

Chương 18

MÔ PHỎNG HỆ THỐNG CDMA VÀ FDM ĐƠN GIẢN

18.1. Mở đầu

Kết thúc phương pháp luận và kỹ thuật mô phỏng là hai mô phỏng điển hình:

Mô phỏng hệ thống CDMA hoạt động trong môi trường kênh pha đình đa đường: Nhiều và tạp âm nhiệt cũng được xét đến trong mô hình mô phỏng. Mô hình mô phỏng cho phép khảo sát hiệu năng BER ở dạng: (i) BER là một hàm của mức tạp âm nhiệt (khảo sát P_E theo E_b/N_0); (ii) BER là một hàm của hệ số trải phổ (độ lợi xử lý trải phổ); (iii) BER là một hàm của nhiễu. Mặc dù hệ thống được trình bày ở đây phức tạp hơn các chương trước nhưng vẫn được đơn giản hóa để chạy chương trình Matlab với thời gian chấp nhận được. Mô phỏng Monte Carlo được dùng cho trường hợp này.

Mô phỏng hệ thống truyền thông vệ tinh đa kênh FDM: Giả sử có một bộ khuếch đại công suất phi tuyến, chương trình mô phỏng đánh giá ảnh hưởng tính phi tuyến lên hiệu năng hệ thống bằng kỹ thuật mô phỏng bán phân tích. Do mô phỏng bán phân tích nhanh hơn mô phỏng Monte Carlo, nên việc đơn giản hóa mô hình mô phỏng là không quan trọng như trong trường hợp CDMA.

18.2. Hệ thống đa truy nhập phân chia theo mã CDMA

Bộ mô phỏng đa truy nhập phân chia theo mã CDMA **phỏng tạo** tuyến truyền thông CDMA đơn giản. Các hệ thống CDMA được triển khai ở đây cũng được dùng để xây dựng các khối chức năng cho các hệ thống tiên tiến hơn. Sơ đồ khối mô hình mô phỏng được minh họa ở hình 8.1. Các ảnh hưởng của kênh AWGN, kênh đa đường và nhiễu đa truy nhập MAI cũng được xét trong bộ mô phỏng này. Theo đó, cho phép ước tính BER là một hàm của: (i) tỷ số năng lượng bit trên mật độ phổ tạp âm E_b/N_0 ; (ii) số nguồn nhiễu N_{OI} ; (iii) hệ số trải phổ SF. Nó có thể áp dụng cho bất cứ kênh đa đường nào miễn là không nhiễu hơn năm thành phần đa đường.

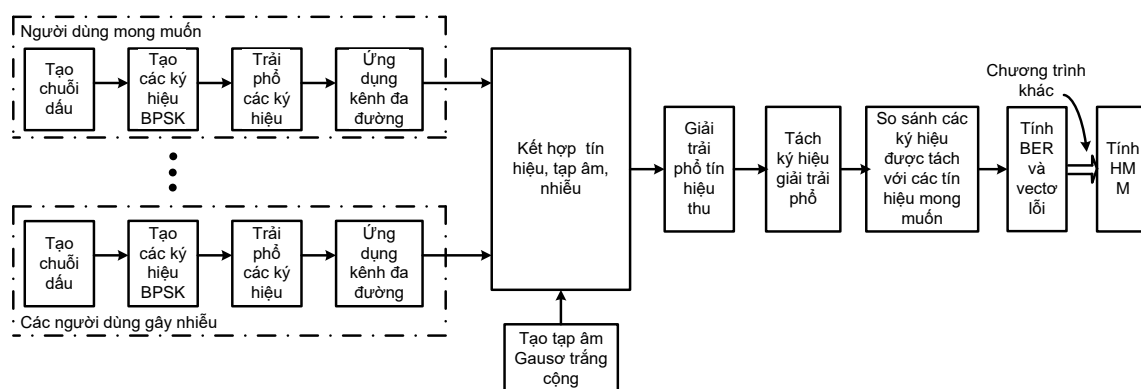
18.2.1. Hệ thống

Ở đa truy cập phân chia theo tần số FDMA hoặc đa truy cập phân chia theo thời gian TDMA, việc phân tách người dùng vô tuyến bằng cách gán các băng tần số khác nhau hoặc các khe thời gian khác nhau, còn CDMA thực hiện phân tách người dùng bằng cách gán các mã khác nhau. Theo đó, một hệ thống CDMA sẽ có toàn quyền sử dụng một tập mã gồm tập hợp các chuỗi giả ngẫu nhiên. Tập hợp các chuỗi này phải có các tính tương quan chéo thấp để máy thu có thể chấp nhận tín hiệu từ người dùng mong muốn trong khi đó từ chối tín hiệu từ người dùng không mong muốn (người dùng đồng kênh). Hơn nữa, mỗi chuỗi trong tập hợp này phải

có các thuộc tính tương quan tốt để cho phép tìm được các ảnh hưởng đa đường trong các kênh vô tuyến mà sẽ được khai thác bởi máy thu RAKE hoặc các kỹ thuật thu không gian-thời gian.

Hệ thống CDMA gán mỗi người dùng một chuỗi mã riêng từ tập chuỗi mã của hệ thống. Chuỗi mã này được sử dụng để tạo dạng sóng trải phổ, tốc độ ký hiệu (tốc độ chip) của chúng cao hơn nhiều tốc độ ký hiệu của tín hiệu mang tin (tốc độ ký hiệu). Tỷ lệ tốc độ chip trên tốc độ ký hiệu mang tin được gọi là hệ số trải phổ hay độ lợi xử lý. Các hệ số trải phổ có giá trị điển hình từ 8 đến 512.

Các hệ thống CDMA điển hình sử dụng các kỹ thuật trải phổ chuỗi trực tiếp. Dạng sóng mang tin được điều chế (được nhân) với dạng sóng trải phổ dành cho (được cấp) người dùng tạo ra tín hiệu trải phổ, sau đó được phát xạ vào kênh truyền. Tại đầu ra kênh, máy thu (giả sử máy tương quan) lấy tương quan tín hiệu thu với dạng sóng trải phổ của người dùng. Theo đó, cho phép tách tín hiệu mang tin của người dùng mong muốn bằng bộ tương quan, đồng thời loại bỏ tất cả tín hiệu người dùng khác (nhiều).



Hình 18.1: Phương pháp luận mô phỏng cho hệ thống CDMA

Để tạo mô phỏng tuyến truyền thông CDMA có hiệu quả tính toán cao, ta cần phải kết hợp chặt chẽ các đơn giản hóa/giả định sau:

1. Coi điều khiển công suất là lý tưởng và mỗi tín hiệu đến máy thu có công suất trung bình bằng nhau.

2. Chuỗi đầu/trải phổ cho tín hiệu mong muốn là chuỗi PN như được đề cập trong chương 7. Theo đó, các hệ số trải phổ được phép phải bằng $2^R - 1$, trong đó R là một số nguyên dương.

3. Chuỗi trải phổ/dầu được sử dụng cho mỗi tín hiệu MAI cũng là một chuỗi PN. Tuy nhiên, nó được dịch vòng sao cho đạt được thuộc tính tương quan mong muốn. Đặc biệt lưu ý rằng, mặc dù đảm bảo những tính tương quan mong muốn trong môi trường kênh AWGN nhưng có thể mất tính tương quan trong môi trường kênh đa đường như được mô hình hóa ở đây (vì các tín hiệu nhiễu và mong muốn được phân tách theo thời gian bằng một số nguyên lần chip). Cũng có thể xảy ra trường hợp các trễ này (dịch chuỗi mã) bằng với các trễ đa đường, dẫn đến các kết quả không khả quan khi mô phỏng đồng thời nhiễu và đa đường.

4. Dùng điều chế khoá dịch pha nhị phân BPSK và bỏ qua định dạng xung.

5. Kênh đa đường biểu lộ pha đing Rayleigh trên mỗi thành phần đa đường ngoại trừ thành phần đi thẳng LOS. Các tín hiệu nhiễu không biểu lộ pha đing.

6. Trễ của mỗi thành phần đa đường chỉ được xét trong bội số nguyên lần khoảng thời gian chip.

7. Tín hiệu mong muốn và tất cả các tín hiệu nhiễu đa truy nhập MAI được đồng bộ theo chip tại máy thu.

8. Dùng máy thu tương quan. Không dùng máy thu RAKE.

Bỏ qua tính chi tiết về việc mô hình hóa định dạng xung và các bộ lọc thích hợp tại máy thu, chúng có ảnh hưởng lớn lên tốc độ mô phỏng (vì các dạng sóng cơ bản có thể được thực hiện một mẫu trên một chip). Có được các kết quả hợp lý nếu thực hiện định dạng xung ISI = 0 trong hệ thống.

Thực tế, thường dùng các kết quả đo kênh để xác định lý lịch trễ công suất và thực hiện mô phỏng bằng cách sử dụng phép xấp xỉ phù hợp với lý lịch trễ công suất đo. Điều này đảm bảo mô hình mô phỏng sẽ đặc tính hóa chính xác môi trường hệ thống vô tuyến được triển khai. Tuy nhiên, khi này cần lưu ý rằng, phải xác định rõ lý lịch trễ và lý lịch công suất sao cho thỏa mãn hệ số Rice K . Muốn vậy, phải hiểu quan hệ giữa hiệu năng của hệ thống và hệ số Rice K . Chẳng hạn, khi K lớn thì hiệu năng hệ thống về cơ bản tương đương với hiệu năng trong môi trường kênh AWGN. Khi $K \cong 0$, môi trường truyền sóng là pha đing Rayleigh và có thể là pha đing phẳng hoặc pha đing chọn lọc tần số tùy vào số thành phần đa đường và trễ tương ứng với các thành phần đa đường này.

