $\Omega_d$  lần lượt là các sự kiện mà một gói tin được nhận một cách chính xác tại người dùng  $\#c$  và người dùng  $\#d$ . Ngoài ra,  $\bar{\Omega}_c$  và  $\bar{\Omega}_d$  được biểu thị là các sự kiện bổ sung. Do đó, chúng ta có  $P(\Omega_x)$   $P(\bar{\Omega}_x)$  là xác suất của các biến cố  $\Omega_x$  và  $\bar{\Omega}_c$ , trong đó  $x \in \{c, d\}$ . Trao đổi gói giữa người dùng  $\#c$  và người dùng  $\#d$  xảy ra trong hai khe thời gian, tức là  $2T_s$ . Có ba khả năng mà một gói được nhận đúng tại người dùng  $\#c$  hoặc và người dùng  $\#d$  như sau:

- ❖ Cả Người dùng  $\#c$  và Người dùng  $\#d$  đều nhận đúng gói tin với xác suất là  $P(\Omega_c, \Omega_d)$
- ❖ Gói tin chỉ được nhận đúng tại Người dùng  $\#c$  hoặc Người dùng  $\#d$  với xác suất  $P(\Omega_c, \bar{\Omega}_d)$  hoặc  $P(\bar{\Omega}_c, \Omega_d)$

Giả sử rằng một gói được truyền lại cho đến khi nó được nhận chính xác, thì số khe thời gian trung bình cần thiết để gửi gói thành công là  $2T_s/P(X,Y)$ . Thông lượng hai người dùng được cung cấp bởi

$$\begin{aligned}
 TP_{2u} &= \frac{2N}{\frac{2T_s}{P(\Omega_c, \Omega_d)}} + \frac{N}{\frac{2T_s}{P(\Omega_c, \bar{\Omega}_d)}} + \frac{N}{\frac{2T_s}{P(\bar{\Omega}_c, \Omega_d)}} \\
 &= \frac{R_s}{2} [2P(\Omega_c, \Omega_d) + P(\Omega_c, \bar{\Omega}_d) + P(\bar{\Omega}_c, \Omega_d)] \\
 &= \frac{R_s}{2} [P(\Omega_c) + P(\Omega_d)] \\
 &= \frac{R_s}{2} [(1 - PEP_{d-c}) + (1 - PEP_{c-d})]
 \end{aligned} \tag{3.17}$$

Trong đó  $PEP_{d-c}$  và  $PEP_{c-d}$  là các xác suất lỗi gói tại người dùng #c và Người dùng #d, được giả định là giống nhau do tính đối xứng. Trong trường hợp xác suất lỗi gói ở tất cả người dùng là như nhau, được ký hiệu là  $PEP_{x-y}$ , thông lượng mạng có thể đạt được từ thông lượng của hai người dùng như dưới đây

$$TP_N = \left\lfloor \frac{K}{2} \right\rfloor TP_{2u} = \left\lfloor \frac{K}{2} \right\rfloor R_s (1 - PEP_{xy}), \tag{3.18}$$

trong đó  $\lfloor . \rfloor$  là toán tử sàn và  $K$  là số người dùng. Đối với gói dữ liệu có độ dài  $N$  bit, xác suất lỗi gói là hàm của tỷ lệ lỗi bit và điều này có thể được tính toán như dưới đây

$$PEP_{xy} = 1 - (1 - BER)^N \tag{3.19}$$

### 3.4 Các kết quả số liệu

Xét một mạng VLC bên trong một căn phòng có kích thước điển hình là  $W = 5$  m,  $D = 5$  m và  $H = 3$  m. Nằm chính giữa trần nhà là bộ phối hợp hướng xuống đất, còn nằm trên mặt phẳng có độ cao  $H_p = 0,75$  m so với mặt đất là các thiết bị hướng về bộ phối hợp. Mạng VLC được xem xét dựa trên mã trực giao quang (OOC) (43, 7, 1) với độ dài mã là  $L = 43$ , trọng số mã là  $w = 7$ , và giá trị tương quan chéo là  $\lambda = 1$ . Các hằng số và tham số mạng khác được thể hiện trong Bảng 3.1.

