

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG



TRẦN VĂN TOẢN

**ĐÁNH GIÁ HIỆU NĂNG HỆ THỐNG KẾT HỢP
KỸ THUẬT FSO VÀ WDM TRONG HẠ TẦNG
TRÊN CAO (HAP)**

TÓM TẮT LUẬN VĂN THẠC SĨ

HÀ NỘI - 2019

Luận văn đã hoàn thành tại:
HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG

Người hướng dẫn khoa học
TS. Lê HẢI CHÂU

Phản biện 1:

Phản biện 2

Luận văn sẽ được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận văn thạc sĩ tại Học Viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông

Vào lúc:

Có thể tìm hiểu luận văn tại:

- Thư viện của Học Viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông

MỞ ĐẦU

Công nghệ truyền thông quang qua không gian tự do (FSO) hứa hẹn giải quyết tốt vấn đề khan hiếm về phổ tần của hệ thống RF truyền thống hiện đang ngày càng trở nên nghiêm trọng do sự phát triển và triển khai nhanh chóng của các mạng không dây. Hệ thống FSO cũng phù hợp với các trường hợp không thể đặt cáp quang như ở các vùng xa xôi hẻo lánh hoặc những nơi bị cách biệt do xảy ra thiên tai, động đất lũ lụt với thời gian triển khai nhanh.

HAP có thể được sử dụng để thay thế một trạm gốc ở trên không cung cấp thông tin liên lạc vô tuyến đáng tin cậy, hiệu quả và theo yêu cầu cho các khu vực mong muốn. Mặt khác, HAP có thể hoạt động như thiết bị người dùng ở trên không (UE), được gọi là HAP di động, cùng tồn tại với thiết bị thu phát mặt đất. Hơn nữa, với độ cao có thể điều chỉnh, HAP cho phép thiết lập hiệu quả các đường truyền tín hiệu trực tiếp (LOS), do đó giảm thiểu suy hao và che khuất tín hiệu. Với những lợi thế như vậy, HAP cho thấy nhiều tiềm năng ứng dụng trong các mạng viễn thông.

Nội dung luận văn, Đánh giá hiệu năng hệ thống kết hợp kỹ thuật FSO và WDM trong hạ tầng trên cao HAP được bố cục như sau:

- **Chương 1:** Tổng quan về FSO, WDM và khả năng ứng dụng trong hạ tầng trên cao (HAP), bao gồm về lịch sử phát triển của FSO, cấu trúc hệ thống, đặc điểm và khả năng ứng dụng của công nghệ truyền thông quang không dây FSO, phân tích về kỹ thuật ghép kênh theo bước sóng WDM, và hạ tầng truyền thông trên cao HAP và khả năng ứng dụng công nghệ FSO và WDM trong hạ tầng truyền thông trên cao HAP.

- **Chương 2:** Giải pháp kết hợp kỹ thuật FSO và WDM trong hạ tầng trên cao HAP, hệ thống WDM – FSO cơ bản, các tham số và yếu tố ảnh hưởng đến hiệu năng của hệ thống FSO và hệ thống WDM, phân tích hiệu năng hệ thống FSO trong HAP

- **Chương 3:** Đưa ra hệ thống WDM – FSO 4 kênh trong HAP từ đó đánh giá hiệu năng của hệ thống như các ảnh hưởng về công suất phát, khoảng cách truyền, tốc độ bit, kỹ thuật điều chế... Từ các phương pháp phân tích được ảnh

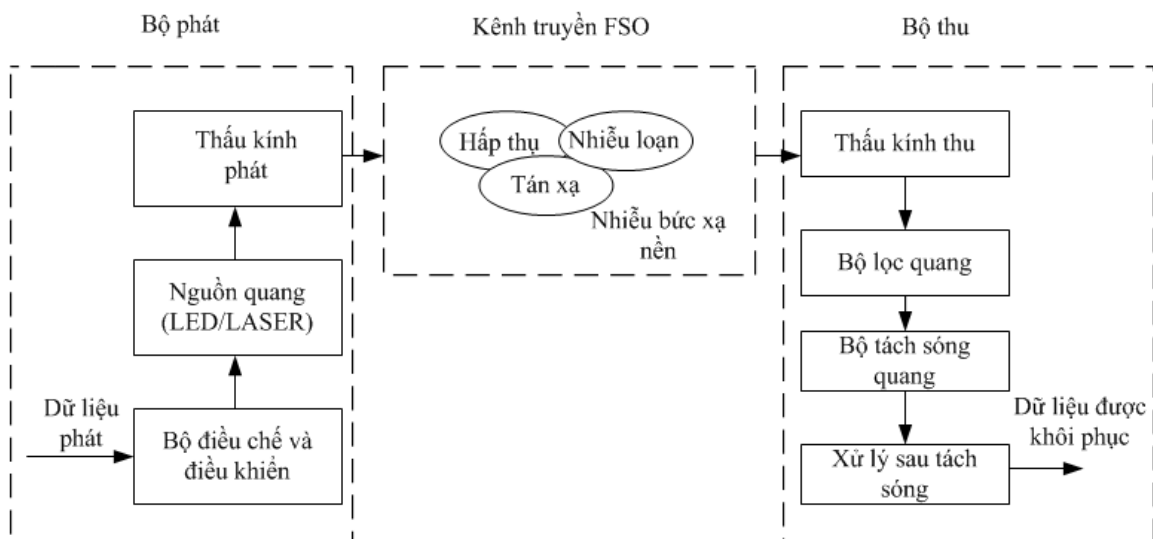
CHƯƠNG I: TỔNG QUAN VỀ FSO, WDM VÀ KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG TRONG HẠ TẦNG TRÊN CAO HẠP

1.1. Giới thiệu về truyền thông quang không dây FSO

1.1.1. Lịch sử phát triển FSO

FSO (hay truyền thông quang không dây) có thể được định nghĩa là công nghệ viễn thông sử dụng sự truyền lan ánh sáng trong không khí để truyền tín hiệu giữa hai điểm. Đây là công nghệ truyền thông băng rộng tầm nhìn thẳng, trong đó tín hiệu quang thay vì truyền trong sợi quang, được phát đi trong một chùm sóng quang qua không gian. Một mạng truyền thông quang không dây bao gồm các bộ thu – phát quang (gồm một khối thu và một khối phát) cung cấp khả năng thông tin hai chiều. Mỗi khối phát quang sử dụng một nguồn quang và một thấu kính để phát tín hiệu quang qua không gian tới khối thu. Tại phía thu, một thấu kính khác được sử dụng để thu tín hiệu, thấu kính này được nối với khối thu có độ nhạy cao qua một sợi quang.

1.1.2. Cấu trúc hệ thống truyền thông quang không dây



Hình 1.3. Sơ đồ khối của hệ thống truyền thông quang không dây [2].

a) Bộ phát

Dữ liệu đầu vào phía nguồn được truyền tới một đích ở xa. Phía nguồn có cơ chế điều chế sóng mang quang riêng, điển hình như laser, được truyền đi như một trường quang qua kênh khí quyển. Các mặt quan trọng của hệ thống phát quang là kích cỡ, công suất và chất lượng búp sóng, các đặc điểm này xác định cường độ laser và góc phân kỳ nhỏ nhất có thể đạt được từ hệ thống. Phương thức điều chế được sử dụng rộng rãi tại bộ phát là điều chế cường độ (IM), trong đó cường độ phát xạ của nguồn quang sẽ được điều chế bởi số liệu cần truyền đi.

Bảng 1.1: Một số loại nguồn quang sử dụng phổ biến trong các hệ thống FSO

Loại nguồn quang		Bước sóng (nm)	Đặc điểm
LD	Phát xạ mặt khoảng cộng hưởng dọc	~ 850	Rẻ và có tính khả dụng, không có hoạt động làm mát, mật độ công suất thấp, tốc độ lên tới ~ 10 Gbit/s.
	Fabry – Perot	~ 1300/~ 1550	Thời gian sống lâu, tiêu chuẩn an toàn cho mắt thấp hơn, mật độ công suất cao hơn 50 lần (100 nW/cm ²), tương thích với bộ khuếch đại EDFA, tốc độ cao lên tới 40 Gbit/s, độ dốc hiệu quả 0,03 – 0,2 W/A.
	Thác lượng tử	~ 10000	Đắt tiền và tương đối mới, truyền rất nhanh với độ nhạy cao, truyền dẫn trong sương mù tốt hơn, thành phần chế tạo không có sẵn, không thâm nhập được qua thủy tinh.
LED		Hồng ngoại gần	Rẻ hơn, mạch điều khiển đơn giản, công suất và tốc độ dữ liệu thấp hơn.

b) Bộ thu

Tại phía thu, trường quang được tập trung lại và được tách, cùng với sự xuất hiện của xuyên nhiễu, méo tín hiệu, và bức xạ nền. Bên phía thu, các đặc tính quan

trọng là kích cỡ độ mở và số lượng photon, những đặc tính này xác định lượng ánh sáng được tập trung và phạm vi tách trường quang của bộ tách quang. Trong các hệ thống quang, công suất tín hiệu điện thu được tỉ lệ thuận với A^2 trong khi đó phương sai của nhiễu lượng tử lại tỉ lệ thuận với A , (A là diện tích mặt thu của bộ thu). Bộ thu bao gồm các thành phần sau:

- ✓ *Phần tử thu tín hiệu quang*: Có chức năng tập hợp và tập trung các phát xạ quang tới bộ tách sóng quang. Khẩu độ (độ mở) của bộ thu lớn sẽ giúp tập hợp được nhiều phát xạ quang vào bộ tách sóng quang.
- ✓ *Bộ lọc thông dải quang*: Được sử dụng với mục đích làm giảm lượng bức xạ nền.
- ✓ *Bộ tách sóng quang PIN hoặc APD* chuyển đổi trường quang đến thành tín hiệu điện. Các bộ tách sóng quang thường được dùng trong các hệ thống truyền thông quang hiện nay được tóm tắt trong bảng 1.2.
- ✓ *Mạch xử lý tín hiệu*: Có chức năng khuếch đại, lọc và xử lý tín hiệu để đảm bảo tính chính xác cao của dữ liệu được khôi phục.

