

گزارش تمرین کامپیوتری اول

مبانی شبکه های بی سیم

دکتر شریعت پناهی

محیا قینی - ۸۱۰۱۹۶۶۱۵

فروردین ۱۴۰۰

در این تمرین قصد داریم انتقال سیگنال با کمک روش های مختلف مدولاسیون و کدینگ را پیاده سازی کنیم، بدین جهت مراحل زیر باید طی شوند:



حال مراحل را جداگانه بررسی می کنیم:

● تولید رشته ورودی

رشته ورودی از بیت های صفر و یک با احتمال برابر و مستقل ساخته شده است. برای پیاده سازی و ساخت همچنین رشته ای می توان از randint متعلق به کتابخانه random پایتون استفاده کرد. این تابع به صورت رندوم از بازه اعداد داده شده با احتساب سر و پایان بازه یک عدد صحیح را انتخاب می کند.

این عملیات توسط تابع produceData انجام می شود. این تابع به عنوان ورودی سائز رشته ای که می خواهیم می گیرد و به عنوان خروجی رشته تولیدی را تحویل می دهد.

● کدینگ داده شده

در طی این تمرین دو حالت برای کدینگ داریم، که در ادامه روش مدیریت هر یک بیان می شود:

۱ بدون کدینگ

در این حالت داده بدون هیچ تغییری به مرحله بعد منتقل می شود.

۲ استفاده از Hamming(4,7)

این کدینگ بدین صورت است که ۴ بیت ورودی را به ۷ بیت تبدیل می کند که ۳ بیت اضافه شده اند به جهت خطایابی و اطمینان از صحت داده ارسالی به داده اضافه می شوند. این روش کدینگ چند مرحله جهت آمادگی داده ارسالی دارند که در ادامه بررسی می کنیم.

○ اضافه کردن سه بیت Parity به چهار بیت داده اولیه

$$p1 = d1 + d2 + d4$$

$$p2 = d1 + d4 + d3$$

$$p3 = d2 + d4 + d3$$

اگر ورودی به شکل d1d2d3d4 باشد هر یک از بیت های parity به شکل بالا محاسبه می شوند که + نشانه عملیات xor است. البته در کد به جای عملیات xor زوجیت عدد ۱ پیاده سازی شده است، بدین معنا که اگر تعداد ۱ ها فرد بود Parity یک می شود و برعکس. رشته ۷ بیتی حاصل به فرم p1p2d1p3d2d3d4 است.

این عملیات توسط تابع addParityBits انجام می شود. این تابع به عنوان ورودی ۴ بیت داده را می گیرد و به عنوان خروجی رشته تولیدی به همراه parity bits را تحویل می دهد.

○ کد کردن تمام رشته ورودی

بدین جهت کافی ست از رشته ورودی بیت ها را ۴ تا ۴ تا جدا کنیم و روی هر ۴ بیت تابع addParityBits را فرا بخوانیم و ۷ بیت حاصل را جایگزین ۴ بیت قبل کنیم.

این عملیات توسط تابع hammingCode انجام می شود. این تابع به عنوان ورودی تمام رشته داده را می گیرد و به عنوان خروجی رشته تولیدی به همراه parity bits را تحویل می دهد.

● مدولاسیون

برای مدل کردن ارسال پیام در این تمرین از دو مدولاسیون استفاده میکنیم: 16QAM - QPSK. قدم هایی که بایست برای هر دو روش طی شود یکسان است پس با هم بررسیشان می کنم و در صورت نیاز مرحله مورد نظر را برای هر روش جداگانه توضیح می دهم:

○ تخصیص اعداد مختلط

■ QPSK

در این روش رشته ورودی ۲ بیت ۲ بیت جدا می شود و طبق دیکشنری QPSKmappingDict هر دو بیت به یک عدد مختلط نظیر می شوند. حال باید این عدد مختلط نرمال شود. جهت نرمال سازی عدد آن را تقسیم بر سائز عدد مختلط می کنیم. سائز توسط تابع calNormFactor محاسبه می شود.

■ 16QAM

در این روش رشته ورودی ۴ بیت ۴ بیت جدا می شود و طبق دیکشنری QAMmappingDict [چهار بیت به یک عدد مختلط نظیر می شوند. حال باید این عدد مختلط نرمال شود. جهت نرمال سازی عدد آن را تقسیم بر سائز عدد مختلط می کنیم. سائز توسط تابع calNormFactor محاسبه می شود.

این عملیات توسط تابع mapToComplex انجام می شود. این تابع به عنوان ورودی تمام رشته داده و روش مدولاسیون را می گیرد و به عنوان خروجی رشته تولیدی به شکل مختلط بسته به روش را تحویل می دهد.

○ ایجاد h

h در اصل نمایش باند پایه اثر کانال است که طبق صورت تمرین با عدد مختلط تصادفی به شکل زیر مدل می شود:

$$h = \frac{1}{\sqrt{2}}(h_I + jh_Q)$$
$$h_I \sim N(0,1)$$
$$h_Q \sim N(0,1)$$

جهت ایجاد اعداد تصادفی با توزیع گفته شده از random.normal استفاده کردم. سپس عدد مختلط ساخته

شده را با تقسیم بر رادیکال دو نرمال کردم. حال رشته ای هم سائز با رشته ورودی از h ها داریم.

