

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

-----



**PHẠM TÙNG SƠN**

**NGHIÊN CỨU MỘT SỐ GIẢI PHÁP BACKHAUL LAI GHÉP QUANG  
VÔ TUYẾN VÀ KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG TẠI VNPT BẮC NINH**

**LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT**

*(Theo định hướng ứng dụng)*

**HÀ NỘI – NĂM 2020**

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

---



**PHẠM TÙNG SƠN**

**NGHIÊN CỨU MỘT SỐ GIẢI PHÁP BACKHAUL LAI GHÉP QUANG  
VÔ TUYẾN VÀ KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG TẠI VNPT BẮC NINH**

**Chuyên ngành : Kỹ thuật viễn thông**

**Mã số : 8.52.02.08**

**LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT**

*(Theo định hướng ứng dụng)*

**NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC: PGS.TS. ĐẶNG THỂ NGỌC**

**HÀ NỘI – NĂM 2020**

## **LỜI CAM ĐOAN**

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

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

Hà Nội, tháng năm 2020

Tác giả luận văn

**Phạm Tùng Sơn**

## LỜI CẢM ƠN

Lời đầu tiên, học viên xin cảm ơn tới khoa Đào tạo sau đại học – Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông và các thầy, cô giảng dạy trực tiếp đã giúp đỡ, truyền đạt cho tôi nhiều kiến thức bổ ích cho công việc thực tế của bản thân cũng như đúc kết kiến thức vào bản luận văn này.

Đặc biệt, học viên xin bày tỏ lòng cảm ơn sâu sắc tới **PGS.TS Đặng Thế Ngọc**, người thầy đã tận tình hướng dẫn, chỉ bảo tận tình, chu đáo và có những nhận xét, góp ý quý báu giúp em trong suốt quá trình thực hiện luận văn cho đến khi luận văn được hoàn thành.

Học viên xin gửi lời cảm ơn tới các anh, chị trong Trung tâm Điều hành Thông tin - Viễn thông Bắc Ninh đã giúp đỡ về chuyên môn và tạo điều kiện về thời gian để học viên thực hiện luận văn này. Học viên cũng xin gửi lời cảm ơn tới các anh/chị đồng nghiệp và các lãnh đạo tại viễn thông Bắc Ninh đã giúp đỡ trong suốt quá trình tìm hiểu và thực hiện

Xin chân thành cảm ơn các anh, chị và bạn bè thuộc lớp cao học M18CQTE02-B đã động viên, giúp đỡ học viên trong thời gian học tập và trong quá trình hoàn thiện luận văn.

Mặc dù đã rất cố gắng hoàn thành luận văn, nhưng với thời gian và khả năng có hạn, nên luận văn không thể tránh khỏi còn những thiếu sót, hạn chế. Học viên rất mong được sự góp ý chân thành của thầy, cô và các bạn để bổ sung hoàn thiện trong quá trình nghiên cứu tiếp theo về vấn đề này.

Xin chân thành cảm ơn !

*Hà Nội, tháng năm 2020*

**Phạm Tùng Sơn**

## MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN .....	i
LỜI CẢM ƠN .....	ii
MỤC LỤC .....	iii
DANH MỤC THUẬT NGỮ VIẾT TẮT .....	v
DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU .....	vii
DANH MỤC HÌNH VẼ .....	viii
MỞ ĐẦU .....	1
CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ BACKHAUL VÀ BACKHAUL DI ĐỘNG .....	3
1.1.    Khái niệm chung .....	3
1.2.    Backhaul di động .....	4
1.2.1. Các công nghệ triển khai trong IP RAN .....	4
1.2.2. Các cơ chế đồng bộ .....	7
1.2.3. Chất lượng dịch vụ trong IP RAN .....	8
1.2.4. Các cơ chế dự phòng .....	12
1.3.    Một số yêu cầu cho mạng backhaul thế hệ tiếp theo (5G) .....	13
1.3.1. Tăng tốc độ cho thiết bị đầu cuối .....	13
1.3.2. Tăng lưu lượng .....	15
1.3.3. Các loại thiết bị mới, dịch vụ mới, kiến trúc mới .....	17
1.4.    Kết luận chương .....	19
CHƯƠNG 2: MỘT SỐ GIẢI PHÁP TRUYỀN DẪN BACKHAUL LAI GHÉP QUANG VÔ TUYẾN .....	21
2.1.    Giới thiệu .....	21
2.2.    Tổng quan về mạng backhaul trên PON .....	21
2.2.1. Kiến trúc hệ thống backhaul di động trên PON .....	21
2.2.2. Những đáp ứng kỹ thuật .....	23
2.2.3. Ưu điểm của GPON trong mạng backhaul di động .....	27
2.2.4. Mạng backhaul di động trên PON thế hệ tiếp theo (WDM-PON) .....	28
2.3.    Một số giải pháp backhaul lai ghép PON/quang vô tuyến .....	29
2.3.1. Backhaul lai ghép TDM-PON/FSO .....	29
2.3.2. Backhaul lai ghép WDM-PON/FSO .....	30
2.3.3. Backhaul lai ghép WDM-PON/RF .....	31
2.4.    Kết quả và đánh giá các giải pháp .....	31

2.4.1. Backhaul lai ghép TDM-PON/FSO .....	31
2.4.2. Backhaul PON - WDM thuần sợi quang và lai ghép FSO, RF.....	35
2.5. Kết luận chương 2.....	41
CHƯƠNG 3: HIỆN TRẠNG HẠ TẦNG VÀ GIẢI PHÁP BACKHAUL LAI GHÉP QUANG VÔ TUYẾN CHO VNPT BẮC NINH.....	42
3.1. Giới thiệu tổng quan về Bắc Ninh .....	42
3.1.1. Các điều kiện tự nhiên và kinh tế xã hội của Bắc Ninh.....	42
3.1.2. Cơ sở hạ tầng mạng backhaul tại VNPT Bắc Ninh .....	43
3.1.3. Đánh giá chung .....	48
3.2. Đề xuất giải pháp backhaul tốc độ cao cho VNPT Bắc Ninh.....	49
3.2.1. Giải pháp mạng backhaul lai ghép TDM-PON/FSO .....	49
3.2.2. Giải pháp mạng backhaul lai ghép WDM-PON/FSO.....	52
3.3. Kết luận chương 3.....	57
KẾT LUẬN.....	58
TÀI LIỆU THAM KHẢO .....	60

## DANH MỤC THUẬT NGỮ VIẾT TẮT

Viết tắt	Tiếng Anh	Tiếng Việt
AR	Adaptive Rate	Tốc độ thích ứng
AES	Advanced Encryption Standard	Chuẩn mã hoá tiên tiến
ASG	Aggregation Site Gateway	Cổng gom tập trung
BDF	Bit-Direction Fault Detection	Phát hiện lỗi bit
BTS	Base Transceiver Station	Trạm thu phát gốc
BSC	Base Station Controller	Bộ điều khiển trạm gốc
CapEx	Capital Expenditure	Chi phí tài sản cố định
CE	Customer Edge	Biên khách hàng
CoS	Class of Service	Lớp dịch vụ
GGSN	Gateway GPRS Support Node	Node hỗ trợ cổng GPRS
CSG	Cell Site Gateway	Cổng gom tế bào
DBA	Dynamic Bandwidth Allocation	Phân bổ băng thông động
DSCP	Differentiated Services Code Point	Điểm mã phân biệt dịch vụ
FBA	Fixed Bandwidth Allocation	Phân bổ băng thông cố định
FER	Frame-error	Tỷ lệ lỗi khung
LACP	Link Aggregation Control Protocol	Giao thức điều khiển tập hợp tuyến
LSP	Label Switched Path	Nhãn chuyển mạch
MAC	Media Access Control	Điều khiển truy nhập môi trường
MAN	Metropolitan Area Network	Mạng đô thị
MPLS	MultiProtocol Label Switching	Chuyển mạch nhãn đa giao thức

MLPPP	Multi-Link Point-to-Point Protocol	Giao thức điểm – điểm đa liên kết
NNI	Network - Network Interface	Giao diện mạng – mạng
OpEx	Operatting Expenditure	Chi phí hoạt động
OAF	Optical Amplify-and-forward	Khuếch đại và chuyển tiếp quang
DF	Probability Density Function	Hàm mật độ xác suất
PE-AGG	Provider Edge Aggregation	Tên router lõi của MAN-E
PW	Pseudo Wire	Giả dây
PTP	Precision Time Protocol	Giao thức thời gian chính xác
QoS	Quality of Service	Chất lượng dịch vụ
RNC	Radio Network Controller	Khối điều khiển mạng vô tuyến
RSTP	Rapid Spanning Tree	Cây hội tụ nhanh
RSVP	Resource Reservation Protocol	Giao thức dự trữ tài nguyên
SLA	Service Level Agreement	Thỏa thuận mức dịch vụ
SynE	Synchronous Ethernet	Đồng bộ Ethernet
SGSN	Service GPRS Support Node	Node hỗ trợ GPRS phục vụ
TE	Traffic Engineering	Kỹ thuật lưu lượng
ToS	Type of Service	Kiểu dịch vụ
UNI	User - Network Interface	Giao diện người sử dụng – mạng
UPE	User Provider Edge	Tên router biên của MAN-E
VLL	Virtual Leased Line	Đường thuê kết nối ảo
VPLS	Virtual Private LAN service	Dịch vụ LAN riêng ảo



## **DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU**

Bảng 1.1: Phân lớp QoS trong chuẩn Y.1541 .....	11
Bảng 2.1: Các tham số hệ thống TDM/FSO .....	32
Bảng 2.2: Các tham số hệ thống WDM/FSO .....	35

## DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 1.1: Công nghệ CES .....	5
Hình 1.2: Mô tả hoạt động của L2TPv3 .....	6
Hình 1.3: Mô tả hoạt động của AToM .....	6
Hình 1.4: Đồng bộ hóa trong mạng 2G .....	7
Hình 1.5: Phân cấp đồng hồ Master – Slaver trong IEEE1588v2 .....	8
Hình 1.6: Mô hình Inserv .....	9
Hình 1.7: Mô hình Diffserv .....	9
Hình 1.8: Sử dụng kỹ thuật QoS tại mỗi node mạng .....	10
Hình 1.9: Tham chiếu thực hiện QoS .....	11
Hình 1.10: Sự gia tăng tốc độ của thiết bị đầu cuối (LTE-3GLTEinfo) .....	13
Hình 2.1: Kiến trúc điển hình (đường chấm chấm: công nghệ WDM - PON) .....	22
Hình 2.2: Kiến trúc hệ thống mạng backhaul di động trên PON .....	23
Hình 2.3: Lưu lượng đường lên – TDM PON .....	25
Hình 2.4: Sơ đồ khối phân phối đồng hồ sử dụng thời gian vi sai đồng hồ PON ...	27
Hình 2.5: Sơ đồ khối 1588 Transparent Clock .....	28
Hình 2.6: Kiến trúc backhaul trên WDM-PON .....	30
Hình 2.7: Mô hình backhaul lai ghép TDM-PON/FSO .....	31
Hình 2.8: Nhiễu loạn vừa phải với điều kiện quy mô mạng vừa phải .....	34
Hình 2.9: Nhiễu loạn vừa phải và với điều kiện quy mô mạng lớn .....	35
Hình 2.10: Nhiễu loạn mạnh với điều kiện quy mô mạng lớn .....	35
Hình 2.11: So sánh hiệu năng của hệ thống lai WDM-PON/FSO .....	38
WDM-PON/RF và hệ thống NGPON2 với $R_b = 10 \text{ Gbps}$ và $L_{FSO} = L_{RF} = 800 \text{ m}$	
Hình 2.12: BER tổng với công suất khác nhau .....	39
$R_b = 10 \text{ Gbps}$ và $L_{FSO} = L_{RF} = 800 \text{ m}$	
Hình 2.13: BER cho các tỷ lệ chia với tổng khoảng cách .....	40

$L = 40 \text{ Km}$ ,  $R_b = 10 \text{ Gbps}$  và  $L_{FSO} = L_{RF} = 800 \text{ m}$

Hình 2.14: Tác động của bộ khuếch đại tới BER của backhaul đường xuống ..... 40

$L = 40 \text{ Km}$ ,  $R_b = 10 \text{ Gbps}$  và  $L_{FSO} = L_{RF} = 800 \text{ m}$

Hình 2.15: BER so với công suất tại các tốc độ khác nhau ..... 41

$L = 40 \text{ Km}$ ,  $R_b = 10 \text{ Gbps}$  và  $L_{FSO} = L_{RF} = 800 \text{ m}$

Hình 3.1: Bản đồ hành chính tỉnh Bắc Ninh ..... 43

Hình 3.2: Dữ liệu khí hậu của tỉnh Bắc Ninh ..... 44

Hình 3.3: Hiện trạng cấu hình mạng MAN-E Viễn thông Bắc Ninh ..... 46

Hình 3.4: Mô hình chung đầu nối tại các trạm băng rộng Viễn thông Bắc Ninh ... 46

Hình 3.5: Kết nối các thiết bị tại Node MAN – UPE SHA03 ..... 47

Hình 3.6: Sơ đồ chung mạng ngoại vi tỉnh Bắc Ninh ..... 48

Hình 3.7: Minh họa về FSO/PON tích hợp cho các mạng backhaul ..... 51

Hình 3.8: (a) Mạng backhaul WDM thuần sợi quang ..... 54

(b) Mạng backhaul lai ghép WDM/FSO đơn chặng và đa chặng

Hình 3.9: Kiến trúc mạng của hệ thống lai ghép WDM-PON/FSO ..... 55

## MỞ ĐẦU

Trong thời đại bùng nổ của kỷ nguyên số, các dịch vụ mạng trên toàn thế giới đã và đang gia tăng chóng mặt, dịch chuyển theo xu hướng di động, mạng toàn IP, IoT, AI, Bigdata ... Mỗi quan tâm lúc này là xử lý việc gia tăng nhanh chóng dữ liệu của các dịch vụ di động băng rộng cùng các rất nhiều các dịch vụ dữ liệu băng rộng khác. Kéo theo đó là những yêu cầu, là gánh nặng cực lớn đặt trên vai hệ thống truyền dẫn như yêu cầu về chất lượng, băng thông, tốc độ, tính an toàn, bảo mật, tính linh hoạt, tính sẵn sàng, khả năng thực tế triển khai, vận hành, khai thác, xử lý ... Ta có thể thấy được thông qua sự thay đổi theo cấp số mũ về băng thông, tốc độ kết nối cho các dịch vụ từ vài chục, vài trăm Kbps đã nhanh chóng tăng lên đến hàng chục, hàng trăm Mbps, Gbps, Tbps ...

Hiện nay, mạng PON (như một lựa chọn bắt buộc) đã được phát triển trên rộng khắp để cung cấp quá trình quang hóa toàn mạng lưới với hạ tầng mới và liên tục được nâng cấp mở rộng với liên tiếp các thế hệ TDM, TWDM, WDM. Truyền thông quang không dây qua không gian tự do (FSO) gần đây được quan tâm rất nhiều với những lợi thế của nó như tốc độ cao, băng thông không hạn chế, linh hoạt, bảo mật, hoàn toàn tương thích với mạng PON, là một lựa chọn đầy triển vọng của sự kết hợp.

Tại VNPT Bắc Ninh cũng như các VNPT các tỉnh đã hoàn thiện việc triển khai mạng Metro truyền tải lưu lượng IP trên công nghệ Ethernet, đồng thời đã thực hiện việc nâng cấp mở rộng dung lượng mạng. Hướng sử dụng mạng MAN-E làm phân đoạn truyền tải cho mạng backhaul di động kết hợp với tất cả các dịch vụ băng rộng khác là phương án lựa chọn tối ưu theo định hướng của tập đoàn.

Trên cơ sở đó kết hợp với thực tế trong quá trình công tác tại Trung tâm Điều hành Thông tin của Viễn Thông Bắc Ninh, học viên nghiên cứu và đề xuất một số giải pháp backhaul tốc độ cao sử dụng quang vô tuyến và khả năng ứng dụng trên hạ tầng mạng VNPT Bắc Ninh.

Luận văn được thực hiện gồm 3 chương:

- Chương 1: Trình bày về những khái niệm chung của mạng backhaul, xu hướng phát triển chung của các thiết bị cuối. Chi tiết về những yêu cầu của mạng backhaul di động trong kỷ nguyên số hướng tới thế hệ mạng tiếp theo (5G).
- Chương 2: Trình bày về backhaul di động trên PON để thấy đây sẽ là một lựa chọn tất yếu của mạng backhaul di động. Giới thiệu và trình bày một số giải pháp backhaul lai ghép quang vô tuyến trên PON cùng những số liệu tính toán cụ thể để so sánh và lựa chọn kết hợp.
- Chương 3: Giới thiệu về tỉnh Bắc Ninh (địa lý, kinh tế, văn hóa, xã hội ...) và hiện trạng hạ tầng của VNPT Bắc Ninh. Từ đó đề xuất hai giải pháp lai ghép quang cho mạng backhaul di động trong tương lai là TDM-PON/FSO và WDM-PON/FSO.

# CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ BACKHAUL VÀ BACKHAUL DI ĐỘNG

## 1.1. Khái niệm chung

Mạng backhaul là một mạng lưới trung chuyển. Backhaul là thuật ngữ chỉ phần kết nối giữa mạng trung tâm (mạng trục, mạng lõi) và các mạng từ xa (mạng con). Nói một cách tổng quát thì mạng backhaul chính là phần liên kết trong một mạng lưới có phân cấp. Các ví dụ về mạng backhaul trong viễn thông là vô cùng đa dạng như: Kết nối mạng LAN nội bộ của khách hàng (cá nhân, gia đình, công ty, đơn vị hành chính ...) và mạng Metro toàn thành phố, kết nối truyền thông từ trạm phát sóng truyền hình và các đầu cuối máy thu, kết nối truyền dẫn giữa trạm viễn thông cơ sở BTS/NodeB với hệ thống thiết bị ở mức cao hơn BSC/RNC, với đến thiết bị mạng lõi MGW, MSC, SGSN ... Đồng thời bao gồm cả kết nối giữa các thiết bị cùng cấp.

Hầu hết các mạng backhaul truyền thống trên thế giới có kiến trúc truy cập Hub-spoke hoặc Ring, một số đang tận dụng lợi thế nhờ khả năng linh động của IP/Ethernet để lập các cấu hình mạng mesh từng phần hướng tới cấu hình mạng cho các thế hệ tiếp theo 5G, 6G ... Đó là thực tế phổ biến trong các topo Hub-spoke liên kết lại với nhau thành một chuỗi giữa các ô tế bào, đặc biệt khi sử dụng liên kết không dây. Trong mạng truy nhập các nhà cung cấp giải pháp Ethernet sử dụng các dịch vụ được định nghĩa bởi MEF (Metro Ethernet Forum - diễn đàn tiêu chuẩn công nghiệp hàng đầu về Ethernet), có thể chạy trên nhiều topo, bao gồm các liên kết song song hoặc mesh từng phần cho phép tính đa dạng.

Từ các khái niệm đó, nhìn một cách tổng quát ở phạm vi hẹp, ta có thể thấy toàn bộ mạng viễn thông của Bắc Ninh (không bao gồm mạng phía đầu cuối khách hàng) là một phần mạng backhaul tổng thể cho các dịch vụ được cung cấp bởi VNPT Bắc Ninh.

Trong kỷ nguyên công nghệ, xu hướng không dây và di động là rất lớn. Theo thống kê mới nhất của Hootsuite và We Are Social vào tháng 7 năm 2019, trên thế giới có khoảng 5.117 tỷ người dùng điện thoại di động (khoảng hai phần ba dân số

thế giới). Hiệp hội thông tin di động toàn cầu (GSMA) vừa cho biết số lượng thuê bao di động ở khu vực châu Á - Thái Bình Dương sẽ tăng lên con số 3,1 tỷ thuê bao vào năm 2020 từ con số 2,1 tỷ thuê bao vào cuối năm 2015.

Với xu thế di động là vô cùng lớn, luận văn xin được đề cập chi tiết về mạng backhaul di động cũng như một số các yêu cầu và thách thức của mạng backhaul di động trong kỷ nguyên công nghệ số, đặc biệt là giai đoạn trước mắt tiến tới (5G).

## **1.2. Backhaul di động**

Toàn bộ cơ sở hạ tầng của một nhà khai thác di động điển hình có thể được phân chia thành các phần riêng biệt như sau:

- Miền mạng truy nhập vô tuyến (RAN – Radio Access Network): là phần truy nhập kết hợp, từ các trạm gốc vô tuyến RBS (Radio Base Station) tới các bộ điều khiển mạng như BSC (2G), RNC (3G), MG.
- Miền lõi di động: nằm giữa mạng truy nhập vô tuyến và các mạng ngoài như Internet, PSTNs, các mạng di động khác ... Nó chứa các node dịch vụ (SGSN và GGSN) điều khiển phiên dữ liệu và hướng lưu lượng như chức năng MSC và MGW để cung cấp chuyển mạch gói và các dịch vụ kết hợp.
- Backhaul di động (bên trong miền RAN): Backhaul thực hiện việc kết nối và truyền tải lưu lượng giữa các trạm gốc (BTS, NodeB ...) và các bộ điều khiển mạng (BSC, RNC ...). Các mạng truyền dẫn có thể ứng dụng như: L2 (Carrier Ethernet), L3 (BGP/MPLS L3VPN), IP vượt qua E1/T1 sử dụng MLPPP.

Backhaul di động có thể phân thành các RAN “thấp” (LRAN) và RAN “cao” (HRAN) phản ánh bản chất không đối xứng của mạng backhaul, ở đó một nhà khai thác diện rộng phải có một lượng rất lớn các vị trí RBS tập trung hướng tới một số nhỏ hơn các vị trí điều khiển chuyển mạch (BSC/RNC).

### **1.2.1. Các công nghệ triển khai trong IP RAN**

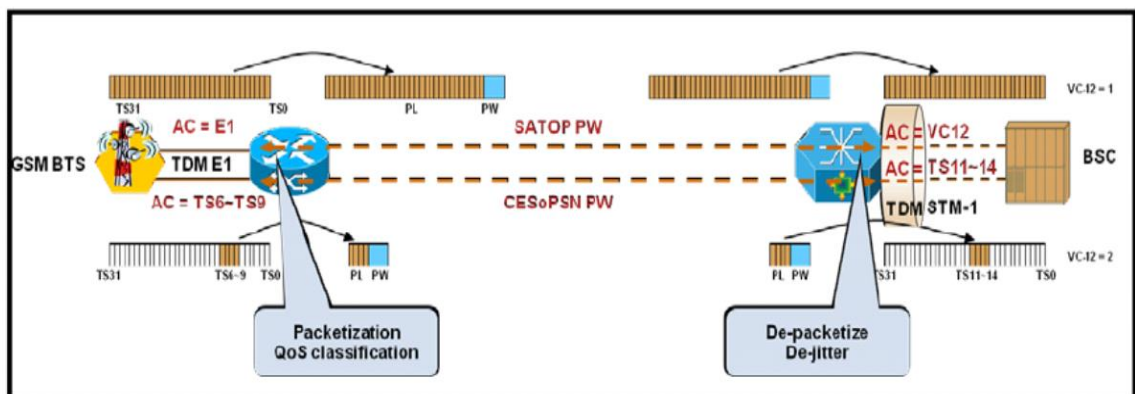
Mạng IP RAN (mạng truy nhập vô tuyến toàn IP) là xu thế tất yếu để phát triển dịch vụ và tăng tính cạnh tranh của nhà cung cấp dịch vụ di động với các lợi thế như đã biết.

Hệ thống mạng 2G hoạt động trên nền tảng chuyển mạch kênh TDM. Để chuyển sang IP RAN, ta cần phải có các cơ chế hỗ trợ việc giả lập kênh dịch vụ CES (circuit emulation service), với một số giao thức hỗ trợ việc truyền kênh trên nền IP như CESoPSN (Structure-Aware TDM circuit emulation service over packet switched network) và SAToP (Structure-agnostic TDM over packet).

Đối với mạng 3G và trên nữa, bản chất đã hoạt động trên công nghệ chuyển mạch gói. Các phương thức giả dây (Pseudowire) đóng một vai trò hết sức quan trọng để kết nối từ các Node B về RNC qua mạng IP. Pseudowire (PW) là một cơ chế cho phép các giao thức lớp 2 như TDM, ATM, Frame Relay ... chạy được trong mạng chuyển mạch gói thông qua cơ chế đường hầm (tunnel). Một số công nghệ PW được sử dụng như L2TPv3 (Layer 2 Tunnelling Protocol version 3) trong mạng IP, AToM (Any Transport over MPLS) trong mạng MPLS.

