

# Luận văn

## Kỹ thuật Radio over Fiber

## Lời mở đầu

Mạng truy nhập là nút cuối cùng trong mạng viễn thông, là thành phần giao tiếp với con người trong quá trình đưa dịch vụ tới người sử dụng cuối và là thành phần tất yếu của mạng. Hiện nay, mạng truy nhập đang ngày càng phát triển không ngừng với nhiều loại hình khác nhau như mạng truy nhập cáp đồng, mạng truy nhập sợi quang, mạng truy nhập vô tuyến,... Mỗi loại hình của mạng đều có những đặc điểm khác nhau, tuy nhiên mạng truy nhập vô tuyến đang được đề ý nhiều nhất và phát triển một cách nhanh chóng mà chúng ta có thể thấy được chung quanh như mạng thông tin di động 2G, 3G, mạng LAN không dây cho các kết nối trong nhà với tên gọi WiFi, hay xa hơn nữa đó là mạng truy nhập vô tuyến WiMax đang được phát triển và hậu thuẫn bởi Intel, Nokia, Motorola,... mà cạnh tranh với nó có thể là công nghệ HSPA (High-Speed Packet Access) dựa trên nền 3G được sự hỗ trợ của AT&T. Hay thậm chí các mạng NGN ngày nay cũng được phát triển theo chiều hướng hỗ trợ wireless. Đó là nhờ những ưu điểm vượt trội của kỹ thuật không dây mang lại, đạt tính di động cao mà các kỹ thuật truy nhập hữu tuyến không thể có được. Mặc khác, với sự phát triển của mạng truy nhập băng thông rộng thì mạng truy nhập vô tuyến gần bắt đầu gặp phải những nhược điểm của mình, tốc độ thấp với vùng phủ sóng hẹp. Vì vậy, ngày càng có nhiều công nghệ và kỹ thuật được nghiên cứu và phát triển để khắc phục nhược điểm này, mang lại cho người dùng một mạng truy nhập vô tuyến băng thông rộng.

Bên cạnh đó, sợi quang ngày nay cũng đang được sử dụng trở nên phổ biến hơn bởi ưu điểm là băng thông rộng. Tuy có những nhược điểm nhất định trong lắp đặt, bảo dưỡng cũng như giá thành của sợi quang và thiết bị đi kèm còn đắt hơn so với cáp đồng nhưng với băng thông lớn của sợi quang thì không có một môi trường nào có thể so sánh được. Vì vậy, sợi quang được xem là cơ sở để triển khai các mạng

băng thông rộng mà hiện nay ta có thấy được như mạng đường trục, FTTx,... các ứng dụng trên sợi quang ngày càng nhiều.

Một trong những phương pháp để đạt được mạng truy nhập vô tuyến băng thông rộng là kết hợp với kỹ thuật truy nhập bằng sợi quang, với ưu điểm là băng thông lớn và cự ly xa. Một trong những sự kết hợp đó là kỹ thuật Radio over Fiber, một kỹ thuật mà hiện nay được coi là nền tảng cho mạng truy nhập không dây băng thông rộng trong tương lai. Tuy kỹ thuật RoF chỉ mới trong giai đoạn nghiên cứu, phát triển và thử nghiệm nhưng những kết quả mà nó mang lại rất khả quan, khiến nhiều người tin tưởng đó sẽ là một kỹ thuật cho các ứng dụng mạng truy nhập vô tuyến trong tương lai.

Vì vậy, trong đề án này, em sẽ tìm hiểu về kỹ thuật Radio over Fiber cũng như những ứng dụng của nó trong mạng truy nhập vô tuyến. Nội dung của đề án bao gồm 3 phần:

- Tìm hiểu về kỹ thuật Radio over Fiber.
- Kết hợp kỹ thuật Radio over Fiber và mạng truy nhập không dây
- Phân tích hoạt động của 1 tuyến RoF cụ thể

Để thực hiện những yêu cầu đã đề ra của đề án, các vấn đề trên sẽ lần lượt được trình bày trong các chương.

Chương 1, sẽ nói về kỹ thuật Radio over Fiber, kỹ thuật đó là gì và vì sao có kỹ thuật này. Chương này sẽ tìm hiểu các kỹ thuật để truyền dẫn sóng radio qua môi trường là sợi quang. Ở mỗi kỹ thuật sẽ có những ưu nhược điểm riêng của nó, tùy vào những ưu nhược điểm riêng mà nó cũng sẽ có những ứng dụng trong từng môi trường cụ thể, sự so sánh các ưu nhược điểm của mỗi kỹ thuật sẽ được đưa ra. Cuối chương đó là tìm hiểu về sự kết hợp của kỹ thuật trên với kỹ thuật WDM, một kỹ thuật không chỉ khai thác hiệu quả băng thông của sợi quang mà làm còn tăng độ mềm dẻo cấu trúc mạng. Đây là chương trọng tâm của quyển đề án này.

Các ứng dụng của kỹ thuật Radio over Fiber trong mạng truy nhập vô tuyến sẽ được trình bày trong chương 2. Các ứng dụng đó sẽ được trình bày cụ thể trong 3

mạng cụ thể là mạng wireless LAN dùng ở băng tần mm, mạng truyền thông RVC cơ sở hạ tầng của mạng ITS, và mạng truy nhập vô tuyến ở vùng ngoại ô và nông thôn. Qua đó kiến trúc của mạng Radio over Fiber sẽ được mô tả trong mỗi phần cũng như những khó khăn và vấn đề cần khắc phục. Đặc biệt là tính đa dịch vụ của kỹ thuật RoF trong các kiến trúc mạng nên các dịch vụ sẽ được triển khai một cách linh hoạt và dễ dàng hơn trên cùng một mạng.

Ở chương 3 sẽ trình bày hoạt động của một tuyến Radio over Fiber cụ thể. Trong phần này sẽ thấy được sự kết hợp của các kỹ thuật mô tả ở chương 1 để tạo nên một tuyến truyền dẫn Radio over Fiber cụ thể, hoạt động của các thành phần trong tuyến sẽ được mô tả một cách cụ thể. Các kết quả mô phỏng cũng được trình bày cụ thể trong chương này để so sánh với phân lý thuyết đã mô tả.

Phần cuối cùng dành để tổng kết những vấn đề đã làm được trong đồ án cũng như hạn chế và hướng phát triển của đề tài.

## **Chương 1**

# **KỸ THUẬT RADIO OVER FIBER**

## **1.1 Radio over Fiber – Định nghĩa**

### **1.1.1 Định nghĩa**

RoF là phương pháp truyền dẫn tín hiệu vô tuyến đã được điều chế trên sợi quang.

RoF sử dụng các tuyến quang có độ tuyến tính cao để truyền dẫn các tín hiệu RF (analog) đến các trạm thu phát.

### **1.1.2 Các thành phần cơ bản của tuyến quang sử dụng RoF**

- Mobile Host (MH): đó là các thiết bị di động trong mạng đóng vai trò là các thiết bị đầu cuối. Các MH có thể là điện thoại di động, máy tính xách tay có tích hợp chức năng, các PDA, hay các máy chuyên dụng khác có tích hợp chức năng truy nhập vào mạng không dây.

- Base Station (BS): có nhiệm vụ phát sóng vô tuyến nhận được từ CS đến các MH, nhận sóng vô tuyến nhận được từ MH truyền về CS. Mỗi BS sẽ phục vụ một microcell. BS không có chức năng xử lý tín hiệu, nó chỉ đơn thuần biến đổi từ thành phần điện/quang và ngược lại để chuyển về hoặc nhận từ CS. BS gồm 2 thành phần quan trọng nhất là antenna và thành phần chuyển đổi quang điện ở tần số RF. Tùy bán kính phục vụ của mỗi BS mà số lượng BS để phủ sóng một vùng là nhiều hay ít. Bán kính phục vụ của BS rất nhỏ (vài trăm mét hoặc thấp hơn nữa chỉ vài chục mét) và phục vụ một số lượng vài chục đến vài trăm các MH. Trong kiến trúc mạng RoF thì BS phải rất đơn giản (do không có thành phần).

- Central Station (CS): là trạm xử lý trung tâm. Tùy vào khả năng của kỹ thuật RoF mà mỗi CS có thể phục vụ các BS ở xa hàng chục km, nên mỗi CS có thể nối đến hàng ngàn các BS. Do kiến trúc mạng tập trung nên tất cả các chức năng như định tuyến, cấp phát kênh,... đều được thực hiện và chia sẻ ở CS vì thế có thể nói CS là thành phần quan trọng nhất trong mạng RoF (cũng giống như tổng đài trong mạng điện thoại). CS được nối đến các tổng đài, server khác.

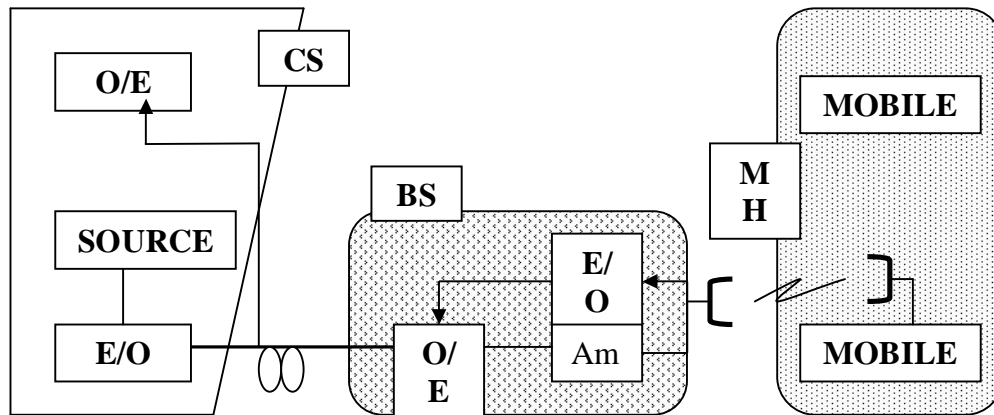
- Một tuyến quang nối giữa BS và CS nhằm truyền dẫn tín hiệu giữa chúng với nhau.

Các thành phần của mạng được biểu diễn như hình vẽ 1.1.

### 1.1.3 Tuyến RoF

Một tuyến RoF có kiến trúc như trên hình sẽ bao gồm ít nhất là thành phần biến đổi sóng vô tuyến sang quang, thành phần chuyển đổi quang thành sóng vô tuyến, một tuyến quang (song hướng hay đơn hướng). Các thành phần thuộc kiến trúc RoF không có chức năng quang như ăng-ten thu phát vô tuyến thuộc phần vô tuyến, chức năng xử lý giao tiếp của CS thuộc phần mạng ta không xét ở đây.

Kỹ thuật RoF được khảo sát ở đây bao gồm tất cả các kỹ thuật phát và truyền dẫn sóng radio từ CS tới BS trên sợi quang và ngược lại.



**Hình 1.1 CS – BS – MH một microcell trong kiến trúc RoF**

## **1.2 Xu thế mạng truy nhập vô tuyến hiện tại và sự chuyển sang băng tần milimet**

### **1.2.1 Mạng truy nhập vô tuyến hiện tại**

Mạng truy nhập vô tuyến hiện nay có thể được chia làm 2 loại là vô tuyến di động (mobile) như mạng thông tin di động 1G, 2G, 3G, WiMax... và vô tuyến cố định (fixed) như WiFi. Trong các mạng này thì người ta chú ý nhất đến 2 yếu tố đó là băng thông và tính di động. So với mạng cố định thì mạng mobile có tính di động cao hơn nhưng bù lại thì băng thông của nó lại thấp hơn ví dụ WiFi có thể đạt tới tốc độ 108Mbps trong khi mạng 3G xu hướng chỉ đạt được 2Mbps còn mạng WiMax có thể có tốc độ cao hơn, tính di động cũng cao nhưng vẫn còn trong giai đoạn thử nghiệm nhờ sử dụng các kỹ thuật mới tiên tiến hơn. Như vậy ta thấy rằng xu hướng của các mạng vô tuyến ngày nay là tính di động và băng thông ngày càng tăng để đạt được mạng băng thông rộng

### **1.2.2 Sự kết hợp giữa sợi quang và vô tuyến**

Để đạt được mạng băng thông rộng, ngày nay các công nghệ truy nhập vô tuyến đang hướng dần về kiến trúc mạng cellular, tăng tính di động cho các thiết bị trong mạng. Trong khi đó để tăng băng thông thì người ta áp dụng các kỹ thuật truy nhập tiên tiến hơn như CDMA, OFDM,... và có xu hướng, a. *giảm kích thước các cell lại để tăng số user lên do số lượng trạm thu phát tăng lên theo*, b. *chuyển sang hoạt động ở băng tần microwave/milimeterwave (mm-wave) để tránh sự chồng lấn phổ với các băng tần sẵn có và mở rộng băng thông hơn nữa*. Hai xu hướng trên có tác động qua lại một cách chặt chẽ. Đối với băng tần mm ngoài những ưu điểm của nó như: kích thước ăng ten nhỏ, băng thông lớn, tuy nhiên ở tần số mm suy hao của nó trong không gian rất lớn. Suy hao không gian được biểu diễn bởi công thức sau:

$$L_{dB} = 32 + 20\log f + 20\log d \quad (1.2.1)$$

trong đó  $f$  là tần số tính bằng MHz còn  $d$  là khoảng cách tính bằng km.

Dựa vào công thức trên ta thấy rằng khi tần số tăng lên bao nhiêu lần thì bán kính phủ sóng của một trạm thu phát cũng bị giảm đi bấy nhiêu lần. Đối với băng tần mm (26GHz – 100GHz) thì lúc này ta thấy suy hao là rất lớn. Ở băng tần 60GHz người ta cố gắng để mỗi trạm thu phát (Base Station) có bán kính phục vụ trong vòng 300m gọi là các microcell. Ta thử làm 1 bài toán tính số lượng trạm thu phát trong một bán kính phục vụ 10km với giả sử một trạm thu phát phục vụ một microcell:

Diện tích mỗi microcell sẽ là  $S_{microcell} \approx \pi r^2 = \pi \times 300^2 \approx 300.000m^2$ .

Diện tích vùng phủ sóng sẽ là  $S = \pi \times 10000^2 = 300.000.000m^2$ .

Số lượng microcell sẽ là  $n = 1000$  trạm

Số lượng microcell này sẽ tăng nhanh hơn nữa nếu bán kính tăng (tỉ lệ thuận với bình phương bán kính).

Với một số lượng BS lớn như thế thì rõ ràng giá thành của mỗi BS sẽ là một vấn đề phải giải quyết trong bài toán kinh tế. Để giảm giá thành cho các BS thì người ta a. cấu trúc BS thật đơn giản b. đưa ra kiến trúc mạng tập trung. Với kiến trúc mạng tập trung, các chức năng như xử lý tín hiệu, định tuyến, chuyển giao, định tuyến,... được thực hiện tại trạm trung tâm CS (Central Station), mỗi CS này phục vụ càng

nhiều BS càng tốt, nhờ kiến trúc tập trung này thì rõ ràng các BS thật sự đơn giản, nhiệm vụ của chúng bây giờ chỉ còn là phát các tín hiệu vô tuyến nhận được từ CS và chuyển các tín hiệu nhận được từ MH (mobile host) về CS. So với các BTS trong mạng cellular đã tìm hiểu ở chương 1 thì các BS có chức năng đơn giản hơn nhiều vì ngoài chức năng thu phát sóng thông thường thì các BTS này có thêm chức năng xử lý tín hiệu (giải điều chế rồi truyền về các BSC bằng luồng T1/E1 được nối bằng cáp quang hay vô tuyến).

Để kết nối CS với các BS, người ta sử dụng sợi quang với những ưu điểm không thể thay thế được đó là băng thông lớn và suy hao bé, mỗi sợi quang có thể truyền được tốc độ hàng trăm Gbps với chiều dài lên đến hàng chục km. Các kỹ thuật để truyền dẫn tín hiệu vô tuyến từ CS tới BS và ngược lại được gọi là kỹ thuật RoF. Còn mạng truy nhập vô tuyến dựa trên kỹ thuật RoF được gọi là mạng truy nhập vô tuyến RoF mà ta sẽ gọi tắt là mạng RoF.

### 1.2.3 Các đặc điểm quan trọng của mạng RoF

- Các chức năng điều khiển như ấn định kênh, điều chế, giải điều chế được tập trung ở CS nhằm đơn giản hóa cấu trúc của BS. Các BS có chức năng chính đó là chuyển đổi quang/điện, khuếch đại RF và chuyển đổi điện quang.
- Kiến trúc mạng tập trung cho phép khả năng cấu hình tài nguyên và cấp băng thông động (thành phần này có thể sử dụng băng thông thành phần khác nếu băng thông đó thực sự rỗi) cho phép sử dụng băng thông hiệu quả hơn. Hơn nữa nhờ tính tập trung nên khả năng nâng cấp và quản lý mạng đơn giản hơn.
- Do cấu trúc BS đơn giản nên sự ổn định cao hơn và quản lý số BS này trở nên đơn giản, ngoại trừ số lượng lớn.
- Đặc biệt là kỹ thuật RoF trong suốt với các giao diện vô tuyến (điều chế, tốc độ bit,...) và các giao thức vô tuyến nên mạng có khả năng triển khai đa dịch vụ trong cùng thời điểm.
- Nếu khắc phục các nhược điểm trong RoF thì một CS có thể phục vụ được các BS ở rất xa, tăng bán kính phục vụ của CS.

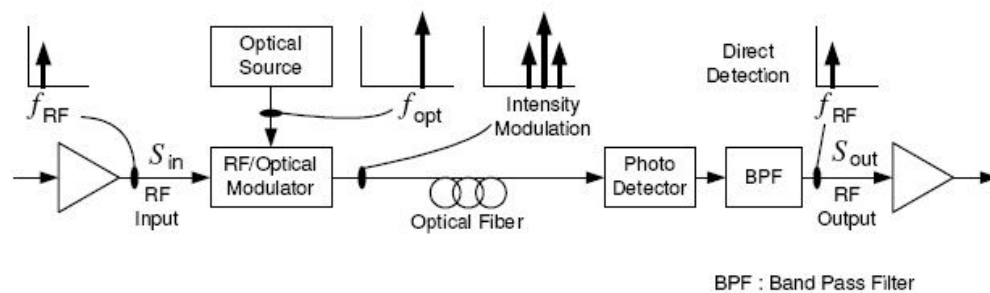


## 1.3 Kỹ thuật RoF – Mở đầu

### 1.3.1 Giới thiệu về truyền dẫn RoF

Không giống với mạng truyền dẫn quang thông thường, các tín hiệu được truyền đi thường ở dạng số, RoF là một hệ thống truyền tín hiệu tương tự bởi vì nó chuyển tải các tín hiệu dạng vô tuyến từ CS tới BS và ngược lại. Thực tế thì các tín hiệu truyền dẫn có thể ở dạng vô tuyến RF hay tần số trung tần IF hay băng tần gốc BB. Trong trường hợp tín hiệu IF hay BB thì có thêm các thành phần mới để đưa từ tần số BB hay IF lên dạng RF ở BS. Trong trường hợp lý tưởng thì ngõ ra của tuyến RoF sẽ cho ta tín hiệu giống như ban đầu. Nhưng trên thực tế thì dưới sự tác động của các hiện tượng phi tuyến, đáp ứng tần số có hạn của laser và hiện tượng tán sắc trong sợi quang mà tín hiệu ngõ ra bị sai khác so với ngõ vào gây ra một số giới hạn trong truyền dẫn như tốc độ, cự ly tuyến. Hiện tượng này càng nghiêm trọng hơn trong tuyến RoF này vì tín hiệu truyền đi có dạng analog, do đó các yêu cầu về độ chính xác là cao hơn so với các hệ thống truyền dẫn số. Đây là những khó khăn trong triển khai kỹ thuật RoF mà phần này sẽ đề cập đến.

### 1.3.2 Kỹ thuật truyền dẫn RoF



**Hình 1.2** Sử dụng phương pháp điều chế với sóng mang quang

Hình vẽ 1.2 giới thiệu một trong những cách truyền sóng vô tuyến trên sợi quang đơn giản nhất. Đầu tiên, tín hiệu dữ liệu được điều chế lên tần số vô tuyến RF. Tín hiệu ở tần số RF này được đưa vào điều chế (cường độ) sang dạng quang để truyền

đi. Ở đây, ta sử dụng phương pháp điều chế cường độ đơn giản nhất là điều chế trực tiếp. Như vậy, sóng vô tuyến được điều chế lên tần số quang, sử dụng tần số quang để truyền đi trong sợi quang. Tại phía thu, ta sử dụng phương pháp tách sóng trực tiếp, tách thành phần sóng mang quang, đưa tín hiệu quang trở lại dạng điện dưới tần số RF. Một bộ lọc thông thấp ở phía cuối đầu thu nhằm lọc những nhiễu gây ra trên đường truyền.

Cường độ trường điện từ  $E(t)$  trên sợi quang được biểu diễn bởi công thức sau đây:

$$E(t) = S_{RF}(t)e^{j\omega_{opt} + \varphi} \quad (1.3.1)$$

Trong đó  $S_{RF}(t)$  là tín hiệu cần truyền ở tần số vô tuyến chưa điều chế,  $\omega_{opt}$  là tần số quang và  $\varphi$  là góc pha của tín hiệu quang.

### 1.3.3 Các phương pháp điều chế lên tần số quang

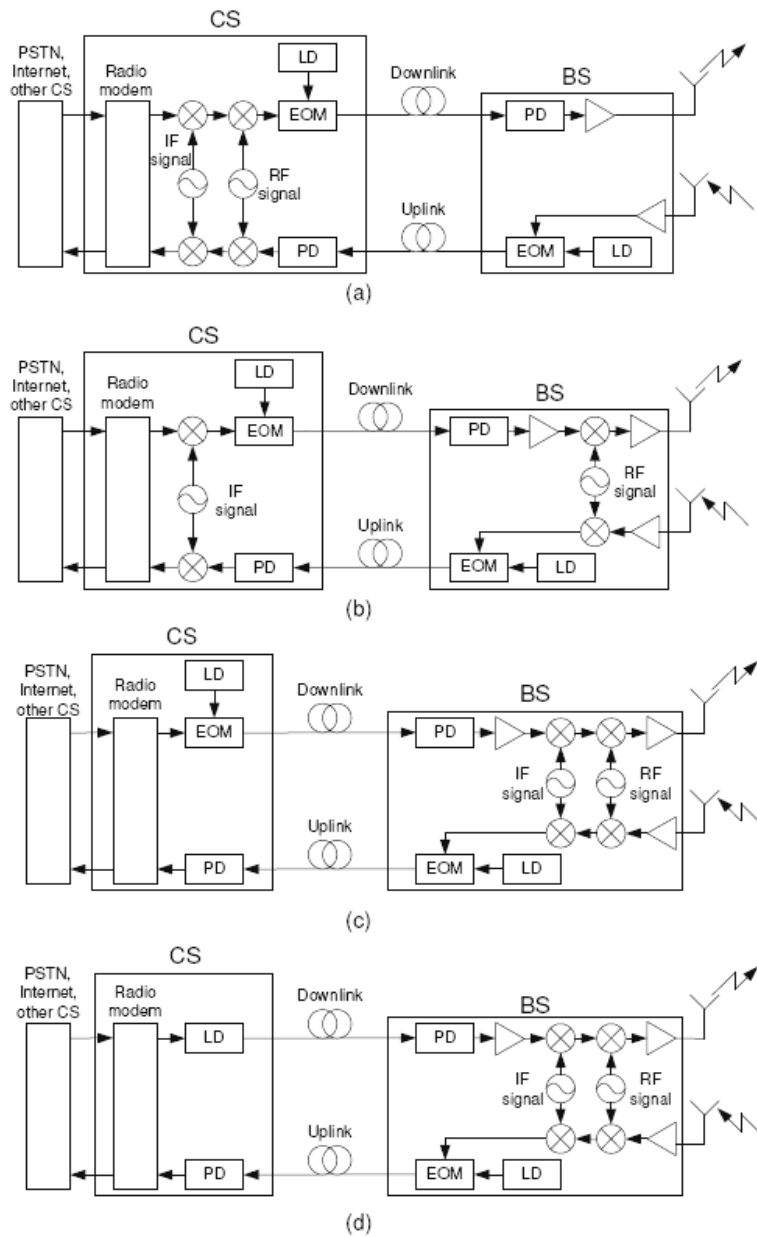
Để truyền tín hiệu RF trên sợi quang người ta sử dụng phương pháp điều chế cường độ. Tức là sóng quang có cường độ thay đổi theo cường độ của tín hiệu RF.

Có 3 phương pháp để truyền dẫn tín hiệu RF trên sợi quang bằng phương pháp điều chế cường độ là: (1) điều chế cường độ trực tiếp (2) điều chế ngoài (3) điều chế trộn nhiều ánh sáng kết hợp(heterodyne). Ở phương pháp thứ nhất, công suất nguồn laser phát ra được điều khiển trực tiếp bởi cường độ dòng điện của tín hiệu RF. Ưu điểm phương pháp này là đơn giản và rẻ tiền được ứng dụng rộng rãi trong các mạch phát laser hiện nay. Tuy nhiên, do đáp ứng của laser, tần số RF điều chế bị hạn chế ở tầm 10GHz. Có một số laser có thể hoạt động ở tầm cao hơn 40Ghz nhưng nó có giá thành khá mắc và không phổ biến trên thị trường. Phương pháp điều chế ngoài là phương pháp sử dụng một nguồn sáng chưa điều chế kết hợp với một bộ điều chế cường độ nguồn quang ngoài. Ưu điểm của phương pháp này là cho phép điều chế ở tần số cao hơn so với phương pháp điều chế trực tiếp. Tuy nhiên do suy hao chèn của phương pháp này lớn nên hiệu suất của nó không cao. Phương pháp cuối cùng, tín hiệu RF được điều chế sang dạng quang bằng phương

pháp *heterodyne*, trộn các sóng ánh sáng kết hợp để đưa tín hiệu RF lên miền quang. Hai phương pháp này sẽ được thảo luận ở các phần sau.