این عملیات توسط تابع produceH انجام می شود. این تابع به عنوان ورودی سائز رشته داده را می گیرد و به عنوان خروجی رشته h تولیدی به شکل مختلط و سائز رشته داده را تحویل می دهد.

○ ایجاد n

n در اصل نویز AWGN است که طبق صورت تمرین با عدد مختلط تصادفی به شکل زیر مدل می شود:

$$n = \frac{1}{\sqrt{2}}(n_I + jn_Q)$$

$$n_I \sim N(0, \sigma^2)$$

$$n_Q \sim N(0, \sigma^2)$$

$$SNR = \frac{1}{\sigma^2}$$

مانند بالا عدد تصادفی ایجاد و نرمال شده است. تنها تفاوت با بالا تاثیر snr در توزیع نرمال است.

این عملیات توسط تابع produceN انجام می شود. این تابع به عنوان ورودی سائز رشته داده و snr را می گیرد

و به عنوان خروجی رشته n تولیدی به شکل مختلط و سائز رشته داده را تحویل می دهد.

○ محاسبه y

y در واقع سیگنال دریافتی است. که طبق رابطه زیر محاسبه می شود:

$$y = hx + n$$

البته با تقسیم بر h بایستی اثر کانال هم از بین ببریم. بنابراین لیست هایی که در بالا به دست آوردیم پیمایش می

کنیم و متناظراً داده ها در فرمول بالا قرار می دهیم.

این عملیات توسط تابع produceY انجام می شود. این تابع به عنوان ورودی لیست n ، x ، h را می گیرد و به

عنوان خروجی سیگنال دریافتی را تحویل می دهد.

○ مدولاسیون کامل

در این قسمت قدم های ذکر شده در بالا به ترتیب طی می شوند. تنها نکته ای که هست آن است که چون

snr های مختلف تست می شوند در یک حلقه برای تمام آنها n و y مربوطه تولید می شود و در یک دیکشنری

متناظر با کلید آن snr ذخیر می شود.

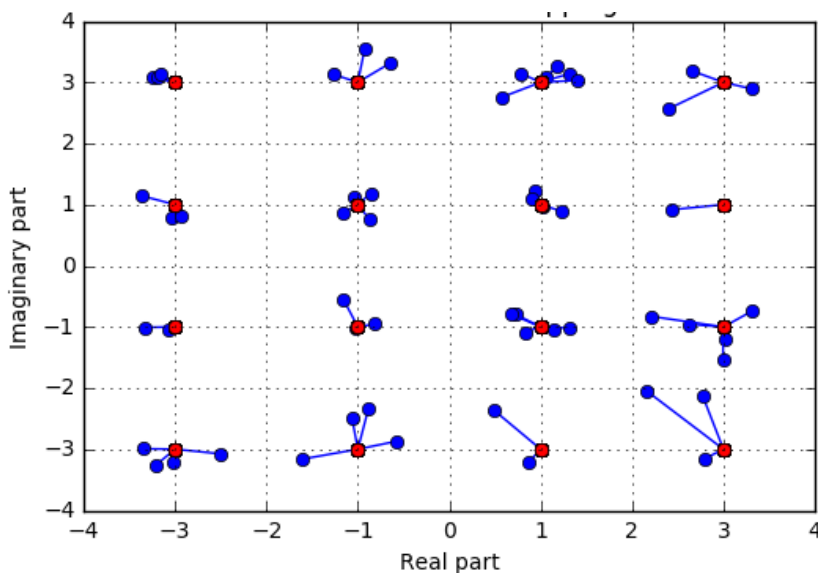
این عملیات توسط تابع module انجام می شود. این تابع به عنوان ورودی داده ورودی، لیست snr ها و روش مدولاسیون و روش کدینگ را می گیرد و به عنوان خروجی دیکشنری که کلیدهایش snr های مختلف و مقادیرش y متناظر با هر snr است را تحویل می دهد.

تا این قسمت روند انتقال داده و دریافت سیگنال کامل انجام شده است. حال برای آنکه خطا را محاسبه کنیم بایستی از روی سیگنال دریافتی ورودی احتمالی را محاسبه و با ورودی اولیه مقایسه کنیم، حال برای دریافت ورودی احتمالی مراحل زیر طی می شود:

- یافتن نزدیک ترین نقاط و دریافت داده کد شده احتمالی

○ یافتن نقطه با کمترین فاصله

در این مرحله سیگنال دریافتی رشته ای از اعداد مختلط است. باید فاصله هر نقطه با نقاط constellation محاسبه شود و با استفاده از قاعده maximum likelihood گفته شود بنا به فاصله کم این داده این نقطه constellation بوده است.



بدین جهت فاصله هر نقطه سیگنال دریافتی توسط تابع computeDistance با تمام نقاط constellation هر یک از دو روش مدل (QPSKdots یا QAMdots) محاسبه شده است و نقطه با کمترین فاصله انتخاب شده. البته این نقاط نرمال شده اند تا بتوان با نقاط سیگنال دریافتی مقایسه شوند.

این عملیات توسط تابع `getMinDistPoint` انجام می شود. این تابع به عنوان ورودی داده ورودی، دو جز حقیقی و مجازی نقاط سیگنال دریافتی و روش مدولاسیون را می گیرد و به عنوان خروجی نقطه `constellation` با کمترین فاصله را تحویل می دهد.