Bảng 1.2: Các bộ tách quang trong FSO [4]

Loại cấu trúc	Vật liệu	Bước sóng (nm)	Đáp ứng (W/A)	Độ nhạy	Độ lợi
PIN	Silic	300 ÷ 1100	0,5	- 34 dBm tại tốc độ 155 Mb/s	1
	Silic (với bộ khuếch đại phối hợp trở kháng)	300 ÷ 1100	0,5	- 26 dBm tại tốc độ 1,25 Gb/s	1
	InGaAs	1000 ÷ 1700	0,9	- 46 dBm tại tốc độ 155 Mb/s	1
APD	Silicon	400 ÷ 1000	77	- 52 dBm tại tốc độ 155 Mb/s	150
	InGaAs	1000 ÷ 1700	9	- 33 dBm tại tốc độ 1,25 Gb/s	10

1.1.3. Đặc điểm của FSO

Hệ thống thông tin quang vô tuyến truyền thông quang không dây FSO gồm những đặc điểm nổi bật sau:

- ✓ Hệ thống truyền thông quang không dây ra đời là sự thay thế sóng điện từ bằng sóng ánh sáng. Với bước sóng trong khoảng từ 780 -1580 nm tương ứng với tần số trong khoảng từ 200 – 300 THz.
- ✓ Băng thông cực rộng có khả năng mang một lượng tin lớn là một ưu điểm nổi trội của hệ thống truyền thông quang không dây FSO .
- ✓ Làm việc ở tần số ánh sáng nên vượt ra ngoài phạm vi của quản lý tần số chính vì vậy không cần đăng ký và phân chia vùng tần số.
- ✓ Đặc điểm không mong muốn của truyền thông quang không dây là bị suy hao nhiều trong môi trường truyền đặc biệt là trong môi trường có mưa, sương mù , khói bụi...

1.1.4. Ứng dụng của công nghệ FSO

- ✓ *Kết nối tốc độ cao giữa các tòa nhà với FSO*
- ✓ *Mở rộng mạng đô thị:* Hệ thống FSO có thể được triển khai để mở rộng mạng vòng đô thị đã có sẵn hay kết nối tới các mạng khác.
- ✓ *Khả năng kết nối doanh nghiệp:* Các kết nối LAN – LAN, mạng lưu trữ SAN
- ✓ *Kết nối dặm cuối:* Chúng có thể được triển khai điểm – điểm, điểm – đa điểm hay các kết nối hình lưới.
- ✓ *Bổ xung cho cáp sợi quang:* FSO cũng có thể được triển khai như đường truyền dự phòng khôi phục cáp sợi.
- ✓ *Truy nhập:* FSO có thể được triển khai trong các ứng dụng truy nhập như truy nhập mạng Ethernet tốc độ cao. Các nhà cung cấp dịch vụ có thể sử dụng FSO để xác định các hệ thống vòng lặp cục bộ và để cung cấp các đường truyền dựa trên FSO tới các doanh nghiệp.

✓ *Các công nghệ DWDM:* Với sự kết hợp với WDM và các hệ thống FSO, những người sử dụng độc lập hướng tới xây dựng các vòng cáp sợi cho riêng họ, nhưng có thể sở hữu một phần của mạng vòng.

✓ *Truyền thông mạng tế bào*

✓ *Hệ thống FSO và vấn đề an ninh mạng*

1.2. Kỹ thuật ghép kênh phân chia theo bước sóng WDM

1.2.1. Tổng quan về WDM

Ưu điểm của công nghệ WDM:

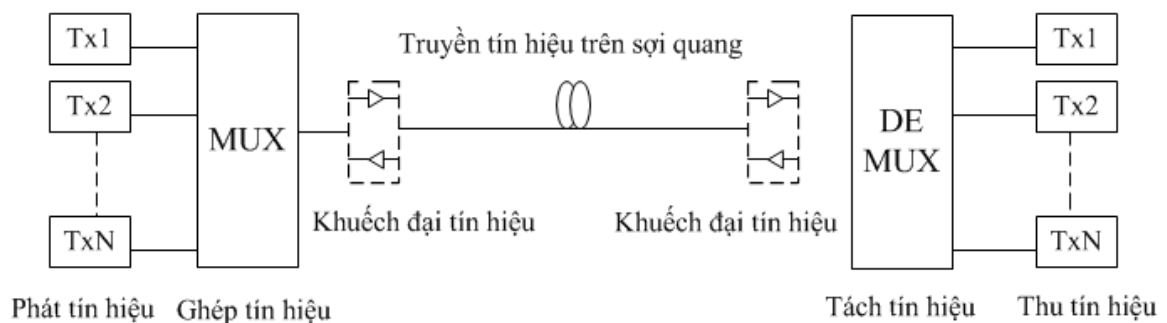
✓ *Tăng băng thông truyền trên sợi quang*

✓ *Tính trong suốt:*

✓ *Khả năng mở rộng:*

✓ *Nhược điểm của công nghệ WDM:* Vẫn chưa khai thác hết băng tần hoạt động có thể của sợi quang (chỉ mới tận dụng được băng C và băng L), quá trình khai thác, bảo dưỡng phức tạp hơn gấp nhiều lần. Nếu hệ thống sợi quang đang sử dụng là sợi DSF theo chuẩn G.653 thì rất khó triển khai WDM vì xuất hiện hiện tượng trộn bốn bước sóng khá gay gắt.

1.2.2. Sơ đồ khối tổng quát hệ thống WDM



Hình 1.5: Sơ đồ chức năng hệ thống WDM [3].

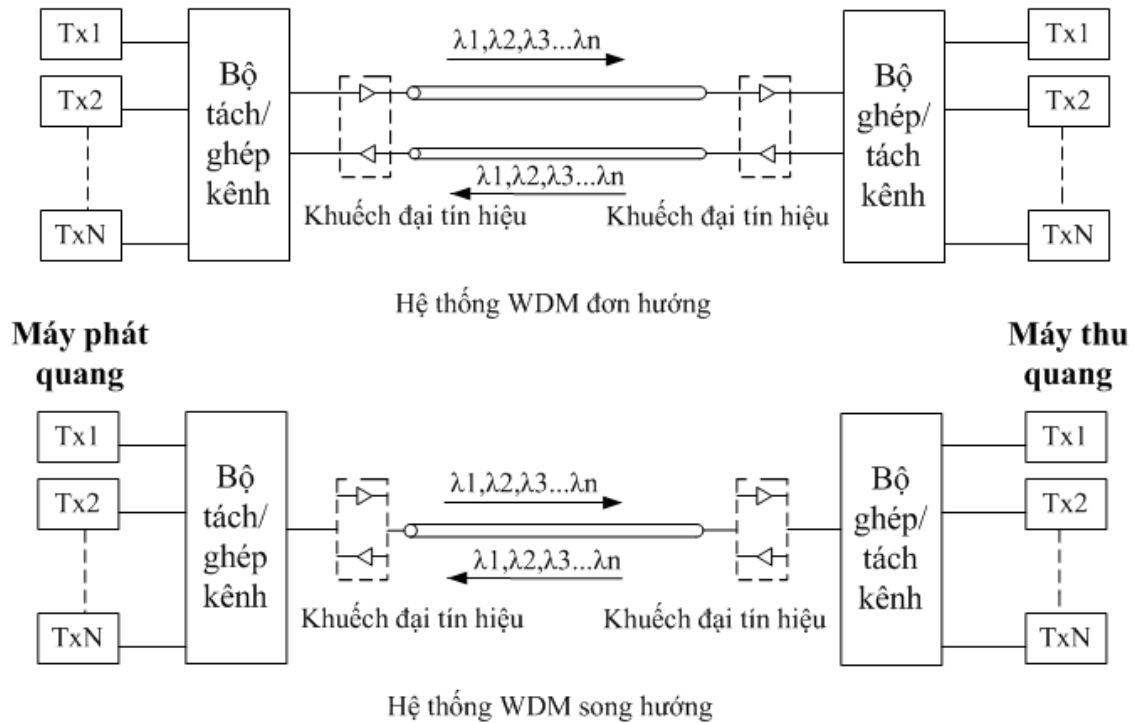
✓ *Phát tín hiệu:*

✓ *Ghép/tách tín hiệu:*

✓ *Truyền dẫn tín hiệu:*

✓ *Khuếch đại tín hiệu: Thu tín hiệu:* Thu tín hiệu trong các hệ thống WDM cũng sử dụng các bộ tách sóng quang như trong hệ thống thông tin quang thông thường: PIN, APD.

1.2.3. Phân loại hệ thống WDM



Hình 1.6: Hệ thống ghép bước sóng đơn hướng và song hướng [4].

1.2.4. Các phần tử cơ bản trong WDM

a) Bộ phát quang

Các nguồn quang cơ bản sử dụng trong hệ thống thông tin cáp sợi quang có thể là Diode Laser (LD) hoặc Diode phát quang (LED)[3,10]. Trong đó laser khuếch đại ánh sáng nhờ bức xạ kích thích và hoạt động của laser dựa trên hai hiện tượng chính đó là hiện tượng bức xạ kích thích và hiện tượng cộng hưởng của sóng ánh sáng khi lan truyền trong laser.