**Bảng 3.1 Các hằng số và tham số mạng**

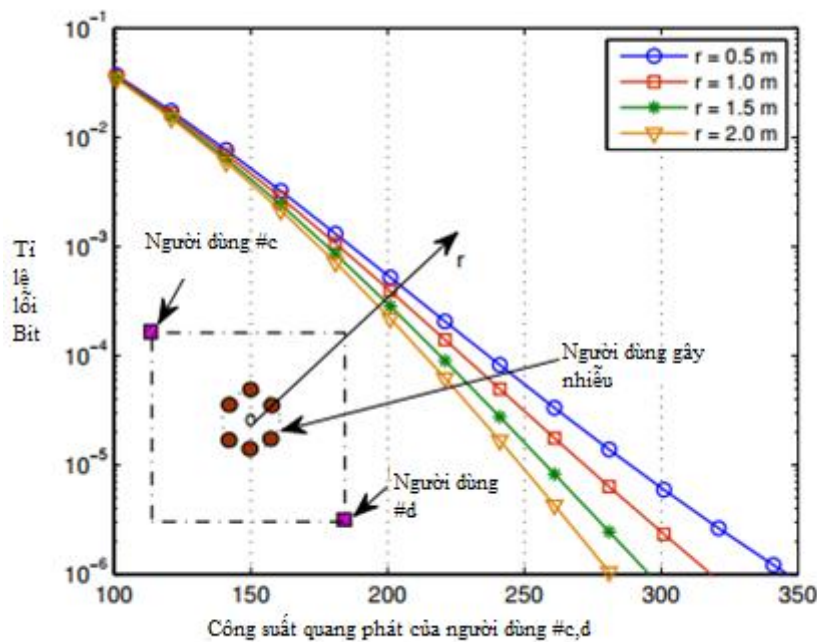
Tên	Giá trị
Chỉ số điều chế	$m_1 = 0.8$
Hệ số tái hợp của bộ tách sóng quang	$\Re = 0.54$ A/W
Khu vực máy dò	$A = 1$ cm <sup>2</sup>
Chiết suất thấu kính của bộ tách sóng quang	$N = 1.5$
Nửa công suất	$\Phi_{1/2} = 60^\circ$
Độ lợi của bộ lọc quang	$T_s(\psi) = 1$
Chiều rộng của FOV	$\psi_c = 60^\circ$
Số lượng của các bóng đèn trong một mảng	$n_{LED} = 60 \times 60$
Dòng nhiễu nền	$I_B = 5100$ $\mu$ A
Băng thông nhiễu	$B = 150$ Mb/s
Băng thông quang	$B_o = 1.28$ THz
Nhiệt độ tuyệt đối	$T_k = 300$ K

Độ lợi điện áp vòng hở	$G_{ol} = 10\text{pF/cm}^2$
Hệ số nhiễu kênh bóng bán dẫn hiệu ứng trường	$\Gamma = 1.5$
Hệ số chất dẫn điện bóng bán dẫn hiệu ứng trường	$g_m = 30\text{ mS}$
Điện dung cố định của bộ tách sóng quang	$C_{pd} = 112\text{ pF/cm}^2$
Tích phân thành phần thứ hai	$I_2 = 0.562$
Tích phân thành phần thứ ba	$I_3 = 0.0868$
Hệ số khuếch đại thu được	$G_A = 30\text{ dB}$
Hằng số điện tích	$q = 1.6 \times 10^{-19}\text{C}$
Hằng số Boltzmann	$k = 1.38 \times 10^{-23}\text{WHz}^{-1}\text{K}^{-1}$

Đầu tiên, ta đánh giá tác động của MUI với vấn đề gần xa đến hiệu năng của mạng VLC được đề xuất sử dụng OCDMA. Trong Hình 3.4, khảo sát BER của liên kết kết nối hai người dùng (người dùng #c và người dùng #d) nằm ở các góc của căn phòng (tức là khoảng cách liên kết dài nhất). Ngoài ra, những người sử dụng gây nhiễu nằm gần điểm trung tâm của căn phòng với khoảng cách được ký hiệu là  $r$ . Tại hình 3.4 cho thấy tác động của MUI nghiêm trọng hơn khi người dùng gây nhiễu ở gần điểm trung tâm của căn phòng, tức là khoảng cách liên kết ngắn hơn. Do đó, cần BER cao hơn và công suất phát lớn hơn khi  $r$  giảm. Ví dụ, với  $K = 8$  người dùng (2 người dùng mong muốn và 6 người dùng gây nhiễu), công suất phát yêu cầu tăng khoảng  $50\text{ mW}$  khi  $r$  giảm từ  $1,5\text{ m}$  xuống  $0,5\text{ m}$ .