Trong mô phỏng này, lý lịch trễ đa đường chỉ là một véc-tơ các số nguyên trong đó mỗi số nguyên thể hiện cho trễ của mỗi thành phần đa đường ở dạng các chu kỳ chip (một chu kỳ chip bằng một chu kỳ ký hiệu chia cho hệ số trải phổ). Trong mô phỏng, ta coi phần tử thứ nhất trong véc-tơ này tương ứng với thành phần đi thẳng LOS, và các phần tử còn lại là các thành phần tán xạ (đa đường). Độ dài (kích thước) của véc-tơ này xác định tổng số các thành phần thu được (gồm thành phần LOS và các thành phần tán xạ).

Một khi định rõ lý lịch trễ và hệ số Rice K , sẽ tính được lý lịch công suất ứng với hệ số K đó. Lý lịch công suất thu cùng với lý lịch trễ có thể được hiển thị bởi chương trình hậu xử lý vì vậy cho phép trực quan hóa chúng cũng như các ảnh hưởng của chúng lên tín hiệu tại các điểm khác nhau của mô hình mô phỏng.

Tại đây ta nghiên cứu cách xác định lý lịch công suất sao cho thỏa mãn hệ số K . Muốn vậy,

Trước hết là, tạo biên độ trung bình của mỗi thành phần tán xạ bằng bộ tạo số ngẫu nhiên (có các đầu ra được phân bố đều trong khoảng $[0,1]$). Đặt:

$$\mathbf{A}_{\text{tán xạ}} = [\alpha_1 \quad \alpha_2 \quad \dots \quad \alpha_{M-1}] \quad (18.1)$$

Biểu thị biên độ trung bình của mỗi thành phần tán xạ. Đặc biệt lưu ý rằng M là tổng số các thành phần đa đường (gồm M-1 tín hiệu tán xạ và một thành phần LOS).

Sau đó là, tính năng lượng tán xạ trung bình theo:

$$E_{\text{tán xạ}} = \sum_{i=1}^{M-1} \alpha_i^2 \quad (18.2)$$

Năng lượng trung bình trong thành phần LOS được tính như sau:

$$K = \frac{\text{Công suất trong đường dẫn trội}}{\text{Công suất trong các đường tán xạ}} = \frac{A^2}{2\sigma^2} = \frac{E_{\text{LOS}}}{E_{\text{tán xạ}}} \quad (18.3)$$

$$\Rightarrow E_{\text{LOS}} = K \times E_{\text{tán xạ}}$$

Trong đó K là hệ số Ricean. Biên độ trung bình của thành phần LOS là:

$$\alpha_{\text{LOS}} = \sqrt{E_{\text{LOS}}} \quad (18.4)$$

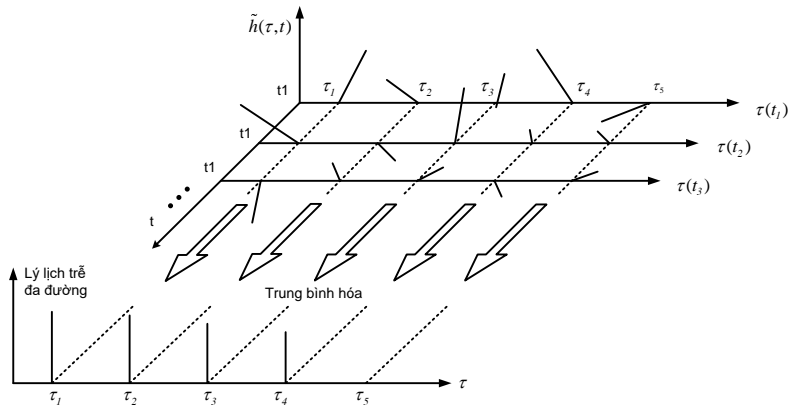
Lý lịch biên độ trung bình đạt được bằng cách thêm α_{LOS} vào véc-tơ các thành phần tán xạ A_{scat} .

Cuối cùng là, chuẩn hóa véc-tơ này sao cho thành phần đa đường mạnh nhất có giá trị 1,0 nghĩa là:

$$A = \frac{[\alpha_{\text{LOS}} \quad \alpha_1 \quad \alpha_2 \quad \dots \quad \alpha_{M-1}]}{\max\{[\alpha_{\text{LOS}} \quad \alpha_1 \quad \alpha_2 \quad \dots \quad \alpha_{M-1}]\}} = \begin{bmatrix} a_{\text{LOS}} & a_1 & a_2 & \dots & a_{M-1} \end{bmatrix} \quad (18.5)$$

Theo đó tìm được lý lịch công suất bằng cách lấy bình phương các phần tử trong A nghĩa là:

$$P = \begin{bmatrix} a_{\text{LOS}}^2 & a_1^2 & a_2^2 & \dots & a_{M-1}^2 \end{bmatrix} \quad (18.6)$$



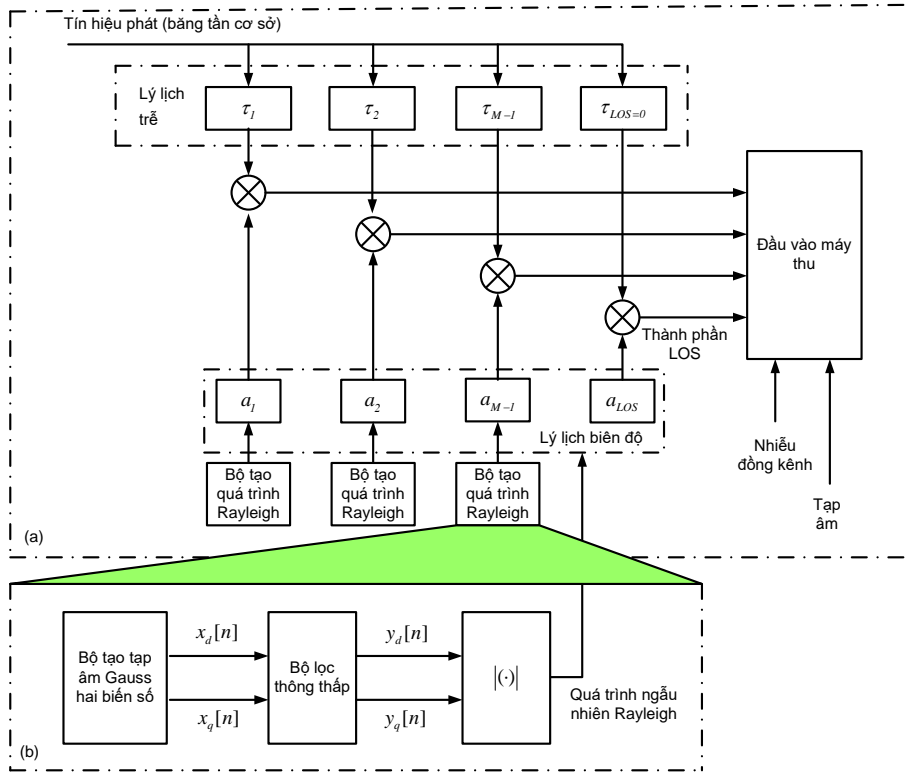
Hình 18.2: Minh họa đáp ứng xung kim kênh và lấy trung bình các thành phần tán xạ

Hình 18.2 minh họa đáp ứng xung kim, các thành phần tán xạ và việc lấy trung bình các thành phần tán xạ.

Ta thấy rõ: (i) khi $K > 1$, thành phần LOS sẽ là thành phần mạnh nhất $a_{LOS} = 1,0$; (ii) khi $K \leq 1$ thì tình huống không rõ ràng. Khi này, năng lượng tán xạ trung bình vượt quá năng lượng trung bình trong thành phần LOS. Tuy nhiên, năng lượng tán xạ trung bình $E_{tán xạ}$ có thể trải rộng vài thành phần đa đường. Cũng vậy, thành phần LOS có thể là hoặc không là thành phần đa đường mạnh nhất. Tất nhiên, lý lịch công suất cho phép xác định thành phần mạnh nhất.

Một khi định rõ lý lịch trễ và lý lịch biên độ (công suất), thì ta xác định được mô hình kênh. Mô hình kênh được minh họa trong hình 18.3 (a). Bộ tạo quá trình ngẫu nhiên Rayleigh được minh họa trong hình 18.3 (b), việc thực thi nó được mô tả trong chương 7. Theo đó, hai biến ngẫu nhiên Gauss độc lập $x_d[n]$ và $x_q[n]$ được tạo ra và được lọc để cho ra $y_d[n]$ và $y_q[n]$. Loại bộ lọc được dùng trong bộ tạo quá trình Rayleigh là tùy ý, được chọn là một bộ lọc Chebyshev bậc bốn có độ gợn băng thông là 0,5 dB và độ rộng băng bằng với tần số Doppler.

Độ lớn $\sqrt{y_d^2[n] + y_q^2[n]}$ là một biến ngẫu nhiên Rayleigh.



Hình 18.3: Minh họa (a) Mô hình kênh CDMA;
(b) Bộ tạo quá trình ngẫu nhiên Rayleigh

Để mô phỏng phải định rõ tham số E_b / N_0 . Tham số này xác định tỉ số năng lượng bit trung bình trong thành phần đa đường mạnh nhất (là thành phần LOS khi $K > 1$) trên năng lượng tạp âm nhiệt. Lưu ý rằng, công suất trung bình của thành phần đa đường mạnh nhất sẽ

được chuẩn hoá bằng 1. Do đó, mô phỏng lấy tỉ số năng lượng của tạp âm (nhiệt) Gauss trắng sao cho E_b / N_0 trung bình trong thành phần đa đường mạnh nhất bằng tham số E_b / N_0 .

