

Modulation

Mô phỏng các phương pháp điều chế tín hiệu

Tác giả	Nguyễn Thế Khang	MSV	21020692
Giảng viên	TS. Nguyễn Hồng Thịnh		
Học phần	Modeling and Simulation in MATLAB and Simulink		
Report	Lab4-5	Date Report: 09/10/2023	

0 Abstract

Bài báo cáo này tập trung tìm hiểu các phương pháp điều chế và giải điều chế tín hiệu như BPSK, QPSK, 16-QAM. Ta sẽ tiến hành mô phỏng truyền phát tín hiệu Random Integer bit và truyền một đoạn âm thanh từ bên phát tới bên thu bằng MATLAB/Simulink. Từ đó đưa ra so sánh các phương pháp điều chế với thông số Bit Error Rate (BER) với tham số Signal to Noise (SNR) tương ứng với biểu diễn đồ thị trực quan. Cuối cùng, thông qua dữ liệu so sánh, ta đưa ra đánh giá kết luận về hiệu năng của từng phương pháp.

1 Introduction

1.1 Tóm tắt về kênh Gaussian

Kênh Gaussian trong truyền thông số là một loại kênh truyền thông được sử dụng để mô phỏng và nghiên cứu các quá trình truyền thông và xử lý tín hiệu. Kênh này thường được sử dụng để mô phỏng các tín hiệu có sự nhiễu (noise) theo phân phối Gaussian.

Kênh Gaussian thường được sử dụng để nghiên cứu và phân tích các thuật toán truyền thông và xử lý tín hiệu, bao gồm việc phát triển mã hoá và giải mã thông tin, xử lý tín hiệu số, và các ứng dụng trong viễn thông, hệ thống truyền thông không dây, và nhiều lĩnh vực khác trong truyền thông số.

1.2 Phương pháp truyền thông số

Phương pháp truyền thông số (digital communication) là quá trình truyền tải thông tin dưới dạng tín hiệu số hoặc dữ liệu số từ bên phát đến bên nhận thông qua kênh dẫn, có thể bao gồm cả nhiễu trong kênh. Truyền thông số cho phép truyền tải dữ liệu khoảng cách xa hơn, độ chính xác cao hơn, dễ dàng tích hợp và mở rộng đồng thời khả năng kháng nhiễu cũng tốt hơn.

Trong bài báo cáo này ta sẽ tập trung nghiên cứu 3 phương pháp truyền thông số: BPSK, QPSK, QAM. Đồng thời đưa ra so sánh và đánh giá về hiệu năng của ba phương pháp

2 Review / Background

2.1 BPSK

BPSK là viết tắt của "Binary Phase Shift Keying", một kỹ thuật điều chế trong truyền thông số. BPSK được sử dụng để biểu diễn dữ liệu số (0 và 1) thành tín hiệu sóng mang (carrier wave) với hai trạng thái pha khác nhau, thường là 0 và 180 độ.

Công thức biểu diễn BPSK có thể được mô tả như sau:

- Khi bit dữ liệu là 0, tín hiệu BPSK sẽ có pha 0 độ. Tín hiệu này có thể được biểu diễn bằng công thức:

$$s(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cdot \cos(2\pi f_c t) \quad (1)$$

- Khi bit dữ liệu là 1, tín hiệu BPSK sẽ có pha 180 độ. Tín hiệu này có thể được biểu diễn bằng công thức:

$$s(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cdot \cos(2\pi f_c t + 180^\circ) = s(t) = -\sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cdot \cos(2\pi f_c t) \quad (2)$$

Trong quá trình truyền thông, tín hiệu BPSK này sẽ được gửi qua kênh truyền và sau đó được demodulate (phân cực) để trích xuất thông tin ban đầu dựa trên pha của tín hiệu. Nếu pha là 0 độ, thì bit dữ liệu được xác định là 0; nếu pha là 180 độ, thì bit dữ liệu được xác định là 1. BPSK thường được sử dụng trong các ứng dụng truyền thông số như viễn thông số, truyền thông không dây, và nhiều hệ thống liên quan đến việc truyền tải dữ liệu số.

2.2 QPSK

QPSK là viết tắt của "Quadrature Phase Shift Keying", một kỹ thuật modulation trong truyền thông số. QPSK cho phép biểu diễn dữ liệu số thành tín hiệu sóng cơ sở (carrier wave) với bốn trạng thái pha khác nhau. Các trạng thái này thường được biểu diễn bằng các giá trị pha của tín hiệu sóng cơ sở (carrier wave), thường là tín hiệu cosin và sin của tần số cơ sở (f_c). Dưới đây là cách biểu diễn tín hiệu QPSK dựa trên cặp bit dữ liệu (b_1, b_2):

- Trạng thái 00: Trạng thái này có thể được biểu diễn bằng tín hiệu có pha 0 độ. Công thức của tín hiệu QPSK cho trạng thái này là:

$$s(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cdot \cos(2\pi f_c t) \quad (3)$$

- Trạng thái 01: Trạng thái này có thể được biểu diễn bằng tín hiệu có pha 90 độ. Công thức của tín hiệu QPSK cho trạng thái này là:

$$s(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cdot \sin(2\pi f_c t) \quad (4)$$

- Trạng thái 10: Trạng thái này có thể được biểu diễn bằng tín hiệu có pha 180 độ. Công thức của tín hiệu QPSK cho trạng thái này là:

$$s(t) = -\sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cdot \cos(2\pi f_c t) \quad (5)$$

- Trạng thái 11: Trạng thái này có thể được biểu diễn bằng tín hiệu có pha 270 độ. Công thức của tín hiệu QPSK cho trạng thái này là:

$$s(t) = -\sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cdot \sin(2\pi f_c t) \quad (6)$$

QPSK cho phép truyền tải hai bit dữ liệu bằng mỗi biểu hiện của tín hiệu, làm cho nó trở thành một kỹ thuật modulation phổ biến trong truyền thông số.

2.3 QAM

QAM là viết tắt của "Quadrature Amplitude Modulation", một kỹ thuật modulation trong truyền thông số. Nó cho phép biểu diễn dữ liệu số thành tín hiệu sóng mang (carrier wave) với cả biên độ (amplitude) và pha (phase) thay đổi. QAM kết hợp hai thông số này để biểu diễn dữ liệu, giúp truyền tải nhiều bit dữ liệu trong mỗi biểu hiện của tín hiệu.