Ta cũng thấy rằng BER tăng do MUI khi số lượng người dùng ( $K$ ) tăng từ 4 lên 6 và 8 người dùng như trong Hình 3.5. Trong hình này, vị trí của Người dùng #c và Người dùng #d vẫn ở các góc của phòng trong khi những người sử dụng gây

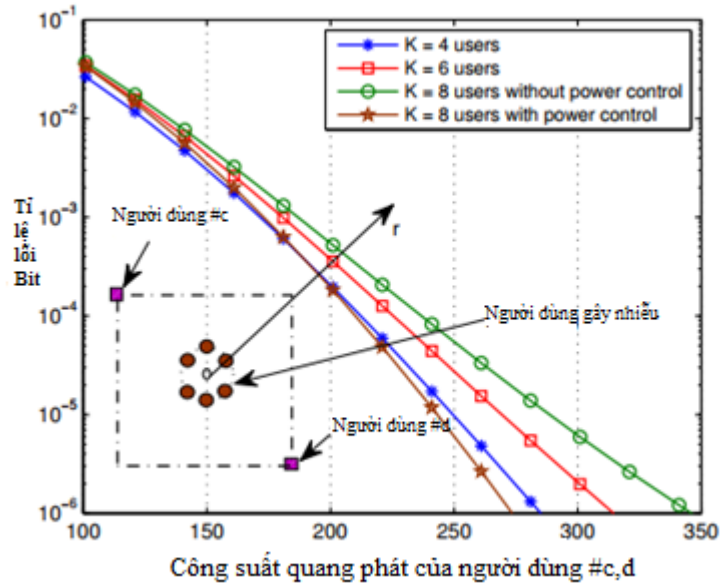
nhieu được đặt cách tâm điểm của phòng 0,5 m. Có thể thấy rằng công suất phát yêu cầu của Người dùng #c và người dùng #d cần phải tăng 60 mW (từ 285 mW lên 345 mW) khi số người dùng tăng từ 4 lên 8 người dùng để giữ BER là  $10^{-6}$ . Bằng cách sử dụng cơ chế điều khiển công suất, giúp giữ cho công suất từ những người dùng mong muốn và những người dùng can nhiễu như nhau, tác động của MUI được giảm thiểu. Do đó, công suất phát yêu cầu giảm từ 345 mW xuống 273 mW khi  $K = 8$  người sử dụng.



**Hình 3.4 Tỷ lệ lỗi bit (BER) theo công suất quang phát của người dùng c với  $K=8$  người dùng.**

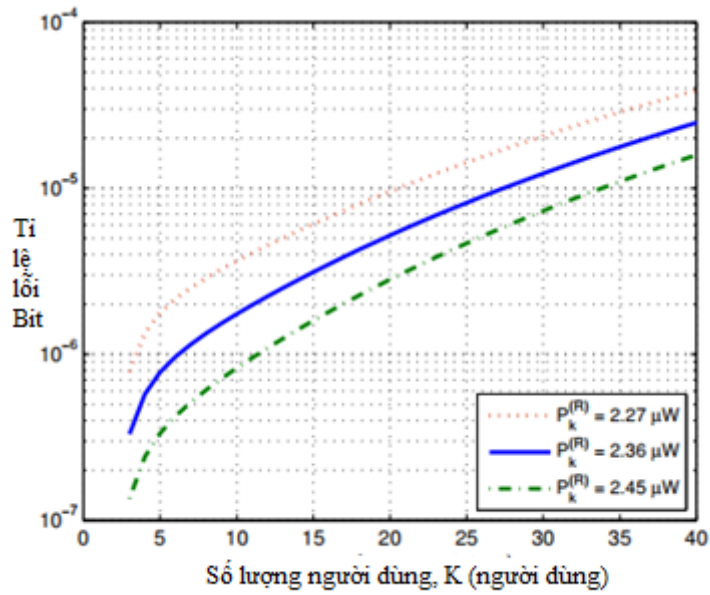
Với giả định rằng điều khiển công suất được sử dụng, Hình 3.6 thể hiện BER của một liên kết VLC kết nối hai người dùng với các giá trị khác nhau của công suất quang nhận được, bao gồm  $2,27 \mu W$ ,  $2,36 \mu W$  và  $2,45 \mu W$ . Rõ ràng là BER giảm khi số lượng người dùng hoạt động tăng lên. Điều này là do tác động của MUI, được điều chỉnh bởi  $K$ . Hình này cũng giúp xác định số lượng người dùng có thể hỗ trợ tương ứng với một giá trị cụ thể của BER. Ví dụ, mạng VLC được đề xuất có thể hỗ trợ khoảng 4 người dùng với BER là  $10^{-6}$  khi công suất nhận được là  $2,27$