- ✓ *Độ chính xác của bước sóng phát:*
- ✓ *Độ rộng đường phổ hẹp:*
- ✓ *Dòng ngưỡng thấp:*
- ✓ *Khả năng điều chỉnh được bước sóng:*

✓ *Tính tuyến tính:*

✓ *Nhiều thấp:*

b) *Bộ thu quang*

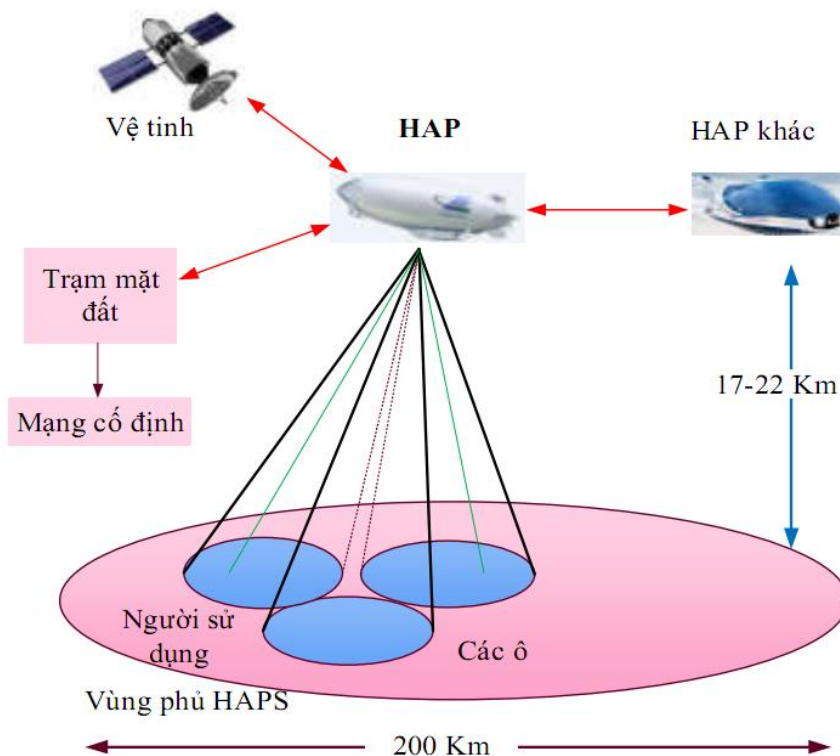
c) *Sợi quang*

d) *Bộ tách/ghép bước sóng (MUX/DEMUX)*

e) *Bộ khuếch đại quang*

1.3. Hạ tầng truyền thông trên cao (HAP) và khả năng ứng dụng công nghệ FSO và WDM

Hạ tầng trên cao HAP là máy bay, phi thuyền hoặc khinh khí cầu nằm ở trên các tầng mây ở độ cao điển hình từ 17 đến 25 km, nơi các chùm tia laser ít chịu tác động của khí quyển hơn trên mặt đất. Như được mô tả trong hình 1.13 các liên kết quang giữa HAP, vệ tinh, và trạm mặt đất được sử dụng như các đường truyền backhaul băng rộng để truyền dữ liệu từ các cảm biến đặt trên HAP hoặc khi HAP làm việc như là một trạm chuyển tiếp dữ liệu [1].



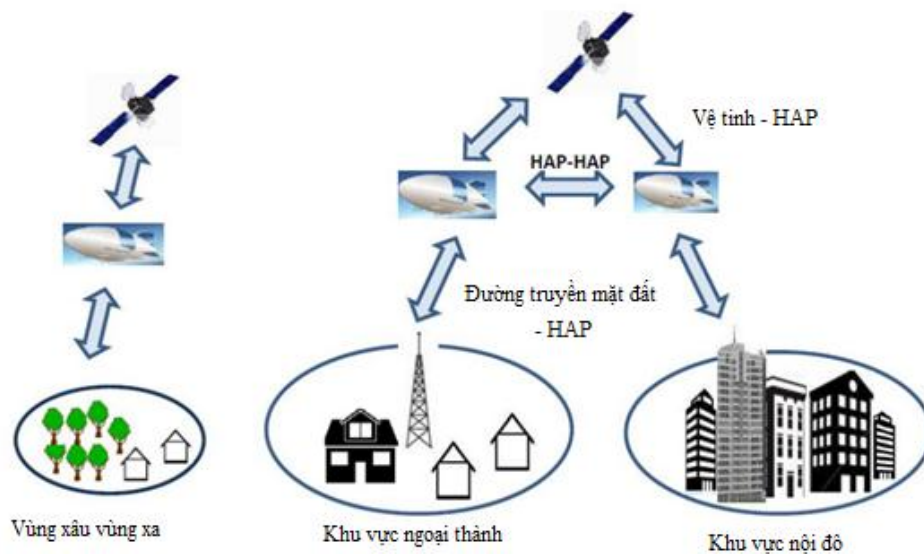
Hình 1.13: Hệ thống HAP được triển khai ở độ cao 17 – 22 km.

HAP có những đặc điểm khác biệt so với các hệ thống mặt đất và vệ tinh chẳng hạn như khu vực phủ sóng lớn (3 -7 km), triển khai nhanh, tăng công suất linh hoạt thông qua việc xác định lại kích thước búp sóng, chi phí bảo trì thấp và có khả năng cung cấp đường truyền băng rộng. Do HAP được đặt cách xa vùng khí quyển, chúng cung cấp điều kiện kênh tốt hơn so với vệ tinh. Hơn nữa, HAP cung cấp tình trạng LOS tốt hơn ở hầu hết các vùng phủ sóng, do đó ít bị ảnh hưởng của che khuất hơn so với các hệ thống trên mặt đất.

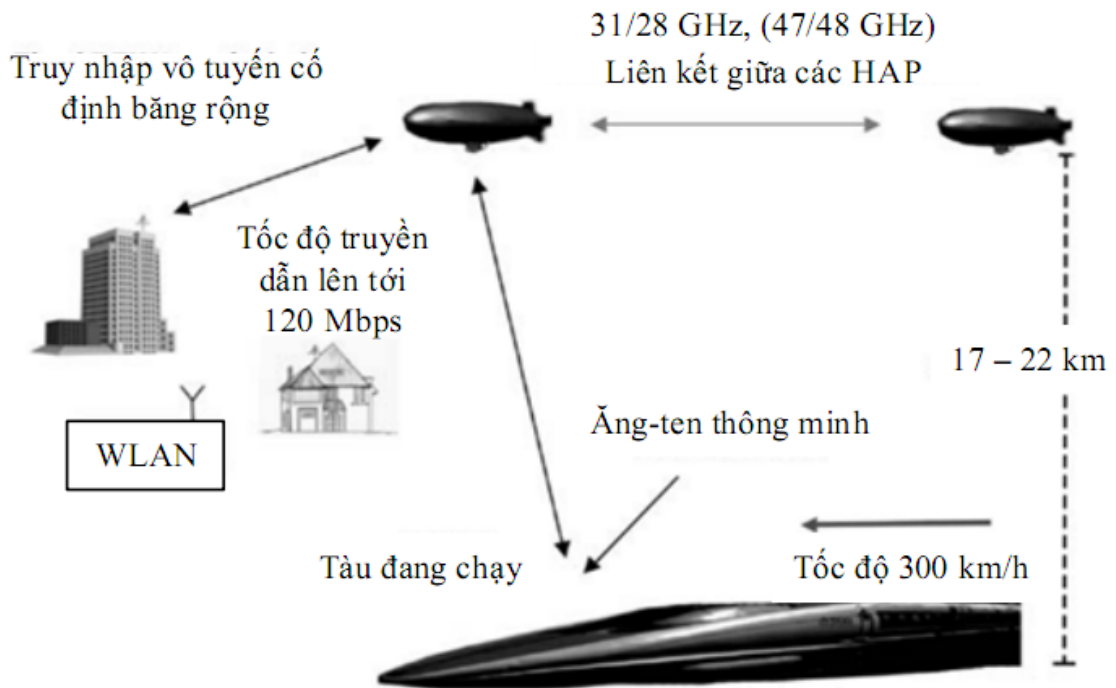
Hơn nữa, sử dụng bộ tái tạo trên HAP có thể phân chia liên kết vệ tinh với mặt đất thành hai phần chính sau đó là:

- Liên kết vệ tinh - HAP có suy hao tương đương với suy hao không gian tự do.
- Liên kết HAP - mặt đất bị ảnh hưởng bởi suy hao khí quyển.

HAP có thể hoạt động như một hệ thống độc lập hoặc có thể được tích hợp với các hệ thống vệ tinh hoặc hệ mặt đất khác như minh họa trong hình 1.14.



Hình 1.14: Các kiến trúc hệ thống HAP [3].



Hình 1.15: Giải pháp sử dụng hệ thống HAP cung cấp dịch vụ băng rộng trong dự án CAPANINA [3].

Hệ thống tích hợp vệ tinh – HAP - mặt đất cung cấp khả năng quảng bá và các dịch vụ băng thông rộng trên một diện tích bao phủ rộng hơn. Nó có thể được sử dụng để cung cấp các dịch vụ cho các khu vực ngoại ô với chi phí triển khai rất thấp. Nhiều tải trọng quang đặt trên mỗi HAP có thể tạo nên các bộ nhớ dung lượng lớn (kích thước lên tới Terabyte) lưu trữ dữ liệu thu thập được từ vệ tinh và chuyển nó tới trạm mặt đất bất kỳ lúc nào mà không bị hạn chế bởi thời gian nhìn thấy vệ tinh.