Công thức biểu diễn tín hiệu QAM phụ thuộc vào số lượng trạng thái biểu diễn (constellation points) và cụ thể hóa (mapping) của các giá trị dữ liệu sang các trạng thái này. Dưới đây là một ví dụ về công thức QAM cho một hệ thống 16-QAM, trong đó có 16 trạng thái biểu diễn:

- 16-QAM có 16 trạng thái biểu diễn, được sắp xếp thành một ma trận 4x4 hoặc là một hình vuông 16 ô, thường gọi là "constellation diagram."
- Các điểm trên biểu đồ trạng thái có thể được biểu diễn bằng cặp giá trị (I, Q) , trong đó I là biên độ (amplitude) theo trục thẳng đứng (thường gọi là trục "In-phase") và Q là biên độ theo trục ngang (thường gọi là trục "Quadrature").
- Ví dụ, để biểu diễn 16-QAM, bạn có thể sử dụng một ma trận 4x4, và mỗi ô của ma trận đại diện cho một trạng thái biểu diễn. Vào mỗi ô, bạn có thể gán một cặp giá trị (I, Q) để biểu diễn dữ liệu.
- Công thức biểu diễn của tín hiệu QAM là:

$$s(t) = -\sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cdot \cos(2\pi f_c t + \theta) \quad (7)$$

- Lưu ý: θ là pha của tín hiệu, được điều chỉnh dựa trên giá trị dữ liệu cần biểu diễn.

2.4 AWGN, BER & SNR

2.4.1 AWGN

AWGN là viết tắt của "Additive White Gaussian Noise" và đây là một loại nhiễu (noise) thường xuyên xuất hiện trong truyền thông số.

Nhiều AWGN thường được sử dụng để mô phỏng các tác động của nhiễu thực tế trong hệ thống truyền thông số. Nó được sử dụng rộng rãi trong việc đánh giá hiệu suất của các hệ thống truyền thông số, đặc biệt trong việc tính toán BER và SNR cần thiết để đảm bảo hiệu suất đủ đáng tin cậy trong môi trường có nhiễu.

2.4.2 BER

BER là viết tắt của "Bit Error Rate" trong truyền thông số. BER là một thước đo quan trọng để đánh giá chất lượng và hiệu suất của một hệ thống truyền thông số. Nó thể hiện tỷ lệ số lỗi bit (bit bị sai) so với tổng số bit được truyền tải qua một kênh truyền thông.

2.4.3 SNR

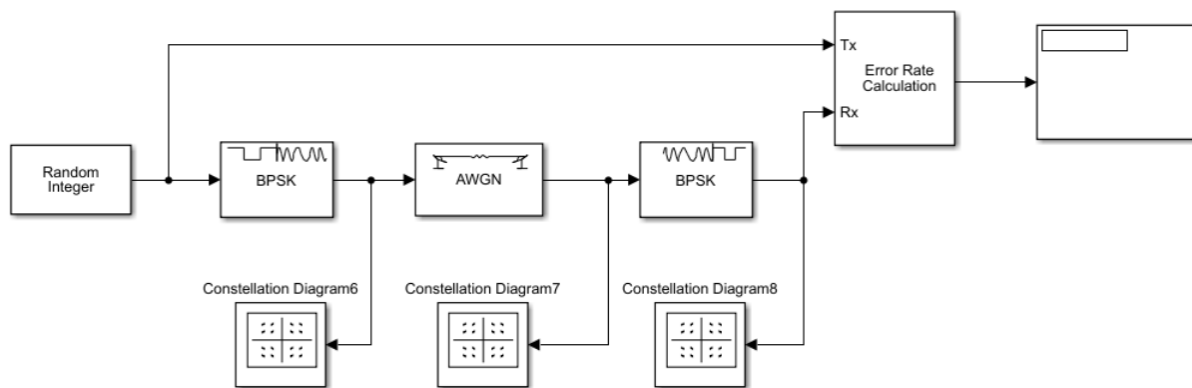
SNR là viết tắt của "Signal-to-Noise Ratio" trong truyền thông số. Đây là một thước đo quan trọng để đánh giá chất lượng tín hiệu so với mức độ nhiễu trong một hệ thống truyền thông. SNR biểu thị tỷ lệ giữa tín hiệu (hoặc công suất tín hiệu) và nhiễu (hoặc công suất nhiễu) trong tín hiệu nhận được.

3 Methods Results

3.1 BPSK

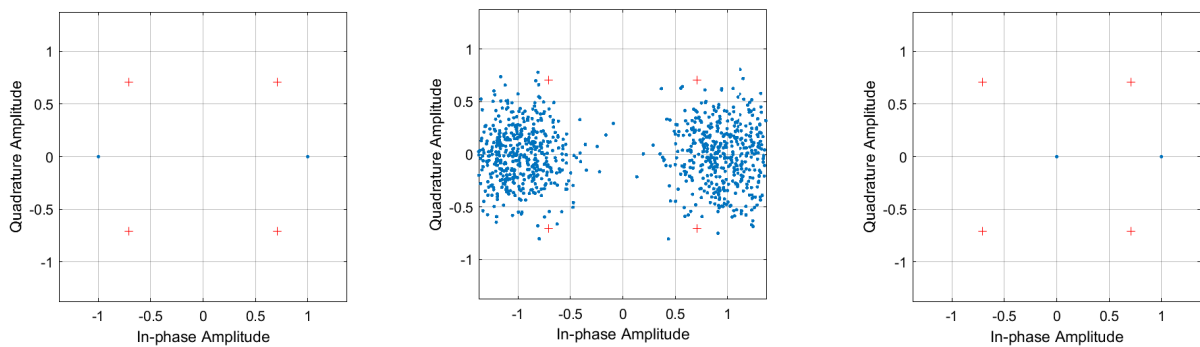
3.1.1 Standard BPSK Simulation

Sử dụng MATLAB/SIMULINK, mô phỏng quá trình truyền thông tin bằng phương pháp BPSK qua kênh dẫn có nhiễu Gauss trắng, sau đó giải điều chế ở bên thu nhận được thông tin sau khi truyền. Tiến hành so sánh sự sai khác giữa thông tin mà bên phát gửi với thông tin mà bên thu nhận được, sự sai khác này được đánh giá bằng số bit khác nhau (hay số bit lỗi).