18.2.2. Chương trình mô phỏng

Mô phỏng CDMA có cấu trúc theo từng chuỗi khối, trong đó xử lý lần lượt từng khối 1000 ký hiệu. Như đã đề cập ở chương 10, dùng cấu trúc chuỗi khối cho ta hiệu quả tính toán. Mã chương trình mô phỏng đầy đủ được cho ở file **NVD18_cdmasim** trong Phụ lục 18 A. Khi thực hiện lệnh.

$$\left[\begin{array}{c} BER, Errors \\ \text{Các kết quả mô phỏng} \end{array} \right] = \underbrace{NVD18_cdma_sim}_{\text{Tên hàm}} \left(\underbrace{N, SF, EbN0, NoI, MPathDelay, KFactordB}_{\text{Các tham số đầu vào của hàm}} \right) \quad (18.7)$$

Định nghĩa đầy đủ chương trình mô phỏng chính. Một số chương trình con (hàm con) cùng với các chương trình hậu xử lý (xử lý hiển thị) cũng được cho ở phụ lục 18A. Cũng cần lưu ý rằng bộ mô phỏng được thiết kế theo kiến trúc Modul.

Các tham số đầu vào của chương trình mô phỏng được định nghĩa trong bảng 18.1. Nó rất quan trọng để quan trắc hiệu năng (so sánh hiệu năng theo các tham số đầu vào). Do đó có thể triển khai một chương trình tiền xử lý để xử lý giá trị tham số đặc trưng.

Bảng 18.1: Các tham số đặc trưng đầu vào hệ thống CDMA

Tham số	Kiểu	Mô tả	Giới hạn
N	Vô hướng	Số ký hiệu được mô phỏng	Không
SF	Vô hướng	Hệ số trải phổ	$SF = 2^n, \quad n \leq 12$
E_b/N_0	Vô hướng	Tỉ số năng lượng bit trên PSD tạp âm	Không
NoI	Vô hướng	Số nguồn nhiễu	$0 \leq NoI \leq SF - 1$
$MPathDelay$	Véc-tơ	Lý lịch trễ đa đường	Véc-tơ các số nguyên không âm đơn điệu tăng
$KfactordB$	Vô hướng	Hệ số Rice K đơn vị dB	Không

18.2.3. Các mô phỏng

a) Xác nhận tính hợp lệ ranh giới

Để đảm bảo mô phỏng được hiệu chuẩn chính xác, trước tiên bộ mô phỏng CDMA được chạy với hệ số K = 100 dB. Hệ số K này đủ lớn để đảm bảo rằng, dù có xảy ra mức đa đường rất nhỏ đi chăng nữa thì công suất tán xạ bị suy hao đủ lớn để thực hiện lấy xấp xỉ tất cả công suất thu là trong thành phần LOS. Vì vậy, ảnh hưởng làm suy thoái hiệu năng chỉ là tạp âm Gauss và kết quả xác suất lỗi của hệ thống là:

$$P_E = Q \left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}} \right) \quad (18.8)$$

Tại mỗi giá trị của E_b / N_0 , chương trình mô phỏng xử lý cho N ký hiệu. Chẳng hạn muốn khảo sát số lỗi (hoặc BER) theo các giá trị E_b / N_0 thay đổi 0 đến 8 dB với mỗi bước 1 dB, tương ứng mỗi giá trị của E_b / N_0 xử lý cho N = 200000 ký hiệu. Chương trình Matlab để

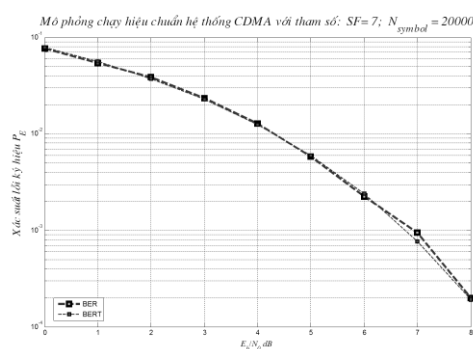
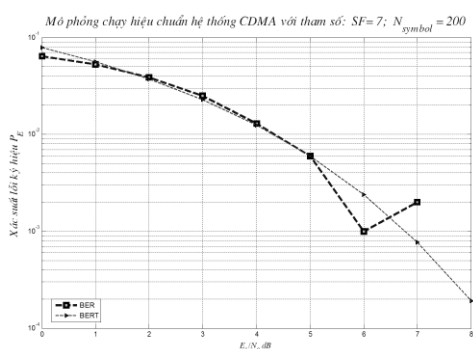
chạy mô phỏng hiệu chuẩn là **NVD18_cdmacal**. Lưu ý rằng, trong **NVD18_cdmacal** chứa chương trình **NVD18_cdmassim**

```
>> NVD18_cdmacal
    Nhập số ký hiệu sẽ được xử lý      >      200000
    Nhập véc-tơ  $E_b/N_0$                 >      0:8
```

Kết quả được cho trong bảng 18.2 và hình 18.4. Số lỗi xuất hiện với mỗi giá trị E_b/N_0 được cho trong bảng 18.2. Dữ liệu này đặc biệt quan trọng việc chạy hiệu chuẩn để đảm bảo số lỗi đủ lớn tại mỗi giá trị E_b/N_0 để có được kết quả thống kê đủ tin cậy. Kết quả mô phỏng khảo sát xác suất lỗi P_E là một hàm của E_b/N_0 được cho trong hình 18.4. Đường nét liền là kết quả lý thuyết theo công thức (18.8), và các kết quả mô phỏng được chỉ ra bằng hình vuông tại các giá trị nguyên của E_b/N_0 . Thấy rõ các kết quả đạt được khá chính xác ngoại trừ $E_b/N_0 = 8$ dB. Bảng 18.2 cho thấy xác suất lỗi đối với $E_b/N_0 = 8$ được dựa trên 53 lỗi, nó nhỏ so với số các lỗi xuất hiện tại các giá trị E_b/N_0 khác. Mã chương trình Matlab bộ tiền xử lý được cho trong Phụ lục 18A.

Bảng 18.2: Đếm lỗi khi chạy hiệu chuẩn

E_b/N_0 (dB)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Các lỗi	15773	11347	7583	4516	2416	1169	475	159	53



Hình 18.4: Kết mô phỏng chạy hiệu chuẩn

Ta thấy, khi số ký hiệu được mô phỏng lớn (so sánh giữa 200 và 20.000), kết quả mô phỏng chính xác hơn đặc biệt tại các giá trị E_b/N_0 lớn.

b) Hiệu năng BER là hàm của E_b/N_0 và hệ số Rice K

Mô hình mô phỏng tạo ra BER là một hàm của E_b/N_0 và hệ số K. Theo đó, hai biến được cho trong bảng 18.1 phải được lặp lại cho từng giá trị của K. Cụ thể, với mỗi giá trị của hệ số K, thì E_b/N_0 có giá trị từ 0 dB đến 10 dB với bước thay đổi là 1 dB. Ba giá trị của hệ số K được sử dụng -20 dB, 0dB, 20 dB. Chương trình Matlab bộ xử lý/bộ hậu xử lý **NVD18_cdmaK.m** (trong chương trình này chứa **NVD18_cdmassim**) được dùng để tạo các kết

quả này được cho trong Phụ lục 18A. Đoạn hội thoại dưới đây được dùng để nhập các tham số đầu vào chương trình mô phỏng

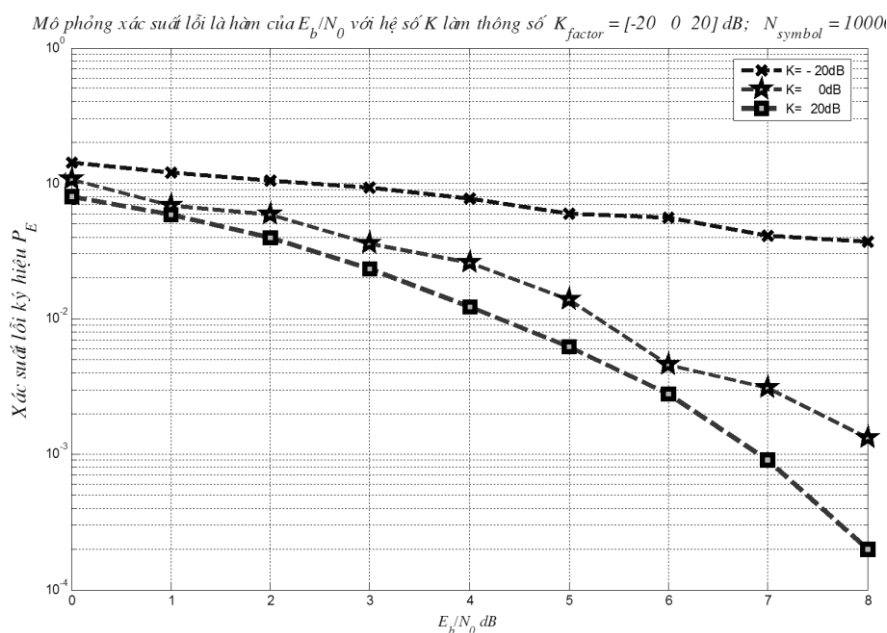
>> NVD18_cdmaK

Nhập số ký hiệu sẽ được xử lý: 100.000

Nhập véc-tơ E_b/N_0 : 0:10

Nhập véc-tơ hệ số K đơn vị dB: [-20 0 20]

Kết quả mô phỏng để nghiên cứu ảnh hưởng của hệ số K lên hiệu năng BER được cho ở hình 18.5 trong đó: (i) Đường cong trên cùng tương ứng với hệ số $K = -20$ dB ($K = 0,01$ lần) cho ta kết quả xấp xỉ kết quả trong môi trường kênh pha đing Rayleigh; (ii) Đường cong dưới tương ứng với hệ số $K = 20$ dB ($K = 100$ lần), cho ta kết quả xấp xỉ hiệu năng trong môi trường tạp âm Gauso; (iii) Đường cong giữa tương ứng với hệ số $K = 0$ dB ($K = 1$ lần) thường được rút ra khi sử dụng mô phỏng. Các kết quả đối với cả K lớn và $K \approx 0$ có thể nhận được từ giải tích và được sử dụng để xác nhận mô phỏng. Lưu ý rằng, đường cong giữa ($K = 1$) không mịn bằng các đường cong khác do bản chất thay đổi theo thời gian của kênh, gần như thể hiện các giá trị tức thời của K tại đó công suất trong thành phần LOS xấp xỉ bằng tổng công suất tán xạ. Cần thực hiện mô phỏng rất lâu để làm mịn ảnh hưởng thay đổi theo thời gian này.



