

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG



BẠCH THANH TÙNG

**ẢNH HƯỞNG PHI TUYẾN CỦA TRUYỀN DẪN SÓNG VÔ TUYẾN
QUA SỢI QUANG TRONG HỆ THỐNG 5G**

Chuyên ngành: KỸ THUẬT VIỄN THÔNG

Mã số: 08-52-02-08

LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT

(Theo định hướng ứng dụng)

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC: TS. NGUYỄN ĐỨC NHÂN

HÀ NỘI - 2020

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

Người hướng dẫn khoa học: TS. NGUYỄN ĐỨC NHÂN

Phản biện 1: PGS.TS. NGUYỄN TÀI HÙNG

Phản biện 2: TS. NGUYỄN QUÝ SỸ

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

Vào lúc: 9 giờ 15 ngày 11 tháng 01 năm 2020

Có thể tìm hiểu luận văn tại:

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

MỤC LỤC

MỤC LỤC	I
MỞ ĐẦU.....	1
CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VÀ ỨNG DỤNG CỦA KỸ THUẬT TRUYỀN SÓNG VÔ TUYẾN QUA SỢI QUANG (ROF).....	2
1.1. Giới thiệu.....	2
1.2. Khái niệm truyền sóng vô tuyến qua sợi quang.....	2
1.3. Các thành phần cơ bản của tuyến quang sử dụng RoF	3
1.4. Các kỹ thuật sử dụng trong RoF	3
1.4.1. Công nghệ RoF sử dụng kỹ thuật IM-DD	3
1.4.2. Công nghệ RoF sử dụng kỹ thuật tách heterodyne đầu xa RHD	3
1.4.3. Nhiễu	4
1.4.4. Nhận xét.....	4
1.5. Đặc điểm của hệ thống RoF	5
1.5.1. Những ưu điểm của công nghệ RoF	5
1.5.2. Hạn chế của công nghệ RoF.....	5
1.6. Ứng dụng của truyền sóng vô tuyến qua sợi quang (RoF).....	5
1.6.1. Ứng dụng RoF trong Wireless LAN băng tần 60GHz.....	5
1.6.2. RoF ứng dụng trong mạng thông tin giao thông.....	6
1.6.3. RoF ứng dụng trong mạng 5G	7
1.7. Kết luận chương 1.....	9
CHƯƠNG 2: PHÂN TÍCH ẢNH HƯỞNG CỦA HIỆU ỨNG PHI TUYẾN TRONG ROF.....	10
2.1. Giới thiệu.....	10
2.2. Các tham số bộ thu phát	10
2.3. Các tham số của kênh quang	11
2.4. Các tham số kênh vô tuyến	13
2.5. Hiệu ứng phi tuyến sợi quang.....	14
2.6. Kết luận chương 2.....	16
CHƯƠNG 3: ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG PHI TUYẾN CỦA TRUYỀN DẪN SÓNG VÔ TUYẾN QUA SỢI QUANG TRONG HỆ THỐNG 5G	17

3.1 . Giới thiệu.....	17
3.2. Đặc điểm hệ thống	17
3.3. Mô hình khảo sát RoF ứng dụng trong mạng 5G.....	17
3.2.1. Liên kết vô tuyến	17
3.2.2. Liên kết ROF	19
3.4. Kết quả thực hiện đánh giá khảo sát	19
3.4.1. Phân tích đánh giá hiệu ứng nhiễu phi tuyến.....	19
3.4.2. Thiết kế Bộ thu	21
3.4.3. Kết quả thực hiện.....	22
3.5. Kết luận chương 3.....	23
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ.....	24

MỞ ĐẦU

Mạng di động thế hệ tiếp theo, thế hệ thứ năm (5G), sẽ đáp ứng nhu cầu phát triển các dịch vụ truy cập không dây băng rộng tốc độ cao. Một trong những giải pháp sử dụng cho mạng 5G là công nghệ truyền dẫn RoF tốc độ cao tại tần số hàng chục GHz. Khi hệ thống hoạt động ở tốc độ cao và băng tần hàng chục GHz trong mạng 5G thì các méo phi tuyến có ảnh hưởng nghiêm trọng. Xuất phát từ đặc điểm ứng dụng của RoF trong hệ thống mạng di động 5G em chọn đề tài: “**Ảnh hưởng phi tuyến của truyền dẫn sóng vô tuyến qua sợi quang trong hệ thống 5G**”. Nội dung nghiên cứu của luận văn bao gồm 3 chương:

Chương 1: Tổng quan và ứng dụng của kỹ thuật truyền sóng vô tuyến qua sợi quang (RoF). Nội dung chương này sẽ tập trung giới thiệu về kỹ thuật truyền sóng vô tuyến qua sợi quang (RoF), các thành phần, kỹ thuật và đặc điểm của hệ thống RoF. Ứng dụng RoF trong các lĩnh vực như: Wireless LAN tốc độ cao, RVC, mạng di động 5G...

Chương 2: Phân tích ảnh hưởng của hiệu ứng phi tuyến trong RoF. Chương này sẽ nghiên cứu các ảnh hưởng của các tham số trong cả phân hệ quang và phân hệ vô tuyến lên hiệu năng hệ thống MMW-RoF. Đặc biệt, đối với hiện tượng phi tuyến không thể bỏ qua đối với các hệ thống thông tin quang hoạt động ở tốc độ bit lớn hơn 10 Gbps.

Chương 3: Đánh giá ảnh hưởng phi tuyến của truyền dẫn sóng vô tuyến qua sợi quang trong hệ thống 5G. Trong chương này, sẽ tiến hành phân tích nghiên cứu đường lên của các hệ thống Trạm gốc (BS), trong đó, mỗi Thiết bị đầu cuối di động (MT) sử dụng sơ đồ điều chế đơn sóng mang theo miền tần số (SC-FDE). Sau đó đưa ra đề xuất thiết kế các máy thu mạnh tận dụng các đặc điểm thống kê của méo phi tuyến.

Mặc dù đã rất cố gắng nhưng do hạn chế về mặt kiến thức thực tế cũng như chuyên môn nên chắc chắn bài luận văn của em vẫn không tránh khỏi những thiếu sót. Em rất mong nhận được những ý kiến đóng góp quý báu của các thầy cô để bài luận văn được hoàn thiện hơn nữa.

Em xin chân thành cảm ơn!

Học viên

BẠCH THANH TÙNG

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VÀ ỨNG DỤNG CỦA KỸ THUẬT TRUYỀN SÓNG VÔ TUYẾN QUA SỢI QUANG (RoF)

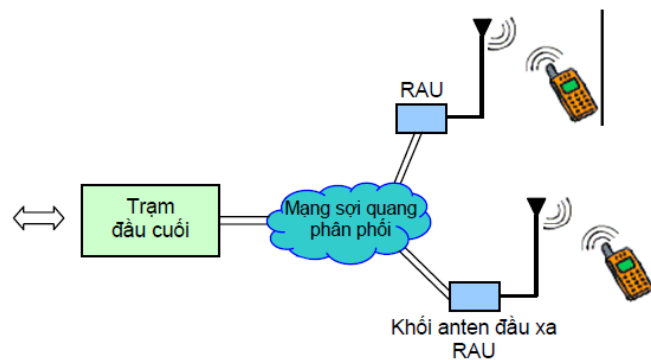
Nội dung chương này sẽ tập trung giới thiệu về kỹ thuật truyền sóng vô tuyến qua sợi quang (RoF), các thành phần, kỹ thuật và đặc điểm của hệ thống RoF. Ứng dụng RoF trong các lĩnh vực như: Wireless LAN, mạng thông tin giao thông (RVC), mạng di động 5G.

1.1. Giới thiệu

Bằng cách sử dụng các sợi cáp quang độ tuyến tính cao để phân phối tín hiệu RF từ trạm trung tâm tới các điểm truy cập, kỹ thuật truyền sóng vô tuyến qua sợi quang cho phép các điểm truy cập vô tuyến trở nên cực kỳ đơn giản, với các thiết bị chuyển đổi quang điện và bộ khuếch đại.

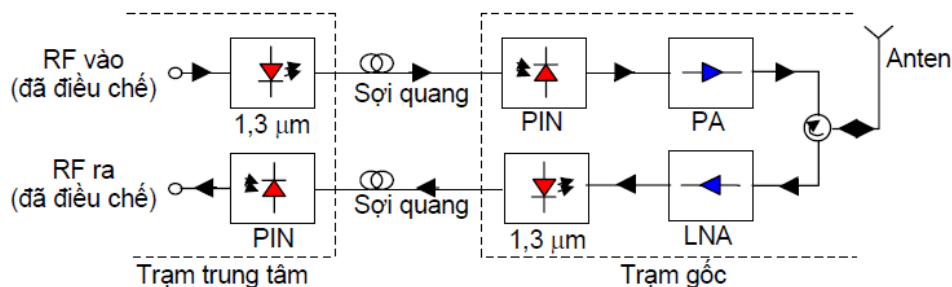
1.2. Khái niệm truyền sóng vô tuyến qua sợi quang

Công nghệ truyền sóng vô tuyến qua sợi quang sử dụng đường truyền sợi quang để phân phối các tín hiệu tần số vô tuyến (RF) từ các vị trí trạm đầu cuối tập trung tới các khối anten đầu xa (RAUs).



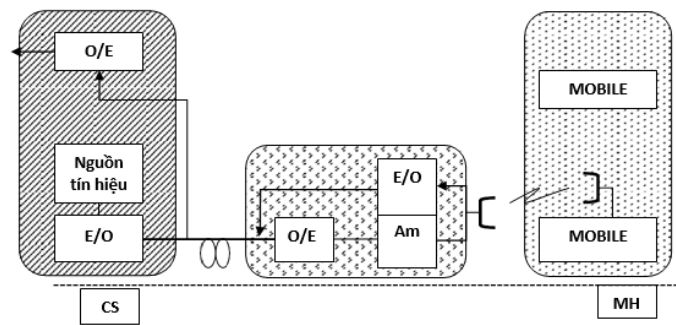
Hình 1. 1. Khái niệm về hệ thống RoF

Một trong những ứng dụng của RoF được mô tả như hình 1.2, hệ thống được sử dụng để phân phối tín hiệu GSM. Tín hiệu RF được sử dụng để điều biến trực tiếp laser ở trạm trung tâm.



