

**TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI**  
**VIỆN ĐIỆN TỬ-VIỄN THÔNG**



**HỆ THỐNG VIỄN THÔNG**

**KỸ THUẬT TRẢI PHỔ TRỰC TIẾP: TÍNH BER THEO SNR SỬ  
DỤNG GOLD CODE VỚI MÔ HÌNH RAYLEIGH FADING PHẪNG**

**Nhóm thực hiện:**

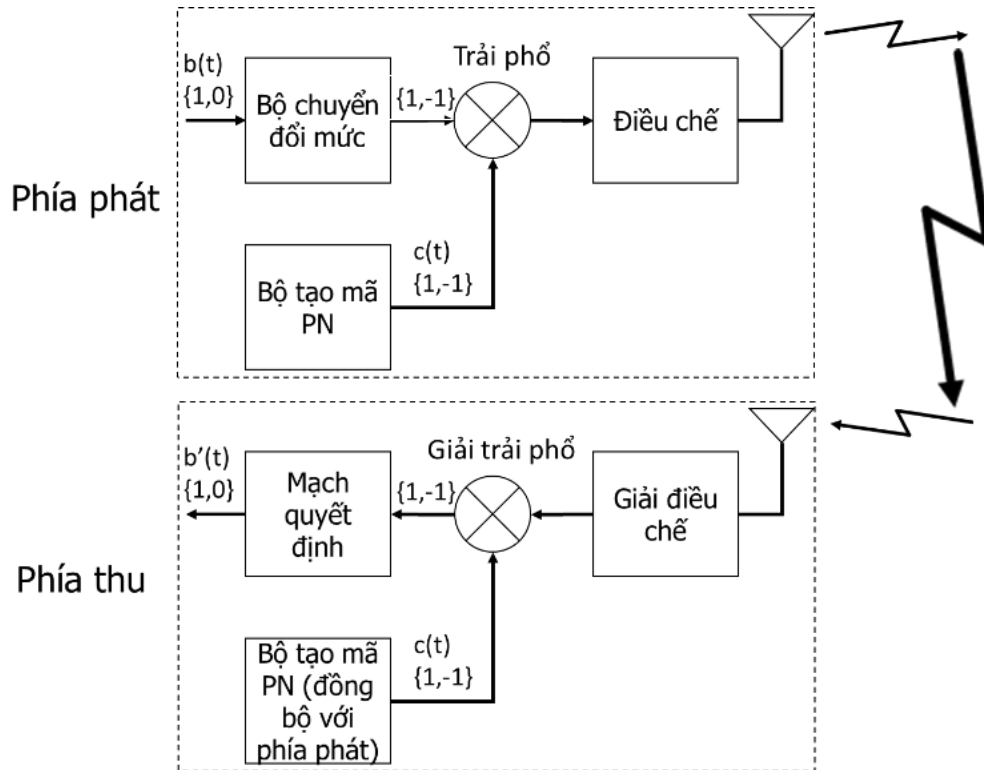
**Nguyễn Minh Hiếu (20151336) – Điện tử 3 K60**

**Hà Nội, tháng 5 năm 2019**

## I. LÍ THUYẾT VÀ MÔ HÌNH HỆ THỐNG TRẢI PHỔ TRỰC TIẾP

### A. Kỹ thuật trải phổ trực tiếp

Trong báo cáo này nhóm em nghiên cứu và trình bày kỹ thuật trải phổ trực tiếp.



Hình 1. Mô hình hệ thống trải phổ trực tiếp

Kỹ thuật trải phổ trực tiếp được thực hiện bằng cách nhân tín hiệu với chuỗi giả tạp (Pseudo Noise – PN) có thời gian bit ngắn hơn nhiều lần so với thời gian bit của tín hiệu ban đầu.

## B. Mô hình hệ thống

Mô hình một hệ thống trải phổ trực tiếp được thể hiện trên hình 1. Ở phía phát, bản tin  $b(t)$  là dãy các bit 0, 1 được đưa vào bộ chuyển đổi mức, chuyển bit 0 thành -1, bộ tạo mã PN (nhóm em sử dụng mã Gold) tạo chuỗi  $c(t)$  gồm các bit 1, -1 có thời gian bit ngắn hơn nhiều lần thời gian bit của  $b(t)$ , sau đó thực hiện nhân  $b(t)$  với  $c(t)$  để trải phổ tín hiệu rồi đưa tín hiệu qua bộ điều chế và phát đi. Tín hiệu sau khi phát qua kênh truyền sẽ đến phía thu. Phía thu thực hiện giải điều chế, nhân tín hiệu với  $c(t)$  giống bên phát để giải trải phổ, đưa tín hiệu qua mạch quyết định, chuyển bit -1 thành 0 để khôi phục bản tin ban đầu, ta nhận được bản tin  $b'(t)$ . Các phần 1) và 2) tiếp theo sẽ trình bày bộ tạo mã Gold và kênh truyền Rayleigh fading phẳng.