$\mu\text{W}$ . Khi công suất nhận được tăng lên  $2,45 \mu\text{W}$ , số người dùng được hỗ trợ là 12 người dùng.

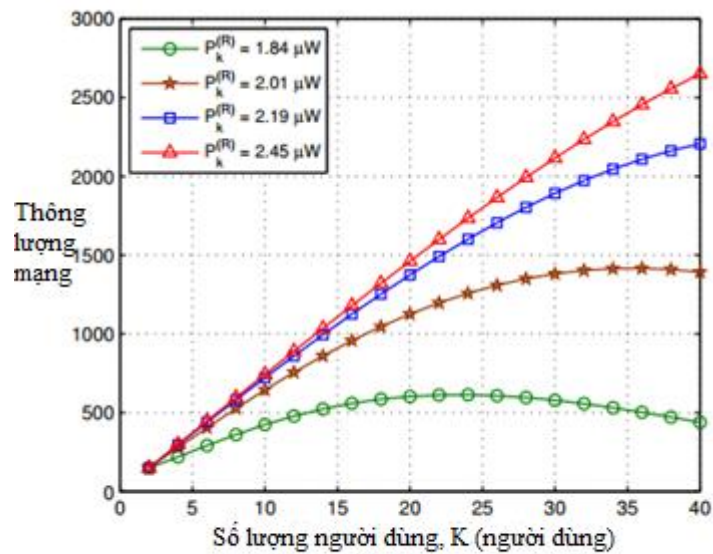


**Hình 3.5 Tỷ lệ lỗi bit (BER) theo công suất quang phát của người dùng c với  $r = 0.5 \text{ m}$ .**

Mối quan hệ giữa thông lượng mạng và số lượng người dùng ( $K$ ) được thể hiện trong Hình 3.7, trong đó tổng số bit trên mỗi gói là 5000 bit. Khi số lượng người dùng ít, tác động của MUI là không đáng kể. Do đó, khi  $K$  tăng sẽ cải thiện thông lượng mạng. Tuy nhiên, khi  $K$  quá lớn, MUI gây ra sự gia tăng của BER, dẫn đến tăng xác suất lỗi gói và do đó làm giảm thông lượng mạng. Chúng ta thấy rõ trong hình rằng có một giá trị tối ưu của  $K$ , tại đó thông lượng mạng đạt được giá trị đỉnh. Thông lượng đỉnh phụ thuộc vào công suất quang nhận được. Cụ thể hơn, nó tăng theo công suất phát vì công suất nhận lớn giúp giảm MUI.



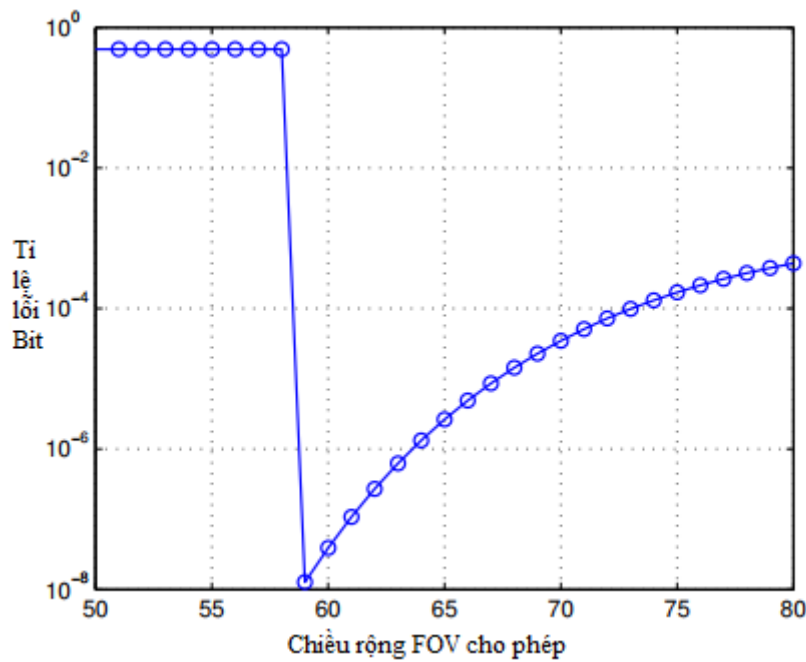
Hình 3.6 Tỷ lệ lỗi bit theo số lượng người dùng hoạt động với điều khiển công suất