Hình 1: Sơ đồ mô phỏng Simulink truyền tin sử dụng BPSK

Chọn ngưỡng nhiễu của kênh AWGN với $\text{SNR} = 8$, quan sát các Constellation Diagram lần lượt dưới đây:



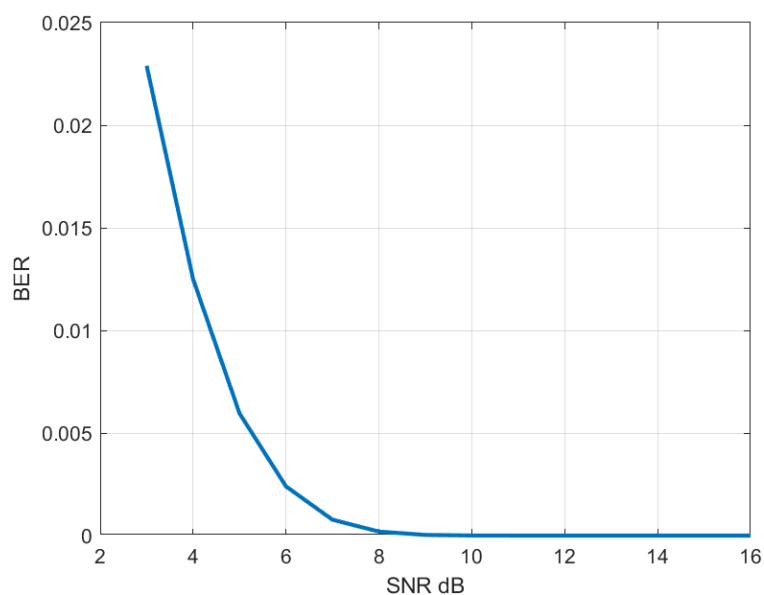
Hình 2: Quan sát lần lượt các Constellation Diagram

Để đánh giá phương pháp điều chế và giải điều chế BPSK, tiến hành thực hiện thay đổi ảnh hưởng của nhiễu lên tín hiệu bằng thông số SNR, so sánh thông số BER (Tỷ số số bit lỗi trên số bit nhận được).

SNR value	BER	Uncorrected bits	Received bits
SNR = 3	2.2895e-02	228966	10000384
SNR = 4	1.2499e-02	125000	10000384
SNR = 5	5.9516e-03	59518	10000384
SNR = 6	2.3957e-03	23958	10000384
SNR = 7	7.7407e-04	7741	10000384
SNR = 8	1.9509e-04	1951	10000384
SNR = 9	3.1999e-05	320	10000384
SNR = 10	3.9998e-06	40	10000384
SNR = 11	4.9998e-07	5	10000384
SNR = 12	9.9996e-08	1	10000384
SNR = 13	0	0	10000384

Bảng 1: BPSK, tăng từ từ giá trị SNR và kết quả BER tương ứng.

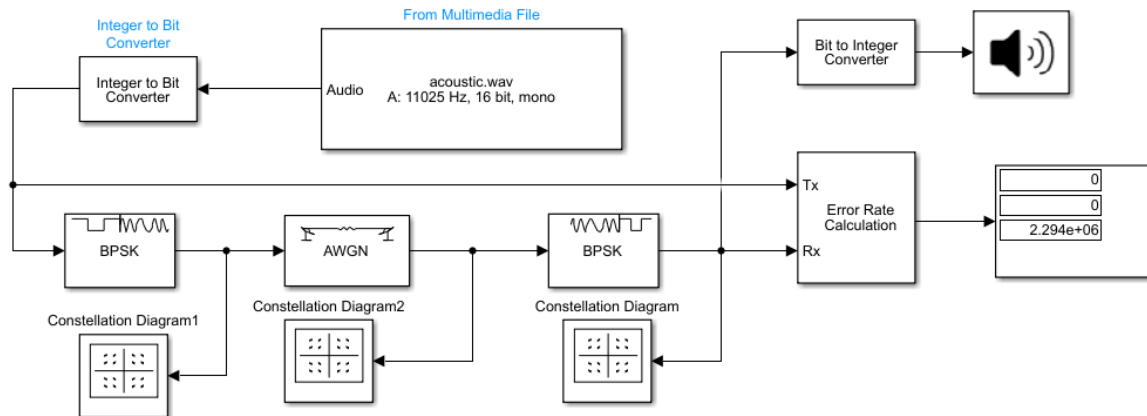
Như vậy có thể thấy, thông tin của bên phát sẽ đồng nhất hoàn toàn với thông tin bên nhận nếu kênh dẫn đạt chất lượng SNR ≥ 13 (Lúc này không có bit nào lỗi). Quan sát ảnh hưởng của thông số SNR của kênh dẫn đến tỉ số SNR bằng đồ thị dưới đây:



Hình 3: Đồ thị ảnh hưởng của SNR đến BER của phương pháp BPSK

3.1.2 BPSK Simulation with a music file

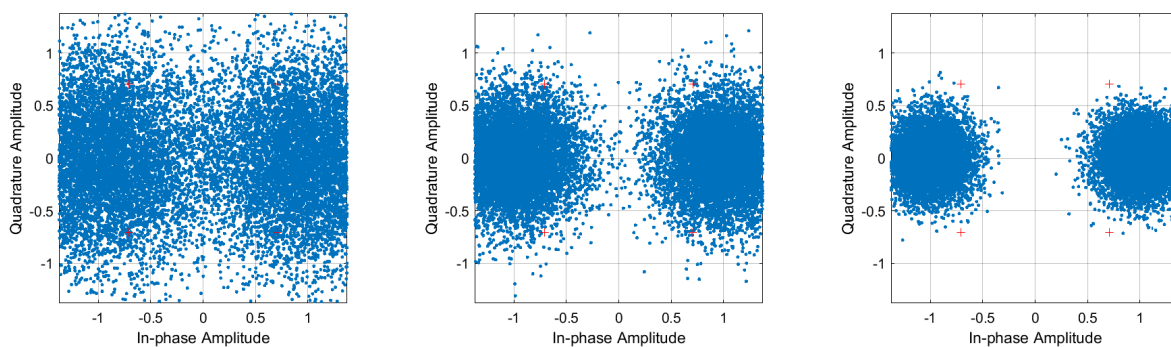
Tiến hành mô phỏng đầu vào là một file âm thanh bằng sơ đồ sau:



Hình 4: Sơ đồ mô phỏng BPSK truyền âm thanh

Khi thực hiện mô phỏng thay đổi ảnh hưởng của SNR tới tỉ số BER, thì mặc dù số bit lỗi và số bit nhận có thể khác nhau nhiều nhưng tỉ số BER là gần như tương đương nhau.

Hơn nữa, tiến hành nghe thực tế file âm thanh sau khi giải điều chế BPSK, có thể thấy khi SNR bằng 11, âm thanh nghe rõ ràng, không thể nhận ra nhiều bằng tai thông thường. Trong khi đó, nếu giảm từ từ giá trị SNR, ta sẽ nghe được file âm thanh với ảnh hưởng nhiễu mạnh hơn.