○ دریافت داده کد شده احتمالی

در اینجا ابتدا در هر روش مدولاسیون نزدیک ترین نقطه `constellation` را برای هر نقطه سیگنال دریافتی محاسبه می کنیم. سپس برای اینکه داده باینری را داشته باشیم بسته به نوع مدولاسیون ۲ یا ۴ بیت باینری متناظر با `constellation` را با کمک `QPSKunpackDict` و یا `QAMunpackDict` محاسبه می کنیم.

این عملیات توسط تابع `getProbableData` انجام می شود. این تابع به عنوان ورودی سیگنال دریافتی و روش مدولاسیون را می گیرد و به عنوان خروجی رشته باینری ورودی کد شده احتمالی را تحویل می دهد.

● دیکود کردن داده

همانطور که گفته شد دو حالت برای کدینگ داریم که در ادامه هر یک جداگانه توضیح داده خواهد شد:

۱ بدون کدینگ

در این حالت داده بدون هیچ تغییری به مرحله بعد منتقل می شود.

۲ Hamming(4,7)

در این حالت بایستی مطابق قوانین این کدینگ داده تولید شده در مرحله قبل را دیکود کنیم؛ بدین منظور مراحل زیر طی می شوند:

○ رفع خطای احتمالی از رشته ۷ بیتی بنا به `parity` بیت

در اینجا ابتدا باید بیت های خطایابی را محاسبه کنیم. که این بیت ها به شکل زیر محاسبه می شوند:

$$e1 = p1 + d0 + d1 + d3$$

$$e2 = p2 + d0 + d2 + d3$$

$$e3 = p3 + d1 + d2 + d3$$

+ نشانه عملیات `xor` است. البته در کد به جای عملیات `xor` زوجیت عدد ۱ پیاده سازی شده

است.

این عملیات توسط تابع `getErrors` انجام می شود. این تابع به عنوان ورودی داده کد شده ۷ بیتی را می گیرد و به عنوان خروجی بیت های خطای تولید شده بنا به روابط بالا را تحویل می دهد.

حال باید داده ۷ بیتی را رفع خطا کرد. بنا به شرایط بیت های خطای به دست آمده رفع خطا را انجام می دهیم.

خطای رخ داده	وضعیت بیت خطا
بدون خطا	$e1 = e2 = e3 = 0$
$d0 \neq d0$	$e0 = e1 = 1, e2 = 0$
$d1 \neq d1$	$e0 = e2 = 1, e1 = 0$
$d2 \neq d2$	$e1 = e2 = 1, e0 = 0$
$d3 \neq d3$	$e0 = e1 = e2 = 1$

این عملیات توسط تابع `makeErrorFreeData` انجام می شود. این تابع به عنوان ورودی داده کد شده ۷ بیتی را می گیرد و به عنوان خروجی ۴ بیت بدون خطا را بنا به روابط بالا تحویل می دهد.

○ دیکود داده

در اینجا تمام داده را ۷ بیت جدا می کنیم. هر ۷ بیت را با رفع خطای احتمالی به ۴ بیت تبدیل می کنیم و داده دیکود شده را به دست می آوریم.

این عملیات توسط تابع `decodeDate` انجام می شود. این تابع به عنوان ورودی داده کد شده را می گیرد و به عنوان خروجی داده دیکود شده را تحویل می دهد.

● محاسبه میانگین احتمال رخداد خطا

برای این محاسبه ابتدا یکبار داده را می فرستیم و از روی سیگنال دریافتی ورودی احتمالی دیکود شده را به دست می آوریم.

حال با کمک تابع `getCntFalse` تعداد بیت های متفاوت در داده حاصل و داده اولیه را حساب می کنیم. و با تقسیم آن بر سائز کل داده احتمال را محاسبه می کنیم.

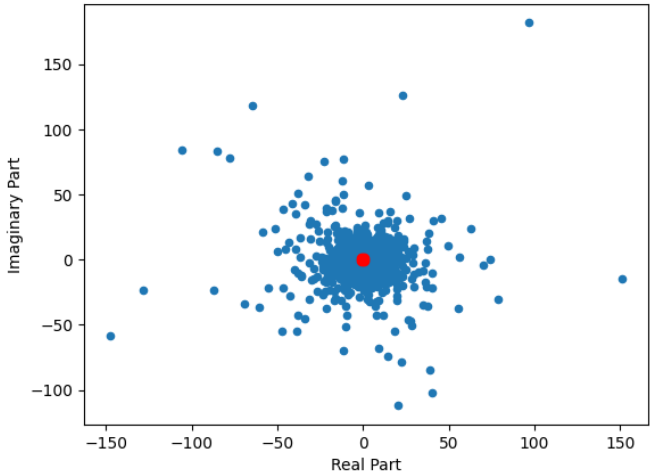
این عملیات در تابع `computeMeanError` انجام می شود؛ که خود دو ورژن دارد:

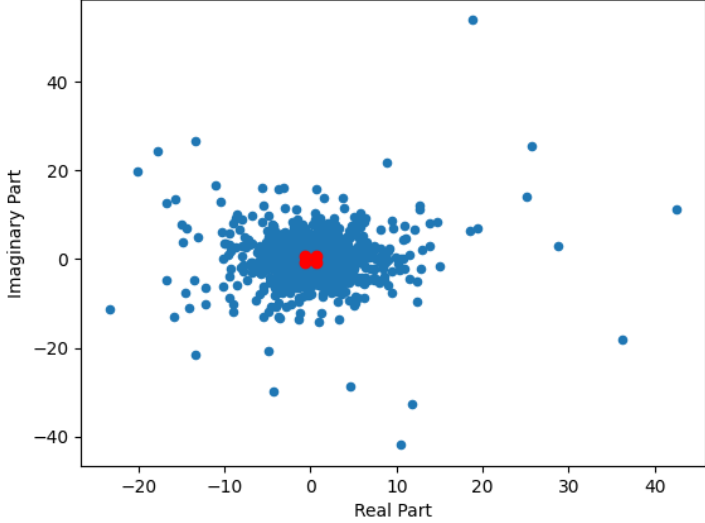
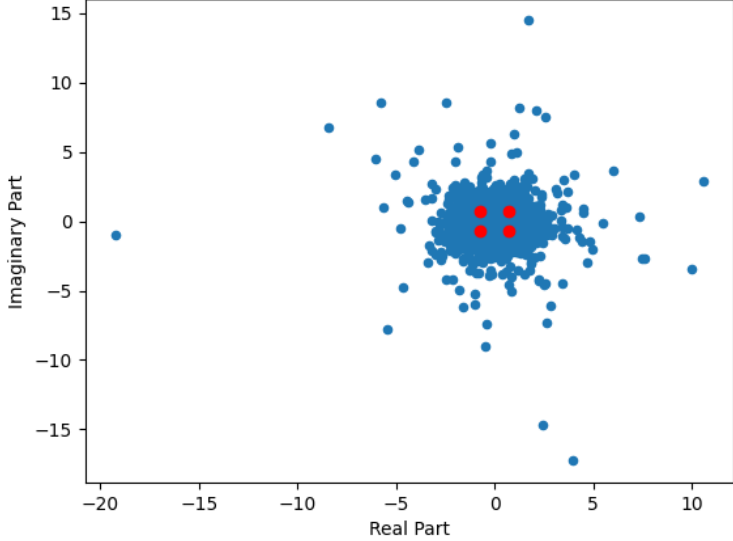
۱ برای هر snr یکبار سناریو گفته شده اجرا می شود و نتیجه اعلام می شود.

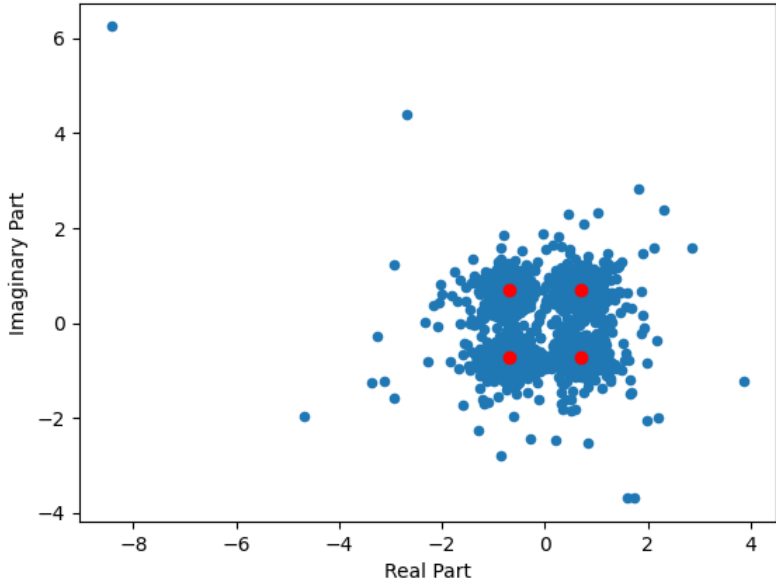
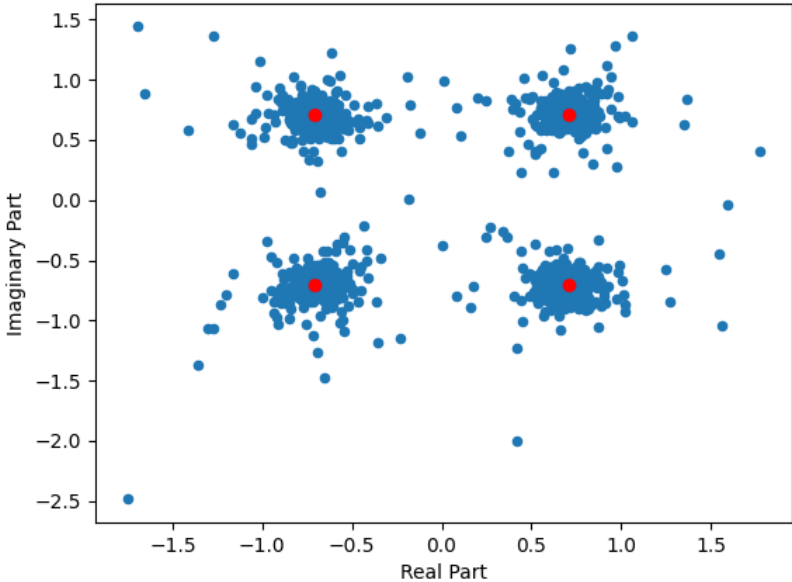
۲ برای هر snr سناریو گفته شده به تعداد loop size اجرا می شود و بین نتایج میانگین گرفته می شود.