Hình 3.7 Thông lượng mạng theo số lượng người dùng hoạt động với  $N = 5000$  bits

Để xác định các giá trị phù hợp cho FOV ( $\Psi_c$ ), ta khảo sát BER theo  $\Psi_c$  trong Hình 3.8. Ta xét trường hợp xấu nhất là hai người dùng được coi là nằm ở các góc của phòng. Ta nhận thấy rằng, nếu  $\Psi_c$  quá nhỏ (nhỏ hơn  $59^\circ$ ), bộ thu của điều phối không thể nhận đủ công suất quang từ bộ phát của người dùng và ngược lại để tách tín hiệu. Do đó, BER của liên kết rất cao. Trong trường hợp  $\Psi_c$  quá lớn,

suy hao hình học cũng tạo ra BER cao. Cần lưu ý rằng, suy hao hình học là suy hao xảy ra do sự phân kỳ của chùm quang. Suy hao bằng diện tích quang của máy thu với diện tích chùm sáng ở máy thu. Các giá trị của  $\Psi_c$  phải được chọn sao cho BER của liên kết dưới ngưỡng. Với  $P_{c,d}^{(T)} = 290 \text{ mW}$ ,  $\Phi_{1/2} = 70^\circ$  và  $\text{BER} = 10^{-6}$ ,  $\Psi_c$  phải nằm trong khoảng  $58,5^\circ$  và  $64^\circ$ .



Hình 3.8 Tỉ lệ lỗi bit theo góc nhìn với  $\Psi_c$  với  $\Phi_{1/2} = 70^\circ$ ,  $P_{c,d}^{(T)} = 290 \text{ mW}$  và  $K = 8$  người dùng

### 3.5 Kết luận chương

Chương 3 đã đưa ra mô hình mạng VLC trong nhà dựa trên công nghệ CDMA. Phân tích và đánh giá hiệu năng mạng VLC trong nhà dựa trên công nghệ CDMA. Từ đó thực hiện đánh giá khả năng áp dụng giải pháp CDMA vào hệ thống VLC thông qua các biểu thức toán học cho BER và thông lượng. Kết quả số cho thấy BER thấp và thông lượng mạng cao có thể đạt được trong mạng mô hình mạng đề xuất. Dựa trên các kết quả, ta có thể xác định công suất quang truyền yêu cầu, số lượng người dùng có thể hỗ trợ và các thông số phù hợp của bộ thu phát VLC như nửa công suất bán góc và FOV.



## KẾT LUẬN

Luận văn đã thực hiện nghiên cứu tổng quan về cấu trúc mạng truyền thông ánh sáng nhìn thấy và những lợi ích khi áp dụng công nghệ CDMA vào mạng truyền thông ánh sáng nhìn thấy. Đề tài tập trung nghiên cứu về kiến trúc cho mạng VLC trong nhà có thể hỗ trợ truyền hai chiều cho nhiều người dùng trong một phòng.

Trong phạm vi của luận văn, luận văn tập trung trình bày các đặc điểm chính sau:

- Nội dung luận văn cao học cung cấp một số kiến thức cơ bản về truyền thông ánh sáng nhìn thấy cũng như những kỹ thuật đa truy nhập phân chia theo mã CDMA.
- Đưa ra mô hình mạng VLC trong nhà dựa trên công nghệ CDMA để từ đó phân tích và đánh giá hiệu năng của mạng VLC.