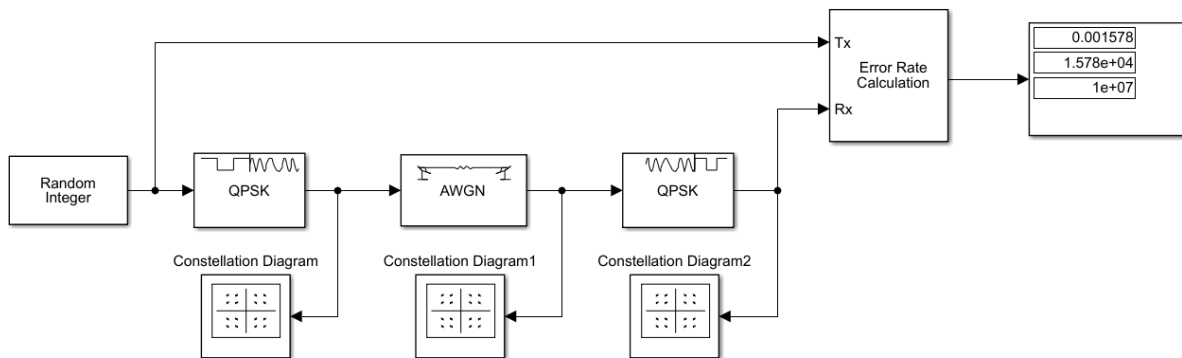


Hình 5: Constellation Diagram 2 khi thay đổi giá trị SNR lần lượt bằng 3, 7, 11

3.2 QPSK

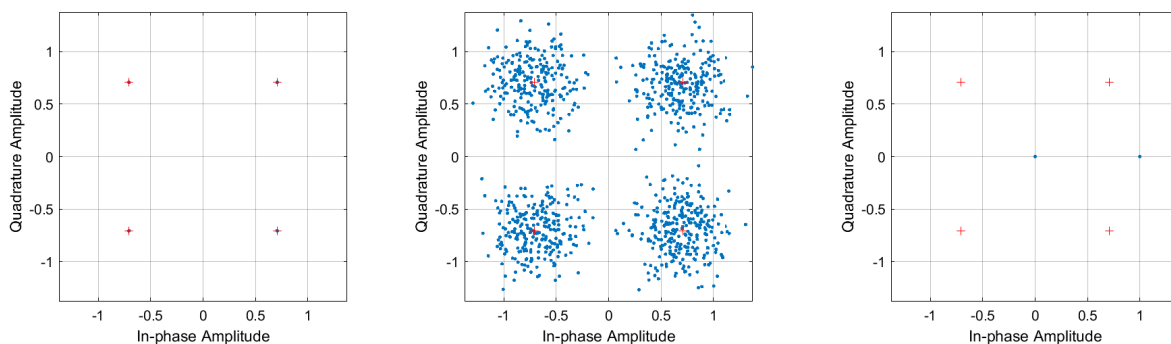
3.2.1 Standard QPSK Simulation

Sử dụng MATLAB/SIMULINK, mô phỏng quá trình truyền thông tin bằng phương pháp QPSK qua kênh dẫn có nhiễu Gauss trắng, sau đó giải điều chế ở bên thu nhận được thông tin sau khi truyền. Tiến hành so sánh sự sai khác giữa thông tin mà bên phát gửi với thông tin mà bên thu nhận được, sự sai khác này được đánh giá bằng số bit khác nhau (hay số bit lỗi).



Hình 6: Sơ đồ mô phỏng Simulink truyền tin sử dụng QPSK

Chọn ngưỡng nhiễu của kênh AWGN với $SNR = 9$, quan sát Constellation Diagram 0 - 1 - 2 lần lượt dưới đây:



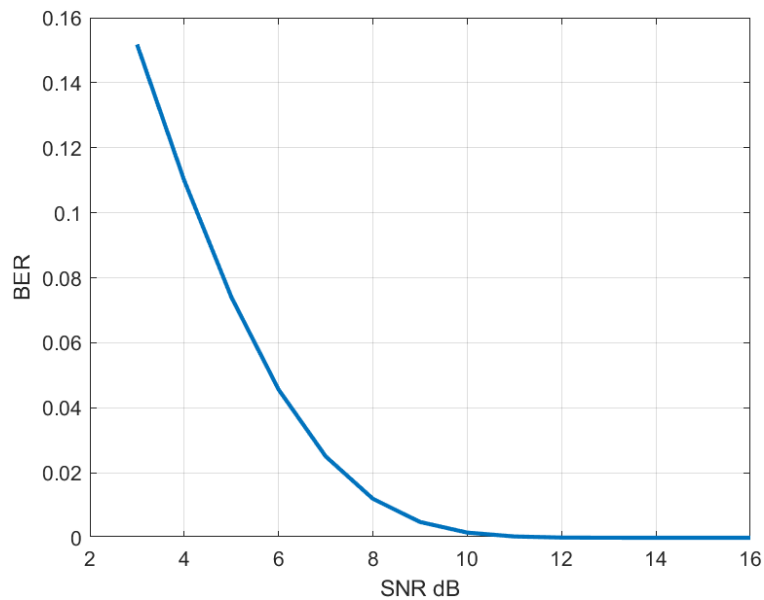
Hình 7: Quan sát lần lượt các Constellation diagram

Để đánh giá phương pháp điều chế và giải điều chế BPSK, tiến hành thực hiện thay đổi ảnh hưởng của nhiễu lên tín hiệu bằng thông số SNR, so sánh thông số BER (Tỉ số số bit lỗi trên số bit nhận được).

SNR value	BER	Uncorrected bits	Received bits
SNR = 3	1.5177e-01	1517833	10000384
SNR = 4	1.0991e-01	1099177	10000384
SNR = 5	7.4008e-02	740114	10000384
SNR = 6	4.5600e-02	456020	10000384
SNR = 7	2.5000e-02	250017	10000384
SNR = 8	1.1983e-02	119839	10000384
SNR = 9	4.8469e-03	48471	10000384
SNR = 10	1.5909e-03	15910	10000384
SNR = 11	3.9698e-04	3970	10000384
SNR = 12	6.5997e-05	660	10000384
SNR = 13	8.1997e-06	82	10000384
SNR = 14	7.9996e-07	8	10000384
SNR = 15	9.9996e-08	1	10000384
SNR = 16	0	0	10000384

Bảng 2: QPSK, tăng từ từ giá trị SNR và kết quả BER tương ứng.