Sau đây ta xem xét cơ chế hoạt động của một số giao thức:

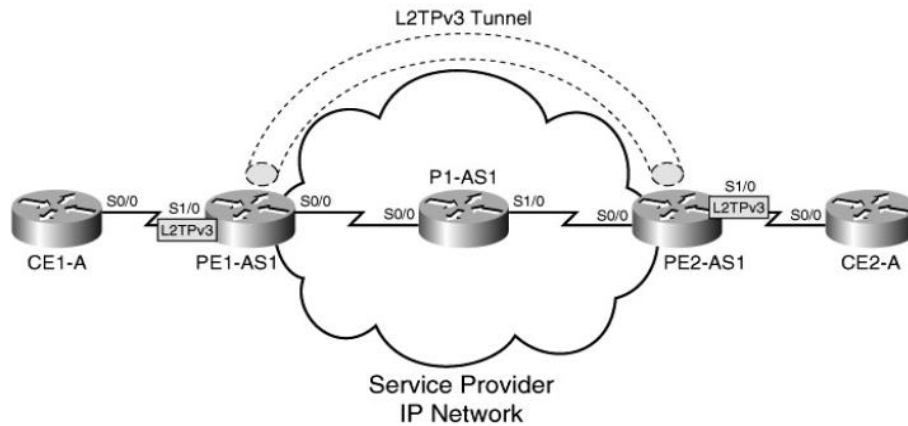
- Công nghệ CESoPSN và SAToP (hình 1.1): Hai giao thức này chuyển đổi các khe thời gian của các kênh TDM vào phần tải tin của gói tin IP. Điểm khác biệt chính giữa CESoPSN và SAToP là SAToP đẩy tất cả 32 time slot của kênh TDM vào tải tin của gói tin IP mà không phân biệt time slot trống, còn CESoPSN chỉ đẩy các time slot chứa thông tin và bổ xung một trường để chỉ số time slot trống được bỏ qua. Do vậy CESoPSN tối ưu và tiết kiệm băng thông hơn, ngoài ra CESoPSN còn cho phép đánh dấu tất cả các gói tin thoại với độ ưu tiên cao hơn nên phù hợp cho thiết kế QoS của mạng IP.



Hình 1.1: Công nghệ CES

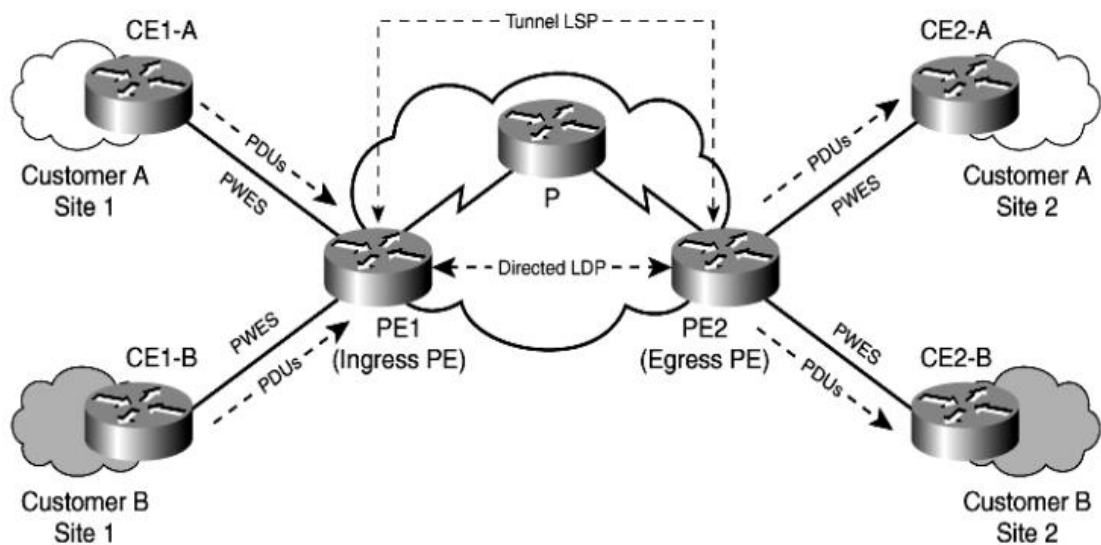


- Công nghệ L2TPv3 (hình 1.2): L2TPv3 là một công nghệ giả dây cho phép cung cấp các dịch vụ lớp 2 qua mạng chuyển mạch gói, nó được phát triển từ giao thức UTI cho cơ chế đường hầm lớp 2.



**Hình 1.2: Mô tả hoạt động của L2TPv3**

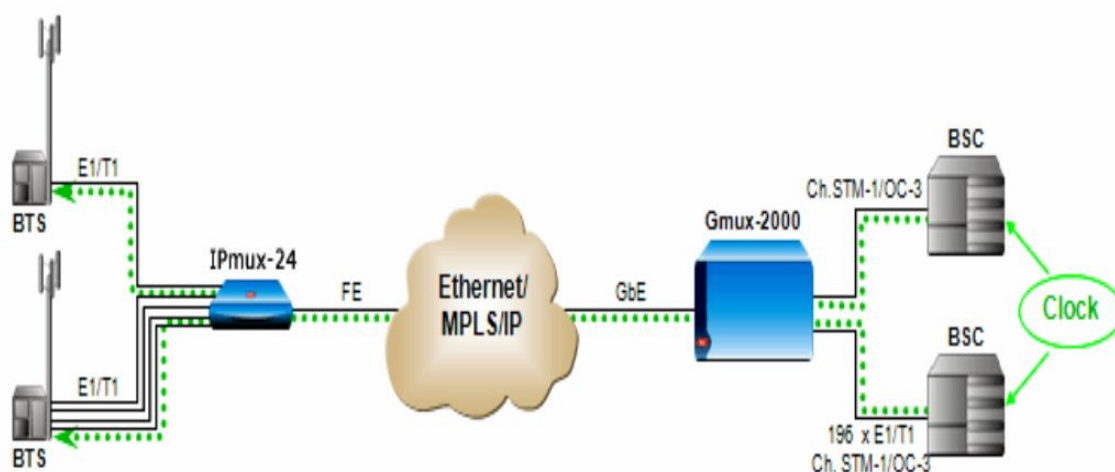
- Công nghệ AToM (hình 1.3): AToM (Any Transport over MPLS) là một công nghệ giả dây sử dụng các mạng MPLS cho phép cung cấp các dịch vụ lớp 2. Các nhiệm vụ chính của AToM bao gồm việc thực hiện giả dây giữa các router biên PE (provider edge) và truyền tải các gói tin lớp 2 qua những giả dây này.



**Hình 1.3: Mô tả hoạt động của AToM**

### 1.2.2. Các cơ chế đồng bộ

Trong hệ thống viễn thông, đồng bộ là yếu tố cực kỳ quan trọng quyết định độ chính xác của thông tin, dữ liệu được chuyển tải. Với hạ tầng mạng TDM kết nối qua các kênh E1/T1 thì đồng bộ là chuyện đơn giản bởi luồng E1/T1 luôn dành riêng time slot để chuyển tải dữ liệu đồng bộ (hình 1.4). Chuyển sang backhaul trên nền IP (kể cả 2G và 3G) các giao diện E1/T1 chỉ là “circuit emulation” đòi hỏi các thiết bị giả dây phải có khả năng nhận tín hiệu đồng bộ từ BSC, chuyển tải nó lên mạng IP. Phía BTS thì thiết bị giả dây lại phải tái tạo tín hiệu đó từ các gói IP, sau đó đẩy qua giao diện E1/T1 để thực hiện đồng bộ cho BTS. Ở trường hợp này, nguồn đồng bộ vẫn lấy từ các đồng hồ chủ Stratum của mạng viễn thông truyền thống.

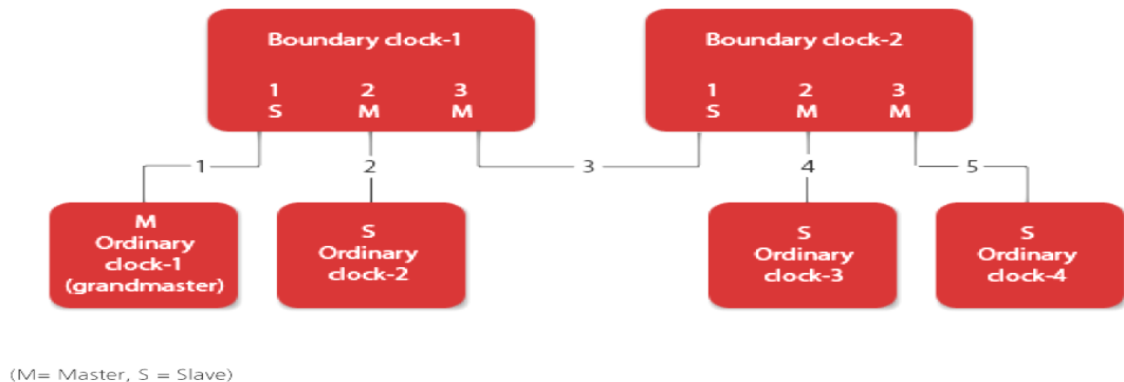


**Hình 1.4: Đồng bộ hóa trong mạng 2G**

Khi chuyển qua IP RAN toàn bộ, nghĩa là mất nguồn đồng hồ TDM. Có một số giải pháp phát triển đồng bộ trên mạng IP như sau:

- Đồng bộ trên gói tin (IEEE1588, NTP) hoặc sử dụng đồng hồ được mang bởi dữ liệu giả lập kênh (ACR).
- Đồng bộ Ethernet (SyncE): SyncE hoạt động trên lớp vật lý, có độ chính xác  $\pm 100$  ppm (tương tự qua SDH)
- Đồng bộ hóa theo IEEE 1588v2 : IEEE 1588v2 (hình 1.5 - hay được biết như là PTP: Precision Time Protocol) là một chuẩn giao thức cho phép việc truyền chính

xác tần số và thời gian để đồng bộ các đồng hồ qua mạng dựa trên gói tin. Nó đồng bộ hóa đồng hồ slaver cục bộ trên mỗi thiết bị mạng với một đồng hồ hệ thống Grandmaster và sử dụng truyền tải nhãn thời gian để cung cấp độ chính xác cao (mức nano giây) trong đồng bộ hóa đảm bảo sự ổn định tần số của trạm.



**Hình 1.5: Phân cấp đồng hồ Master – Slaver trong IEEE1588v2**

### 1.2.3. *Chất lượng dịch vụ trong IP RAN*

QoS trong mạng IP nói chung, theo ITU-T, QoS là tập hợp các ảnh hưởng của sự thực hiện dịch vụ (do mạng thực hiện) tạo nên mức độ thỏa mãn cho người sử dụng dịch vụ đó. Trong thực tế khái niệm QoS còn được hiểu rộng hơn theo nghĩa, hệ thống nào mà trong đó có sự phân loại, phân biệt hay có sự xử lý khác biệt cho mỗi luồng dữ liệu dịch vụ thì thực ra là đã có sự quản lý QoS. Một số tham số đánh giá QoS bao gồm: Băng thông hiện thời (Throughput), trễ (Latency hoặc Delay), biến thiên trễ (Jitter), tỷ lệ mất gói (Packet loss).

Các chỉ số đánh giá chất lượng dịch vụ nâng cao trong mạng IP:

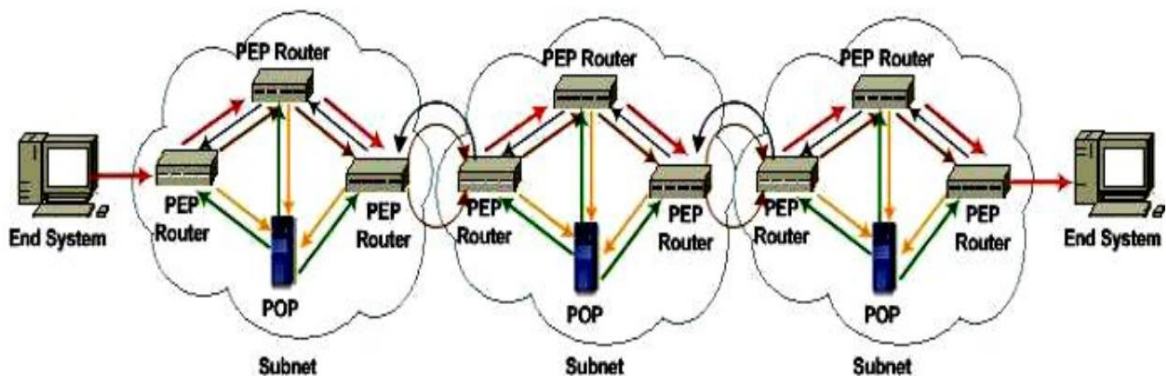
- IPTD (IP transfer delay): trễ truyền dẫn, gồm trễ do khoảng cách, do xử lý tại các nút chuyển mạch, tại các bộ giải mã tín hiệu, tại các bộ đệm trong mạng IP.
- IPDV (IP delay variability): đây chính là các chỉ số về jitter.
- IPLR (IP packet loss ratio): là tỉ lệ mất gói trong mạng IP.
- IPER (IP packet error ratio): là tỉ lệ gói bị lỗi khi truyền trong mạng IP.

Bản chất của mạng IP là được thiết kế cho việc truyền dữ liệu do vậy các vấn đề như trễ, biến động trễ không đóng vai trò quan trọng, vấn đề mất gói có thể được giải quyết bằng việc sử dụng cơ chế phát lại như TCP. Tuy nhiên, hiện nay

mạng IP được sử dụng như một mạng đa dịch vụ trong đó có cả các dịch vụ thời gian thực (Voice, Video) có yêu cầu trễ hay biến thiên trễ nhỏ ... vì vậy vấn đề QoS trên mạng IP nói chung cần được quan tâm giải quyết.

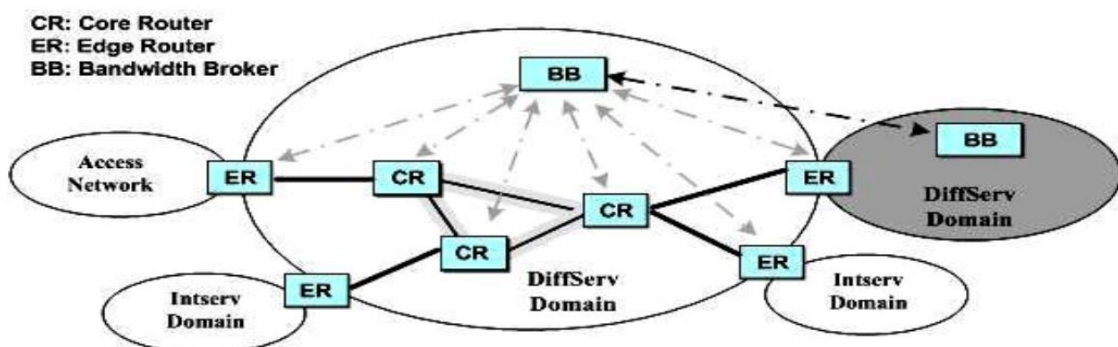
Một số cơ chế hỗ trợ QoS trên mạng IP là:

- Cơ chế dịch vụ tích hợp (Intserv – Hình 1.6): Mô phỏng lại như mạng chuyển mạch kênh trước đây, nó sử dụng nguyên tắc đặt chỗ trước dùng giao thức RSVP. Trong kiến trúc Intserv, giữa các đầu cuối liên lạc phải tồn tại giao thức trao đổi tài nguyên nên phải xử lý quá nhiều làm cho nó khó có khả năng mở rộng để thích hợp với mạng lõi (đặc biệt khi mạng core là internet).



Hình 1.6: Mô hình Intserv

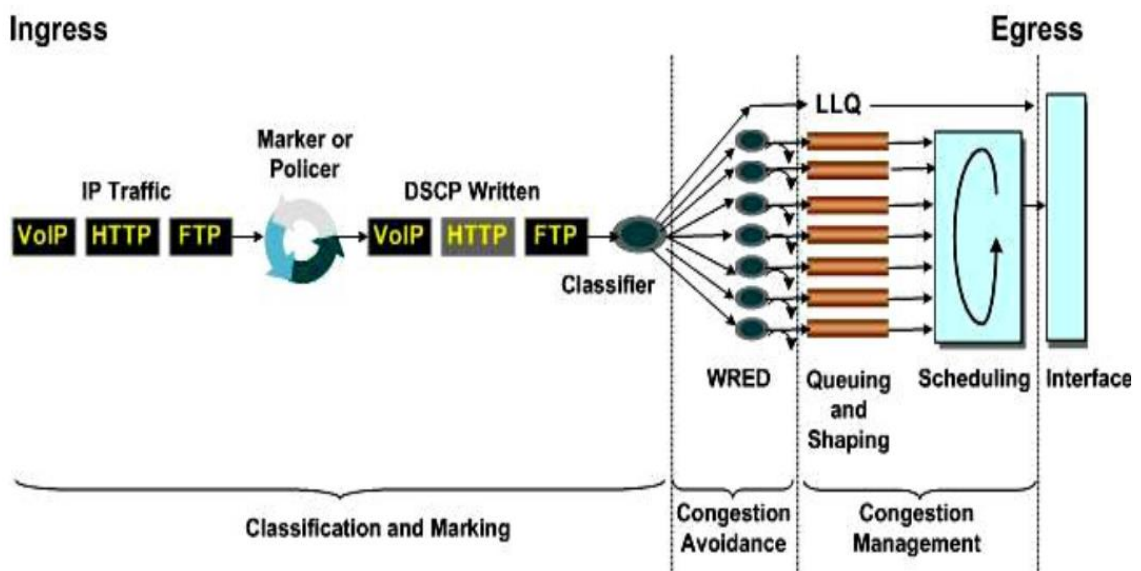
- Cơ chế dịch vụ phân biệt (DiffServ): Kiến trúc DiffServ này tiếp cận theo hướng xử lý QoS tại các hop (PHB) mà không phải dựa trên luồng như Intserv. Diffserv cũng có thể kết hợp với công nghệ MPLS để hướng tới giải quyết các vấn đề về QoS. Hình 1.7 minh họa việc ứng dụng intserv/diffserv, MPLS trong một kiến trúc đảm bảo E2E QoS trong mạng IP.



Hình 1.7: Mô hình Diffserv

Các kiến trúc, cơ chế hay giao thức báo hiệu trên đây thường liên quan đến một mạng gồm nhiều phần tử tham gia. Tuy nhiên, mỗi thành phần trong mạng này cũng phải thực hiện các kỹ thuật quản lý QoS nội tại của nó để hỗ trợ QoS cho các lưu lượng được truyền qua nút đó, một số kỹ thuật này là: Phân lớp và đánh dấu (classification and marking), kiểm soát và điều chỉnh (policing and shaping), tránh tắc nghẽn (congestion-avoidance), quản lý tắc nghẽn (congestion-management), định tuyến QoS (QoS routing), dành trước băng thông (bandwidth reservation), kiểm soát cuộc gọi vào mạng (call admission control). Hình 1.8 minh họa việc sử dụng các kỹ thuật này trong thiết bị thực hiện chức năng của một nút mạng.

Các kỹ thuật trên đã chứng minh tính hiệu quả trong thực tế của việc bảo vệ các luồng dữ liệu thời gian thực với các dữ liệu best-effort nhưng chúng lại không thể bảo vệ giữa các ứng dụng thời gian thực với nhau (chẳng hạn giữa 2 luồng dữ liệu voice). Để giải quyết vấn đề này người ta sử dụng cơ chế kiểm soát đầu vào mạng (admission control-CAC) nhằm thực hiện việc quyết định liệu cho phép hay không cho phép các luồng dữ liệu mới được thiết lập trong mạng.



**Hình 1.8: Sử dụng kỹ thuật QoS tại mỗi node mạng**

Các yêu cầu về chất lượng dịch vụ cho các dịch vụ trong mạng IP nói chung và cho IP RAN được qui định trong các chuẩn Y.1541 và Y.1221 của ITU-T.

Theo bảng qui định đó:

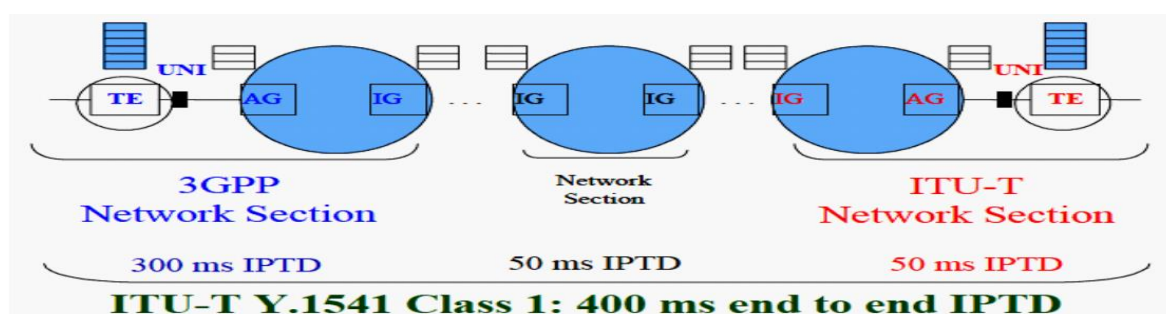
- Các dịch vụ thoại thuộc class 0, 1 là các dịch vụ yêu cầu chất lượng dịch vụ cao như thời gian trễ thấp, nhạy cảm với jitter (biến thiên trễ), tỉ lệ mất gói thấp, tỉ lệ gói tin lỗi thấp. Nếu truyền tải mạng IP vượt quá ngưỡng qui định đó, chất lượng các dịch vụ kém, không đạt yêu cầu.
- Các dịch vụ báo hiệu cũng có yêu cầu tương tự thoại nhưng không yêu cầu về thông số jitter, việc gói tin đến nhanh hoặc chậm vẫn đảm bảo giao thức hoạt động bình thường.
- Các dịch vụ Best Effort như internet, FTTH thì tất cả các thông số về QoS không được ưu tiên, khi xảy ra nghẽn thì các gói tin dịch vụ này sẽ bị cắt bỏ hoặc truyền chậm so với gói tin dịch vụ khác.

**Bảng 1.1: Phân lớp QoS trong chuẩn Y.1541**

	VoIP	Video tương tác	Luồng Video
Băng thông	21 tới 320 kbps	N/A	
Trễ (1 chiều)	<150 ms	<150 ms	<4 s
Jitter	30 ms	30 ms	Không ảnh hưởng
Mất gói	<1%	<1%	<5%

(Nguồn: tiêu chuẩn ITU Y.1291)

Phân đoạn backhaul di động truyền tải lưu lượng 2G/3G gồm các lưu lượng của thoại, video, báo hiệu, tín hiệu đồng bộ, dữ liệu, internet được truyền trên mạng IP. Bài toán QoS cần triển khai các kỹ thuật đảm bảo các yêu cầu cho các tham số IPTD, IPDV, IPLR, IPER trên toàn mạng không vượt quá ngưỡng theo bảng 1.1 (tiêu chuẩn QoS – Y.1541) hay trong từng phân đoạn mạng như hình 1.9.



**Hình 1.9: Tham chiếu thực hiện QoS**

#### **1.2.4. Các cơ chế dự phòng**

Tiếp cận tổng thể mạng toàn IP cho phân đoạn backhaul di động cần đảm bảo:

- Sự sẵn sàng cao của các nút mạng riêng lẻ - đạt được thông qua bởi dư thừa phần cứng và hệ thống khai thác được thiết kế để có độ tin cậy cao.
- Sự dư thừa của các node và các đường kết nối – một mạng được thiết kế sao cho không một sự cố đường kết nối hoặc nút mạng có thể cản trở lưu lượng từ nơi gửi tới.
- Các cơ chế để nhanh chóng phát hiện lỗi đường dẫn và các cơ chế cho lưu lượng di chuyển nhanh vào trong các đường dẫn thay thế như các giao thức định tuyến, cơ chế phục hồi nhanh tổng đài mẹ và các giao thức bảo vệ trong mạng trục.

Mạng IP đạt độ sẵn sàng cao khi triển khai các giao thức hỗ trợ cơ chế bảo vệ dự phòng kết nối khi mạng có sự cố như đứt một hướng đường truyền, đứt truyền dẫn cáp quang, lỗi các thiết bị trên mạng truyền tải ... Để không ảnh hưởng đến chất lượng các dịch vụ trên mạng di động và một số ứng dụng khác, tiêu chuẩn chuyển hướng dự phòng trong mạng IP đảm bảo nhỏ hơn 50 ms khi sự cố xảy ra. Sau đây là một số cơ chế dự phòng được triển khai trong mạng IP:

- IGP – fast reroute: IGP là công nghệ tích hợp tính toán lộ trình nhanh trên một bộ định tuyến duy nhất dựa trên ISPF và PRC. Kết hợp với quảng cáo nhanh thông tin trạng thái liên kết và định thời trở lại theo cấp số nhân, hội tụ định tuyến nhanh của toàn mạng được thực hiện. Thời gian hội tụ có thể từ 1 đến 2 giây tùy theo quy mô mạng (hội tụ IGP bình thường lớn hơn 10 giây).
- MPLS TE: MPLS TE (MPLS traffic engineering) cung cấp một giải pháp tốt cho độ tin cậy dịch vụ. TE not-standby là một kỹ thuật có độ sẵn sàng điểm cuối đến điểm cuối cao. LSP chính và dự phòng được thiết lập cho một đường hầm TE. Khi các LSP chính lỗi, lưu lượng chuyển sang các LSP dự phòng. Khi LSP chính được khôi phục, lưu lượng được bật trở lại LSP chính.
- VRRP: VRRP (Virtual Router Redundancy Protocol) là giao thức thiết kế dự phòng cho mạng LAN. VRRP đảm bảo các hướng an toàn kết nối đến default

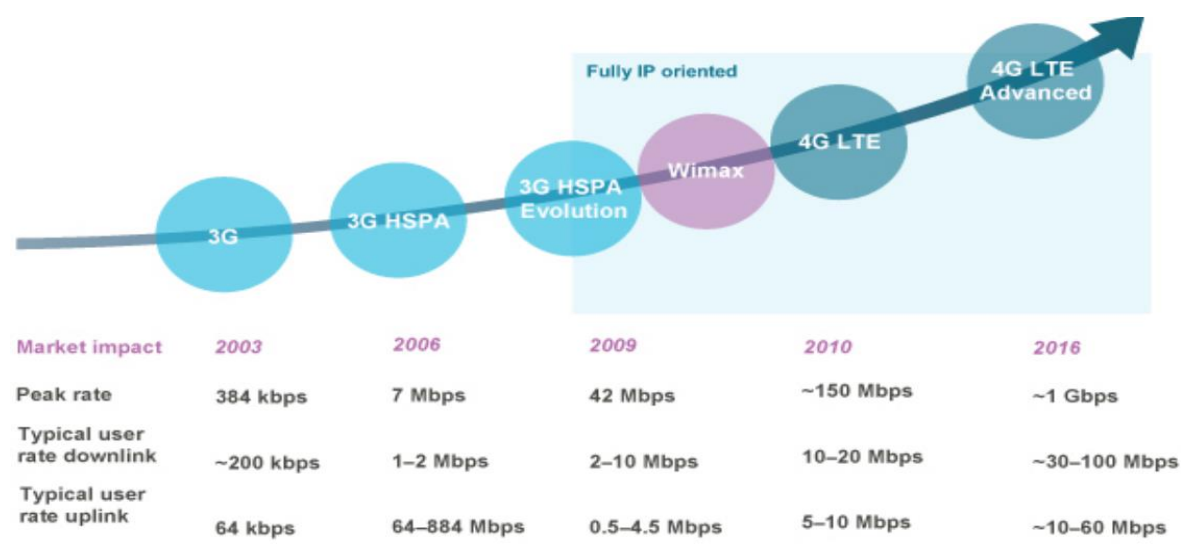


gateway, sử dụng 02 router đáp ứng khả năng kết nối trên mạng. MAN sử dụng VRRP tại các hướng từ AGG lên PE, BNG với các tỉnh có từ 2 PE, BNG trở lên.