#### **1.4 Cấu hình tuyến RoF**

Như ta đã biết, mục tiêu của mạng RoF là làm sao để cấu trúc của các BS càng đơn giản càng tốt. Các thành phần của mạng có thể chia sẻ được tập trung ở CS. Vì vậy mà cấu hình của một tuyến RoF quyết định sự thành công của mạng RoF. Ở đây, có 4 cấu hình tuyến thường được sử dụng như hình 1.3. Trên thực tế có rất nhiều cải tiến để hoàn thiện mỗi cấu hình và phù hợp với yêu cầu thực tế. Điểm chung nhất của 4 cấu hình này là ta thấy rằng cấu trúc BS không có một bộ điều chế hay giải điều chế nào cả. Chỉ có CS mới có các thiết bị đó, nằm trong Radio modem. BS chỉ có những chức năng đơn giản để có cấu trúc đơn giản nhất.



**Hình 1.3 Các cấu hình tuyến trong RoF.**

Ở tuyến downlink từ CS tới BS, thông tin được điều chế bởi thiết bị “Radio modem” lên tần số RF, IF hay giữ nguyên ở BB (base band). Sau đó chúng mới được điều chế lên miền quang bởi LD và truyền đi. Nếu sử dụng phương pháp điều chế trực tiếp thì ta chỉ truyền được tín hiệu ở tần số IF hay BB. Còn nếu truyền ở

tần số RF ở băng tần mm thì một bộ điều chế ngoài được sử dụng. Tín hiệu quang được điều chế truyền qua sợi quang với suy hao nhỏ và nhiễu thấp tới BS. Ở BS, tín hiệu ở băng tần RF, IF hay BB sẽ được khôi phục lại bằng PD (tách sóng trực tiếp). Tín hiệu được khôi phục sẽ được đẩy lên miền tần số RF và bức xạ ra không gian bởi anten tại BS tới các MH. Chức năng giải điều chế và khôi phục thông tin sẽ được thực hiện tại các MH này.

Ở cấu hình a, các bộ chuyển đổi tần số nằm ở CS nên cấu trúc của BS rất đơn giản, chỉ bao gồm bộ chuyển đổi điện/quang, quang/điện. Tuy nhiên sóng quang truyền từ CS đến BS có tần số cao (tần số RF) nên chịu ảnh hưởng của tán sắc lớn vì thế khoảng cách từ CS đến BS ngắn, chỉ khoảng vài km. Tương tự cho cấu hình b,c thì cấu trúc BS tuy phức tạp hơn vì có thêm bộ chuyển đổi tần số BB/IF/RF nhưng bù lại khoảng cách từ CS đến BS lại xa hơn so với cấu hình a rất nhiều.

Cấu hình d chỉ sử dụng cho các trạm BS sử dụng tần số thấp (IF) trong cấu hình IF over Fiber truyền đi trên sợi quang. Với tần số thấp nên bộ điều chế ngoài không cần được sử dụng. Điều này chỉ giúp làm giảm giá thành của CS đi nhưng BS vẫn có cấu trúc tương đối phức tạp. Cấu hình này chỉ sử dụng truyền sóng IF với phương pháp điều chế trực tiếp.

*Hiện nay có rất nhiều nghiên cứu về kỹ thuật phát và truyền sóng mm, bao gồm cả các bộ phát quang điều chế sóng RF với nhiễu pha thấp và khả năng hạn chế hiện tượng tán sắc trên sợi quang.*

*Trong mạng RoF, người ta sử dụng các kỹ thuật sau để phát và truyền dẫn các sóng milimet trên tuyến quang.*

1. Điều chế trộn nhiều sóng quang

2. Điều chế ngoài

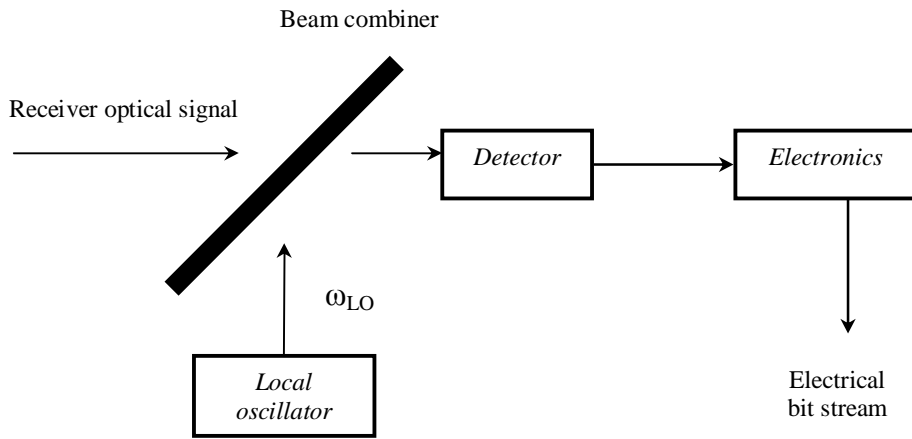
3. Kỹ thuật nâng và hạ tần

4. Bộ thu phát quang

*Ta sẽ tìm hiểu các kỹ thuật trên trong các phần tiếp theo.*

## **1.5 Kỹ thuật điều chế trộn nhiều sóng quang (optical heterodyne)**

Trong kỹ thuật optical heterodyne, hai hay nhiều tín hiệu quang được truyền đồng thời và chúng có tính quan hệ với nhau tới đầu thu. Và một trong số chúng kết hợp với nhau (được gọi là tích với nhau) sẽ tạo ra được tín hiệu vô tuyến ban đầu. Ví dụ 2 tín hiệu quang được phát ở băng tần ở chung quanh bước sóng 1550nm có khoảng cách rất nhỏ 0.5nm. Tại đầu thu, sự kết hợp 2 sóng quang này bằng kỹ thuật heterodyne và tạo ra một tín hiệu điện ở tần số 60Ghz ban đầu mà ta cần truyền đi. Sơ đồ khối phía thu của kỹ thuật được mô tả trong hình 1.4



**Hình 1.4** Sơ đồ khối kỹ thuật tách sóng heterodyne

### 1.5.1 Nguyên lý

Cường độ của một tín hiệu quang dưới dạng phức có dạng:

$$E_s = A_s \exp[-i(\omega_s t + \varphi_s)] \quad (1.5.1)$$

Trong đó  $\omega_s$  là tần số sóng mang,  $A_s$  là biên độ và  $\varphi_s$  là pha của tín hiệu.

Tương tự cường độ của tín hiệu tham chiếu có dạng

$$E_{ref} = A_{ref} \exp[-i(\omega_{ref} t + \varphi_{ref})] \quad (1.5.2)$$

với  $A_{ref}$ ,  $\omega_{ref}$ ,  $\varphi_{ref}$  lần lượt là biên độ, tần số và pha của tín hiệu tham chiếu. Trong trường hợp này ta giả sử rằng cả tín hiệu gốc và tín hiệu tham chiếu phân cực giống nhau để chúng có thể kết hợp tại PD ở đầu thu. Như ta biết rằng, công suất thu được ở PD có dạng  $P = K|E_s + E_{ref}|^2$  trong đó  $K$  được gọi là hằng số tỷ lệ của PD.

Như vậy ta có:

$$\begin{aligned}
 P(t) &= K \left| A_s \cos(\omega_s t + \varphi_s) + iA_s \sin(\omega_s t + \varphi_s) \right. \\
 &\quad \left. + A_s \cos(\omega_{ref} t + \varphi_{ref}) + iA_{ref} \sin(\omega_{ref} t + \varphi_{ref}) \right|^2 \\
 &= K \left| A_s \cos(\omega_s t + \varphi_s) + A_{ref} \cos(\omega_{ref} t + \varphi_{ref}) \right. \\
 &\quad \left. + i(A_s \sin(\omega_s t + \varphi_s) + A_{ref} \sin(\omega_{ref} t + \varphi_{ref})) \right|^2 \\
 &= K(A_s^2 + A_{ref}^2 + 2A_s A_{ref} \cos((\omega_s - \omega_{ref})t + \varphi_s - \varphi_{ref})) \\
 &= P_s + P_{ref} + 2\sqrt{P_s P_{ref}} \cos(\omega_0 t + \varphi_s - \varphi_{ref}) \tag{1.5.3}
 \end{aligned}$$

Trong đó:  $P_s = KA_s^2$ ,  $P_{ref} = KA_{ref}^2$ ,  $\omega_0 = \omega_s - \omega_{ref}$ . Đôi khi người ta ký hiệu  $\omega_0$  là  $\omega_{IF}$  được gọi là tần số (góc) trung tần. Lý do nó được gọi là tần số trung tần bởi vì thông thường  $\omega_0$  và  $\omega_{ref}$  rất gần nhau nên hiệu của chúng là  $\omega_{IF}$  thường nhỏ hơn khá nhiều so với  $\omega_0$  và  $\omega_{ref}$ , và được gọi là tần số trung tần.

- Nếu  $\omega_0 = 0$  thì người ta gọi đây là kỹ thuật homodyne.

Từ công thức 1.5.3 ta có

$$P(t) = P_{ref} + 2\sqrt{P_s P_{ref}} \cos(\varphi_s - \varphi_{ref}) \tag{1.5.4}$$

vì thông thường  $P_s \ll P_{ref}$ .

Dòng điện sau PD có dạng

$$I(t) = RP(t) = I_{ref} + 2R\sqrt{P_s P_{ref}} \text{ với } \varphi_s = \varphi_{ref}. \tag{1.5.5}$$

Do  $I_{ref}$  thường cố định nên người ta dễ dàng tách ra được thành phần tín hiệu homodyne bằng một mạch so sánh quyết định ngưỡng:

$$I_{\text{hom}}(t) = 2R\sqrt{P_s P_{ref}} \tag{1.5.6}$$

Từ công thức trên ta thấy ưu điểm của phương pháp tách sóng homodyne đó là: thứ nhất dòng điện ngõ ra lớn nhất nếu ta triệt bỏ pha của sóng tới và sóng tham chiếu, nên cho tỉ số  $SNR$  cao. Thứ hai là thành phần thu được không mang thông tin tần số và pha, chỉ phụ thuộc vào biên độ, nên nó rất phù hợp với phương pháp tách sóng trực tiếp thường không mang thông tin về tần số và pha.

Tuy nhiên nhược điểm của nó là phải đồng bộ về pha lẫn tần số cho cả sóng tín hiệu lẫn sóng tham chiếu. Điều này được thực hiện bằng một vòng khóa pha quang.

- Nếu  $\omega_s \neq 0$  thì đây được gọi là kỹ thuật heterodyne:

$$I(t) = RP(t) = I_{ref} + 2R\sqrt{P_s P_{ref}} \cos(\omega_0 t + \Delta\varphi) \quad (1.5.7)$$

Khi đó thành phần heterodyne là:

$$I_{het}(t) = 2R\sqrt{P_s P_{ref}} \cos(\omega_0 t + \Delta\varphi) \quad (1.5.8)$$

Lúc này thành phần tín hiệu sẽ được đại diện bởi biên độ, tần số và pha của sóng mang IF. So với kỹ thuật homodyne thì kỹ thuật này có tỉ số *SNR* nhỏ hơn là 3dB vì chứa thành phần cos. Tuy nhiên kỹ thuật này không cần thiết phải có vòng khóa pha phức tạp nên nó thực hiện đơn giản hơn so với homodyne.

Kỹ thuật heterodyne có thể được sử dụng kết hợp với các phương pháp điều chế ASK, PSK, FSK ở phía phát và sử dụng phương pháp tách sóng trực tiếp hay tách sóng đường bao ở phía thu bởi vì thành phần tín hiệu  $I_{het}$  sau khi tách sóng mang đầy đủ thông tin về cường độ, tần số và pha.

### 1.5.2 Nhiễu

Các công thức được viết ở chương 1.5.1 là các công thức áp dụng trong điều kiện lý tưởng. Trên thực tế có rất nhiều hiện tượng, nguyên nhân trên tuyến truyền dẫn cũng như các linh kiện khiến cho chất lượng tín hiệu thu được không như mong muốn. Trong phần này ta sẽ tìm hiểu các nguyên nhân đó và biện pháp để cải thiện chúng.

- Nhiễu pha

Một trong những nguồn nhiễu ảnh hưởng đến hệ thống thông tin quang coherrent đó là nhiễu pha được gây ra bởi laser phát hay nguồn dao động nội. Nhiễu pha hình thành do nhiều nguyên nhân như sự không ổn định tần số phát của laser, hiện tượng chirp, pha không ổn định của thiết bị phát, ... . Dựa vào công thức:

$$(1.5.7) \rightarrow I(t) = I_{ref} + 2R\sqrt{P_s P_{ref}} \cos(\varphi_s - \varphi_{ref}) \text{ cho homodyne}$$

$$(1.5.8) \rightarrow I(t) = RP(t) = I_{ref} + 2R\sqrt{P_s P_{ref}} \cos(\omega_0 t + \varphi_s - \varphi_{ref}) \text{ cho heterodyne}$$

Ta thấy rằng sự thay đổi về pha của nguồn phát  $\varphi_s$  hay bộ giao động nội  $\varphi_{ref}$  đều dẫn tới sự không ổn định về dòng điện thu được ở ngõ ra bộ tách sóng dẫn tới suy



giảm  $SNR$ . Để hạn chế hiện tượng nhiễu pha, người ta cần dùng các kỹ thuật để giữ ổn định pha  $\varphi_s$  của nguồn laser và pha  $\varphi_{ref}$  của nguồn dao động nội.

Nhiều pha còn gây ra bởi bề rộng phổ của laser. Bề rộng phổ  $\Delta\nu$  càng nhỏ thì nhiễu pha càng được hạn chế. Vì vậy người ta thường sử dụng laser DFB để làm nguồn phát. Vì ngày nay bề rộng phổ của laser DFB có thể nằm ở mức 1MHz.

- Mất phối hợp phân cực (polarization mismatch)

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. Tuy nhiên trong các bộ thu coherrent, sự hoạt động của chúng còn phụ thuộc vào sự phối hợp phân cực của bộ dao động và tín hiệu thu được. Xem lại công thức 1.5.1 và 1.5.2 ta thấy rằng, trong các công thức này các trường  $E_s$  và  $E_{LO}$  đã được ta ta giả sử như là phối hợp phân cực nên ta được các công thức như đã nêu. Gọi  $\hat{e}_s$  và  $\hat{e}_{LO}$  là 2 vectơ đơn vị chỉ hướng phân cực của 2 tín hiệu  $E_s$  và  $E_{LO}$  thì rõ ràng các công thức trên còn phải nhân thêm một thành phần là  $\cos\theta$ , ở đây  $\theta$  là thành phần góc pha giữa  $\hat{e}_s$  và  $\hat{e}_{LO}$ . Trong trường hợp lý tưởng ta phân tích thì thành phần  $\theta$  được cho là  $0^\circ$ , nhưng một sự thay đổi của góc pha  $\theta$  này đều tác động đến bộ thu. Trong trường hợp đặc biệt là góc  $\theta = 90^\circ$  thì tín hiệu bị triệt tiêu hoàn toàn vì  $\cos\theta = 0$ , fading hoàn toàn (complete fading). Như vậy bất cứ sự thay đổi nào của  $\theta$  đều dẫn đến sự suy giảm  $SNR$  và gây ra sự thay đổi BER trong tín hiệu thu được.

Trạng thái phân cực vector  $\hat{e}_{LO}$  của tín hiệu phát ra từ bộ dao động nội là phụ thuộc vào laser phát của bộ dao động nội và thường là cố định. Tuy nhiên trạng thái phân cực vector  $\hat{e}_s$  của tín hiệu thu được thì không như vậy, vì trước đó nó đã bị tác động bởi các hiệu ứng trên sợi quang ví dụ như hiện tượng tán sắc phân cực mode (PMD), hiện tượng birefringence fluctuations gây nên do sự thay đổi của môi trường (nhiệt độ, sự không đồng đều vật lý của sợi, ...)

- Tán sắc (fiber dispersion)

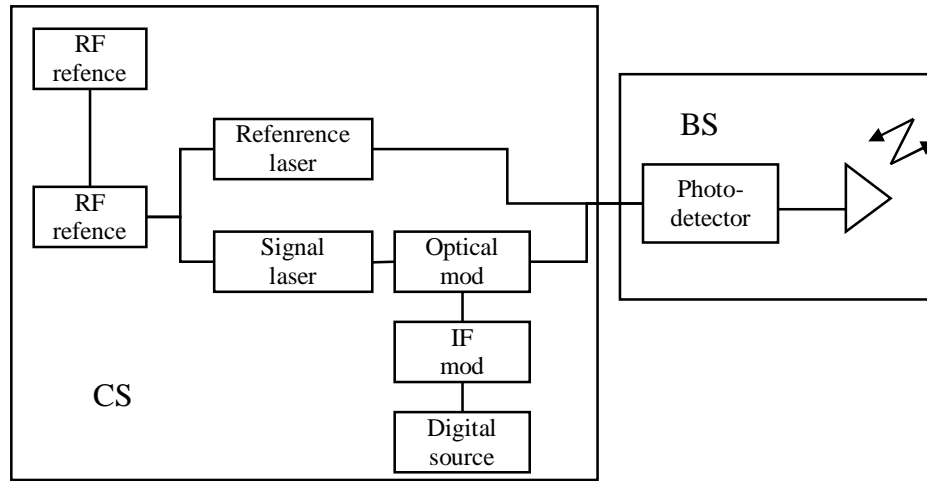
Ta đã biết tán sắc ảnh hưởng lớn như thế nào đối với hệ thống thông tin quang như thế nào và được khắc phục bằng nhiều phương pháp. Đặc biệt, trong hệ thống

thông tin quang coherrent thì hiện tượng tán sắc ảnh hưởng còn nghiêm trọng hơn. Nó làm giảm cấp tín hiệu một cách nhanh chóng trên đường truyền. Trong thông tin quang coherrent thì người ta hạn chế hiện tượng này bằng cách sử dụng các laser có bề rộng phổ rất nhỏ. Hạn chế tối đa hiện tượng chirp. Và đặc biệt là kỹ thuật bù tán sắc bằng một bộ cân bằng điện tử trên ở tần số IF.

### 1.5.3 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 được thực hiện bằng một vòng khóa pha, tuy nhiên như thế sẽ làm tăng giá thành của các BS vì chúng phải được trang bị các laser rất ổn định và phải có vòng khóa pha. Điều này không có lợi trong mạng RoF nên người ta không sử dụng kỹ thuật này để truyền dẫn sóng mm.

So với homodyne thì kỹ thuật heterodyne có tỉ số SNR nhỏ hơn 3dB so với cùng 1 công suất tới (do chứa thành phần cos). Nhưng kỹ thuật này yêu cầu đơn giản hơn vì bộ dao động laser không nhất thiết phải cùng tần số với sóng tới và pha chỉ cần lệch nhau một lượng không đổi. Nhờ vậy mà các BS được cấu trúc đơn giản hơn, không cần sử dụng vòng khóa pha quang. Tuy nhiên, không có nghĩa là kỹ thuật heterodyne khá đơn giản. Yếu quan trọng nhất tác động tới hệ thống sử dụng kỹ thuật heterodyne là lệch phân cực. Thông thường, 2 nguồn laser khác nhau thì thường gây ra hiện tượng không ổn định về pha. Do đó người ta sử dụng chung một nguồn phát hay cả hai nguồn phát này được khóa pha với nhau. Nhờ vậy đã làm giảm bộ giao động nội ở đầu thu, tín hiệu tham chiếu được tạo ra ở đầu phát và truyền đi song song với tín hiệu trong sợi quang tới đầu. Điều này giúp cho cấu trúc BS càng đơn giản hơn vì không cần phải có bộ dao động. Ta có thể tham khảo một cấu hình ví dụ sử dụng kỹ thuật điều chế heterodyne như hình 1.5



**Hình 1.5 Kỹ thuật Heterodyne trong mạng RoF.**

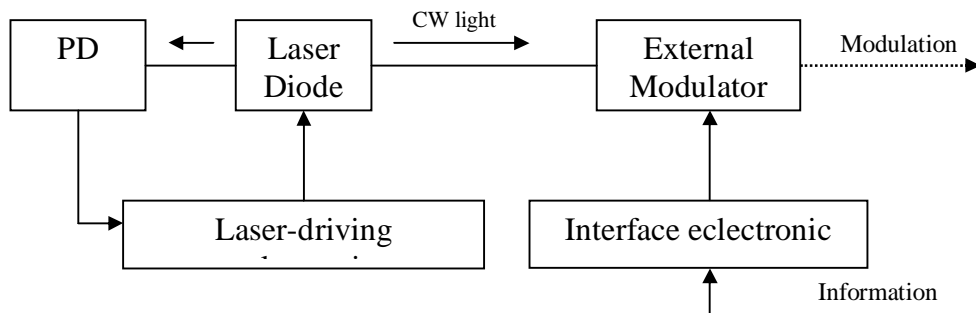
Như ở hình vẽ 2.6 ta thấy 2 ưu điểm của kỹ thuật này. Ưu điểm thứ nhất đó là cấu trúc BS đơn giản do nguồn tham chiếu RF được tạo ra từ CS, nguồn RF tham chiếu được khóa pha với Laser phát chính (master laser). Cả nguồn tham chiếu lẫn tín hiệu được truyền đi trong cùng sợi quang. Chú ý rằng, nguồn tham chiếu được truyền với tần số RF trong khi đó thì tín hiệu được điều chế ở tần số IF. Ưu điểm thứ hai đó là tín hiệu được truyền đi với tần số IF (unmodulation signal – Gọi là tín hiệu chưa điều chế vì vẫn ở tần số trung tần, nhưng thực chất nó đã được điều chế sang dạng quang). Điều này giúp cho tín hiệu được truyền đi xa hơn mà ít bị ảnh hưởng đến hiện tượng tán sắc hơn. Đến BS, nguồn tín hiệu IF này sẽ được điều chế lên tần số RF bởi nguồn tham chiếu RF tại Photodetector và phát đi, tín hiệu lúc này gọi là modulation signal vì nó ở tần số RF.

## 1.6 Bộ điều chế ngoài

Như đã tìm hiểu ở trên thì phương pháp điều chế trực tiếp có 2 nhược điểm chính sau đây:

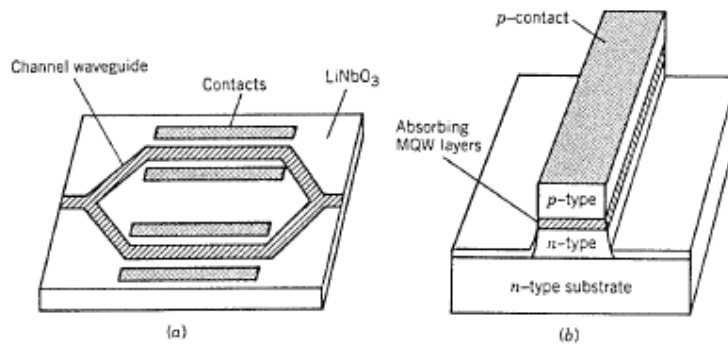
- Băng thông bị hạn chế bởi tần số của laser diode
- Chirp hiện tượng này gây lên sự trải rộng của xung ánh sáng. Chirp là một trong những vấn đề của laser DFB và nó là nhân tố gây ra giới hạn về tốc độ truyền tín hiệu.

Để tránh được hai nhược điểm nói trên người ta sử dụng phương pháp điều chế ngoài. Sơ đồ tổng quát điều chế ngoài được cho như hình vẽ.



**Hình 1.6** Sơ đồ khối bộ điều chế ngoài.

Ở bộ điều chế ngoài, người ta cần một nguồn laser rất ổn định, vì vậy một vòng hồi tiếp với photodiode được thêm vào. Vòng hồi tiếp này sẽ làm cho cường độ laser phát ra được ổn định, đồng thời hiện tượng chirp được giảm thiểu. Tuy nhiên vòng hồi tiếp này khiến cho hiệu suất làm việc của laser không cao vì một phần được đưa vào điều khiển hồi tiếp.

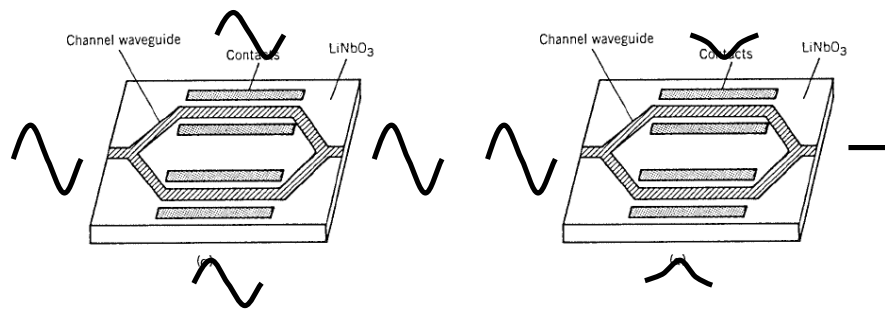


**Hình 1.7 a. Cấu hình bộ điều chế Mach-Zehnder LiNbO<sub>3</sub>, b. Bộ điều chế bức xạ electron trên nền bán dẫn.**

Ngày nay, có 2 loại điều chế ngoài được sử dụng một cách rộng rãi đó là bộ điều chế ngoài Match Zender và bộ điều chế ngoài bức xạ electron. Hình 1.7 mô tả cấu tạo của 2 bộ điều chế trên.

### 1.6.1 Bộ điều chế Mach-Zehnder

Nguyên lý hoạt động của bộ điều chế ngoài Mach-Zehnder như sau: Chiết suất của lớp lithium niobate thay đổi khi ta đặt vào một nhánh của nó một hiệu điện thế. Nguồn sáng từ bộ điều chế được chia làm 2 nhánh khi nó đi qua ống dẫn sóng. Khi không có hiệu điện thế đặt vào, cả 2 nửa của tia tới sẽ không bị dịch pha, tại ngõ ra chúng sẽ giao thoa với nhau và tái tạo lại dạng sóng tới ban đầu. Hình 1.8a. Khi có một hiệu điện thế đặt vào thì một tia tới sẽ bị dịch pha  $90^0$  bởi vì chiết suất của ống dẫn sóng đó đã bị thay đổi, trong khi đó nhánh kia lại bị dịch pha  $-90^0$ . Kết quả là tổng hợp ở ngõ ra ống dẫn sóng cả 2 đều bị triệt tiêu như hình 1.8b Do đó, ngõ ra của bộ điều chế ngoài được điều khiển bởi điện áp đặt vào vì vậy nó có thể đạt được tốc độ điều chế ở hàng Gbps.