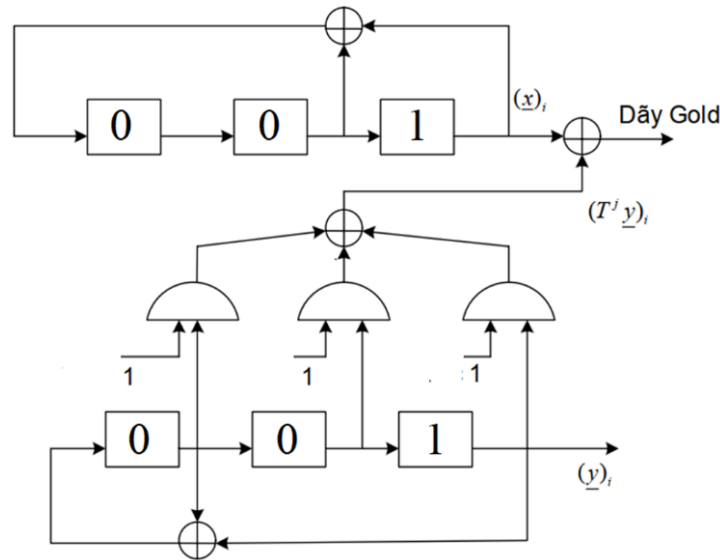
### 1) Bộ tạo mã Gold

Trước khi trình bày bộ tạo mã Gold, ta xét một đa thức  $g(x)$  có dạng:

$$g(x) = g_r x^r + g_{r-1} x^{r-1} + \dots + g_1 x + g_0 \quad (1)$$

Trong đó  $g_r$  và  $g_0$  luôn bằng 1 để đảm bảo đa thức bậc  $r$  là nguyên thủy. Đặt  $g(x)=0$ , ta có sự hồi quy sau:

$$x^r = -(g_{r-1} x^{r-1} + g_{r-2} x^{r-2} \dots + g_1 x + 1) \quad (2)$$



Hình 2. Bộ tạo mã Gold với  $r=3$

Đối với đa thức trong trường  $GF(2)$  (Galois field gồm 2 số 0, 1),  $-1 \equiv 1 \pmod{2}$  nên:

$$x^r = g_{r-1} x^{r-1} + g_{r-2} x^{r-2} \dots + g_1 x + 1 \pmod{2} \quad (3)$$

Để thực hiện phép mod 2 ta sử dụng bộ XOR, kí hiệu “ $\wedge$ ” là phép XOR, ta có:

$$x^r = g_{r-1} x^{r-1} \wedge g_{r-2} x^{r-2} \dots \wedge g_1 x \wedge 1 \quad (4)$$

Đa thức  $g(x)$  bậc  $r$  và phép tính  $x^r$  được biểu diễn và thực hiện qua thanh ghi dịch  $r$  bit, sau mỗi xung clock bit MSB của thanh ghi ( $x^r$ ) sẽ được tính toán thông qua các bit còn lại bằng phép XOR.

Bộ tạo mã Gold sử dụng 2 thanh ghi dịch  $r$  bit để tạo mã từ 2 đa thức sinh nguyên thủy bậc  $r$   $g_1(x)$  và  $g_2(x)$ . Gọi thời gian 1 bit của mã Gold được tạo ra là  $T_c$  (còn được gọi là thời gian chip), thời gian 1 bit bản tin là  $T$ , đặt  $N=2^r-1$ , ta có:

$$T=NT_c \quad (5)$$

Xét một ví dụ bộ tạo mã Gold với  $r=3$ ,  $N=7$ , 2 đa thức sinh là  $g_1(x) = x^3 + x + 1$ ,  $g_2(x) = x^3 + x^2 + 1$ , 2 thanh ghi dịch được khởi tạo 001 như trên hình 2. Các thanh ghi phía trên và phía dưới tương ứng lần lượt với 2 đa thức sinh  $g_1(x)$  và  $g_2(x)$ ,  $T^j y$  là dãy  $y$  dịch vòng phải  $j$  bit. Sau mỗi xung clock, các thanh ghi dịch phải 1 bit, bit LSB của thanh ghi phía trên được đưa vào bộ XOR, bit LSB của thanh ghi phía dưới được sử dụng để tính toán như trên hình 2 trước khi đưa vào cùng bộ XOR với bit LSB của thanh ghi phía trên để tính toán bit mã Gold. Bit MSB của mỗi thanh ghi cũng được tính toán qua các bộ XOR sau mỗi xung clock. Sau  $N=7$  xung clock sẽ tạo ra 1 chu kỳ mã Gold gồm 7 bit.