1.4. Kết luận

Nội dung chương 1 đã giới thiệu khái quát về hệ thống truyền thông quang không dây FSO về lịch sử phát triển, cấu trúc hệ thống truyền thông quang không dây và cũng nêu lên tổng quát về kỹ thuật ghép kênh phân chia theo bước sóng WDM, giới thiệu được sơ đồ khối hệ thống WDM và phân loại hệ thống WDM cũng như các phần tử cơ bản trong hệ thống WDM. Ngoài ra, nội dung chương 1 còn tập trung giới thiệu về hạ tầng truyền thông trên cao HAP và khả năng ứng dụng công nghệ FSO và WDM trong hạ tầng truyền thông trên cao.

CHƯƠNG II: GIẢI PHÁP KẾT HỢP KỸ THUẬT FSO VÀ WDM TRONG HAP

2.1. Giới thiệu chung

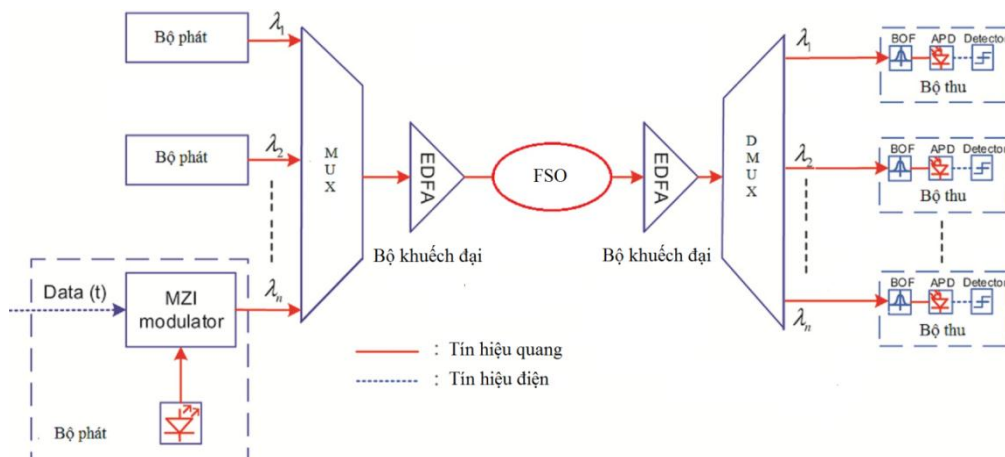
Trong truyền dẫn FSO dẫn đến hiện tượng truyền dẫn ngắn do tổn đường truyền lớn do vậy việc sử dụng HAP như một phương thức hỗ trợ tăng khoảng cách truyền dẫn giữa hai trạm trong trường hợp truyền dẫn điểm điểm.

Trong trường hợp WDM chỉ sử dụng đường truyền sợi quang thì tính linh hoạt của hệ thống bị giới hạn nhưng khi kết hợp hệ thống WDM và FSO thì khả năng tăng dung lượng và tăng băng thông của kênh truyền, mở rộng số lượng kênh truyền cũng như tăng tính linh hoạt của hệ thống.

Hệ thống kết hợp WDM – FSO sử dụng HAP như một phương thức kết hợp mang tính hiệu quả với các ưu điểm nổi trội, hỗ trợ và tương thích lẫn nhau, tối ưu đường truyền.

2.2. Hệ thống WDM – FSO trong hạ tầng trên cao HAP

2.2.1. Mô hình hệ thống WDM – FSO cơ bản



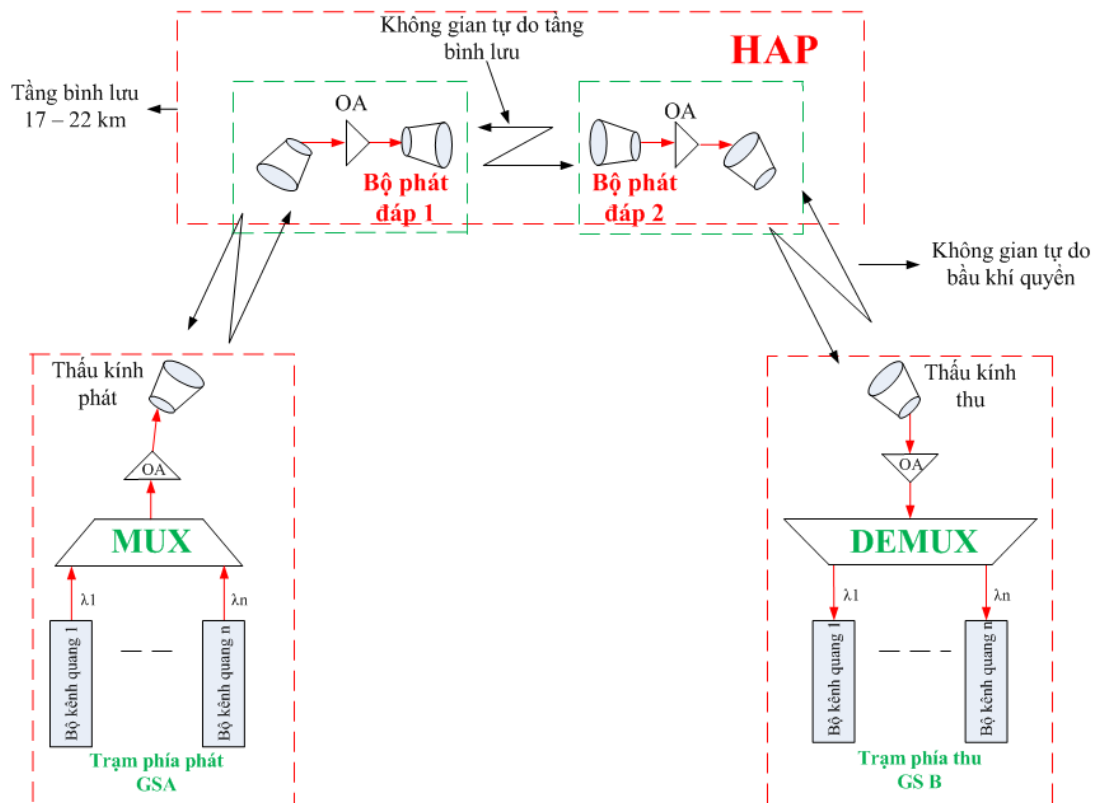
Hình 2.2: Hệ thống WDM – FSO cơ bản

Thành phần cơ bản của hệ thống WDM – FSO trong hình 2.2 gồm có các khối chức năng như:

- ✓ Bộ phát quang:

- ✓ Bộ thu quang: Gồm Photodiode, chuyển tín hiệu quang thành tín hiệu điện và bộ lọc Besel thu tín hiệu có tần số thấp rồi qua bộ khôi phục tín hiệu 3R Regenerator và cuối cùng đưa vào bộ phân tích tỉ lệ lỗi bit BER.
- ✓ Bộ tách/ ghép kênh quang:
- ✓ Bộ khuếch đại:
- ✓ Đường truyền trong không gian tự do FSO:

2.2.2. Giải pháp WDM – FSO ứng dụng trong hạ tầng trên cao HAP



Hình 2.3: Giải pháp WDM – FSO ứng dụng trong hạ tầng trên cao HAP

Giải pháp WDM – FSO ứng dụng trong hạ tầng trên cao HAP như được mô tả như hình 2.3 trên gồm có các thành phần: Bộ phát quang, bộ tách/ghép kênh quang (MUX/DEMUX), ngoài ra, hệ thống còn có bộ khuếch đại quang trực tiếp và các thấu kính thu phát được truyền trong không gian tự do (FSO).

2.3. Các đặc tính kênh truyền của FSO và hệ thống WDM

2.3.1. Yếu tố ảnh hưởng đến đường truyền FSO

a) Hấp thụ và tán xạ

Sự hấp thụ thể hiện sự phụ thuộc mạnh vào bước sóng [3], Trong thực tế, chỉ có các cửa sổ khí quyển, nơi sự suy hao là tối thiểu, thích hợp cho FSO. Các bước truyền thông laser điển hình là 1,064 μm và 1,55 μm , cũng như khoảng cách giữa 10 μm và 12 μm rơi vào các cửa sổ truyền dẫn tốt. Tán xạ không khí do các hạt có kích thước phân tử được gọi là tán xạ Rayleigh. Nó chiếm ưu thế trong điều kiện bầu trời trong và tỷ lệ thuận với λ^{-4} . Đối với các hạt lớn hơn so với bước sóng, tán xạ Mie xảy ra mà không có sự phụ thuộc mạnh vào λ , cho bởi công thức (2.4):

$$\beta_a(\lambda) = \frac{3,91}{V} \left(\frac{\lambda}{550} \right)^{-\delta} \quad (2.4)$$

Trong đó V là dải tầm nhìn (tính theo mét) và δ được biểu diễn như sau:

$$\delta = \begin{cases} 1.6 & \text{Mô hình Kim} & V > 50 \\ 1.3 & & 6 < V < 50 \\ 0.16V + 0.34 & & 1 < V < 6 \\ V - 0.5 & & 0.5 < V < 1 \\ 0 & & V < 0.5 \end{cases} \quad \delta = \begin{cases} 1.6 & \text{Mô hình Kruse} & V > 50 \\ 1.3 & & 6 < V < 50 \\ 0.585V^{1/3} & & V < 6 \end{cases} \quad (2.5)$$

Bảng 2.2 dưới đây đưa ra giá trị của dải tầm nhìn dưới các điều kiện thời tiết khác nhau.