Hình 18.5: Xác suất lỗi là hàm của E_b/N_0 với hệ số Rice K là tham số $K = 100$ (đường cong dưới), $K = 1$ (đường cong giữa) và $K = 0,01$ (đường cong trên cùng)

Có nhiều tiềm năng khác để nghiên cứu. Khi phát triển chương trình tiền xử lý sẽ cho phép nghiên cứu ảnh hưởng của hệ số trải phổ đối với lý lịch trễ tại E_b/N_0 cho trước. Theo đó,

ta nên thực hiện mô phỏng tại các giá trị khác nhau của E_b/N_0 ứng với một số lý lịch trễ khác nhau. Nghiên cứu khảo sát theo số lượng các nhiễu.

Mở rộng mô hình mô phỏng CDMA bằng cách đưa thêm các tham số vào mô hình mô phỏng ở dạng các véc-tơ của tham số mô phỏng. Theo đó, khi chạy chương trình mô phỏng, chương trình sẽ tạo ra rất nhiều dữ liệu, tất cả đều phải được phân tích trước khi chọn thiết kế "tốt nhất". Kết quả là, nghiên cứu mô phỏng phải được tổ chức cẩn thận sao cho số liệu nhận được từ các mô phỏng khác nhau sẽ được "khai thác" để hỗ trợ thiết kế bằng cách phát hiện các tham số tối hạn và các dải giá trị khả chấp nhận cho các tham số này. Việc tổ chức các mô phỏng và khai thác số liệu được tạo ra từ những mô phỏng là ngoài phạm vi của quyển sách này. Tuy nhiên, đây là chủ đề được quan tâm nghiên cứu mô phỏng chi tiết.

18.2.4. Triển khai mô hình Markov

Ta tạo mô hình Markov ẩn HMM cho hệ thống CDMA ở hình 18.1 bằng cách sử dụng các công cụ được đề cập ở chương 15. Để xác định và ước lượng HMM ta triển khai ba chương trình Matlab sau: (i) Thực hiện mô phỏng CDMA và xác định mô hình bán Markov (mô hình bán Markov được sử dụng để giảm tải tính toán); (ii) Tạo một véc-tơ lỗi dựa trên ma trận chuyển dịch trạng thái của mô hình bán Markov. Ngoài ra, BER được dựa trên hệ thống CDMA, BER được dự đoán bởi mô hình bán Markov, được so sánh với BER dựa trên chuỗi lỗi được tạo bởi mô hình bán Markov; (iii) So sánh véc-tơ lỗi được tạo bởi mô phỏng ban đầu với véc-tơ lỗi được tạo ra bởi mô hình bán Markov. Cả đại lượng thống kê $\Pr\{0^m | 1\}$ và hoành độ của các độ dài chạy chương trình không lỗi được dùng để trong so sánh. Dưới đây khảo sát các chương trình này.

Chương trình thứ 1: NVD18_cdmahmm1.m

Chương trình này định nghĩa các tham số mô phỏng CDMA và thực hiện mô phỏng. Như được thấy ở (18.7) chương trình **NVD18_cdma** tạo hai đầu ra kết quả từ mô phỏng hệ thống CDMA. Đó là BER và véc-tơ lỗi được dùng để xác định mô hình Markov (được ký hiệu là ErrorRun). Ở đây ta tạo mô hình bán Markov cho kênh hoạt động tại $K = 1$ (0 dB) và $E_b/N_0 = 5$ dB. Mã chương trình Matlab được cho bởi **NVD18_cdmahmm1.m**.

Chạy chương trình này cho ta mô hình bán Markov dựa trên 50 lần lặp. Kết quả là:

$$\hat{A} = \begin{bmatrix} 0,9494 & 0 & 0,0506 \\ 0 & 0,9714 & 0,0286 \\ 0,2251 & 0,7419 & 0,0330 \end{bmatrix} \quad (18.9)$$

Lưu ý rằng, rất nhiều biến được lưu vào đĩa. Các biến này được dùng cho hai chương trình tiếp sau (**NVD18_cdmahmm2.m** và **NVD18_cdmahmm3.m**), chúng được lưu sao cho hai chương trình này dễ dàng được gọi ra. Để được tường minh, ta nên nghiên cứu từng lệnh của chương trình và chạy từng lệnh. Sau khi chạy chương trình **NVD18_cdmahmm1.m** kết quả được lưu ở file dữ liệu có tên là **cdmadata1** trong thư mục Work.

Chương trình thứ 2: NVD18_cdmahmm2.m

Trong chương trình thứ hai tạo ra một véc-tơ lỗi bằng cách xử lý chuỗi ký hiệu qua kênh (được biểu diễn bởi mô hình bán Markov và được tạo ra trong chương trình **NVD18_cdmahmm1.m**). Ngoài ra, xác suất lỗi được tạo ra bằng ba kỹ thuật. *Thứ nhất*, xác suất lỗi bit được tạo ra bởi mô phỏng CDMA ban đầu. *Thứ hai*, xác suất lỗi bit là BER được dự đoán bởi mô hình bán Markov (tăng \hat{A} tới số mũ cao như được mô tả trong chương 15). *Thứ ba*, xác suất lỗi bit được xác định bằng cách đếm lỗi khi cho một số lượng lớn các ký hiệu (trường hợp này là 25000) qua mô hình kênh bán Markov. Mã chương trình Matlab được cho bởi **NVD18_cdmahmm2.m** trong Phụ lục 18A.

Véc-tơ lỗi dựa trên mô hình Markov ẩn HMM được tạo ra bởi hàm **NVD18_errvector** (là hàm **NVD15_errorvector** ở chương 15). Chương trình **NVD18_errorvector** được cho trong Phụ lục 18A. Chạy chương trình Matlab sẽ nhận được kết quả:

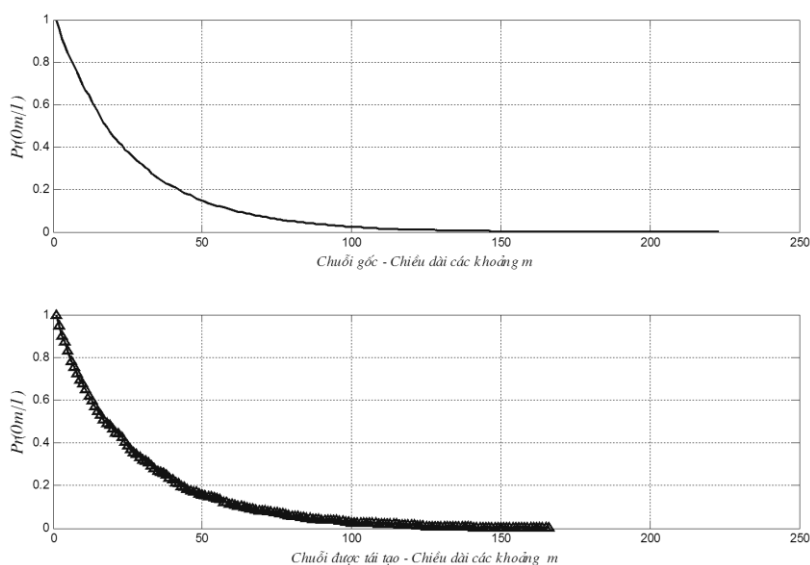
```
>> NVD18_cdmahmm2
NN                                = 25000
Xác suất lỗi được dự đoán cho hệ thống CDMA:
Kết quả từ mô phỏng ban đầu  $P_E$           = 0,03185
Kết quả dự đoán từ mô hình bán Markov  $P_E$     = 0,032054
Kết quả từ véc-tơ lỗi được tái tạo          = 0,03204
```

Cho thấy, ba xác suất lỗi gần bằng nhau. Lưu ý rằng các xác suất lỗi phù hợp với điểm đã cho trên hình 18.5 đối với $K = 1$ (đường cong ở giữa) và $E_b/N_0 = 5$ dB.