Hoạt động cụ thể bộ tạo mã Gold sau mỗi xung clock được thể hiện trong bảng 1. Ta có thể thấy, sau 7 xung clock sẽ tạo ra mã 1 chu kỳ Gold gồm 7 bit: 0100010. Ta cũng nhận thấy  $y_i$  sau khi tính toán qua các bộ nhân và XOR sẽ tạo ra dãy  $T^3 y$  là dãy  $y$  dịch vòng phải 3 bit. Trường hợp dãy Gold 0100010 ở trên chỉ là 1 trong 9 dãy Gold chu kỳ 7 bit bao gồm {1001011, 1001110, 0000101, 1010110, 1110001, 0111111, 0100010, 0011000, 1101100}. Trường hợp tổng quát thì tập các dãy Gold là  $\{x, y, x^N y, x^{2N} y, \dots, x^{(N-1)N} y\}$ . Độ dài toàn bộ mã Gold sẽ bằng  $N \cdot (\text{Độ dài bản tin (bit)})$ , ví dụ đối với trường hợp trên có  $N=7$  và bản tin dài 8 bit thì mã Gold được tạo ra có độ dài 56 bit.

Bảng 1. Hoạt động của bộ tạo mã Gold sau mỗi xung clock

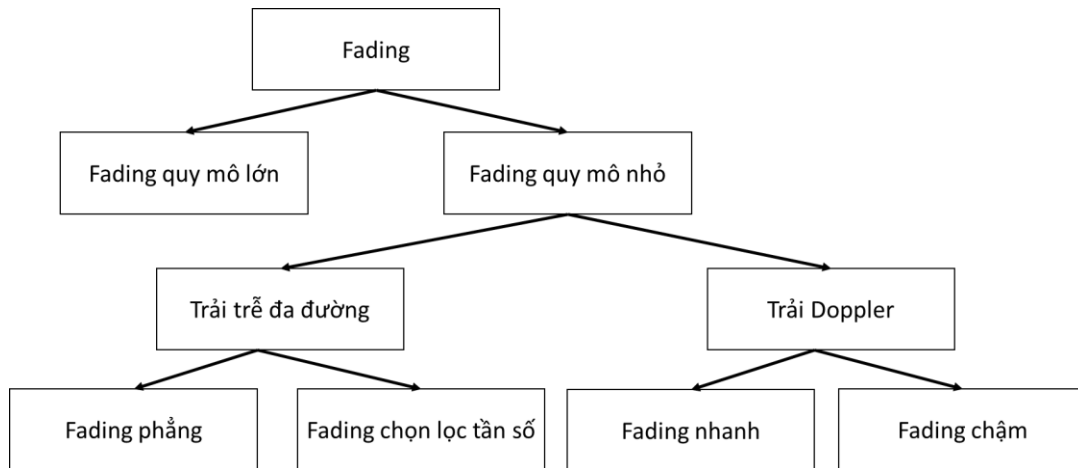
Xung clock (i)	Thanh ghi phía trên	Thanh ghi phía dưới	$x_i$	$y_i$	$(T^3 y)_i$	Bit mã Gold
0	001	001				
1	100	100	1	1	1	0
2	010	110	0	0	1	1
3	101	111	0	0	0	0
4	110	011	1	1	1	0
5	111	101	0	1	0	0
6	011	010	1	1	0	1
7	001	001	1	0	1	0

2) *Kênh truyền Rayleigh fading phẳng*

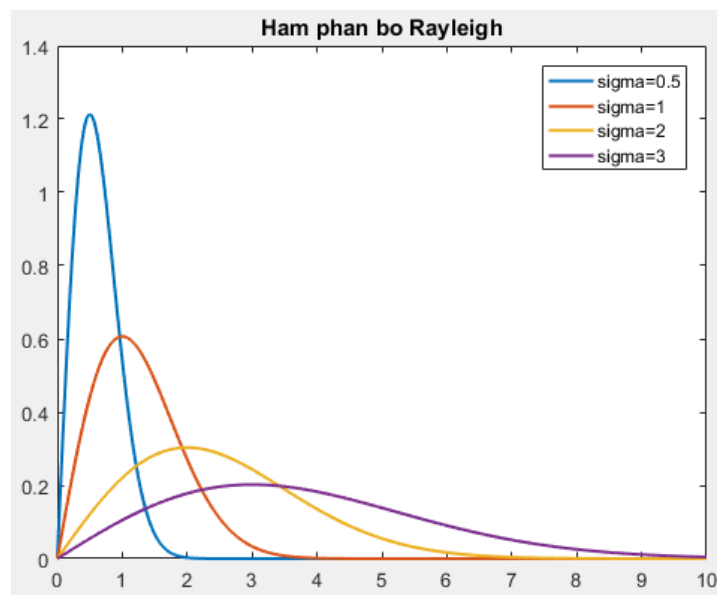
Phân bố Rayleigh có phân bố Rayleigh với hàm mật độ xác suất:

$$f(x) = \frac{x}{\sigma^2} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (6)$$