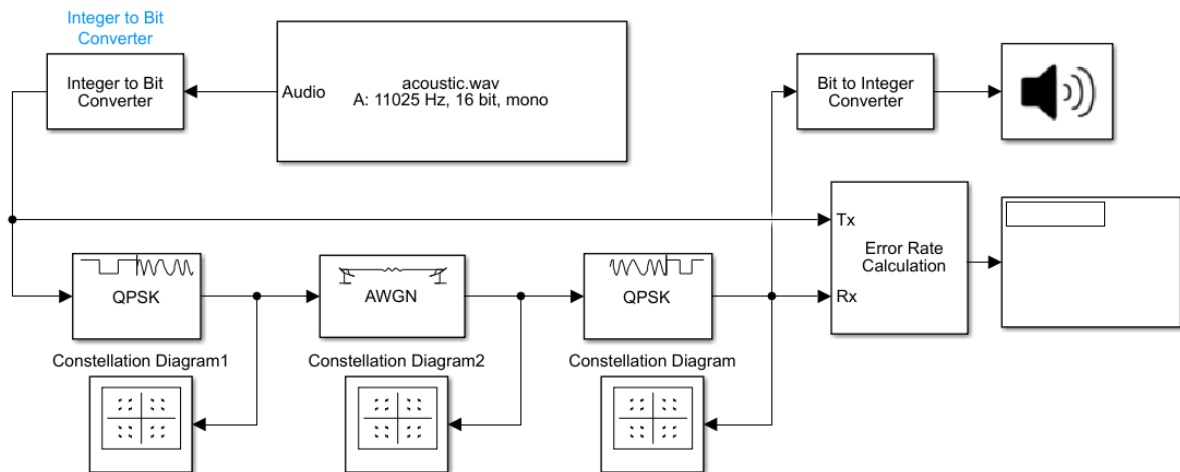
Như vậy có thể thấy, thông tin của bên phát sẽ đồng nhất hoàn toàn với thông tin bên nhận nếu kênh dẫn đạt chất lượng SNR ≥ 16 (Lúc này không có bit nào lỗi). Quan sát ảnh hưởng của thông số SNR của kênh dẫn đến tỉ số SNR bằng đồ thị dưới đây:



Hình 8: Đồ thị ảnh hưởng của SNR đến BER của phương pháp QPSK

3.2.2 QPSK Simulation with a music file

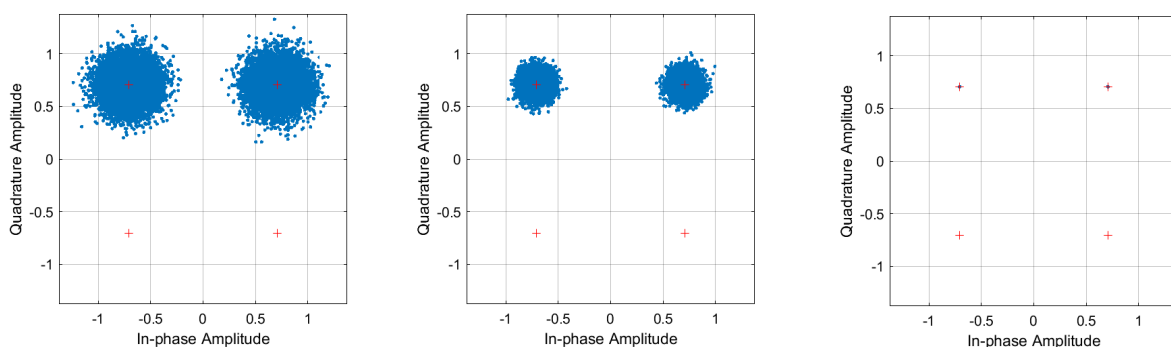
Tiến hành mô phỏng đầu vào là một file âm thanh bằng sơ đồ sau:



Hình 9: Sơ đồ mô phỏng QPSK truyền âm thanh

Khi thực hiện mô phỏng thay đổi ảnh hưởng của SNR tới tỉ số BER, thì với các giá trị SNR bé hơn 14, mô phỏng chỉ chạy được vài giây do có lỗi phát hiện nên ngừng báo lỗi và không chạy hết nhạc. Ngược lại, khi SNR lớn hơn bằng 14 thì âm thanh chạy mịn không có lỗi nào xuất hiện khi truyền.

Lần lượt tăng giá trị SNR bằng 14, 20, 70, ta thấy độ rộng của các chấm nhỏ lại đồng nghĩa với việc xác suất sai của các bit cũng bé đi.

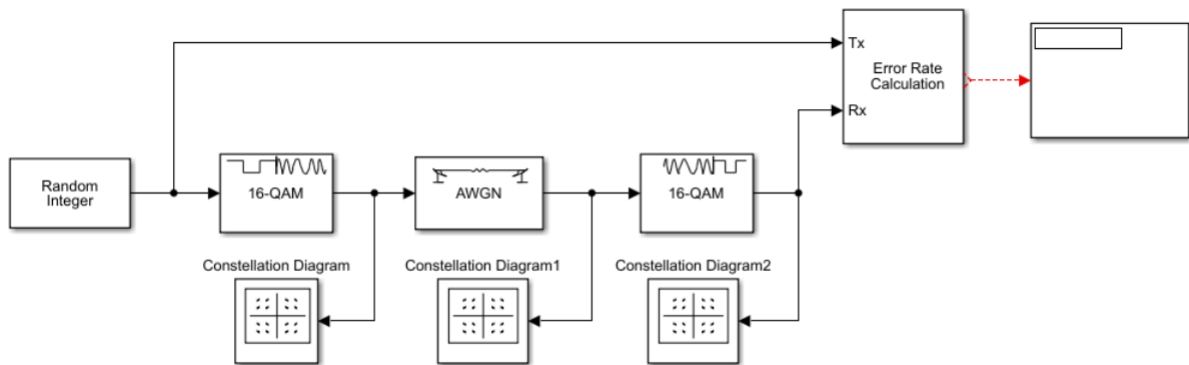


Hình 10: Constellation Diagram 2 khi thay đổi giá trị SNR lần lượt bằng 14, 20, 70