Chương trình thứ 3: **NVD18_cdmahmm3**

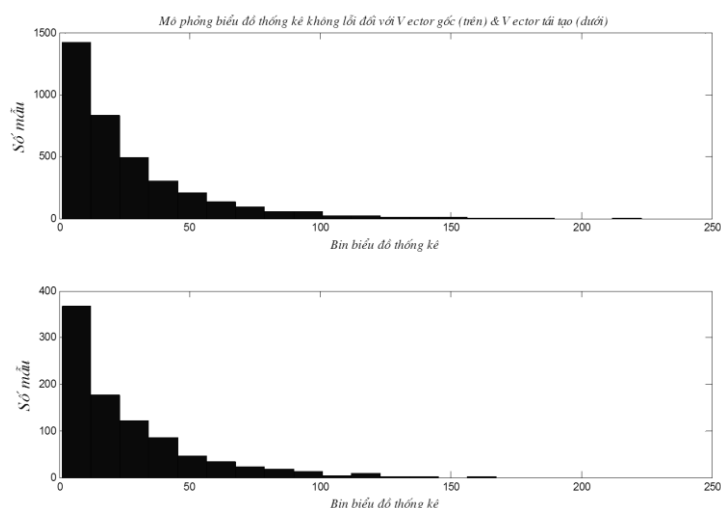
Chương trình cho phép so sánh chuỗi lỗi ban đầu được tạo ra bởi mô phỏng CDMA và chuỗi lỗi được tạo ra bởi mô hình bán Markov. Ta sử dụng hai so sánh ở dạng đồ thị. *Thứ nhất*, so sánh $\Pr\{0^m | I\}$ cả hai chuỗi lỗi như đã thực hiện ở chương 15. *Thứ hai*, so sánh hoành đồ của cả hai chuỗi. Mã chương trình Matlab được cho bởi file **NVD18_cdmahmm3.m**.

Kết quả khi chạy chương trình **NVD18_cdmahmm3.m** được minh họa ở hình 18.6 và hình 18.7. Trong cả hai hình này, các kết quả từ mô phỏng hệ thống CDMA được cho ở khung trên và kết quả từ mô hình bán Markov được cho ở khung bên dưới. Lưu ý về lấy tỷ lệ đối với các chiều cao các thanh trong hình 18.7. Sự khác nhau về lấy tỷ lệ là do mô phỏng CDMA được thực hiện cho 100.000 ký hiệu và kiểm tra mô hình bán Markov sử dụng 25.000 ký hiệu. Vì vậy, khác nhau về tỷ lệ xích là 4.



Hình 18.6: $Pr\{0^m | l\}$ đối với véc-tơ lỗi gốc (khung trên) và $Pr\{0^m | l\}$ đối với véc-tơ lỗi được tái tạo (khung dưới)

Ba lý do chính lý giải cho sự khác nhau trong các khung trên và khung dưới trong hình 18.6 và 18.7. *Thứ nhất*, HMM phải trình bày chính xác kênh ban đầu. Dẫn đến chuỗi số liệu được rút ra từ mô hình phải đủ dài và số vòng lặp đủ lớn để đạt được hội tụ. *Thứ hai*, phải dùng nhiều trạng thái thích hợp. *Thứ ba*, một khi mô hình được rút ra, nó phải được kiểm tra bằng cách xử lý số lượng các ký hiệu đủ lớn nhằm đạt được các kết quả thống kê tin cậy.



Hình 18.7: Biểu đồ thống kê véc-tơ lỗi gốc (khung trên) và đối với véc-tơ lỗi được tái tạo (khung dưới)

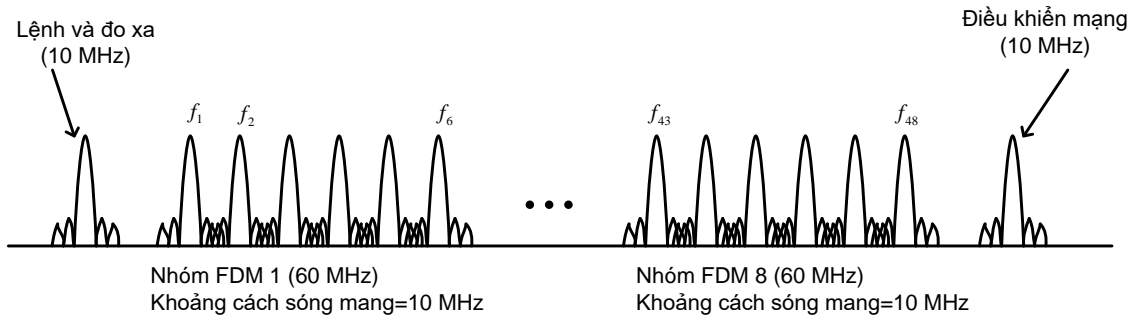
18.3. Hệ thống FDM với bộ phát đáp vệ tinh phi tuyến

Mục đích cơ bản của mô phỏng này là nghiên cứu mô phỏng, minh họa một vài mô hình quan trọng và kỹ thuật mô phỏng. Các khái niệm quan trọng được minh họa trong hệ thống bao

gồm việc biểu diễn thông thấp cho các tín hiệu FDM, các mô hình phi tuyến AM/PM & AM/AM cho các bộ khuếch đại công suất lớn và ước tính BER bán giải tích.

18.3.1 Mục đích mô phỏng và mô tả hệ thống

Hệ thống sẽ được mô phỏng là một tuyến truyền thông trong mạng vệ tinh bao gồm 48 trạm mặt đất gửi số liệu tốc độ cao tới 8 trung tâm số liệu vùng. Mỗi trung tâm số liệu xử lý 6 kênh số liệu được gọi là một nhóm FDM. Loại điều chế được dùng cho mỗi kênh là QPSK tại tốc độ ký hiệu 8 M ký hiệu/giây. Tín hiệu được lọc bởi bộ lọc SQRC với hệ số dốc (*roll-off*) là 20%, được khuếch đại bởi bộ khuếch đại công suất tuyến tính, và được phát lên vệ tinh (đường lên). Việc truy cập vệ tinh của 48 trạm mặt đất sử dụng phương pháp FDMA trong đó mỗi trạm mặt đất được ấn định một tần số sóng mang khác bởi bộ điều khiển mạng. Các sóng mang được phân tách bởi băng tần bảo vệ 400 kHz và khoảng cách sóng mang là 10MHz. Hoạch định tần số cho bộ phát đáp 48 kênh được minh họa trong hình 18.8.



Hình 18.8: Hoạch định tần số cho hệ thống phát đáp 48 kênh

Toàn bộ 48 tín hiệu đường lên được thu bằng một ăng ten đường lên ở vệ tinh. Tín hiệu thu tại vệ tinh được biểu diễn là:

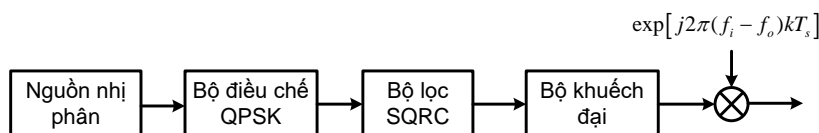
$$x(t) = \sum_{i=1}^{48} a_i(t - \tau_i) \cos[2\pi f_i(t - \tau_i) + \phi_i(t - \tau_i)] \quad (18.10)$$

Có thể được viết là:

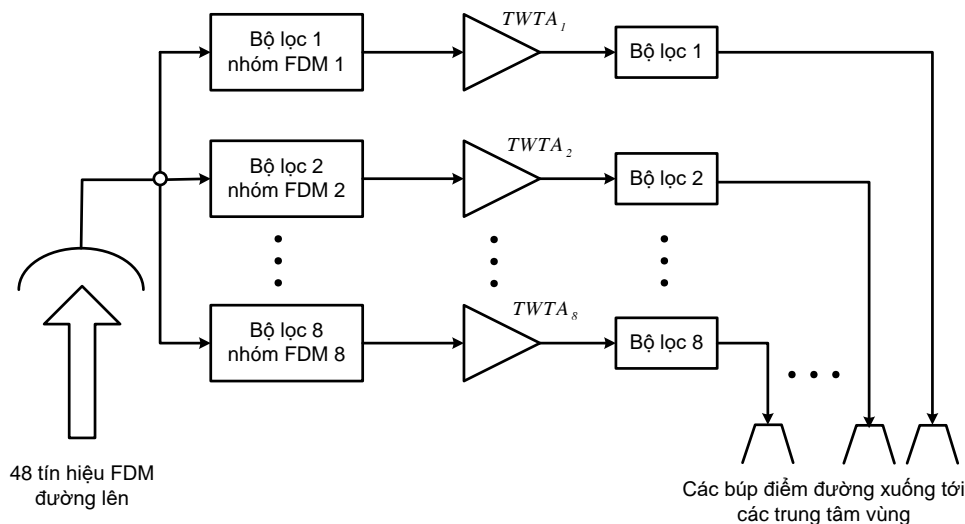
$$x(t) = \text{Re} \left\{ \sum_{i=1}^{48} a_i(t - \tau_i) e^{j\phi(t - \tau_i)} e^{-j2\pi f_i \tau_i} e^{j2\pi(f_i - f_0)t} e^{j2\pi f_0 t} \right\} \quad (18.11)$$

Trong đó f_0 là tần số tham chiếu được dùng để xác định toàn bộ đường bao phức. Đường bao phức thông thấp từ trạm mặt đất thứ i là tín hiệu QPSK băng tần cơ sở phức $a_i(t) \cdot e^{j\phi(t)}$. Nó được phát tại tần số sóng mang f_i . Máy phát đường lên cho trạm mặt đất thứ i được minh họa trong hình 18.9. Thời gian trễ τ_i thể hiện trễ truyền sóng của kênh đường lên thứ i . Từ (18.11) đường bao phức thông thấp của $x(t)$ là:

$$\tilde{x}(t) = \sum_{i=1}^{48} a_i(t - \tau_i) e^{j\phi(t - \tau_i)} e^{j2\pi f_i \tau_i} e^{j2\pi(f_i - f_0)t} \quad (18.12)$$



Hình 18.9: Máy phát thứ i (đường lên)