Hình 1. 2. Hệ thống quang-vô tuyến 900 MHz

1.3. Các thành phần cơ bản của tuyến quang sử dụng RoF

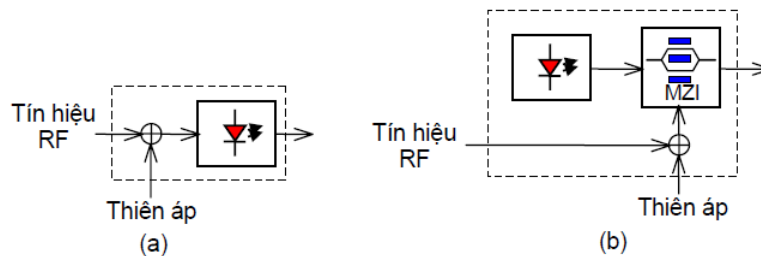


Hình 1. 3. Các thành phần cơ bản trong kiến trúc RoF

1.4. Các kỹ thuật sử dụng trong RoF

1.4.1. Công nghệ RoF sử dụng kỹ thuật IM-DD

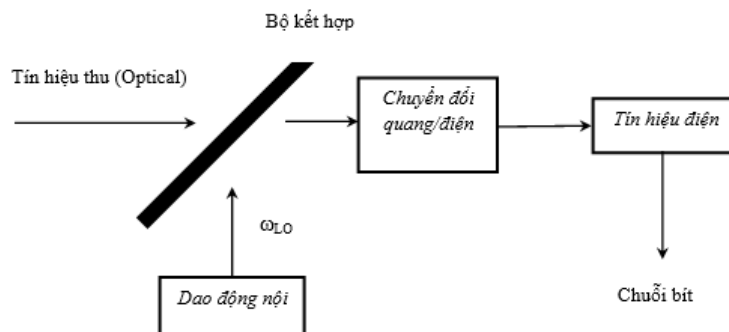
Có 2 cách để điều chế nguồn sáng: cách thứ nhất là để tín hiệu RF trực tiếp điều chế dòng điện của laser; cách thứ hai là điều khiển laser ở chế độ sóng liên tục và sau đó sử dụng một bộ điều chế ngoài như bộ điều chế Mach-Zehnder (MZM).



Hình 1. 4. Tạo tín hiệu RF bằng điều chế cường độ (a. Của Laser; b. Dùng một bộ điều chế ngoài)

1.4.2. Công nghệ RoF sử dụng kỹ thuật tách heterodyne đầu xa RHD

Trong khi chuyển đổi quang điện O/E, bộ tách sóng quang cũng đóng vai trò như là một bộ trộn do đó nó trở thành một phần tử chính cấu thành hệ thống RoF dùng kỹ thuật RHD.[2]



Hình 1. 5. Sơ đồ khối kỹ thuật tách sóng heterodyne

Nguyên lý trộn kết hợp được minh họa như sau. Hai trường quang có tần số góc ω_1 và ω_2 được biểu diễn:

$$E_1 = E_{01} \cos(\omega_1 t) \quad (1.1)$$

$$E_2 = E_{02} \cos(\omega_2 t) \quad (1.2)$$

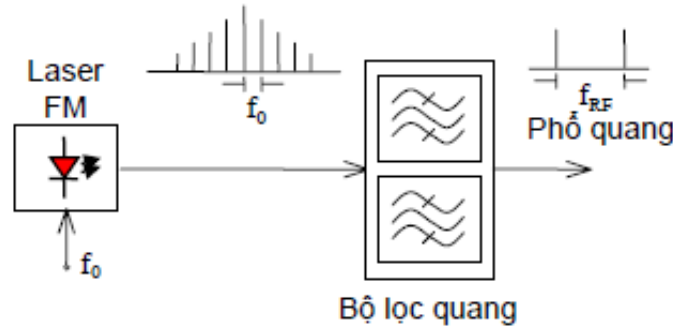
$$\text{Dòng tách quang danh định là: } i_{PD} = (E_1 + E_2)^2 \quad (1.3)$$

$$i_{PD} = E_{01} E_{02} \cos[(\omega_1 - \omega_2)t] + E_{01} E_{02} \cos[(\omega_1 + \omega_2)t] + \text{các thành phần khác} \quad (1.4)$$

Nếu xét các tín hiệu công suất quang thay cho các trường quang thì dòng tách quang được tính:

$$i_{PD} = 2R \sqrt{p_1(t)p_2(t)} \cdot \cos[\{\omega_1(t) - \omega_2(t)\}t + \phi_1(t) - \phi_2(t)] + \text{các thành phần khác} \quad (1.5)$$

Với R là độ nhạy của bộ tách sóng quang, t là thời gian, $p_1(t)$ và $p_2(t)$ là tín hiệu hai công suất quang tức thời tương ứng với tần số tức thời $\omega_1(t)$ và $\omega_2(t)$, $\phi_1(t)$ và $\phi_2(t)$ là các pha tức thời của tín hiệu.



Hình 1. 6. Nguyên lý trộn kết hợp (coherent) quang dựa trên laser điều tần

1.4.3. Nhiễu

• Nhiễu pha

Ta có:

$$I(t) = I_{ref} + 2R\sqrt{P_s P_{ref}} \cos(\varphi_s - \varphi_{ref}) \quad \text{cho homodyne} \quad (1.6)$$

$$I(t) = I_{ref} + 2R\sqrt{P_s P_{ref}} \cos(\omega_0 t + \varphi_s - \varphi_{ref}) \quad \text{cho heterodyne} \quad (1.7)$$

• Mất phối hợp phân cực

Trong các bộ tách sóng quang trực tiếp (như bằng photodiode) đã biết thì sự phân cực của tín hiệu quang không đóng vai trò gì bởi vì dòng điện thu được phụ thuộc vào số photon của tia tới.

• Tán sắc

Ta đã biết tán sắc ảnh hưởng lớn như thế nào đối với hệ thống thông tin quang và được khắc phục bằng nhiều phương pháp.

1.4.4. Nhận xét

Mặc dù kỹ thuật optical homodyne có rất nhiều ưu điểm nhưng do phải duy trì sự đồng bộ về pha và tần số. Điều này không có lợi trong mạng RoF nên người ta không sử dụng.

dụng kỹ thuật này để truyền dẫn sóng mm.

1.5. Đặc điểm của hệ thống RoF

1.5.1. Những ưu điểm của công nghệ RoF

Suy hao thấp

Băng thông rộng

Không chịu ảnh hưởng của nhiễu tần số vô tuyến

Lắp đặt và bảo dưỡng dễ dàng

Giảm công suất tiêu thụ

Phân bổ tài nguyên động

1.5.2. Hạn chế của công nghệ RoF

Tín hiệu bị ảnh hưởng bởi nhiễu và méo, đây là hạn chế trong các hệ thống thông tin tương tự cũng như hệ thống RoF. Nguồn tạp âm trong đường truyền sợi quang tương tự bao gồm tạp âm cường độ tương đối của laser (RIN), nhiễu pha laser, nhiễu nơ của bộ tách sóng quang, nhiễu nhiệt của bộ khuếch đại, tán sắc của sợi.

1.6. Ứng dụng của truyền sóng vô tuyến qua sợi quang (RoF)

1.6.1. Ứng dụng RoF trong Wireless LAN bằng tần 60GHz

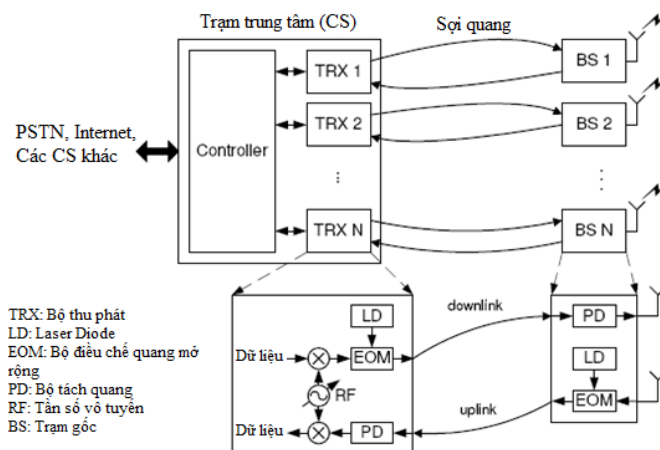
Kỹ thuật RoF được ứng dụng cho mạng WLAN sẽ là một trong những ứng dụng hứa hẹn nhất.

1.6.1.1. Kiến trúc mạng

Đối với mạng WLAN, do cấu trúc mạng cần đơn giản, các thiết bị giá thành rẻ nên thường mạng sử dụng các kỹ thuật càng đơn giản càng tốt (hình 1.7).

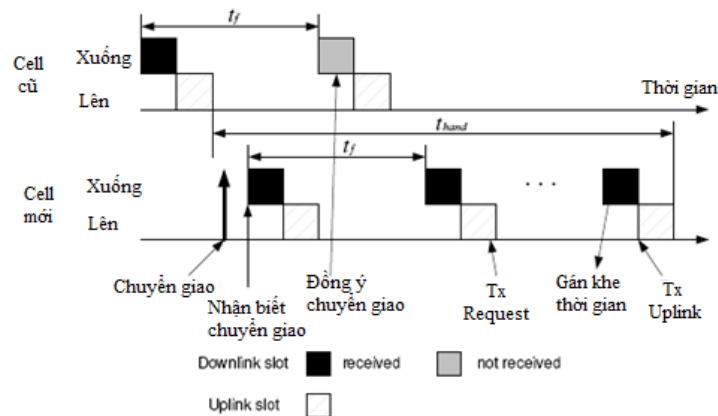
1.6.1.2. Chuyển giao

Nhờ sự đơn giản và nhanh nên giao thức được sử dụng trong mạng WLAN, để giảm bớt sự phức tạp của các MH. Ta sẽ tìm hiểu một ví dụ chuyển giao khi MH di chuyển từ BS này sang BS khác như hình. Trong hình 1.8 là ví dụ với $n = 5$.