3.3 16-QAM

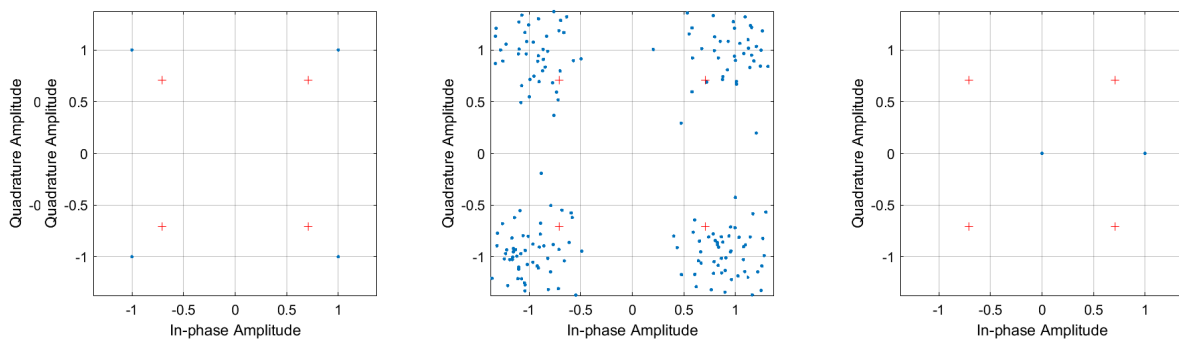
3.3.1 Standard 16-QAM Simulation

Sử dụng MATLAB/SIMULINK, mô phỏng quá trình truyền thông tin bằng phương pháp 16-QAM qua kênh dẫn có nhiễu Gauss trắng, sau đó giải điều chế ở bên thu nhận được thông tin sau khi truyền. Tiến hành so sánh sự sai khác giữa thông tin mà bên phát gửi với thông tin mà bên thu nhận được, sự sai khác này được đánh giá bằng số bit khác nhau (hay số bit lỗi).



Hình 11: Sơ đồ mô phỏng Simulink truyền tin sử dụng 16-QAM

Chọn ngưỡng nhiễu của kênh AWGN với $SNR = 9$, quan sát Constellation Diagram 0 - 1 - 2 lần lượt dưới đây:



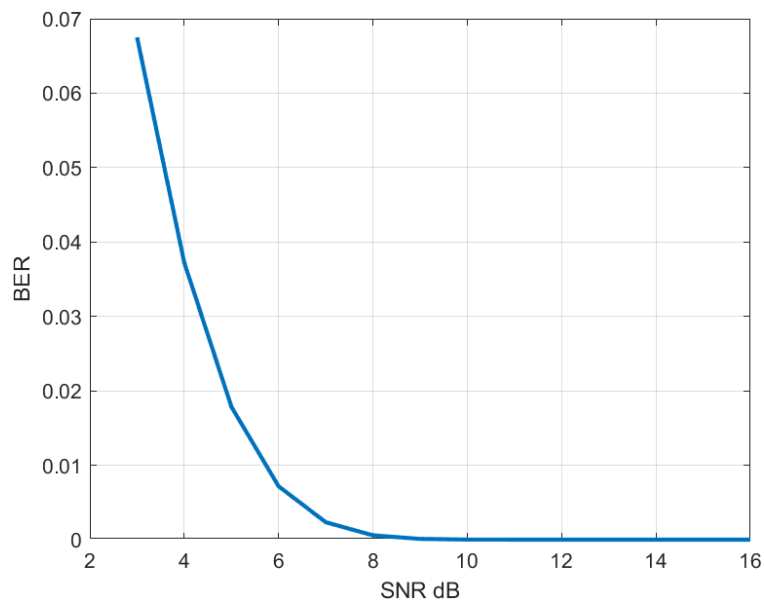
Hình 12: Quan sát lần lượt các Constellation diagram

Để đánh giá phương pháp điều chế và giải điều chế 16-QAM, tiến hành thực hiện thay đổi ảnh hưởng của nhiễu lên tín hiệu bằng thông số SNR, so sánh thông số BER (Tỷ số số bit lỗi trên số bit nhận được).

SNR value	BER	Uncorrected bits	Received bits
SNR = 3	6.7496e-02	674988	10000384
SNR = 4	3.7246e-02	372476	10000384
SNR = 5	1.7849e-02	178499	10000384
SNR = 6	7.1693e-03	71696	10000384
SNR = 7	2.3404e-03	23405	10000384
SNR = 8	5.8238e-04	5824	10000384
SNR = 9	1.0299e-04	1030	10000384
SNR = 10	1.1899e-05	119	10000384
SNR = 11	1.2999e-06	13	10000384
SNR = 12	9.9996e-08	1	10000384
SNR = 13	0	0	10000384

Bảng 3: 16-QAM, tăng từ từ giá trị SNR và kết quả BER tương ứng.

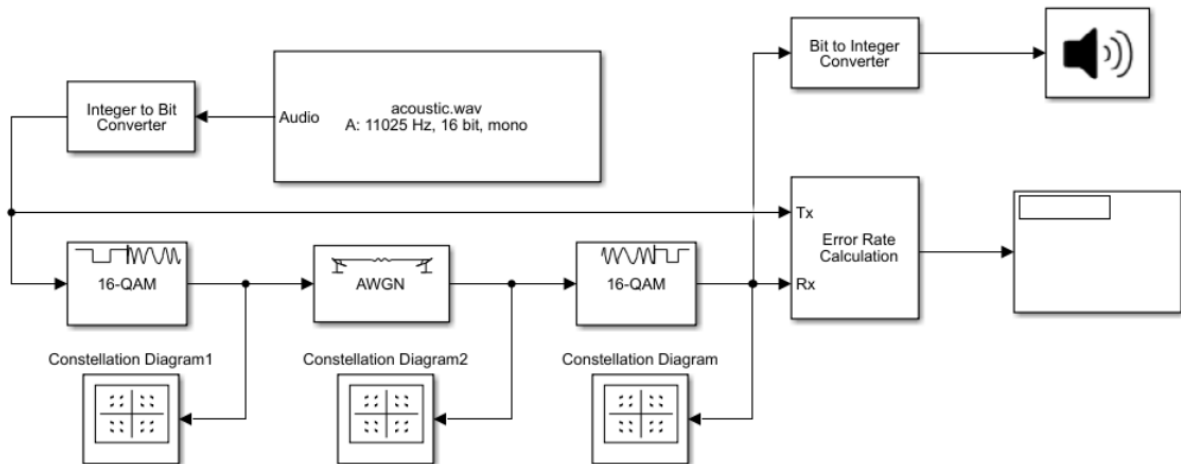
Như vậy có thể thấy, thông tin của bên phát sẽ đồng nhất hoàn toàn với thông tin bên nhận nếu kênh dẫn đạt chất lượng SNR ≥ 13 (Lúc này không có bit nào lỗi). Quan sát ảnh hưởng của thông số SNR của kênh dẫn đến tỉ số BER bằng đồ thị dưới đây:



Hình 13: Đồ thị ảnh hưởng của SNR đến BER của phương pháp 16-QAM

3.3.2 16-QAM Simulation with a music file

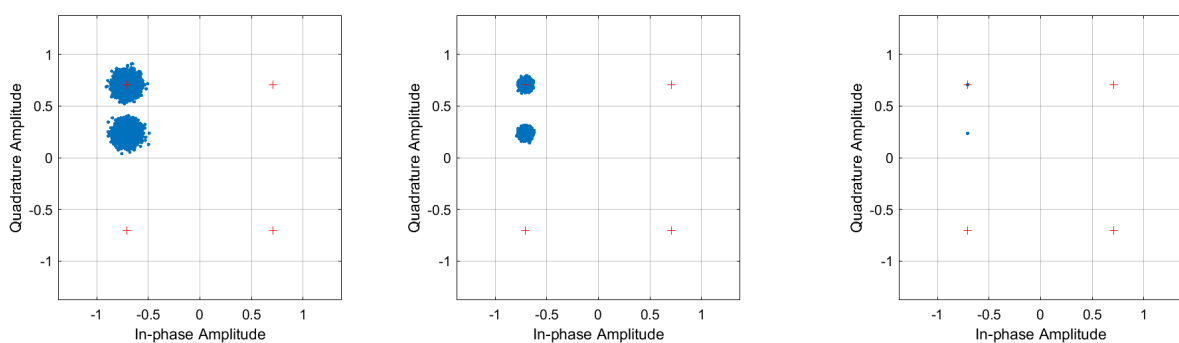
Tiến hành mô phỏng đầu vào là một file âm thanh bằng sơ đồ sau:



Hình 14: Sơ đồ mô phỏng 16-QAM truyền âm thanh

Khi thực hiện mô phỏng thay đổi ảnh hưởng của SNR tới tỉ số BER, thì với các giá trị SNR bé hơn 24, mô phỏng chỉ chạy được vài giây do có lỗi phát hiện nên ngừng báo lỗi và không chạy hết nhạc. Ngược lại, khi SNR lớn hơn bằng 24 thì âm thanh chạy mịn không có lỗi nào xuất hiện khi truyền.

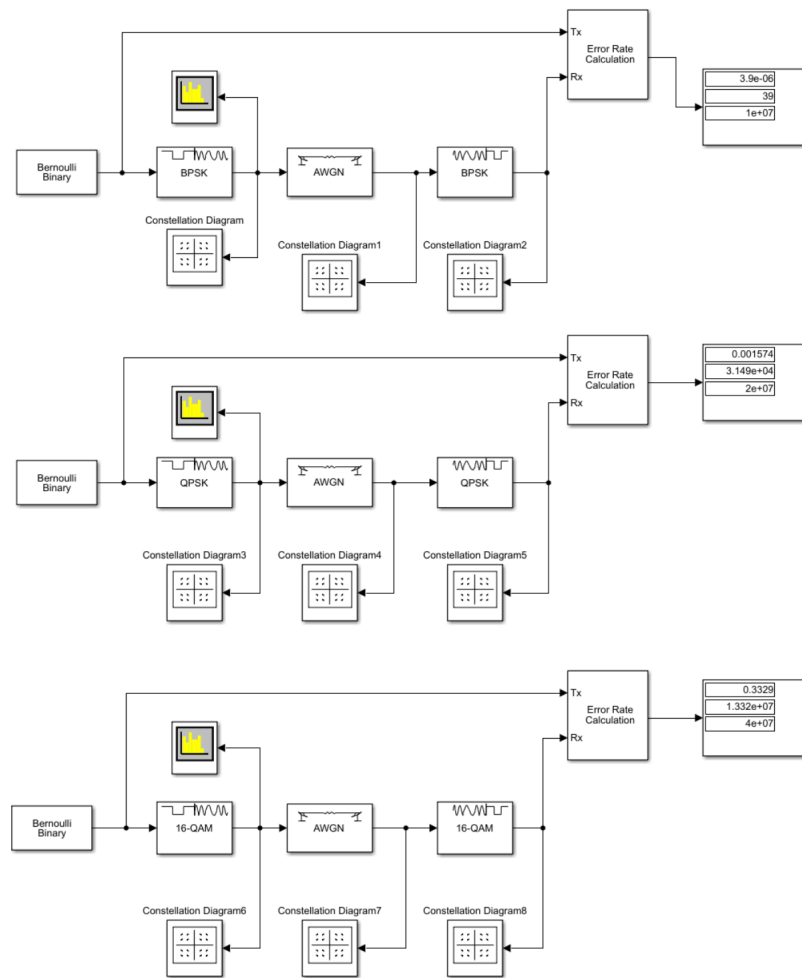
Lần lượt tăng giá trị SNR bằng 23, 30, 70, ta thấy độ rộng của các chấm nhỏ lại tới mức không thể thấy.



Hình 15: Constellation Diagram 2 khi thay đổi giá trị SNR lần lượt bằng 23, 30, 70

4 Conclusion

Tiến hành đánh giá hiệu năng của ba phương pháp, xây dựng mô phỏng 3 phương pháp BPSK, QPSK, và 16-QAM với đầu vào là Bernoulli Binary, chọn tham số $\text{SNR} = 10\text{dB}$.



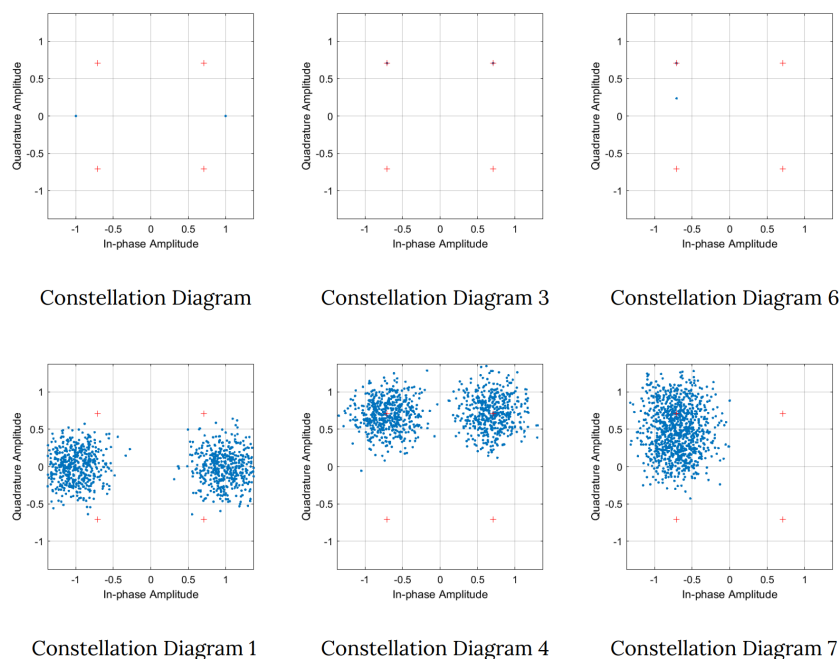
Hình 16: Sơ đồ mô phỏng 3 phương pháp truyền với SNR chung = 10dB

Quan sát bảng đánh giá BER, số bit lỗi trên số bit truyền đi, Ta nhận thấy trong cùng một khoảng thời gian, mặc dù truyền được ít bit hơn nhưng BPSK có tỉ lệ bit lỗi thấp nhất, tiếp đến là QPSK. Và 16-QAM dù truyền được nhiều bit hơn nhưng có tỉ số BER khá lớn, tức truyền lỗi khá nhiều bit.