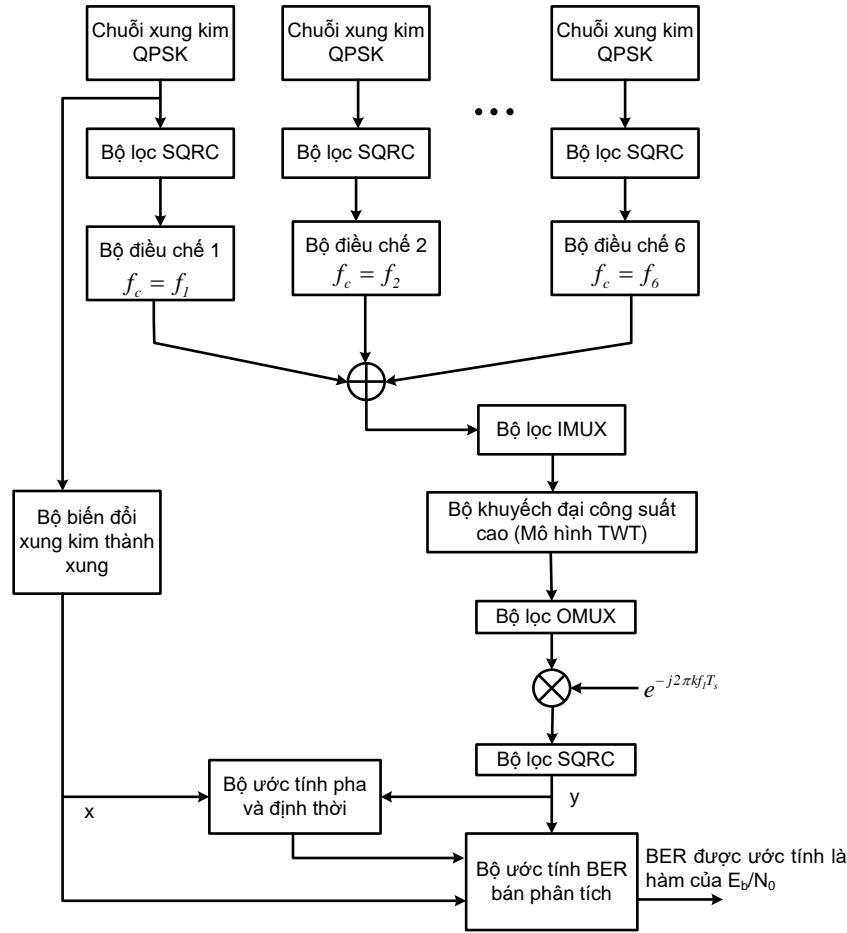
Hình 18.10: Chi tiết hóa bộ phát đáp vệ tinh

Các tín hiệu đường lên được lọc bằng các bộ lọc đầu vào trên vệ tinh, như được thấy ở hình 18.10, tạo thành 8 nhóm FDM như được thấy trong hình 18.8. Mỗi nhóm được khuếch đại bằng bộ khuếch đại đèn sóng chạy công suất lớn TWTA. Sau đó các tín hiệu được lọc một lần nữa để khử phổ ngoài băng và méo điều chế ký sinh IM. Mỗi nhóm sóng mang sau đó được truyền từ vệ tinh tới các trung tâm số liệu vùng qua 8 búp sóng đường xuống với mỗi búp sóng được gửi tới một trung tâm vùng.

Để cung cấp công suất tối đa trong đường xuống, các bộ khuếch đại TWT hoạt động gần với điểm bão hòa. Tuy nhiên, vì mỗi TWTA khuếch đại 6 sóng mang FDM nên méo điều chế ký sinh IM sẽ ảnh hưởng đáng kể lên hiệu năng BER đường xuống. Nhiều kênh lân cận ACI cũng là nhân tố ảnh hưởng hiệu năng tuyến. Mục đích của nghiên cứu này là mô phỏng một trong số đường xuống (gồm một nhóm 6 sóng mang FDM) từ vệ tinh tới trung tâm số liệu vùng và đánh giá ảnh hưởng của tạp âm nhiệt, méo điều chế ký sinh IM, ISI do các bộ lọc và ACI lên hiệu năng đường xuống.

18.3.2. Mô hình mô phỏng tổng thể

Mô hình mô phỏng được minh họa trong hình 18.11. Tạo tín hiệu FDM bằng cách sắp xếp 6 luồng bit nhị phân ngẫu nhiên lên các ký hiệu QPSK, sau đó điều chế chúng tại các tần số sóng mang tương ứng. Các bước khởi tạo trong việc tạo mô hình mô phỏng trường hợp này như sau:



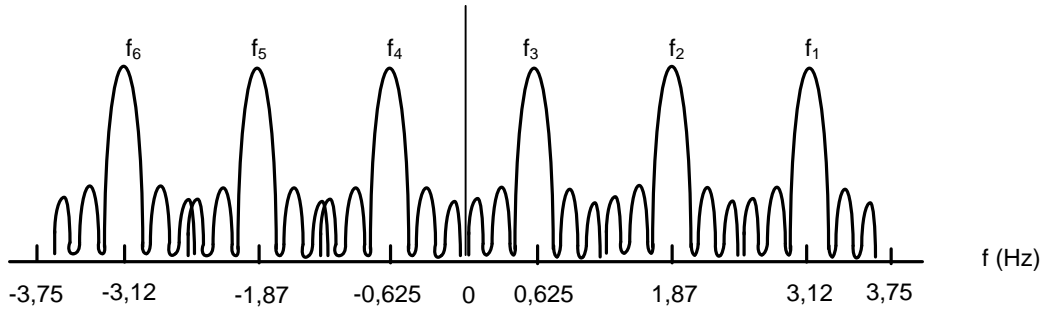
Hình 18.11: Mô hình mô phỏng hệ thống truyền thông vệ tinh

1. *Lấy tỉ lệ tần số và thời gian*: Tốc độ ký hiệu được chia tỷ lệ xích 8 (10^6), nghĩa là tốc độ ký hiệu được chuẩn hoá thành 1 ký hiệu/giây sao cho tất cả các tốc độ và các tần số được định rõ trong đơn vị Hz chứ không phải là MHz và các đơn vị thời gian là giây (s) chứ không phải là μs .

2. *Tần số tham chiếu để biểu diễn tương đương thông thấp*: Biểu diễn tương đương thông thấp của tín hiệu và phần tử hệ thống được dùng trong mô phỏng. Sáu sóng mang FDM được phân cách bởi một khoảng $\Delta f = 1,25$ Hz. Với mục đích mô phỏng ta sẽ sử dụng một tần số tham chiếu bằng 0 tương ứng với tần số trung tâm của nhóm 6 sóng mang sao cho các tần số sóng mang (dịch) trong biểu diễn tương đương thông thấp sẽ là:

$$\begin{aligned} f_1 &= \frac{\Delta f}{2}, & f_4 &= -f_1 \\ f_2 &= \Delta f + \frac{\Delta f}{2}, & f_5 &= -f_2 \\ f_3 &= 2\Delta f + \frac{\Delta f}{2}, & f_6 &= -f_3 \end{aligned} \quad (18.13)$$

Được minh hoạ trong hình 18.12



Hình 18.12: Biểu diễn tương đương thông thấp 6 sóng mang FDM

3. *Tốc độ lấy mẫu*: Tốc độ lấy mẫu được chọn dựa trên toàn bộ độ rộng băng tần của biểu diễn tương đương thông thấp (được cho ở hình 18.12) là 3,75 Hz. Theo đó, tốc độ lấy mẫu là $16 \times 3,75 = 60$ là thỏa đáng. Vì tốc độ ký hiệu là 1 ký hiệu/giây đối với mỗi nguồn tín hiệu QPSK nên tốc độ lấy mẫu 64 mẫu trên ký hiệu được chọn cho tất cả các mô phỏng.

4. *Phương pháp ước tính BER*: Do tạp âm trong đường xuống là tạp âm cộng, Gauss và máy thu tuyến tính, nên khi này ta có thể sử dụng bộ ước tính bán giải tích. Vì vậy ta sử dụng bộ ước tính BER QPSK bán giải tích đã đề cập trong chương 10.

5. *Thời gian mô phỏng*: Với ước tính tỉ số lỗi bán giải tích, thời gian mô phỏng được xác định bởi số lượng các ký hiệu cần thiết để mô phỏng ISI và nhiễu kênh lân cận ACI. Vì sử dụng các bộ lọc SQRC, nên ISI chủ yếu do các bộ lọc ghép kênh đầu vào IMUX và đầu ra OMUX băng khá rộng với đáp ứng tần số gần lý tưởng. Do đó, không cần thiết phải mô phỏng chuỗi đầu vào quá dài. Ta chọn độ dài mô phỏng là 512 ký hiệu trong đó 256 ký hiệu đầu dùng để hiệu chuẩn và 256 ký hiệu còn lại dùng để ước tính BER bán giải tích.

Một khi toàn bộ những giá trị tham số mô phỏng được thiết lập, ta tiến hành lập mô hình mô phỏng cho máy phát, các bộ lọc, bộ khuếch đại phi tuyến, bộ giải điều chế và bộ ước tính bán giải tích.