Hình 1. 7. Kiến trúc mạng RoF cho WLAN

Ứng dụng kỹ thuật RoF và mạng WLAN hoạt động ở băng tần mm là một trong những ứng dụng đơn giản của kỹ thuật trên vào mạng truy nhập vô tuyến.



Hình 1. 8. Độ trễ chuyển giao trong giao thức chuyển giao bàn cờ

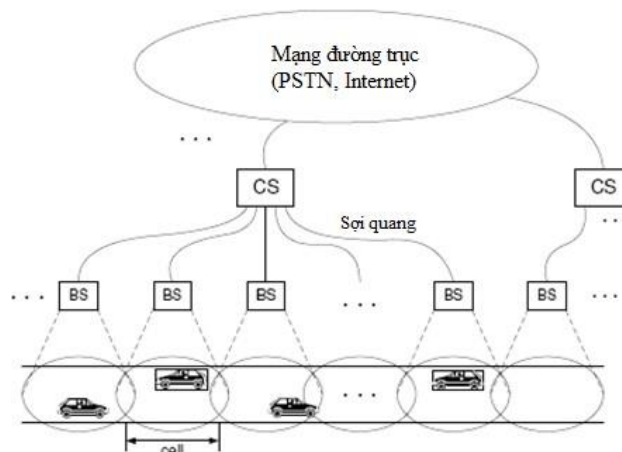
1.6.2. RoF ứng dụng trong mạng thông tin giao thông

Hệ thống RVC sử dụng kỹ thuật RoF được thể hiện trong hình 1.9, ở đây mỗi BS được kết nối liên tục đến một số lượng BS thông qua sợi quang, và mỗi BS này phục vụ cho mạng RVC với tầm phủ sóng rộng và các đặc tính phù hợp mạng.

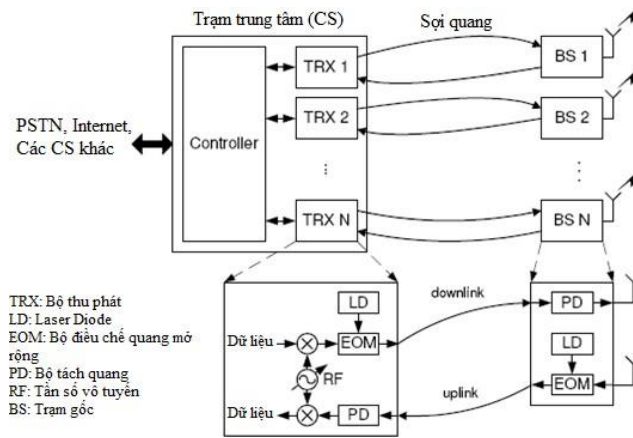
Dựa vào hình 1.10 ta thấy cấu trúc BS rất đơn giản chỉ gồm một PD, một LD, một EOM và có thể có một bộ khuếch tần số RF. BS không thực hiện bất cứ một chức năng xử lý tín hiệu nào, nó chỉ đóng vai trò trung gian chuyển tải sóng RF giữa BS và MH.

1.6.2.1. Hoạt động cơ bản trong mạng

Giả sử CS được kết nối đến N BS như trong hình 1.10, và số lượng BS phủ sóng hoàn toàn con đường. N BS này sẽ được chia làm S nhóm ($1 < S < N$), trong đó tập hợp các BS trong một nhóm được đặt gần nhau, và tập hợp các vùng phủ sóng của nhóm đó được gọi là VCZ (virtual cellular zone).



Hình 1. 9. Mạng RVC dựa trên kỹ thuật RoF



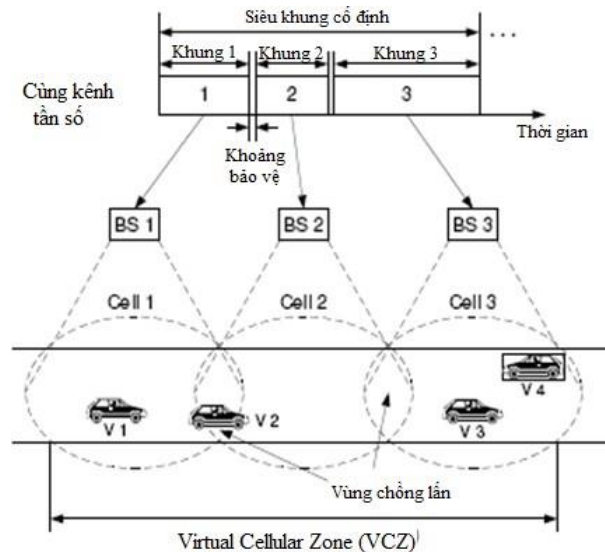
Hình 1. 10. Kiến trúc mạng RVC dựa trên kỹ thuật RoF.

Hình 1.11 mô tả một VCZ bao gồm 3 cell và 3 frame được ấn định cho mỗi cell trong miền thời gian như thế nào khi sử dụng cùng một kênh RF.

1.6.2.2. Hỗ trợ tính di động - chuyển giao

Trong kiến trúc mạng được phát họa ở trên thì mạng RVC sẽ hỗ trợ 3 kiểu chuyển giao:

- chuyển giao giữa 2 BS thuộc cùng 1 VCZ (intra-VCZ handover)
- chuyển giao giữa 2 BS thuộc 2 VCZ kề nhau (inter-VCZ handover)
- chuyển giao giữa 2 BS thuộc sự quản lý của 2 CS khác nhau (inter-CS handover)



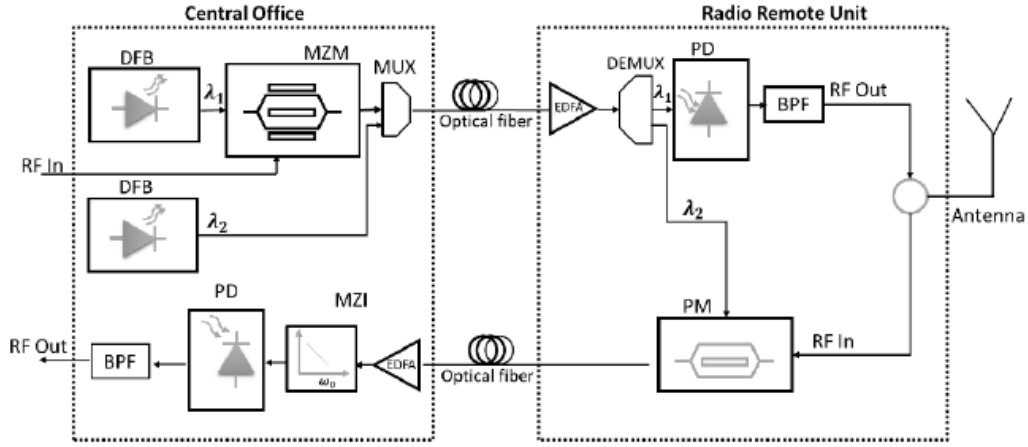
Hình 1. 11. Ấn định khung trong khi di chuyển.

1.6.3. RoF ứng dụng trong mạng 5G

Tiêu chuẩn 5G đòi hỏi hiệu quả phổ cao, tốc độ dữ liệu cao và độ trễ ngắn, do đó, mạng truyền dẫn đứng trước nhiều thách thức để đáp ứng khả năng cung cấp cơ sở hạ tầng đáng tin cậy. Các hệ thống vô tuyến qua sợi quang (RoF) là công nghệ tiên phong hứa hẹn cho các mạng 5G trong tương lai.

1.6.3.1. Mô tả kiến trúc mạng

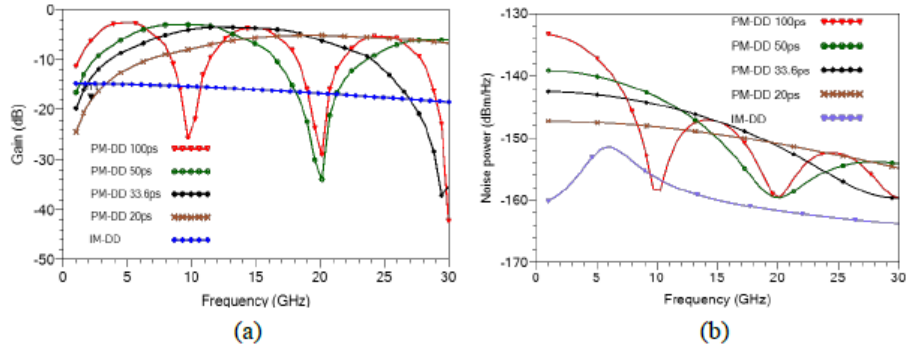
Kiến trúc RoF được biểu thị trong Hình 1.12.



Hình 1. 12. Kiến trúc RoF cho mạng truyền tải 5G

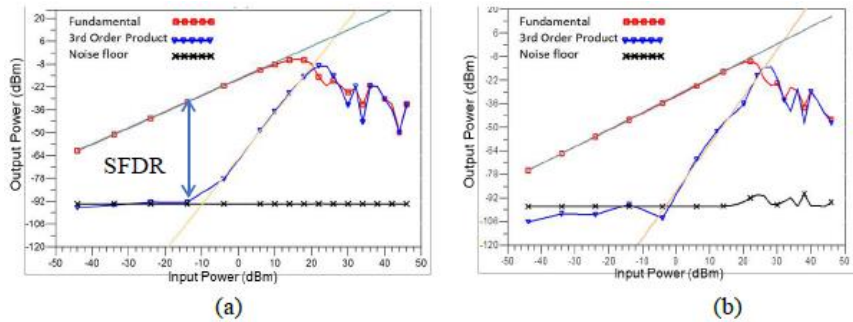
1.6.3.2. Hiệu suất của liên kết RoF PM-DD

Hình 1.13 biểu diễn độ lợi và mật độ phổ công suất nhiễu của các liên kết PM-DD và IM-DD.