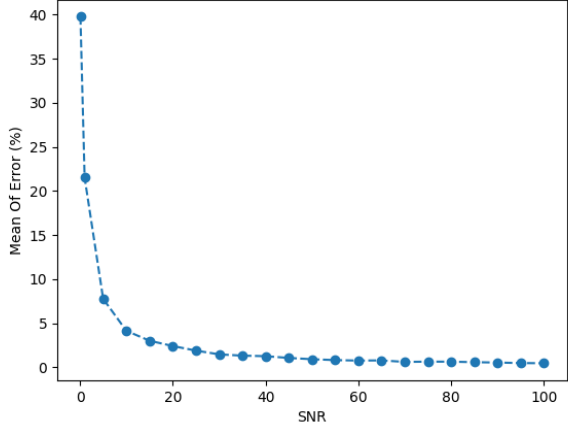
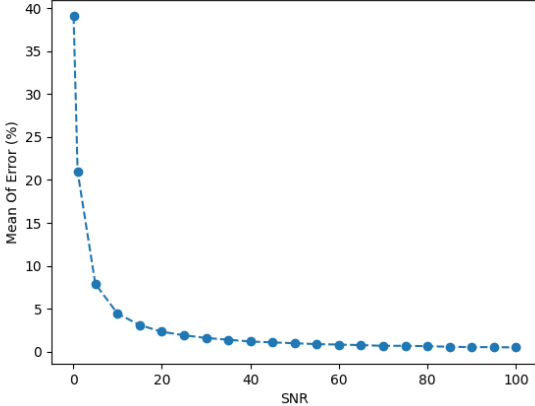
سوالات و نمودار های مربوطه

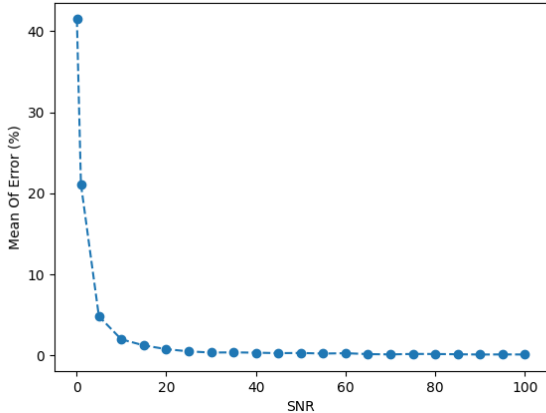
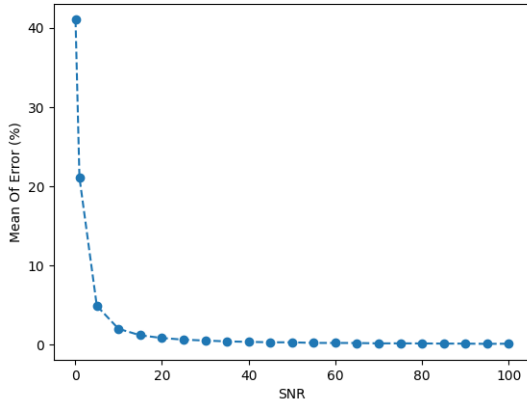
۱.

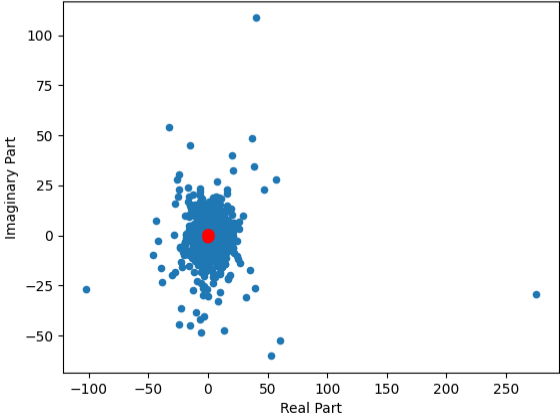
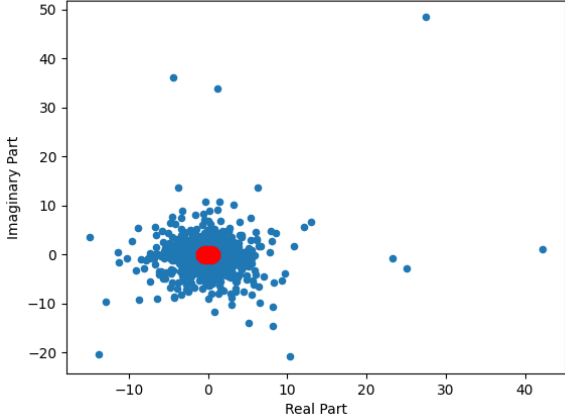
QPSK	SNR
<p>Received Signal For SNR = 0.1, modulation = QPSK, coding = None</p> 	0.1