**Hình 1.8 a. Không có điện áp; b. Có điện áp điều khiển.**

Như vậy ngõ ra của bộ điều chế Match-Zenhder phụ thuộc vào điện áp điều khiển đặt vào bộ điều chế. Trong trường hợp tổng quát, ngõ ra của bộ điều chế theo điện áp đặt vào  $V$  được cho bởi:

$$T(\lambda) = \frac{1}{2} \left[ 1 + \cos \left( \pi \frac{V}{V_\pi(\lambda)} + \phi_b(\lambda) \right) \right] \quad (1.6.1)$$

trong đó:

$\phi_b(\lambda) = 2\pi \frac{\Delta n L}{\lambda} + \pi \frac{V_b}{V_\pi}$  được gọi là phân cực pha của bộ điều chế (modulator

phase bias)

với  $\Delta n L$  độ chênh lệch chiều dài 2 nhánh bộ giao thoa được cho bởi công thức  $n_1 L_1 - n_2 L_2$ ;

$\lambda$  bước sóng quang

$V_b$  điện áp phân cực

$$V_\pi(\lambda) = \frac{\lambda d}{2\Gamma(\lambda)n^3(\lambda)r(\lambda)L_m} \quad (\text{switching voltage of MZ modulator})$$

$d$  độ phân ly điện cực (electrode separation)

$L_m$  chiều dài điện cực (electrode length)

$\Gamma(\lambda)$  hệ số giảm của vật liệu

$n(\lambda)$  chỉ số chiết suất

$r(\lambda)$  hệ số điện quang (electro optic coefficient)

hay cường độ điện trường tổng hợp tại ngõ ra được cho bởi:

$$E(t) = \frac{A}{2\sqrt{I_M}} \cos \left[ \omega_{opt} t + \pi \frac{V}{V_\pi} + \phi_b \right] \quad (1.6.2)$$

Với  $A$  là biên độ nguồn quang ngõ vào,  $I_M$  là tổn hao chèn và  $\omega_{opt}$  là tần số quang phát ra bởi nguồn laser.

Thông thường đối với một bộ điều chế Match-Zenhdler thì người ta thường quan tâm thông số  $V_\pi$ . Bộ điều chế MZ chế tạo bởi LiNbO<sub>3</sub> có  $V_\pi=6.6V$ .

Tín hiệu điện áp  $V$  đặt vào bộ điều chế được chia làm 2 loại, loại tín hiệu nhỏ (small signal) và loại tín hiệu lớn (large signal). Mỗi bộ điều chế có tính chất riêng của nó, tuy nhiên loại tín hiệu nhỏ được sử dụng nhiều hơn.

## 1.6.2 Bộ điều chế ngoài hấp thụ electron

Nhược điểm lớn của các bộ điều chế ngoài đó là tổn hao chèn, thông thường tổn hao chèn của một bộ điều chế có thể lên đến 5dB, và điện áp điều chế cao (10V). Ngoài ra còn có 1 nhược điểm nữa đó là sự cứng nhắc của nó, khiến các nhà thiết kế và quản trị mạng quang phải đau đầu. Họ muốn có một bộ phát tích hợp chức năng điều chế bên trong laser diode có thể phát ra ở nhiều tần số vào một con chip mà không bị ảnh hưởng của hiện tượng chirp.

Người ta sử dụng bộ điều chế ngoài bức xạ electro. Nguyên tắc hoạt động của nó như sau: Một laser DFB phát ra một nguồn sáng liên tục, tia sáng này chạy qua ống dẫn sóng được chế tạo bằng các vật liệu bán dẫn. Khi không có điện áp điều khiển đặt vào, ống dẫn sóng gần như trong suốt với nguồn sáng được phát ra từ laser DFB bởi vì tần số cắt của nó,  $\lambda_c$ , ngắn hơn bước sóng tia tới. Khi một hiệu điện thế điều khiển đặt vào, một khoảng trống (band gap),  $E_g$ , của vật liệu ống dẫn sóng tăng lên. Đó được gọi là hiệu ứng Franz-Keldysh. Khi khoảng năng lượng này tăng lên, tần số cắt giảm xuống ( $\lambda_c = 1024/E_g$ ) và vật liệu của ống dẫn sóng bắt đầu bức xạ tia tới. Bằng cách thay đổi điện áp của ống dẫn sóng bán dẫn, đặc tính bức xạ của ống dẫn sóng cũng thay đổi. Điều thú vị là loại bộ điều chế này là vật liệu bán dẫn làm ống dẫn sóng có thể được sản xuất trên nền của DFB laser.

Đặc điểm của bộ điều chế bức xạ electron này là:

Công suất quang ngõ ra bộ điều chế EA có thể đạt được 0dBm. Thông thường, ngõ ra của các bộ phát có công suất nhỏ hơn so với trường hợp điều chế trực tiếp. Tuy nhiên, công suất ngõ ra của bộ điều chế EA không những không nhỏ hơn mà đôi khi còn lớn hơn.

- Điện áp điều khiển bộ điều chế nhỏ chỉ khoảng 2V.
- Tỉ số chênh lệch động,  $P_{max}/P_{min}$ , lớn.

## 1.7 Kĩ thuật nâng và hạ tần

### 1.7.1 Giới thiệu

Thay vì phải truyền tín hiệu có tần số RF trên sợi quang sẽ bị tác động rất lớn của tán sắc. Trong kỹ thuật này người ta truyền tín hiệu ở băng tần IF. Tín hiệu được truyền dẫn ở băng tần IF khi điều chế lên tần số quang sẽ hạn chế rất lớn ảnh hưởng của tán sắc, tuy nhiên cần phải có một bộ chuyển đổi tần số từ IF lên RF ở BS khiến cho giá thành của BS tăng lên. Điều này không có lợi. Một ưu điểm khác của kỹ thuật này nữa là cần băng thông rất nhỏ (trên miền quang) nên nó có ý nghĩa rất lớn khi sử dụng kết hợp với kỹ thuật DWDM.

### 1.7.2 Kỹ thuật nâng và hạ tần

Hình 1.9 mô tả sơ đồ khối của bộ nâng hạ tần.

Giả sử ta có tín hiệu  $s_{IF}(t)$  ở tần số IF:

$$s_{IF}(t) = \cos(\omega_{IF}t + \varphi_s) \quad (1.7.1)$$

Cường độ điện trường của tín hiệu quang mang tín hiệu trên có dạng:

$$E(t) = K.s_{IF}(t).e^{j\omega_{opt}t + \varphi} \quad (1.7.2)$$

Với K là hằng số. Giả sử  $\varphi_s = \varphi = 0$ .

$$\begin{aligned} \text{Re}[E(t)] &= KA \cos(\omega_{IF}t) \cdot (\cos \omega_{opt}t) \\ &= \frac{1}{2} KA [\cos((\omega_{opt} + \omega_{IF})t) + \cos((\omega_{opt} - \omega_{IF})t)] \end{aligned} \quad (1.7.3)$$

Như vậy tín hiệu trên sợi quang chiếm băng thông  $2f_{IF}$ . Trong khi đó ta truyền tín hiệu ở băng tần IF thì băng thông của sử dụng là  $2f_{RF} = 120 \text{GHz} = 1 \text{nm}$ .

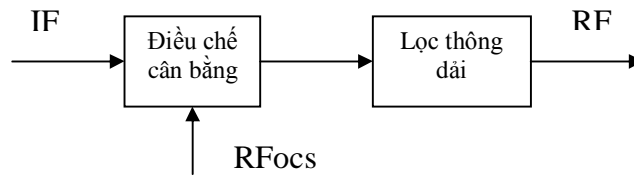
Tại BS, giả sử ta tách được tín hiệu  $s_{IF}(t)$ , ta sẽ đưa lên tần số RF bằng một bộ nâng tần (hay còn gọi là bộ điều chế cân bằng)

$$\begin{aligned} s_{RF}^* &= A \cos(\omega_{IF}t) \cdot A' \cos(\omega_{RFocs}t) \\ &= \frac{1}{2} AA' [\cos((\omega_{RFocs} + \omega_{IF})t) + \cos((\omega_{RFocs} - \omega_{IF})t)] \end{aligned} \quad (1.7.4)$$

Sau khi đi qua bộ lọc thông. Ta có tín hiệu RF mong muốn.

$$s_{RF} = \frac{1}{2} \cos((\omega_{RFocs} + \omega_{IF})t) \quad (1.7.5)$$





**Hình 1.9 Sơ đồ khối bộ nâng tần.**

Đối với phương pháp hạ tần kỹ thuật cũng tương tự.

### 1.7.3 Nhận xét kỹ thuật nâng và hạ tần

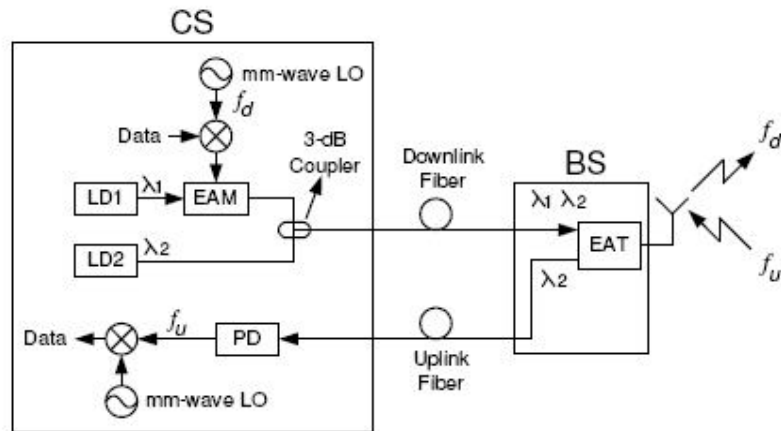
Trước hết kỹ thuật nâng và hạ tần giúp cho tín hiệu trên sợi quang có tần số IF trong miền điện. Nhờ vậy mà nó hạn chế được hiện tượng tán sắc ảnh hưởng khá nghiêm trọng đến chất lượng của tín hiệu truyền đi nhất là tín hiệu tần số càng cao. Tuy nhiên, giá thành của BS tăng lên do ở mỗi BS cần có một bộ dịch chuyển tần số. Sự phức tạp ở đây không phải là bộ dịch chuyển tần số mà đó chính là bộ giao động bên trong nó, hoạt động ở tần số cao và cần sự ổn định.

Băng thông cần thiết cho mỗi kênh truyền là rất nhỏ, nên khi kết hợp kỹ thuật DWDM thì rất có lợi, vì số kênh mở rộng nhiều trong khi đó do cần băng thông lớn nên các tín hiệu quang truyền dẫn sóng RF kết hợp WDM có số kênh ít hơn.

## 1.8 Bộ thu phát quang

Cấu trúc của các BS đơn giản nhất có thể được thực hiện với một bộ thu phát quang như bộ thu phát bức xạ electro. Những bộ thu phát này vừa có chức năng chuyển đổi O/E trên tuyến downlink đồng thời có thể chuyển đổi E/O cho tuyến uplink cùng một lúc. 2 bước sóng đó được truyền dẫn thông qua một sợi quang từ CS tới BS. Một bước sóng dành cho điều chế dữ liệu bởi người dùng cho tuyến downlink và một dành cho giải điều chế ở tuyến uplink (hình 2.11). Bước sóng giải điều chế được điều chế bởi dữ liệu tuyến uplink ở BS và gửi trở về CS. Do đó, một bộ EAT được sử dụng như một photodiode cho luồng dữ liệu tới chúng và đồng

thời làm nhiệm vụ điều chế để cung cấp luồng dữ liệu gửi lại cho hướng phát, vì vậy sử dụng bộ EAT có thể thay thế một laser ở phía BS, điều này rất có ý nghĩa khi các BS cần có cấu trúc đơn giản. Hiện nay, thiết bị này có thể được hoạt động song công hoàn toàn ở bước sóng mm, tuy nhiên chỉ ở mức thử nghiệm và điều trở ngại nhất với kỹ thuật này đó là vấn đề tán sắc mà chúng cần phải được giải quyết. Hình 1.10 mô tả một hệ thống sử dụng kỹ thuật RoF sử dụng bộ EAT



Hình 1.10 Bộ thu phát bức xạ electron EAT trong mạng

## 1.9 So sánh các kỹ thuật

Như vậy, các kỹ thuật đã khảo sát, mỗi kỹ thuật phát và truyền dẫn sóng mm trên sợi quang đều có những ưu và nhược điểm riêng. Mỗi kỹ thuật có thể thích hợp tùy vào mô hình mạng được sử dụng. Bảng dưới tổng hợp lại các ưu và nhược điểm của các kỹ thuật trên.

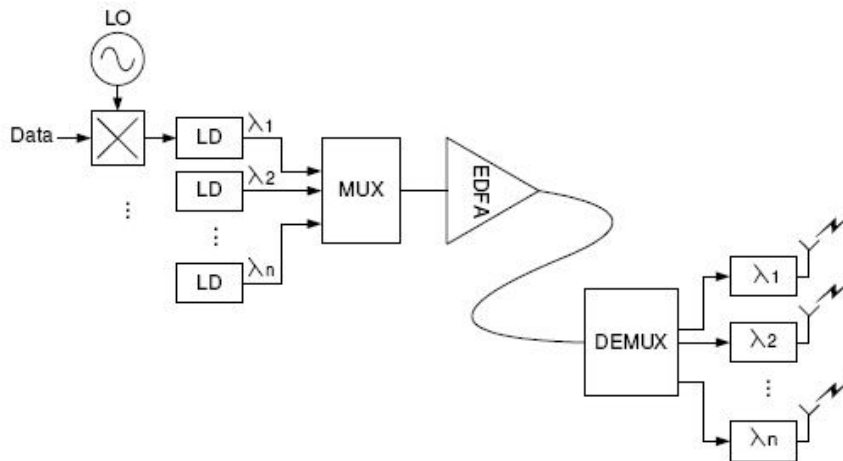
*So sánh các kỹ thuật truyền dẫn và phát sóng milimet*

Kỹ thuật	Ưu điểm	Nhược điểm
----------	---------	------------

Optical Heterodyne	Điều chế ASK, FSK, PSK Hạn chế được tán sắc sợi quang	Cấu tạo nguồn sáng phức tạp
Điều chế ngoài	Điều chế ASK, FSK, PSK Cấu hình đơn giản Dùng DFB Laser (giá thành)	Tán sắc Tổn hao chèn lớn Hiệu ứng phi tuyến Các bộ điều chế EAM tần số cao
Dịch tần	Điều chế trực tiếp từ IF Hạn chế tác động bởi tán sắc	Bộ dao động mm ở BS Các bộ điều chế EAM tần số cao
Bộ thu phát quang	Bộ điều chế và tách sóng đơn giản	Các bộ điều chế EAM tần số cao Hạn chế trong WDM

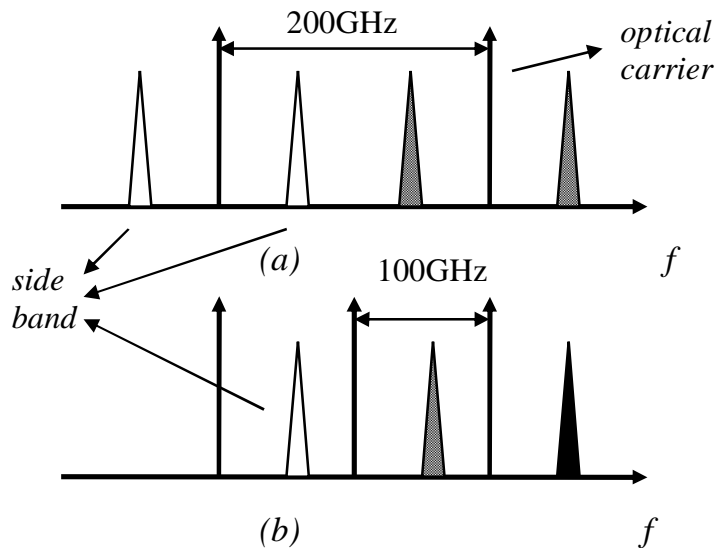
### 1.10 Kết hợp WDM trong kỹ thuật RoF

Ứng dụng WDM vào mạng RoF mang lại nhiều ưu điểm như đơn giản hóa mô hình mạng bằng cách ấn định các bước sóng khác nhau cho mỗi BS riêng biệt, cho phép nâng cấp mạng và các ứng dụng dễ dàng hơn và cung cấp một phương tiện quản lý mạng đơn giản. Xem hình 1.11, là một ví dụ trong ứng dụng này cho tuyến downlink. Như vậy, với mô hình dưới, thì chỉ cần một sợi quang thì kỹ thuật RoF đã có thể phục vụ được cho rất nhiều các BS. Số lượng các BS được phục vụ là tùy thuộc vào số lượng kênh quang có thể truyền được trên sợi quang đó.



### Hình 1.11 Sự kết hợp truyền dẫn DWDM và RoF

Tuy nhiên khó khăn trong ứng dụng kỹ thuật WDM ở đây là mỗi kênh quang truyền một sóng mm ở tần số 60GHz. Do đó bề rộng phổ mỗi kênh quang vượt quá bề rộng phổ một kênh WDM. Ví dụ như hình 1.12a sử dụng phương pháp điều chế 2 biên và 1.12b sử dụng phương pháp điều chế 1 biên để truyền một sóng mm ở băng tần 60GHz tức phải tốn một kênh 100MHz vì bề rộng phổ trong lưới ITU-T có chuẩn là 100MHz. Ở phương pháp sử dụng điều chế 2 biên thì ta cần phải sử dụng đến một kênh 200GHz. Như vậy có một sự lãng phí lớn băng thông trong sợi quang hoặc là các thiết bị trong thế giới WDM cũ sẽ không tương thích được trong kỹ thuật RoF. Hiện nay đang có nhiều nghiên cứu trong lĩnh vực này. Để gia tăng hiệu suất sử dụng phổ, khái niệm chèn tần số quang (optical frequency interleaveing) đã được đưa ra.

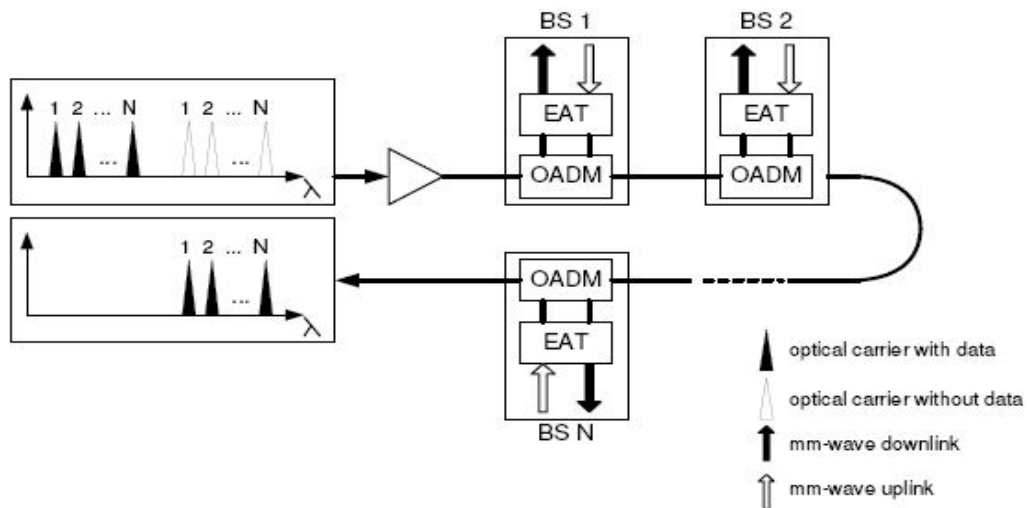


**Hình 1.12 DWDM trong RoF a. Điều chế hai dải biên, b. Điều chế triệt một dải biên.**

Mặc khác, mối quan hệ giữa số lượng bước sóng yêu cầu cho mỗi BS, mỗi BS phải được cấp đủ số bước sóng để hoạt động song công hoàn toàn (full-duplex), nên

cần phải đến có đến 2 bước sóng, một cho chiều downlink và một cho chiều ngược lại. Trong một kỹ thuật tái sử dụng bước sóng đã được đề cập đến, dựa trên kỹ thuật khôi phục sóng mang quang dùng trong tín hiệu downlink và được sử dụng lại bước sóng đó cho chiều truyền dẫn uplink. Như vậy chỉ tốn có 1 bước sóng cho cả hai chiều truyền dẫn. Tăng hiệu quả sử dụng băng thông của sợi quang.

Hình 1.13 thể hiện một kiến trúc sóng mang đơn hướng mà nó được sử dụng để cung cấp các dịch vụ vô tuyến băng thông rộng. Ở CS, tất cả các nguồn sáng uplink và down link được ghép lại và khuếch đại lên truyền đi trong sợi quang. Một bộ điều chế kênh downlink và giải điều chế uplink sẽ đưa các tín hiệu quang vào trong sợi quang được nối với nhau theo mạng ring. Tại mỗi BS, một cặp bước sóng down – uplink sẽ được xen kẽ thông qua một bộ OADM (optical add/drop multiplexer) bởi một bộ EAT, cả 2 thao tác diễn ra một cách đồng thời ở BS. Kênh uplink đã được điều chế sẽ được thêm vào trong sợi quang và truyền vòng về CS, tại đó chúng sẽ được giải ghép và khôi phục tín hiệu. Ưu điểm chính của mạng ring WDM P2MP này là khả năng tập trung tất cả các nguồn phát quang ở CS, cho phép có được một cấu hình BS đơn giản.



Hình 1.13 Kiến trúc vòng ring RoF dựa trên DWDM.

## 1.11 Tổng kết chương

Trong chương này, chúng ta đã tìm hiểu và nghiên cứu các kỹ thuật truyền dẫn sóng mm trên sợi quang, mỗi kỹ thuật đều có ưu và nhược điểm riêng mà chúng ta đã biết. Như vậy kỹ thuật RoF bao gồm một tuyến quang RoF thông thường, các kỹ thuật phát và truyền sóng mm trên sợi quang đó và kết hợp hệ thống với WDM. Chính khả năng cung cấp dịch vụ băng rộng trên cơ sở hạ tầng đơn giản với nhiều ưu điểm như giá thành hạ, triển khai dễ dàng, bảo dưỡng nhanh chóng nên mạng RoF hứa hẹn cho một mạng không dây trong tương lai.

## **Chương 2**

# **KẾT HỢP KỸ THUẬT RADIO OVER FIBER VÀ MẠNG TRUY NHẬP KHÔNG DÂY**

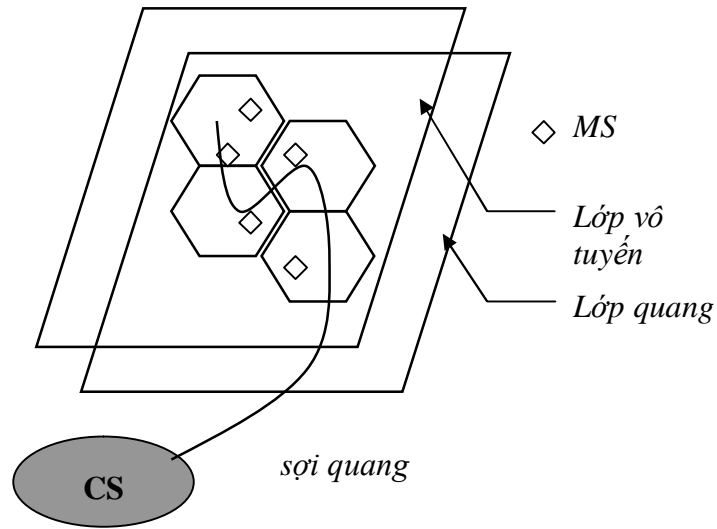
### **1.1 2.1 Giới thiệu**

Ở chương này chúng ta sẽ kết hợp một mạng truy nhập không dây và kĩ thuật Radio over Fiber để xem chúng khác và giống với những mạng truy nhập hiện tại như thế nào. Mạng truy nhập vô tuyến kết hợp kĩ thuật RoF ta gọi là mạng RoF. Chúng ta sẽ tìm hiểu về kiến trúc mạng RoF như thế nào và ứng dụng của kĩ thuật RoF trong mạng truy nhập vô tuyến ra sao sau khi đã tìm hiểu kĩ thuật RoF trong chương 1.

### **1.2 2.1 Mạng vô tuyến cellular dựa trên kĩ thuật RoF**

#### **2.2.1 Đa truy nhập 2 lớp**

Trong mạng truy nhập vô tuyến sử dụng kĩ thuật RoF, lớp vật lý bao gồm 2 lớp con đó là lớp vô tuyến và lớp quang ở phía dưới. Lớp quang bây giờ như thành phần trung gian để đưa các tín hiệu RF từ tất cả các MS trong mạng về CS. Lớp CS sẽ xử lý các tín hiệu vô tuyến này. Hình 2.1 mô tả 2 lớp quang và vô tuyến của mạng.



**Hình 2.1 Mạng không dây đa truy nhập 2 lớp**

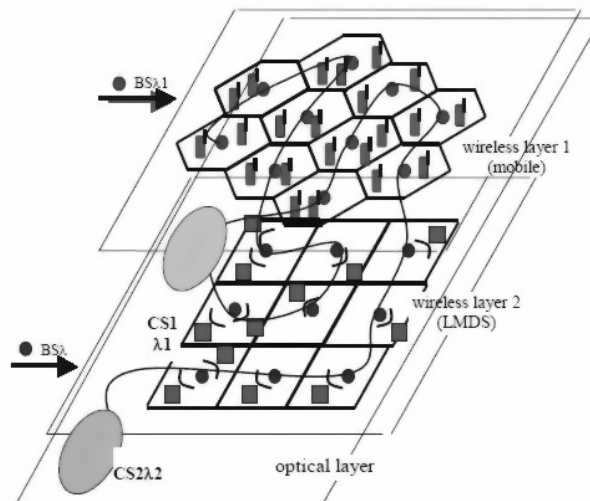
Trước hết, ở lớp vô tuyến, mỗi BS phải phục vụ rất nhiều MH, đồng thời mỗi CS lại phục vụ rất nhiều BS, trong đó BS chỉ đóng vai trò trung gian để chuyển các tín hiệu từ CS tới MS và ngược lại. Do đó, có thể xem mỗi CS phục vụ gián tiếp rất nhiều các MS. Như vậy một kỹ thuật đa truy nhập (multiaccess) ở lớp vô tuyến được hình thành.