- LACP: LACP (Link Aggregation Control Protocol) là giao thức hoạt động ở lớp 2 cho phép 2 hay nhiều đường Ethernet vào một đường tổng với băng thông bằng tổng băng thông các đường, hoạt động theo cơ chế phân tải.
- BDF: BDF (Bit-Direction Fault Detection) cho phép phát hiện lỗi bit trên các kênh trên các hệ thống, bao gồm kết nối vật lý trực tiếp, mạch ảo, đường hầm, MPLS LSP, kênh định tuyến multi-hop và kênh gián tiếp. Khi lỗi xảy ra, việc triển khai BFD là đơn giản và duy nhất, các BFD có thể phát hiện nhanh những thất bại chuyển tiếp để giúp mạng thực hiện việc truyền thoại, video và các dịch vụ theo yêu cầu khác với QoS tốt.
- RSTP: Bản chất của STP được thiết kế để tránh bị loop trong kết nối mạng LAN giữa các switch. RSTP (Rapid Spanning Tree Protocol) được thêm thuật toán tính lại đường đi giúp cơ chế hội tụ nhanh hơn.

### 1.3. Một số yêu cầu cho mạng backhaul thế hệ tiếp theo (5G)

#### 1.3.1. Tăng tốc độ cho thiết bị đầu cuối



**Hình 1.10: Sự gia tăng tốc độ của thiết bị đầu cuối (LTE-3GLTEinfo)**

Trên thực tế, cứ mỗi khi một thế hệ mạng di động mới ra đời đòi hỏi mạng backhaul phục vụ cho mạng di động đó cũng cần phát triển tương ứng để đáp ứng



nhu cầu về tốc độ truyền tải, số lượng thiết bị đầu cuối, các dịch vụ mới. Càng lên cao các công nghệ cao thì yêu cầu đòi hỏi mạng backhaul phục vụ cho thế hệ di động kế tiếp càng yêu cầu cao hơn rất nhiều lần so với trước đó. Ví dụ từ mạng thế hệ 3G lên thế hệ 4G, tốc độ yêu cầu đã tăng lên rất lớn, từ 2 Mbps lên đến 100 Mbps (tính trên lý thuyết). Hình 1.10 thể hiện hiện công nghệ mạng di động ngày càng cao thì tốc độ tối đa cho người dùng ngày càng lớn và do đó mà lưu lượng backhaul cũng ngày càng tăng.

Với công nghệ mạng thế hệ tiếp theo (5G) đòi hỏi mạng backhaul di động cần phải thay đổi với nhiều yêu cầu cao hơn như tăng tốc độ cho thiết bị đầu cuối, số lượng đầu cuối tăng, có nhiều loại thiết bị mới, nhiều dịch vụ mới. Hiện tại tuy chưa có chuẩn về mạng 5G nhưng theo ITU thì mạng 5G chuẩn phải đạt ít nhất các thông số như tốc độ dữ liệu đỉnh 20 Gbps, tốc độ người sử dụng 100 Mbps, dung lượng theo mật độ là 10 Mbps/km<sup>2</sup>, số kết nối 106 thiết bị/km<sup>2</sup>, tốc độ di chuyển 500 km/h, độ trễ 1 ms, hiệu quả sử dụng phổ gấp 3 lần, hiệu quả sử dụng năng lượng gấp 100 lần. Như đã biết, một số nước đã thử nghiệm thành công hệ thống 5G. Như vậy, để đáp ứng được yêu cầu về tốc độ cho các thiết bị đầu cuối đòi hỏi mạng backhaul phục vụ cho 5G phải có những thay đổi.

Hầu hết việc tăng tốc độ truyền là do các nhà mạng tăng thêm các kênh không dây, sử dụng công nghệ sóng milimet và các cell nhỏ (cell tế bào – đơn vị địa lý cơ bản của thông tin vô tuyến). Việc thiết lập nhiều cell nhỏ sẽ tăng đáng kể độ phủ sóng trong khu vực để từ đó đi đến đường truyền kết nối giữa nhà cung cấp dịch vụ với các trạm phân phối tới người dùng cuối. Thiết kế mạng lưới 5G sẽ kết hợp với việc bổ xung macro cell và small cell, không những có thể lắp đặt trên cột, tháp, mái nhà, ... mà còn có thể triển khai đồng loạt trên đường phố, sử dụng các cơ sở hạ tầng có sẵn của đường phố như cột đèn, cột điện ... Do đó, mạng lưới này sẽ gặp phải những thách thức như các kết nối backhaul không dây công suất cao hơn cho mỗi trang web di động, mặc dù các kết nối backhaul không dây hiện tại phục vụ yêu cầu của hàng trăm Mbps, các liên kết tương lai sẽ được yêu cầu để hỗ trợ hàng chục Gbps. Việc khoảng cách giữa các cell là rất gần nhau nên tái sử dụng tần số sẽ

rất khó thực hiện, vì vậy phổ tần số của mạng backhaul không dây trong mạng 5G phải có yêu cầu đặc biệt. Một thách thức khác nữa là việc triển khai các vị trí ở cấp độ đường phố sẽ đòi hỏi mạng backhaul này có công suất lớn hơn, tiêu thụ năng lượng thấp hơn và triển khai đơn giản, nhanh chóng hơn.

### ***1.3.2. Tăng lưu lượng***

Cùng với sự phát triển của công nghệ, ngày càng có nhiều thiết bị đầu cuối được phát triển áp dụng công nghệ 5G như điện thoại, máy tính bảng, laptop ... Trong tương lai, số lượng này sẽ tăng theo cấp số nhân và trung bình một người sẽ sở hữu nhiều thiết bị hiện đại này. Lưu lượng tăng nhanh và ngày càng phức tạp đồng nghĩa với việc các nhà mạng di động phải quản lý lưu lượng một cách chặt chẽ và phù hợp với từng loại ứng dụng. Nguyên nhân phức tạp cho lưu lượng là sự xuất hiện của các loại lưu lượng khác nhau như voice, video ... với các yêu cầu khác nhau do đó thay đổi rất nhiều về băng thông, độ trễ, mất gói và tính di động. Một nguyên nhân khác nữa là các dịch vụ tương tự có thể được truyền đi qua các dịch vụ khác nhau hoặc các ứng dụng khác nhau. Ví dụ như các thuê bao có thể phát video streaming trong các ứng dụng OTT như Facebook, hay cuộc gọi thoại hình cho một ứng dụng OTT như WebEx hay Zoom. Lưu lượng video có thể được mã hóa hoặc không và được tối ưu hóa bởi các nhà cung cấp nội dung hoặc các nhà khai thác. Ngoài ra, lưu lượng mạng có thể thay đổi liên tục khi các thuê bao di chuyển và sử dụng các dịch vụ khác nhau, lưu lượng có thể thay đổi đột ngột trong thời gian rất ngắn, có thể gây ra hiện tượng tắc nghẽn trong mạng mặc dù khi nhìn vào lưu lượng truyền tải trung bình theo thời gian, lưu lượng trông có vẻ như vẫn bình thường trong phạm vi xử lý của mạng.

Như vậy, ngoài việc gia tăng về khối lượng, lưu lượng còn rất phức tạp và phân bố không đều. Một nguyên nhân quan trọng nữa là các nhà khai thác di động có thể sử dụng các luật để ưu tiên lưu lượng các kênh hoặc thành phần hạ tầng mạng. Thoại và video là một ví dụ tốt về sự ảnh hưởng phức tạp trong việc quản lý mạng. Các loại lưu lượng thời gian thực như thoại và video có các yêu cầu tương tự nhau về độ trễ, độ trượt gói, mất gói so với các loại dữ liệu khác. Tuy nhiên, các nhà

khai thác thường xử lý video và thoại khác nhau. Bởi vì tầm quan trọng của chất lượng thoại trong việc duy trì thuê bao nên các nhà khai thác có thể ưu tiên hơn các dịch vụ dữ liệu khác, bao gồm cả xem video trực tuyến. Do yêu cầu băng thông cao nên các nhà mạng cũng có thể giới hạn băng thông phân bổ cho video trong các mạng tránh quá tải và tắc nghẽn. Ngoài ra, do các yêu cầu đặc biệt của thoại, các nhà khai thác phải xử lý lưu lượng thoại khác nhau từ các dịch vụ OTT. Tương tự như vậy, nhà khai thác có thể thiết lập các mục tiêu về hiệu năng cho đàm thoại video cao hơn là cho video streaming, bởi vì các thuê bao nhạy cảm hơn với chất lượng đàm thoại video. Việc thiết lập ưu tiên này cần thực hiện cả trong khu vực mạng truyền tải backhaul. Kết quả là các nhà khai thác di động cần phải quản lý lưu lượng một cách cẩn thận hơn dựa trên việc sử dụng tài nguyên, giờ đây lưu lượng không còn là một luồng gói tin thuần nhất mà là một tập hợp các luồng gói tin đồng thời.

Mặt khác, việc giám sát tối ưu mạng backhaul là phải theo thông số cảm nhận của người sử dụng. Có như vậy mới có thể thỏa mãn được các đòi hỏi về chất lượng dịch vụ ngày càng khắt khe của người sử dụng. Do đó, mạng backhaul vừa cần có khả năng cung cấp dung lượng theo yêu cầu như mạng truyền thống, đồng thời phải nhận diện được sự phức tạp của lưu lượng và giảm độ trễ tương ứng để tránh hiệu ứng nghẽn cổ chai với các dịch vụ chạy trên mạng di động. Với các mạng 5G trong tương lai, việc chú trọng dịch chuyển về phía QoE và số lượng dịch vụ nhiều, các mục tiêu tối ưu hóa đã trở nên phức tạp hơn hẳn. Các thông số dung lượng, độ trễ vẫn còn rất quan trọng, nhưng chúng phải được tối ưu hóa cho luồng lưu lượng cụ thể chứ không phải cho lưu lượng tổng thể đến và đi từ RAN. Mục tiêu của các nhà khai thác mạng đã không còn là độ trễ thấp, dung lượng cao nữa mà là độ trễ thấp nhất, dung lượng cao nhất, hoặc cả hai cho các phân đoạn mạng quan trọng nhất, hoặc cần thiết nhất đối với các nhà khai thác. Cách tiếp cận này có thể khiến các phân đoạn mạng có độ ưu tiên thấp hơn hoặc yêu cầu ít nghiêm ngặt hơn sẽ bị suy giảm hiệu năng nhưng vẫn duy trì được QoE tốt.

Sự phức tạp trong quản lý lưu lượng lại mở ra một cơ hội mới cho các nhà khai thác di động để phân bổ tài nguyên mạng theo một cách hiệu quả hơn, mà nếu được thực hiện đúng cách sẽ làm tăng QoE trong mạng hiện đại – do đó, loại bỏ hoặc trì hoãn việc tăng chi phí đầu tư cho việc mở rộng dung lượng. Nó cũng cho phép các nhà khai thác di động xác định một chiến lược quản lý lưu lượng như một sự khác biệt từ các nhà khai thác khác, và sử dụng như một công cụ để cạnh tranh.

### ***1.3.3. Các loại thiết bị mới, dịch vụ mới, kiến trúc mới***

Việc hàng loạt các dịch vụ mới như Internet kết nối vạn vật (IoT) hay M2M sẽ tạo ra sự bùng nổ về các loại thiết bị mới được kết nối vào mạng 5G. Ví dụ về các dịch vụ mới như internet xúc giác (viễn thám, điều khiển từ xa, y học từ xa ...), các dịch vụ thực tế ảo ... sẽ làm phong phú thêm các dịch vụ được cung cấp bởi nhà cung cấp dịch vụ di động và cung cấp dịch vụ OTT.

Mạng 5G với tốc độ cao, độ trễ thấp, tương thích ngược với các mạng hiện tại sẽ mang tới nền tảng tốt hơn cho các kiến trúc mới như Cloud RAN (mạng truy nhập vô tuyến đám mây) với các trung tâm dữ liệu nano hỗ trợ các chức năng mạng dựa trên máy chủ công IoT công nghiệp, bộ đệm video và các chuyển mã cho định dạng UltraHD. Mạng 5G cũng hỗ trợ cấu trúc liên kết với các mạng không đồng nhất thuận tiện cho người sử dụng. Ngoài ra, 5G cũng mang đến một sự gia tăng đáng kể cho các trạm gốc và các yêu cầu mới cho đường truyền kết nối giữa nhà cung cấp dịch vụ và các trạm phân phối tới người dùng cuối. Nền tảng của công nghệ 5G được mong đợi là nền tảng của World Wide Wireless Web (www) hoàn hảo để kết nối mọi nơi trên trái đất. Về bản chất, mạng 5G vẫn phát triển dựa trên nền tảng của mạng 4G nhưng mức độ cao hơn. Mạng 5G sẽ hỗ trợ đa dạng các nền tảng, người dùng có thể kết nối cùng lúc với nhiều thiết bị qua mạng không dây và dễ dàng chuyển đổi qua lại mà không gặp phải trở ngại nào. Các thiết bị này có thể sử dụng các mạng di động khác nhau như 2G, 3G, 4G, WPAN, 5G hay bất kỳ công nghệ nào khác.

Hệ thống mạng backhaul không dây sẽ tích hợp, thông qua giao diện mở, với cơ sở hạ tầng SDN và NFV, cho phép các ứng dụng SDN đạt được tối ưu hóa tài

nguyên mạng (quang phổ, công suất), dịch vụ sẵn sàng cao hơn, nhanh hơn với các cơ chế định tuyến lại thông minh. Tất cả những điều này đều có thể áp dụng trong lĩnh vực truyền dẫn không dây, cũng như các trong môi trường đa miền, đa nhà cung cấp (giả định sự liên kết của nhà cung cấp với các giao diện và các ứng dụng tiêu chuẩn). Một ứng dụng sẽ làm tăng hiệu quả trong lĩnh vực truyền dẫn không dây là điều chỉnh thích ứng tiêu thụ năng lượng tại mỗi trang web, theo lưu lượng truy cập chạy qua trang web trong bất kỳ trường hợp nào. Trong khi đó, phân bổ tần số động sẽ được thực hiện trong toàn mạng dựa trên các điều kiện về thời tiết. Điều này sẽ tiết kiệm đáng kể về phổ và chi phí. Việc phải nâng cao hiệu quả hoạt động, rút ngắn thời gian đưa ra thị trường đối với các dịch vụ tạo doanh thu mới cùng với cơ hội hiểm hoi cho sự thay đổi trang thiết bị hạ tầng mạng lưới sẽ thúc đẩy các nhà khai thác di động ảo hóa mạng và các dịch vụ. Từ các dịch vụ dựa trên đám mây đến cơ sở hạ tầng SDN/NVF và thậm chí là đám mây RAN (Cloud-RAN), các mạng sẽ phát triển mạnh mẽ các phần mềm được điều khiển. Do đó, cơ sở hạ tầng truyền thông không dây bắt buộc phải đáp ứng được những yêu cầu như backhaul không dây tích hợp liền mạch vào kiến trúc SDN/NVF để cho phép các ứng dụng tối ưu hóa tài nguyên mạng cũng như rút ngắn thời gian đưa ra thị trường cho các dịch vụ mới. Cloud-RAN sẽ yêu cầu backhaul đám mây để tối ưu hóa hiệu quả các tài nguyên RAN. Ngoài việc hỗ trợ Cloud-RAN, việc tách các đơn vị cơ sở và các trạm thu phát từ xa sẽ tạo ra lợi ích đáng kể cho các nhà khai thác di động. Tuy nhiên hiện nay, một số mô hình như vậy phụ thuộc rất nhiều vào giao diện I/Q và hiệu quả cao giữa hai yếu tố. Giao diện này nên được vận chuyển thông qua truyền dẫn không dây để tạo ra sự chuyển đổi hiệu quả về chi phí cho Cloud-RAN. Điều này sẽ được kích hoạt bởi công suất không dây cao hơn, cũng như các cơ chế nén hiệu quả cao được kết hợp ở các nút mạng.

Khi các dịch vụ mới ra đời đòi hỏi các nhà mạng phải áp dụng các công nghệ mới để sẵn sàng phục vụ sự thay đổi này. Do đó, mạng backhaul 5G phải đạt được các yêu cầu như: phủ sóng hoàn chỉnh, độ trễ cực thấp và an ninh chặt chẽ. Điều này cũng đòi hỏi cơ sở hạ tầng không dây backhaul để phục vụ như một mạng quan

trọng thực sự. Lợi ích do mạng 5G mang lại là rất lớn, mặc dù vậy vẫn còn một số vấn đề cần phải được giải quyết trước khi công nghệ 5G có thể trở thành hiện thực. Đó là sự sẵn sàng của băng tần và các thách thức về mặt công nghệ, chẳng hạn như làm thế nào để tạo ra các kiến trúc mạng có thể gia tăng được lưu lượng truyền tải cao hơn và các tốc độ truyền tải dữ liệu cần thiết để có thể chứa được nhiều người dùng hơn trên hệ thống mạng. Bên cạnh đó, việc hỗ trợ nhiều nền tảng thiết bị, dịch vụ và ứng dụng sử dụng những băng tần khác nhau cũng là một khó khăn chờ đón. Mạng di động trong tương lai có thể sẽ trở thành mạng “Internet” chính không chỉ kết nối giữa người với người mà còn giữa người với máy móc, thiết bị. Vì vậy, cần phải đáp ứng được các yếu tố quan trọng về QoS, tính bảo mật và độ tin cậy. Để trở thành hiện thực, công nghệ mạng 5G cần có khả năng đáp ứng tốc độ truyền tải khoảng 10 Gbps, tương tự mạng cáp quang mới có thể xử lý được hết nội dung đa phương tiện và truyền thông ảo với độ phân giải siêu nét. Để hỗ trợ các ứng dụng thực tế ảo và video độ phân giải siêu nét, tốc độ truyền dữ liệu buộc phải đạt mức tối thiểu là 1 Gbps hoặc cao hơn. Bên cạnh đó, dịch vụ đám mây di động lại đòi hỏi tốc độ truy suất rất cao lên đến 10 Gbps. Ngoài băng thông cực lớn, tương tự mạng cáp quang hiện nay, thì thời gian đáp ứng và độ trễ của mạng 5G phải luôn ở mức cực kỳ thấp ( $\leq 1$  ms) mới có thể đạt được yêu cầu hỗ trợ các thiết bị di động thời gian thực, các ứng dụng và các thiết bị, liên lạc giữa các phương tiện với nhau. Mạng 5G còn hỗ trợ các công nghệ truy cập sóng radio khác nhau, vì vậy, để đảm bảo dịch vụ được thông suốt thì thời gian giữa các lần chuyển mạch không được vượt quá 10 ms. Với việc gia tăng theo cấp số nhân các thiết bị đầu cuối, tương ứng với số lượng người dùng sẽ kết nối vào mạng di động, đồng nghĩa với hàng tỷ hay thậm chí nhiều tỉ các ứng dụng được kích hoạt và luôn ở trạng thái hoạt động thì rõ ràng với băng thông hiện tại là không thể đáp ứng nổi.

#### **1.4. Kết luận chương**

Chương 1 đã cho ta cái nhìn tổng quan về mạng backhaul cũng như xu thế rất lớn của di động ngày nay, từ đó phân tích chi tiết bài toán về backhaul di động. Những yêu cầu cơ bản của backhaul di động toàn IP là một yêu cầu bắt buộc với

những yếu tố then chốt là: Công nghệ chuyển đổi cho các kênh TDM chạy trên nền IP cũng như các công nghệ chuyển đổi dịch vụ lớp 2 qua mạng chuyển mạch gói, cơ chế đồng bộ, đảm bảo chất lượng dịch vụ (QoS), các cơ chế dự phòng đảm bảo an toàn kết nối và độ sẵn sàng của dịch vụ

Đồng thời, trong chương này cũng đã nêu ra một số yêu cầu và thách thức với mạng backhaul di động trong kỉ nguyên số tiến tới 5G như: Tăng tốc độ cho thiết bị đầu cuối, tăng lưu lượng, tăng số lượng, chủng loại thiết bị, loại hình dịch vụ, kiến trúc mới. Về phía nhà khai thác di động, đó sẽ được triển khai cụ thể do các yêu cầu về công suất cao hơn, mạng lưới tế bào dày hơn, triển khai đến cấp đường phố, ảo hóa mạng và các ứng dụng quan trọng khác.

## **CHƯƠNG 2: MỘT SỐ GIẢI PHÁP TRUYỀN DẪN BACKHAUL LAI GHÉP QUANG VÔ TUYẾN**

### **2.1. Giới thiệu**

Qua chương 1 luận văn đã cho thấy những yêu cầu cấp thiết của mạng backhaul di động trong giai đoạn hiện nay cũng như tương lai sắp tới của hệ thống (5G) cùng những nền tảng cơ bản của một mạng backhaul di động như băng thông, an toàn, đồng bộ vẫn luôn phải đảm bảo. Một trong các giải pháp đầu tiên là xây dựng backhaul trên mạng PON, các liên kết sợi quang có khả năng cung cấp tốc độ dữ liệu cao, độ tin cậy và tổn thất thấp là giải pháp phù hợp nhất để đáp ứng yêu cầu của mạng backhaul di động thế hệ tiếp theo. Một số giải pháp về mạng backhaul hiện đại như lai ghép quang vô tuyến trên PON cũng được quan tâm nghiên cứu rất nhiều [6], do các lợi thế ưu việt của chúng trong những hoàn cảnh nhất định, đó là liên kết không dây như MMW và quang không gian (FSO).

### **2.2. Tổng quan về mạng backhaul trên PON**

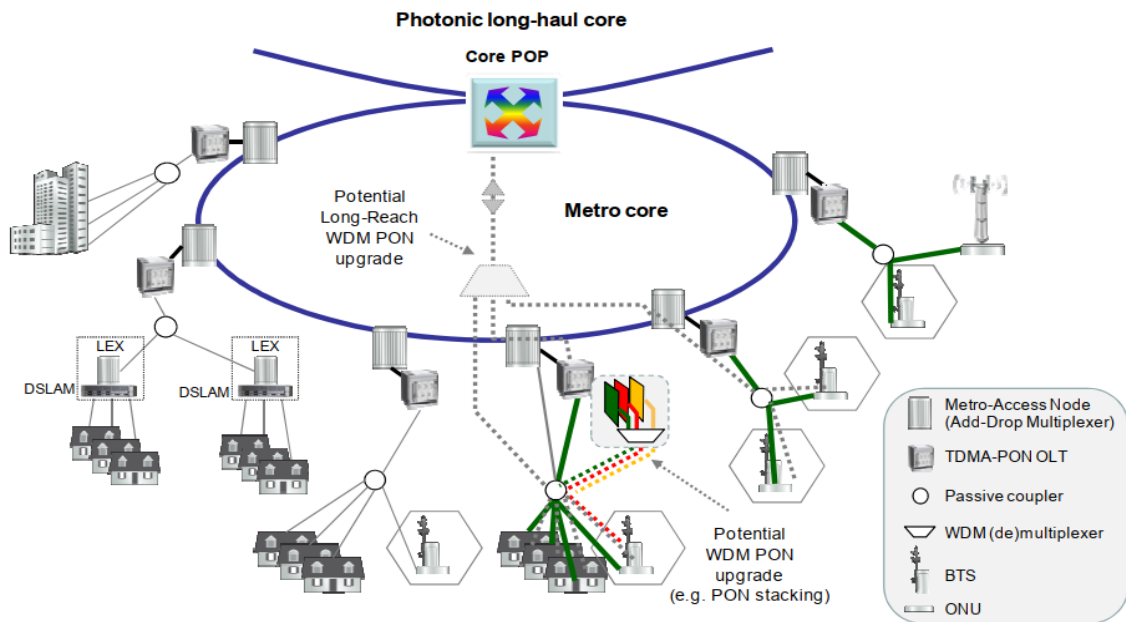
#### **2.2.1. Kiến trúc hệ thống backhaul di động trên PON**

Một thiết lập điển hình theo kịch bản giới thiệu được trình bày về PON được sử dụng cho đường truyền hỗn hợp dân cư và mạng backhaul di động được mô tả trong hình 2.1 nơi một số đơn vị mạng quang (ONU) hỗ trợ người dùng phổ thông hoặc chuyên biệt và doanh nghiệp nhỏ trong khi một hoặc hai phục vụ các trạm gốc di động (thường được gọi là BTS hoặc NodeB, eNodeB tùy thuộc vào công nghệ, giữ BTS có thuật ngữ rộng hơn sau đây) và được kết nối với nhau thông qua cấu hình cây các sợi PON đến điểm cuối đường quang (OLT). Hiệu quả là các PON cho phép thâm nhập sợi sâu hơn với chi phí thấp hơn và đơn giản hóa việc tích hợp với mạng lưới metro và mạng lõi.