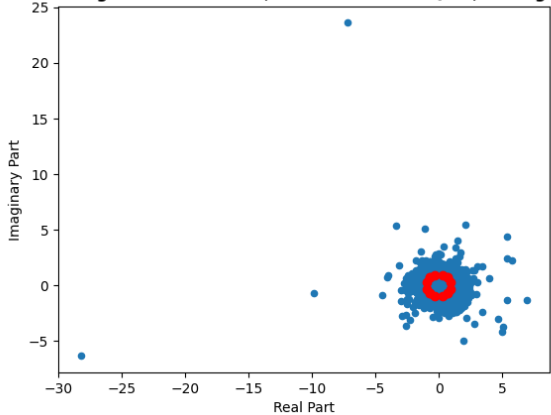
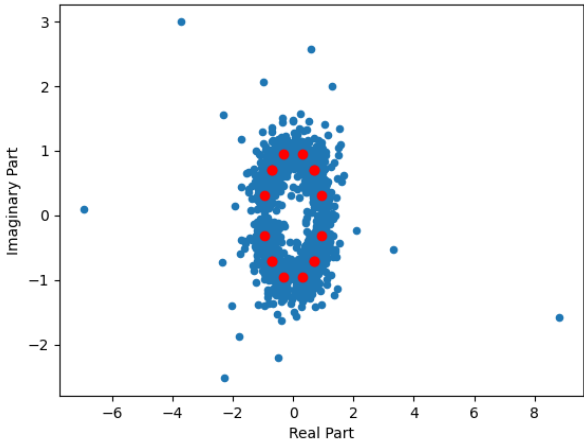
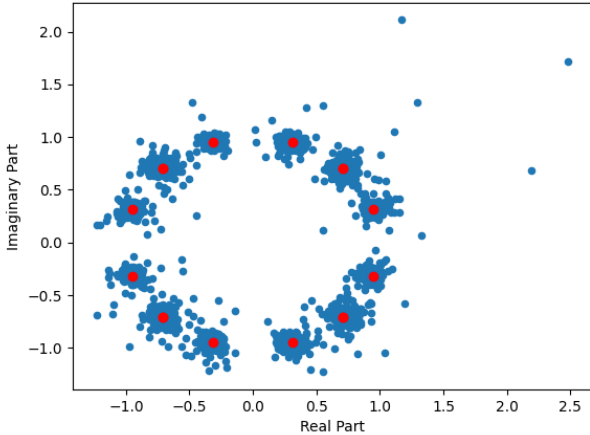
<p data-bbox="277 247 1044 279">Received Signal For SNR = 1, modulation = QPSK, coding = None</p>  <p data-bbox="272 283 972 802">A scatter plot showing the received signal for SNR = 1. The x-axis is labeled 'Real Part' and ranges from -20 to 40. The y-axis is labeled 'Imaginary Part' and ranges from -40 to 40. The plot shows a dense cluster of blue points centered around the origin (0,0). There are four red points located at approximately (0, 0), (0, 10), (0, -10), and (0, 20).</p>	<p data-bbox="1263 220 1279 247">1</p>
<p data-bbox="256 913 1065 945">Received Signal For SNR = 10, modulation = QPSK, coding = None</p>  <p data-bbox="256 949 984 1486">A scatter plot showing the received signal for SNR = 10. The x-axis is labeled 'Real Part' and ranges from -20 to 10. The y-axis is labeled 'Imaginary Part' and ranges from -15 to 15. The plot shows a dense cluster of blue points centered around the origin (0,0). There are four red points located at approximately (0, 0), (0, 10), (0, -10), and (0, 20).</p>	<p data-bbox="1255 882 1287 909">10</p>

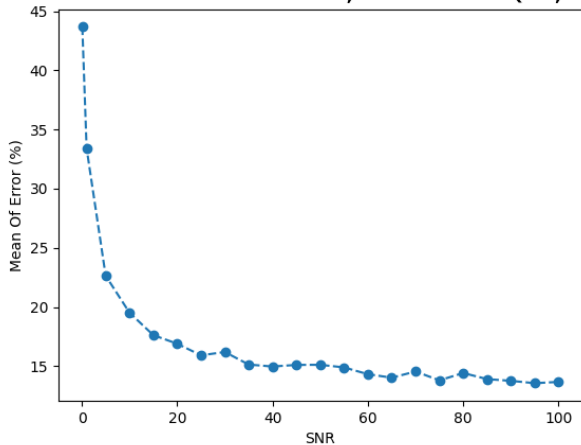
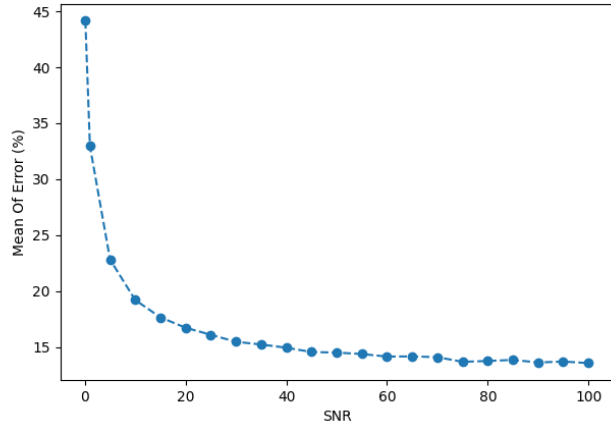
<p>Received Signal For SNR = 100, modulation = QPSK, coding = None</p>  <p>Imaginary Part</p> <p>Real Part</p>	<p>100</p>
<p>Received Signal For SNR = 1000, modulation = QPSK, coding = Non</p>  <p>Imaginary Part</p> <p>Real Part</p>	<p>1000</p>