Đóng góp chính của luận văn là đưa ra một kiến trúc mới cho mạng VLC trong nhà có thể hỗ trợ truyền hai chiều cho nhiều người dùng trong một phòng. Xây dựng biểu thức toán học cho BER và thông lượng của mạng VLC đề xuất kết hợp với mô hình kênh VLC trong nhà, các thông số của bộ thu phát, tác động của tạp âm và nhiễu. Các biểu thức toán học thu được có thể sẽ được dùng để khảo sát hiệu suất mạng so với tham số lớp vật lý khác nhau để đánh giá tính khả thi của mạng VLC đề xuất.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Hien T. T. Pham and Ngoc T. Dang, “Analog network coding aided multiuser visible light communication networks using optical CDMA”, *OSA Continuum*, Vol. 2, No. 9, 15 September 2019.
- [2] Z. Ghassemlooy, L. N. Alves, S. Zvanovec, and M.-A. Khalighi, *Visible Light Communications: Theory and Applications* (CRC Press, 2017).
- [3] G. Cossu, A. M. Khalid, P. Choudhury, R. Corsini, and E. Ciaramella, “3.4 gbit/s visible optical wireless transmission based on rgb led,” *Opt. Express* **20**(26), B501–B506 (2012).
- [4] Y. Wang, X. Huang, L. Tao, J. Shi, and N. Chi, “4.5-gb/s rgb-led based wdm visible light communication system employing cap modulation and rls based adaptive equalization,” *Opt. Express* **23**(10), 13626–13633 (2015).
- [5] Y. Wang, N. Chi, Y. Wang, L. Tao, and J. Shi, “Network architecture of a high-speed visible light communication local area network,” *IEEE Photonics Technol. Lett.* **27**(2), 197–200 (2015).
- [6] J. Dang and Z. Zhang, “Comparison of optical ofdm-idma and optical ofdma for uplink visible light communications,” (Huangshan, China, September 2012), *Talk at 2012 International Conference on Wireless Communications and Signal Processing (WCSP)*.
- [7] H. Marshoud, V. Kapinas, G. Karagiannidis, and S. Muhaidat, “Non-orthogonal multiple access for visible light communications,” *IEEE Photonics Technol. Lett.* **28**(1), 51–54 (2016).
- [8] Z. Chen and H. Hass, “Space division multiple access in visible light communications,” (London, UK, June 2015), *Talk at 2015 IEEE International Conference on Communications (ICC)*.
- [9] Y. Qiu, S. Chen, H. H. Chen, and W. Meng, “Visible light communications based on cdma technology,” *IEEE Wirel. Commun.* **25**(2), 178–185 (2018).

- [10] A. Stok and E. H. Sargent, “The role of optical cdma in access networks,” [IEEE Wirel. Commun. Mag.](#) **40**(9), 83–87 (2002).
- [11] M. F. Guerra-Medina, O. Gonzalez, B. Rojas-Guillama, J. A. Martin-Gonzalez, F. Delgado, and J. Rabadan, “Ethernet-ocdma system for multi-user visible light communications,” [Electron. Lett.](#) **48**(4), 227–228 (2012).
- [12] M. Noshad and M. Brandt-Pearce, “High-speed visible light indoor networks based on optical orthogonal codes and combinatorial designs,” (London, UK, 2013), *Talk at 2013 IEEE Globecom - Optical networks and systems symposium (GLOBECOM)*.
- [13] Y. Idriss, R. K. Sahbudin, S. Hitam, and S. B. A. Anas, “Performance comparison of indoor vlc system employing sac-ocdma technique,” (Serdang, Selangor, Malaysia, 2016) *Talk at 2016 IEEE 6th International Conference on Photonics (ICP 2016)*.
- [14] M. Hammouda, A. M. Vegni, J. Peissig, and M. Biagi, “Resource allocation in a multi-color ds-ocdma vlc cellular architecture,” [Opt. Express](#) **26**(5), 5940–5961 (2018).
- [15] D. Chen, J. Wang, J. Jin, H. Lu, and L. Feng, “A cdma system implementation with dimming control for visible light communication,” [Opt. Commun.](#) **412**, 172–177 (2018).
- [16] T. Komine and M. Nakagawa, “Fundamental analysis for visible-light communication system using led lights,” *IEEE Transactions on Consumer Electron.* **50**(1), 100–107 (2004).
- [17] X. Wang and K. Kitayama, “Analysis of beat noise in coherent and incoherent time-spreading ocdma,” *J. Lightwave Technol.* **22**(10), 2226–2235 (2004).