PON sẽ trở thành một đề xuất bất khả thi cho mạng backhaul di động như ban đầu hoặc chỉ là giải pháp tạm thời, nếu nó không thể cung cấp một sự tiến bộ rõ ràng, dễ dàng, hiệu quả, được xác định rõ và an toàn, hướng tới bất kỳ băng thông mong muốn nào trong tương lai mà không phá vỡ cơ sở hạ tầng và tiết kiệm chi phí.

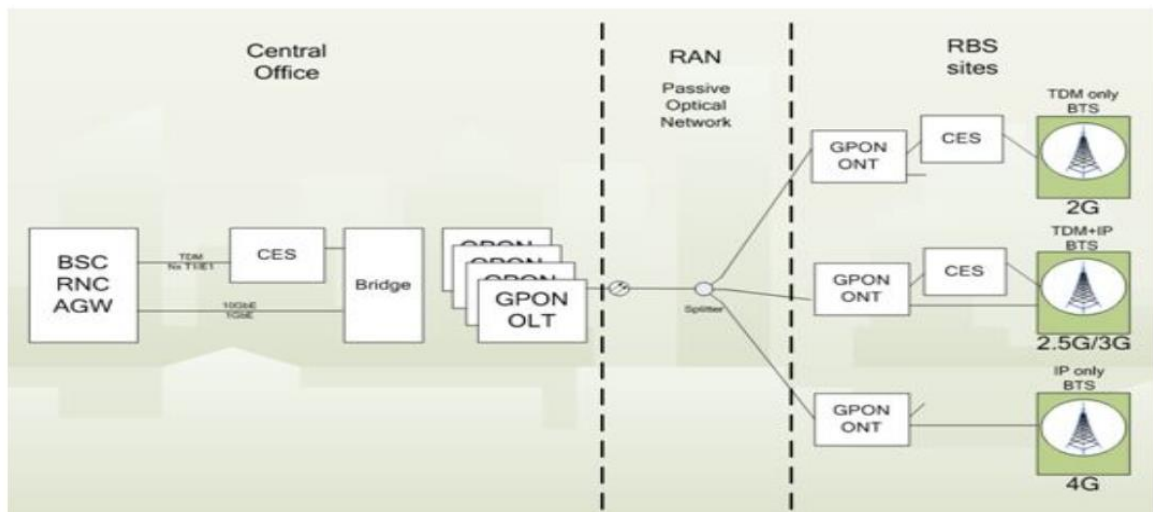


Nâng cấp lên tốc độ dữ liệu nhanh hơn (ví dụ: 10 Gb/s) là bước đầu tiên rõ ràng nhưng cũng sau đó nhiều hơn các lựa chọn thay thế công nghệ tiên bộ có các hệ thống tiêu chuẩn khai thác sóng mang ghép kênh (ví dụ: OFDMA-PONs), Radio-over-Fiber (RoF) và tiếp theo là WDM.



**Hình 2.1: Kiến trúc điển hình (đường chấm chấm: công nghệ WDM - PON)**

Hình 2.2 cho thấy một triển khai backhaul dựa trên GPON điển hình hỗ trợ cả mạng TDM và IP kế thừa. Cầu L2 tổng hợp tất cả các luồng lưu lượng mà không cần định tuyến trong RAN [5].



**Hình 2.2: Kiến trúc hệ thống mạng backhaul di động trên PON**

Phần tử GPON tại cell site giao tiếp với BTS là cell site gateway. Chức năng cơ bản của cell site gateway bao gồm chấm dứt liên kết GPON phía side của mạng và trình bày các giao diện vật lý cho trạm gốc. Tại thời điểm này, phần lớn các giao diện cell site gateway là E1/T1, và tiếp tục phát triển theo thời gian với sự sẵn có của các giao diện Ethernet gốc. Do đó, để thấy độ lợi CapEx và OpEx có thể đến từ việc triển khai và vận hành mạng backhaul di động hội tụ duy nhất, cell site gateway phải xuất hiện cho trạm gốc: Giao diện E1/T1 với chức năng tương tác các dịch vụ mô phỏng mạch (CES) để vận chuyển gói và giao diện Ethernet gốc.

Với thế hệ mạng vô tuyến tiếp theo như truy cập gói tốc độ cao (HSPA) và cao hơn (LTE), công suất đến/từ trạm gốc sẽ tăng đáng kể so với yêu cầu hiện tại của một vài trạm gốc với giao diện E1/T1. Trong một số trường hợp, công suất backhaul cho một site ba hướng sẽ theo thứ tự 100-400 Mbps. Điều này rõ ràng đòi hỏi nhiều khả năng của backhaul. Vì kích thước tế bào đang giảm và sợi được dẫn sâu hơn vào mạng, nên sau đó sử dụng GPON làm công nghệ hồi lưu đến/từ các trạm gốc.

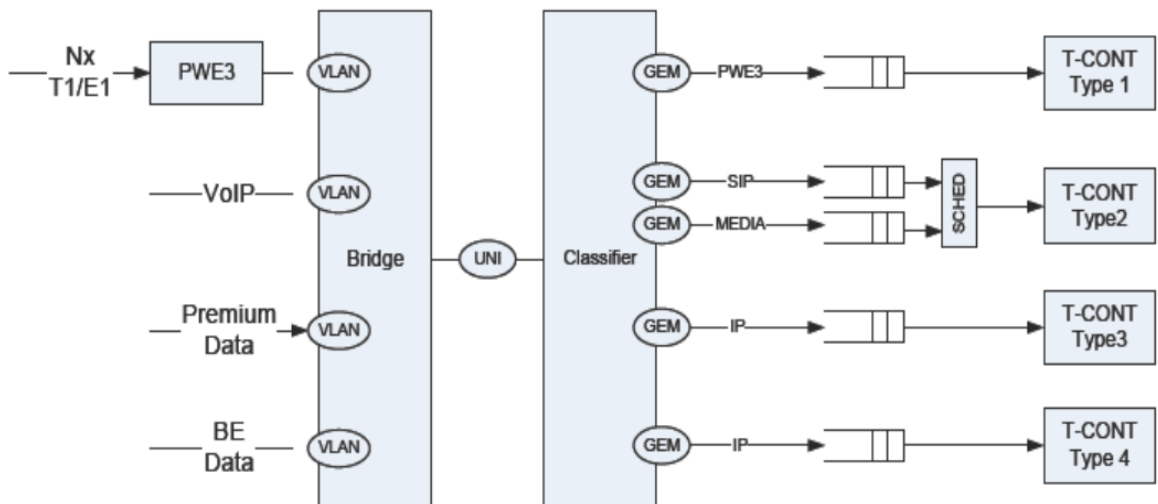
Trong một số trường hợp, các mục tiêu khả dụng của nhà cung cấp dịch vụ di động có thể dẫn đến việc bổ sung dự phòng tại các điểm quan trọng trong mạng. Trong mạng GPON, nguyên nhân lỗi là sợi có thể xảy ra ở phía mạng cũng như đối với ODN. Các kỹ thuật bảo vệ tiêu chuẩn phía mạng được triển khai nhằm bảo vệ mạng gói, ví dụ RPR, giao thức Spanning ... Mặt khác, hai kỹ thuật bảo vệ chính được xác định là các loại “Loại B” và “Loại C” [5]. Sơ đồ dự phòng "Loại B" cung cấp sợi trung chuyển được định tuyến thứ hai kết nối bộ tách quang với cổng GPON thứ hai tại OLT. Mặt khác, sơ đồ dự phòng "Loại B" cung cấp sợi trung chuyển được định tuyến đa dạng thứ hai kết nối cổng PON tại ONT tới cổng GPON thứ hai tại OLT. Cái thứ hai phù hợp hơn cho các mục đích và đảm bảo QoS tốt hơn cho người dùng di động.

### ***2.2.2. Những đáp ứng kỹ thuật***

Về băng thông, có thể được quản lý dễ dàng trong các mạng GPON được triển khai hỗ trợ đường xuống 2,5 Gb/s và đường lên 1,25 Gb/s. Ngay cả khi giả sử tỷ lệ

dịch vụ video phân giải cao và trường hợp xấu nhất trong đó mỗi thuê bao dân cư đang phát đồng thời nhiều kênh video độ phân giải cao và duy nhất với tốc độ khoảng 10 Mb/giây, một tính toán sơ bộ cho thấy khoảng một nửa (hoặc nhiều hơn) băng thông đường xuống vẫn có sẵn cho nhiều trạm gốc LTE trên cùng PON. Trong trường hợp GPON đang được xem xét dành riêng cho mạng backhaul di động, rõ ràng có thể cung cấp 10 đến 30 trạm gốc LTE trên một PON duy nhất. Trong trường hợp không chắc là băng thông GPON trở nên khan hiếm, kỹ thuật PON nổi tiếng về giảm phân chia sợi có thể giảm chia sẻ và giải phóng băng thông cho người dùng băng thông cao và trạm gốc.

Về chất lượng dịch vụ, cơ sở hạ tầng backhaul di động phải tuân theo một số chỉ số hiệu năng chính phải được đáp ứng nghiêm ngặt. Chúng bao gồm các hạn chế về mất gói, độ trễ và jitter để đảm bảo dịch vụ thoại đáp ứng các tiêu chí chất lượng để dễ trò chuyện và thời gian phản hồi thực tế cho các dịch vụ dữ liệu di động. Để đáp ứng các mức QoS cần thiết và đồng thời duy trì hiệu quả chi phí, các khả năng quản lý lưu lượng phức tạp phải được thực hiện.



**Hình 2.3: Lưu lượng đường lên – TDM PON**

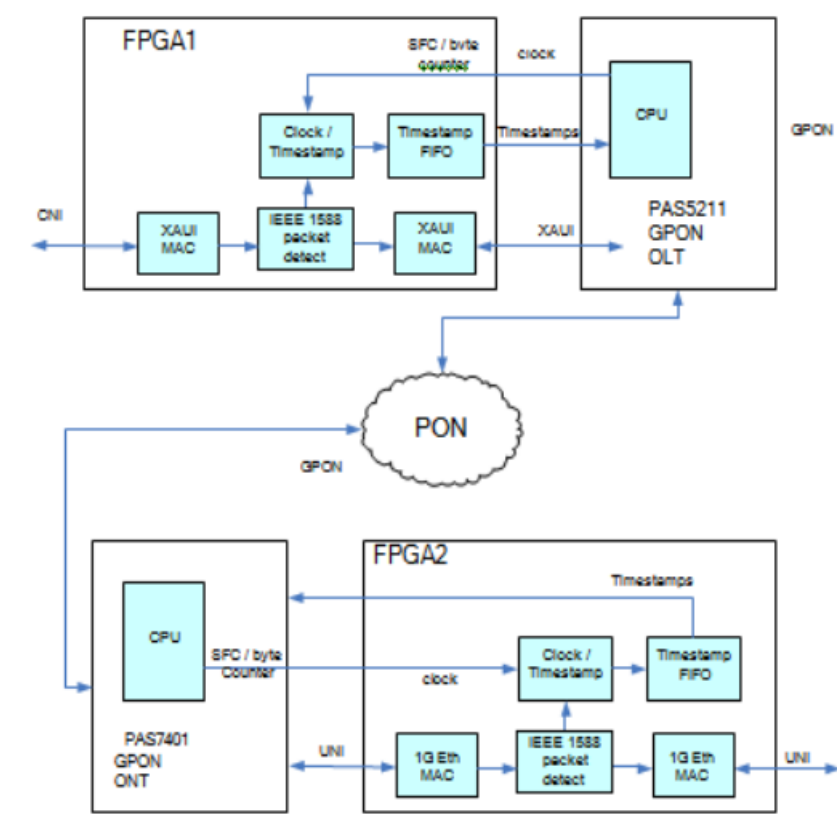
Hình 2.3 cho thấy một ví dụ triển khai luồng dữ liệu đường lên trong hệ thống GPON được cấu hình để mang tất cả các loại dịch vụ. Tất cả các luồng dịch vụ được ghép qua một cây cầu và được phân loại theo Vlan và/hoặc gắn thẻ ưu tiên (có

thể sử dụng công vật lý chuyên dụng cho mỗi dịch vụ, nhưng vì hầu hết các thiết bị GPON ONT đều có cấu hình UNI đơn hoặc kép, tách dịch vụ sử dụng VLAN thường được yêu cầu). Mỗi luồng dịch vụ có một hàng đợi chuyên dụng và các luồng lưu lượng truy cập từ cùng một dịch vụ được tạo bởi những người dùng khác nhau được ánh xạ tới cùng một hàng đợi. Trình phân loại ánh xạ các khung thành hàng đợi theo loại dịch vụ khung, thường được xác định bởi Vlan và/hoặc mức độ ưu tiên. Mỗi hàng đợi sau đó được ánh xạ tới một T-CONT chuyên dụng, cho phép OLT xác định và cung cấp QoS tương ứng cho mỗi dịch vụ. Lưu lượng dịch vụ mô phỏng mạch được ánh xạ vào T-CONT loại 1, được phân bổ băng thông đường lên cố định (tốc độ bit không đổi - CBR). OLT cấp một hoặc nhiều phân bổ đường lên cho mỗi khung N GTC ( $N \geq 1$ ). Bằng cách kiểm soát N, có thể kiểm soát độ trễ đường lên tối đa cho mỗi luồng CES. VoIP T-CONT được phân bổ băng thông động. Bằng cách sử dụng T-CONT loại 2 (băng thông được đảm bảo), có thể đáp ứng các đặc tính độ trễ và jitter cần thiết mà không cần sử dụng phân bổ băng thông cố định. Băng thông chỉ được cung cấp khi cần thiết mà không cần cung cấp quá nhiều. Trong hình 2.3, lưu lượng VoIP được phân loại thành các luồng truyền thông và tín hiệu (giao thức khởi tạo phiên, giao thức điều khiển cổng đa phương tiện) được thực hiện theo hàng đợi riêng biệt. Một lịch trình cung cấp ưu tiên nghiêm ngặt cho các gói phương tiện truyền thông. Việc thực hiện này ngăn chặn sự bùng nổ tín hiệu gây ra độ trễ cho các gói phương tiện. Dữ liệu quan trọng được ánh xạ tới loại báo cáo trạng thái T-CONT loại 3. Loại T-CONT này cho phép thực hiện SLA cho phép các nhà khai thác phân bổ cả băng thông tối đa và đảm bảo. Dữ liệu BE được ánh xạ vào T-CONT loại 4, chỉ bao gồm một thành phần nỗ lực tốt nhất.

Về đồng bộ, đồng bộ hóa đồng hồ là một yêu cầu quan trọng để cung cấp dịch vụ di động đáng tin cậy. Các trạm gốc GSM và UMTS phải có độ chính xác tần số sóng mang là 16 ppb trong suốt thời gian sử dụng của thiết bị. Việc vượt quá giới hạn này sẽ làm giảm hiệu năng của cuộc gọi, tăng tỷ lệ rớt cuộc gọi và giảm chất lượng dịch vụ. Do đó, các cell site phải sử dụng nguồn đồng hồ được đồng bộ hóa với đồng hồ mạng tổng thể. Theo truyền thống, các trạm gốc GSM đã phục hồi



- Đồng hồ trong suốt của IEEE1588 qua PON (hình 2.5), đây là phương pháp được sử dụng nếu đồng hồ slave của IEEE1588 đã được cài đặt tại các site của Node B. Trong trường hợp đó, việc triển khai chính xác của IEEE1588v2 yêu cầu mỗi phần tử mạng đo “thời gian bay” của gói dữ liệu và báo cáo cho phần tử tiếp theo. Để thực hiện điều này, chúng ta có thể coi hệ thống GPON là một thành phần mạng duy nhất và đo thời gian bay của chuyến bay từ OLT CNI đến ONT UNI. Điều này có thể được thực hiện bằng cách sử dụng hai FPGA tại danh giới CNI và UNI.



**Hình 2.5: Sơ đồ khối 1588 Transparent Clock**

### 2.2.3. Ưu điểm của GPON trong mạng backhaul di động

Nhiều lợi thế đã giúp GPON thành công như một công nghệ truy cập đường dây cố định có liên quan đến các mạng truy cập vô tuyến:

- Tối thiểu hóa các CO: Do kiến trúc điểm - đa điểm GPON, một cổng OLT thường có thể kiểm soát tới 64 ONT, do đó giảm thiểu việc sử dụng năng lượng và

không gian trong các site tại CO (central office).

- Độ tin cậy cao và OPEX (Operating Expenditure – Chi phí hoạt động) thấp. Mạng phân phối quang thụ động cung cấp độ tin cậy cao hơn, giảm thiểu cáp trực và OPEX.
- Cấu trúc liên kết hiệu quả. Cấu trúc liên kết cây PON yêu cầu triển khai ít sợi hơn so với cấu trúc liên kết điểm hoặc điểm vòng.
- Khả năng mở rộng đã được chứng minh trong tương lai. Một mạng lưới phân phối sợi cung cấp băng thông không giới hạn và không cần phải thay thế khi thể hệ tiếp theo xuất hiện.
- Sức mạnh tổng hợp với truy cập dòng cố định. Các nhà khai thác đang triển khai cả truy cập cố định và di động có thể sử dụng cùng một cơ sở hạ tầng.
- QoS và SLA cho các dịch vụ đa kênh. GPON T-CONT (kiến trúc container lưu lượng đường lên) cho phép ghép các luồng dịch vụ khác nhau (ví dụ TDM và IP) trên PON trong khi cung cấp chất lượng dịch vụ và SLA khác biệt cho mỗi loại dịch vụ.
- Chuyển đổi dự phòng và bảo vệ tự động: GPON cung cấp dựa trên tiêu chuẩn cơ chế thực hiện dự phòng và chuyển mạch bảo vệ tự động.

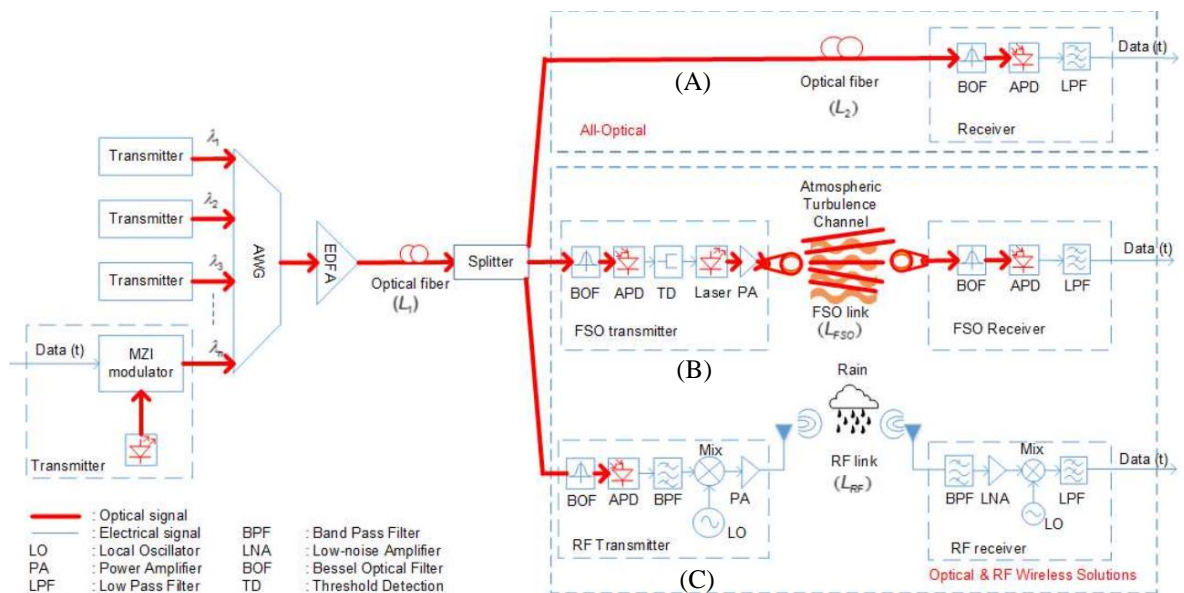
#### ***2.2.4. Mạng backhaul di động trên PON thế hệ tiếp theo (WDM-PON)***

Mô hình chung có thể thấy từ hình 2.1, việc sử dụng PONs cho tế bào backhaul của dữ liệu băng gốc từ trạm BS đã được kiểm chứng [5] và đã thử nghiệm cho một số tiêu chuẩn hiện hành. Mặc dù các yêu cầu về năng lực cũng nằm trong khả năng của PON, đặc điểm trễ không đối xứng gây ra những lo ngại về hiệu năng trong PON ghép kênh phân chia thời gian (TDM-PON), cũng như yêu cầu phân nhiệm để ưu tiên lưu lượng backhaul. GPON thế hệ sau, PON ghép kênh phân chia bước sóng (WDM-PON) là tốt hơn, bởi nó giảm đáng kể lượng sợi sử dụng, cung cấp các kênh tốc độ cao đồng thời cũng loại bỏ được các yếu điểm còn tồn tại của TDM-PON.

Trên hình 2.6 (A) là kiến trúc của một backhaul trên WDM-PON thuần sợi quang. Mỗi đường dẫn backhaul từ CS đến BS có thể chia thành hai bước. Bước



đầu tiên từ CS đến bộ chia là một liên kết WDM, đối với bước thứ hai, thuần sợi quang WDM từ bộ chia quang tới đầu thu. Trong phần 2.4, luận văn lấy mô hình trên WDM-PON làm cơ sở để so sánh và đánh giá hiệu năng của giữa các giải pháp sẽ được trình bày trong phần sau để thấy được sự kết hợp của các giải pháp này: công nghệ PON, FSO, RF có thể cung cấp một giải pháp linh hoạt, băng thông giga cho mạng backhaul.



**Hình 2.6: Kiến trúc backhaul trên WDM – PON [6]**

## 2.3. Một số giải pháp backhaul lai ghép PON/quang vô tuyến

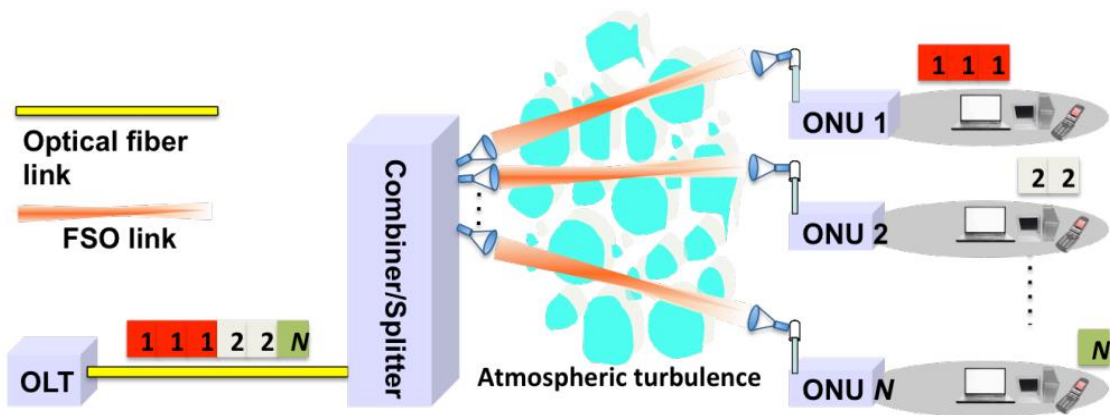
Giải pháp backhaul trên PON thuần sợi quang là kết quả tốt nhất và bền vững, tuy nhiên giải pháp liên kết sợi quang có thể không phù hợp với một số tình huống (ví dụ: sau những thảm họa lớn, ở những nơi OMC khó khăn, hoặc cho các ứng dụng di động nhanh như trạm lưu động cho các lễ hội, sự kiện thể thao ...) do chi phí triển khai lớn, sự linh hoạt bị giới hạn. Mặt khác, liên kết không dây như MMW và quang không gian (FSO) là một giải pháp hấp dẫn thay thế cung cấp sự linh hoạt và triển khai nhanh.