18.3.3. Tạo tín hiệu FDM đường lên

Nhóm 6 sóng mang FDM đường lên từ 6 trạm mặt đất có thể được mô hình hóa như tín hiệu đến từ một trạm mặt đất có các pha, trễ bất kỳ tương ứng với mỗi sóng mang. Các tín hiệu thể hiện cho lưu lượng được tạo ra bằng cách xấp xỉ các ký hiệu số liệu từ mỗi trạm mặt đất vào một chùm sao QPSK, qua bộ lọc SQRC và điều chế tần số sóng mang tương ứng. Thực thi bộ lọc SQRC trong miền thời gian bởi bộ lọc FIR bằng cách dùng phiên bản đáp ứng xung kim được cắt xén và được lấy mẫu, được cho bởi:

$$h_R(t) = (8\beta) \frac{\cos[(R+2\beta)\pi t] + (8\beta t)^{-1} \sin[(R+2\beta)\pi t]}{\pi\sqrt{R} \cdot [1 - (8\beta t)^2]} \quad (18.14)$$

Trong đó $R = 1$ và $\beta = 0,2$. Đáp ứng xung kim được cắt gọn trong khoảng thời gian 8 ký hiệu. Vì thực thi bộ lọc bằng cách dùng *đáp ứng xung kim*, nên ta đưa vào bộ lọc là *chuỗi xung kim* chứ không phải là *chuỗi xung*.

Sáu tín hiệu sau khi được lọc tạo thành một nhóm FDM được điều chế, và được cộng để tạo tín hiệu FDM đường lên (xem hình 18.11). Để thể hiện trễ truyền sóng ngẫu nhiên từ trạm mặt đất tới vệ tinh, ta đưa lệch pha và trễ thời gian cho mỗi sóng mang. Các hoạt động này được tóm tắt như sau:

1. Tín hiệu QPSK thứ k được định nghĩa là:

$$s_k[n] = \sum_{m=1}^N (A_{km} + jB_{km}) \times \delta\left(\frac{n}{f_s} - kT_s - \tau_k\right) \quad (18.15)$$

Trong đó A_{km} và B_{km} là thành phần đồng pha và vuông pha của đầu vào thứ k , $1 \leq k \leq 6$, T_s là thời gian ký hiệu, τ_k là thời gian trễ, N là tổng số các ký hiệu trong chuỗi, f_s là tần số lấy mẫu.

2. Tín hiệu lọc thứ k được định nghĩa là:

$$x_k[n] = s_k[n] \otimes p[n] \quad (18.16)$$

Trong đó $p[n]$ là đáp ứng xung kim của bộ lọc SQRC, được xác định bởi (18.14), và \otimes là phép tích chập.

3. Tín hiệu điều chế thứ k được định nghĩa là:

$$y_k[n] = a_k \otimes x_k[n] \otimes e^{j\left(\frac{2\pi n f_k}{f_s} + \theta_k\right)} \quad (18.17)$$

Trong đó a_k và f_k là biên độ và tần số của sóng mang thứ k ; θ_k thể hiện lệch pha ngẫu nhiên

4. Xác định tín hiệu FDM là:

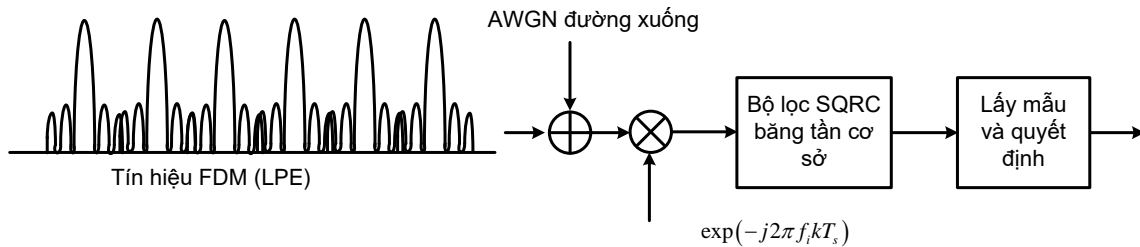
$$z[n] = \sum_{k=1}^6 y_k[n] \quad (18.18)$$

18.3.4 Mô hình bộ phát đáp vệ tinh

Bộ phát đáp vệ tinh bao gồm: một bộ lọc ghép kênh đầu vào IMUX để cách ly từng nhóm trong 8 nhóm sóng mang, một bộ khuếch đại TWT cho mỗi nhóm 6 sóng mang FDM, và một bộ lọc ghép kênh đầu ra OMUX. Cần phải dịch phổ tần tại vệ tinh vì các tần số đường xuống và đường lên thường là khác nhau, ta coi việc dịch phổ tần là lý tưởng. Thực thi các bộ lọc IMUX và OMUX trong mô phỏng bằng cách dùng các bộ lọc Butterworth bậc bốn có độ rộng băng tần 3 dB là 4 Hz. ISI do các bộ lọc này là tối thiểu. Dùng các phần tử phi tuyến không nhớ PM-AM và AM-AM có độ lợi đơn vị để mô hình hóa bộ khuếch đại TWT như đã được đề cập trong chương 12. Coi các đặc tính PM-AM và AM-AM được cho ở dạng bảng, "độ lùi" là một tham số của mô hình.

18.3.5. Mô hình máy thu và bộ ước tính BER bán giải tích

Sáu sóng mang trong mỗi nhóm FDM được giải điều chế riêng biệt tại máy thu trạm mặt đất tại mỗi trung tâm vùng. Xét ước tính BER cho một trong số các sóng mang FDM và giải điều chế của bất kỳ sóng mang nào trong 6 sóng mang bằng cách dịch tần số, theo sau là lọc SQRC như được thấy ở hình 8.13. Cần phải chuẩn pha và chuẩn định thời để giải điều chế và tách tín hiệu. Chúng được thực thi bởi các phân hệ đồng bộ trong máy thu, ở đây ta không mô phỏng tường minh các khối chức năng này mà giả thiết là đã đồng bộ hoàn hảo.



Hình 8.13: Mô hình máy thu trạm mặt đất

Vì máy thu tuyến tính và tạp âm đường xuống là tạp âm Gauss cộng tại đầu vào máy thu, nên ta dùng bộ ước tính tỉ số lỗi bán giải tích để ước tính ảnh hưởng của ISI do lọc và các ảnh hưởng của bộ khuếch đại phi tuyến gồm méo điều chế ký sinh IM và tạp âm đường xuống. Cần phải hoàn tất các hiệu chuẩn trước khi ước tính tỉ số lỗi là một hàm của E_b / N_o đường xuống. Các hoạt động này bao gồm:

1. Ước tính E_b tại đầu vào máy thu cho mỗi sóng mang.
2. Lấy tương quan chéo dạng sóng vào/ra, ước tính lệch pha và định thời từ hàm tương quan chéo.
3. Ước tính độ rộng băng tần tạp âm của máy thu bằng cách đưa một xung kim vào máy thu, lấy bình phương và cộng các giá trị của đáp ứng xung kim để đạt được độ rộng băng tần tạp âm tương đương được thiết kế theo (10.12).
4. Làm trễ dạng sóng đầu vào một cách thích hợp trước khi ước tính tỉ số lỗi.

18.3.6. Các kết quả mô phỏng

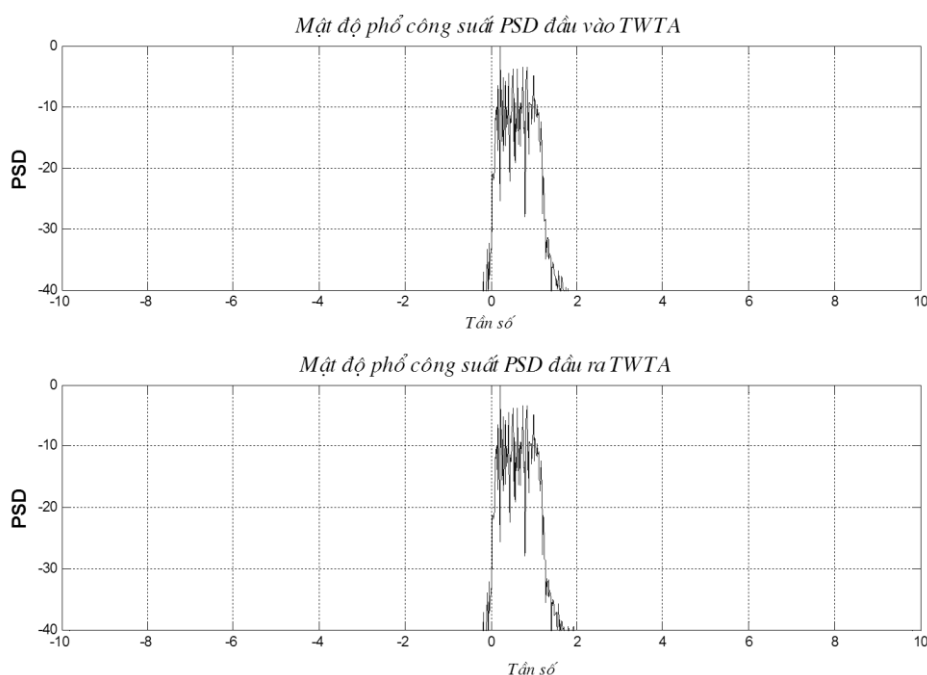
Trong phần này ta trình bày các kết quả mô phỏng nhằm minh họa các ảnh hưởng méo phi tuyến và tạp âm Gauss cộng lên hiệu năng BER của hệ thống FDM. Chương trình mô phỏng được cho bởi file **NVD18_nlsat.m** trong phụ lục 18A. Mục đích của mô phỏng là minh họa các ảnh hưởng của mô hình TWT phi tuyến, ACI và tạp âm cộng. Các kết quả mô phỏng ở dạng đồ thị bao gồm: đồ thị mật độ phổ công suất PSD tại đầu vào/đầu ra của mô hình TWT, chòm sao tín hiệu minh họa các ảnh hưởng phi tuyến và BER do tạp âm và méo phi tuyến. (Vì dùng ước tính BER bán giải tích nên tán xạ điểm được quan sát trong chòm sao tín hiệu là do tính phi tuyến, ACI và lọc gây ra. Các ảnh hưởng tạp âm không được bao gồm trong chòm sao

tín hiệu). Ở đây, ta nghiên cứu chi tiết hai kết quả mô phỏng. Bằng cách thay đổi biên độ sóng mang, khoảng cách sóng mang, độ lùi đầu vào TWT, cho phép dễ dàng khảo sát một số ảnh hưởng khác.