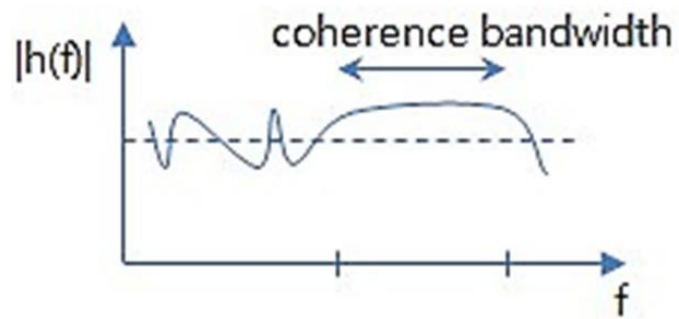
Phân phối Rayleigh có kì vọng  $E(x) = \sigma \sqrt{\frac{\pi}{2}}$  và phương sai  $V(x) = \sigma^2 \frac{4-\pi}{2}$ , hàm  $f(x)$  đạt giá trị cực đại bằng  $\frac{1}{\sigma} e^{-\frac{1}{2}}$  tại  $x = \sigma$  (hình 4).



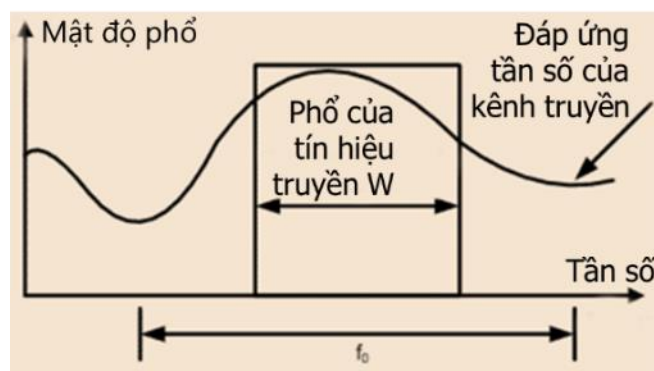
Hình 3. Phân loại fading



Hình 4. Hàm mật độ xác suất của phân bố Rayleigh



Hình 5. Băng thông kết hợp



Hình 6. Fading phẳng

## II. MÔ PHỎNG

### A. Kịch bản mô phỏng

Nhóm em sử dụng phần mềm MATLAB R2016a để mô phỏng hệ thống trải phổ trực tiếp như sơ đồ trên hình 1. Bộ tạo mã Gold có các thông số:  $r=3$ ,  $N=7$ ,  $g_1(x) = x^3 + x^2 + 1$ ,  $g_2(x) = x^3 + x + 1$ , khởi tạo 2 thanh ghi dịch  $init1=[1\ 1\ 0\ 0]$ ,  $init2=[0\ 1\ 0\ 1]$ . Hệ thống sử dụng phương pháp điều chế QPSK. Kênh truyền có mô hình Rayleigh fading phẳng với  $\sigma=0.5$  số đường truyền là 2 (thể hiện hiện tượng đa đường),  $Gain_1=0\text{dB}$ ,  $Gain_2=-3\text{dB}$ ,  $Delay_1=0\text{s}$ ,  $Delay_2=1\mu\text{s}$ , với Gain và Delay là độ suy giảm cường độ tín hiệu và độ trễ của mỗi đường truyền. Trước khi giải điều chế ở phía thu, tín hiệu được cộng nhiễu trắng (Additive White Gaussian Noise – AWGN). Kết quả mô phỏng được trình bày trong phần B, gồm 4 nội dung: 1) Tỷ lệ lỗi bit BER theo SNR, 2) Mật độ phổ công suất của tín hiệu, 3) Mô phỏng hệ thống với đầu vào là dãy bit và 4) Mô phỏng hệ thống với đầu vào là hình ảnh.

### B. Kết quả mô phỏng

#### 1) Tỷ lệ lỗi bit BER theo SNR

Nhóm em tạo tín hiệu vào ngẫu nhiên gồm 50000 bit để mô phỏng tỷ lệ lỗi bit BER theo SNR. Kết quả mô phỏng được thể hiện trên hình 7, so sánh BER theo SNR của kênh AWGN và fading phẳng. Có thể thấy rõ BER của kênh AWGN thấp hơn kênh fading phẳng. Kênh AWGN có thể đạt được  $BER=10^{-4}$  tại  $SNR \approx -2.5\text{dB}$ , trong khi đó để đạt được BER này thì kênh fading phẳng cần  $SNR > 0$ . Ngoài ra, nếu như BER của kênh AWGN giảm theo hàm mũ thì BER của kênh fading phẳng giảm tuyến tính khi SNR tăng. Những điều trên được giải thích là do kênh fading phẳng ngoài chịu ảnh hưởng của nhiễu Gauss còn chịu ảnh hưởng của fading đa đường.