Cấu trúc mạng đơn giản nhất ở lớp quang đó là cấu trúc mạng hình sao: các tuyến RoF kết nối point-to-point sẽ kết nối CS với mỗi BS bằng một sợi quang. Tuy nhiên, cấu trúc này gây lãng phí sợi quang nên người ta đưa ra nhiều cấu hình tốt hơn, nhất là khi số lượng BS là tương đối nhiều. Nếu một sợi quang phục vụ được nhiều hơn một BS, thì lúc đó lớp quang cũng trở thành một hệ thống đa truy nhập thứ hai, độc lập với lớp đa truy nhập vô tuyến.

Kỹ thuật đa truy nhập ở lớp quang là rất đa dạng, nó có thể sử dụng kỹ thuật SCM (FDMA), CDMA, TDMA, WDM...

### 2.2.2 Tính đa dịch vụ của mạng RoF kết hợp kĩ thuật WDM

Hiện nay, hầu hết các mạng điều được thiết kế để truyền tải cho một dịch vụ nên độ linh hoạt của mạng không cao. Thứ nhất đó là do băng thông của mạng chưa đủ lớn để phục vụ nhiều dịch vụ cùng một lúc. Thứ hai nữa đó là các loại dịch vụ khác nhau có các chuẩn khác nhau, yêu cầu phải có một kĩ thuật truyền dẫn trong suốt với các kĩ thuật khác. Tuy nhiên, kể từ khi băng thông sợi quang được sử dụng hiệu quả hơn nhờ kĩ thuật WDM và tăng lên nhiều lần mà đặc biệt là kĩ thuật WDM trong suốt với tất cả các kĩ thuật truyền dẫn, chuẩn điều chế,... nên mỗi sợi quang có thể truyền tải nhiều loại hình dịch vụ khác nhau một cách đồng thời. Các tín hiệu của các loại hình dịch vụ khác nhau được truyền tải trên các bước sóng khác nhau. Tất nhiên là các dịch vụ khác nhau đó phải được hoạt động với các tần số khác nhau, kiểu điều chế RF khác nhau với những cell khác nhau, v...v... Dịch vụ cung cấp có thể là vô tuyến cố định hay di động, dịch vụ băng hẹp hay dịch vụ băng rộng, v...v... Đó đó, RoF có thể được ứng dụng trong mạng truyền tải của các ứng dụng thông thường. Trong mạng RoF đa dịch vụ thì mỗi dịch vụ hoạt động trên một bước sóng khác nhau, các bước sóng được chọn lựa một cách thích hợp để phục cho các tín hiệu từ CS tới BS và ngược lại. Ta có thể xem một ví dụ ở hình



Hình 2.2 Kĩ thuật WDM cho phép triển khai đa dịch vụ trên mạng



Kỹ thuật RoF mà ta đã nghiên cứu ở chương 1 là một kỹ thuật truyền dẫn tín hiệu vô tuyến trên sợi quang sao cho tín hiệu vô tuyến truyền đi được càng xa càng tốt với độ tuyến tính cao nhất.

Trong những chương tiếp theo, ta sẽ tìm hiểu xem, kỹ thuật RoF được kết hợp với mạng truy nhập vô tuyến như thế nào? Nó đem lại những lợi ích gì? Những khó khăn khi ứng dụng cho mỗi mạng và hướng giải quyết ra sao?

3 kiểu hình mạng được chúng ta tìm hiểu ở đây là:

- Mạng Wireless LAN
- Mạng truyền thông Road Vehicle Communication (RVC)
- Mạng truy nhập vô tuyến băng rộng ở vùng ngoại ô và nông thôn

## **1.3 2.3 RoF trong WLAN ở băng tần 60GHz – Giao thức MAC**

### **2.3.1 Giới thiệu**

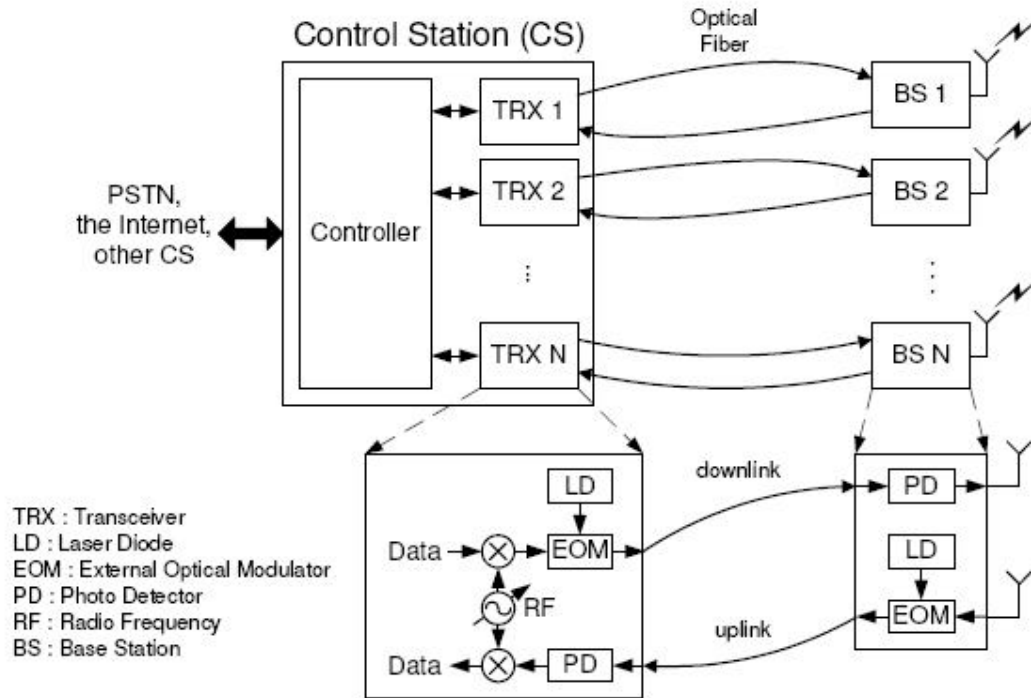
Kỹ thuật RoF được ứng dụng cho mạng WLAN sẽ là một trong những ứng dụng hứa hẹn nhất, với các BS chỉ thực hiện các chức năng đơn giản và được kết nối đến CS thông qua một sợi quang, các chức năng định tuyến và xử lý được tập trung tại CS. Tuy nhiên, trong mạng WLAN này, do bán kính phủ sóng của các BS nhỏ nên mỗi sự di chuyển của MH sẽ cần phải có yêu cầu chuyển giao. Do sự chuyển giao thực hiện liên tục khi MH di chuyển nên trong mạng WLAN này cần phải có một giao thức chuyển giao đơn giản nhưng phải tin cậy ở băng tần mm. Trong phần này chúng ta sẽ đề cập tới giao thức MAC (media access control) được gọi là “Chess Board Protocol” (Giao thức chuyển giao bàn cờ) được ứng dụng cho mạng WLAN sử dụng kỹ thuật RoF hoạt động ở băng tần 60GHz, với đặc tính chuyển giao nhanh và đơn giản, tích hợp QoS. Với khả năng điều khiển tập trung của mạng RoF nên nó phụ thuộc vào mã chuyển mạch tần số FS (frequency switch) để cung cấp một cơ chế chuyển giao đơn giản, và các picocell liên nhau được ấn định các mã FS trực giao với nhau để tránh hiện tượng giao thoa đồng kênh. Cơ chế này cho phép các

MH có thể hiệu chỉnh tần số trong suốt quá trình chuyển giao, đó chính là đặc tính quan trọng nhất của giao thức chuyển giao bàn cờ.

### 2.3.2 Kiến trúc mạng

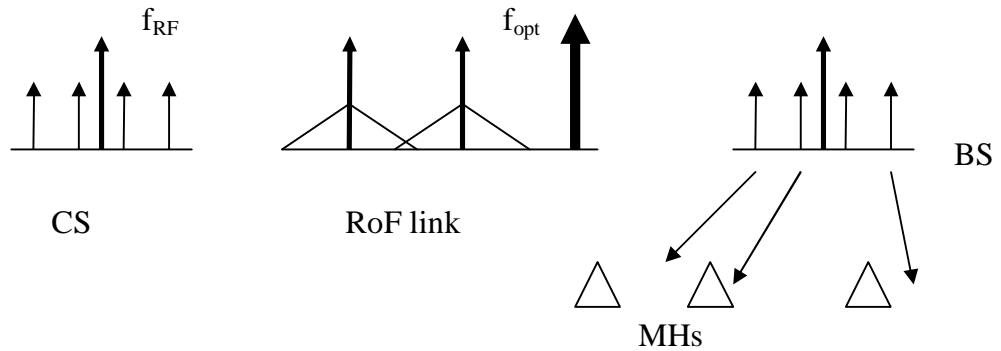
Đối với mạng WLAN, do cấu trúc mạng cần đơn giản, các thiết bị giá thành rẻ nên thường mạng sử dụng các kỹ thuật càng đơn giản càng tốt. Đối với mạng WLAN trong chương này ta giả sử chúng có đặc tính sau: (1) song công phân tần số và (2) khả năng thay đổi kênh RF động. Hình vẽ 2.3 chỉ ra một ví dụ về kiến trúc RoF được ứng dụng trong mạng WLAN.

Với kiến trúc này, mạng sử dụng phương pháp điều chế sóng mang con, phương pháp đơn giản và có thể sẽ được sử dụng rộng rãi trong mạng RoF. Trong kỹ thuật này, dữ liệu từ tuyến truyền dẫn theo hướng downlink (từ CS tới MH) đầu tiên được điều chế lên miền tần số RF thích hợp bởi một nguồn vô tuyến (được gọi là subcarrier) sau đó mới được điều chế lên miền quang (được gọi là maincarrier) bằng một nguồn quang. Tín hiệu này được truyền trên sợi quang đến BS, ở đây các tín hiệu quang lại được chuyển về thành tín hiệu vô tuyến và được phát đi từ BS đến các MH. Đối với tuyến uplink (từ MH đến CS) thì các tín hiệu nhận được ở BS sẽ được điều chế sang miền quang bằng một nguồn quang. Nó được truyền dẫn thông qua tuyến quang tới CS và được giải điều chế sang tín hiệu vô tuyến ở đây bởi PD. Sau đó các dữ liệu của mỗi user sẽ được tách ra. Do đặc điểm của mạng WLAN là khoảng cách từ BS đến các CS là khoảng vài trăm mét nên ảnh hưởng của các hiện tượng phi tuyến lên tần số RF là tương đối thấp, vì thế tín hiệu truyền trên sợi quang được truyền ở tần số RF. Hoạt động được mô tả trong hình 2.3.



**Hình 2.3 Kiến trúc mạng RoF cho WLAN**

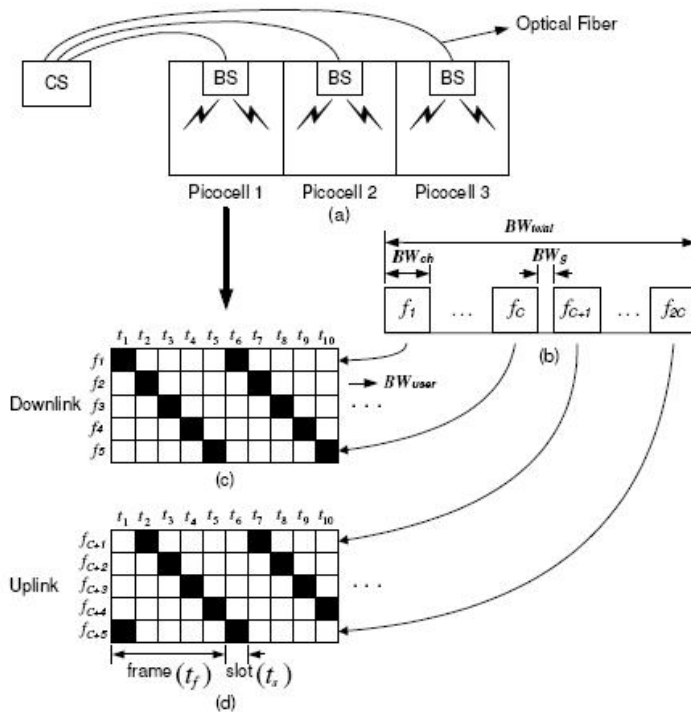
Với kiến trúc cho mạng WLAN này thì mỗi CS sẽ có rất nhiều bộ thu phát (TRX) bằng với số lượng của BS, và mỗi bộ thu phát bao gồm (1) nguồn sáng để phát tín hiệu như laser, (2) một PD cho hướng uplink (3) và một modem để phát và nhận dữ liệu ở miền RF. Nhìn vào cấu hình trên ta cũng thấy rằng BS chỉ có những chức năng đơn giản là thu và phát tín hiệu, ngoài ra không có chức năng xử lý tín hiệu nào được thực hiện ở BS. Đối với mạng WLAN chúng ta đang khảo sát thì các bộ điều chế ngoài được sử dụng thay cho các LD vì chúng hoạt động ở tần số 60GHz, tần số mà các LD không thể đáp ứng kịp. Các bộ thu phát có thể được trang bị các bộ dao động có thể điều chỉnh được nhưng vì giá thành cao, nên đôi khi chúng được trang bị các bộ dao động với tần số cố định. Sự thay đổi bộ giao động sẽ ảnh hưởng đến quá trình phân bổ tần số cho mạng RoF này.



Hình 2.4 Hướng downlink

### 2.3.3 Mô tả giao thức MAC – Giao thức bàn cờ

#### a. Giới thiệu



Hình 2.5 Giao thức chuyển giao bàn cờ.

Như ta đã biết, trong mạng WLAN phủ sóng một tòa nhà (building) thì mỗi phòng sẽ được phủ sóng bởi ít nhất một BS, gọi là một picocell. Do bán kính mỗi

picocell là tương đối nhỏ nên tòa nhà sẽ được phủ sóng bởi rất nhiều các picocell, do đó quản lý tính di động của các thiết bị trong mạng là một điều rất cần thiết. Trong mạng WLAN, ta giả sử mạng sử dụng mạng hoạt động ở chế độ song công phân tần số FDD (Frequency Devision Duplex), do các thiết bị sử dụng bằng phương pháp này đơn giản, rẻ tiền và đang được phát triển rất thành công. Bằng cách phân chia băng thông tổng của hệ thống thành  $2n$  kênh với  $n$  kênh downlink được ký hiệu là  $f_1, f_2, \dots, f_n$  và  $n$  kênh uplink được ký hiệu là  $f_{n+1}, f_{n+2}, \dots, f_{2n}$ . Chú ý rằng băng thông, bề rộng phổ mỗi kênh tần số, của tuyến downlink và uplink là không đồng nhất, không giống nhau, vì vậy mạng có khả năng hỗ trợ lưu lượng bất đối xứng. Hơn nữa, trục thời gian cũng có thể được chia thành các khe thời gian (time slot) bằng nhau và  $n$  khe thời gian được nhóm lại thành một khung. Hình 2.5 mô tả khung thời gian với  $n=10$ .

#### **b. Mô tả giao thức**

Trước hết, khi MH tham gia vào quá trình truyền dữ liệu, nó sẽ được ấn định một cặp kênh tần số nào đó trong  $2n$  kênh vô tuyến mà mạng WLAN đó hỗ trợ ( $f_i, f_{n+i}$ )  $i=1, 2, 3, \dots, n$  và một cặp khe thời gian ( $t_k, t_{k+1}$ ) tuần hoàn chu kỳ  $n$  cho tuyến downlink và uplink (xem hình). Khi MH nhận được tín hiệu cho phép truyền từ kênh downlink  $f_i$  trong khe thời gian  $t_k$  thì nó được phép truyền dẫn các gói thông qua kênh uplink  $f_{i+n}$  trong khe thời gian kế tiếp  $t_{k+1}$ . Mọi BS đều hỗ trợ các kênh (tần số kết hợp khe thời gian), tuy nhiên mỗi chúng chỉ được sử dụng những khe thời gian quy định sẵn. Trong hình vẽ là một ví dụ với  $n=5$ . Trong mỗi khung thời gian, mỗi khe thời gian trong  $n$  khe chỉ được sử dụng đúng 1 lần. Các picocell kề nhau không được sử dụng lại kênh (được quy định bằng một mã FS) đó để tránh hiện tượng nhiễu giao thoa đồng kênh. Một mã FS chỉ được sử dụng bởi một picocell và có thể được sử dụng lại bởi một picocell khác khi khoảng cách của chúng đủ lớn để tránh hiện tượng giao thoa tín hiệu. Một vấn đề quan trọng trong giao thức này đó chính là vấn đề đồng bộ. Do sử dụng phương pháp TDM nên việc đồng bộ giữa các thiết bị là không thể thiếu, tuy nhiên vấn đề đồng bộ tần số và khe thời gian tương đối đơn giản. Với giao thức này, việc đồng bộ phải được thực hiện

trên toàn bộ các picocell, tức là các picocell cũng phải được đồng bộ khe thời gian với nhau, việc đồng bộ các cell thật sự đơn giản nhờ kiến trúc tập trung, CS sẽ đảm nhận vai trò đồng bộ này. Để đồng bộ với các BS, các CS bắt đầu đo khoảng thời gian truyền tín hiệu đến BS rồi truyền ngược về CS (round-trip time) gọi là RTT. Lúc đó CS có thể ấn định được khoảng thời gian truyền từ BS tới CS là  $RTT/2$  để đồng bộ các BS.

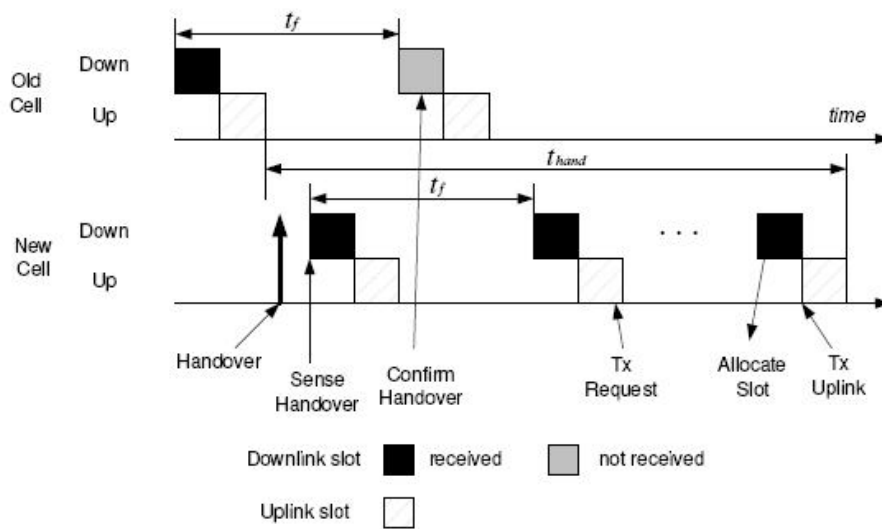
Giao thức chuyển giao bàn cờ đã được ứng dụng nhiều trong một số hệ thống sử dụng phương pháp nhảy tần như Bluetooth thường thấy ở các điện thoại di động ngày nay. Tuy nhiên trong mạng WLAN giao thức chuyển giao bàn cờ có một số điểm khác biệt: (1) trong hệ thống nhảy tần thì các BS và MH sẽ thay đổi kênh tần số theo một quy luật cho trước (gọi là mã giả ngẫu nhiên), tuy nhiên trong giao thức bàn cờ thì chỉ có các BS hiệu chỉnh tần số của nó còn MH vẫn giữ nguyên cặp tần số hoạt động của nó, (2) giao thức chuyển giao bàn cờ được kết hợp với kiến trúc mạng tập trung ở CS nên có tránh được hiện tượng nhiễu giao thoa đồng kênh, tránh được việc sử dụng 2 tần số chuyển mạch cùng nhau trong các picocell gần nhau. Do đó trong hệ thống WLAN sử dụng giao thức bàn cờ người ta thường sử dụng khái niệm chuyển đổi tần số (frequency swiching) thay cho khái niệm nhảy tần (frequency hopping).

### **c. Chuyển giao**

Một đặc điểm quan trọng của giao thức bàn cờ này đó là quá trình chuyển giao khi MH di chuyển từ BS này sang BS khác là rất đơn giản và nhanh. Thời gian chuyển giao chỉ mất tối đa  $(2n+1)$  khe thời gian. Nhờ sự đơn giản và nhanh đó 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 vẽ dưới. Trong hình 2.6 là ví dụ với  $n = 5$ .

Cơ chế chuyển giao xảy ra như sau: trước hết ở cell cũ các MH nhận tín hiệu cho phép ở khung thời gian có tô màu đen và trả lời lại bằng tại các khe thời gian có đường gạch chéo (đã được mô tả trong giao thức bàn cờ). Lúc này MH sẽ sử dụng cặp tần số  $(f_i, f_{n+i})$  cho 2 chiều up và down. Giả sử MH di chuyển từ picocell cũ sang

picocell mới thì nó vẫn sử dụng cặp tần số này cho truyền dữ liệu. Tất nhiên là khi qua cell khác, do tính trực giao (được điều khiển bởi CS) nên nó sẽ hoạt động ở khe thời gian khác do vẫn không thay đổi cặp tần số (đặc điểm của giao thức chuyển giao bàn cờ). Khi nó đến vùng biên giới của cả 2 picocell thì nó đồng thời nhận được cả 2 khe thời gian của cả 2 picocell. Khi đó nó cũng sẽ tiếp tục liên lạc với picocell cũ cho đến khi thiết lập kênh mới với picocell mới được thành lập. Khi liên lạc với picocell cũ thật sự bị mất do đi quá tầm phủ sóng thì nó mới bắt đầu yêu cầu picocell mới cấp cho nó một kênh để hoạt động, công việc này đã được MH chuẩn bị từ khi nhận được tín hiệu của picocell mới (xem hình). Việc cấp băng thông cho MH sẽ được thực hiện ở khung tiếp theo. Nhìn vào hình vẽ 2.6, ta thấy thời gian chuyển giao tối thiểu là  $2n + 1$  khe thời gian.



**Hình 2.6 Độ trễ chuyển giao trong giao thức chuyển giao bàn cờ.**

Gia nhập vào mạng WLAN: Khi một MH mới bắt đầu gia nhập vào mạng WLAN thì công việc đầu tiên của nó là đồng bộ với CS, sau đó nó chọn một kênh bất kỳ ngẫu nhiên nếu nó có khả năng thay đổi kênh tần số hoặc là sử dụng một kênh định trước nếu nó không có khả năng thay đổi kênh. Sau đó nó lắng nghe ở những khe thời gian tuyến downlink. Nó sẽ nhận được một tín hiệu trong khe thời gian nào đó của khung và ấn định khe thời gian cho MH hoạt động. Sau khi nhận

được gói tin ấn định khe thời gian, nó sẽ bắt đầu gửi tín hiệu xác nhận ngay ở khe tiếp theo trong tuyến uplink để gia nhập vào mạng. Sau đó nó bắt đầu truyền nhận dữ liệu trên kênh đã được ấn định như đã được mô tả trong phần giao thức.

### 2.3.4 Các thông số của giao thức

Trong giao thức chuyển giao bàn cờ thì có 2 thông số chính được người ta quan tâm nhất đó chính là (1) số lượng kênh và (2) độ rộng khe thời gian. Một thông số ít quan trọng hơn đó là thời gian trễ chuyển giao đôi khi cũng được người ta nhắc đến.

- *Số lượng kênh:*

Ta gọi băng thông tổng cộng của hệ thống là  $BW_{total}$ , băng thông bảo vệ  $BW_g$  giả sử bằng không, băng thông cho mỗi kênh up và down là bằng nhau và bằng  $BW_{ch}$ . Như vậy tổng băng thông của  $2n$  kênh sẽ bé hơn hoặc bằng băng thông tổng cộng của hệ thống:  $2 \times n \times BW_{ch} \leq BW_{total}$ . Hơn nữa băng thông của mỗi kênh lại được chia chi sẽ cho  $n$  user trong hệ thống do đặc điểm của giao thức chuyển giao bàn cờ. Do đó ta có công thức:  $2 \times n^2 \times BW_{user} \leq BW_{total}$ . Vậy ta có công thức:

$$n \leq \left\lfloor \sqrt{\frac{BW_{ch}}{2BW_{user}}} \right\rfloor \quad (2.3.1)$$

Với  $[x]$  là ký hiệu phân nguyên của  $x$  (số nguyên lớn nhất bé hơn hoặc bằng  $x$ ).

Nếu có tính thêm khoảng bảo vệ và công thức cho truyền dữ liệu bất đối xứng thì công thức được viết lại như sau:

$$n \leq \left\lfloor \sqrt{\frac{BW_{ch}}{BW_{up} + BW_{down} + 2.BW_g}} \right\rfloor \quad (2.3.2)$$

- *Độ rộng khe thời gian:*

Công thức tính độ rộng tối thiểu mỗi khe thời gian được cho như sau:

$$L_s \geq \left\lceil \frac{(2.t_{prop} + t_{proc}).n.BT_{user}}{n-2} \right\rceil \quad (dk : n \geq 3) \quad (2.3.3)$$



Trong đó  $L_s$  là chiều dài khe thời gian tính bằng bit,  $t_{prop}$  là thời gian trễ lan truyền ở cả phần quang lẫn phần không gian tính bằng s,  $t_{proc}$  là thời gian xử lý thông tin tại CS tính bằng s,  $BT_{user}$  là băng thông dành cho user tính bằng bit/s.

Công thức trên được xây dựng như sau: giả sử MH bắt đầu gọi cho CS một gói thông tin, tại thời điểm  $t=0$ , thì CS sẽ nhận được gói đó vào thời điểm  $t = t_{prop}$ , sau đó CS sẽ ngưng truyền trong  $n-1$  khe thời gian sau đó truyền cho MH vào đúng khe thời gian quy định. Thời gian đó, CS sẽ xử lý và truyền gói đó đến lại MH, tức là thời gian mà MH nhận được đầy đủ gói thông tin từ CS kể từ khi có yêu cầu sẽ là  $2.t_{prop} + t_{proc} + t_s$ , và khoảng thời gian này phải nhỏ hơn hoặc bằng khoảng  $(n-1)t_s$  mà MH phải chờ đợi. Vì vậy ta có công thức trên.