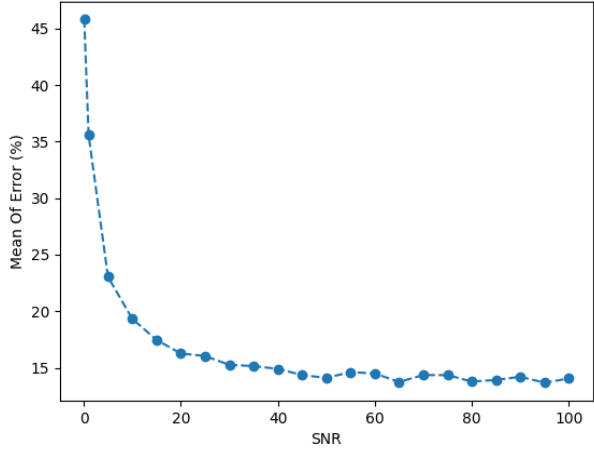
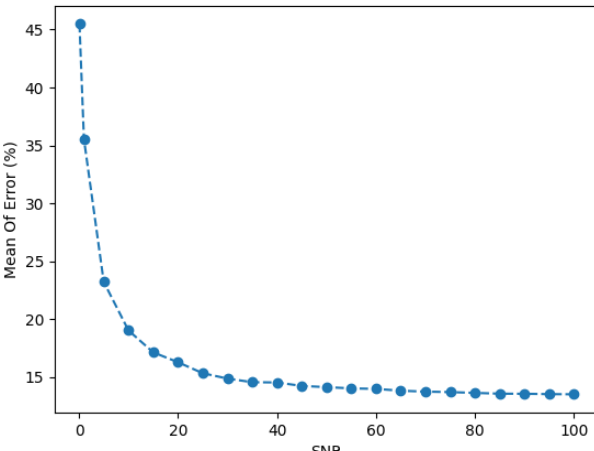
QPSK	version																																																		
<p>Mean Of Error Based On SNR - version: 1, modulation: QPSK, coding: N</p>  <table border="1"> <caption>Data for Mean Of Error Based On SNR - version: 1</caption> <thead> <tr> <th>SNR</th> <th>Mean Of Error (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>40</td></tr> <tr><td>2</td><td>22</td></tr> <tr><td>4</td><td>8</td></tr> <tr><td>6</td><td>4</td></tr> <tr><td>8</td><td>3</td></tr> <tr><td>10</td><td>2.5</td></tr> <tr><td>15</td><td>2</td></tr> <tr><td>20</td><td>1.8</td></tr> <tr><td>25</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>30</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>35</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>40</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>45</td><td>1.2</td></tr> <tr><td>50</td><td>1.2</td></tr> <tr><td>55</td><td>1.2</td></tr> <tr><td>60</td><td>1</td></tr> <tr><td>65</td><td>1</td></tr> <tr><td>70</td><td>1</td></tr> <tr><td>75</td><td>1</td></tr> <tr><td>80</td><td>1</td></tr> <tr><td>85</td><td>1</td></tr> <tr><td>90</td><td>1</td></tr> <tr><td>95</td><td>1</td></tr> <tr><td>100</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	SNR	Mean Of Error (%)	0	40	2	22	4	8	6	4	8	3	10	2.5	15	2	20	1.8	25	1.5	30	1.5	35	1.5	40	1.5	45	1.2	50	1.2	55	1.2	60	1	65	1	70	1	75	1	80	1	85	1	90	1	95	1	100	1	1
SNR	Mean Of Error (%)																																																		
0	40																																																		
2	22																																																		
4	8																																																		
6	4																																																		
8	3																																																		
10	2.5																																																		
15	2																																																		
20	1.8																																																		
25	1.5																																																		
30	1.5																																																		
35	1.5																																																		
40	1.5																																																		
45	1.2																																																		
50	1.2																																																		
55	1.2																																																		
60	1																																																		
65	1																																																		
70	1																																																		
75	1																																																		
80	1																																																		
85	1																																																		
90	1																																																		
95	1																																																		
100	1																																																		
<p>Mean Of Error Based On SNR - version: 2, modulation: QPSK, coding: N</p>  <table border="1"> <caption>Data for Mean Of Error Based On SNR - version: 2</caption> <thead> <tr> <th>SNR</th> <th>Mean Of Error (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>39</td></tr> <tr><td>2</td><td>21</td></tr> <tr><td>4</td><td>8</td></tr> <tr><td>6</td><td>4</td></tr> <tr><td>8</td><td>3</td></tr> <tr><td>10</td><td>2.5</td></tr> <tr><td>15</td><td>2</td></tr> <tr><td>20</td><td>1.8</td></tr> <tr><td>25</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>30</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>35</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>40</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>45</td><td>1.2</td></tr> <tr><td>50</td><td>1.2</td></tr> <tr><td>55</td><td>1.2</td></tr> <tr><td>60</td><td>1</td></tr> <tr><td>65</td><td>1</td></tr> <tr><td>70</td><td>1</td></tr> <tr><td>75</td><td>1</td></tr> <tr><td>80</td><td>1</td></tr> <tr><td>85</td><td>1</td></tr> <tr><td>90</td><td>1</td></tr> <tr><td>95</td><td>1</td></tr> <tr><td>100</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	SNR	Mean Of Error (%)	0	39	2	21	4	8	6	4	8	3	10	2.5	15	2	20	1.8	25	1.5	30	1.5	35	1.5	40	1.5	45	1.2	50	1.2	55	1.2	60	1	65	1	70	1	75	1	80	1	85	1	90	1	95	1	100	1	2
SNR	Mean Of Error (%)																																																		
0	39																																																		
2	21																																																		
4	8																																																		
6	4																																																		
8	3																																																		
10	2.5																																																		
15	2																																																		
20	1.8																																																		
25	1.5																																																		
30	1.5																																																		
35	1.5																																																		
40	1.5																																																		
45	1.2																																																		
50	1.2																																																		
55	1.2																																																		
60	1																																																		
65	1																																																		
70	1																																																		
75	1																																																		
80	1																																																		
85	1																																																		
90	1																																																		
95	1																																																		
100	1																																																		