### 2.3.1. Backhaul lai ghép TDM-PON/FSO

Trong TDM – PON/FSO, các sợi quang được thay thế bằng các liên kết FSO, nơi việc triển khai mạng cáp quang hoặc các liên kết khác là không thuận lợi (hình 2.7). Một vấn đề thách thức trong kiến trúc TDM-PON là việc chia sẻ tài nguyên



kênh bởi các đơn vị mạng quang (ONU) trong đường lên. Giao thức điều khiển truy cập trung bình (MAC) cho TDM-PON hoạt động theo kiểu ghép kênh phân chia thời gian (TDM), trong đó mỗi ONU được gán một số lượng khe thời gian cụ thể để truyền dữ liệu. Điều này có thể là cố định hoặc động, tương ứng với phân bổ băng thông cố định (FBA) hoặc phân bổ băng thông động (DBA) [5]. Bằng cách phân bổ động băng thông giữa các ONU dựa trên trạng thái hàng đợi của chúng, DBA có thể đạt được mức sử dụng băng thông cao hơn FBA trong TDM-PON. Nhưng các giao thức MAC thông thường, bao gồm cả FBA và DBA, được thiết kế cho các mạng cáp quang, hiệu năng của chúng có thể không hiệu quả trong FSO/PON khi có ảnh hưởng của nhiễu loạn khí quyển. Ví dụ, khi ONU được chỉ định một số khe thời gian, băng thông được gán có thể bị lãng phí một phần hoặc thậm chí hoàn toàn do tổn thất nghẽn do nhiễu loạn khí quyển trên liên kết. Do đó, để đảm bảo hiệu năng tối ưu, cần phải tính đến cả thông tin trạng thái lưu lượng và kênh trong thiết kế các giao thức MAC của TDM-PON/FSO.



**Hình 2.7: Mô hình backhaul lai ghép TDM-PON/FSO**

Hai giao thức MAC mới, bao gồm phân bổ băng thông cố định/tốc độ thích ứng (FBA/AR) và phân bổ băng thông động/tốc độ thích ứng (DBA/AR), được đề xuất cho FSO/PON sẽ được phân tích và so sánh trong phần 2.4 để thấy rõ hơn.

### **2.3.2. Backhaul lai ghép WDM-PON/FSO**

Hình 2.6 (B) cho thấy kiến trúc được đề xuất cho mạng backhaul lai ghép WDM-PON/FSO để cung cấp mạng backhaul dung lượng cao và linh hoạt sử dụng

liên kết FSO cho phân đoạn khó khăn không thuận lợi của sợi quang hay các liên kết khác. Các tín hiệu đường xuống từ trạm trung tâm (CS), nơi đặt máy phát, được điều chế với các bước sóng khác nhau và ghép kênh bằng cách sử dụng cách tử ống dẫn sóng (AWG). Tín hiệu WDM sau đó được khuếch đại trong khi đi qua bộ khuếch đại sợi pha tạp Erbium (EDFA) để bù lại tổn thất do liên kết sợi đầu tiên và đặc biệt là bộ chia. Tín hiệu từ đầu ra của bộ chia được truyền đến các trạm gốc (BS) thông qua FSO. Mỗi đường dẫn backhaul từ CS đến BS có thể chia thành hai bước. Bước đầu tiên từ CS đến bộ chia là một liên kết sợi quang WDM. Bước thứ hai, sử dụng liên kết FSO từ bộ chia WDM PON xuống thiết bị cuối. Các tính toán được đưa ra để so sánh và đánh giá được thể hiện trong phần 2.4.

### **2.3.3. Backhaul lai ghép WDM-PON/RF**

Hình 2.6 (C) cho thấy kiến trúc được đề xuất cho mạng backhaul lai ghép WDM-PON/RF để cung cấp mạng backhaul dung lượng cao và linh hoạt, sử dụng liên kết RF cho những phân đoạn khó khăn không thuận lợi của liên kết sợi quang hay các liên kết khác. Các tín hiệu đường xuống từ trạm trung tâm (CS), nơi đặt máy phát, được điều chế với các bước sóng khác nhau và ghép kênh bằng cách sử dụng cách tử ống dẫn sóng (AWG). Tín hiệu WDM sau đó được khuếch đại trong khi đi qua bộ khuếch đại sợi pha tạp Erbium (EDFA) để bù lại tổn thất do liên kết sợi đầu tiên và đặc biệt là bộ chia. Tín hiệu từ đầu ra của bộ chia được truyền đến các trạm gốc (BS) thông qua RF. Mỗi đường dẫn backhaul từ CS đến BS có thể chia thành hai bước. Bước đầu tiên từ CS đến bộ chia là một liên kết sợi quang WDM, bước thứ hai, là liên kết RF. Các tính toán được đưa ra để so sánh và đánh giá được thể hiện trong phần 2.4.

## **2.4. Kết quả và đánh giá các giải pháp**

### **2.4.1. Backhaul lai ghép TDM-PON/FSO**

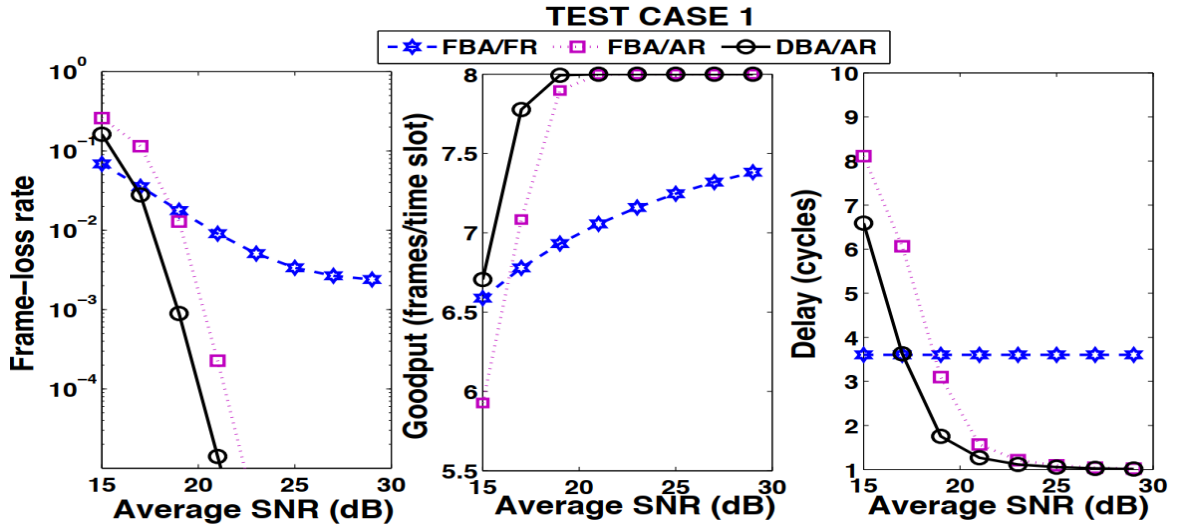
Trong phần này, sử dụng các mô hình dẫn xuất trước đó, luận văn trình bày các kết quả đã chọn minh họa hiệu năng của các giao thức MAC cho các trường hợp thử nghiệm khác nhau, được thể hiện trong hình 2.8, 2.9, 2.10 [5]. Nhớ lại rằng các điều kiện mạng đồng nhất được giả định. Các tham số hệ thống của tất cả các

ONU đều giống nhau và được đưa ra trong bảng 2.1. Do đó, các kết quả được quan sát tại một ONU đại diện.

**Bảng 2.1: Các tham số hệ thống TDM/FSO**

Thông số chung		
Độ dài liên kết FSO	$L = 2000 \text{ m}$	
Bước sóng quang	$\lambda = 1310 \text{ nm}$ (đường lên)	
Kích thước khung	$L_{fr} = 1080 \text{ bits}$	
Độ dài lớn nhất của hàng đợi	$Q = 100 \text{ khung}$	
Thời gian 1 chu kỳ	$T_{cycle} = 80 \text{ khe thời gian}$	
Thời gian bảo vệ	$T_g = 1 \text{ khe thời gian}$	
Tốc độ khung đến	$\vartheta = 8 \text{ khung/chu kỳ}$	
Tốc độ truyền cơ bản	$R_0 = 1 \text{ khung/khe thời gian}$	
Khối lượng gán cho ONU	$w = 1/N$	
FBA/FR		
Mã hóa	Tốc độ	
$8 - QAM$	$3R_0$	
FBA/FR và DBA/FR ( $m = 5$ và $BER_0 = 10^{-5}$ )		
Mã hóa	Tốc độ	Ngưỡng SNR
Không truyền	0	$(-\infty, 8,2 \text{ dB}]$
BPSK	$R_0$	$(8,2 \text{ dB}, 13 \text{ dB}]$
QPSK	$2R_0$	$(13 \text{ dB}, 16,6 \text{ dB}]$
$8 - QAM$	$3R_0$	$(16,6 \text{ dB}, 20 \text{ dB}]$
$16 - QAM$	$4R_0$	$(20 \text{ dB}, 23 \text{ dB}]$
$32 - QAM$	$5R_0$	$(23 \text{ dB}, +\infty)$
Thử nghiệm 1		
Số ONU	$N = 16$	
Cường độ nhiễu loạn	$C_n^2 = 5 \times 10^{-15} m^{-2/3}$	
Thử nghiệm 2		
Số ONU	$N = 32$	
Cường độ nhiễu loạn	$C_n^2 = 5 \times 10^{-15} m^{-2/3}$	
Thử nghiệm 3		
Số ONU	$N = 32$	
Cường độ nhiễu loạn	$C_n^2 = 2 \times 10^{-14} m^{-2/3}$	

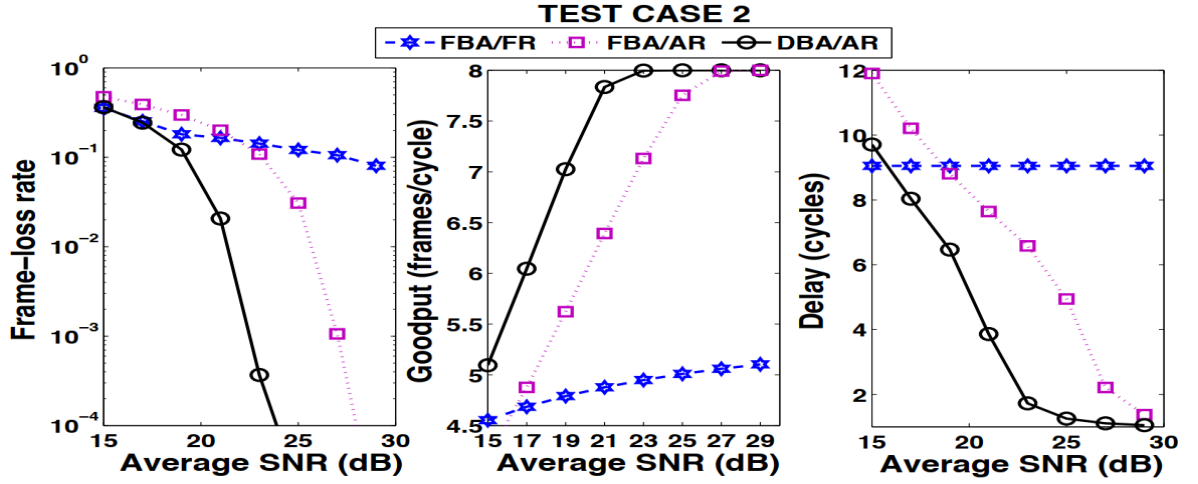
Trước tiên hãy tóm tắt các kết luận chính có thể được rút ra từ hình 2.8 và hình 2.10. Nhìn chung, DBA/AR đạt được hiệu năng tốt nhất trong hầu hết các trường hợp. Ngoài ra, hiệu năng được xem là cải thiện đáng kể khi SNR trung bình được tăng lên, đặc biệt đối với các trường hợp FBA/AR và DAB/AR. Hiện tượng này không xảy ra trong các trường hợp tỷ lệ cố định, đặc biệt là đối với hiệu năng trễ, không đổi khi SNR tăng. Điều này là do mặc dù FBA/FR giữ tốc độ không thay đổi cho bất kỳ mức SNR nào, FBA/AR và DAB/AR có xu hướng hoạt động ở tốc độ truyền cao hơn dưới mức SNR cao hơn, nhờ đó các khung đến có thể được phục vụ nhanh hơn trong hàng đợi ONU. Do đặc điểm này, có thể tìm thấy phạm vi SNR cho FBA/AR và DBA/AR mà tại đó hiệu năng chấp nhận được đạt được dưới tác động của các cường độ nhiễu loạn và quy mô mạng khác nhau. Chẳng hạn, trong điều kiện nhiễu loạn vừa phải và điều kiện mạng quy mô vừa phải (hình 2.8), khi SNR cao hơn 25 dB, FBA/AR và DBA/AR có thể đạt được mức tối đa ( $G_{max} = 8$  khung/vòng), độ trễ tối thiểu ( $D_{min} = 1$  vòng) và tốc độ mất khung chấp nhận được ( $P \leq 10^{-4}$ ).



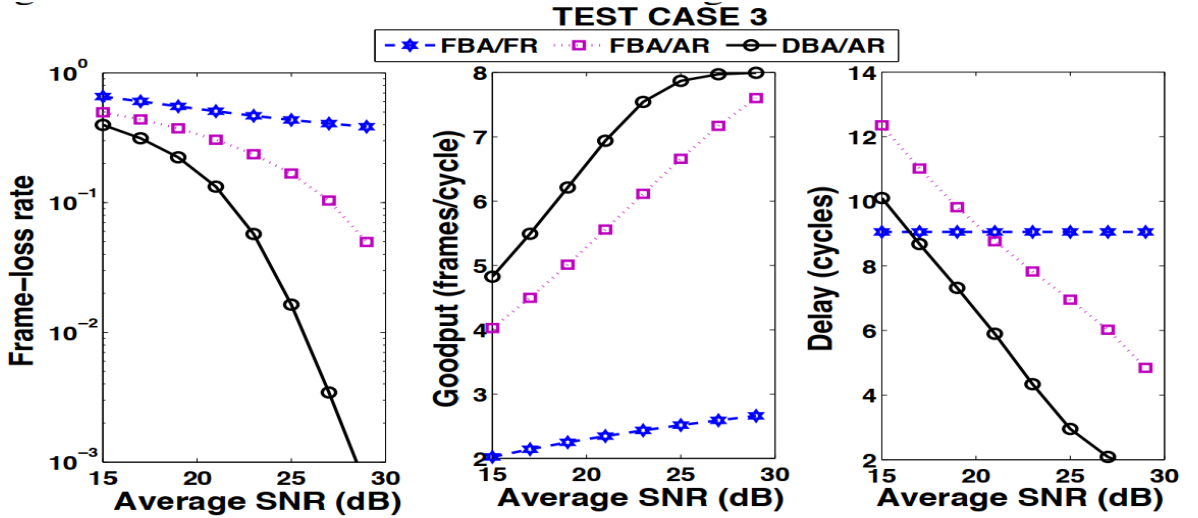
Hình 2.8: Nhiễu loạn vừa phải với điều kiện quy mô mạng vừa phải [5]

Tiếp theo, xem xét ảnh hưởng của quy mô mạng đến hiệu năng của hệ thống bằng cách so sánh hình 2.8 và hình 2.9. Lưu ý rằng khi kích thước của chu kỳ được cố định, số lượng ONU cao hơn dẫn đến băng thông tối thiểu nhỏ hơn được đảm bảo cho mỗi ONU ( $T^{MIN}$ ). Như một điều hiển nhiên, trong FBA/AR và DBA/AR,

việc tăng quy mô mạng dẫn đến việc tăng SNR cần thiết để đạt được hiệu năng tương tự. Ví dụ, trong trường hợp DBA/AR, để có được  $\mathbb{D}_{min}$ , SNR cần thiết lần lượt là 25 dB và 29 dB cho các mạng vừa và lớn. Ngoài ra, hiệu năng hệ thống của FBA/FR cũng phụ thuộc mạnh vào quy mô mạng. Cụ thể hơn, tăng gấp đôi số lượng ONU (từ 16 lên 32) dẫn đến tăng độ trễ khoảng ba lần.



Hình 2.9: Nhiều loạn vừa phải và với điều kiện quy mô mạng lớn [5]



Hình 2.10: Nhiều loạn mạnh với điều kiện quy mô mạng lớn [5]

Cuối cùng, so sánh kết quả của hình 2.9 và hình 2.10 để xem ảnh hưởng của nhiễu loạn khí quyển. Rõ ràng, nhiễu loạn khí quyển ảnh hưởng rất lớn đến hiệu năng hệ thống. Trong hình 2.10, cả FBA/FR và FBA/AR đều không thể đạt được hiệu năng tốt. Mặt khác, trong kịch bản này, nơi nhiễu loạn mạnh và quy mô mạng lớn, sự cải thiện bằng cách sử dụng DBA/AR được quan sát rõ ràng hơn. Có hai lý

do chính cho hiện tượng này. Thứ nhất, ngay cả trong điều kiện nhiễu loạn mạnh, bằng cách thay đổi tốc độ truyền, DBA/AR luôn giữ tỷ lệ lỗi bit thấp, bằng với tỷ lệ lỗi bit mục tiêu ( $BER_0 = 10^{-5}$ ). Thứ hai, do điều kiện nhiễu loạn mạnh, có khả năng có một số ONU hoãn truyền dữ liệu. Họ có thể để lại nhiều khe thời gian hơn cho việc truyền của ONU có khả năng.

Từ các tham số hiệu năng hệ thống giữa các giao thức được đề xuất và một giao thức thông thường được lấy từ sự hiện diện của nhiễu loạn khí quyển, kết quả đã chỉ ra rằng so với các trường hợp tỷ lệ cố định, các giao thức dựa trên tỷ lệ thích ứng có hiệu năng tốt hơn và nói chung DBA/AR hoạt động hiệu quả hơn FBA/AR.

#### **2.4.2. Backhaul PON - WDM thuần sợi quang và lai ghép FSO, RF**

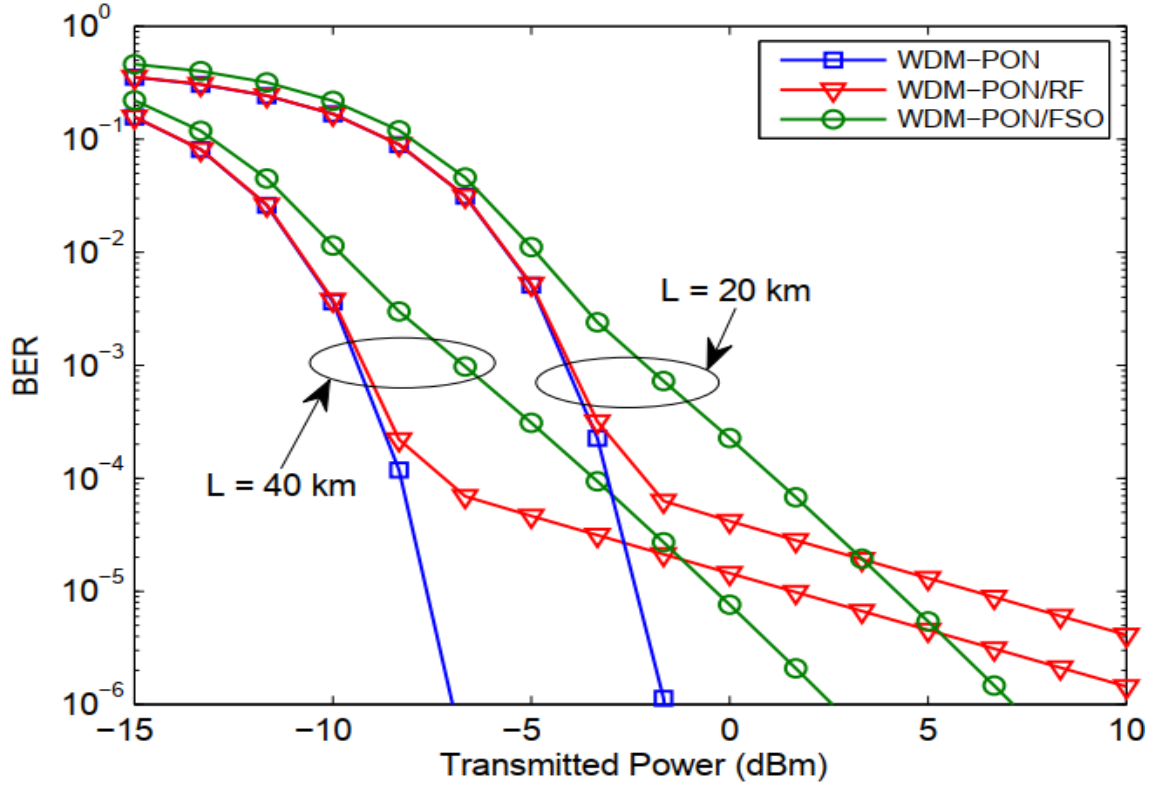
Trong phần này, sử dụng các mô hình dẫn xuất trước đó, luận văn trình bày các kết quả số đã chọn, được thể hiện trong hình 2.11, 2.12, 2.13, 2.14, 2.15 [6], so sánh và đánh giá ba loại đường xuống backhaul bao gồm thuần sợi quang WDM-PON, lai ghép WDM-PON/FSO và lai ghép WDM-PON/RF. Các hằng số và hệ số được sử dụng trong phân tích được tóm tắt trong bảng 2.2.

**Bảng 2.2: Các tham số hệ thống WDM/FSO**

Tên	Ký hiệu	Giá trị
<b>Liên kết Fiber</b>		
Hệ số bộ khuếch đại	$G$	15 dB
Tỉ lệ chia	$N_s$	128
Suy hao sợi quang	$\alpha_f$	0,2 dB/km
Hệ số phân tán	$D$	$17 \cdot 10^{-6}$ ps/nm/km
Bước sóng của hệ thống WDM-PON	$\lambda_{PON}$	1599,75 nm
Hệ số ion hóa	$\zeta$	0,5
Điện tích cơ bản	$e$	$1,602 \times 10^{-19}$ C
<b>Liên kết RF</b>		
Tần số sóng mang	$f_c$	60 GHz
Tần số	$B$	250 MHz
Cường độ Anten phát	$G_t$	44 dBi
Cường độ Anten thu	$G_r$	44 dBi
Suy hao (khí quyển)	$\alpha_{oxy}$	15,1 dB/km

Suy hao (mưa)	$\alpha_{rain}$	0 dB/km
Hệ số Rician	$K$	6 dB
Mật độ phổ công suất nhiễu	$N_0$	-114 dBm/MHz
Hệ số nhiễu thu	$N_F$	5 dB
<b>Liên kết FSO</b>		
Bước sóng của liên kết FSO	$\lambda_{FSO}$	1550 nm
Chỉ số khúc xạ	$C_n^2$	$5 \times 10^{-14} \text{m}^{-2/3}$
Đáp ứng	$\rho$	0,8 1/V
Phương sai nhiễu	$\sigma_A^2$	$10^{-14} A^2$
Suy hao sợi quang	$a_l$	$0,1 \text{ km}^{-1}$
Đường kính máy thu	$2a$	20 cm
Bán kính chùm tia ở 1 km	$\omega_z$	2,0 m
Độ lệch chuẩn	$\sigma_s$	10 cm

Đầu tiên, hình 2.11 cho thấy sự so sánh hiệu năng giữa ba kịch bản truyền tải tương đương bao gồm WDM-PON, WDM-PON/FSO và WDM-PON/RF với tốc độ bit hệ thống là 10 Gbit/s và hai khoảng cách liên kết khác nhau là 20 km và 40 km. Trong so sánh này, khoảng cách không dây được đặt ở 800 m. Các kết quả đã chứng minh rằng hiệu năng của ba lần xem xét liên kết xuống phụ thuộc đáng kể vào công suất phát; các BER hệ thống bị giảm nhanh khi công suất phát tăng lên. Tuy nhiên, tốc độ giảm của mỗi hệ thống là khác nhau; của đường xuống dựa trên WDM-PON cơ bản là lớn nhất trong khi đường xuống của WDM-PON/RF trở nên nhỏ hơn khi BER hệ thống đạt đến giá trị cụ thể,  $10^{-4}$ . Đó là bởi vì, trong hệ thống WDM-PON/RF, việc tăng công suất phát quang cũng có thể gây ra sự gia tăng của nhiễu lượng tử và do đó, không giúp giảm SNR. Mặc dù có chi phí lắp đặt cao hơn, triển khai khó hơn và ít đa năng hơn, giải pháp WDM-PON luôn vượt trội so với các giải pháp backhaul khác nhờ những ưu điểm của truyền dẫn quang. Mặt khác, ngay cả khi chi phí triển khai ít và đa năng nhất, hệ thống kết hợp WDM-PON/RF không đủ cho yêu cầu BER cao, tức là lớn hơn  $10^{-4}$ . WDM-PON/FSO, có hiệu năng tốt hơn WDM-PON/RF với BER dưới  $10^{-5}$ , cung cấp giải pháp trung gian có thể cung cấp BER cao, khả năng chi trả cao hơn trong khi yêu cầu chi phí triển khai ít hơn.