Điều kiện thời tiết	Dải tầm nhìn (m)
Sương mù dày đặc	200
Sương mù trung bình	500
Sương mù nhẹ	770 - 1.000
Mưa lớn (25mm/h)	1.900 - 2.000
Mưa trung bình (12,5mm/h)	2.800 - 40.000
Khô ráo/Mưa bụi (0,25mm/h)	18.000 - 20.000
Rất khô ráo	23.000 - 50.000

Với:

$$\alpha_{\text{Advection}}(\lambda) = \frac{0,11478\lambda + 3,8367}{V} \quad (2.6)$$

$$\alpha_{\text{Radation}}(\lambda) = \frac{0,18126\lambda^2 + 3,7502}{V} \quad (2.7)$$

Trong đó λ là bước sóng tính theo nm và tầm nhìn V tính theo mét. Tổn hao công suất do mưa và tuyết là thấp so với do tán xạ Mie.

Suy hao kênh truyền không khí của hệ thống FSO chủ yếu gây ra bởi khói bụi, sương mù và cũng phụ thuộc vào mưa. Suy hao tổng sẽ là sự kết hợp của suy hao môi trường không khí và suy hao hình học. Suy hao tổng của hệ thống FSO được cho bởi công thức:

$$\frac{P_r}{P_t} = \frac{d_2^2}{(d_1 + (\theta L))^2} \times \exp(-\beta L) \quad (2.8)$$

Trong đó: P_t là công suất phát (mW), P_r là công suất thu (mW), θ là góc phân kỳ búp sóng (mrad), β là hệ số suy hao (1/km), L là khoảng cách quãng đường truyền dẫn.

b) Sự mở rộng búp

c) Fading do nhiễu loạn

2.3.2. Yếu tố ảnh hưởng đến hệ thống WDM

a) Suy hao xen: Được biểu diễn tương tự như suy hao đối với các bộ tách/ghép hỗn hợp (MUX/DMUX) nhưng cần lưu ý trong WDM là xét cho một bước sóng đặc trưng. Suy hao xen được xác định qua công thức sau:

$$\text{Đối với MUX} \quad L_i = -10 \log \frac{O(\lambda_i)}{I_i(\lambda_i)} [dB] \quad (2.16)$$

$$\text{Đối với DEMUX} \quad L_i = -10 \log \frac{O_i(\lambda_i)}{I(\lambda_i)} [dB] \quad (2.17)$$

Trong đó: L_i là suy hao tại bước sóng λ_i khi thiết bị được ghép xen vào tuyến truyền dẫn.

$I(\lambda_i)$, $O(\lambda_i)$ tương ứng là công suất các tín hiệu quang tại đầu vào và đầu ra bộ DEMUX và MUX.

$I_i(\lambda_i)$ là công suất tín hiệu đầu vào thứ i của bộ ghép.

$O_i(\lambda_i)$ là công suất tín hiệu đầu vào thứ i của bộ tách.

b) Xuyên kênh: Là sự có mặt của một kênh này trong kênh kế cận làm tăng nền nhiễu và giảm tỷ số tín hiệu nhiễu của kênh đang xét.

Khả năng để tách các kênh khác nhau được diễn giải bằng suy hao xuyên kênh và được tính bằng dB như sau:

$$D_i(\lambda_i) = -10 \log \left[\frac{U_i(\lambda_k)}{I_i(\lambda_k)} \right] [dB] \quad (2.18)$$

Trong bộ giải ghép thì $U_i(\lambda_k)$ là lượng tín hiệu không mong muốn ở bước sóng λ_k bị dò ở cửa ra thứ i mà đúng ra chỉ có tín hiệu ở bước sóng λ_i .

c) Suy hao quỹ công suất của hệ thống WDM:

Để máy thu thu được thông tin thì công suất tín hiệu đến máy thu phải nằm trong dải công suất của máy thu như trong công thức sau:

$$\begin{aligned} P_{\text{máy phát}} &= P_{\text{phát}} + P_{\text{dự trữ}} \\ P_{\text{thu min}} &< P_{\text{phát}} - P_{\text{tổng suy hao}} < P_{\text{thu max}} \end{aligned} \quad (2.19)$$

d) Độ rộng kênh: Mỗi quan hệ giữa tần số và bước sóng được xác định theo công thức sau:

$$\begin{aligned} \lambda f &= c \\ f &= \frac{c}{\lambda} \\ \Rightarrow \frac{df}{d\lambda} &= -\frac{c}{\lambda^2} \Rightarrow \frac{\Delta f}{\Delta \lambda} = -\frac{c}{\lambda^2} \end{aligned} \quad (2.20)$$

Trong đó: c là vận tốc ánh sáng $3 \cdot 10^8$ m/s.

λ là bước sóng hoạt động.

Vì vậy 1,875 nm là tương đương với độ rộng của các kênh có tần số xấp xỉ 250GHz. Vậy độ rộng kênh là dải bước sóng mà nó định ra cho từng nguồn phát quang. Dải bước sóng C của các bộ khuếch đại EDFA là 1530-1550 nm.

2.4. Hiệu năng hệ thống truyền dẫn WDM – FSO trong HAP

2.4.1. Tham số đánh giá hiệu năng hệ thống

Tỉ số tín hiệu trên nhiễu SNR: Là tỉ số giữa công suất tín hiệu mong muốn thu được và công suất tín hiệu gây nhiễu.

Tỉ lệ lỗi bit BER được xác định tại bộ thu, là tỉ số giữa số bit thu bị lỗi trên tổng số bit *Dung lượng kênh C* là giới hạn trên của lượng thông tin mà hệ thống có thể truyền tải qua kênh truyền thông. Dung lượng sẽ là một hàm của tín hiệu quang thu được và các công suất nhiễu, phương pháp điều chế và tách sóng.

Do vậy, dung lượng kênh được tính theo công thức như sau:

$$C = \log_2 M + (1 - P_e) \log_2 (1 - P_e) + P_e \log_2 \left(\frac{P_e}{M-1} \right) \quad (2.30)$$

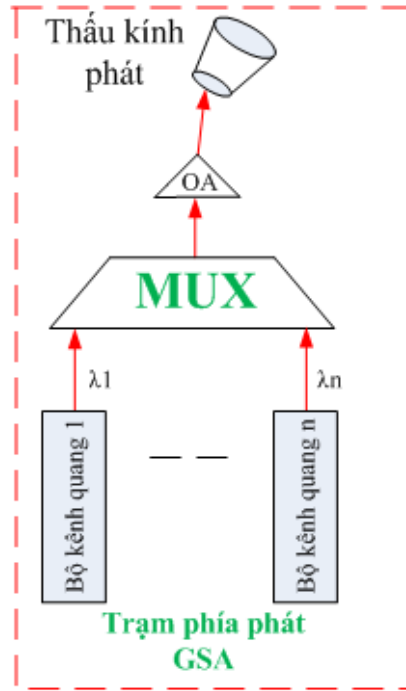
Trong đó P_e là xác suất tách ký hiệu sai; P_e được rút ra từ công thức (2.25).

Xác suất dưới ngưỡng được định nghĩa là xác suất mà hệ thống không thể đáp ứng được một yêu cầu xác định ví dụ như tốc độ bit hoặc dung lượng. Vì các tham số tốc độ bit và dung lượng đều phụ thuộc vào SNR, xác suất dưới ngưỡng có thể coi như xác suất mà SNR của hệ thống nhỏ hơn một giá trị ngưỡng xác định.

2.5.2. Phân tích hiệu năng hệ thống

Hệ thống FSO trong HAP được chia làm ba đoạn truyền FSO đó là: Đường truyền FSO lên từ trạm mặt đất (trạm phát) đến trạm HAP, đường truyền FSO trong tầng bình lưu và đường truyền FSO xuống từ trạm HAP đến trạm mặt đất (trạm thu). Để đơn giản, phần này chỉ xét hiệu năng cho một kênh bước sóng riêng lẻ mà không xét đến ảnh hưởng giữa các bước sóng của các kênh với nhau. Trên thực tế, do số lượng kênh ghép trong hệ thống WDM – FSO là nhỏ, khoảng cách giữa các kênh này lớn nên các ảnh hưởng (nếu có) cũng là không đáng kể.

a) Đường truyền FSO từ trạm mặt đất (trạm phát) tới trạm HAP



Hình 2.7: Đường truyền FSO từ trạm mặt đất lên tới trạm HAP

Truyền thông FSO được sử dụng trong đường lên để truyền dữ liệu từ trạm mặt đất GS A tới HAP.

$$P_R = P_T \cdot \frac{d_R^2}{(d_T + \theta L)^2} \cdot 10^{\frac{-\alpha L}{10}} \quad (2.31)$$

Trong đó: d_T là đường kính thấu kính phát (m), d_R là đường kính thấu kính nhận, θ là chùm tia phân kỳ (mrad), L là khoảng cách (km), α : Hệ số suy hao (dB/km), P_T là công suất phát sau bộ MUX, P_R là công suất thu được tại HAP (bộ phát đáp 1).

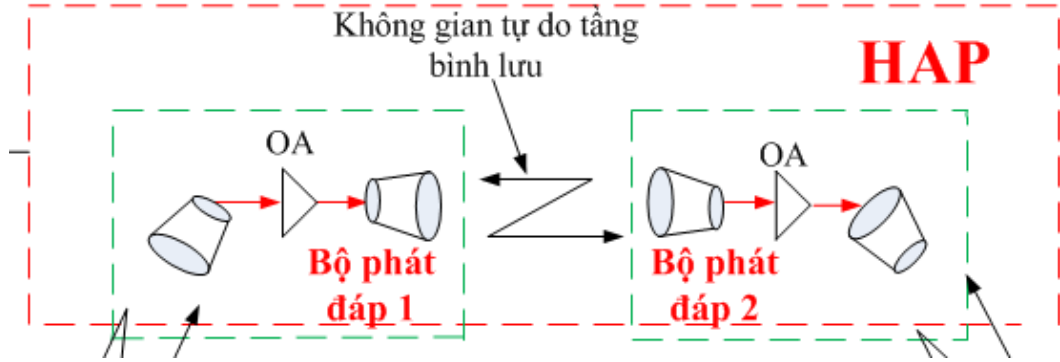
Với đặc tính kênh h (từ GSA đến bộ phát đáp 1) cho bởi công thức:

$$h = \frac{d_R^2}{(d_T + \theta L)^2} \cdot 10^{\frac{-\alpha L}{10}} \quad (2.32)$$

Trong đó: θ : Chùm tia phân kỳ (mrad), α : Hệ số suy hao (dB/km), L : Khoảng cách từ GS A tới HAP hoặc từ HAP tới GS B (km).

b) Đường truyền FSO trong tầng bình lưu

Đường truyền FSO trong tầng bình lưu (17 – 22km) ở môi trường chân không hệ thống lý tưởng và luôn ổn định nên hệ thống được coi như là tuyến đường truyền FSO trực tiếp không xét ngưỡng với độ suy hao nhỏ, được miêu tả như hình 2.8.