- *Thời gian trễ chuyển giao*: thời gian trễ chuyển giao nhỏ nhất phải thỏa mãn điều kiện.

$$(2n + 1) \cdot \left( \frac{2t_{prop} + t_{proc}}{n - 2} \right) \leq \min(t_{handover}) \leq (3n - 1) \cdot \left( \frac{2t_{prop} + t_{proc}}{n - 2} \right) \quad (2.3.4)$$

### 2.3.5 Tổng kết

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. Với cự ly nhỏ, bán kính phủ sóng các picocell không cần quá lớn, giá thành BS không phải là quá đắt nên các nhược điểm của sóng mm trở nên không đáng kể nữa, trong khi đó các ưu điểm của kỹ thuật như kiến trúc tập trung, băng thông rộng, tính di động cao lại được phát huy.

So với mạng WLAN thông thường thì mạng WLAN hoạt động ở băng tần mm có nhiều điểm khác nhau. Từ đặc điểm tổn hao lớn của sóng mm, số lượng BS cần được lắp đặt sẽ nhiều hơn để phủ sóng môi trường indoor. Trong nhiều mạng tương tự với số lượng các micro cell đủ lớn thì vấn đề quản lý di động là thật sự quan trọng. Với giao thức MAC, gọi là giao thức chuyển giao bàn cờ, với đặc tính là nhanh với chuyển giao đơn giản và tích hợp QoS, nó đã được đề xuất là giao thức trong mạng WLAN hoạt động ở băng tần mm này

## 1.4 2.4 Kỹ thuật RoF trong mạng truyền thông Road Vehicle

### 2.4.1 Giới thiệu

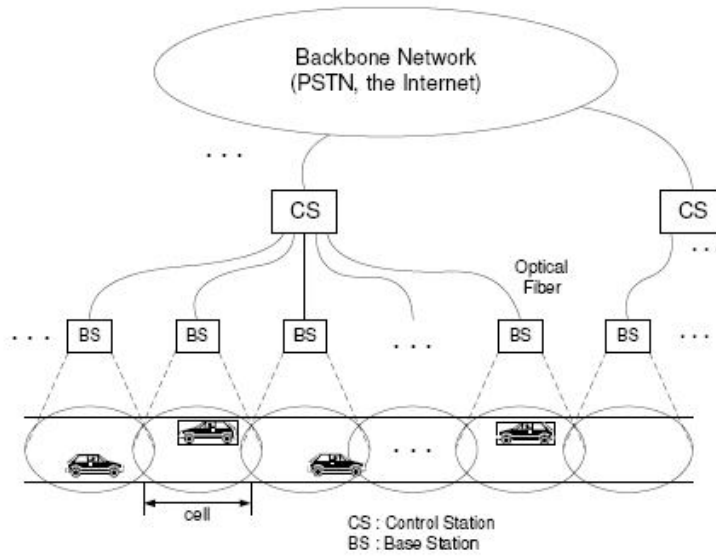
Mạng truyền thông Road Vehicle (Road Vehicle Communication RVC) là cơ sở hạ tầng của mạng ITS (intelligent transportation system), được ứng dụng cho các phương tiện đang di chuyển có thể truy cập vào mạng, từ đó các phương tiện trở thành những thành phần của mạng thông tin, chúng có thể liên lạc với nhau được sử dụng trong việc điều khiển các phương tiện một cách tự động bởi trung tâm. Những yêu cầu của hệ thống RVC này là phải đạt được tốc độ ít nhất 2-10Mbps cho mỗi MH nếu cần. Hơn nữa, mạng phải không chỉ hỗ trợ thoại và dữ liệu mà còn phải hỗ trợ các dịch vụ đa phương tiện như video thời gian thực khi các MH đang di chuyển. Từ những mạng thông tin di động cellular hiện tại và phát triển lên băng tần micromet nhưng vẫn không thể nào cung cấp đủ băng thông, do đó các băng tần mm trong khoảng từ 36GHz đến 60GHz đang được xem xét, cải tiến để ứng dụng cho mạng RVC này. Tuy dải băng tần này có băng thông cao hơn so với băng tần micromet, nhưng bán kính phủ sóng của các cell nhỏ hơn do suy hao trong không gian. Do đó đặc tính của mạng RVC đó là số lượng BS lớn để phủ sóng hoàn toàn mọi nơi và số lượng người sử dụng lớn, hỗ trợ tính di động. Như vậy kiến trúc mạng cần các yêu cầu chính sau: (1) mạng phải có giá thành tốt và (2) tích hợp khả năng chuyển giao nhanh và đơn giản để phục vụ một số lượng các user.

Tuy nhiên, trong RVC thì một thủ tục chuyển giao nhanh thực hiện khó hơn rất nhiều so với môi trường indoor, nhất là ở tốc độ dữ liệu cao lẫn tốc độ di chuyển. Để thực hiện được khả năng này, hệ thống phải có cơ chế quản lý chuyển giao để thực hiện việc chuyển giao liên tục và chính xác. Ta có thể lấy một ví dụ là một chiếc xe đang di chuyển với vận tốc 100km/h, thì với bán kính cell là khoảng 100m thì sự chuyển giao thực hiện mỗi 3.6s mỗi lần. Nếu vùng chồng lấn giữa 2 cell là 10m thì yêu cầu chuyển giao phải được thực hiện trong 0.36s. Trong ví dụ này ta đã thấy được trong mạng RVC cần một thủ tục chuyển giao nhanh và đơn giản để đáp ứng yêu cầu di chuyển nhanh của các MH. Đồng thời, trong kiến trúc mạng thì phải

tính toán đến vùng chồng lấn của 2 cell đủ lớn sao cho chúng có thời gian chuyển giao và cũng không được quá nhỏ khiến cho số lượng BS tăng lên, không có lợi trong việc quản lý cũng như giá thành mạng tăng. Trong chương này ta sẽ được tìm hiểu thủ tục MAC để thực hiện chuyển giao trong mạng RVC được ứng dụng kỹ thuật RoF với đặc tính là chuyển giao nhanh và đặc biệt là khả năng cấp băng thông động. Nó được thực hiện dựa trên khả năng điều khiển tập trung của mạng RoF để quản lý tính di động một cách hiệu quả.

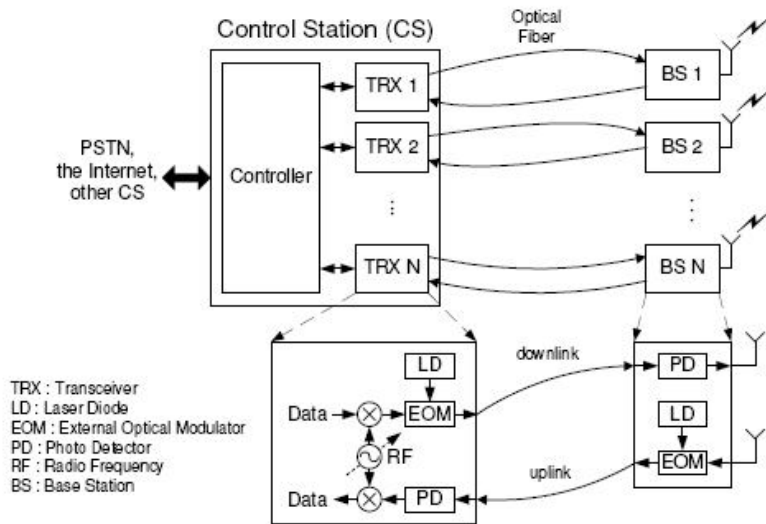
#### **2.4.2 Kiến trúc mạng**

Hệ thống RVC sử dụng kỹ thuật RoF được thể hiện trong hình 2-7, ở đây mỗi BS được kết nối liên tục đến một số lượng BS thông qua sợi quang, và mỗi BS ở đây là loại phục vụ cho mạng RVC với tầm phủ sóng rộng và các đặc tính phù hợp mạng. Ở chương này ta chỉ khảo sát các con đường một chiều, với hướng di chuyển của MH đã được CS biết trước. Đối với các đường nhiều chiều, ứng dụng có thể triển khai trong thành phố. Các CS được kết nối đến mạng đường trục, mạng đường trục có thể là mạng PSTN hay là mạng Internet. Mỗi BS sẽ phủ sóng một khu vực mà ta gọi là cell (không gọi là picocell như trong mạng WLAN nữa). Do đặc tính của sóng mm ở băng tần 36GHz cho đến 60GHz có suy hao lớn nên bán kính của mỗi mỗi cell chỉ nằm trong khoảng từ vài chục đến vài trăm mét và số lượng BS để phủ sóng nguyên con đường là khá lớn. Để đạt được kiến trúc tập trung và cấu trúc BS đơn giản với tầm phủ sóng CS lớn thì nhiều kỹ thuật RoF được thảo luận trong chương 2 sẽ được ứng dụng vào mạng và hiện nay ngày càng được cải tiến. Tuy nhiên trong chương này, ta chỉ thảo luận về kiến trúc mạng, còn các kỹ thuật đó được áp dụng như thế nào trong mạng đã được thảo luận ở chương 1. Kiến trúc mạng RVC sử dụng kỹ thuật RoF được thể hiện trong hình 2.7



**Hình 2.7 Mạng RVC dựa trên kỹ thuật RoF.**

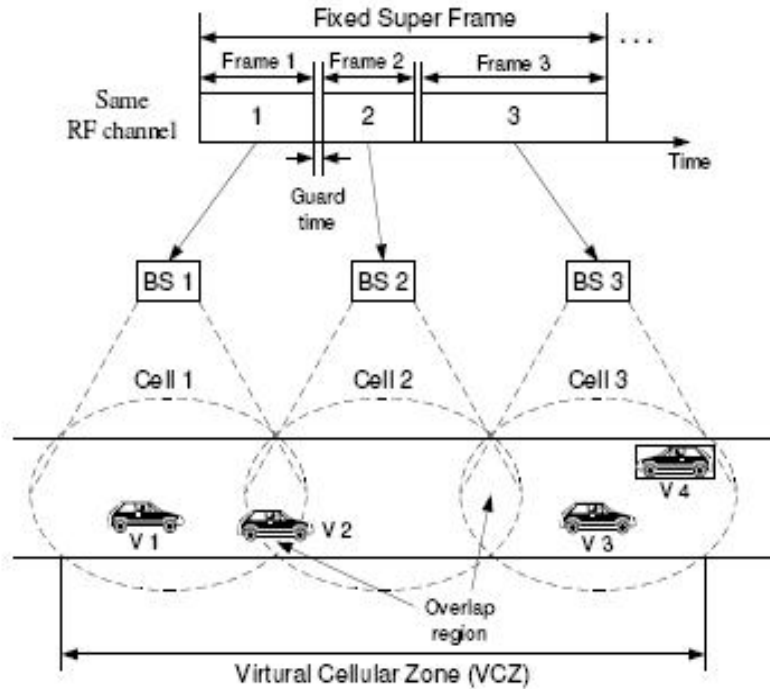
Phương pháp truyền dẫn tuyến uplink và downlink đã được nói ở chương 1. Dựa vào hình vẽ ta thấy cấu trúc BS rất đơn giản chỉ gồm một PD, một LD, một EOM và có thể có một bộ khuếch tần số RF. BS không thực hiện bất cứ một chức năng xử lý tín hiệu nào, nó chỉ đóng vai trò trung gian chuyển tải sóng RF giữa BS và MH. Mỗi CS sẽ có rất nhiều bộ thu phát TRX (transceiver), mỗi TRX phục vụ cho mỗi BS. TRX có thể được trang bị bộ dao động có tần số cố định hay có thể điều chỉnh được. Với bộ dao động RF điều chỉnh được tần số thì hệ thống có khả năng ấn định tài nguyên mềm dẻo hơn.



**Hình 2.8 Kiến trúc mạng RVC dựa trên kỹ thuật RoF.**

### 2.4.3 Hoạt động cơ bản trong mạng

Giả sử CS được kết nối đến N BS như trong hình vẽ 2.8, 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). TDMA được sử dụng trong hệ thống với các super-frame có kích thước cố định, bao gồm M khe thời gian mà mỗi khe được ấn định cho mỗi VCZ, mỗi khe được lấp đầy một gói dữ liệu có kích thước tối thiểu. Kênh RF bên trong một VCZ cũng tương tự, và các VCZ liên kế không được dùng chung kênh RF để tránh hiện tượng giao thoa đồng kênh. Do đó khi một MH đang di chuyển trong cùng VCZ thì chúng không nhất thiết phải đổi kênh tần số. Nó chỉ phải thay đổi kênh RF khi chuyển sang VCZ khác. Mỗi super-frame được chia thành các frame nhỏ hơn cho các cell bên trong VCZ, mà mỗi khung bao gồm cả kênh uplink lẫn downlink. Kích thước mỗi khung có thể được thiết kế sao cho cân đối với lưu lượng của mỗi cell.



**Hình 2.9** Ấn định khung trong khi di chuyển.

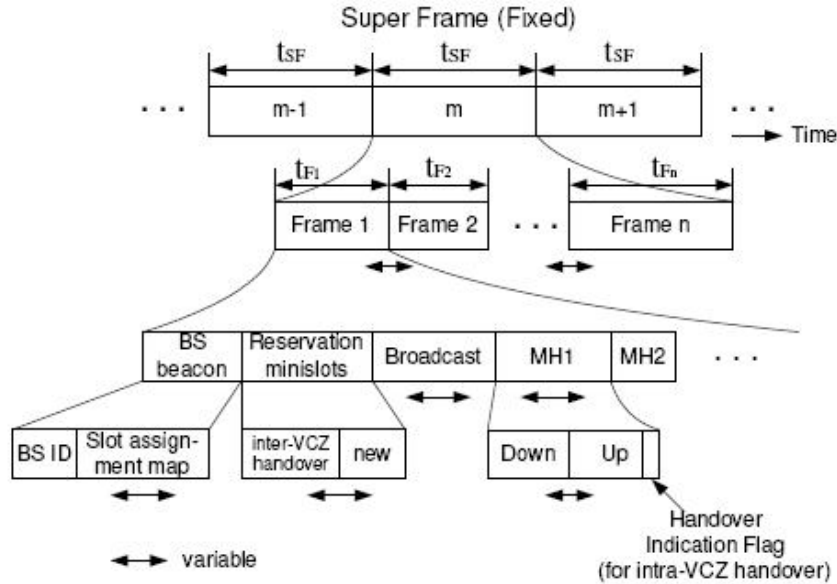
Hình 2.9 mô tả một VCZ bao gồm 3 cell và 3 frame được ấn định cho mỗi cell trong miền thời gian như thế nào khi sử dụng cùng một kênh RF. Điều cần được nhấn mạnh ở đây là trong mỗi chu kỳ của khung  $i$  thì chỉ có sự trao đổi thông tin của BS  $i$  với CS được thiết lập, BS trong một VCZ phải được điều khiển bởi CS để tìm ra khung thời gian thích hợp. Vì vậy mỗi kênh RF được ấn định để tránh hiện tượng giao thoa cùng kênh giữa các cell trong cùng VCZ. Nếu thiết bị đi vào khu vực mà không có chồng lán giữa 2 cell liên tục thì nó chỉ nhận được một khung trong cell mà nó đang đứng. Trong khi đó, khi nó di chuyển vào vùng chồng lán của cả 2 cell thì nó sẽ phải “lắng nghe” cả 2 khung trong một super-frame. Ví dụ trong hình 2.9, V1 chỉ nhận được frame 1, trong khi đó V2 lại nhận được cả frame 1 và 2 trong super-frame đó. Chú ý rằng mỗi frame không chỉ hỗ trợ một thiết bị mà có thể hỗ trợ được nhiều thiết bị như trong cell 3. Như vậy mỗi CS sẽ có nhiều VCZ, số lượng VCZ bằng với số lượng super-frames được phục vụ một cách đồng thời.

#### **2.4.4 MAC – quản lý tính di động – chuyển giao**

##### **a. Cấu trúc khung**

Tuy mạng RoF chưa được áp dụng vào thực tế, nhưng đã có nhiều đề nghị về cấu trúc khung cho mạng nhằm đạt được những yêu cầu của mạng. Ta sẽ tham khảo một cấu trúc khung trong mạng RVC sử dụng kỹ thuật RoF như được mô tả ở hình 2.10

Mỗi khung trong super-frame thuộc sở hữu của một BS và bắt đầu với một trường “beacon” được phát ra bởi CS bao gồm mã số nhận dạng BS (ID) và một bản tin thông báo việc ấn định khe thời gian cho vị trí khe đầu tiên và chiều dài khung cho mỗi MH. Tiếp theo là trường “reservation minislots” mà chúng được truy cập bởi MH để xác định quyền ưu tiên truy cập vào mạng, khung này không dùng cho truyền dữ liệu. Hơn nữa, nó được chia nhỏ thành các minislot dành cho yêu cầu chuyển giao liên VCZ, liên CS hay một kết nối mới cho MH khi gia nhập vào mạng. CS có thể thay đổi cấu trúc của các minislot này để quá trình chuyển giao đạt độ trễ cho phép. Để giải quyết vấn đề tranh chấp tài nguyên, các phương pháp thông thường được sử dụng như p-persistent. Tiếp theo là trường broadcast để quảng bá thông tin của mạng cho các MH tham gia. Cuối cùng là trường thông tin được chia thành 2 phần uplink và downlink. Trường uplink thường có 1 bit dành cho cơ chế chuyển giao nhanh trong cùng VCZ mà ta sẽ thảo luận ở phần sau.



Hình 2.10 Cấu trúc khung (không có các đoạn bảo vệ).

### b. Khởi tạo và gia nhập mạng

Khi một MH bắt đầu gia nhập vào mạng, đầu tiên nó phải quét tất cả các kênh RF. Sau khi chọn được một kênh RF sử dụng trong cell đó, nó sẽ gửi yêu cầu về số lượng băng thông cần thiết tới CS bằng cách sử dụng một trong những reservation mini-slot. Nếu yêu cầu thành công và hệ thống có đủ băng thông để cung cấp cho yêu cầu đó, thì thiết bị sẽ được ấn định lượng băng thông cần thiết trong superframe tiếp theo.

### c. Hỗ trợ tính di động – chuyển giao

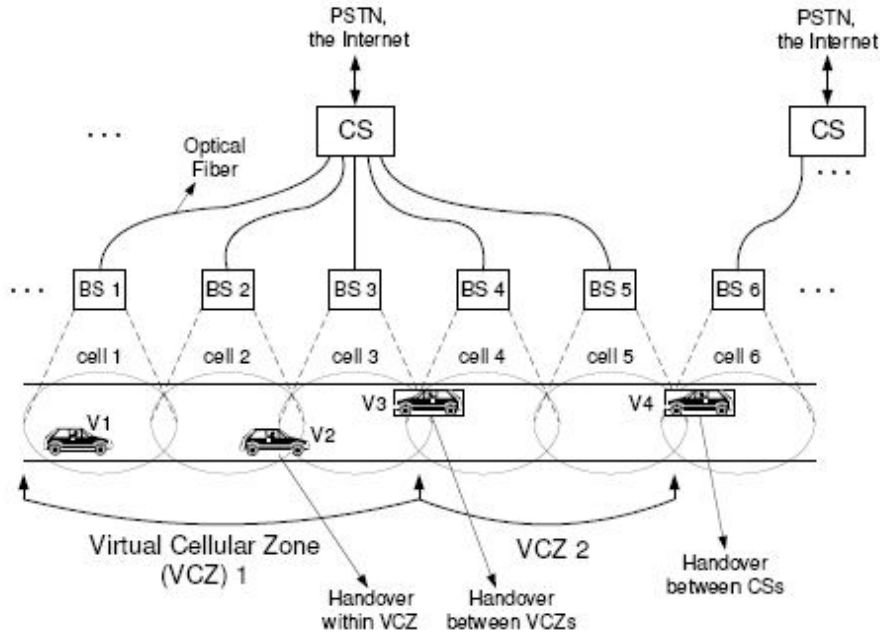
Trong kiến trúc mạng được phát họa ở trên thì mạng RVC sẽ hỗ trợ 3 kiểu chuyển giao (hình 2-11):

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

Trong tất cả các trường hợp chuyển giao thì vùng chồng lấn giữa 2 BS phải đủ lớn sao cho thiết bị có đủ thời gian để thực hiện chuyển giao. Ví dụ MH di chuyển



với vận tốc 100km/h thì di chuyển 1m hết 36ms. Do đó cấu trúc mỗi superframes đủ nhỏ (1-5 ms) thì thủ tục chuyển giao có thể thực hiện trong vòng vài mét. Ta sẽ lần lượt tìm hiểu các thủ tục chuyển giao đó.



**Hình 2.11 Một ví dụ chuyển giao trong mạng RVC.**

*(1) Intra-VCZ handover*

Trước hết, do tất cả các BS của một VCZ đều dùng cùng một kênh RF, do đó khi MH tiến đến vùng chồng lấn giữa 2 BS, nó sẽ bắt đầu nhận được 2 beacon, mỗi beacon sẽ chứa một BS-ID khác nhau đặc trưng cho mỗi BS trong cùng một superframe. MH sẽ gửi trở lại CS yêu cầu chuyển giao bằng cách thiết lập cờ “handover indication”. Sau đó, CS sẽ gửi trả đáp ứng trên băng lượng băng thông được cấp ở cell tiếp theo và giải phóng băng thông ở kênh cũ để sử dụng cho các MH khác. Ta có thể nhận thấy rằng tài nguyên dùng để thực hiện chuyển giao từ BS này đến BS tiếp theo luôn sẵn có bởi vì cơ chế MAC tập trung nên nó có thể hiệu chỉnh bằng cách thu hẹp chiều dài một khung của BS mà MH đang rời khỏi và gia tăng khoảng thời gian khung của BS mà nó chuẩn bị chuyển sang để cung cấp cho MH lượng băng thông yêu cầu. Do đó, trong chuyển giao intra-VZV, độ trễ chuyển

giao và độ rớt chuyển giao có thể gần bằng 0, hơn nữa băng thông được ấn định trong suốt sự di chuyển của MH. Đây chính là những đặc điểm chính của kiến trúc “dự thảo” này.

(2) *Inter-VCZ handover*

Trong trường hợp chuyển giao inter-VCZ, MH không thể lắng nghe được khung “beacon” ở VCZ mới được vì ở VCZ liền kề sử dụng những kênh RF khác để tránh hiện tượng nhiễu giao thoa đồng kênh. Tương tự với thủ tục thông thường, MH phải quét tất cả các kênh RF ở VCZ tiếp theo, hay còn được gọi là thủ tục chuyển giao cứng. Tuy nhiên, trong mạng RVC, do CS biết được hướng của MH nên nó có thể thông báo cho MH đang di chuyển trong cell cuối cùng của VCZ biết được kênh RF được sử dụng trong VCZ tiếp theo. Khi MH nhận được thông tin về kênh RF được sử dụng trong VCZ tiếp theo, nó sẽ bắt đầu quét kênh RF mới trong một chu kỳ, trong giai đoạn này nó chưa được cấp băng thông ở kênh tiếp theo. Nếu nó nhận được kênh RF mới, nó sẽ gửi yêu cầu chuyển giao trong reservation-minislot để thực hiện quá trình chuyển giao inter-VCZ. Nếu yêu cầu tới VCZ mới được chấp thuận và mạng đủ băng thông để cấp cho VCZ, MH mới có thể liên lạc được với mạng, còn ngược lại là yêu cầu gửi đến mạng bị lỗi (rớt liên lạc). Như vậy, chuyển giao inter-VCZ không giống với chuyển giao intra-VCZ bởi nó không chỉ thay đổi kênh tần số mà còn phải cấp lại băng thông cho thiết bị nên cần một cơ chế quản lý băng thông. Các CS có thể đặt các độ ưu tiên chuyển giao cho mỗi thiết bị, nhằm hạn chế băng thông và cho phép kết nối để điều khiển lỗi trong mạng thông tin di động cellular.

(3) *Inter-CS handover:*

Đối với chuyển giao giữa 2 CS khác nhau, ví dụ MH di chuyển từ vùng phủ sóng BS này sang vùng phủ sóng BS khác mà 2 BS này đặt dưới sự quản lý của 2 CS khác nhau, thì vấn đề quan trọng nhất đó là phải bảo đảm thông số QoS cho bất kỳ kết nối nào đang di chuyển. Thủ tục chuyển giao đối với trường hợp này cũng tương tự với thủ tục chuyển giao inter-VCZ đã nói ở trên, nhưng điểm khác nhau cơ bản là 2 BS này được quản lý bởi 2 CS khác nhau nên chúng không có kiến trúc tập

trung nữa. Trong trường hợp này 2 CS phải liên lạc với nhau qua mạng đường trục (có thể dựa trên giao thức IP). Tuy nhiên để giải quyết thủ tục chuyển giao đối với inter-CS này thì ngoài giao thức điều khiển ở lớp vật lý thì còn có những vấn đề liên quan đến nó nữa như định tuyến.

#### **2.4.5 Kết luận**

Mạng truyền thông Road Vehicle trong tương lai sẽ hoạt động ở băng tần mm để đạt được tốc độ dữ liệu cao hơn (từ 2-10Mbps). Đặc tính của mạng RVC là bán kính cell tương đối nhỏ và tính di động của các user cao, do đó cơ chế chuyển giao là một trong những vấn đề quan trọng cần phải giải quyết trong mạng này. Khi kiến trúc mạng hoàn chỉnh, nó sẽ được ứng dụng trên các tuyến đường cao tốc, các BS có thể được lắp đặt tại cái cột đèn ở giữa hay 2 bên đường rất thuận lợi. Khi đó các phương tiện giao thông trên đường có thể liên lạc với nhau hay liên lạc với trung tâm điều khiển, là cơ sở cho mạng điều khiển tự động các phương tiện trong mạng ITS. Tuy nhiên hiện nay mạng cũng chỉ ở mức dự thảo vì còn nhiều vấn đề (các giao thức lớp cao hơn, về mặt kỹ thuật, về mặt kinh tế,...) còn cần phải giải quyết trong tương lai, nhưng những gì được viết ở chương này cho thấy sự khả quan của mạng RVC trong tương lai.