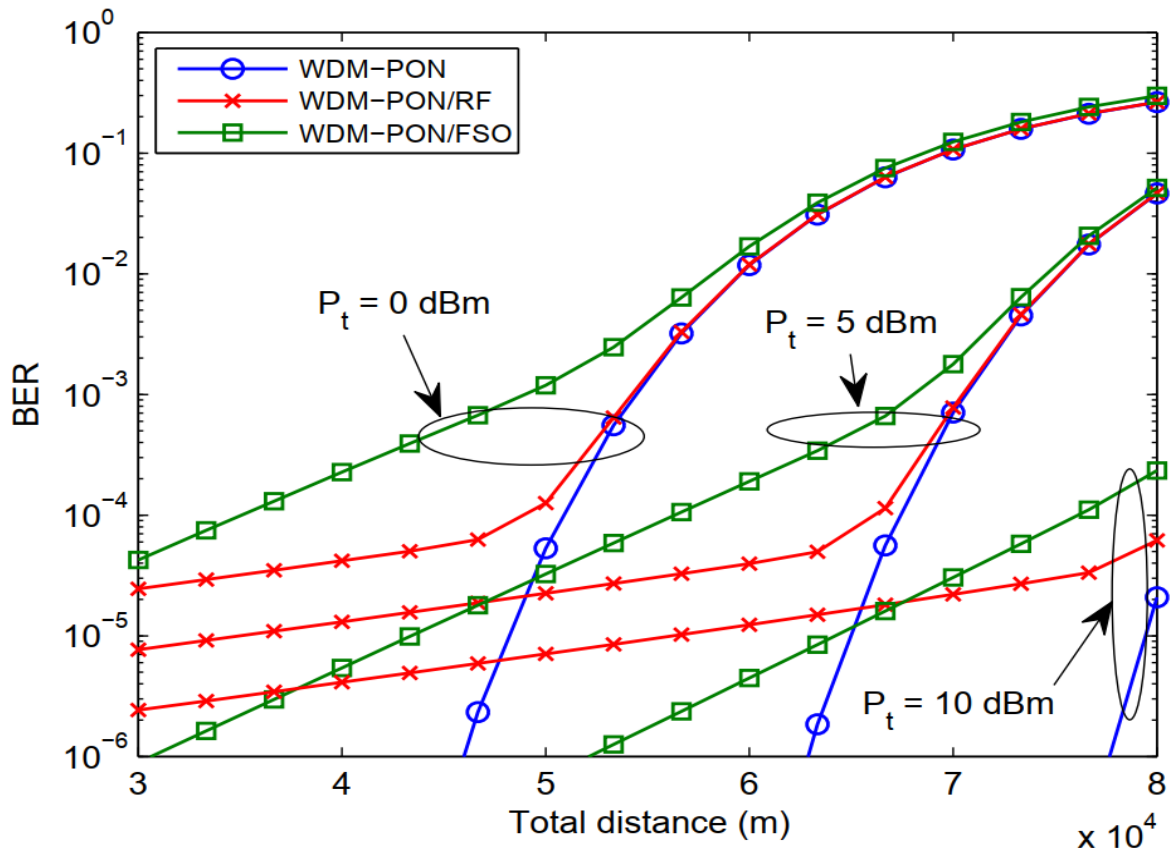


**Hình 2.11: So sánh hiệu năng của hệ thống lai WDM-PON/FSO, WDM-PON/RF và hệ thống NGPON2 với  $R_b = 10 \text{ Gbps}$  và  $L_{FSO} = L_{RF} = 800 \text{ m}$  [6]**

Hơn nữa, một trong những yêu cầu quan trọng nhất của mạng truyền dẫn di động thế hệ tiếp theo là mở rộng phạm vi dịch vụ, tức là khoảng cách liên kết tối đa. Do đó, cần đánh giá sự phụ thuộc của hiệu năng hệ thống vào tổng khoảng cách là cần thiết cho ba hệ thống backhaul tương đương (hình 2.12). Trong đánh giá này, khoảng cách liên kết không dây của FSO và RF được giả định là được xác định ở mức 800 m; việc mở rộng khoảng cách liên kết được thực hiện bằng các phương tiện sợi quang. Hình 2.12 mô tả năng của hệ thống đạt được với công suất phát khác nhau,  $P_t$ , là 0 dBm, 5 dBm, 10 dBm. Rõ ràng, hiệu năng của các hệ thống backhaul thể hiện phụ thuộc mạnh vào tổng khoảng cách liên kết được thực hiện. Do sự suy hao của tín hiệu quang, hiệu năng của hệ thống bị suy giảm nhanh chóng khi khoảng cách liên kết lớn hơn được triển khai. Trong số ba giải pháp so sánh backhaul, các hệ thống WDM-PON thuần túy luôn cho thấy hiệu năng tốt nhất, BER nhỏ nhất hay nói cách khác là phạm vi dịch vụ dài nhất. WDM-PON/FSO cung cấp hiệu năng tốt hơn hệ thống WDM-PON/RF khi BER yêu cầu đủ nhỏ (tức



là dưới  $10^{-5}$  với công suất lớn hơn 5 dBm), tuy nhiên, nó chịu hiệu năng kém nhất nếu BER yêu cầu không quá nhỏ (tức là BER  $10^{-4}$ ). Một lần nữa, cho thấy giải pháp backhaul thuần sợi quang WDM-PON là tốt nhất về BER nhưng WDM-PON/FSO hoặc WDM-PON/RF là những giải pháp thay thế khác có thể giải quyết sự đánh đổi giữa hiệu năng vận hành và chi phí lắp đặt, tính linh hoạt và đa năng cho các mạng backhaul thế hệ tiếp theo.

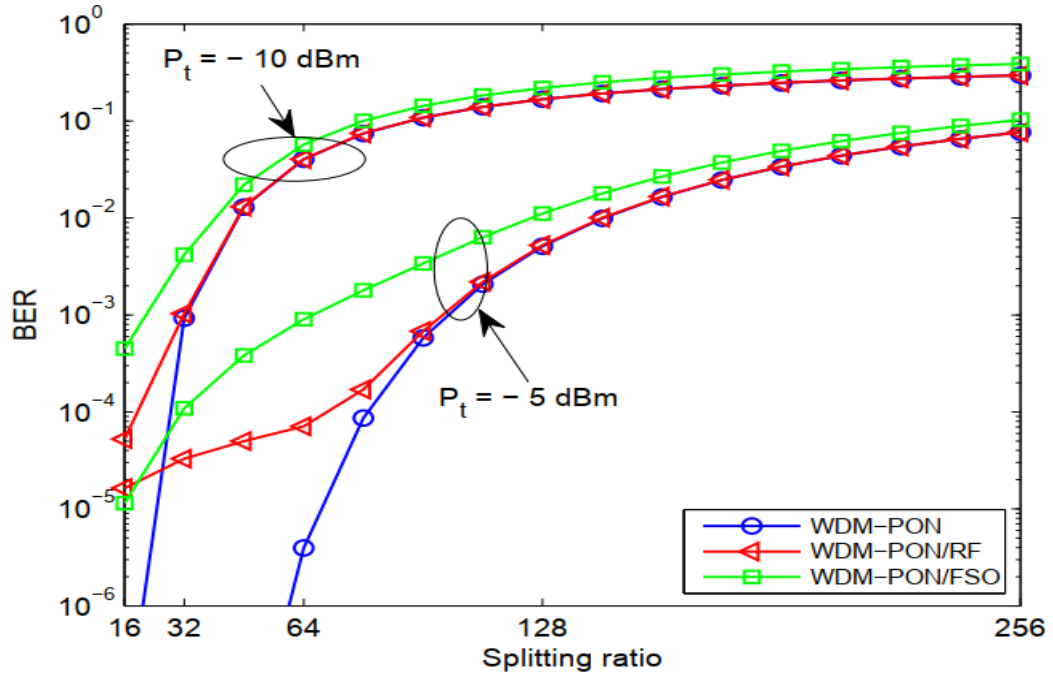


**Hình 2.12: BER tổng với công suất khác nhau**

**$R_b = 10 \text{ Gbps}$  và  $L_{FSO} = L_{RF} = 800 \text{ m}$  [6]**

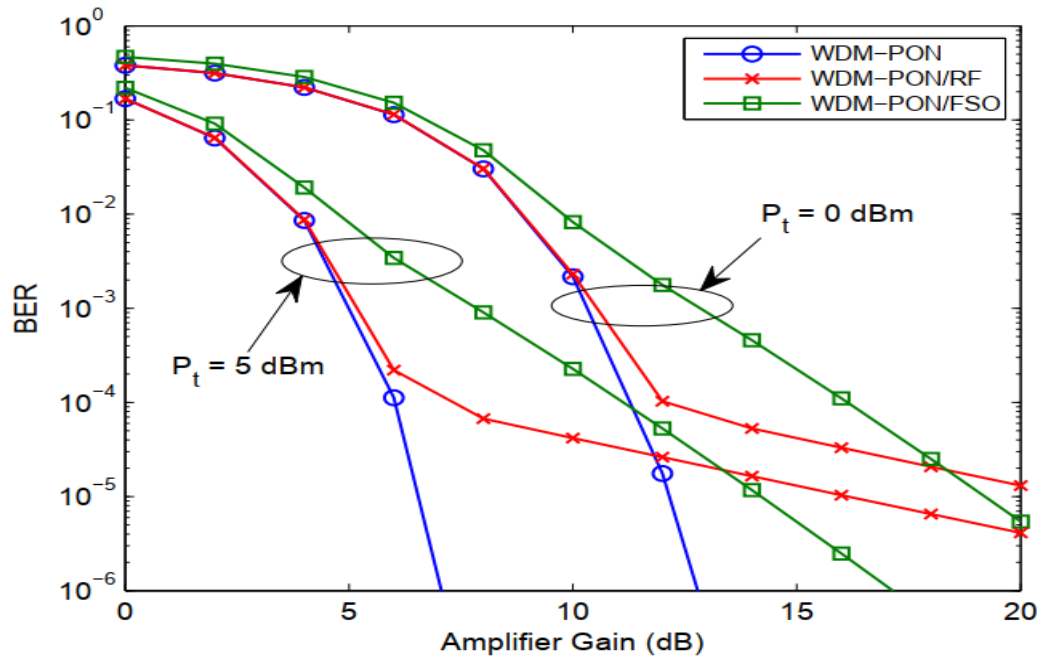
Tiếp theo, luận văn phân tích sự phụ thuộc hiệu năng của hệ thống vào các thông số hệ thống chính. Hình 2.13 và 2.14 cho thấy tác động của các tham số chính của các bộ phận liên kết sợi quang, đó là tỷ lệ chia và mức khuếch đại, trong ba hệ thống backhaul so sánh. Như được hiển thị trong hình 2.13, các BER thu được của ba giải pháp backhaul đang tăng lên nhanh chóng khi tỷ lệ chia lớn hơn được triển khai. Đó là bởi vì, các hệ thống PON được triển khai trong các mạng so sánh đơn giản chỉ sử dụng các bộ chia công suất và do đó, công suất quang ở đầu ra của các

bộ chia bị giảm đáng kể. Mặt khác, sự phụ thuộc của hiệu năng hệ thống vào mức tăng của bộ khuếch đại khá giống với công suất phát. Lý do là độ khuếch đại ảnh hưởng trực tiếp đến công suất của tín hiệu quang.



Hình 2.13: BER cho các tỷ lệ chia với tổng khoảng cách  $L = 40$  Km

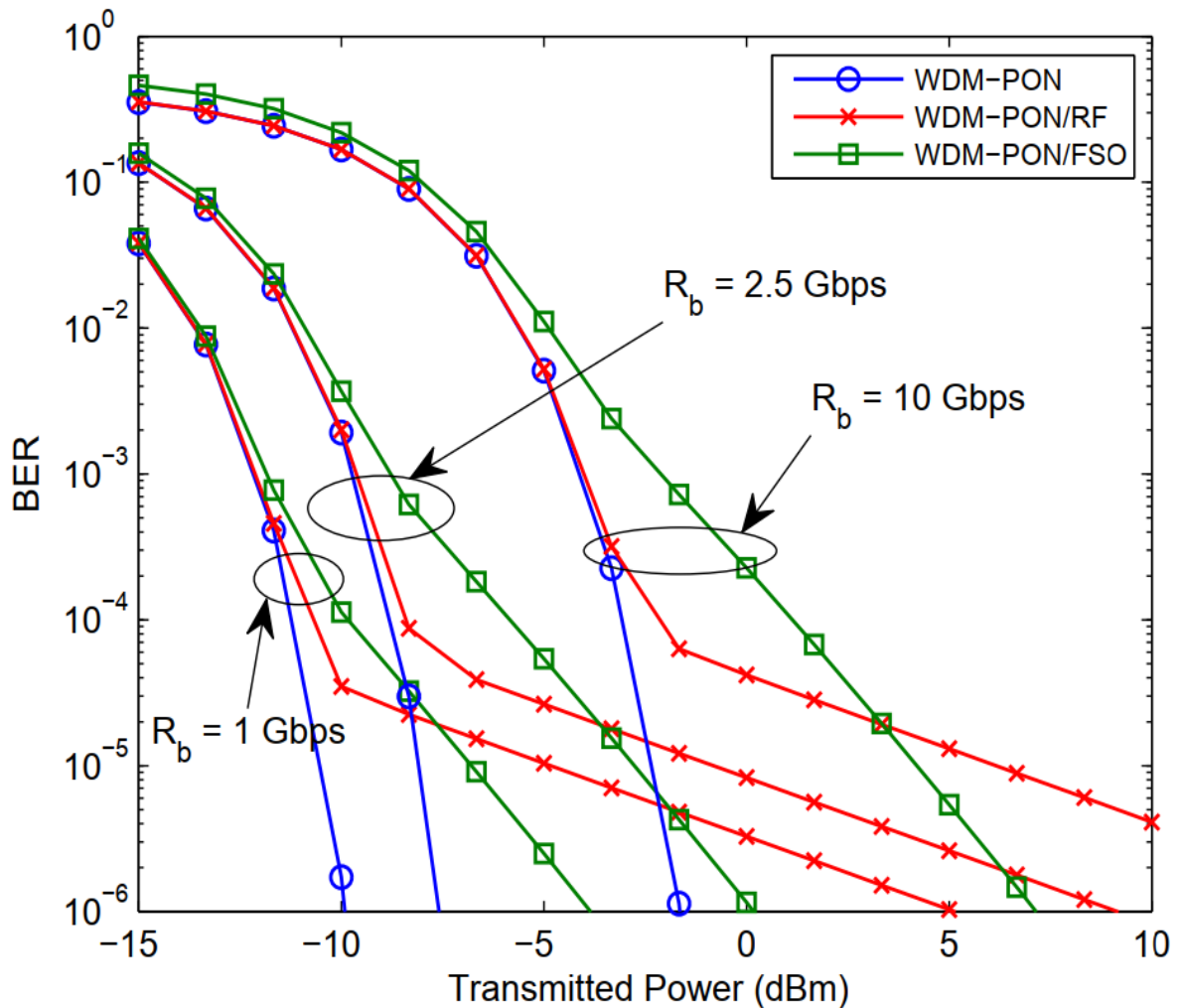
$R_b = 10$  Gbps và  $L_{FSO} = L_{RF} = 800$ m [6]



Hình 2.14: Tác động của bộ khuếch đại tới BER của backhaul đường xuống

$L = 40$  Km,  $R_b = 10$  Gbps và  $L_{FSO} = L_{RF} = 800$  m [6]

Cuối cùng, hình 2.15 cho thấy hiệu năng hệ thống đạt được của ba hệ thống backhaul với tốc độ bit khác nhau là 1 Gbps, 2,5 Gbps và 10 Gbps. Kết quả mô phỏng chứng minh rằng với tất cả các tốc độ bit đã cho, hệ thống WDM-PON luôn cung cấp hiệu năng tốt nhất trong khi giải pháp WDM-PON/FSO chỉ vượt trội so với WDM - PON/RF nếu BER yêu cầu đủ nhỏ, tức là BER nhỏ hơn một mức cụ thể giá trị ( $5 \times 10^{-4}$ ) nhờ những lợi thế của công nghệ FSO so với công nghệ RF. Nói cách khác, hệ thống backhaul WDM-PON/FSO nên được ưu tiên hơn hệ thống WDM-PON/RF vì các hệ thống hiệu năng cao là cần thiết. Tuy nhiên, cần lưu ý rằng các liên kết FSO phải là ánh sáng tầm nhìn thẳng và chúng bị ảnh hưởng mạnh mẽ bởi sương mù và mây.



Hình 2.15: BER so với công suất tại các tốc độ khác nhau

$L = 40$  Km,  $R_b = 10$  Gbps và  $L_{FSO} = L_{RF} = 800$  m [6]

## 2.5. Kết luận chương 2

Xu hướng mạng backhaul di động trên PON là lựa chọn khá toàn diện của công nghệ mạng thế hệ tiếp theo. Mặc dù các yêu cầu về năng lực vẫn nằm trong khả năng của TDM-PON nhưng đặc điểm trễ không đối xứng của TDM-PON gây ra những lo ngại về hiệu năng cũng như các yêu cầu về phân nhiệm để ưu tiên lưu lượng backhaul. Luận văn có đề xuất thêm hai giao thức MAC là FBA/AR và DBA/AR so với một giao thức thông thường trong sự hiện diện của nhiễu loạn khi quyền khi lai ghép FSO. Từ các tham số hiệu năng của hệ thống chỉ ra rằng so với các trường hợp tỷ lệ cố định, các giao thức dựa trên tỷ lệ thích ứng có hiệu năng tốt hơn, và nói chung, DBA/AR hoạt động hiệu quả hơn FBA/AR.

Sự hoàn thiện của công nghệ PON với thế hệ tiếp theo WDM - PON đã loại trừ hầu hết các nhược điểm của TDM - PON cho mạng backhaul di động. Việc so sánh hiệu năng của các giải pháp được backhaul lựa chọn được thực hiện để làm rõ sự đánh đổi giữa hiệu năng và tính linh hoạt/tính di động của hệ thống. Các kết quả đã chứng minh rằng mỗi giải pháp backhaul đều có những ưu điểm và nhược điểm riêng. Sự kết hợp của các phương pháp này có thể khai thác các công nghệ PON, FSO và RF để cung cấp giải pháp có thể sử dụng được và có khả năng băng thông giga cho các mạng truyền dẫn di động thế hệ tiếp theo.

## CHƯƠNG 3: HIỆN TRẠNG HẠ TẦNG VÀ GIẢI PHÁP BACKHAUL LAI GHÉP QUANG VÔ TUYẾN CHO VNPT BẮC NINH

### 3.1. Giới thiệu tổng quan về Bắc Ninh

#### 3.1.1. Các điều kiện tự nhiên và kinh tế xã hội của Bắc Ninh



**Hình 3.1: Bản đồ hành chính tỉnh Bắc Ninh** (Theo <https://vi.wikipedia.org/>)

- Bắc Ninh là tỉnh có diện tích nhỏ nhất Việt Nam, thuộc Đồng bằng sông Hồng và nằm trong vùng Kinh tế trọng điểm Bắc bộ, với tổng diện tích 822,71 km<sup>2</sup>, mật độ 1664 người/km<sup>2</sup>. Địa hình tỉnh không hoàn toàn đồng bằng mà xen kẽ là các đồi thấp, mạng lưới sông ngòi khá dày đặc, trung bình 1,0-1,2 km/km<sup>2</sup>, với 3 hệ thống sông lớn chảy qua là sông Đuống, sông Cầu và sông Thái Bình.
- Khí hậu nhiệt đới ẩm, chia 4 mùa, có sự chênh lệch nhiệt độ rõ rệt nhưng hiếm có hiện tượng thời tiết cực đoan như sương mù, mưa đá ... Lượng mưa trung

bình hàng năm là 1400-1600 mm, hiếm có hiện tượng mưa quá 300 mm/giờ.

Dữ liệu khí hậu của Bắc Ninh													Năm
Tháng	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Trung bình cao °C (°F)	19.9	20.4	23 (73)	27.4	31.8	33 (91)	32.8	32.2	31.2	29 (84)	25.6	22.1	27.37
Trung bình ngày, °C (°F)	16.5	17.4	20 (68)	24 (75)	27.7	29.2	29.2	28.8	27.7	25.2	21.6	18.5	23.82
Trung bình thấp, °C (°F)	13.2	14.4	17.1	20.6	23.7	24.6	25.5	25.4	24.2	21.4	17.7	14.9	20.23
Lượng mưa, mm (inch)	12 (0.47)	33 (1.3)	34 (1.34)	87 (3.43)	211 (8.31)	245 (9.65)	332 (13.07)	337 (13.27)	234 (9.21)	98 (3.86)	34 (1.34)	23 (0.91)	1.680 (66.14)

**Hình 3.2: Dữ liệu khí hậu của tỉnh Bắc Ninh**

- 2018, Bắc Ninh xếp thứ 30 về số dân, xếp thứ 6 về tổng sản phẩm GRDP, xếp thứ 2 về GRDP bình quân đầu người, xếp thứ 7 về tốc độ tăng trưởng GRDP trên toàn quốc. Bắc Ninh có 15 khu công nghiệp tập trung, 1 khu công nghệ thông tin và hơn 30 cụm công nghiệp được đầu tư hạ tầng khá hoàn chỉnh.
- Về tổng thể định hướng và quy hoạch phát triển của Bắc Ninh đã được Thủ tướng Chính phủ phê duyệt trong quyết định 558/QĐ-TTG ngày 15/5/2019 đến năm 2035 tầm nhìn 2050.

### **3.1.2. Cơ sở hạ tầng mạng backhaul tại VNPT Bắc Ninh**

Hệ thống truyền tải luồng E1: Tất cả các truyền tải luồng cơ bản E1 của VNPT Bắc Ninh đều đã quang hóa trên các vòng ring quang công nghệ FLX và SDH, bao gồm có 3 vòng quang FLX (tối đa STM1) và 4 vòng quang NG-SDH (tối đa STM16). Hệ thống này cung cấp luồng E1 phục vụ làm trung kế giữa các tổng đài vệ tinh, MSAN, tổng đài nội bộ kết nối với tổng đài Host, phục vụ các khách hàng thuê kênh riêng đường E1, phục vụ truyền tải các trạm BTS (2G) kết nối về BSC.

Hiện nay VNPT Bắc Ninh có 314 trạm BTS (2G) của Vinaphone và hơn 200 trạm BTS (2G) của Mobiphone đang sử dụng truyền dẫn này. Vinaphone có 9 trạm

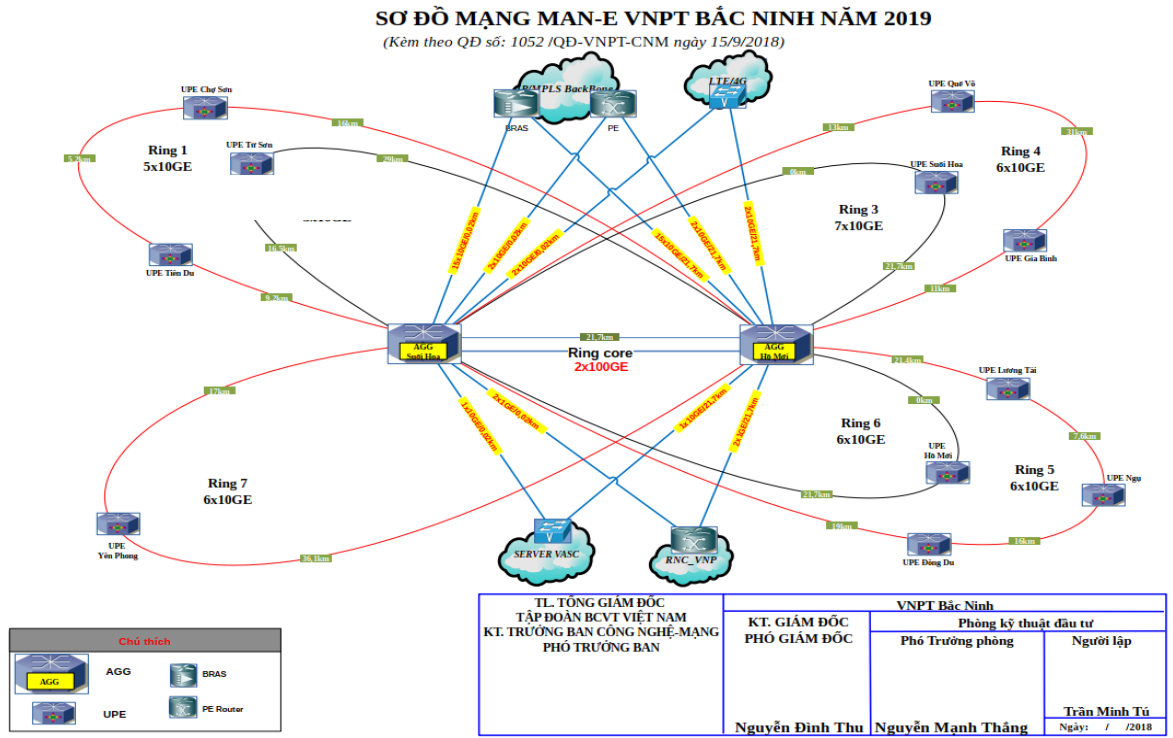
BTS (2G) sử dụng cấu hình CloudAir - kết hợp các thiết bị NodeB (3G), EnNodeB (4G) trên cùng 1 cổng sử dụng truyền dẫn băng rộng, Mobiphone cũng đang bắt đầu sử dụng mô hình này. Cùng với sự phát triển của viễn thông, các hệ thống này cũng đang dần được thu hẹp, không còn được đầu tư, mở rộng.