Hình 2.8: Đường truyền FSO từ bộ phát đáp 1 đến bộ phát đáp 2

Với h_{HAP} là đặc tính kênh giữa bộ phát đáp 1 và bộ phát đáp 2 được xác định theo công thức sau:

$$h_{HAP} = \frac{d_{R1}^2}{(d_{T1} + \theta L_{HAP})^2} \cdot 10^{\frac{-\alpha_{HAP} L_{HAP}}{10}} \quad (2.33)$$

Trong đó: θ là chùm tia phân kỳ (mrad), α_{HAP} là hệ số suy hao trên HAP (dB/km), L_{HAP} là khoảng cách từ phát đáp 1 đến phát đáp 2 (km).

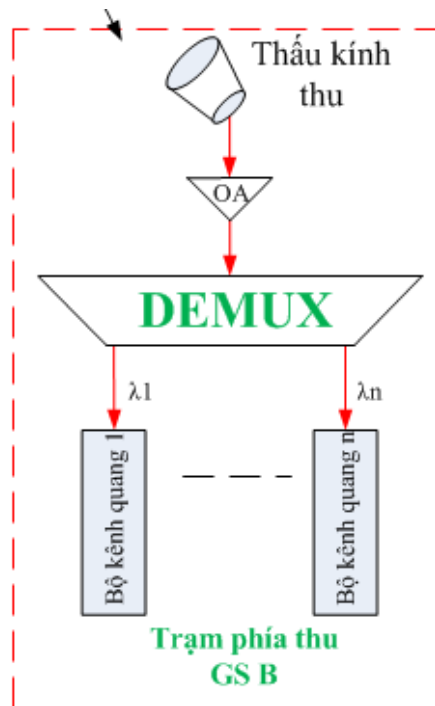
Do đó công suất thu ($P_{R_{HAP}}$) được trên tuyến đường truyền từ phát đáp 1 đến phát đáp 2 được xác định theo công thức sau:

$$\begin{aligned} P_{R_{HAP}} &= P_{T(HAP)} \cdot h_{HAP} \\ &= h_{HAP} \cdot h \cdot G_{HAP} \cdot G_{HAP} \cdot P_T \\ &= G_{HAP}^2 \cdot h_{HAP} \cdot h \cdot P_T \end{aligned} \quad (2.34)$$

c) Đường truyền FSO xuống từ HAP đến trạm mặt đất (trạm thu)

Giả sử đặc tính kênh giữa GSA với phát đáp 1 và phát đáp 2 với GSB là giống nhau. Công suất thu tại GS B được xác định như sau:

$$P_{R_{GSB}} = G_{HAP}^2 \cdot h_{HAP} \cdot h^2 \cdot G \cdot P_T \quad (2.35)$$



Hình 2.9: Đường truyền FSO xuống từ HAP đến trạm thu

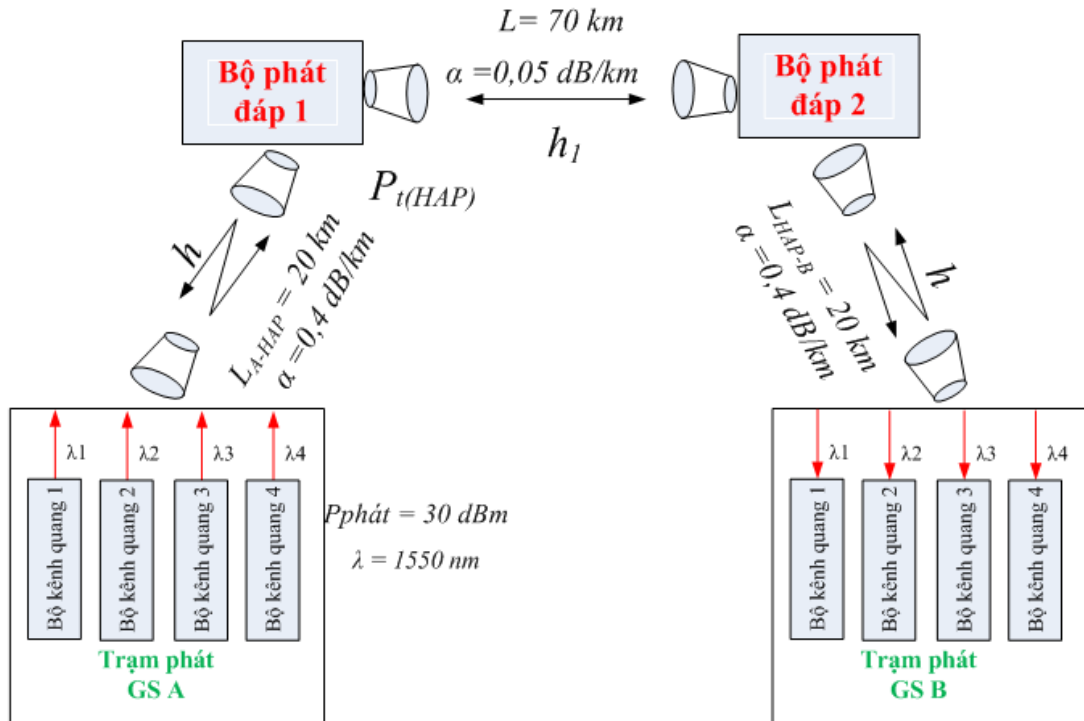
2.6. Kết luận chương

Nội dung chương 2 giới thiệu hệ thống WDM – FSO cơ bản và giải pháp WDM – FSO ứng dụng trong hạ tầng trên cao HAP. Bên cạnh đó, nội dung chương 2 còn nêu lên các tham số và yếu tố ảnh hưởng đến hiệu năng của hệ thống FSO cũng như các yếu tố ảnh hưởng đến hệ thống WDM. Ngoài ra, nội dung chương 2 còn phân tích hiệu năng hệ thống FSO trong HAP (như đường truyền FSO từ mặt đất đến HAP cũng như đường truyền từ HAP xuống mặt đất và đường truyền trong tầng bình lưu).

CHƯƠNG III: ĐÁNH GIÁ HIỆU NĂNG HỆ THỐNG KẾT HỢP WDM – FSO TRONG HAP

3.1. Hệ thống WDM – FSO 4 kênh trong HAP

3.1.1. Kiến trúc hệ thống WDM – FSO 4 kênh trong HAP được mô phỏng.



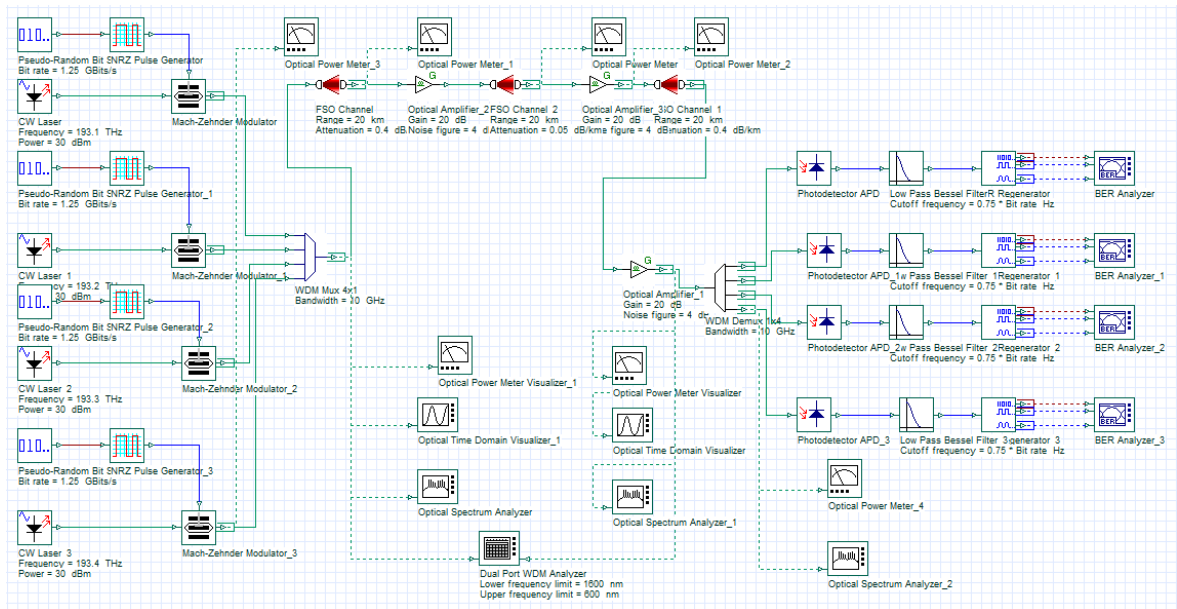
Hình 3.1: Kiến trúc hệ thống WDM – FSO 4 kênh trong HAP .