### **1.5 2.5 RoF ứng dụng cho mạng truy nhập vô tuyến ở ngoại ô, nông thôn**

#### **2.5.1 Giới thiệu**

Mạng truy nhập băng thông rộng hiện nay đang có xu hướng phát triển mạnh mẽ, thêm vào đó để đạt được sự thuận tiện trong công việc thì ngoài đáp ứng tốc độ cao thì kết nối phải luôn ở tình trạng “always on”. Mạng truy nhập vô tuyến băng thông rộng hiện nay đã có nhiều lựa chọn tốt hơn để có thể cung cấp cho user nhiều dịch vụ băng rộng hơn với giá tốt hơn và có thể cạnh tranh được với các dịch vụ truy nhập có dây như xDSL hay mạng Cable modem. Thậm chí hiện nay, người ta

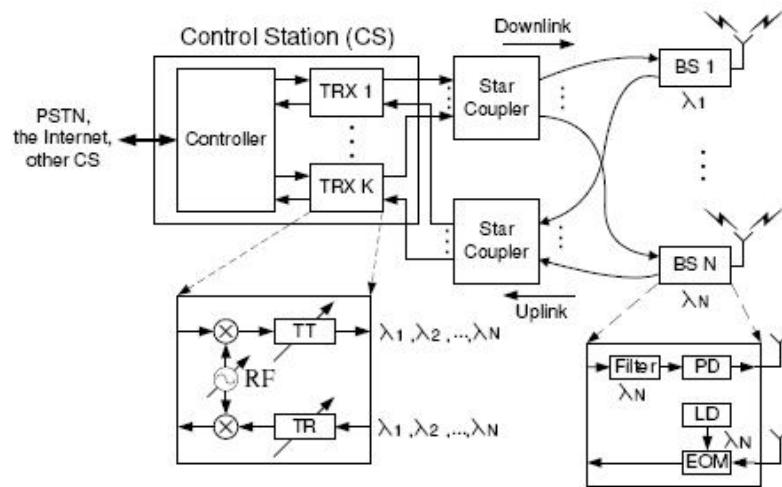
còn dần dần thay thế các đoạn dây đồng chạy đến thuê bao bằng công nghệ wireless mà mọi người vẫn thường gọi cái tên “wireless last mile”. Tuy nhiên đối với “wireless last mile” thì vấn đề cần quan tâm đó chính là ở những nơi có mật độ dân số thưa thớt như vùng ngoại ô nông thôn. Ở những nơi này, thứ nhất là vấn đề kéo dây rất khó khăn vì số lượng dân cư thưa thớt trải rộng trên một vùng, vấn đề nữa đó là khả năng tập trung thuê bao cũng không dễ. Do đó vấn đề wireless gần như là một giải pháp kinh tế đối với những nơi như thế này. Hay trong các nghiên cứu gần đây, người ta cũng bắt đầu quan tâm tới mạng BWAN cho các vùng dân cư thưa thớt như nông thôn hay ngoại ô, nơi mà cần một số lượng lớn BS được lắp đặt trong khi đó yêu cầu lưu lượng ở mỗi BS dường như là rất thấp so với mật độ dân số.

Mặt khác, kỹ thuật RoF ứng dụng cho mạng truy nhập vô tuyến đang trở nên hứa hẹn cho mạng BWAN bởi vì kiến trúc mạng có giá thành khá tốt. Hơn nữa, để hỗ trợ dịch vụ băng rộng, băng tần mm trong khoảng 36-60GHz đang được xem xét để sử dụng cho mạng BWAN này.

Trong hầu hết các kiến trúc mạng RoF thông thường, CS bao gồm một LD, một PD và một modem vô tuyến để phục vụ mỗi một BS, thì nó được điều khiển bởi CS. Hơn nữa, nhờ kỹ thuật ghép kênh WDM có thể ứng dụng một cách rộng rãi trong mạng RoF, nên nó đơn giản hóa kết nối giữa BS và CS. Và trong phần này, chúng ta sẽ tìm hiểu một kiến trúc mạng truy nhập vô tuyến sử dụng kỹ thuật RoF được ứng dụng trong các mạng BWAN kết hợp WDM. Và đặc biệt trong mạng này là số lượng bộ TRX ở CS ít hơn số lượng BS có trong mạng, và mỗi bộ TRX được trang bị một bộ thu và phát quang có thể điều chỉnh tần số được và một RF modem, với kiến trúc như vậy ta có thể đơn giản hóa được cả cấu trúc CS. CS được kết nối liên tục tới nhiều BS, mỗi bộ TRX ở CS đều có một bộ điều chỉnh bước sóng để hoạt động ở nhiều tần số thích hợp. Tuy hệ thống bị giới hạn dung lượng bởi số lượng bộ TRX, nhưng nó có cấu trúc CS đơn giản và mềm dẻo hơn trong việc ấn định băng thông. Do đó, hệ thống này thích hợp cho BWAN khi mà số lượng BS yêu cầu khá lớn nhưng lưu lượng mạng thì không nhiều, thỏa mãn một số yêu cầu của vùng ngoại ô và nông thôn.

### 2.5.2 Kiến trúc mạng

Kiến trúc mạng BWAN được mô tả như hình 2-12. Mạng bao gồm 1 CS với K TRX, N BS và nhiều trạm thuê bao SS (subscriber station) cố định, và mỗi BS kết nối đến CS bởi 2 sợi quang cho tuyến uplink và downlink một cách riêng biệt. Để nối từ CS đến nhiều BS, các thiết bị quang thụ động được sử dụng như là bộ ghép hình sao hay bộ cộng/phân chia quang với đặc tính là các thiết bị này ít nhạy cảm với bước sóng. Do mạng được ứng dụng vùng ngoại ô và nông thôn nên khoảng cách từ CS đến các BS là rất lớn. Vùng phủ sóng của mỗi BS được gọi là cell. Chức năng duy nhất của BS trong mạng chỉ đơn giản là chuyển đổi tín hiệu từ dạng quang sang RF và ngược lại, BS cũng không có chức năng xử lý tín hiệu nào. Trên thực tế, kiến trúc mạng này được cải tiến nhiều với những đặc tính thêm vào và sử dụng thêm các công nghệ mới hơn. Mỗi TRX trong mạng CS bao gồm 1 RF modem và một cặp TT-TR (tunable transmit – tunable receiver), có khả năng điều chỉnh tần số trong khoảng bước sóng  $\lambda_i$ ,  $1 \leq i \leq N$ . Các bộ điều chỉnh bước sóng phải có thời gian điều chỉnh bước sóng là không đáng kể, hay thực tế các TRX phải có thời gian điều chỉnh trong khoảng vài chục nano-giây. Modem trong mỗi TRX có khả năng thay đổi kênh RF để điều chế và giải điều chế. Các BS hoạt động ở các bước sóng cố định nên nó có thể sử dụng được các bộ lọc quang thụ động, đơn giản. Mỗi bước sóng có thể được sử dụng như sóng mang cho cả dữ liệu truyền dẫn tuyến uplink lẫn downlink. Vì vậy, mạng trên thuộc loại broadcast-and-select khi bất kỳ bộ TRX nào ở CS đều có thể truy nhập vào bất cứ BS nào bằng cách điều chỉnh tần số thích hợp, trừ phi có sự động độ các bước sóng. Và cuối cùng, trong kiến trúc này ta tất nhiên  $K < N$ .



Hình 2.12 Kiến trúc mạng RoF bao gồm K bộ thu phát (TRX) và N trạm BS.

### 2.5.3 Hoạt động

Ta xét mạng hoạt động theo kiểu TDMA/TDD. Để mỗi TRX có thể phục vụ một BS, nó phải biết được bước sóng và kênh tần số RF được dùng ở BS đó. Về phần kênh RF, ta giả sử rằng kênh RF đã được ấn định trước và cố định cho mỗi BS. CS sẽ giữ một bảng danh sách các số BS ID, các bước sóng và kênh RF của BS đó.

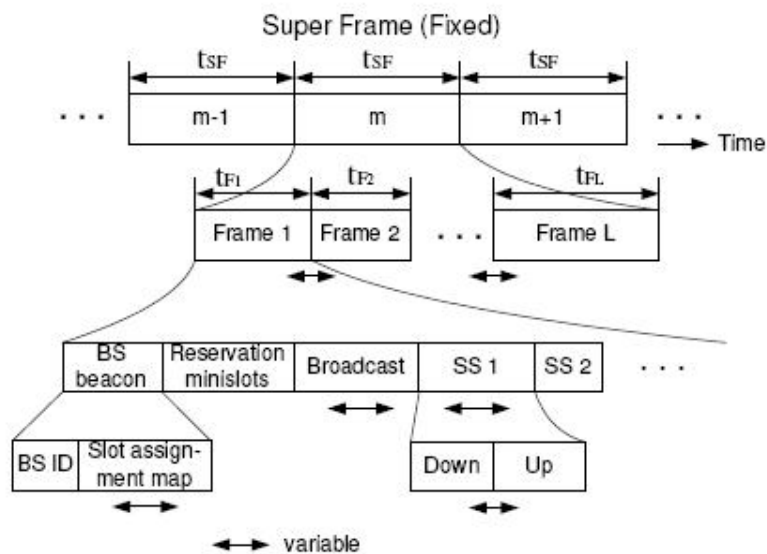
Với tuyến truyền dẫn downlink từ CS tới BS  $i$ , dữ liệu của user đầu tiên được điều chế sang miền RF, sau đó được điều chế sang miền quang tại tần số  $\lambda_i$ . Tín hiệu quang này được truyền trên tuyến downlink tới BS  $i$ , tại đó các tín hiệu quang được chuyển đổi lại sang miền vô tuyến và bức xạ bởi ăng ten tại cái BS. Còn ở tuyến uplink, tín hiệu RF nhận được tại BS sẽ được chuyển đổi sang tín hiệu quang tại tần số cố định  $\lambda_i$ . Sau đó nó được truyền về TRX trên tuyến uplink, TR sẽ giải điều chế tín hiệu quang tại tần số  $\lambda_i$ . Sau đó nó được giải điều chế thêm một lần nữa trên miền RF để lấy ra dữ liệu của người dùng.

Với cấu trúc mạng như trên thì không thể có quá 2 TRX cùng điều khiển một BS, bởi vì nếu như vậy thì sẽ xảy ra hiện tượng chồng lấn tần số. Do đó, băng thông của mạng bị giới hạn bởi số TRX và bằng K lần băng thông của mỗi bộ TRX. Để tăng dung lượng của mạng, ta có thể tăng số lượng bộ TRX lên, và số lượng bộ TRX này như thế nào là tùy thuộc vào lưu lượng mạng của vùng đó. Hiện nay, giờ

kỹ thuật ghép kênh DWDM nên mỗi CS có thể kết nối đến hàng trăm BS mà không bị hiện tượng thiếu bước sóng. Hơn nữa, do mạng hoạt động ở băng tần mm nên dung lượng của mỗi TRX là đến hàng trăm Mbps, trong khi đó với lưu lượng dữ liệu không lớn vài chục Mbps thì chỉ cần một số ít TRX đã có thể phục vụ được cho toàn bộ lưu lượng mạng. Tóm lại, với kiến trúc mạng đưa ra thì ta đã thấy được 2 ưu điểm của mạng có thể ứng dụng cho nông thôn và ngoại ô đó là (1) khả năng ổn định băng thông linh hoạt và hiệu suất sử dụng băng thông cao (2) dễ dàng mở rộng dung lượng hệ thống khi cần thiết.

### 2.5.4 Giao thức truy nhập mạng

Do độ trễ truyền các gói từ CS tới các BS trong mạng RoF có thể rất lớn so với thời gian truyền dẫn của mỗi gói, do đó các giao thức MAC như CSMA không thể thích hợp khi ứng dụng vào mạng. Vì vậy kiến trúc dự thảo trên cần phải kết hợp với giao thức MAC tập trung tại CS để có được một giao thức truy nhập mạng không định độ. Ta sẽ tìm hiểu giao thức đó trong phần này.



**Hình 2.13** Cấu trúc khung (các đoạn bảo vệ được lược giản).

- Cấu trúc khung: toàn bộ thời gian được chia thành các super-frame có chiều dài cố định như hình 2.13. Với mỗi super-frame như vậy thì nó lại được chia thành các frame có kích thước nhỏ hơn, có chiều dài tùy ý miễn là nó thỏa mãn điều kiện:

$$\sum_{j=1}^L t_{Fj} \leq t_{SF} \quad (2.5.1)$$

với L biểu thị số BS được hỗ trợ bởi một TRX, và nó phụ thuộc vào lưu lượng của mạng ở mỗi BS và mỗi TRX có một hệ số L khác nhau.

Mỗi frame được bắt đầu với trường “beacon” bao gồm BS ID và “slot assignment map”, nó cho biết cấu trúc các khe thời gian (thời điểm bắt đầu và kết thúc) dành cho mỗi SS. Trường tiếp theo là “reservation minislot”, để khi mỗi SS truy nhập vào trường thông tin này nó có thể dành trước một khe thời gian để truyền dữ liệu. Tùy thuộc vào từng bộ TRX mà mỗi CS sẽ quyết định có bao nhiêu minislot dành cho mỗi BS. Ở tuyến uplink thì trường “reservation minislot” bao gồm SSID và tham số QoS để bảo đảm chất lượng kênh truyền. Để giải quyết vấn đề tranh chấp, một phương pháp đơn giản được sử dụng là p-persistence. Tiếp theo là trường “broadcast” dùng để quảng bá thông tin của mạng, và cuối cùng là các khe được ấn định cho lưu lượng tuyến uplink và tuyến downlink dành cho mỗi SS mà nó đã được chỉ ra trong trường “assignment map”. Do các minislot này có chiều dài có thể thay đổi được nên mỗi SS có thể yêu cầu mạng thêm băng thông nếu cần thiết. Mỗi CS bao gồm K TRX, nên có thể có đến K super-frame được hoạt động đồng thời cùng một lúc. Và để TRX có thể chiếm quyền điều khiển 1 BS nó cần phải có một số thông tin thích hợp như bước sóng của BS đó để bộ TT và TR điều chỉnh tần số hoạt động ở bước sóng thích hợp, kênh RF được dùng ở BS để điều chế lên miền tần số RF. Một bảng liệt kê (scheduler) ở CS sẽ cung cấp thông tin này để điều khiển mỗi TRX.

- Scheduling – lập biểu: kỹ thuật scheduling trong mạng vô tuyến băng rộng là khá phức tạp, trong phần này ta chỉ tìm hiểu những yêu cầu của thuật toán scheduling với kiến trúc đã đưa ra với một trường hợp đơn giản nhất đó là mỗi TRX có dung lượng mỗi khe dữ liệu là cố định và bằng C và yêu cầu băng thông cho mỗi

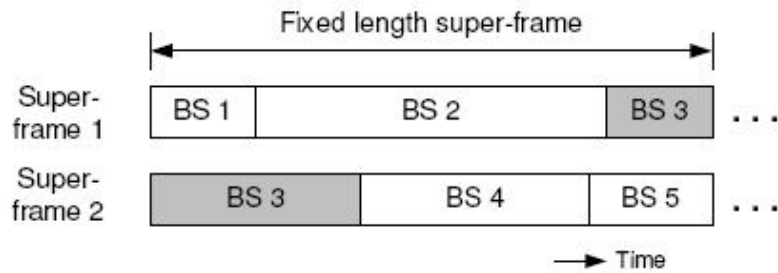


lưu lượng thuộc dạng hướng kết nối này là cố định trong toàn bộ thời gian. Do đó, cần phải hiệu chỉnh dung lượng cho khung tiếp theo. Công việc chính của scheduler là ấn định các khung tới TRX sao cho nó đạt được hiệu suất sử dụng băng thông cao nhất và tránh khả năng đùng độ bước sóng. Kết quả của bài toán sẽ cung cấp cho chúng ta biết được mỗi TRX với những thông tin như bước sóng hoạt động, thời điểm và khoảng thời gian hiệu chỉnh ở bước sóng đó, kênh RF tương ứng cho mỗi BS. Nó cũng chuẩn bị các khối dữ liệu hướng downlink cho mỗi BS và kết hợp chúng với TRX tương ứng ở mỗi khung thời gian. Như ta đã biết, mạng BWAN của chúng ta đang nghiên cứu có đến hàng trăm BS được kết nối đến một CS, do đó thuật toán scheduling cần phải nhanh chóng và đơn giản.

Vấn đề khó nhất trong thuật toán scheduling đó là làm thế nào để đóng gói  $N$  frame thuộc sở hữu của  $N$  BS thành  $K$  super-frame. Nếu cho phép phân đoạn các frame thì hiệu suất sử dụng băng thông của mạng sẽ cao hơn mặc dù phải có thêm các đoạn overhead. Tuy nhiên nếu sử dụng thuật toán cho phép phân mảnh các đoạn thì lại gây nên hiện tượng chồng lấn bước sóng. Với một yêu cầu lượng  $B_{new}$  trong mỗi super-frame ở BS  $i$  phải thỏa mãn 2 điều kiện dưới đây:

$$(i) B_U^i + B_{new} \leq C$$
$$(ii) \sum_{j=1}^N B_U^j + B_{new} \leq K.C$$

trong đó  $B_U^j$  là băng thông đang được sử dụng tại BS  $j$ . Điều kiện thứ nhất là để tránh hiện tượng chồng lấn bước sóng, điều kiện thứ hai là để tổng lưu lượng bé hơn lưu lượng cho phép của mạng.



**Hình 2.14 Ví dụ: 5 frame được chèn vào 2 super-frame với frame thứ 3 bị chia thành 2 phần.**

### 2.5.5 Kết luận

Trong kiến trúc mà chúng ta đang xem xét, chúng ta mới chỉ mới hiểu được vấn đề là sử dụng bước sóng quang cho mỗi BS chọn trước, tuy nhiên khi số lượng BS được chọn là độc lập và lớn hơn số lượng số bước sóng sẵn có (do giới hạn của kỹ thuật WDM), chúng ta cần phải mở rộng hơn kỹ thuật ghép kênh (thời gian, không gian, phân cực tín hiệu, mã, sóng mang con,...) để có thể kết hợp với WDM, tuy nhiên nó cũng làm tăng giá thành phần cứng của mạng do độ phức tạp. Để hoàn thiện mạng truy nhập vô tuyến này người ta đã cung cấp nhiều cách để gia tăng số lượng BS mà không bị phụ thuộc và sự truy cập với CS trong khi cấu hình mạng vẫn có được sự đơn giản cần thiết

## 1.6 2.6 Tổng kết

RoF là một kỹ thuật rất hay để kết hợp truy nhập vô tuyến và truy nhập quang. Nó kết hợp hai môi trường lại với nhau, đó là sợi quang và vô tuyến, và đó là một trong những cách tương đối đơn giản để truyền các tần số vô tuyến (băng rộng) hay tín hiệu baseband trên sợi quang. Nó sử dụng các tuyến quang tương tự để truyền dẫn và phân phối các tín hiệu vô tuyến giữa CS và một số lượng lớn các BS. Từ khi nó bắt đầu được giới thiệu lần đầu tiên bởi Cooper vào năm 1990 cho đến nay, rất nhiều nghiên cứu nhằm vượt qua những khó khăn của kỹ thuật và thiết kế một BS thật đơn giản. Hiện nay, nó đã bắt đầu đi vào giai đoạn nghiên cứu để có thể ứng

dụng cho thương mại và cạnh tranh với những công nghệ băng rộng khác, và chúng ta có thể hi vọng trong tương lai kỹ thuật RoF có nhiều ứng dụng hơn nữa với giá thành thấp hơn. Nhưng dù thế nào đi nữa thì chúng ta cũng có thể thấy được 3 đặc điểm quan trọng của mạng ứng dụng kỹ thuật này so với các mạng truy nhập vô tuyến thông thường đó là: (1) nó trong suốt với băng thông, kỹ thuật điều chế vô tuyến và các giao thức lớp vô tuyến (2) BS đơn giản, nhỏ và (3) kiến trúc mạng tập trung.

Trong chương này, chúng ta đã tìm hiểu được 3 ứng dụng của kỹ thuật RoF lên 3 kiểu mạng truy nhập vô tuyến khác nhau cho những ứng dụng khác nhau. Với 2 ứng dụng đầu, các cell có bán kính nhỏ và tính di động các user cao, do đó vấn đề quan trọng trong mạng đó là quản lý tính di động. Vì vậy, ở 2 mạng này chúng ta tìm hiểu về giao thức MAC tích hợp khả năng chuyển giao nhanh và đơn giản dùng cho kiến trúc tập trung phù hợp với mỗi loại mạng. Mặt khác, ở mạng truy nhập vô tuyến dành cho các vùng ngoại ô và nông thôn thì cần phải sử dụng băng thông hiệu quả hơn, do đó nó phụ thuộc rất lớn vào kiến trúc mạng tập trung. Với những kết quả trên, nó đã chỉ ra rằng các mạng truy nhập vô tuyến băng rộng ứng dụng kỹ thuật RoF còn những vấn đề khó khăn cần giải quyết, để nó có thể cạnh tranh với những mạng truy nhập vô tuyến ngày nay. Trong khuôn khổ đề tài, chúng ta cũng không đề cập đến vấn đề quản lý tài nguyên trong mạng, đó là một điều rất quan trọng đối với mạng truy nhập vô tuyến. Tuy nhiên, với những gì tìm hiểu được thì RoF đang là một công nghệ hứa hẹn cho các dịch vụ vô tuyến đã phương tiện băng rộng và dung lượng lớn trong tương lai.

## **Chương 3**

### **HOẠT ĐỘNG CỦA MỘT HỆ THỐNG ROF**

#### **1.7 3.1 Giới thiệu**

Ở chương này ta sẽ khảo sát một tuyến RoF cụ thể để xem nó hoạt động như thế nào cũng như đánh giá các thông số của tuyến đó như cự ly, dung lượng, tỷ lệ bit lỗi,...

Như ta đã biết, hiệu năng của một tuyến RoF sử dụng tần số mm, một phần bị giới hạn bởi mức nhiễu pha khi khôi phục sóng mang ở băng tần mm. Phần nhiễu pha này được tạo nên do 2 tần số quang trong kỹ thuật heterodyne không tương quan thực sự với nhau. Để đạt được sự tương quan, nhiều kỹ thuật vòng khóa pha được nêu ra, tuy chúng đều có những đặt tính tốt nhưng hầu hết chúng đều phức tạp, hay phải sử dụng những laser đặc biệt. Điều này không có lợi cho các BS đơn giản để giảm giá thành. Một kỹ thuật đơn giản nhưng có hiệu quả cao được đưa ra trong chương này đó là kỹ thuật OSSBC (optical single-side-band modulation: điều chế quang đơn biên) áp dụng vào tuyến downlink. Với kỹ thuật này, khoảng cách tần số giữa tín hiệu và sóng mang phải ở một mức nhất định để giảm thiểu hiện tượng nhiễu pha trong sợi quang có độ tán sắc thấp. Ở tuyến downlink trong chương này, ta sẽ phân tích kỹ thuật OSSBC dựa trên các kỹ thuật đã được mô tả ở chương 1.

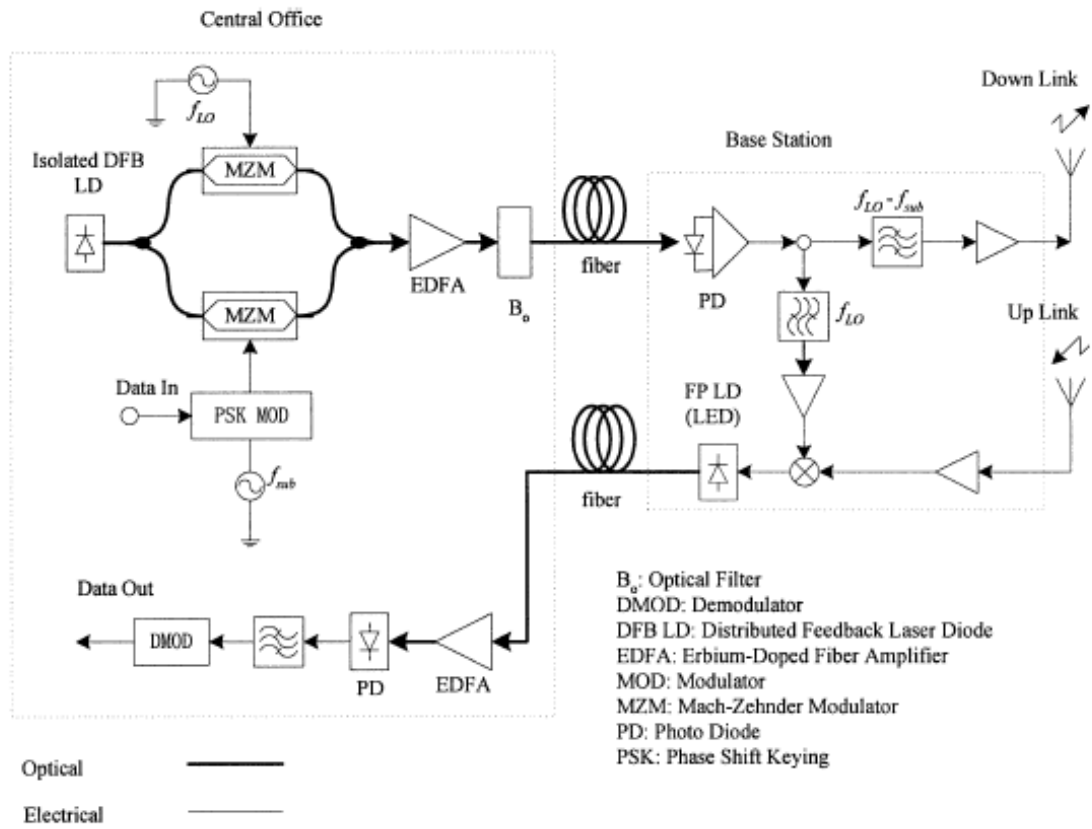
Đối với tuyến uplink, cũng đã có nhiều phương pháp được đưa ra để cải tiến nó được chia làm 3 loại: RF over Fiber, BB over Fiber và IF over Fiber. Đối với phương pháp thứ nhất, tuy đạt được sự đơn giản trong cấu hình và đặc biệt là tái sử dụng sóng mang của tuyến uplink nhưng nó yêu cầu các linh kiện phức tạp hoạt động ở băng tần mm và đặc biệt là vấn đề tán sắc cho cự ly dài. Ở phương pháp thứ hai thì chúng ta phải giải điều chế sóng RF nhận được ở BS rồi mới truyền về CS ở băng tần gốc. Nhìn chung 2 phương pháp trên đều là gia tăng độ phức tạp của các BS. Phương pháp IF over Fiber, sóng mm nhận được phải được hạ tần xuống IF rồi mới truyền tiếp về CS trên sợi quang. Do đó, ở BS cần phải có một bộ dao động ở tần số mm, điều này sẽ làm tăng giá thành của BS lên vì bộ giao động. Có một phương pháp để làm giảm bộ dao động này đó là “remote LO”, sóng LO được tạo ra ở đầu phát và đưa tới BS.