Hệ thống truyền tải băng rộng VNPT Bắc Ninh bao gồm các thành phần:

- Mạng Core Metro Are Network (MAN-E), cấu trúc hiện tại mạng MAN-E VNPT Bắc Ninh (hình 3.3) được xây dựng từ năm 2008 với cấu hình gồm 6 vòng ring trong đó 5 vòng ring UPE và 01 vòng ring Core, sau năm 2016 thì có 7 vòng ring UPE. Thời gian đầu triển khai dự án các vòng ring đều có tốc độ 1Gb và sau này đã nâng cấp lên 10G. Hiện nay, khi tốc độ phát triển internet mạnh mẽ, phần lớn là các thuê bao internet công nghệ quang, các thuê bao này đều sử dụng các gói cước tốc độ cao. Trước tình hình đó, tháng 1 năm 2018 Viễn thông Bắc Ninh đã nâng cấp băng thông, hiện tại các vòng ring MAN-E đã được nâng cấp tới 60G, 70G để đảm bảo chất lượng dịch vụ cung cấp cho khách hàng. Thiết bị đầu nối trong MAN-E của VNPT Bắc Ninh có 02 Core CES – NE40E-X8A, mỗi Core có dung lượng chuyển mạch 25.16 Tbit/s lắp đặt tại TTVT Suối Hoa (TP Bắc Ninh) và TT VT Thuận Thành kết nối với nhau theo cấu hình Ring băng thông 250G. Core CES TTVT Bắc Ninh (BNH00SHA) kết nối tới VN2 (PE1, PE2, BNG1, BNG2 ...) băng thông 300G, Core CES Hồ mới (BNH00THO) kết nối tới VN2 băng thông 250G phục vụ truyền tải lưu lượng Internet, lưu lượng IPTV, lưu lượng Metronet L3, lưu lượng backhaul di động. Có 11 trạm Access CES – NE40E-X8, mỗi Access CES có dung lượng chuyển mạch 7.08 Tbit/s lắp đặt tại 11 vị trí gồm 7 Ring. Tuyến Core CES Bắc Ninh – CES Thị trấn Hồ, Ring 1: băng thông 60G gồm Core Hồ - Chợ Sơn – Tiên Du – Core Suối Hoa, Ring 2: băng thông 60G gồm Core Hồ - Từ Sơn – Core Suối Hoa, Ring 3: băng thông 70G gồm Core Suối Hoa – Suối Hoa - Core Hồ, Ring 4: băng thông 60G gồm Core Hồ – Gia Bình – Quế Võ – Core Suối Hoa, Ring 5: băng thông 60G gồm Core Suối Hoa - Đông Du – Ngụ - Lương Tài – Core Hồ, Ring 6: băng thông 60G gồm Core Suối Hoa – TT Hồ - Core Hồ, Ring 7:

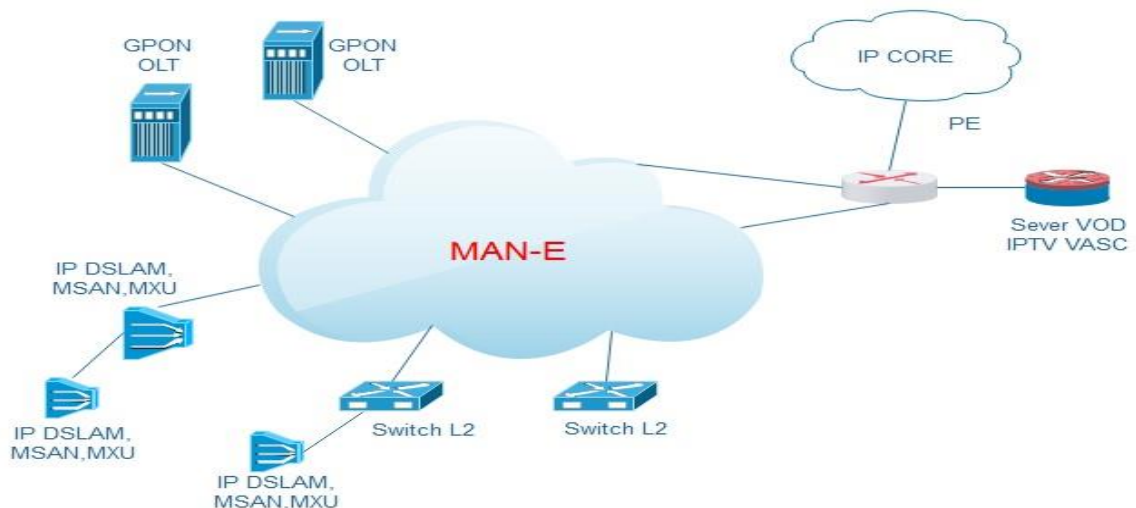


bằng thông 60G gồm Core Suối Hoa – Yên Phong – Core Hồ. Các Access CES kết nối lên Core CES theo hai hướng.



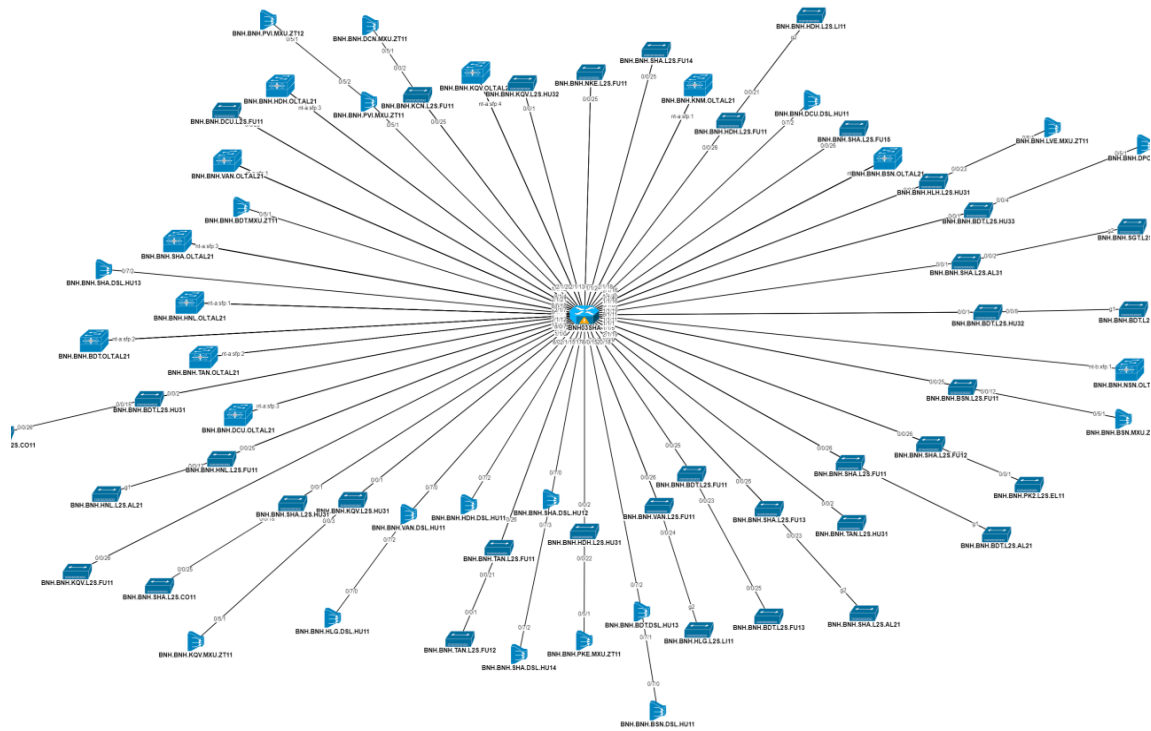
**Hình 3.3: Hiện trạng cấu hình mạng MAN-E Viễn thông Bắc Ninh**

- Mạng truy nhập của VNPT hiện có 73 thiết bị IP DSLAM cấu hình MA5600, 262 thiết bị switch Access và 87 thiết bị TDM-PON giao tiếp với mạng MAN-E qua cổng GE/10GE được lắp đặt tại 59 trạm viễn thông. Mô hình đầu nối tổng quát của các trạm truy nhập băng rộng như được thể hiện trên hình 3.4, hình 3.5.



**Hình 3.4: Mô hình chung đầu nối hiện tại các trạm băng rộng Viễn thông Bắc Ninh**

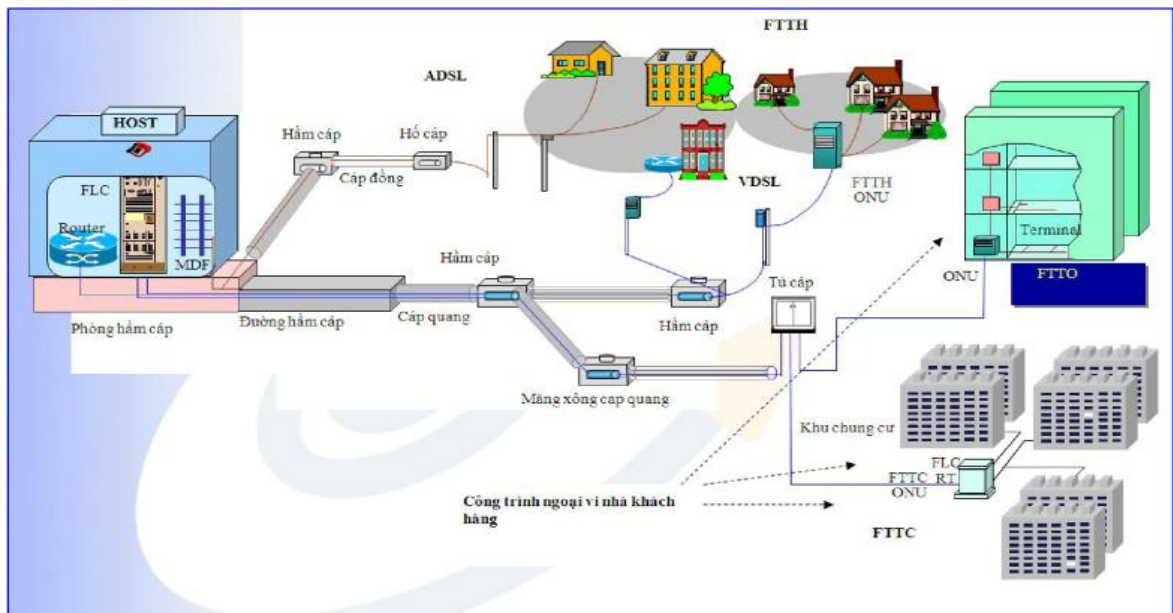




**Hình 3.5: Kết nối các thiết bị tại Node MAN – UPE SHA03**

- Mạng ngoại vi (hình 3.6), hiện nay, VNPT Bắc Ninh toàn mạng có khoảng 254.940 đôi cáp gốc, dung lượng đã sử dụng đạt khoảng 200.217 đôi cáp gốc, hiệu suất đạt 78%. Hạ tầng mạng ngoại vi thuộc khu vực thành phố, thị xã và trung tâm các huyện đã được ngầm hóa, tuy nhiên tỷ lệ ngầm hóa chưa cao phần lớn vẫn sử dụng cáp treo. Hệ thống cáp treo chủ yếu được treo trên cột thông tin hoặc cột hạ thế của điện lực, đã đáp ứng kịp thời nhu cầu lắp đặt thuê bao mới cho nhân dân trên địa bàn toàn tỉnh. Tuy nhiên, do lượng cáp treo lớn nên gây ảnh hưởng không nhỏ đến mỹ quan đô thị. Hiện tại các tuyến cáp được ngầm hóa chủ yếu là các tuyến trong khu vực trung tâm thành phố, thị xã và thị trấn các huyện nhằm đảm bảo mỹ quan cho các khu đô thị. Hiện tại, tỷ lệ ngầm hóa mạng ngoại vi trên địa bàn tỉnh Bắc Ninh đạt khoảng 30%. Tỷ lệ ngầm hóa mạng ngoại vi trên địa bàn tỉnh còn khá thấp, ảnh hưởng không nhỏ tới quá trình xây dựng hạ tầng, điều kiện phát triển kinh tế xã hội của các khu vực không đồng đều, một phần do chi phí đầu tư thực hiện ngầm hóa mạng ngoại vi còn cao. Hạ tầng mạng ngoại vi (cống, bể, cột treo cáp) tại khu vực thành phố, thị xã, trung tâm huyện tuy đã bước đầu được ngầm hóa nhưng vẫn còn nhiều bất cập: cùng 1 tuyến đường nhưng có đoạn cáp đi ngầm, có đoạn

cáp đi treo, cùng 1 tuyến đường nhưng phía bên phải đường đi cáp ngầm, phía bên trái đường đi cáp treo, cùng 1 tuyến đường có doanh nghiệp đi cáp ngầm, có doanh nghiệp đi treo ... Hạ tầng cống bể cáp tại một số khu vực, một số tuyến trong tình trạng không còn sử dụng được (tuyến cáp chết, hạ tầng cống bể nằm giữa lòng đường, nằm dưới các công trình xây dựng...không còn khả năng cải tạo, sửa chữa). Khu vực một số tuyến đường trục, đường trung tâm tại khu vực đô thị do chưa đủ điều kiện để thực hiện ngầm hóa (vía hè hẹp ...) nên chủ yếu vẫn sử dụng cáp treo. Khu vực một số khu đô thị mới, khu dân cư mới tại khu vực đô thị, tuy hạ tầng được đầu tư xây dựng mới song mới chỉ có hạ tầng ngầm cho hệ thống cấp thoát nước, chưa có hạ tầng kỹ thuật ngầm để đi ngầm cáp viễn thông, cáp điện lực dẫn đến tình trạng treo cáp, gây ảnh hưởng không nhỏ tới mỹ quan. Hạ tầng mạng ngoại vi tại khu vực ngõ, xóm ở nông thôn hầu hết vẫn sử dụng cáp treo (cột treo cáp), do điều kiện địa hình khó khăn, chi phí đầu tư ngầm hóa cao và dung lượng mạng tại khu vực này còn thấp.



**Hình 3.6: Sơ đồ chung mạng ngoại vi tỉnh Bắc Ninh**

Với sự phát triển và cạnh tranh mạnh của dịch vụ thông tin di động trong những năm vừa qua, dịch vụ viễn thông cố định đã phát triển chứng lại, thậm chí tăng trưởng âm tại một số khu vực. Do vậy, hạ tầng mạng ngoại vi trong những năm vừa qua không được chú trọng đầu tư phát triển, cải tạo dẫn đến hạ tầng xuống cấp,

cáp treo tràn lan. Trên thực tế, chi phí đầu tư xây dựng hạ tầng công bề cáp ngầm hóa mạng ngoại vi khá tốn kém, cao gấp hàng chục hàng trăm lần so với chi phí đầu tư xây dựng hạ tầng cột treo cáp, chi phí đầu tư cao song hiệu quả đem lại cũng chưa thực sự thuyết phục, đây cũng là một trong những nguyên nhân dẫn đến doanh nghiệp không chú trọng đầu tư hệ thống công bề cáp ngầm.

Hiện trạng sử dụng chung cơ sở hạ tầng mạng ngoại vi (sử dụng chung giữa các doanh nghiệp trong ngành và ngoài ngành) trên địa bàn tỉnh vẫn còn khá hạn chế, hình thức sử dụng chung chủ yếu hiện nay là hình thức sử dụng chung với các doanh nghiệp ngoài ngành (doanh nghiệp viễn thông thuê lại hệ thống cột bên điện lực để treo cáp viễn thông ...). Sử dụng chung cơ sở hạ tầng giữa các doanh nghiệp viễn thông vẫn còn nhiều bất cập, một phần do các doanh nghiệp tại địa phương đều trực thuộc các tổng công ty hoặc tập đoàn, mọi kế hoạch phát triển đều thông qua cấp chủ quản, một phần do yếu tố cạnh tranh giữa các doanh nghiệp trên thị trường.

Hạ tầng mạng của VNPT Bắc Ninh hiện nay (hình 3.3, 3.4, 3.5 và 3.6) đang phục vụ ngoài hơn 500 trạm di động BTS (2G) của Vinaphone và Mobiphone, sử dụng truyền dẫn luồng cơ bản E1 (trên các Ring quang), còn có 815 trạm di động NodeB (3G), EnNodeB (4G) và 76 trạm SMC (3G+4G) của Vinaphone, cùng khoảng hơn 500 trạm 3G và 4G của Mobiphone. Về phía Mobiphone đang thực hiện chuyển đổi cấu hình CloudAir, Vinaphone hiện nay cũng đang có 9 trạm thử nghiệm cấu hình CloudAir (sử dụng Hub kết nối chung truyền dẫn các trạm 2G, 3G, 4G trên 1 cổng thiết bị băng rộng). Hiện nay, toàn bộ kết nối của các trạm di động băng rộng (3G, 4G) đều sử dụng mạng ngoại vi đấu nối về các cổng của thiết bị Switch (công nghệ AON), thông qua MAN-E, kết nối về RNC, LTE/4G.

### **3.1.3. Đánh giá chung**

Công nghệ AON phục vụ cho các dịch vụ đòi hỏi tốc độ cao nhưng hiện tại dung lượng cổng tại Switch để cung cấp cho các dịch vụ còn rất ít, muốn phát triển tiếp phải đầu tư thêm nhiều switch, nhà trạm ... sẽ gây tốn nhiều kinh phí, gây ra nhiều khó khăn về đầu tư hạ tầng, quá trình OMC tốn kém, mất thời gian và kém linh hoạt hơn rất nhiều. Hạ tầng ngoại vi nhìn chung là tương đối đảm bảo cho các

dịch vụ. Phần hạ tầng phục vụ cho GPON hiện nay được đầu tư nhiều và mới hơn. Với 87 trạm TDM-GPON phục vụ trên địa bàn toàn tỉnh và còn đang tiếp tục được tối ưu đầu tư mở rộng và nâng cấp, địa bàn tỉnh nhỏ ( $822,71 \text{ km}^2$ ), mật độ dân cư đông ( $1664 \text{ người/km}^2$ ), mạng PON đã tới gần đầu cuối, có thể nói hiện nay không có thuê bao có khoảng cách trên 300 m. Bên cạnh đó, việc tỉ lệ sông ngòi khá cao, đô thị phát triển mạnh với nhiều nhà máy, khu công nghiệp lớn cũng gây ra những khó khăn rất lớn cho việc triển khai mới và xử lý ngoại vi có dây.

Hạ tầng backhaul di động của VNPT Bắc Ninh hiện đang tải trọng khoảng 2000 trạm di động (cho cả Vinaphone và Mobiphone). Theo các tính toán khoa học, để đảm bảo đúng chuẩn chất lượng dịch vụ thì số trạm cần tăng gấp đôi, và gấp 3 khi tiến tới thế hệ mạng 5G – một gánh nặng cực lớn trên vai mạng backhaul di động.

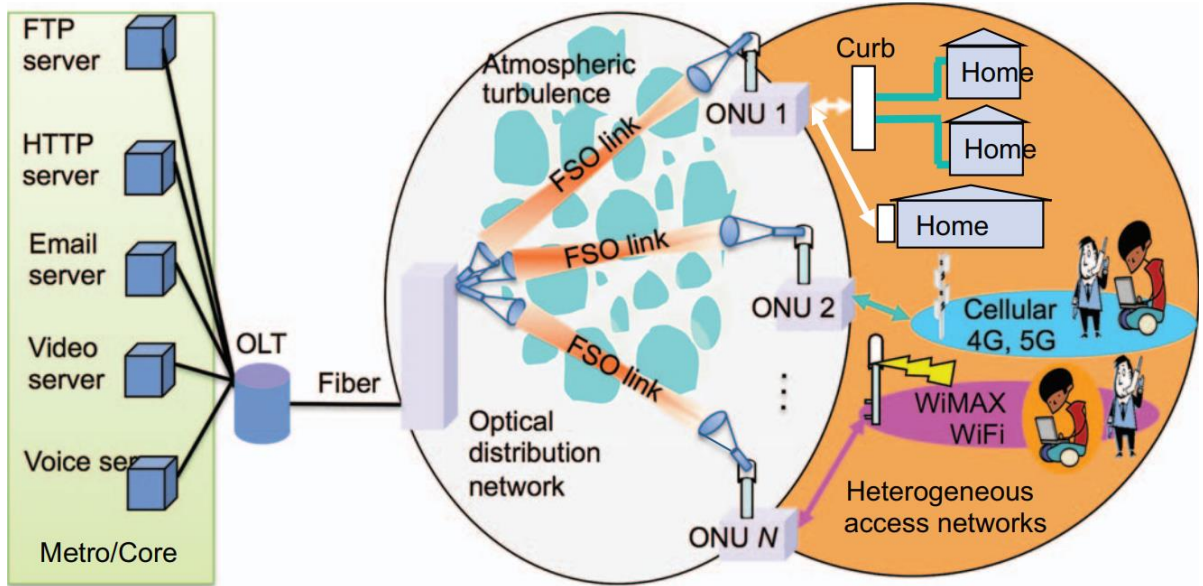
### **3.2. Đề xuất giải pháp backhaul tốc độ cao cho VNPT Bắc Ninh**

Mạng backhaul di động của toàn bộ các VNPT tỉnh thành dựa trên nền tảng MAN-E là định hướng chung của tập đoàn. Trên cơ sở đó ta xây dựng giải pháp tối ưu với phần còn lại của hạ tầng là hệ thống các Swtich, GPON, IPDSLAM ... và mạng ngoại vi. Từ hiện trạng hạ tầng và đánh giá chung, lý luận và tính toán của chương 2, ta có thể nói lựa chọn backhaul dựa trên nền tảng của mạng GPON là lựa chọn tốt nhất. Bên cạnh đó, cùng với diện tích nhỏ, hệ thống sông ngòi khá dày, sự phát triển nhanh chóng của đô thị, các khu công nghiệp, các nhà máy lớn, các yêu cầu về sự linh hoạt, mỹ quan đô thị ... luận văn hướng tới hai giải pháp:

#### **3.2.1. Giải pháp mạng backhaul lai ghép TDM-PON/FSO**

Với lợi thế về điều kiện tự nhiên (nhỏ hẹp ...), điều kiện kinh tế xã hội (phát triển, mỹ quan đô thị, nhiều KCN, nhà máy lớn ...), điều kiện hạ tầng (mạng GPON phát triển rộng khắp với 87 trạm TDM-PON, khoảng cách từ tủ phối quang tới thuê bao không quá 300 m, ...), trong một số trường hợp đặc biệt như các lễ hội (BN rất nhiều lễ hội tầm cỡ quốc gia) cần trạm lưu động ngăn ngày và áp lực từ điều kiện gia tăng lưu lượng và số lượng trạm (2G, 3G, 4G tiến tới là 5G), việc chuyển đổi

backhaul di động trên mạng lai ghép TDM-PON/FSO là hoàn toàn phù hợp và thuận lợi.



**Hình 3.7: Minh họa về FSO/PON tích hợp cho các mạng backhaul**

Như được mô tả trên hình 3.7, trước tiên, tiến hành khảo sát toàn bộ kết nối của backhaul hiện tại cho các trạm gốc. Tiến hành sàng lọc, phân loại, sắp xếp và quy hoạch các trạm theo các tiêu chí của ngành, theo những đặc thù riêng của các trung tâm viễn thông và vị trí, kinh tế, định hướng phát triển của tỉnh. Hiện nay, tập đoàn VNPT cũng đã có sự phân loại cho các trạm gốc (loại 1, loại 2 và loại 3) nhưng chủ yếu là từ quan sát lưu lượng trên hệ thống.

Với VNPT Bắc Ninh, có thể đề ra thêm các tiêu chí lựa chọn cho sát và phù hợp với đặc trưng riêng của tỉnh không chỉ căn cứ trên lưu lượng như phục vụ công ích, các địa điểm sở ban ngành của chính quyền, lễ hội, hội nghị, hội thao, mít tinh, các khu công nghiệp (KCN), khu đô thị cao cấp (KĐT) ... xếp thành các hạng mức khác nhau cho phù hợp với hướng ưu tiên phát triển mạng lưới và nhu cầu đòi hỏi của các điểm. Từ đó chọn ra các điểm có điều kiện triển khai, vận hành, xử lý khó khăn như KCN Hồng Hải, KCN VISIP, KCN Samsung ... Tại những nơi như vậy, việc triển khai, lắp đặt, thay đổi, vận hành bảo dưỡng, xử lý khi có sự cố đòi hỏi những quy trình cực kỳ nghiêm ngặt của cơ quan, nhà máy, đơn vị chủ quản ... Mặt khác lại thỏa mãn rất nhiều điều kiện tốt cho việc triển khai công nghệ lai ghép

GPON/FSO như trạm OLT ở gần, ODF đã ở cửa nhà máy, nhu cầu dịch vụ lớn, nhà máy đã đi vào hoạt động nên rất ít có sự thay đổi về vị trí, địa hình ... Bên cạnh đó là nhu cầu về mặt kỹ thuật của những nơi này là cực lớn, các dịch vụ mới, thiết bị mới, nhu cầu mới ... sẽ từ những nơi này đầu tiên, có thể xếp vào nhóm mức 1. Tại các khu đô thị hiện đại mới như KĐT HUD, KĐT Phúc Ninh, KĐT Hòa Long – Kinh Bắc là những nơi yêu cầu mỹ quan rất cao nhưng nhu cầu cũng rất lớn có thể xếp vào nhóm mức 2. Tương tự như vậy, xem xét các trạm gốc tại các vị trí khó khăn khi vận hành xử lý như qua sông (sông Cầu, sông Đuống) hay trên đỉnh núi (Búp Lê, Dạm, Phật Tích), tại các vị trí đặc biệt – “điểm đen” về truyền dẫn như địa hình quá xấu cho việc đi dây cáp hoặc thường xuyên xảy ra sự cố do công trình đường xá, nhà cửa thi công như ở làng nghề Phong Khê, Đại Bái, Văn Môn, ven KCN Yên Phong, những vị trí dây cáp quá xấu do cũ nát mà điều kiện sửa chữa hoặc thay thế là rất khó khăn, tốn kém như Vạn An, 319 Hòa Đình, KCN Quế Võ có thể xếp vào các nhóm mức 3. Đặc biệt là khu vực công sở, yêu cầu mức độ ổn định cao những nhu cầu là chưa lớn, ít biến động, và trong một số sự kiện lễ hội, mít tinh lớn của tỉnh yêu cầu cần tăng cường trạm gốc lưu động như các lễ hội cấp quốc gia như hội Lim, hội Phật Tích, các lễ hội, lễ mít tinh, sự kiện thể thao tại Trung tâm văn hóa (TTVH) Kinh Bắc, Nhà thi đấu đa năng ... các điểm này có thể xếp vào nhóm đặc biệt. Các trạm còn lại có thể xếp vào các nhóm tiếp theo tùy hiện trạng và nhu cầu sử dụng cũng như khả năng đầu tư thiết bị và chiến lược.