#### 2) Mật độ phổ công suất của tín hiệu

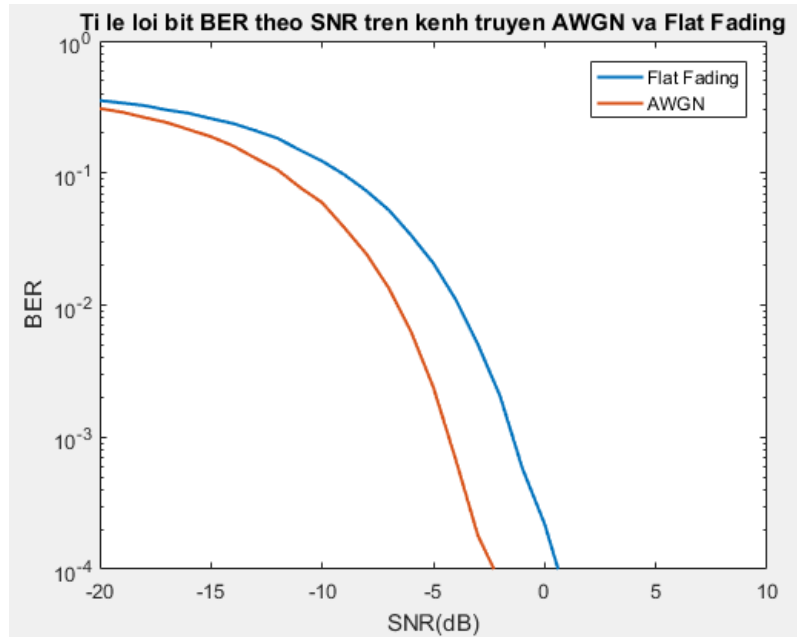
Trước tiên ta chuẩn hóa các tham số: thời gian chip  $T_c=1$ , thời gian 1 bit bản tin  $T=NT_c=N=7$ , tần số sóng mang  $f_c=1$ , biên độ tín hiệu điều chế QPSK  $A=1$ . Sau đây là các công thức mật độ phổ công suất (Power Spectral Density – PSD) của tín hiệu:

- PSD của bản tin

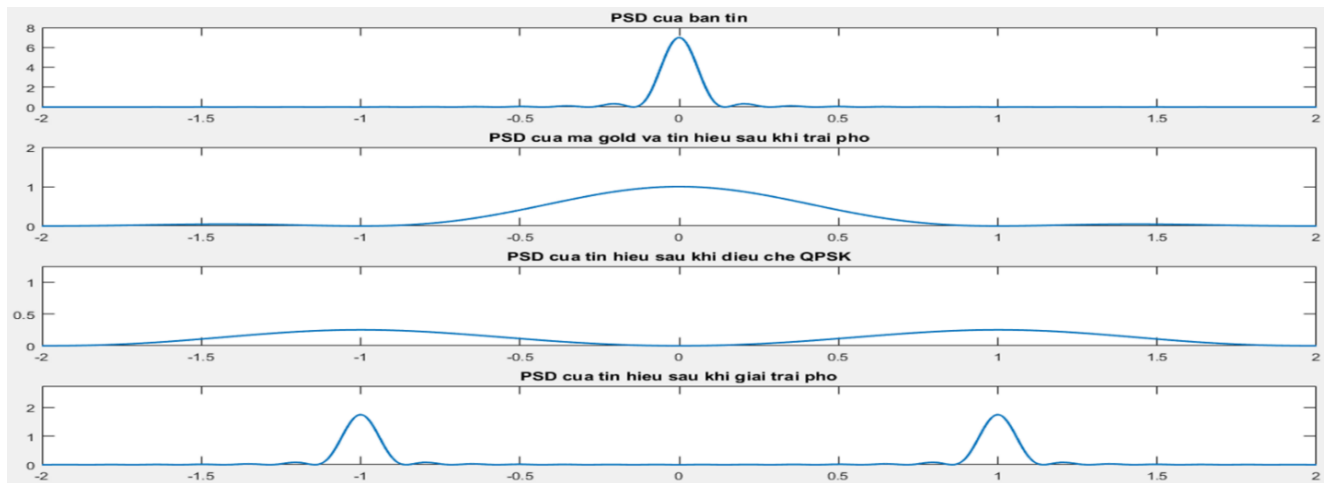
$$\varphi_b(f) = T \text{sinc}^2(fT) = N \text{sinc}^2(Nf) \quad (7)$$