Ở chương này ta sẽ tìm hiểu một phương pháp truyền dẫn cụ thể của kỹ thuật RoF cho cả tuyến uplink và downlink.

## 1.8 3.2 Một tuyến RoF cụ thể

### 1.9 3.2.1 Cấu hình hệ thống

Hình 3.1 Mô tả cấu hình hệ thống sẽ được khảo sát trong chương này.



Hình 3.1 Tuyến RoF khảo sát sử dụng 2 bộ điều chế dual-Mach-Zehnder.

### 1.9.1 3.2.2 Các thành phần của hệ thống

$B_0$ : Bộ lọc quang độ rộng  $B_0$ .

DMOD: Bộ giải điều chế.

DFB LD: Laser DFB.

EDFA: Bộ khuếch đại quang sợi.

MOD: Bộ điều chế.

MZM: Bộ điều chế Mach-Zehnder.

PD: Photodiode tách sóng

PSK: Phương pháp điều chế số PSK khóa dịch pha.

### **1.9.2 3.2.3 Hoạt động của hệ thống**

Trên tuyến downlink: DFB laser dùng để cung cấp nguồn ngoài cho 2 bộ điều chế dual-Mach-Zehnder (gồm 4 bộ điều chế Mach Zehnder) bởi 1 coupler 3dB. Bộ điều chế MZ ở trên dùng để điều chế tần số LO dành cho kỹ thuật remote LO, bộ điều chế dưới điều chế tín hiệu số dạng BPSK. Ngõ ra 2 bộ điều chế này được tổng hợp bởi một coupler 3dB và được khuếch đại lên bởi một bộ EDFA. Bộ lọc băng thông quang  $B_0$  dùng để lọc các thành phần tần số không mong muốn đồng thời giảm hiện tượng xuyên kênh khi sử dụng phương pháp WDM. Trên sợi quang, tín hiệu sẽ bị các tác động của sợi quang trước khi đến BS.

Tại BS, trước tiên tín hiệu quang được tách sóng bởi một photo-diode. Tại ngõ ra của photo-diode này là tín hiệu dạng điện trong đó có 2 thành phần quan trọng được tách ra bởi những bộ lọc thông dải. Một thành phần là dữ liệu được đưa tới bộ khuếch đại cao tần trước khi bức xạ ra anten tới MH. Một thành phần là tần số LO dùng trong tuyến uplink.

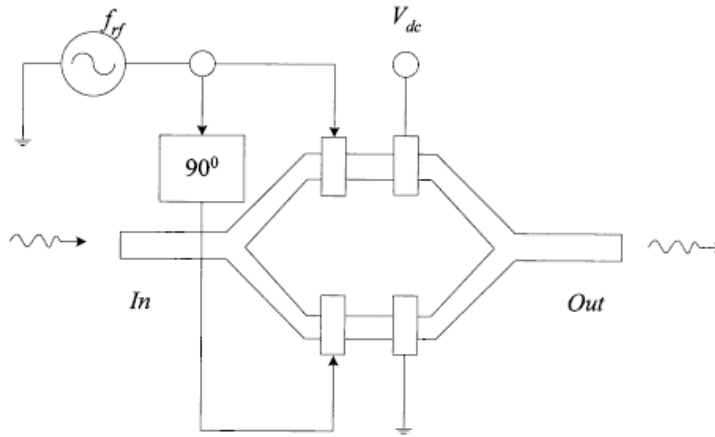
Tuyến uplink, tín hiệu thu được ở anten dạng điện sẽ được hạ tần bởi tần số LO được tách ra ở photodiode. Sau khi hạ tần, tín hiệu sẽ được truyền về CS bằng FB laser hay thậm chí LED. Tại CS, trước hết tín hiệu được khuếch đại bởi EDFA sau đó tách sóng bởi photo-diode. Mạch lọc thông sau photo-diode để tách ra thành phần cần thiết trước khi đưa tới bộ giải điều chế.

## **1.10 3.3 Phân tích hoạt động tuyến downlink**

### **1.10.13.3.1 Bộ điều chế “dual Mach-Zehnder” – Kỹ thuật điều chế OSSBC**

Trong cấu hình ở hình 3-1, ngõ ra của laser DFB được kết nối với 2 bộ điều chế ngoài “dual Mach-Zehnder” mắc song song bởi một coupler 3dB thông thường.

**Bộ điều chế ngoài “dual Mach-Zehnder”** bao gồm 2 bộ điều chế Mach-Zehnder (Mach-Zehnder Modulator - MZM) được mắc song song với nhau như hình 3-2. Ngõ vào của bộ điều chế được cung cấp bởi laser DFB. Hệ thống trên bao gồm 2 bộ điều chế như vậy. Một bộ cùng để cung cấp tần số dao động LO cho tuyến uplink, vì tuyến sử dụng kỹ thuật Remote LO, và một bộ điều chế tín hiệu ở tần số RF. Để khảo sát bộ điều chế ngoài này, ta giả sử nguồn tín hiệu điều khiển là  $f_{rf}$  như hình vẽ.



**Hình 3.2 Bộ điều chế ngoài “Dual Mach-Zehnder”**

Tín hiệu tần số RF này được chia làm 2 phần để phân cực cho 2 nhánh của bộ điều chế. Ở nhánh dưới, tần số RF này được đi qua một bộ dịch pha  $90^0$ . Để điều khiển pha cho mỗi bộ MZM, nhánh trên được phân cực bởi một điện áp  $V_{dc}$ , còn nhánh dưới được nối đất (grounded). Như vậy, theo công thức (1.6.2) thì ta có trường điện từ ngõ ra của bộ điều chế sẽ là (phần thực):

$$E(t) = \frac{A}{2\sqrt{I_M}} \left\{ \begin{array}{l} \cos[\omega_{opt}t + \alpha\pi + \beta\pi \cos(\omega_{rf}t)] \\ + \cos[\omega_{opt}t + \beta\pi \cos(\omega_{rf}t + \pi/2)] \end{array} \right\} \quad (3.3.1)$$

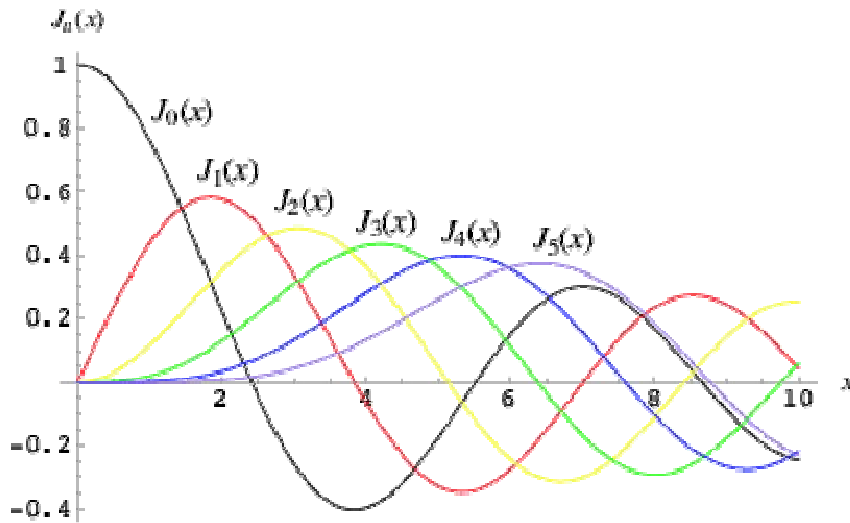
trong đó  $A$  là biên độ cường độ trường của ngõ ra,  $I_M$  là tổn hao chèn của bộ điều chế,  $\omega_{opt}$  là tần số góc của tín hiệu quang,  $\omega_{rf}$  là tần số góc tín hiệu RF,  $\alpha (=V_{dc}/V_\pi)$

điện áp phân cực chuẩn hóa,  $\beta (=V_{ac}/V_{\pi})$  điện áp điều khiển chuẩn hóa với  $V_{ac}$  là biên độ của tín hiệu điều khiển.

Phân tích công thức trên dưới dạng chuỗi Fourier sử dụng hàm Bessel ta được:

$$E(t) = \frac{A}{\sqrt{I_M}} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} J_n(\beta\pi) \cos\left(\frac{\alpha\pi}{2} - \frac{n\pi}{4}\right) \times \cos\left[\left(\omega_{opt} + n\omega_{rf}\right)t + \frac{\alpha\pi}{2} + \frac{3n\pi}{4}\right] \quad (3.3.2)$$

với  $J_n(.)$  đại diện cho hàm Bessel thứ  $n$  loại 1. Hình 4-3 vẽ một số hàm Bessel loại 1.



**Hình 3.3 Một số hàm Bessel loại 1.**

Như ở công thức trên ta thấy, cường độ trường  $E(t)$  tại ngõ ra có rất nhiều thành phần phổ, tuy nhiên biên độ của mỗi thành phần này là khác nhau, tùy thuộc vào giá trị  $\beta$  ở bên trong mỗi hàm Bessel. Đối với bộ điều chế dual-MZM thì tín hiệu điều khiển thông thường là tín hiệu nhỏ nên người ta chọn sao cho  $\beta\pi \ll 1$ , đồng thời bộ điều chế hoạt động ở điểm cầu phương (quadrature point) có  $\alpha=1/2$ . Khi đó các thành phần có  $n \neq 0$  thì  $J_n(\beta\pi) \approx 0$  và  $J_n(\beta\pi) \ll J_1(\beta\pi) \ll J_0(\beta\pi)$  nên chúng không đáng kể ta có thể bỏ qua. Vì vậy cường độ trường  $E(t)$  ngõ ra lấy 2 thành phần có thể viết lại thành:



$$E(t) = \frac{A}{\sqrt{I_M}} \begin{pmatrix} J_0(\beta\pi) \cos\left(\omega_{opt}t + \frac{\pi}{4}\right) \\ -J_1(\beta\pi) \cos[(\omega_{opt} + \omega_{rf})t] \end{pmatrix} \quad (3.3.3)$$

Đây chính là kỹ thuật điều chế OSSBC mà ta đang đề cập.

**Cường độ trường tổng hợp tại ngõ ra** Cường độ trường ngõ ra của laser DFB sẽ có dạng:

$$E_{LD}(t) = \sqrt{2P_{opt}} \cos(\omega_{opt}t) \quad (3.3.4)$$

Đối với bộ điều chế phía trên, tín hiệu điều khiển là tín hiệu  $f_{LO}$  là thành phần sóng mang được sử dụng cho tuyến uplink trong kỹ thuật remote LO. Nhánh trên có cường độ trường:

$$E_{upp}(t) = \sqrt{\frac{P_{opt}}{2I_M}} J_0(\beta_{LO}\pi) \cos\left(\omega_{opt}t + \frac{\pi}{4}\right) - \sqrt{\frac{P_{opt}}{I_M}} J_1(\beta_{LO}\pi) \cos[(\omega_{opt} + \omega_{LO})t] \quad (3.3.5)$$

Còn ở nhánh dưới tín hiệu điều khiển là thành phần dữ liệu đã được điều chế, ở phương pháp này, người ta chọn kỹ thuật điều chế dữ liệu là BPSK. Dữ liệu được điều chế BPSK tại tần số  $f_{sub}$ . Sau đó được đưa trực tiếp vào điều khiển bộ điều chế ngoài ở nhánh dưới. Do đó, cường độ trường ở nhánh dưới có dạng:

$$E_{low}(t) = \sqrt{\frac{P_{opt}}{2I_M}} J_0(\beta_{sub}\pi) \cos\left(\omega_{opt}t + \frac{\pi}{4}\right) - \sqrt{\frac{P_{opt}}{I_M}} J_1(\beta_{sub}\pi) \cos[(\omega_{opt} + \omega_{sub})t + \varphi_{sig}(t)] \quad (3.3.6)$$

với  $\varphi_{sig}(t)$  là pha dữ liệu được điều chế BPSK và  $\varphi_{sig}(t)=0$  cho bit “1”,  $\varphi_{sig}(t)=\pi$  cho bit “0” trong suốt chu kỳ bit.

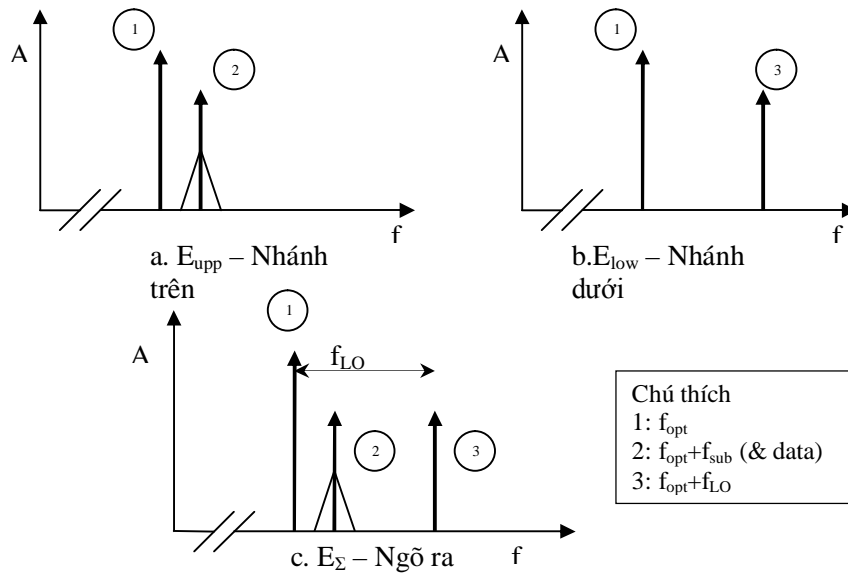
Vậy tổng hợp ngõ ra của cả 2 bộ điều chế sẽ là:

$$\begin{aligned}
 E_{\Sigma}(t) = & \sqrt{\frac{P_{opt}}{2I_M I_C}} [J_0(\beta_{LO}\pi) + J_0(\beta_{sub}\pi)] \times \cos\left(\omega_{opt}t + \frac{\pi}{4}\right) \\
 & - \sqrt{\frac{P_{opt}}{I_M I_C}} J_1(\beta_{LO}\pi) \cos[(\omega_{opt} + \omega_{LO})t] \\
 & - \sqrt{\frac{P_{opt}}{I_M I_C}} J_1(\beta_{sub}\pi) \cos[(\omega_{opt} + \omega_{sub})t + \varphi_{sig}(t)]
 \end{aligned} \tag{3.3.7}$$

với  $I_C$  là tổn hao chèn của coupler.

**Phân tích phổ của tín hiệu** để hiểu rõ hơn về tín hiệu  $E_{\Sigma}(t)$  ta phân tích phổ của chúng.

Dựa vào hình 3.4 ta thấy tại ngõ ra của bộ điều chế có 3 thành phần tần số đó là  $f_{opt}$ ,  $f_{opt}+f_{sub}$  (thành phần này mang dữ liệu),  $f_{opt}+f_{LO}$ . Dựa vào phổ biên ngõ ra của bộ điều chế, phổ biên độ gồm các vạch tần số, và cách tách sóng ở đầu cuối ta có thể biết được tuyến RoF này đang sử dụng kỹ thuật remote heterodyne, tức bộ dao động được tạo ra tại đầu phát. Ta có thể sử dụng các kết quả trong kỹ thuật heterodyning khi phân tích tuyến quang này.



**Hình 3.4** Phổ biên độ của a. nhánh trên bộ điều chế, b. nhánh dưới bộ điều chế, c. ngõ ra bộ điều chế

### 1.10.23.3.2 Tác động sợi quang

Khi truyền tín hiệu trên qua sợi quang, tất nhiên nó sẽ bị ảnh hưởng của rất nhiều hiện tượng gây nhiễu, khiến cho tín hiệu thu được không hoàn toàn chính xác với tín hiệu ban đầu. Tuy nhiên, 3 tác nhân ảnh hưởng lớn nhất đối với tuyến quang này đó là:

- Suy hao: do chiều dài của tuyến quang thường lớn, trên 10km, nên hiện tượng suy hao ảnh hưởng đến tuyến quang rất quan trọng. Thứ nhất, nó làm cho tín hiệu suy yếu, khi tín hiệu suy yếu thì ảnh hưởng của các tác nhân khác càng lớn hơn. Thứ hai đó là do biên độ tín hiệu ngõ ra nhỏ, nên cần phải có một bộ khuếch đại RF ở đầu BS, và tổn năng lượng cung cấp cho BS, với những BS ở gần nguồn điện thì điều này không quan trọng, nhưng đối với những BS ở xa lưới điện, thì nguồn điện được cung cấp từ xa lớn sẽ khiến cho dây dẫn lớn hơn, dẫn tới chi phí bỏ ra cho mạng cũng nhiều hơn. Điều cuối cùng là do tuyến sử dụng kỹ thuật remote heterodying cho tuyến downlink và remote LO cho tuyến uplink, nên suy hao này làm cho tín hiệu tách tại BS có biên độ càng nhỏ. (Xem phần 3.3.3).

- Tán sắc: hiện tượng tán sắc là hiện tượng phổ biến nhất khi truyền tín hiệu quang trên sợi quang. Hiện tượng tán sắc xảy ra càng nghiêm trọng hơn khi tuyến quang này sử dụng kỹ thuật RoF với sóng RF được điều chế lên miền quang. Để khắc phục hiện tượng này, người ta sử dụng laser DFB có bề rộng phổ rất nhỏ tính bằng MHz, hiện nay đã có những laser DFB có bề rộng phổ là 1MHz, còn loại 75MHz và 150MHz đã trở nên phổ biến hơn. Sợi quang cũng góp phần giảm ảnh hưởng của hiện tượng tán sắc, nhiều loại sợi quang mới được phát triển để hạn chế vấn đề này.

- Nhiễu pha: cũng là 1 trong những hiện tượng ảnh hưởng đến tuyến quang này nhiều nhất. Hiện tượng nhiễu pha có giá trị trung bình tỷ lệ với bình phương băng thông tín hiệu. Với phương pháp trên ở tuyến uplink thì ta thấy bề rộng phổ là rất lớn, chiếm một khoảng  $f_{LO}$ . Với  $f_{LO}$  có tần số 60GHz thì bề rộng phổ lên đến 0.5nm. Kỹ thuật này cũng cho ta thấy một hạn chế là ta không thể áp dụng phương pháp DWDM thông thường được.

### 1.10.33.3 Tách sóng tại BS – các sản phẩm RF

Thành phần tín hiệu truyền đến BS bao gồm 3 tần số, phương trình cường độ trường nhận được tại PD của BS được biểu diễn như sau:

$$\begin{aligned}
 E_{PD}(t) = & \sqrt{\frac{GP_{opt}}{2I_M I_C I_F L}} [J_0(\beta_{LO}\pi) + J_0(\beta_{sub}\pi)] \times \cos\left(\omega_{opt}t + \frac{\pi}{4}\right) \\
 & - \sqrt{\frac{GP_{opt}}{I_M I_C I_F L}} J_1(\beta_{LO}\pi) \cos[(\omega_{opt} + \omega_{LO})t] \\
 & - \sqrt{\frac{GP_{opt}}{2I_M I_C I_F L}} J_1(\beta_{sub}\pi) \cos[(\omega_{opt} + \omega_{sub})t + \varphi_{sig}(t)] \\
 & + E_{noise}(t)
 \end{aligned} \tag{3.3.8}$$

với  $I_F$  là suy hao chèn của bộ EDFA,  $G$  là độ lợi của EDFA,  $L$  là suy hao của sợi quang.

Giả sử thành phần nhiễu không đáng kể. Như vậy sau khi tách sóng, ta sẽ thu được sản phẩm ở miền tần số RF dạng tín hiệu điện. Phương trình tách sóng có dạng:

$$I(t) = |E_{PD}(t)| \tag{3.3.9}$$

Do  $E_{PD}(t)$  bao gồm 3 thành phần tần số, nên sản phẩm sau khi tách sóng sẽ bao gồm 3 thành phần tần số. Bằng bộ lọc thích hợp, người ta tách ra 2 thành phần sóng đáng quan tâm nhất. Sản phẩm RF thứ nhất đó là tín hiệu RF được đưa tới anten và bức xạ tới BS. Đó là sản phẩm của 2 thành phần tần số  $f_{opt}+f_{LO}$  và  $f_{opt}+f_{sub}$ :

$$\begin{aligned}
 i_{signal}(t) = & \frac{\eta e GP_{opt}}{hf_{opt} I_M I_C I_F L} J_1(\beta_{sub}\pi) J_1(\beta_{LO}\pi) \\
 & \times \cos[(\omega_{LO} - \omega_{sub})t - \varphi_{signal}(t)]
 \end{aligned} \tag{3.3.10}$$

với  $\eta$  hiệu suất lượng tử của PD,  $e$  là electro charge, và  $hf_{opt}$  là năng lượng photon và tín hiệu  $i_{signal}(t)$  này được đưa tới anten truyền tới MH. Đây chính là kỹ thuật tách sóng heterodyne, nhờ kỹ thuật này mà tín hiệu dữ liệu được đưa lên miền tần số RF có tần số sóng mang  $f_{LO}-f_{sub}$  mà không cần phải có bộ điều chế nâng tần RF. Đây cũng là một điểm hay của kỹ thuật này.

Dựa vào công thức ta thấy ảnh hưởng của suy hao lên tín hiệu ngõ ra. Nếu biên độ của tần số LO tăng 2 lần thì  $i_{signal}(t)$  chỉ tăng lên  $\sqrt{2}$  lần nếu sử dụng phương pháp remote heterodyning, nhưng nếu sóng LO được tạo ra tại BS thì biên độ của  $i_{signal}(t)$  lại tăng lên 2 lần.

Sản phẩm thứ 2 đó là thành phần tần số LO để sử dụng kỹ thuật hạ tần cho tuyến downlink. Đó là sản phẩm của 2 thành phần tần số  $f_{opt}$  và thành phần tần số  $f_{opt}+f_{LO}$ . Tín hiệu tách được có dạng:

$$i_{LO}(t) = \frac{\eta e G P_{opt}}{h f_{opt} I_M I_C I_F L} [J_0(\beta_{sub}\pi) + J_0(\beta_{LO}\pi)] \times J_1(\beta_{LO}\pi) \cos\left[\omega_{LO}t - \frac{\pi}{4}\right] \quad (3.3.11)$$

### 1.11 3.4 Tuyến uplink

Tuyến uplink sử dụng kỹ thuật hạ tần để đưa tín hiệu tần số RF xuống tần số IF (kỹ thuật IF over Fiber) với tín hiệu LO được lấy ra từ thành phần truyền dẫn tuyến uplink. Do sóng quang mang tần số IF nên bề rộng phổ nhỏ hơn và ít bị tác động của hiện tượng tán sắc hơn. Vì vậy tuyến downlink sử dụng kỹ thuật này chỉ cần trang bị một LD FB hay thậm chí là một LED có bề rộng phổ lớn mà vẫn bảo đảm tín hiệu được truyền về một cách đầy đủ.

Trước khi về tới CS, tín hiệu được khuếch đại bởi bộ EDFA trước khi đi vào bộ tách sóng, sau đó qua mạch lọc thông dải để lấy thành phần cần thiết để giải điều chế tại RF modem.

Như vậy với kỹ thuật remote LO mà ở BS ta không cần bộ dao động LO, đồng thời thành phần phát cũng chỉ cần sử dụng 1 LD FB hay thậm chí là 1 LED cũng bảo đảm yêu cầu. Cấu hình đã cho ta một cấu trúc BS khá đơn giản, chỉ bao gồm các thành phần chuyển đổi điện/quang, ngược lại và lọc thông chứ không có chức năng xử lý nào được thực hiện tại BS

## 1.12 3.5 Mô phỏng tuyến downlink

### 1.13 3.5.1 Giới thiệu

Trong phần này, ta sẽ mô phỏng hoạt động tuyến RoF như đã được mô tả ở hình 3.1 sử dụng chương trình Simulink của Matlab.

Để đơn giản ta chỉ mô phỏng hoạt động của tuyến downlink để so sánh với các công thức đã được nêu ra ở phần 3.3. Các tác động của nhiễu sẽ không được xét trong quá trình mô phỏng.

Chương trình mô phỏng sẽ vẽ ra dạng đồ thị về dạng của tín hiệu và phân tích phổ của nó.