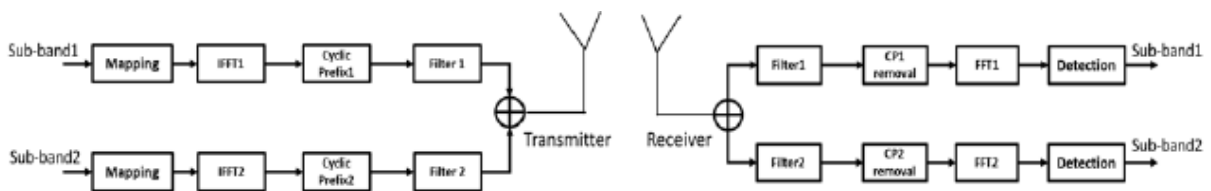
Hình 1. 13. Liên kết PM-DD và IM-DD (a) độ lợi và (b) công suất nhiễu.[9]

Hình 1.14 cho thấy công suất đầu ra liên kết RoF của tín hiệu cơ bản và kờ bậc ba so với công suất đầu vào ở tần số 5 GHz.



Hình 1. 14. Dải động của liên kết (a) IM-DD và (b) PM-DD ($\tau = 100$ ps) với $f_{RF} = 5$ GHz.[9]

1.6.3.3. Truyền dẫn tín hiệu F-OFDM qua liên kết PM-DD



Hình 1. 15. Sơ đồ điều chế/giải điều chế F-OFDM

Hệ thống vô tuyến qua cáp quang dựa trên kỹ thuật IM-DD cho đường xuống và kỹ thuật PM-DD cho đường lên được đề xuất cho việc truyền tín hiệu không dây 5G. [9]

1.7. Kết luận chương 1

Trong chương này đã trình bày các khái niệm, thành phần cơ bản và các kỹ thuật truyền sóng vô tuyến qua sợi quang. Tìm hiểu các ứng dụng của RoF trong mạng LAN không dây, mạng thông tin giao thông (RVC), mạng vô tuyến tế bào. Đồng thời chương này cũng trình bày về RoF ứng dụng cho mạng 5G trong tương lai sử dụng các kỹ thuật IM-DD và PM-DD.

CHƯƠNG 2: PHÂN TÍCH ẢNH HƯỞNG CỦA HIỆU ỨNG PHI TUYẾN TRONG RoF

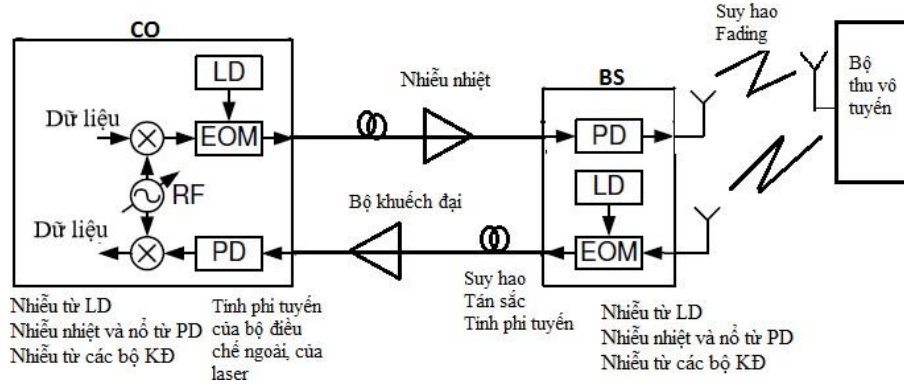
Chương này sẽ nghiên cứu các ảnh hưởng của các tham số trong cả phân hệ quang và phân hệ vô tuyến lên hiệu năng hệ thống MMW-RoF.

2.1. Giới thiệu

Hệ thống MMW-RoF là một hệ thống truyền thông lai ghép giữa thông tin sợi quang và thông tin vô tuyến, do vậy nó chịu ảnh hưởng của cả hai môi trường này.

2.2. Các tham số bộ thu phát

2.2.1. Các nguồn nhiễu



Hình 2. 1. Các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu năng hệ thống MMW-RoF

Công suất nhiễu RIN được tính như sau:

$$\begin{aligned}\sigma_{RIN}^2 &= (RIN_{Lasers} + RIN_{phase}) \cdot I_{av}^2 \cdot B_n \\ &= K_{RIN} \cdot I_{av}^2 \cdot B_n\end{aligned}\quad (2.1)$$

trong đó RIN_{Lasers} , là nhiễu cường độ tương đối từ các laser, RIN_{phase} là nhiễu biến đổi từ nhiễu pha sang nhiễu cường độ, I_{av} là dòng quang điện trung bình và B_n là băng tần nhiễu hiệu dụng của bộ thu. K_{RIN} là giá trị phụ thuộc vào thiết bị, được tính bằng dB/Hz (thường nhận giá trị khoảng -150dB/Hz).

Công suất nhiễu nỏ được xác định bởi: $\sigma_{short}^2 = 2qI_{av}B_n$ (2.2)

trong đó, q là điện tích electron.

Vì dòng tối (I_d) cũng tạo ra nhiễu nỏ, nên nhiễu nỏ tổng sẽ được tính như sau:

$$\sigma_{short}^2 = 2q(I_{av} + I_d)B_n \quad (2.3)$$

Công suất nhiễu nhiệt được mô tả bởi công thức sau:

$$\sigma_{th}^2 = 4K_B T B_n / R_L \quad (2.4)$$

trong đó, B_n là hằng số Boltzmann, T là nhiệt độ Kelvin và R_L là điện trở tải tại đầu ra PD.

2.2.2. Méo phi tuyến

Méo phi tuyến gây ra bởi bộ thu phát trong hệ thống MMW-RoF bao gồm méo phi tuyến gây ra bởi nguồn quang trong điều chế trực tiếp, méo phi tuyến gây ra bởi bộ điều chế ngoài (MZM) và méo phi tuyến gây ra bởi bộ tách sóng quang.

2.2.3. Các tham số khác

Các tham số khác ảnh hưởng đến chất lượng hệ thống và đã được khảo sát trong luận văn gồm chỉ số điều chế của bộ điều chế MZM và hệ số khuếch đại của bộ thu APD.

2.3. Các tham số của kênh quang

Khi sóng vô tuyến được truyền trên sợi quang, nó cũng sẽ chịu các ảnh hưởng của sợi quang như suy hao, tán sắc, hay các hiệu ứng phi tuyến. Suy hao sợi quang

Nếu $P(0)$ là công suất quang đi vào trong sợi (tại $y = 0$) thì công suất $P(y)$ tại khoảng cách y sẽ giảm xuống còn: $P(y) = P(0)\exp(-\alpha y)$ (2.5)

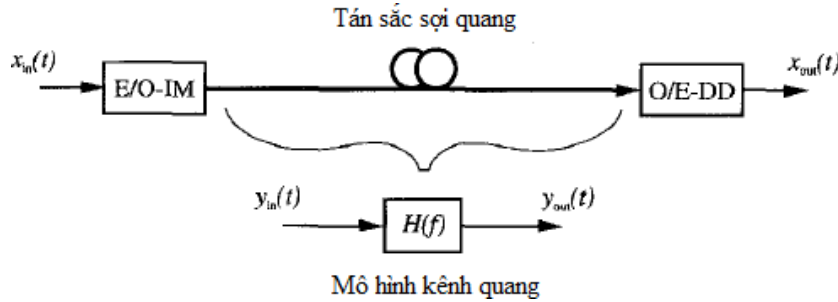
trong đó, α là hệ số suy hao của sợi quang có đơn vị là dB/km, thường có giá trị là 0,2 dB/km.

2.3.1. Tán sắc sợi quang

Đối với các hệ thống MMW-RoF, các sợi quang đơn mode thường được sử dụng. Do đó, loại tán sắc ảnh hưởng đến hiệu năng hệ thống là tán sắc sắc thể (tán sắc vận tốc nhóm). Ảnh hưởng của tán sắc này đến hiệu năng hệ thống còn phụ thuộc vào các sơ đồ tách sóng của hệ thống, gồm sơ đồ tách sóng trực tiếp (Direct Detection - DD) và trộn sóng (tạo phách) từ xa (remote heterodyne detection - RHD).

a. Ảnh hưởng của tán sắc trong mô hình sử dụng tách sóng trực tiếp DD

Mô hình hệ thống IM-DD được mô tả như trong hình 2.2



Hình 2. 2. Hệ thống IM-DD

Để đánh giá sự suy giảm hiệu năng do tán sắc sợi quang, sợi quang được mô hình hóa như một bộ lọc thông dải (như trong hình 2.1) có hàm truyền đạt $H(f)$ và dưới ảnh hưởng của tán sắc, sự suy giảm tỉ số C/N ($\Delta C / N$) được tính như sau:

$$\Delta C / N = 10 \log \left| \frac{X'_{out}(f_{nm})}{X_{out}(f_{nm})} \right|^2 \quad (2.6)$$

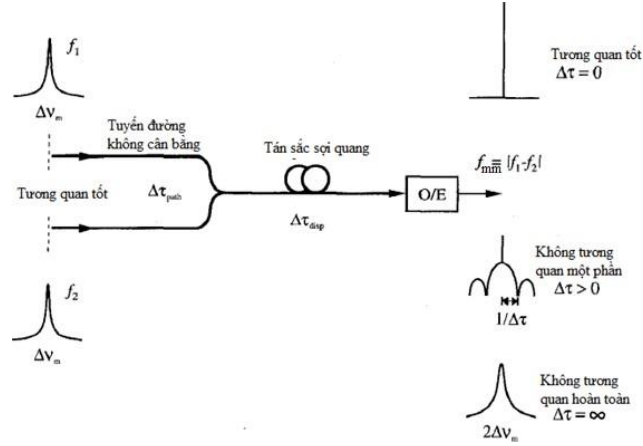
trong đó $X'_{out}(f_{mm})$ là công suất tín hiệu nhận được khi không tính đến ảnh hưởng của tán sắc sợi quang, $X_{out}(f_{mm})$ là công suất tín hiệu nhận được khi tính đến ảnh hưởng của tán sắc sợi quang và f_{mm} là tần số sóng milimet.

b. Ảnh hưởng của tán sắc đến mô hình tách sóng tạo phách từ xa

Tổng sai khác trễ truyền dẫn được tính như sau:

$$\Delta\tau = (\Delta\tau_{path} + \Delta\tau_{disp}) \quad (2.7)$$

Sự sai khác này tạo ra sự không tương quan về pha một phần hay toàn phần như chỉ ra trong hình 2.3.