- PSD của mã gold và tín hiệu sau khi trải phổ

$$\varphi_c(f) = \varphi_u(f) = T_c \text{sinc}^2(T_c f) = \text{sinc}^2(f)$$



Hình 7. Mô phỏng BER theo SNR trên kênh AWGN và fading phẳng



Hình 8. Mật độ phổ công suất của tín hiệu



- PSD của tín hiệu sau khi điều chế QPSK

$$\begin{aligned}\varphi_m(f) &= \frac{A^2 T_c}{4} \{ \text{sinc}^2[(f - f_c)T_c] + \text{sinc}^2[(f + f_c)T_c] \} \\ &= \frac{1}{4} [\text{sinc}^2(f - 1) + \text{sinc}^2(f + 1)] \quad (9)\end{aligned}$$

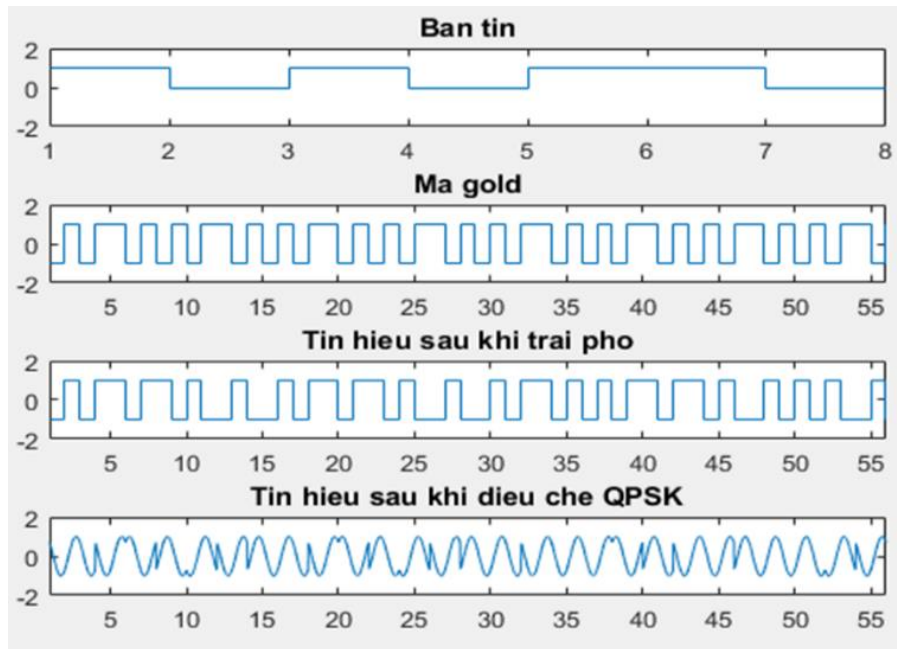
- PSD của tín hiệu sau khi giải trải phổ

$$\begin{aligned}\varphi_w(f) &= \frac{A^2 T}{4} \{ \text{sinc}^2[(f - f_c)T] + \text{sinc}^2[(f + f_c)T] \} \\ &= \frac{N}{4} \{ \text{sinc}^2[(f - 1)N] + \text{sinc}^2[(f + 1)N] \} \quad (10)\end{aligned}$$

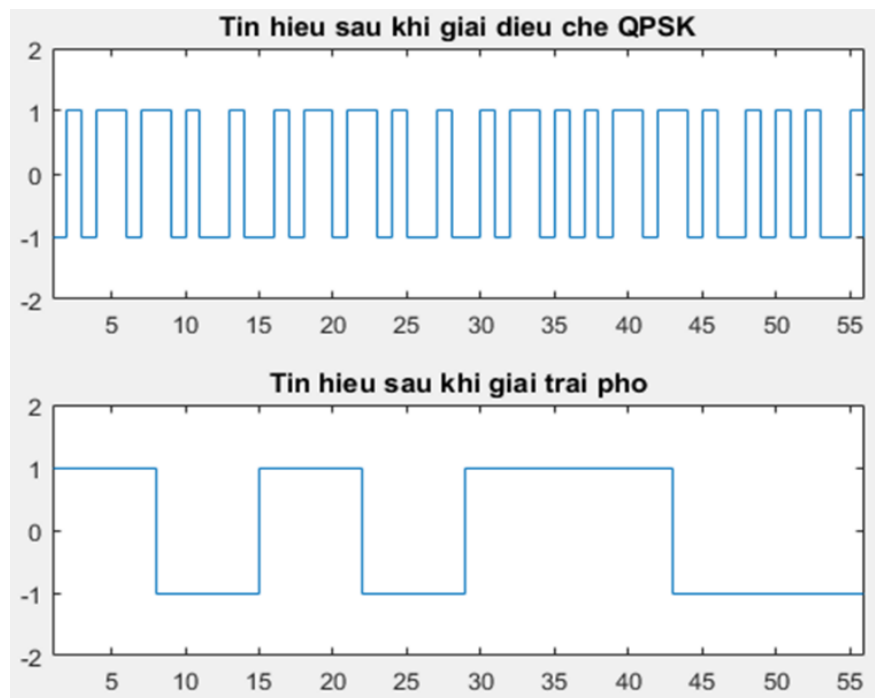
Các hàm PSD của tín hiệu được thể hiện trên hình 8. Tín hiệu bản tín có dải thông  $\frac{1}{T}$ , tín hiệu sau khi trải phổ có dải thông tăng N lần, bằng  $\frac{1}{T_c}$ . Sau khi điều chế, tín hiệu có dải thông  $\frac{2}{T_c}$  nhưng biên độ giảm đi 4N lần so với tín hiệu gốc. Tín hiệu sau khi giải trải phổ tại bên thu có dải thông hẹp, bằng  $\frac{2}{T}$ , dạng phổ giống như phổ tín hiệu gốc dịch sang phải và trái một đoạn  $f_c$ . Điều này hoàn toàn hợp lý bởi tín hiệu này giống hệt tín hiệu gốc được điều chế (không qua trải phổ).