#### 1.13.13.5.2 Mô hình hóa và các thông số

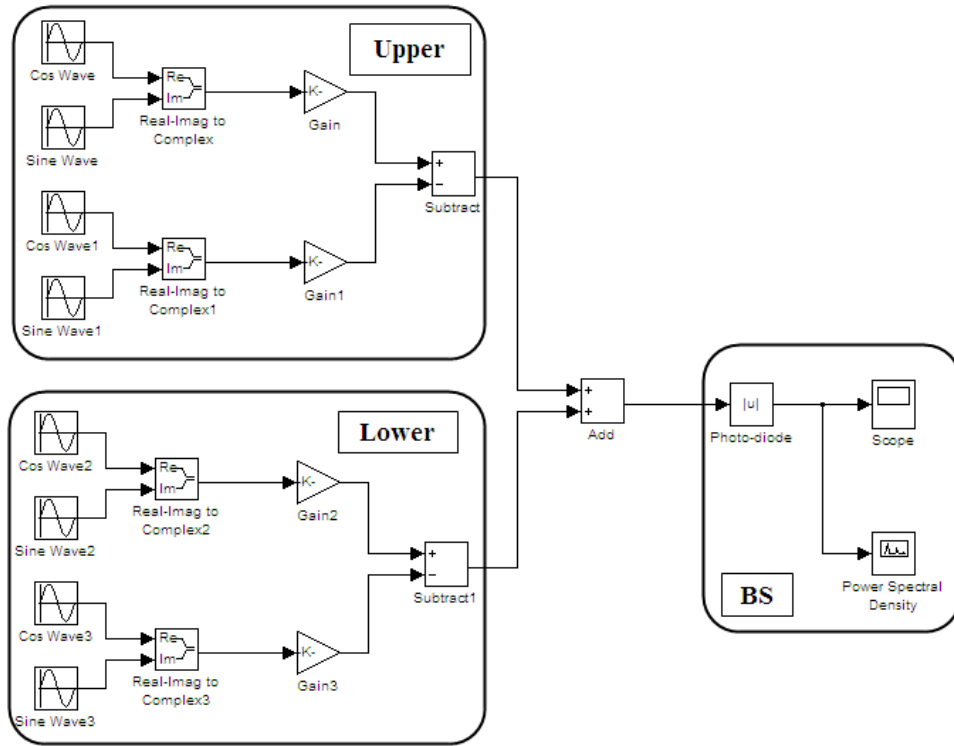
Dựa vào công thức (3.3.5) và (3.3.6)

$$(3.3.6) \rightarrow \begin{aligned} E_{upp}(t) = & \sqrt{\frac{P_{opt}}{2I_M}} J_0(\beta_{LO}\pi) \cos\left(\omega_{opt}t + \frac{\pi}{4}\right) \\ & - \sqrt{\frac{P_{opt}}{I_M}} J_1(\beta_{LO}\pi) \cos[(\omega_{opt} + \omega_{LO})t] \end{aligned}$$

$$(3.3.7) \rightarrow \begin{aligned} E_{low}(t) = & \sqrt{\frac{P_{opt}}{2I_M}} J_0(\beta_{sub}\pi) \cos\left(\omega_{opt}t + \frac{\pi}{4}\right) \\ & - \sqrt{\frac{P_{opt}}{I_M}} J_1(\beta_{sub}\pi) \cos[(\omega_{opt} + \omega_{sub})t + \varphi_{sig}(t)] \end{aligned}$$

Là các kết quả của ngõ ra bộ điều chế ngoài dual-MZM. Ta có thể mô phỏng 2 bộ điều chế như 2 khối upper và lower trong hình 3.5. Một khối cộng tín hiệu được đặt ở phía sau để kết hợp 2 ngõ ra bộ điều chế này, để phân tích tuyến ta có thể sử dụng các kết quả của heterodyne. Về phía BS, tuyến downlink chỉ đơn giản là một photodiode được biểu diễn bởi công thức (3.3.9) nên được mô phỏng bởi một khối lấy module như hình 3.5. Hai khối Scope và PSD dùng để phân tích hình dạng tín hiệu thu được. Mô hình này đã đơn giản hóa các thành phần nhiễu, bộ khuếch đại

EDFA, suy hao sợi quang, và một số thành phần khác vì ta chỉ cần quan sát dạng của tín hiệu và phân tích phổ của thành phần ra.



**Hình 3.5 Sơ đồ mô phỏng tuyến downlink**

Với mô hình như trên, ta lần lượt chọn các thông số trong công thức (3.3.5) và (3.3.6) như sau:

- $c=3 \times 10^8$  (m/s) là vận tốc ánh sáng trong chân không.
- $\lambda=1550\text{nm}$  nên  $\omega_{opt} = 2 \times \pi \times c / \lambda = 1.21 \times 10^{15}$  (rad/s)
- $\beta_{LO} = \beta_{sub} = 0.4$
- $P_{opt} = 1\text{mW} = 10^{-3}\text{W}$  công suất quang ngõ ra.
- $f_{LO} = 60\text{GHz}$
- $f_{sub} = 2.5\text{GHz}$
- Data: bit 1 với  $\varphi_{signal} = 0$  & bit 0 với  $\varphi_{signal} = \pi$ .

Các thông số này được chạy trong file *parameterRoF.m* để cung cấp cho phần mô phỏng của simulink, đồng thời ta có thể thay đổi được thông số một cách dễ dàng.

Ngoài ra còn có các thông số của chương trình mô phỏng, các thông số này có thể thay đổi tùy biến để được các giá trị quan sát.

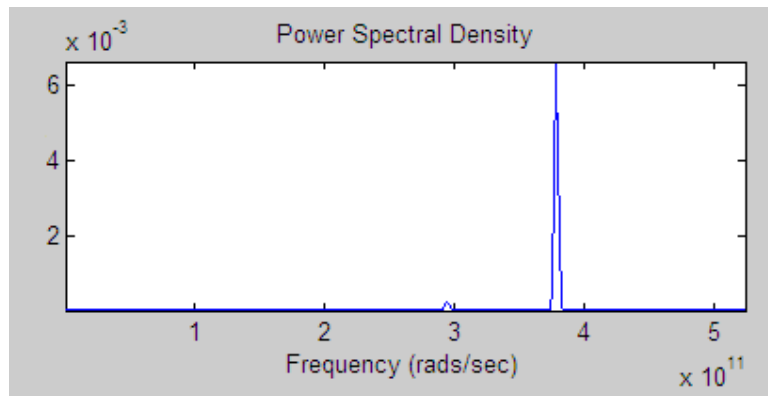
### 1.13.23.5.3 Các kết quả mô phỏng và phân tích

#### **Kết quả thứ 1:** Phổ tín hiệu tại BS

Bộ điều chế ngoài của chúng ta bao gồm 2 bộ dual-MZM điều chế 2 dạng sóng quang riêng biệt ở tần số RF. Bây giờ nếu ta chỉ sử dụng mỗi bộ điều chế dual-MZM một cách riêng biệt để truyền tới BS thì sẽ nhận được các kết quả như hình 3.6 cho bộ điều chế trên và 3.7 cho bộ điều chế dưới.

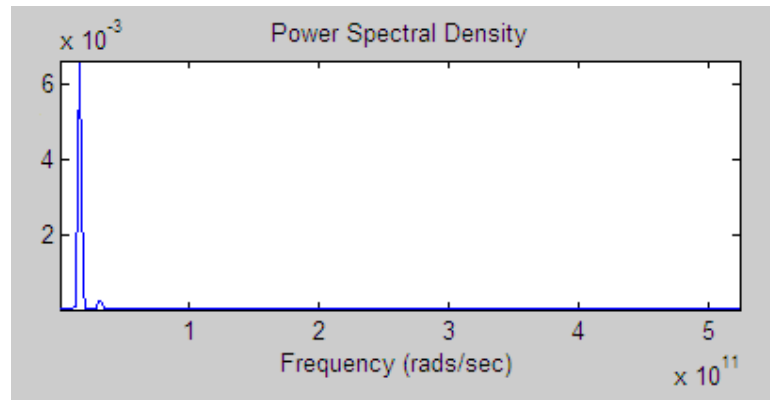
Ở hình 3.6 cho ta thấy nếu chỉ truyền nhánh trên thì ở BS ta chỉ thu được sóng RF có tần số 60GHz tương ứng với tần số góc là  $3.7 \times 10^{11}$  (rad/s) tương ứng với sóng LO.

Ở hình 3.7 cho ta thấy nếu chỉ truyền nhánh dưới thì ở BS ta chỉ thu được sóng RF có tần số 2.5GHz. Đây chính là dữ liệu của chúng ta được điều chế ở tần số 2.5GHz, nhưng đó không phải là cái mà ta cần để bức xạ tại Anten BS vì tín hiệu bức xạ cần phải điều tần lên ở 60GHz.



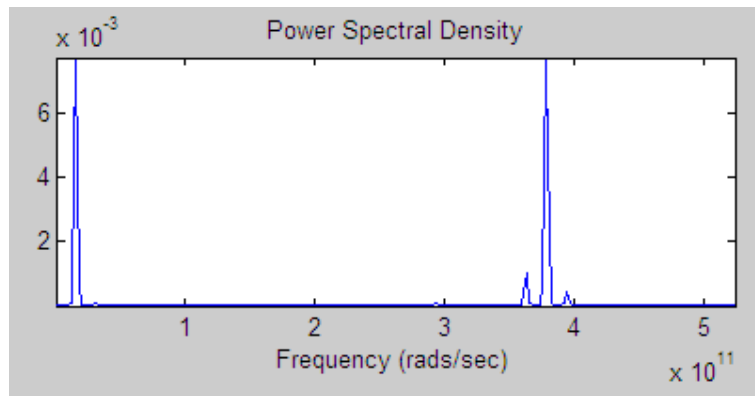
**Hình 3.6 Sản phẩm tại BS của bộ điều chế nhánh trên.**





**Hình 3.7 Sản phẩm tại BS của bộ điều chế nhánh dưới.**

Tuy nhiên khi ta kết hợp 2 bộ điều chế lại truyền đi thì tại BS còn có thêm 1 sản phẩm nữa ở tần số (60-2.5)GHz như hình 3.8. Đó là dữ liệu cần truyền đã được điều chế lên tần số vô tuyến. Như vậy kỹ thuật này (kết quả của heterodyne) đã mang lại cho chúng ta sản phẩm cần thiết trong điều chế mà không nhất thiết phải có bộ nhân tần. Đây chính là điểm hay của kỹ thuật mà ta đã giải thích trong 3.3



**Hình 3.8 Sản phẩm ngõ ra của tuyến downlink.**

***Phân tích***

Dựa vào công thức (3.3.10) và (3.3.11) là 2 sản phẩm của BS sẽ được bộ lọc thông dải tách ra. Ta so sánh sản phẩm này về mặt biên độ:

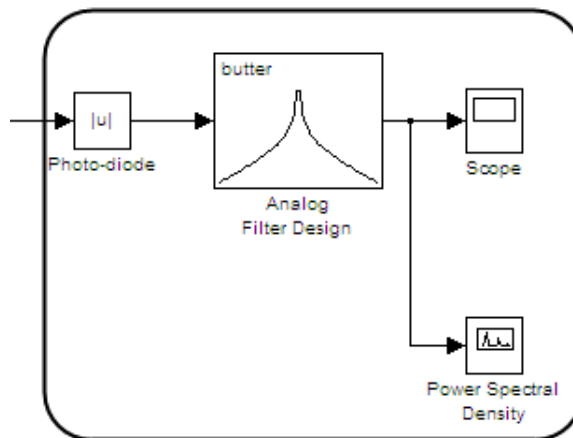
$$\frac{i_{LO}(t)}{i_{signal}(t)} = \frac{[J_0(\beta_{sub}\pi) + J_0(\beta_{LO}\pi)] \times J_1(\beta_{LO}\pi)}{J_1(\beta_{LO}\pi) \times J_1(\beta_{sub}\pi)} \quad (3.5.1)$$

$$= \frac{[J_0(\beta_{sub}\pi) + J_0(\beta_{LO}\pi)]}{J_1(\beta_{sub}\pi)}$$

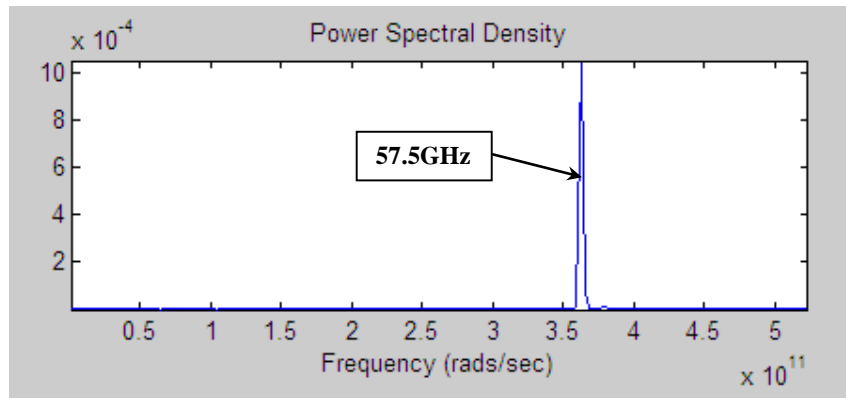
Do  $J_0(x)$  lớn hơn  $J_1(x)$  nhiều với  $x$  nhỏ. Nên biên độ tín hiệu  $i_{LO}$  sẽ lớn hơn  $i_{signal}$  nhiều lần. Vì vậy ta cần thiết kế bộ lọc thật tốt sao cho chúng không bị nhiễu lên nhau.

**Kết quả thứ 2:** Quan sát tín hiệu dữ liệu.

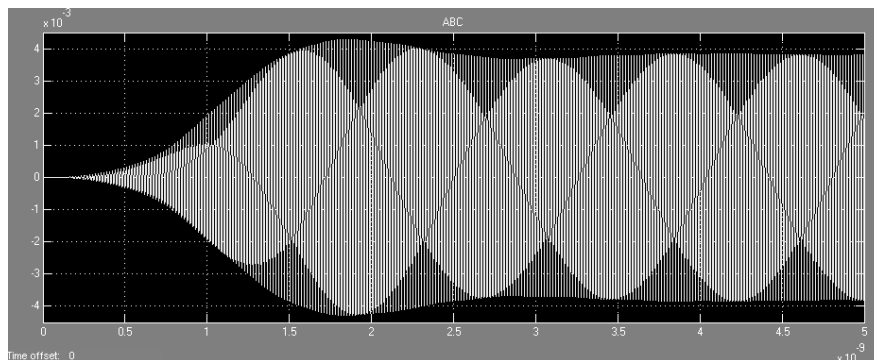
Bây giờ ở BS ta đặt thêm một mạch lọc thông dải ở tần số từ 57 đến 58GHz như hình vẽ 3.9 để quan sát tín hiệu và phổ của tín hiệu ngõ ra. Hình 3.10 là phổ của ngõ ra.



**Hình 3.9** BS với bộ lọc thông dải để lấy tín hiệu dữ liệu ở tần số RF



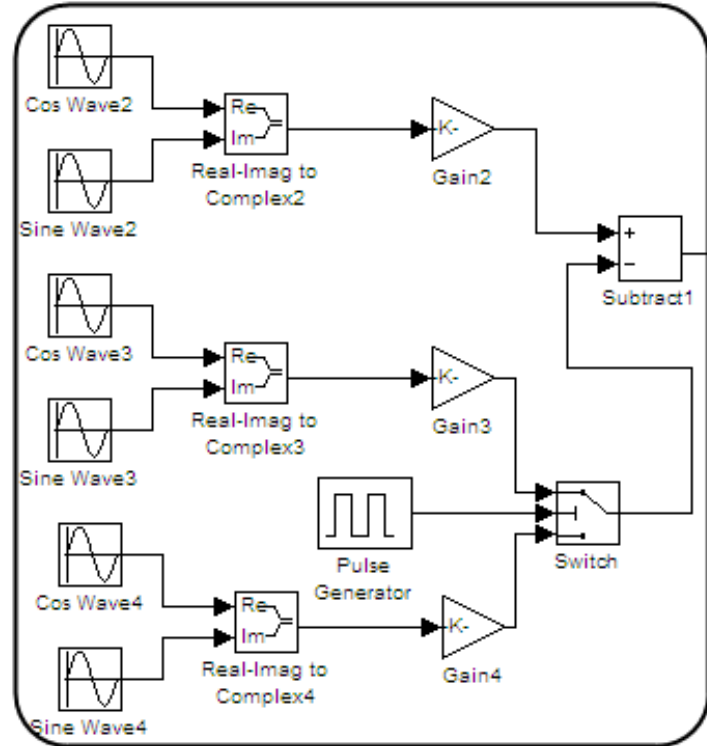
**Hình 3.10 Phổ tín hiệu tại BS**



**Hình 3.11 Hình dáng tín hiệu với bit 1.**

Như hình 3.10 ta thấy phổ của ngõ ra bộ lọc thông dải chỉ có tín hiệu dữ liệu cần truyền. Thành phần này sẽ được bức xạ trực tiếp đến từ anten đến các MH. Hình 3.11 là hình dáng của tín hiệu với bit 1 (tức chưa có dữ liệu với pha bằng 0).

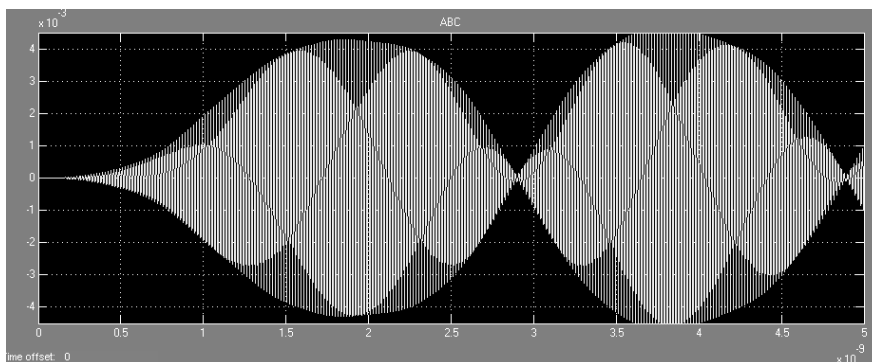
Tiếp theo ta cải tiến mô hình bộ phát với kiểu điều chế BPSK như hình 3.12.



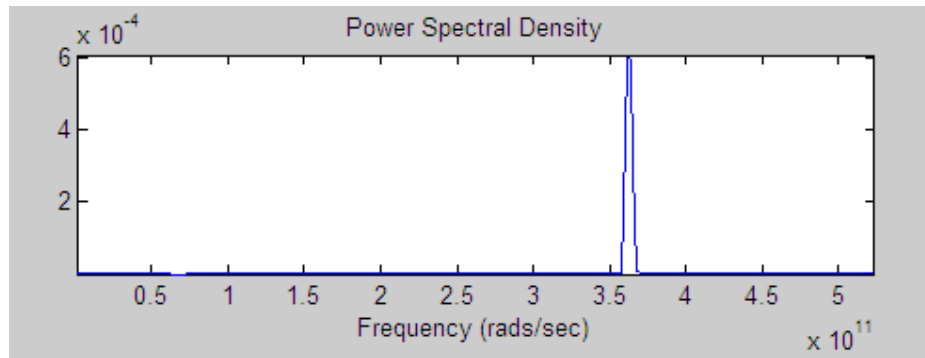
**Hình 3.12 Bộ điều chế có dữ liệu**

Thành phần độ Sin & Cos thứ 3 đại diện cho bit 1 với pha bằng 0, còn thành phần Sin và cos thứ 4 đại diện cho bit 0 với pha bằng  $\pi$ . Bộ phát xung có tốc độ trên thực tế là tốc độ bit điều khiển 2 thành phần dưới, nhưng để dễ quan sát cũng như thời gian mô phỏng ta chọn tốc một cách thích hợp.

Các kết quả về hình dáng tín hiệu và phổ được diễn tả như hình 3.13 và 3.14.



**Hình 3.13 Hình dáng tín hiệu dữ liệu với các bit 1-0 lần lượt ( $i_{signal}$ ).**



**Hình 3.14 Phổ của tín hiệu dữ liệu.**

Dựa vào hình trên ta thấy phổ tín hiệu vẫn không thay đổi do phương pháp điều chế là BPSK, chỉ gồm một vạch phổ tại 57.5GHz. Tuy nhiên khi có dữ liệu thì hình dáng của tín hiệu khác với ban đầu. Thời gian của một bit trong mô phỏng là  $2 \times 10^{-9}$  giây, như trong hình vẽ 3.13 thì khoảng thời gian mỗi bit vẫn như cũ nhưng có bị trễ một thời gian là  $1.7 \times 10^{-9}$  giây, đó là do tác động của bộ lọc thông dải tác động đến độ trễ.

### 1.14 3.6 Phân tích BER của tuyến

Thành phần gây nhiễu nhiều nhất đối với sợi quang đó là hiện tượng tán sắc, suy hao và nhiễu pha. Nó tác động tới tín hiệu làm suy giảm CNR của tín hiệu khi đến đầu thu. Các thành phần  $f_{LO}$  và  $f_{sub}$  có thể phân tích theo kỹ thuật heterodyne, thì tác động của tán sắc, suy vào và nhiễu pha trên thành phần của sợi quang sẽ làm giảm SNR đi một lượng so với ở điểm phát là:

$$P_x = \exp\left(\frac{2\pi\Delta_v DL_f \lambda^2 (f_{LO} - f_{sub})}{c}\right) \quad (3.6.1)$$

với  $\Delta_v$  là bề rộng 3dB ngõ ra của laser, D là tán sắc của sợi quang,  $L_f$  là suy hao. Mặc khác, giả sử nhiễu pha có phân bố Guassian thì variance của nó là:

$$\sigma^2 = 2\pi\Delta_v B_n \left[ \frac{DL_f \lambda^2 (f_{LO} - f_{sub})}{c} \right]^2 \quad (3.6.2)$$

với  $B_n$  là băng thông nhiễu tương đương của bộ thu sóng mm. Sau khi giải điều chế BPSK thì BER của tín hiệu sẽ là:

$$P_e(\phi) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left[ \sqrt{\frac{\operatorname{CNR}_x \cos^2(\phi)}{2}} \right] \quad (3.6.3)$$

với  $\operatorname{CNR}_x$  là CNR của tín hiệu tại đầu thu bao gồm cả mất mát tính bởi công thức (3.6.1). Như vậy BER của hệ thống có thể được tính bởi công thức:

$$P_e = \frac{1}{2\sqrt{2\pi}\sigma_\phi} \int_{-\pi}^{\pi} \operatorname{erfc} \left[ \sqrt{\frac{\operatorname{CNR}_x \cos^2(\phi)}{2}} e^{-\frac{\phi^2}{2\sigma_\phi^2}} \right] d\phi \quad (3.6.4)$$

Công thức (3.6.4) công thức xấp xỉ BER cho toàn tuyến uplink.

### 1.15 3.7 Kết luận

Với những kết quả thu được, ta thấy rằng tuyến sử dụng kỹ thuật OSSBC bằng bộ điều chế ngoài và kỹ thuật tách sóng heterodyne nên đã có được một cấu hình BS khá đơn giản với những linh kiện rẻ tiền, giảm giá thành cho BS, đưa nó đến gần với thực tế hơn.

## KẾT LUẬN

Trong khuôn khổ của đề án, các nội dung cơ bản của kỹ thuật RoF cũng như ứng dụng của nó vào mạng truy nhập vô tuyến đã lần lượt được trình bày.

Chương 1 là trọng tâm của đề án này. Ở chương này chúng ta bắt đầu tìm hiểu về kỹ thuật RoF, là một kỹ thuật mới trong việc kết hợp thế giới sợi quang và thế giới vô tuyến lai với nhau. Chương 1 đã nêu lên được các phương pháp được ứng dụng trong kỹ thuật RoF này, nêu lên được các ưu điểm và cách cải tiến cũng như các nhược điểm và biện pháp khắc phục. Tuy vấn đề tìm hiểu chưa được nhiều và ở mức chung nhất cho từng kỹ thuật, nhưng nó đã làm lộ rõ bản chất của kỹ thuật RoF.

Ở chương 2, ta đã thấy được các ứng dụng của kỹ thuật RoF vào các mạng truy nhập vô tuyến như thế nào. Đầu tiên là vào mạng WLAN ở băng tần mm. Đây là loại hình mạng mà tương lai sẽ phổ biến thay thế cho mạng WLAN hiện nay đang phổ biến là WiFi. Tiếp đó là ứng dụng của nó vào mạng RVC, một phần trong mạng thông minh với các ứng dụng là truy nhập vô tuyến cho các thiết bị đang di chuyển và tương lai là các ứng dụng trong điều khiển tự động các phương tiện. Cuối cùng là một ứng dụng trong một mạng quan trọng không kém đó là mạng truy nhập vô tuyến dành cho ngoại ô và nông thôn. Với mật độ lưu lượng thấp, nên giá thành triển khai của bất cứ mạng nào khu vực trên cũng trở nên hết sức quan trọng. Với một kiến trúc đưa ra dựa trên kỹ thuật RoF thì ứng dụng của nó cho mạng trên là một điều có thể thực hiện được. Tuy nhiên để triển khai một mạng như vậy trong thực tế thì còn nhiều vấn đề phải được tiếp tục nghiên cứu và phát triển hơn nữa ở tất cả các lớp quang, lớp vô tuyến và lớp mạng. Ở chương này em cũng chỉ đưa ra và tìm hiểu một trong số các vấn đề quan trọng nhất cho mỗi mạng, mà trên thực tế còn nhiều.

Cuối cùng là chương 3, Mô tả một tuyến RoF cụ thể để đạt được cấu trúc một BS đơn giản. Chương 3 là sự kết hợp các kỹ thuật trong chương 1 lại với nhau để đưa ra một cấu hình và phân tích nó dựa trên các công thức cùng chương trình mô phỏng. Chương trình được sử dụng để mô phỏng là Simulink của Matlab với những công cụ hỗ trợ sẵn. Những kết quả mô phỏng của chương đã giúp chúng ta hiểu hơn về kỹ thuật truyền dẫn RoF. Công thức tính toán BER cũng được đưa ra trong chương này, nhưng do vấn đề thời gian cũng như những hạn chế về mặt kiến thức mà những kết quả trong tính toán BER không được như mong đợi và đã không được trình bày ở đây, nó chỉ ngừng lại ở mức độ lý thuyết.

Như vậy đề án đã đạt được một số kết quả nhất định nhưng bên cạnh đó cũng có những việc chưa làm được cùng với những thiếu sót cần bổ sung.

## **HƯỚNG PHÁT TRIỂN ĐỀ TÀI**

Về hướng phát triển của đề tài cũng cho nhiều hướng để làm đề tài hoàn chỉnh và có nội dung phong phú hơn:

(1) Tìm hiểu sâu hơn về các kỹ thuật đang được ứng dụng hay tìm hiểu các kỹ thuật mới được ứng dụng trong kỹ thuật RoF được đề cập trong các tài liệu.

(2) Tìm hiểu các cấu hình của mạng có sử dụng kỹ thuật RoF. Mỗi cấu hình như vậy đều có những ưu nhược điểm riêng và ứng dụng phù hợp cho một số loại mạng. Các kết quả mô phỏng được sẽ chứng minh cho kỹ thuật đó.

(3) Hoặc tìm hiểu những ứng dụng của kỹ thuật RoF vào các mạng truy nhập khác hoặc có thể tìm hiểu sâu hơn về các kỹ thuật trong một mạng truy nhập để bổ sung cho các ứng dụng của mạng truy nhập. Và khi một kỹ thuật có nhiều ứng dụng trong thực tế thì ý nghĩa của kỹ thuật đó càng lớn.

Tuy nhiên, về phía bộ môn thông tin quang, chỉ nên tìm hiểu (1) và (2) nêu ra vì nó thuộc phạm vi quang. Các vấn đề được nêu ở (3) mang đậm tính chất về mạng và các kỹ thuật trên phần vô tuyến.

Cuối cùng, em xin cảm ơn các thầy, cô đã để thời gian đọc những vấn đề được trình bày trong đề án của em.