Hình 2. 3. Nguyên lý của hệ thống MMW-RoF sử dụng tách sóng tạo phách từ xa

Thành phần trễ sai khác gây ra do tán sắc được biểu diễn bằng biểu thức:

$$\Delta\tau_{disp} = D.L.\frac{\lambda^2}{c}.f_{mm} \quad (2.8)$$

Phần trễ sai khác do hai tín hiệu quang được đi trên hai tuyến đường khác nhau trước khi được ghép chung trên một sợi quang, được xác định bởi:

$$\Delta\tau_{path} = \pm \frac{\Delta L_{path}.n}{c} \quad (2.9)$$

trong đó, ΔL_{path} là sự sai khác tuyến đường và n là chỉ số chiết suất của vật liệu. Tổng trễ sẽ gây ra nhiễu pha lên tín hiệu milimet, có công suất như sau:

$$\sigma_{CD}^2 = \int_0^B \frac{2\Delta\upsilon_m}{\pi f^2} \cdot \{1 - \cos(2\pi f \Delta\tau)\} df \quad \text{với } B_n \leq \frac{1}{\Delta\tau} \quad (2.10)$$

$$\approx 2\pi\Delta\upsilon_m B_n (\Delta\tau)^2$$

trong đó, $\Delta\upsilon_m$ là độ rộng phổ toàn phần tại nửa cực đại của laser. Ngoài ra, trễ sai khác này còn gây ra sự suy giảm về hiệu năng (tỉ số C/N), được xác định như sau:

$$\Delta C / N = 10 \log \frac{1}{\exp(-2\pi\Delta\upsilon_m \Delta\tau)} \quad (2.11)$$

2.4. Các tham số kênh vô tuyến

2.4.1. Fading phạm vi rộng và suy hao trong kênh vô tuyến

Fading phạm vi rộng chính là sự biến thiên về biên độ trung bình hay công suất trung bình của tín hiệu nhận được khi môi trường truyền dẫn là kênh đa đường. P_L được xác định bởi:

$$P_{L[dB]} = P_{Tx[dBm]} + G_{Tx[dBi]} + G_{Rx[dBi]} - P_{Rx[dBm]} \quad (2.12)$$

trong đó, P_{Tx} là công suất phát tại anten phát có hệ số khuếch đại G_{Tx} , P_{Rx} là công suất thu được tại anten thu có hệ số khuếch đại G_{Rx} . Do đó, công suất tín hiệu nhận được được tính theo công thức:

$$P_{Rx[dBm]} = P_{Tx[dBm]} + G_{Tx[dBi]} + G_{Rx[dBi]} - P_{L[dB]} \quad (2.13)$$

Tổng suy hao trong kênh truyền sóng MMW được tính bởi:

$$P_L = P_{fs} + P_{at} + P_{rain} = 20 \log \frac{4\pi df_{mm}}{c} + (\gamma_{ox} + \gamma_{wv} + \gamma_{rain})d \quad (2.14)$$

trong đó P_{fs} là suy hao không gian tự do, P_{at} là suy hao do sự hấp thụ của khí quyển bao gồm sự hấp thụ của oxy, P_{rain} hơi nước và là suy hao do mưa. Tiếp theo, d là khoảng cách vô tuyến, f_{mm} là tần số sóng mang MMW, c là tốc độ ánh sáng trong chân không và γ_{ox} , γ_{wv} , γ_{rain} là các hệ số suy hao gây ra bởi phân tử oxy, hơi nước và do mưa.

Hệ số hấp thụ của oxy được xác định theo công thức:

$$\gamma_{ox[dB/km]}(f_{[GHz]}) = \begin{cases} 15,1 - 0,104 \times (f - 60)^{3,26} & 60 \leq f \leq 63 \\ 11,35 + (f - 63)^{2,25} - 5,33 \times (f - 63)^{1,27} & 63 \leq f \leq 66 \end{cases} \quad (2.15)$$

Hệ số suy hao do hấp thụ của hơi nước tại nhiệt độ bề mặt 20°C, tần số nhỏ hơn hoặc bằng 350GHz được xác định như sau:

$$\gamma_{wv[dB/km]} = \left[0,067 + \frac{2,4}{(f - 22,3)^2 + 6,6} + \frac{7,33}{(f - 183,5)^2 + 5} + \frac{4,4}{(f - 323,8)^2 + 10} \right] \times f^2 \times \rho_{wv} \times 10^{-4} \quad (2.16)$$

trong đó, ρ_{wv} là mật độ hơi nước, tính bằng g / m^3 .

Với độ ẩm 42% tại 20°C, mật độ hơi nước bằng 7,5 g / m^3 . Khi đó hệ số hấp thụ của hơi nước tại tần số 60GHz bằng $\gamma_{wv[dB/km]} = 0,1869$.

Và suy hao do hấp thụ của các phân tử khí:

$$P_{at} = (\gamma_{ox} + \gamma_{wv})d \quad (2.17)$$

Khi kênh vô tuyến chịu ảnh hưởng của mưa, tín hiệu sẽ bị suy hao dưới tác động của các hạt mưa và phụ thuộc vào tốc độ mưa khác nhau như trong bảng 2.1

Bảng 2. 1. Hệ số suy hao do mưa.

Hệ số suy hao do mưa (dB/km) tại các tần số	Tốc độ mưa (mm/h)	
	25	50
60 GHz	10,1	17,9
63 GHz	10,4	18,2
66 GHz	10,6	18,5

2.4.2. Fading phạm vi hẹp

Trong kênh fading này, tỉ số SNR tức thời trên bit (γ) là biến ngẫu nhiên với hàm phân bố xác suất (PDF), $P_\gamma(\gamma)$, được xác định như sau:

$$P_\gamma(\gamma) = \frac{1}{\bar{\gamma}} \exp\left(-\frac{\gamma}{\bar{\gamma}}\right), \gamma \geq 0 \quad (2.18)$$

trong đó, $\bar{\gamma}$ tỉ số SNR trung bình trên bit.

Phân bố xác suất của kênh fading này như sau:

$$P_\gamma(\gamma) = \frac{(1+K)e^{-K}}{\bar{\gamma}} \exp\left(-\frac{(1+K)\gamma}{\bar{\gamma}}\right) \times I_0\left(\sqrt{\frac{K(K+1)\gamma}{\bar{\gamma}}}\right) \quad (2.19)$$

trong đó, K là hệ số Rice, I_0 là hàm Bessel sửa đổi bậc 0 loại 1.

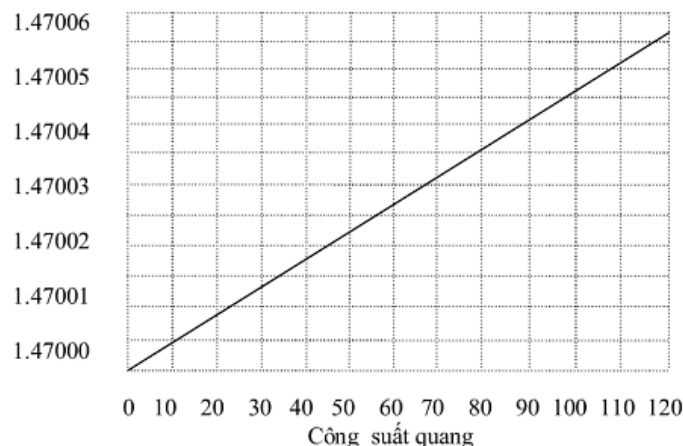
2.5. Hiệu ứng phi tuyến sợi quang

2.5.1. Nguyên nhân gây ra hiệu ứng phi tuyến trong sợi quang

Nguyên nhân là do 2 yếu tố:

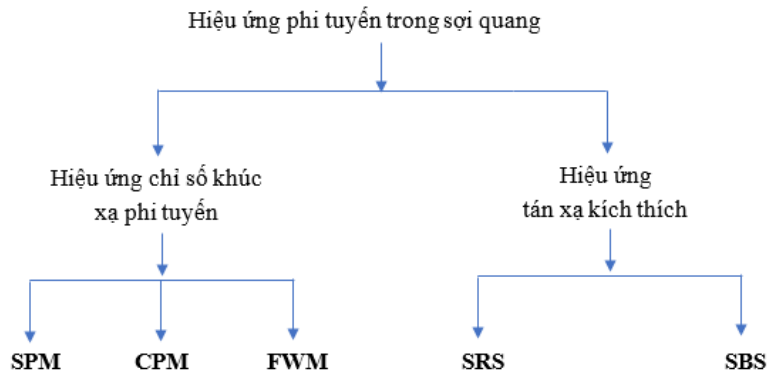
Thứ nhất là sự phụ thuộc của chỉ số chiết suất n vào công suất ánh sáng:

$$n = n_0 + n_2 \frac{P_0}{A_{eff}} \quad (2.20)$$



Hình 2. 4. Sự phụ thuộc của chiết suất sợi silic vào công suất quang

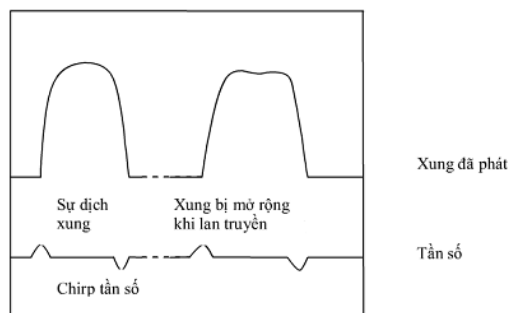
Thứ hai là do hiện tượng tán xạ kích thích như: SRS, SBS.