Kiến trúc hệ thống WDM –FSO trong HAP gồm có bộ Phát: ((trạm phát GSA) Dữ liệu vào gồm 4 bộ kênh quang từ λ_1 đến λ_4), thấu kính thu phát (nhận và truyền tín hiệu từ trạm mặt đất đến HAP, từ Bộ phát đáp 1 đến bộ phát đáp 2 và từ bộ phát đáp 2 đến trạm thu tại mặt đất) và trạm thu để thu được tín hiệu từ λ_1 đến λ_4 .

3.1.2. Mô hình hóa và mô phỏng hệ thống

a) Giới thiệu về công cụ mô phỏng Optisystem:

b) Giới thiệu hệ thống WDM – FSO 4 kênh trong HAP

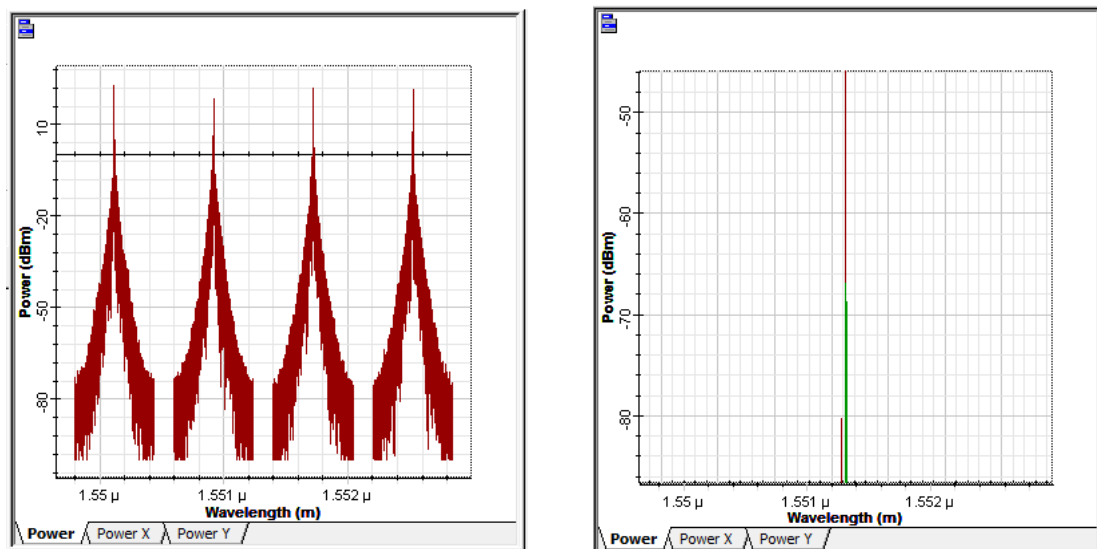


Hình 3.2: Sơ đồ thiết kế mạng mô phỏng hệ thống WDM – FSO 4 kênh trong hạ tầng trên cao HAP

3.2. Đánh giá hiệu năng của hệ thống WDM –FSO 4 kênh trong hạ tầng trên cao HAP

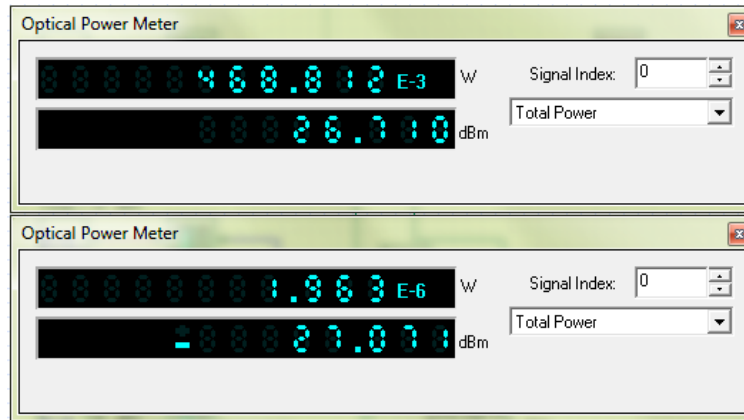
3.2.1. Hiệu năng chung của hệ thống

✓ **Phổ tín hiệu:** Sử dụng thiết bị máy phân tích quang phổ để đo phổ tín hiệu đầu vào và đầu ra của hệ thống được mô tả như hình 3.3



Hình 3.3: Phổ tín hiệu đầu vào và đầu ra kênh 1

- ✓ **Về công suất** Sử dụng thiết bị máy đo công suất quang để đo công suất tại các điểm cần đo. Công suất đầu vào và đầu ra của các kênh trong hệ thống được mô tả như hình trên.



Hình 3.4: Công suất đầu vào và đầu ra kênh 1.

- ✓ **Về tỉ lệ lỗi bit của các kênh:** Sử dụng thiết bị Ber Analyzer để đo BER, hệ số chất lượng Q và đồ thị mất tại đầu thu.

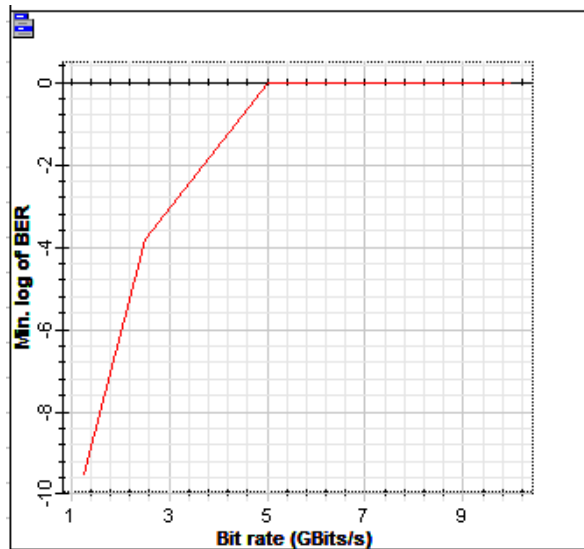
Nhận xét: Sau khi mô phỏng, ta thấy cả 4 tín hiệu vào thiết bị BER Analyzer đo và phân tích các thông số.

3.2.2. Ảnh hưởng của tốc độ kênh truyền

Các tham số hệ thống sử dụng trong cấu hình mô phỏng công suất phát $P_T = 30\text{dBm}$, cự ly truyền $L_{\text{GSA} - \text{HAP}; \text{HAP} - \text{GSB}} = 20\text{ km}$, cự ly truyền $L_{\text{HAP}} = 20\text{km}$, hệ số suy hao $\sigma_{\text{GSA} - \text{HAP}; \text{HAP} - \text{GSB}} = 0,4\text{ dB/km}$, hệ số suy hao $\sigma_{\text{HAP}} = 0,05\text{ dB/km}$, bước sóng $\lambda = 1550\text{ nm}$ và hệ số khuếch đại $G_{\text{HAP}, \text{HAP} - \text{GSB}} = 20\text{ dB}$.

Bảng 3.2: So sánh ảnh hưởng của tốc độ bit đến hệ thống

STT	$R_b(\text{Gb/s})$	Max Q	Min BER	$P_r(\text{dBm})$
1	1,25	6,17171	$3,0427 \cdot 10^{-10}$	-27,071
2	2,5	3,59736	0,000150	-27,010
3	5	0	1	-27,154
4	10	0	1	-27,524



Hình 3.12. :Khảo sát ảnh hưởng của tốc độ bit kênh 1

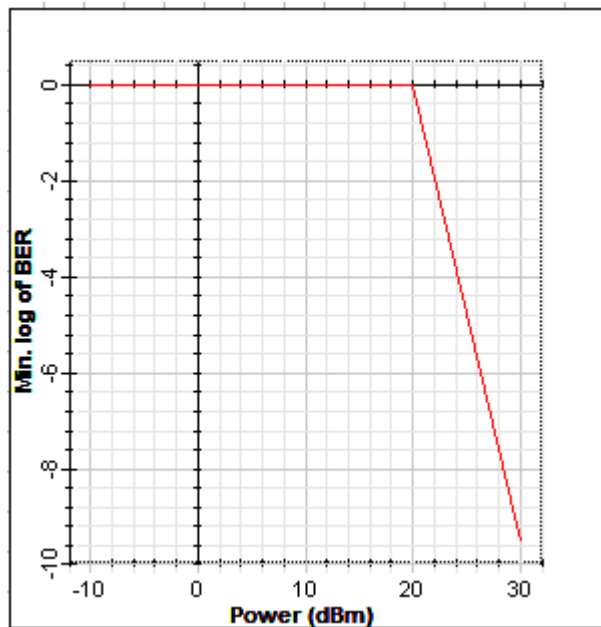
Nhận xét: Theo khảo sát có thể nhận thấy tốc độ truyền ảnh hưởng đến chất lượng của tín hiệu. Khi mô phỏng với tốc độ 5 đến 10 (Gb/s) hệ thống bị lỗi không chạy. Chỉ sử dụng với tốc độ 2,5 Gb/s trở xuống thì hệ thống mô phỏng mới hoạt động. Tốc độ càng cao thì công suất máy thu thay đổi không đáng kể và làm giảm chất lượng Q và làm tăng tỉ lệ lỗi bit BER. Do đó, hệ thống phải truyền tín hiệu ở một tốc độ thích hợp để đạt được những thông số theo mong muốn.

3.2.3. Ảnh hưởng của công suất phát P_0

Các tham số hệ thống sử dụng trong cấu hình mô phỏng tốc độ bit $R_b = 1,25$ Gb/2, cự ly truyền $L_{GSA - HAP; HAP - GSB} = 20$ km, cự ly truyền $L_{HAP} = 20$ km, hệ số suy hao $\sigma_{GSA - HAP; HAP - GSB} = 0,4$ dB/km, hệ số suy hao $\sigma_{HAP} = 0,05$ dB/km, bước sóng $\lambda = 1550$ nm và hệ số khuếch đại $G_{HAP, HAP - GSB} = 20$ dB.