### 3) Mô phỏng hệ thống với đầu vào là dãy bit

Nhóm em tạo dãy 8 bit đầu vào: 10101100. Đầu tiên nhóm em mô phỏng không có kênh truyền để kiểm tra hoạt động của hệ thống. Các hình 9 và 10 là kết quả mô phỏng tín hiệu phía phát và phía thu của trường hợp này. Vì không có kênh truyền nên ta thu được tín hiệu bên thu giống hệt tín hiệu phát.

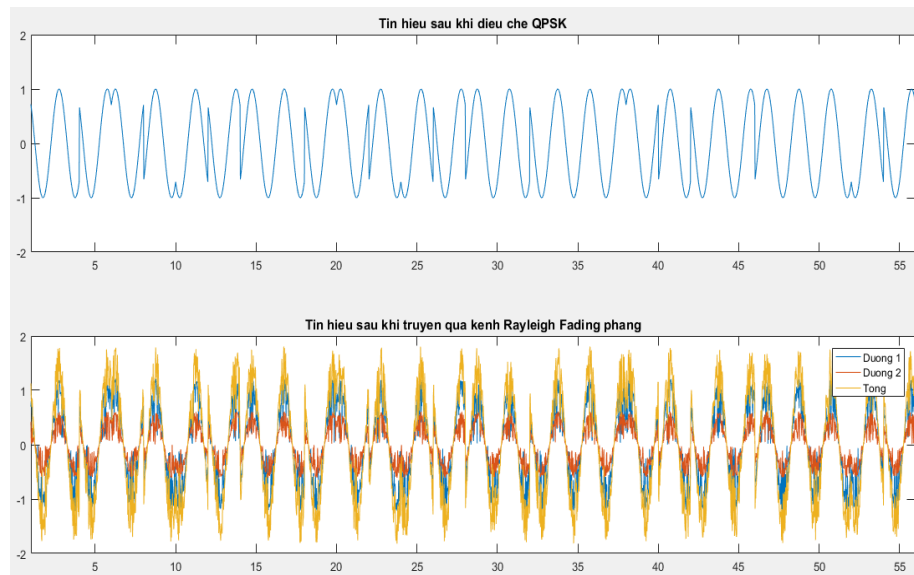


Hình 9. Tín hiệu phía phát (không có kênh truyền)

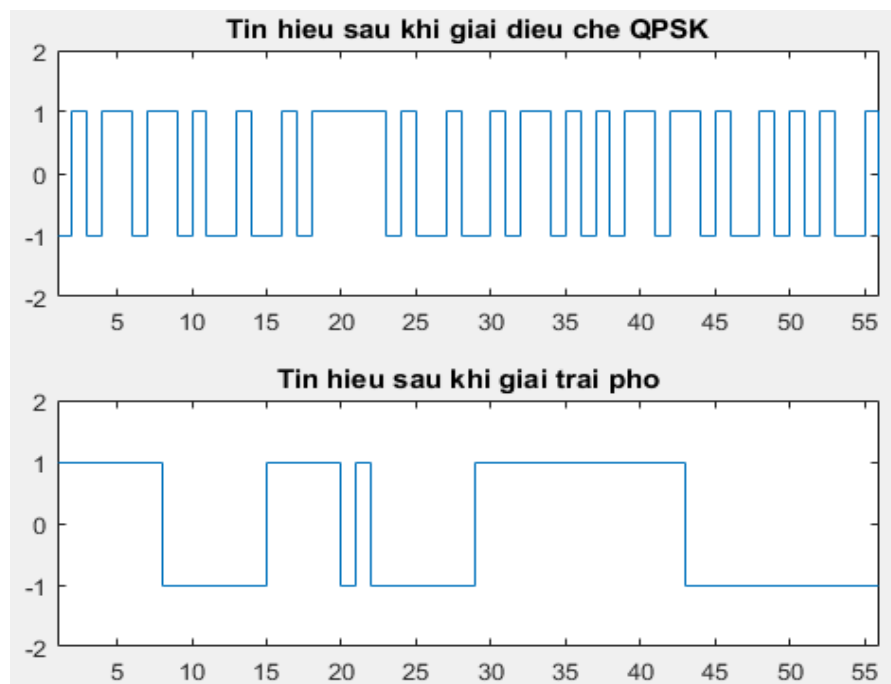


Hình 10. Tín hiệu phía thu (không có kênh truyền)