Hình 2. 5. Hiệu ứng phi tuyến trong sợi quang

2.5.2. Hiệu ứng liên quan đến chỉ số khúc xạ phi tuyến

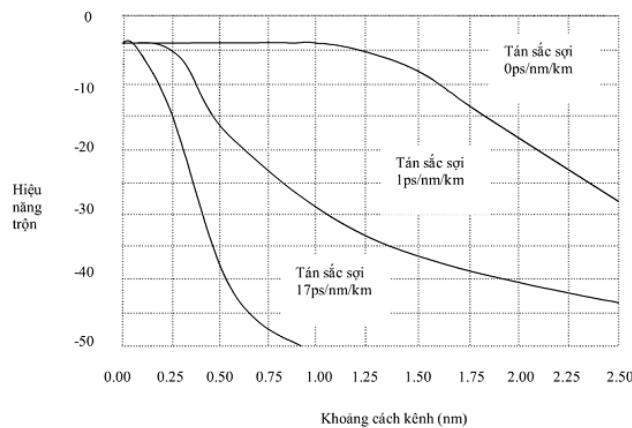
Hiệu ứng tự điều pha (SPM - Self - Phase Modulation)



Hình 2. 6. Hiện tượng mở rộng phổ của xung do SPM.

Điều chế chéo pha (XPM - Cross - Phase Modulation)

Hiệu ứng trộn 4 sóng (FWM: Four - wave mixing)

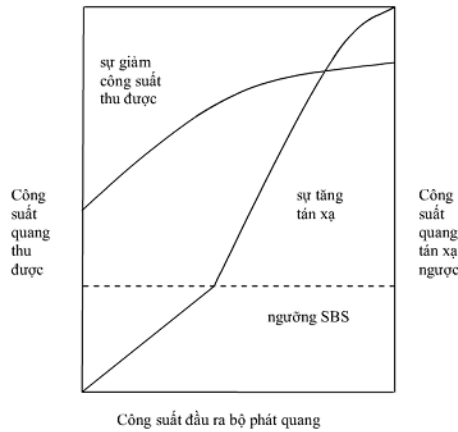


Hình 2. 7. Hiệu ứng với các mức khoảng cách khác nhau theo khoảng cách kênh

2.5.3. Hiệu ứng liên quan tới tán xạ kích thích

Tán xạ kích thích Raman (SRS - Stimulated Raman - Scattering)

Tán xạ kích thích Brillouin (SBS - Stimulated Brillouin - Scattering)



Hình 2. 8. Sự tăng ánh sáng tán xạ ngược khi công suất quan tăng.

2.5.4. So sánh các hiệu ứng phi tuyến trong sợi quang

Các hiệu ứng phi tuyến khác nhau dựa trên hiệu ứng Kerr được so sánh trong Bảng 2.1.

Bảng 2. 2. So sánh hiệu ứng khúc xạ phi tuyến.

Hiện tượng phi tuyến	SPM	CPM	FWM
Đặc trưng			
Tốc độ bit	Phụ thuộc	Phụ thuộc	Độc lập
Nguồn	Nhạy cảm phi tuyến $X^{(3)}$	Nhạy cảm phi tuyến $X^{(3)}$	Nhạy cảm phi tuyến $X^{(3)}$
Hiệu ứng $X^{(3)}$	Dịch pha do xung	Dịch pha do tín hiệu cùng truyền lan	Tạo ra sóng mới
Dạng mở rộng	Đối xứng	Có thể đối xứng	---
Chuyển đổi năng lượng giữa phương tiện và xung quang	Không	Không	Không
Khoảng cách kênh	Không ảnh hưởng	Tăng khi giảm khoảng cách	Tăng khi giảm khoảng cách

2.6. Kết luận chương 2

Hệ thống MMW-RoF là một hệ thống truyền thông lai ghép giữa thông tin sợi quang và thông tin vô tuyến, do vậy nó chịu ảnh hưởng của cả hai môi trường này. Hiệu năng của hệ thống MMW-RoF bị suy giảm do ảnh hưởng của các nguồn nhiễu và phi tuyến do liên kết truyền dẫn quang gây ra. Ngoài ra, hiệu năng của hệ thống này còn chịu tác động của môi trường vô tuyến như suy hao và fading.

Tất cả các hiệu ứng này đều có những ưu khuyết điểm riêng, yêu cầu người thiết kế hệ thống phải ý thức được điều này để có thể đưa ra các phương pháp tối ưu để giảm thiểu ảnh hưởng của hiệu ứng phi tuyến.

CHƯƠNG 3: ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG PHI TUYẾN CỦA TRUYỀN DẪN SÓNG VÔ TUYẾN QUÁ SỢI QUANG TRONG HỆ THỐNG 5G

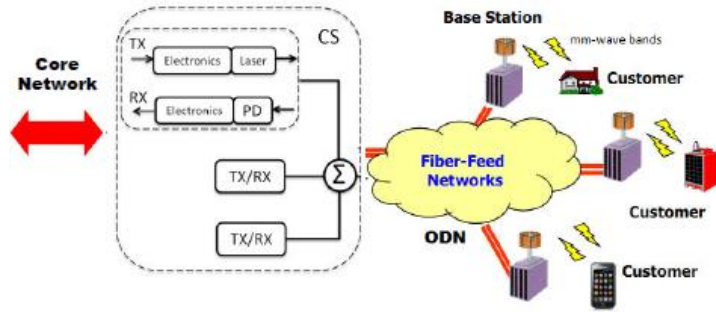
Trong chương này, sẽ tiến hành phân tích nghiên cứu đường lên của các hệ thống Trạm gốc (BS), trong đó, mỗi Thiết bị đầu cuối di động (MT) sử dụng sơ đồ điều chế đơn sóng mang theo tần số miền (SC-FDE). Sau đó đưa ra đề xuất thiết kế các máy thu mạnh tận dụng các đặc điểm thống kê của méo phi tuyến.

3.1. Giới thiệu

Ở đây, người nghiên cứu sẽ đưa ra một thiết kế các máy thu mạnh hiệu quả có thể đáp ứng cho đặc tính phổ của biến dạng phi tuyến tạo ra bởi quá trình chuyển đổi điện và quang.

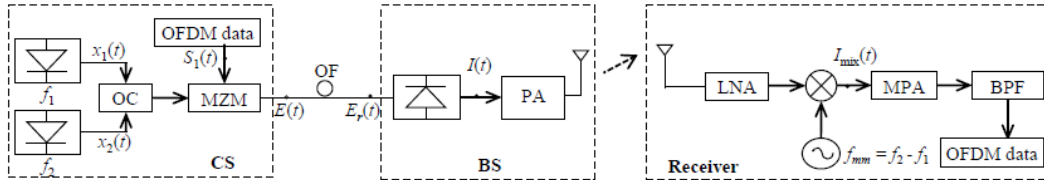
3.2. Đặc điểm hệ thống

Hệ thống này được trình bày trong hình 3.1.



Hình 3. 1. Sơ đồ hệ thống RoF sóng milimet điển hình

Hình 3.2 cho thấy kiến trúc về hệ thống OFDM MMW-RoF.



Hình 3. 2. Biểu diễn kiến trúc của hệ thống OFDM MMW-RoF. CS, BS, OF, OC, MZM, PA, LNA, MPA và BPF bao gồm site trung tâm, trạm gốc, cáp quang, bộ ghép quang, bộ điều chế Mach-Zehnder, bộ khuếch đại công suất, bộ khuếch đại nhiễu thấp, bộ khuếch đại công suất trung bình và bộ lọc thông dải.

3.3. Mô hình khảo sát RoF ứng dụng trong mạng 5G

3.2.1. Liên kết vô tuyến

Dữ liệu được truyền bởi người dùng thứ p được biểu diễn:

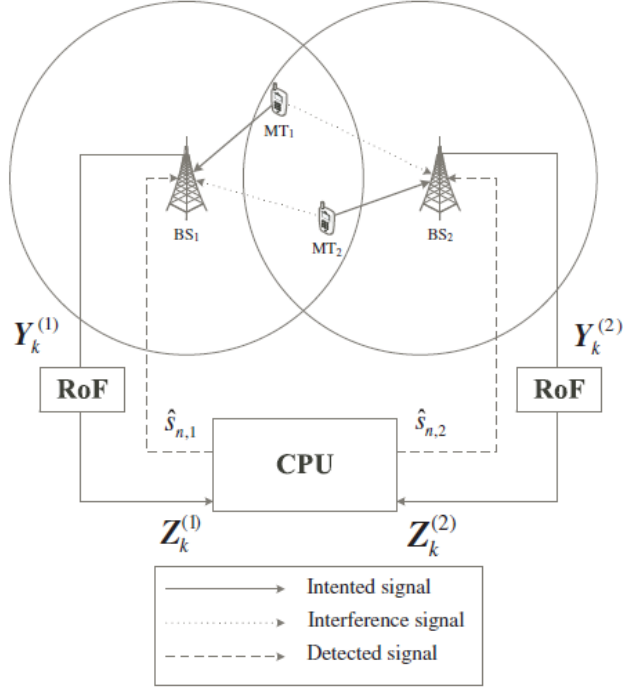
$$S^{(p)} = [s_0^{(p)} s_1^{(p)} \dots s_{N-1}^{(p)}]^T$$

với cyclic prefix (CP) có độ dài phù hợp được gắn vào mỗi khối. Thông qua một biến đổi Fourier rời rạc (DFT), khối dữ liệu cũng có thể được biểu diễn dưới dạng:

$$S^{(p)} = DFT(s^p) = [s_0^{(p)} s_1^{(p)} \dots s_{N-1}^{(p)}]^T$$

Tại BS thứ r và sau khi loại bỏ các mẫu CP, luồng dữ liệu nhận được theo miền thời gian được cho bởi: $y^{(r)} = [y_0^{(r)} y_1^{(r)} \dots y_{N-1}^{(r)}]^T$,

$$\text{với } y_n^{(r)} = \sum_{p=1}^P \xi_{p,r} s_n^{(p)} \odot h_{n,p}^{(r)} + v_n^{(r)} \quad (3.1)$$



Hình 3. 3. Minh họa mô hình hệ thống vô tuyến Bs cộng tác

$$v^{(r)} = [v_0^{(r)} v_1^{(r)} \dots v_{N-1}^{(r)}]^T,$$

trong miền tần số là:

$$N^{(r)} = DFT(v^{(r)}) = [N_0^{(r)} N_1^{(r)} \dots N_{N-1}^{(r)}]^T$$

Trong miền tần số, công thức (3.1) có thể được viết là:

$$Y_k^{(r)} = \sum_{p=1}^P S_{k,p} H_{k,p}^{eq(r)} + N_k^{(r)} \quad (3.2)$$

với (r) biểu thị thành phần thứ k DFT của khối

$$y^{(r)} = [y_0^{(r)} y_1^{(r)} \dots y_{N-1}^{(r)}]^T$$

Trong đó:

$$Y^{(r)} = DFT(y^{(r)}) = [Y_0^{(r)} Y_1^{(r)} \dots Y_{N-1}^{(r)}]^T$$

$S_{k,p}$ là dữ liệu được truyền bởi MT thứ p trên sóng mang con thứ k . $N_k^{(r)}$ cho biết thành phần nhiễu miền tần số liên quan đến ăng ten thứ r và tần số thứ k .