a) Xác nhận tính hợp lệ ranh giới

Cần phải đặc biệt lưu ý “*kiểm tra tính đúng đắn*” của mô phỏng đường ranh giới sao cho các khối chức năng trong mô hình mô phỏng và phương pháp luận tổng thể được hợp lệ. Trong tất cả các mô phỏng dưới đây, mô hình và phương pháp luận vẫn như trước, chỉ thay đổi giá trị tham số. Theo đó, mô phỏng tính hợp lệ đường ranh giới sẽ thiết lập độ tin cậy cho tất cả các mô phỏng tiếp theo. Điều này được thực hiện một cách dễ dàng bằng cách mô phỏng cho một kênh đơn và đảm bảo rằng mô hình TWT hoạt động trong vùng tuyến tính. Bằng cách đặt:

$$a_k = \begin{cases} 1, & k = 1 \\ 0, & k = 2, 3, 4, 5, 6 \end{cases} \quad (18.19)$$

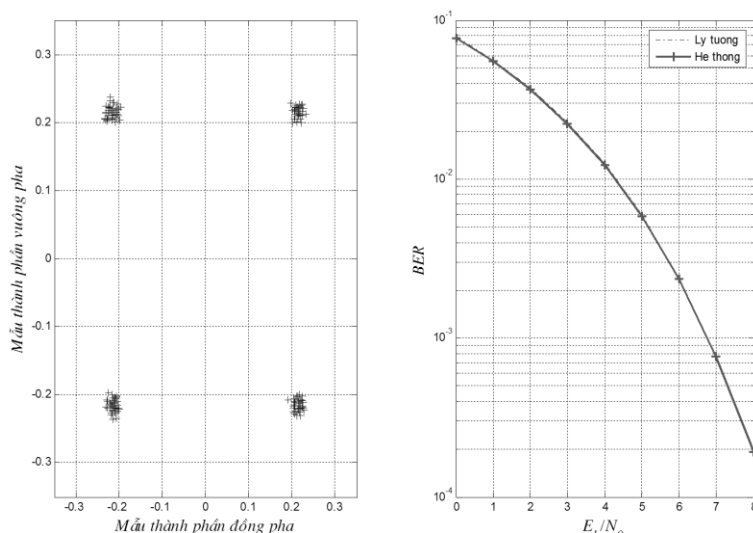


Hình 18.14: PSD tại đầu vào và đầu ra của mô hình TWT (độ lùi đầu vào là -20dB)

Ta đảm bảo không xảy ra ACI. Bằng cách cho hoạt động với độ lùi đầu vào là -20 dB cho phép bỏ qua méo phi tuyến trong độ rộng băng tần của tín hiệu kênh 1. Theo đó, thể hiện rõ chỉ có ảnh hưởng tạp âm Gauss cộng làm suy thoái hiệu năng và kết quả. (Lưu ý rằng bỏ qua ISI do các bộ lọc IMUX và OMUX).

PSD tại đầu vào và đầu ra của mô hình TWT làm việc tại độ lùi -20 dB, được minh họa trong hình 18.14. Thực ra chỉ có một kênh hoạt động rõ ràng. Ngoài ra, bỏ qua nhiễu phổ do điều chế ký sinh, nó minh họa cho TWT đang làm việc trong vùng gần như tuyến tính.

Chòm sao tín hiệu không bị ảnh hưởng bởi tạp âm được minh họa ở nửa bên trái hình 18.15. Thấy rõ, chòm sao tín hiệu ít bị tán xạ minh chứng cho ảnh hưởng phi tuyến là rất nhỏ, thể hiện sự tồn tại ISI là rất nhỏ. Các điểm tín hiệu trong chòm sao tín hiệu được sử dụng để tạo hiệu năng BER được minh họa ở nửa bên phải hình 18.15. *Lưu ý rằng, sự khác nhau giữa các kết quả mô phỏng và các kết quả lý tưởng (lý thuyết) là không đáng kể. Vì vậy, mô phỏng đường ranh giới được hợp lệ.*



Hình 18.15: Chòm sao tín hiệu do ảnh hưởng phi tuyến và BER do tạp âm

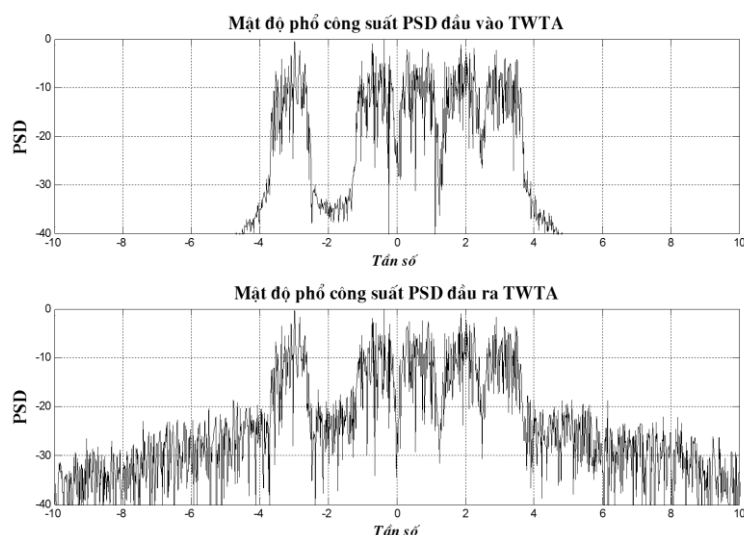
b) Ảnh hưởng tạp âm và phi tuyến - 5 sóng mang FDM

Trong mô phỏng này, biên độ của sóng mang thứ năm được đặt bằng 0, và biên độ của tất cả các sóng mang khác được đặt bằng 1. (Sóng mang thứ 5 được chọn để tạo phổ có một khoảng trống, ngoài ra, để đảm bảo rằng các kênh này gây ra ACI đáng kể lên kênh 1 hoạt động). Độ lùi đầu vào của TWT được đặt là -5 dB, để minh họa hoạt động phi tuyến tức thời của mô hình TWT. Nói cách khác, ta dùng các tham số:

$$a_k = \begin{cases} 0, & k = 5 \\ 1, & k = 1, 2, 3, 4, 6 \end{cases} \quad (18.20)$$

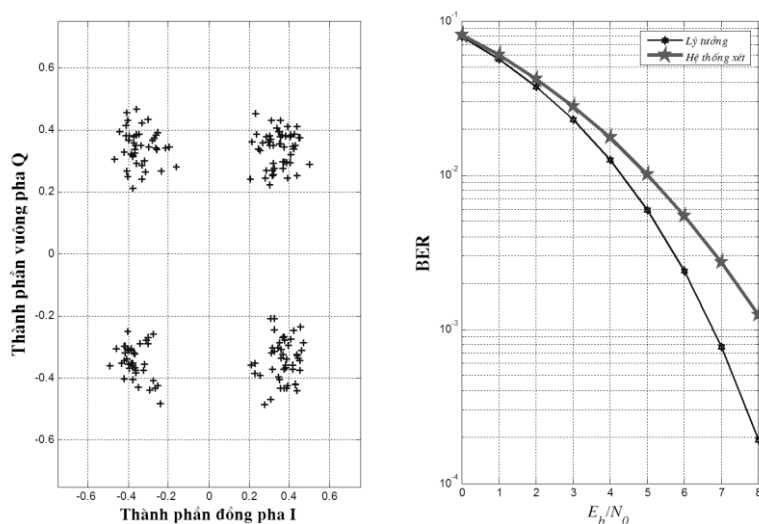
$$ibo = -5 \quad (18.21)$$

Phổ tại đầu vào/ra của TWT được minh họa ở hình 18.16. Lưu ý rằng, khoảng trống trong PSD đầu vào tại vị trí phổ được xác định bởi f_5 . PSD tại đầu ra TWT cho thấy do tính phi tuyến gây méo điều chế ký sinh IM dẫn đến làm lấp đầy khoảng trống phổ. Hiện tượng "làm đầy" này được gọi là gia tăng phổ và là nguồn gây lỗi chủ yếu trong hệ thống FDM làm việc có tính phi tuyến. Để được rõ hơn, ta nên chạy lại mô phỏng với độ lùi đầu vào TWT là -20 dB, khi này TWT hoạt động như một bộ khuếch đại gần như tuyến tính và chỉ ra rằng gia tăng phổ được giảm nhẹ đáng kể.



Hình 18.16: PSD tại đầu vào và đầu ra của mô hình TWT (độ lùi đầu vào là -5dB)

Các ảnh hưởng của ISI, ACI, tạp âm và méo do TWT được minh họa trong hình 18.17. Chòm sao tín hiệu, minh họa tán xạ điểm chủ yếu do các ảnh hưởng của phi tuyến (do dùng độ lùi trong mô hình TWT là nhỏ), được minh họa ở nửa bên trái của hình 18.17. Bộ ước tính BER bán giải tích dùng các điểm tín hiệu này để xác định BER toàn bộ hệ thống, được minh họa ở nửa bên phải của hình 18.17. Thấy rõ ảnh hưởng của thiết bị phi tuyến làm suy thoái hiệu năng BER.



Hình 18.17: Chòm sao tín hiệu và BER (độ lùi đầu vào là -5dB và chòm sao tín hiệu $E_b/N_0 = 8dB$)