Bây giờ tín hiệu sau khi điều chế được truyền qua kênh truyền Rayleigh fading phẳng. Nhóm em thu được kết quả như trên hình 11 và 12. Tín hiệu trên kênh truyền gồm 2 tín hiệu tương ứng 2 đường truyền đã thiết lập. Đường màu xanh nước biển là tín hiệu đường thứ nhất, không suy hao, đường màu đỏ là tín hiệu đường thứ hai, bị suy hao, phía thu sẽ thu được tín hiệu màu vàng là tổng 2 tín hiệu trên. Vì bị ảnh hưởng của kênh truyền, tín hiệu sau khi giải trải phổ ở phía thu không còn giống hoàn toàn tín hiệu gốc.



Hình 11. Tín hiệu sau khi điều chế và truyền qua kênh truyền



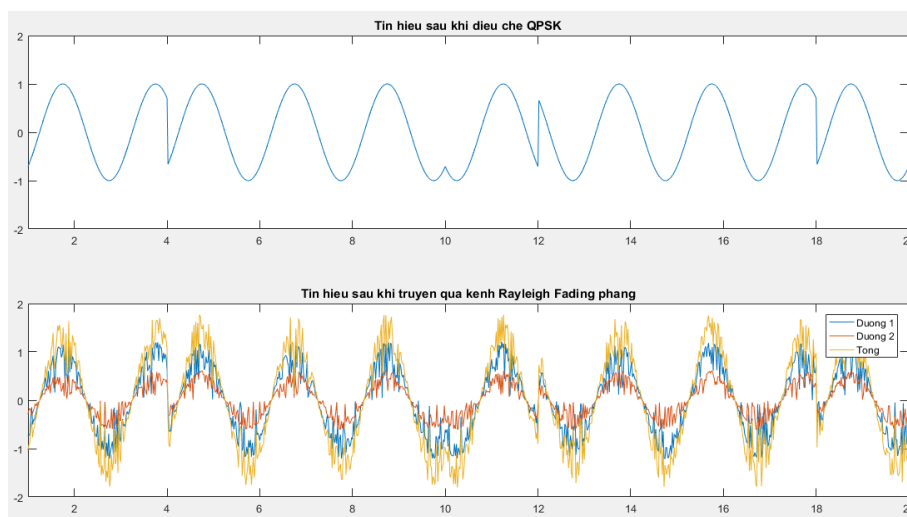
Hình 12. Tín hiệu phía thu (có kênh truyền)

#### 4) Mô phỏng hệ thống với đầu vào là hình ảnh

Để cho trực quan, nhóm em sử dụng hình ảnh làm đầu vào hệ thống. Hình 13 là ảnh đầu vào kích thước 100x100, hình 14 là tín hiệu sau khi điều chế và truyền qua kênh truyền, với các đường màu xanh nước biển, màu đỏ, màu vàng lần lượt là tín hiệu đường thứ nhất, đường thứ hai, tín hiệu tổng. Hình 15 là ảnh sau khi giải mã ở phía thu. Do ảnh hưởng của kênh truyền, ảnh thu được bị mất một số điểm ảnh có thể quan sát được, nhưng nhìn chung không khác quá nhiều ảnh gốc.



Hình 13. Ảnh truyền đi



Hình 14. Tín hiệu sau khi điều chế và truyền qua kênh truyền



Hình 15. Ảnh sau khi giải mã ở phía thu

### III. KẾT LUẬN

Như vậy nhóm em đã hoàn thành mô phỏng hệ thống trải phổ trực tiếp với mô hình kênh truyền Rayleigh fading phẳng. Kỹ thuật trải phổ trực tiếp đã thể hiện tác dụng chia sẻ băng tần nhờ đưa băng thông của tín hiệu truyền cao hơn nhiều lần tín hiệu gốc. Ngoài ra, tín hiệu cũng có khả năng chống nghe lén nhờ chuỗi PN (chuỗi Gold), bởi nếu máy thu bắt được tín hiệu trên đường truyền mà không có mã  $c(t)$  để giải mã thì tín hiệu thu được chỉ giống như tín hiệu bị nhiễu. Ta cũng nhận thấy ảnh hưởng của kênh truyền Rayleigh fading phẳng lên tín hiệu không nhiều, chấp nhận được, tín hiệu thu được không khác quá nhiều so với tín hiệu phát, để khắc phục có thể dùng các phương pháp đã trình bày ở phần lý thuyết.