Tuy nhiên:

$$H_{k,p}^{eq(r)} = \xi_{p,r} H_{k,p}^{(r)} \quad (3.3)$$

trong đó $H_{k,p}^{(r)}$ biểu diễn đáp ứng tần số kênh giữa MT thứ p và BS thứ r cho tần số thứ k

(xem xét đáp ứng tần số kênh được chuẩn hóa với $E[|H_{k,p}^{(r)}|^2] = 1$).

Các mẫu miền thời gian $y_n^{(r)}$ có thể được xem là quá trình Gaussian phức có trung bình bằng 0 được thể hiện bởi:

$$\begin{aligned} 2\sigma_y^{(r)^2} &= E[|y_n^{(r)}|^2] = \sum_{p=1}^P |\xi_{p,r}|^2 E[|s_n^{(p)}|^2] + E[|v_n^{(r)}|^2] \\ &= \sum_{p=1}^P |\xi_{p,r}|^2 2\sigma_s^2 + 2\sigma_v^2 \end{aligned} \quad (3.4)$$

$$\text{Trong đó: } \sigma_s^2 = E[|Re\{s_n^{(p)}\}|^2] = E[|Im\{s_n^{(p)}\}|^2] \quad (3.5)$$

$$\text{Và } \sigma_v^2 = E[|Re\{v_n^{(p)}\}|^2] = E[|Im\{v_n^{(p)}\}|^2] \quad (3.6)$$

tương ứng với các biểu tượng và các phương sai nhiễu.

3.2.2. Liên kết ROF

Khi đầu vào của chúng là $y^{(r)}$, thì đầu ra của chúng có thể cho bởi:

$$\begin{aligned} z^{(r)} &= f(y^{(r)}) \\ &= A(|y^{(r)}|) \exp(j(\theta(|y^{(r)}|) + \arg(y^{(r)}))) \end{aligned} \quad (3.7)$$

$$A(|y^{(r)}|) = \begin{cases} A_M \sin\left(\frac{\pi}{2A_M}|y^{(r)}|\right), & |y^{(r)}| < A_M \\ A_M, & |y^{(r)}| \geq A_M \end{cases} \quad (3.8)$$

Phương sai của phần thực và phần ảo của liên kết RoF phụ thuộc vào công suất đầu ra khi bão hòa, tức là: $\sigma_{RoF}^2 = \frac{A_M^2}{K_{RoF}}$ (3.9)

3.4. Kết quả thực hiện đánh giá khảo sát

3.4.1. Phân tích đánh giá hiệu ứng nhiễu phi tuyến

Tín hiệu bị biến dạng phi tuyến trong miền thời gian liên quan đến BS thứ r có thể bị phân tách thành tổng của hai thành phần không tương quan:

$$z^{(r)} = \alpha y^{(r)} + d^{(r)} \quad (3.10)$$

Trong đó $d^{(r)}$ biểu diễn biến dạng phi tuyến và α biểu diễn một yếu tố tỷ lệ có thể đạt được là:

$$\alpha = \frac{E[z^{(r)}y^{*(r)}]}{E[|y^{(r)}|^2]} = \frac{E[z^{(r)}y^{*(r)}]}{2\sigma_y^2} \quad (3.11)$$

Bằng cách xác định tự tương quan tín hiệu ở đầu vào của bộ điều chế MZ là $R_y(\tau)$, nó có thể chỉ ra tự tương quan tín hiệu đầu ra $R_z(\tau)$ được tính toán như công thức sau:

$$R_z(\tau) = \sum_{\gamma=0}^{+\infty} 2P_{2\gamma+1} \frac{(Re(R_y(\tau)))^{2\gamma+1} + j(Im(R_y(\tau)))^{2\gamma+1}}{R_y(0)^{2\gamma+1}} \quad (3.12)$$

Trong đó $2\gamma + 1$ là công suất liên quan đến IMP bậc $2\gamma + 1$, được định nghĩa là

$$P_{2\gamma+1} = \frac{\left(\int_{-\infty}^{+\infty} f(y)p(y)H_{2\gamma+1}\left(\frac{y}{\sqrt{2\sigma_y}}\right)dy\right)^2}{2^{2\gamma+1}(2\gamma+1)!} \quad (3.13)$$

Trong đó $2\gamma + 1 (\cdot)$ là đa thức Hermite của bậc $2\gamma + 1$.

Hình 3.4 cho thấy mối liên quan PSD giữa mô phỏng và lý thuyết cho một BS và kênh cụ thể khi xem xét bộ điều chế MZ có $\frac{A_M}{\sigma_y} = 3.0$.

Chúng ta có:

$$G_z(f) = |\alpha|^2 G_y(f) + G_d(f) \quad (3.14)$$

Trong miền tần số, nó có thể được biểu diễn bằng:

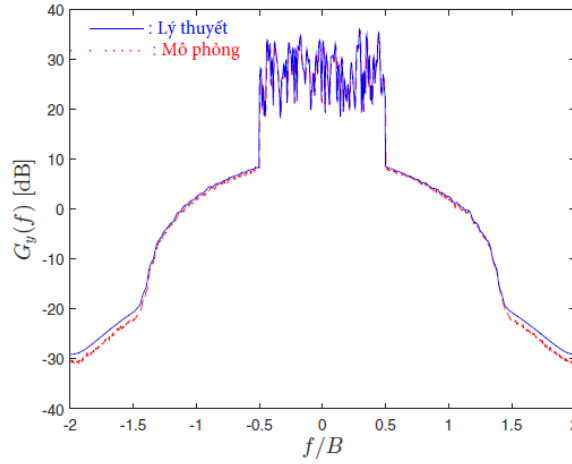
$$Z^{(r)} = [Z_0^{(r)} Z_1^{(r)} \dots Z_{N-1}^{(r)}]^T$$

$$Z_k^{(r)} = \alpha Y_k^{(r)} + D_k^{(r)} + W_k^{(r)} \quad (3.15)$$

Hình 3.5 cho thấy PSD mô phỏng và lý thuyết của méo phi tuyến $d^{(r)}$ liên quan đến một BS và kênh nhất định sử dụng bộ điều chế MZ với $\frac{A_M}{\sigma_y} = 3.0$.

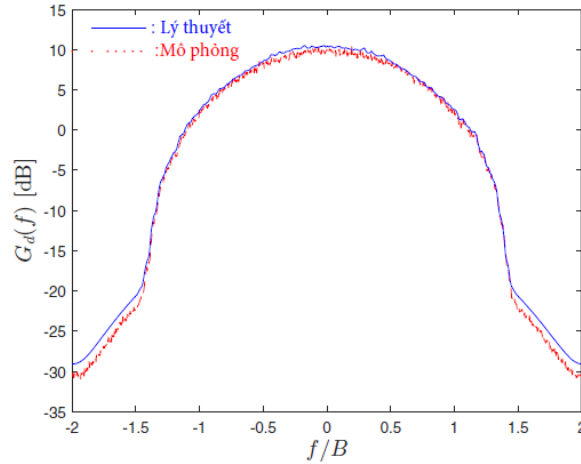
Người ta có thể định nghĩa SNR_{TOT} cho sóng mang con thứ k và kênh đã cho là:

$$SNR_{TOT_k} = \frac{|\alpha|^2 E[|Y_k|^2]}{E[|D_k|^2] + E[|W_k|^2]} \quad (3.16)$$

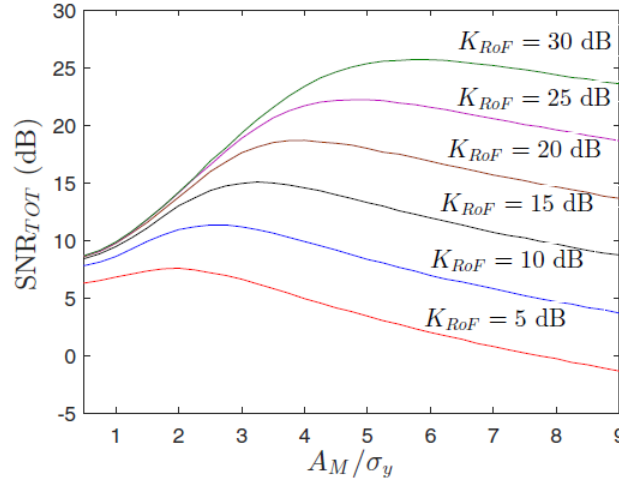


Hình 3. 4. PSD của tín hiệu bị méo phi tuyến $z^{(r)}$ có $\frac{A_M}{\sigma_y} = 3.0$ với một kênh.

Hình 3.6 cho thấy sự thay đổi của SNR_{TOT} trung bình



Hình 3. 5. PSD của tín hiệu bị méo phi tuyến $d^{(r)}$ có $\frac{A_M}{\sigma_y} = 3.0$ với một kênh.



Hình 3. 6. Sự thay đổi của SNR_{TOT} trung bình xem xét với các giá trị khác nhau của K_{RoF} .