Methods	BER	Uncorrected bits	Received bits
BPSK	3.9e-06	39	1e+07
QPSK	1.6e-03	3.15e+04	2e+07
16-QAM	3.3e-01	1.33e+07	4e+07

Bảng 4: So sánh tỉ số BER của ba phương pháp

Đồng thời, quan sát các Constellation Diagram của ba phương pháp sau khi tiến hành:



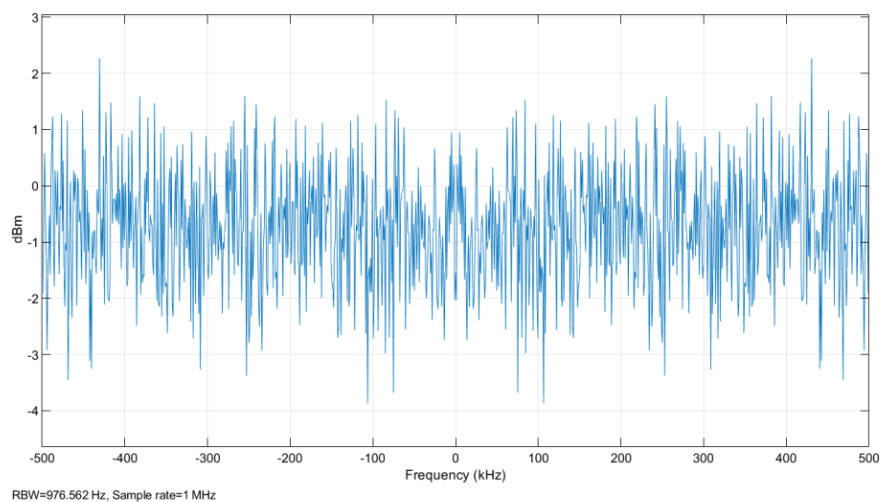
Hình 17: Quan sát Constellation Diagram của ba phương pháp

Nhận xét từ Constellation Diagram có thể thấy:

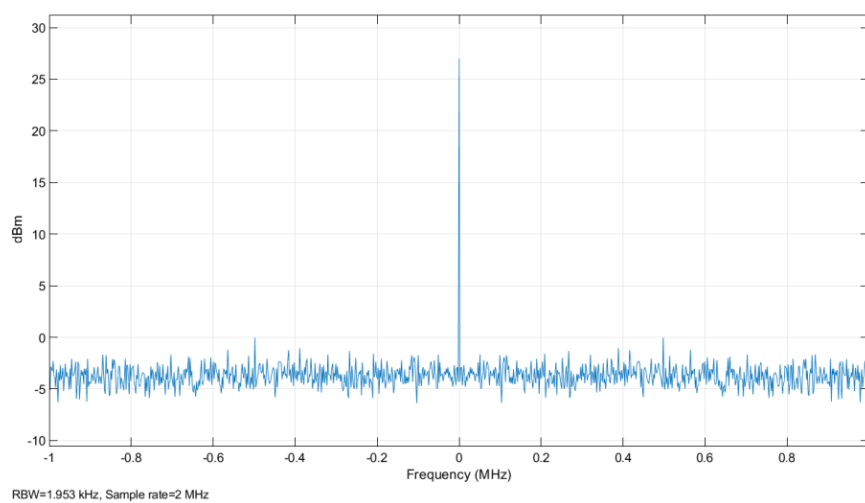
1. BPSK: 2 bit $(-1;0)$ và $(1;0)$ trước khi đưa vào kênh dẫn ở khá xa nhau, nên khi thêm nhiễu ở kênh dẫn vào nhận đầu ra ở hình thứ 2 cũng không khó để phân biệt 2 bit này do khoảng cách của hai chòm sao này khá xa.
2. QPSK: 2 bit $(-0.75;0.75)$ và $(0.75;0.75)$ trước kênh dẫn ở gần hơn, nên sau khi thêm nhiễu ở kênh dẫn vào, dễ dàng thấy được hai chòm sao bắt đầu chạm nhau. Do đó, tỉ lệ lỗi bit cũng vì thế mà tăng lên.
3. QAM: 2 bit $(-0.75;0.75)$ và $(-0.75;0.25)$ trước kênh dẫn ở rất gần nhau, khi thêm nhiễu bởi kênh dẫn, thì hai chòm sao giao nhau một khoảng lớn, không thể phân biệt được. Vì vậy, lỗi BER ở đây lớn nhất trong ba phương pháp.

Cuối cùng, Quan sát phổ tín hiệu truyền trước khi vào kênh của ba phương pháp:

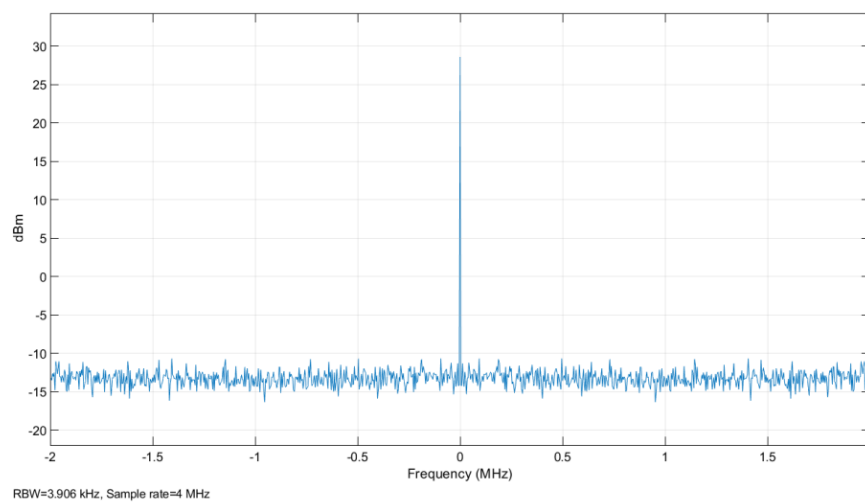
BPSK



QPSK



16-QAM



Hình 18: Quan sát phổ tín hiệu truyền của ba phương pháp