Bảng 3.3: So sánh ảnh hưởng của công suất phát đến hệ thống

STT	P_t (dBm)	Max Q	Min BER	P_r (dBm)
1	-10	0	1	-34,929
2	10	0	1	-34,715
3	30	0	1	-27,071
4	50	0	1	-7,838



Hình 3.13 : Khảo sát ảnh hưởng của công suất phát kênh 1

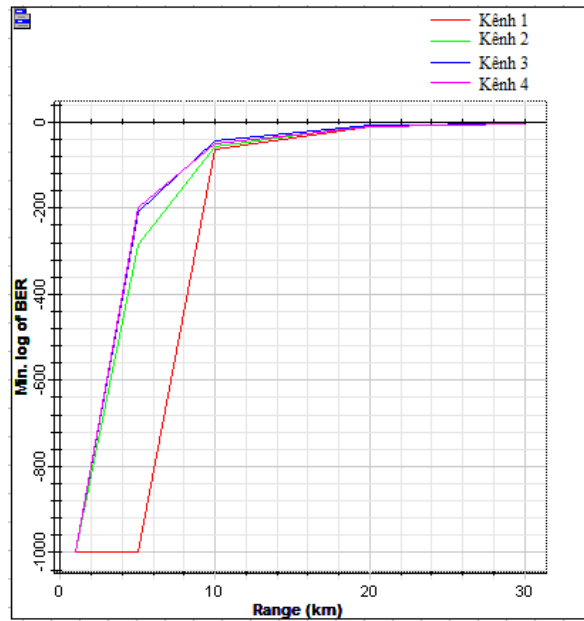
Nhận xét: Thông qua việc mô phỏng ta nhận thấy với công suất dưới $P_t = 10$ dBm thì hệ thống bị lỗi không chạy. Chỉ sử dụng $P_t = 30$ dBm trở lên thì hệ thống mô phỏng hoạt động, với P_t càng tăng thì hệ số phẩm chất Q tăng, tỉ lệ lỗi bit BER càng giảm và khi công suất phát càng lớn thì công suất thu càng lớn.

3.2.4. Khảo sát ảnh hưởng của cự ly truyền dẫn:

Các tham số hệ thống sử dụng trong cấu hình mô phỏng công suất phát $P_T = 30$ dBm, tốc độ bit $R_b = 1,25$ Gb/2, cự ly truyền $L_{GSA - HAP; HAP - GSB} = 20$ km là không thay đổi, hệ số suy hao $\sigma_{GSA - HAP; HAP - GSB} = 0,4$ dB/km, hệ số suy hao $\sigma_{HAP} = 0,05$ dB/km, bước sóng $\lambda = 1550$ nm và hệ số khuếch đại $G_{HAP, HAP - GSB} = 20$ dB.

Bảng 3.4: So sánh ảnh hưởng của cự ly truyền dẫn đến hệ thống

STT	L_{HAP} (km)	Max Q	Min BER	P_r (dBm)
1	5	38,4803	0	-15,113
2	10	16,6921	$5,877.10^{-63}$	-21,174
3	20	6,17171	$3,04273.10^{-10}$	-27,071
4	30	3,12109	0,000087	-30,118



Hình 3.14: Khảo sát ảnh hưởng của khoảng cách đường truyền

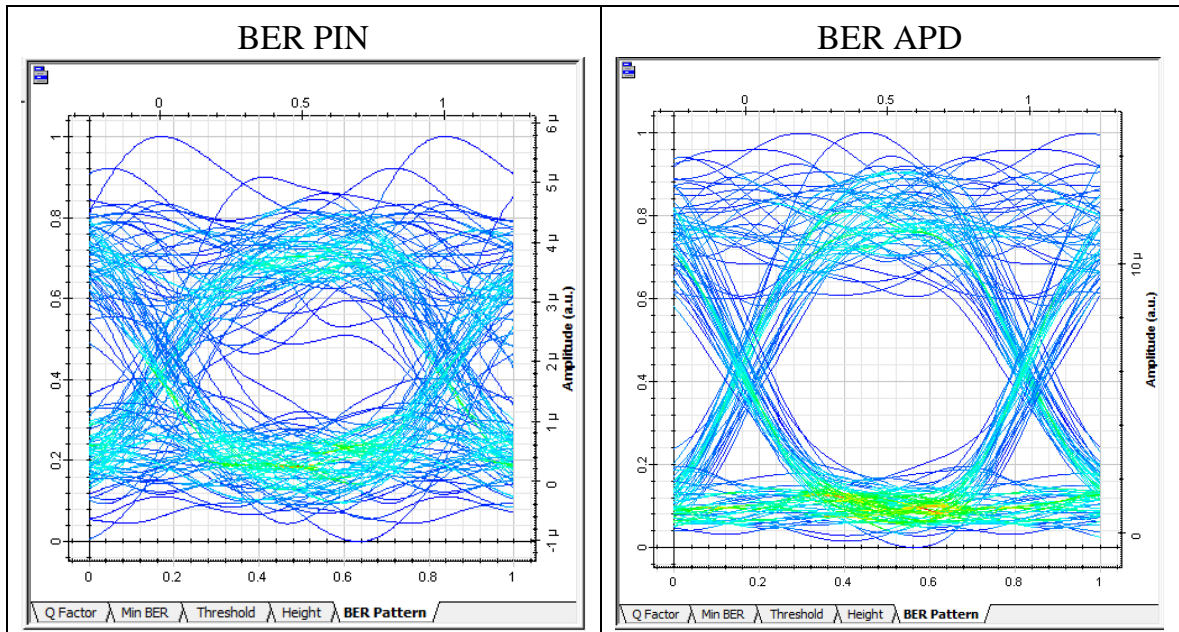
Nhận xét: Thông qua việc mô phỏng khi cự ly truyền dẫn càng tăng lên thì tỷ số lỗi bit Min BER càng lớn, chất lượng hệ số phẩm chất Q và công suất đầu thu càng giảm.

3.2.5. Khảo sát ảnh hưởng của photodiode

Các tham số hệ thống sử dụng trong cấu hình mô phỏng công suất phát $P_T = 30\text{dBm}$, tốc độ bit $R_b = 1,25\text{ Gb/s}$, cự ly truyền $L_{\text{GSA} - \text{HAP}}, \text{HAP} - \text{GSB}} = 20\text{ km}$ là không thay đổi, cự ly truyền $L_{\text{HAP}} = 20\text{ km}$, hệ số suy hao $\sigma_{\text{GSA} - \text{HAP}}, \text{HAP} - \text{GSB}} = 0,4\text{ dB/km}$, hệ số suy hao $\sigma_{\text{HAP}} = 0,05\text{ dB/km}$, bước sóng $\lambda = 1550\text{ nm}$ và hệ số khuếch đại $G_{\text{HAP}}, \text{HAP} - \text{GSB}} = 20\text{ dB}$.

Bảng 3.5: So sánh ảnh hưởng của photodiode đến hệ thống

STT	Photodiode	Max Q	Min BER
1	APD	6,17171	$3,04273 \cdot 10^{-10}$
2	PIN	3,84625	$5,9546 \cdot 10^{-5}$



Nhận xét: Theo khảo sát trên cùng một công suất cùng một hệ thống nhưng photodiode APD nhận tín hiệu nhiều ít hơn photodiode PIN.

KẾT LUẬN

Nội dung luận văn đã trình bày một cách tổng quan nhất về hệ thống truyền thông quang không dây FSO kết hợp với ghép kênh phân chia theo bước sóng WDM trong hạ tầng trên cao HAP. Các ưu điểm thách thức đối với cả hệ thống, trình bày các nguyên nhân chính làm suy giảm hiệu năng của hệ thống cũng như các giải pháp tối ưu của tuyến đường truyền trong không gian tự do FSO. Ngoài ra, luận văn còn giới thiệu FSO (hay truyền thông quang không dây) là công nghệ viễn thông sử dụng sự truyền lan ánh sáng trong không khí để truyền tín hiệu giữa hai điểm. Đây là công nghệ truyền thông băng rộng tầm nhìn thẳng, trong đó tín hiệu quang thay vì truyền trong sợi quang, được phát đi trong một chùm sóng quang qua không gian. Một mạng truyền thông quang không dây bao gồm các bộ thu – phát quang (gồm một khối thu và một khối phát) cung cấp khả năng thông tin hai chiều. Mỗi khối phát quang sử dụng một nguồn quang và một thấu kính để phát tín hiệu quang qua không gian tới khối thu. Tại phía thu, một thấu kính khác được sử dụng để thu tín hiệu, thấu kính này được nối với khối thu có độ nhạy cao qua một sợi quang. Cụ ly hoạt động của một tuyến FSO từ vài trăm km đến vài km. Với các hệ

thống FSO trong không gian, cự ly kết nối có thể vài chục km (từ mặt đất tới hạ tầng trên cao HAP và ngược lại).

Ngoài ra, luận văn đã phân tích các kết quả như đưa ra được phổ tín hiệu đầu vào so với phổ tín hiệu đầu ra, tỷ lệ lỗi bit, biểu đồ mắt, BER với khoảng cách đường truyền, BER với công suất phát...

Hướng nghiên cứu tiếp theo của luận văn sẽ tập trung vào nghiên cứu mô hình toán học và các trường trình mô phỏng khác để đánh giá hiệu năng của hệ thống WDM – FSO trong HAP, mã hóa kênh trong hệ thống WDM – FSO trong HAP...