4.4.2. Thiết kế Bộ thu

Ở đây sẽ đưa ra một thiết kế các máy thu mạnh hiệu quả có thể đáp ứng cho đặc tính phổ của biến dạng phi tuyến tạo ra bởi quá trình chuyển đổi điện và quang.

Lập khối DFE (IB-DFE):

Trên thực tế, đối với các máy thu MIMO, chúng ta có thể xem xét hai sơ đồ giám sát:

- MIMO-DFE hoặc phát hiện với loại bỏ xuyên nhiễu song song (PIC - parallel interference cancellation).
- DFE phân lớp thời gian - không gian (LST-DFE: Layered space-time DFE) hoặc phát hiện với loại bỏ xuyên nhiễu liên tiếp (SIC - successive interference cancellation).
- Mặc dù cấu trúc PIC nói chung phức tạp hơn, nhưng nó cho phép thiết kế song song, có thể thuận lợi từ quan điểm thực hiện.

Sơ đồ khối

Hình 3.7 minh họa sơ đồ khối liên quan đến quá trình giám sát, sơ đồ này thiết kế dựa trên khái niệm IB-DFE. Ở lần lặp thứ i , các ký hiệu dữ liệu ước tính liên quan đến người dùng $\{\hat{s}_n^{(p)}\}$ thứ p tương ứng với các quyết định của đầu ra máy dò miền thời gian $\{\tilde{s}_n^{(p)}\} = IDFT\{\tilde{S}_k^{(p)}\}$, trong đó IDFT là Biến đổi Fourier rời rạc ngược và $\tilde{s}_n^{(p)}$ được biểu diễn bằng

$$\tilde{S}_{k,p} = F_{k,p}^T Z_k - B_{k,p}^T \bar{S}_{k,p} \quad (3.23)$$

Đối với MT thứ p và sóng mang con k , MSE cho các mẫu miền tần số $\tilde{S}_{k,p}$ được cho bởi:

$$\theta_{k,p} = E \left[|\tilde{S}_k^{(p)} - S_k^{(p)}|^2 \right] = E \left[\left| F_{k,p}^T Z_k - B_{k,p}^T \bar{S}_k^{(p)} - S_k^{(p)} \right|^2 \right] \quad (3.24)$$

trong đó, tối thiểu hóa của nó là để:

$$\gamma_p = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{r=1}^R F_{k,p}^{(r)} H_{k,p}^{eq(r)} = 1 \quad (3.25)$$

với γ_p chỉ ra đáp ứng tần số kênh trung bình tổng thể. Áp dụng gradient (độ dốc) cho hàm Lagrange như sau: $J = \Theta_{k,p} + \lambda(\gamma_p - 1)$ (3.26)

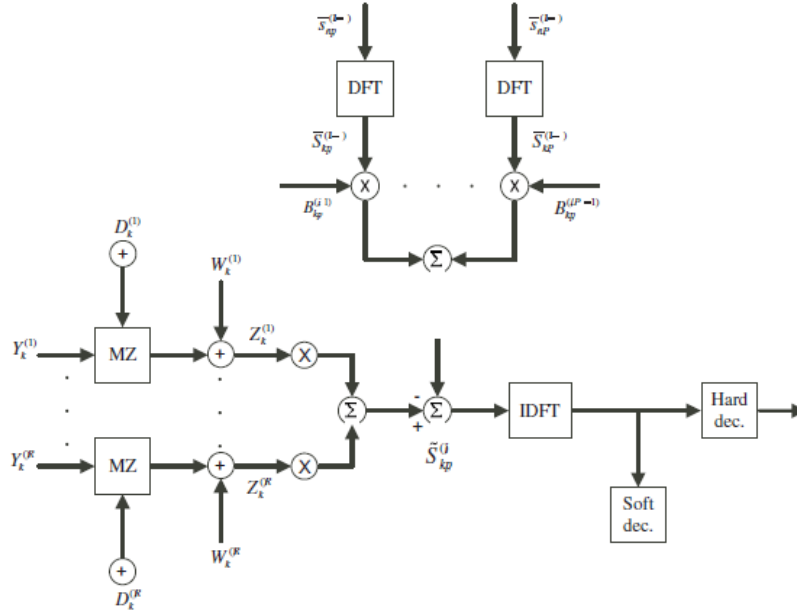
các hệ số tối ưu F_k và B_k được cho bởi:

$$F_k = k(H_k^H(I_P - P^2)H_k + D_k)^{-1}H_k^H \quad (3.27)$$

$$\text{Và} \quad B_k = \alpha H_k F_k - I_P \quad (3.28)$$

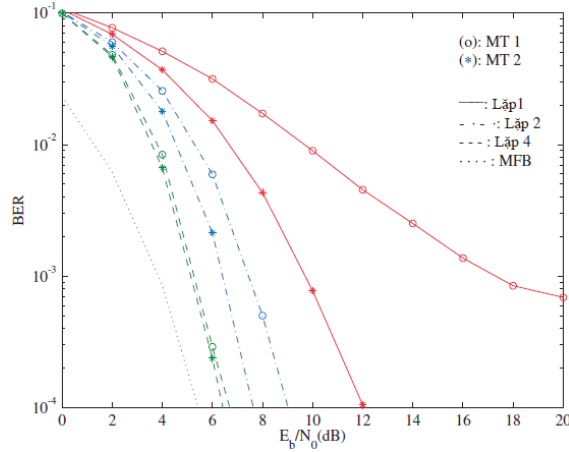
với D_k tương ứng với:

$$D_k = \text{diag} \left(\left\{ \frac{|\alpha|^2 \sigma_N^{(r)^2} + \sigma_D^{(r)^2}(k) + \sigma_{RoF}^{(r)^2}}{|\alpha|^2 \sigma_S^2}; r = 1, \dots, R \right\} \right) \quad (3.29)$$

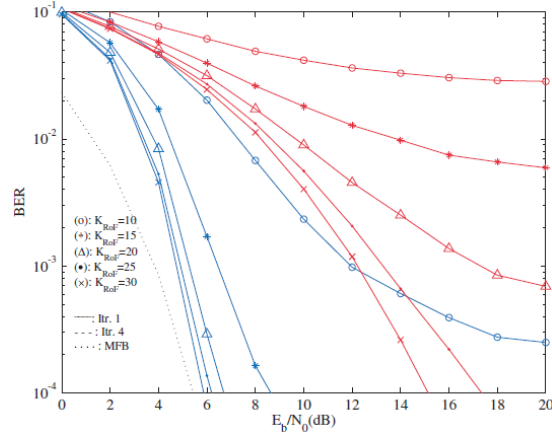


Hình 3. 7. Sơ đồ khối máy thu đa người dùng IB-DFE.

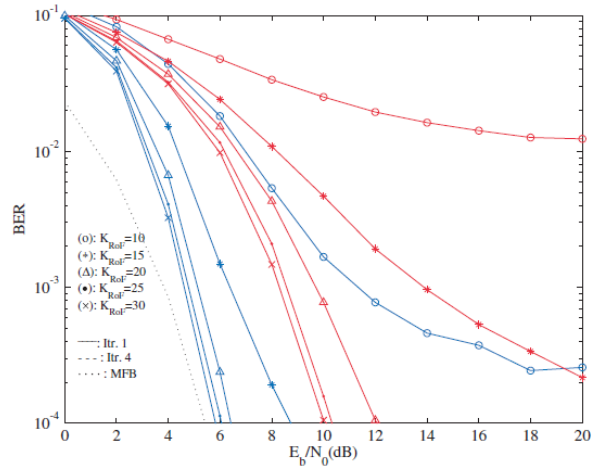
3.4.3. Kết quả thực hiện



Hình 3. 8. Hiệu suất BER đối với Bs cộng tác với $P = 2MT$, $R = 2BS$, $K_{RoF} = 20$ và $A_M = 4$



Hình 3. 9. Hiệu suất BER của Bs cộng tác với $P = 2$ MT, $R = 2$ BS và các giá trị khác nhau của $K_{RoF}(p = 1)$.



Hình 3. 10. Hiệu suất BER của Bs cộng tác với $P = 2$ MT, $R = 2$ BS và các giá trị khác nhau của $K_{RoF}(p = 2)$.

3.5. Kết luận chương 3

Trong chương này đã phân tích và tính toán đường lên của các hệ thống BS cộng tác, trong đó liên kết giữa mỗi BS và CPU được thực hiện thông qua kết nối RoF. Chuyển đổi quang và điện được thực hiện bởi một bộ điều chế MZ vốn có méo phi tuyến được trình bày. Ngoài ra, trong chương này còn đưa ra một sơ đồ tối ưu hóa giám sát để tối đa hóa SNR tương ứng. Sơ đồ thiết kế máy thu được đề xuất có tính đến cả hiệu ứng không dây và quang học đã được chứng minh là có thể đạt hiệu quả cao.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Hệ thống MMW-RoF đã được xem là giải pháp đầy tiềm năng để tăng dung lượng, vùng phủ, băng tần, cũng như giảm chi phí cho các mạng truy nhập vô tuyến băng rộng trong tương lai (mạng di động 5G).

Nội dung luận văn đã đạt được mục tiêu đề ra là: tìm hiểu về công nghệ và ứng dụng của truyền dẫn thông tin vô tuyến qua sợi quang (RoF); phân tích các tham số ảnh hưởng đến hiệu suất hệ thống RoF; phân tích, đưa ra đề xuất thiết kế các máy thu mạnh tận dụng các đặc điểm thống kê của méo phi tuyến.

Dự kiến kết quả đóng góp của luận văn là phân tích và tính toán đường lên của các hệ thống Bs cộng tác, trong đó liên kết giữa mỗi BS và CPU được thực hiện thông qua kết nối RoF. Đưa ra đề xuất thiết kế các máy thu mạnh tận dụng các đặc điểm thống kê của méo phi tuyến.

Hướng nghiên cứu tiếp theo của luận văn sẽ tập trung vào nghiên cứu ứng dụng công nghệ MMW-RoF cho các kịch bản cụ thể có tính cấp thiết cao như mạng truy nhập vô tuyến băng rộng cho đường sắt cao tốc, tàu điện ngầm hay cho các tầng hầm trong tòa nhà.