Sau khi đã hoàn tất việc gán định mức cho khoảng 2000 trạm gốc, dựa trên kế hoạch đầu tư của VNPT tỉnh cũng như định hướng và phân bổ đầu tư từ tập đoàn, điều chỉnh các trạm gốc đã quy hoạch và xếp thứ tự ưu tiên bằng cách tiến hành chuyển đổi dần các đường backhaul sang sử dụng mạng PON kết hợp thay thế dần hệ thống sợi từ tủ ODF gần nhất (hiện trạng đã không quá 300 m) bằng các thiết bị kết nối FSO. Với các vị trí tại sở ban ngành của chính quyền, sẽ cố gắng triển khai hệ thống sợi quang tối đa có thể, với các trạm tăng cường lưu động ngăn ngừa hiện nhiên sẽ sử dụng thiết bị kết nối FSO.

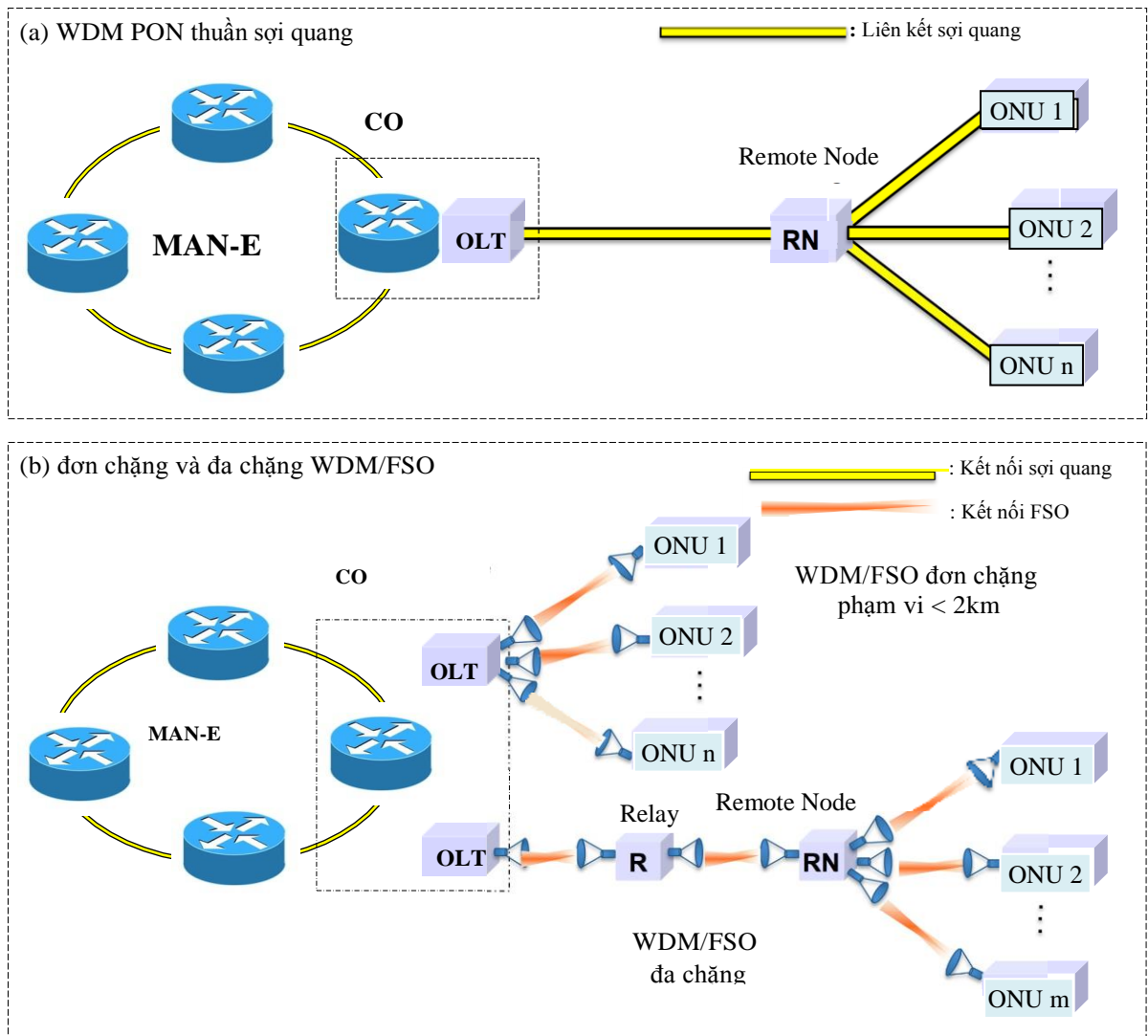
Đối với việc phát triển mới và mở rộng, thay đổi các trạm gốc (đây là điều bắt buộc), việc triển khai với hạ tầng có dây thường xuyên gặp khó khăn do các yêu cầu về mặt thủ tục chính sách, yêu cầu mỹ quan đô thị, xin phép đi dây, cáp ... từ phía các cơ quan công quyền cho tới việc gây khó của người dân. Đặc biệt là ở các khu hành chính tập trung hiện đại như UBND tỉnh, thành phố, Tỉnh Ủy, Thành Ủy, các khu đô thị hiện đại đã hình thành như HUD, Phúc Ninh, Hòa Long ... tuy triển khai thì rất khó (đôi khi là không thể) nhưng nhu cầu lại rất lớn. Sử dụng các thiết bị FSO lai ghép công nghệ PON với mô hình 3.7 sẽ rút ngắn được thời gian triển khai rất nhiều, gần như giải quyết được hầu hết các khó khăn như đã trình bày.

### **3.2.2. Giải pháp mạng backhaul lai ghép WDM-PON/FSO**

Như đã biết trong các phân tích đánh giá ở trên, sự phù hợp và thuận lợi của các điều kiện cho việc chuyển đổi backhaul di động từ hạ tầng mạng AON sang hạ tầng mạng lai ghép PON/FSO của VNPT Bắc Ninh. Với mạng PON thế hệ sau thì càng tốt hơn bởi WDM-PON đã loại bỏ được hầu hết những lo ngại về kỹ thuật gây ra bởi TDM-PON, đồng thời lại đáp ứng được tốt hơn những yêu cầu của mạng backhaul về dung lượng, hiệu năng ... Việc chuyển đổi cũng được thực hiện tương tự với TDM-PON. Một lưu ý [6], một trong những yêu cầu quan trọng nhất của mạng truyền dẫn di động thế hệ tiếp theo là mở rộng phạm vi dịch vụ là khoảng cách liên kết tối đa. Việc mở rộng phạm vi của các KCN, nhà máy, khu đô thị ... là việc đương nhiên của sự phát triển, đồng nghĩa với việc mở rộng và triển khai số lượng lớn các trạm gốc. Luận văn xin đưa ra thêm mô hình sử dụng kỹ thuật FSO đa chặng rất linh hoạt với thiết bị khuếch đại quang trực tiếp OAF.

Mô tả hệ thống: Hình 3.8 (a) mô tả mạng quang thụ động (PON) điển hình sử dụng các kết nối sợi quang, bao gồm các đơn vị mạng quang (ONU), bộ chia thụ động tại nút xa (RN) và các trạm GPON (OLT) tại trung tâm (CO) kết nối lên mạng MAN-E của tỉnh. Thông thường, PON có thể đạt khoảng cách lên tới 20 km, nhưng trong một số trường hợp khó khăn, như đã trình bày ở trên, giải pháp cho tình huống này là FSO.





**Hình 3.8: (a) Mạng backhaul WDM thuần sợi quang**

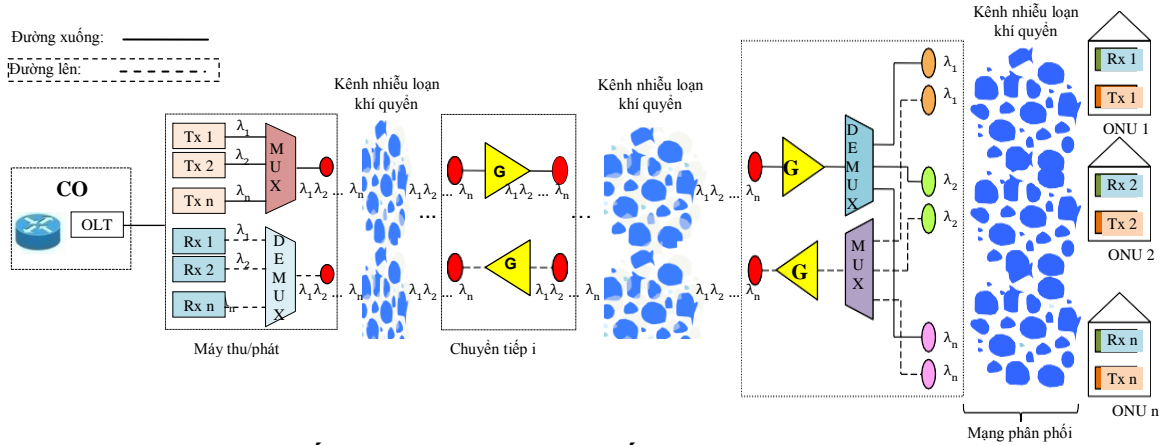
**(b) Mạng backhaul lai ghép WDM/FSO đơn chạng và đa chạng**

Trong hình 3.8 (b), FSO được kết hợp với WDM-PON để tạo thành một backhaul quang lai ghép khá toàn diện, linh hoạt. Với đặc tính của FSO bị hạn chế về cự ly (nhỏ hơn 2km) do tác động của các điều kiện tự nhiên khi sử dụng mạng lai ghép WDM/FSO đơn chạng, để giải quyết vấn đề này một mô hình linh hoạt hơn được sử dụng là mạng lai ghép WDM-PON/FSO đa chạng. Với WDM-PON/FSO sử dụng chuyển tiếp đa chạng, việc mở rộng khoảng cách từ OLT tới RN được sử dụng bộ khuếch đại sợi pha tạp erbium (EDFA). Trong mạng WDM-PON/FSO này, các kết nối FSO có thể được thiết lập theo các cấu trúc liên kết khác nhau như: điểm – điểm, điểm – đa điểm, vòng hay liên kết lưới. Việc tương thích hoàn toàn với hệ



thống cáp quang, cung cấp dung lượng kết nối lớn và ổn định, WDM-PON/FSO là một giải pháp khả thi, đầy hứa hẹn cho mạng backhaul di động của VNPT Bắc Ninh nói riêng và của toàn tập đoàn nói chung.

Để mô tả rõ hơn, luận văn sử dụng kiến trúc mạng backhaul lai ghép WDM-PON/FSO chuyển tiếp quang đa chặng bằng kỹ thuật OAF – Khuếch đại và chuyển tiếp quang. Trong truyền dẫn đường xuống và đường lên, OLT giao tiếp với các ONU thông qua sự hỗ trợ của chuỗi N nút chuyển tiếp ( $R_i, i = 1, 2, \dots, N$ ) tới RN. Tổng khoảng cách từ OLT đến các ONU là  $L = \sum_{i=1}^{N+1} d_i$ . Trong đó  $d_i$  là khoảng cách từ nút truyền thứ  $(i-1)$  đến nút truyền thứ  $(i)$ , mặc định là OLT là nút 0 và ONU là nút  $N+1$ .



**Hình 3.9: Kiến trúc mạng của hệ thống lai ghép WDM-PON/FSO**

Tại đường xuống, tín hiệu từ các bộ phát  $(1, 2, \dots, n)$  có bước sóng riêng là  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ , được kết hợp nhờ bộ ghép kênh MUX rồi truyền bằng FSO qua các bộ RN. Các bước sóng nằm trong dải băng C (khoảng 1500 nm) với khoảng cách kênh là 100 KHz do bước sóng 1550 nm chịu ít suy giảm trong không khí hơn và phù hợp cho công nghệ khuếch đại quang EDFA. Ở mỗi nút chuyển tiếp có sử dụng 1 bộ khuếch đại quang (EDFA) để trực tiếp khuếch đại tín hiệu, một EDFA có thể đồng thời khuếch đại nhiều tín hiệu có bước sóng khác nhau. Tuy nhiên, EDFA ngoài ưu điểm khuếch đại thì đi cùng với đó là nhiễu phát xạ tự phát (ASE) được khuếch đại làm giảm hiệu năng của hệ thống. Sau đó, tại RN, bộ tách kênh (DEMUX) phân chia các tín hiệu quang WDM thành các bước sóng thành phần.

Do khuyết điểm của các thấu kính phát và tách/ghép kênh tại RN, tại ONU có thể nhận được bước sóng không mong muốn gọi là nhiễu. Hiện tượng này được biết đến là nhiễu xuyên kênh. Trong quá trình truyền dẫn cũng xuất hiện suy hao của các bộ ghép/tách kênh, được biểu thị là  $L_{mx}$ ,  $L_{dx}$ , ngoài ra còn có  $L_{dx,XT}$  thể hiện mức độ xuyên kênh khi ghép kênh. Tại điểm cuối trong mạng, tín hiệu với các bước sóng riêng được truyền tới các ONU tương ứng theo cấu trúc điểm điểm. Tại mỗi máy thu sử dụng diode tách quang PIN để chuyển đổi tín hiệu thành dòng tách quang.

Trong truyền dẫn đường lên, nhiễu xuyên kênh xuất hiện do khuyết điểm của bộ tách kênh tại OLT khi phân chia các bước sóng khác nhau cho các ONU tương ứng. Tuy nhiên, hiệu ứng nhiễu xuyên kênh sẽ trở nên nghiêm trọng hơn do ảnh hưởng của nhiễu loạn không khí trong khi truyền dẫn gây ra hiệu ứng nhiễu xuyên kênh biến động. Hiện tượng này còn được gọi là nhiễu xuyên kênh nhiễu loạn, xuất hiện khi tín hiệu truyền dẫn và nhiễu xuyên kênh độc lập, tức là trong trường hợp đường lên khác nhau hoàn toàn về mặt vật lý. Cũng cần chú ý là có thể tồn tại nhiễu xuyên kênh không mong muốn trong đường lên nếu một phần năng lượng truyền rơi vào trường tiếp nhận của một thấu kính do hiệu ứng phân kỳ búp sóng quang. Tuy nhiên ta có thể loại bỏ nhiễu xuyên kênh bằng cách bố trí vị trí các ONU để tránh các đường truyền giống hệt nhau.

Tại nút đích, máy thu (bao gồm nhiễu nền) với bộ tách xung quang PIN sẽ chuyển đổi thành dòng photon. Tiếp theo, phân tích dòng photon này trên  $M$  khe thời gian đã được so sánh tại bộ điều chế *PPM* để tìm vị trí của khe thời gian với dòng cao nhất nhằm xác định tín hiệu được phát đi. Cuối cùng, tín hiệu được xác định này sẽ được tách chuyển thành dữ liệu dạng nhị phân bởi bộ chuyển đổi nhị phân.

Như vậy luận văn đã trình bày một mô hình mạng backhaul toàn quang kết hợp đầy đủ các hệ thống FSO sử dụng kỹ thuật OAF kết hợp với các lợi thế sẵn có của WDM-PON, tương thích hoàn toàn với mạng MANE sẵn có tạo nên mạng backhaul vô cùng linh hoạt thuận lợi để triển khai trên hạ tầng mạng của VNPT Bắc Ninh.

Với mô hình và kiến trúc trên 3.8 và 3.9, áp dụng một trong những địa điểm năng động nhất hiện nay của tỉnh Bắc Ninh: nhà máy Samsung - KCN Yên Phong, đây là một trong những KCN hàng đầu tại miền Bắc – Việt Nam. Nhà máy có tổng diện tích 110 ha, và vẫn tiếp tục mở rộng nâng cấp với tổ hợp rất nhiều các nhà máy phục vụ (vendor) hình thành cả KCN Yên Phong với tổng diện tích khoảng 700 ha.

Như đã trình bày trong phần trước, việc triển khai, vận hành và xử lý các trạm gốc tại đây là cực kỳ khó khăn và phức tạp, đòi hỏi những quy trình, thủ tục nghiêm ngặt. Nhưng đây lại là khu vực rất kỳ năng động và phát triển, nhu cầu dịch vụ viễn thông cực kỳ lớn đòi hỏi bắt buộc VNPT Bắc Ninh phải xác định đây là một trong những khu vực trọng điểm để đầu tư và mở rộng nhất, tức là phải đảm bảo chất lượng và liên tục tăng cường số lượng trạm gốc.

Theo khảo sát, hiện nay khu vực KCN Yên Phong có tổng hơn 90 trạm gốc (bao gồm cả các trạm 2G, 3G, 4G) đều dựa trên vòng quang (Ring 9 SDH) truyền dẫn luồng E1 cho các trạm 2G và các switch sử dụng công nghệ AON cho các trạm 3G, 4G. Trong đó có khoảng 32 trạm (phía trong các nhà máy) gặp khó khăn trong việc triển khai sợi quang, vận hành và xử lý sự cố cũng như thay đổi. Vinaphone cũng đã có danh sách bất khả kháng khi xử lý sự cố với các trạm này. Theo kế hoạch mở rộng thì sẽ còn tiếp tục triển khai thêm 39 trạm 3G, 4G. Các switch và Ring 9 SDH đều được tập trung tại CO (trạm KCN Yên Phong) nằm tại trung tâm của khu công nghiệp (ngay gần cửa chính nhà máy Samsung) với hệ thống mạng lưới như đã trình bày ở trên. Tại CO này hiện đang đặt trạm PON có hệ thống mạng cáp quang (các bộ chia quang) khá rộng phục vụ việc quang hóa hoàn toàn cho nhu cầu băng rộng tại đây, mạng lưới cáp quang cũng được đầu tư mới và tốt hơn, hiện đại hơn. Trong thế hệ tiếp theo của PON (WDM-PON), với những điểm đặc trưng của mình, trạm này cũng sẽ là một trong những điểm đầu tiên được sử dụng.

Với hơn các trạm gốc không gặp nhiều khó khăn trong quá trình vận hành, xử lý sự cố, tiến hành chuyển đổi dần các đường backhaul sang sử dụng công nghệ trên PON sử dụng mô hình 3.8 (a). Với 32 trạm gốc khó khăn trong quá trình vận hành, xử lý và thay đổi, khảo sát tiếp về khoảng cách tới bộ chia quang gần nhất (đều đã

gần ngay cửa nhà máy), kết quả có 3 trạm gốc SMC (small cell – trạm gốc thể hệ mới ghép chung thiết bị 3G, 4G) là SMC – SEV – Network - F1A\_BNH, SMC – SEV – Network - F1B\_BNH, SMC – SEV – Network - F1C\_BNH có khoảng cách xa với bộ chia quang gần nhất (2,1 km). Với 29 trạm gốc có khoảng cách dưới 2 km, thực hiện chuyển đổi dần các đường backhaul theo mô hình của 3.8 (b) đơn chặng, kết hợp sử dụng WDM-PON phía ngoài nhà máy liên kết với trạm gốc phía trong nhà máy bằng các thiết bị FSO để chuyển đổi các đường backhaul. Với 3 trạm gốc có khoảng cách xa như đã khảo sát, tiến hành chuyển đổi các đường backhaul theo mô hình 3.8 (b) đa chặng. Với các trạm gốc chuẩn bị triển khai mới trong kế hoạch cũng sẽ tiến hành khảo sát tương tự để có thể xác định mô hình kết nối phù hợp nhất.

### **3.3. Kết luận chương 3**

Chương này đã trình bày được tổng thể về các điều kiện tự nhiên, kinh tế, xã hội của tỉnh Bắc Ninh. Đồng thời cũng cho thấy hiện trạng cũng như xu thế và những áp lực đối với hạ tầng backhaul di động của VNPT Bắc Ninh. Dựa trên những điều đó, kết hợp cùng những nghiên cứu về quang vô tuyến cho thấy sự phù hợp và thuận lợi của việc kết hợp FSO trên PON làm nền tảng cho mạng backhaul di động. Hướng tới mô hình kết hợp TDM-PON/FSO cho hiện tại và tương lai xa hơn là WDM-PON/FSO sử dụng kỹ thuật truyền tiếp quang OAF để tạo nên một mạng backhaul di động vô cùng linh hoạt, tốc độ cao nhưng cũng tiết kiệm chi phí và đáng tin cậy.

## KẾT LUẬN

Cùng với sự phát triển nhanh chóng của kỷ nguyên công nghệ số, đặc biệt là hệ thống di động, gánh nặng trên vai hệ thống mạng backhaul di động là vô cùng lớn với những yêu cầu khắt khe về băng thông lớn, độ tin cậy cao, ... đồng thời phải đáp ứng được những nhu cầu thực tế như chi phí tốt, triển khai nhanh, linh hoạt, thuận lợi trong khai thác, vận hành, bảo dưỡng, đảm bảo an ninh, an toàn, bảo mật ... Kết hợp với những kiến thức được học tập và nghiên cứu cùng những hiểu biết trong quá trình 15 năm công tác và làm việc tại Trung tâm Điều hành Thông tin của Viễn thông Bắc Ninh, học viên hướng tới hai mô hình giải pháp cho mạng backhaul di động của VNPT Bắc Ninh. Luận văn gồm 3 chương và trình bày về các vấn đề:

Chương 1 giới thiệu được khái niệm chung về backhaul, xu hướng phát triển hướng tới các thiết bị di động, trình bày được các khái niệm và yêu cầu chung đối với mạng backhaul di động. Chương này cũng nêu lên những yêu cầu và thách thức cho mạng backhaul trong giai đoạn mới, đặc biệt là đối với thế hệ mạng di động kế tiếp (5G).

Chương 2 trình bày các khái niệm chung về mạng backhaul dựa trên PON để thấy được đó là xu hướng tất yếu và sẽ là nền tảng của mạng backhaul di động trong tương lai. Đồng thời, trong chương này cũng nghiên cứu các giải pháp backhaul lai ghép PON/quang cùng những kết quả tính toán chính xác để so sánh và thấy rằng trong những điều kiện nhất định thì quang vô tuyến là hoàn toàn phù hợp, thuận lợi để có thể thay thế cho sợi quang cơ bản.

Chương 3 trình bày về các điều kiện chung của tỉnh Bắc Ninh, hiện trạng hạ tầng backhaul di động của VNPT Bắc Ninh và những nhu cầu bức thiết sắp tới của sự phát triển đòi hỏi mạng lưới backhaul di động phải thay đổi. Từ đó thấy được sự thuận lợi và phù hợp rất lớn của việc sử dụng mạng backhaul lai ghép FSO, hướng tới hai mô hình cho hiện tại là TDM-PON/FSO và trong tương lai xa hơn là WDM-PON/FSO sử dụng kỹ thuật khuếch đại quang trực tiếp OAF.

Nhận xét chung: học viên đã hoàn thành được nội dung và yêu cầu đề ra của một thạc sỹ kỹ thuật về lĩnh vực viễn thông. Qua đó, học viên củng cố thêm kiến

thức về chuyên môn, có cái nhìn tổng quan hơn về mạng lưới, nâng cao khả năng làm việc trong quá trình xây dựng, vận hành và khai thác mạng cũng như đề xuất với cấp trên nhưng kiến nghị tốt cho công việc, cơ quan và cho ngành.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Đỗ Trọng Đại (2017), “*Nghiên cứu đề xuất các giải pháp nâng cao chất lượng dịch vụ băng rộng cố định tại VNPT Bắc Ninh*”, Luận văn thạc sỹ, Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông.
- [2] Đào Ngọc Lâm (2017), “*Truyền thông vô tuyến quang – Công nghệ mới cho hạ tầng mạng viễn thông*”, Trường cao đẳng công nghệ thông tin hữu nghị Việt - Hàn.
- [3] Vũ Công Quyền (2014), “*Nghiên cứu, phân tích giải pháp mobile backhaul và ứng dụng triển khai trên mạng viễn thông của VNPT Tuyên Quang*”, Luận văn thạc sỹ, Đại học Thái Nguyên.
- [4] Nguyễn Đình Xuân (2010), “*Nghiên cứu công nghệ tích hợp giữa các môi trường truyền thông phục vụ quá trình phát triển mạng viễn thông thế hệ sau (NGN) của VNPT*”, Luận án tiến sĩ, Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn Thông.
- [5] Vuong V. Mai and Anh T. Pham (2015, September) “Adaptive rate-based MAC Protocols Design and Analysis for Integrated FSO/PON Networks”, *IEEE International Conference on Communication (ICC)*.
- [6] Thang V. Nguyen, Minh - Tu V. Pham, Hien T. T. Pham, Hai - Chau Le, and Ngoc T.Dang (march 2017), “Aperformance Comparison Of Gigabit-Capable Backhauling Solutions for 5G Cellular Networks”, *Journal of Science and Technology: Issue on Information and Communications Technology*, vol. 3, no. 1.