QPSK + Hamming		version																																																	
<p>n Of Error Based On SNR - version: 1, modulation: QPSK, coding: Har</p>  <table><caption>Data for Version 1: Mean Of Error (%) vs SNR</caption><tr><th>SNR</th><th>Mean Of Error (%)</th></tr><tr><td>0</td><td>42</td></tr><tr><td>2</td><td>21</td></tr><tr><td>4</td><td>5</td></tr><tr><td>6</td><td>2</td></tr><tr><td>8</td><td>1</td></tr><tr><td>10</td><td>0.5</td></tr><tr><td>15</td><td>0.2</td></tr><tr><td>20</td><td>0.1</td></tr><tr><td>25</td><td>0.1</td></tr><tr><td>30</td><td>0.1</td></tr><tr><td>35</td><td>0.1</td></tr><tr><td>40</td><td>0.1</td></tr><tr><td>45</td><td>0.1</td></tr><tr><td>50</td><td>0.1</td></tr><tr><td>55</td><td>0.1</td></tr><tr><td>60</td><td>0.1</td></tr><tr><td>65</td><td>0.1</td></tr><tr><td>70</td><td>0.1</td></tr><tr><td>75</td><td>0.1</td></tr><tr><td>80</td><td>0.1</td></tr><tr><td>85</td><td>0.1</td></tr><tr><td>90</td><td>0.1</td></tr><tr><td>95</td><td>0.1</td></tr><tr><td>100</td><td>0.1</td></tr></table>	SNR	Mean Of Error (%)	0	42	2	21	4	5	6	2	8	1	10	0.5	15	0.2	20	0.1	25	0.1	30	0.1	35	0.1	40	0.1	45	0.1	50	0.1	55	0.1	60	0.1	65	0.1	70	0.1	75	0.1	80	0.1	85	0.1	90	0.1	95	0.1	100	0.1	1
SNR	Mean Of Error (%)																																																		
0	42																																																		
2	21																																																		
4	5																																																		
6	2																																																		
8	1																																																		
10	0.5																																																		
15	0.2																																																		
20	0.1																																																		
25	0.1																																																		
30	0.1																																																		
35	0.1																																																		
40	0.1																																																		
45	0.1																																																		
50	0.1																																																		
55	0.1																																																		
60	0.1																																																		
65	0.1																																																		
70	0.1																																																		
75	0.1																																																		
80	0.1																																																		
85	0.1																																																		
90	0.1																																																		
95	0.1																																																		
100	0.1																																																		
<p>n Of Error Based On SNR - version: 2, modulation: QPSK, coding: Har</p>  <table><caption>Data for Version 2: Mean Of Error (%) vs SNR</caption><tr><th>SNR</th><th>Mean Of Error (%)</th></tr><tr><td>0</td><td>42</td></tr><tr><td>2</td><td>21</td></tr><tr><td>4</td><td>5</td></tr><tr><td>6</td><td>2</td></tr><tr><td>8</td><td>1</td></tr><tr><td>10</td><td>0.5</td></tr><tr><td>15</td><td>0.2</td></tr><tr><td>20</td><td>0.1</td></tr><tr><td>25</td><td>0.1</td></tr><tr><td>30</td><td>0.1</td></tr><tr><td>35</td><td>0.1</td></tr><tr><td>40</td><td>0.1</td></tr><tr><td>45</td><td>0.1</td></tr><tr><td>50</td><td>0.1</td></tr><tr><td>55</td><td>0.1</td></tr><tr><td>60</td><td>0.1</td></tr><tr><td>65</td><td>0.1</td></tr><tr><td>70</td><td>0.1</td></tr><tr><td>75</td><td>0.1</td></tr><tr><td>80</td><td>0.1</td></tr><tr><td>85</td><td>0.1</td></tr><tr><td>90</td><td>0.1</td></tr><tr><td>95</td><td>0.1</td></tr><tr><td>100</td><td>0.1</td></tr></table>	SNR	Mean Of Error (%)	0	42	2	21	4	5	6	2	8	1	10	0.5	15	0.2	20	0.1	25	0.1	30	0.1	35	0.1	40	0.1	45	0.1	50	0.1	55	0.1	60	0.1	65	0.1	70	0.1	75	0.1	80	0.1	85	0.1	90	0.1	95	0.1	100	0.1	2
SNR	Mean Of Error (%)																																																		
0	42																																																		
2	21																																																		
4	5																																																		
6	2																																																		
8	1																																																		
10	0.5																																																		
15	0.2																																																		
20	0.1																																																		
25	0.1																																																		
30	0.1																																																		
35	0.1																																																		
40	0.1																																																		
45	0.1																																																		
50	0.1																																																		
55	0.1																																																		
60	0.1																																																		
65	0.1																																																		
70	0.1																																																		
75	0.1																																																		
80	0.1																																																		
85	0.1																																																		
90	0.1																																																		
95	0.1																																																		
100	0.1																																																		

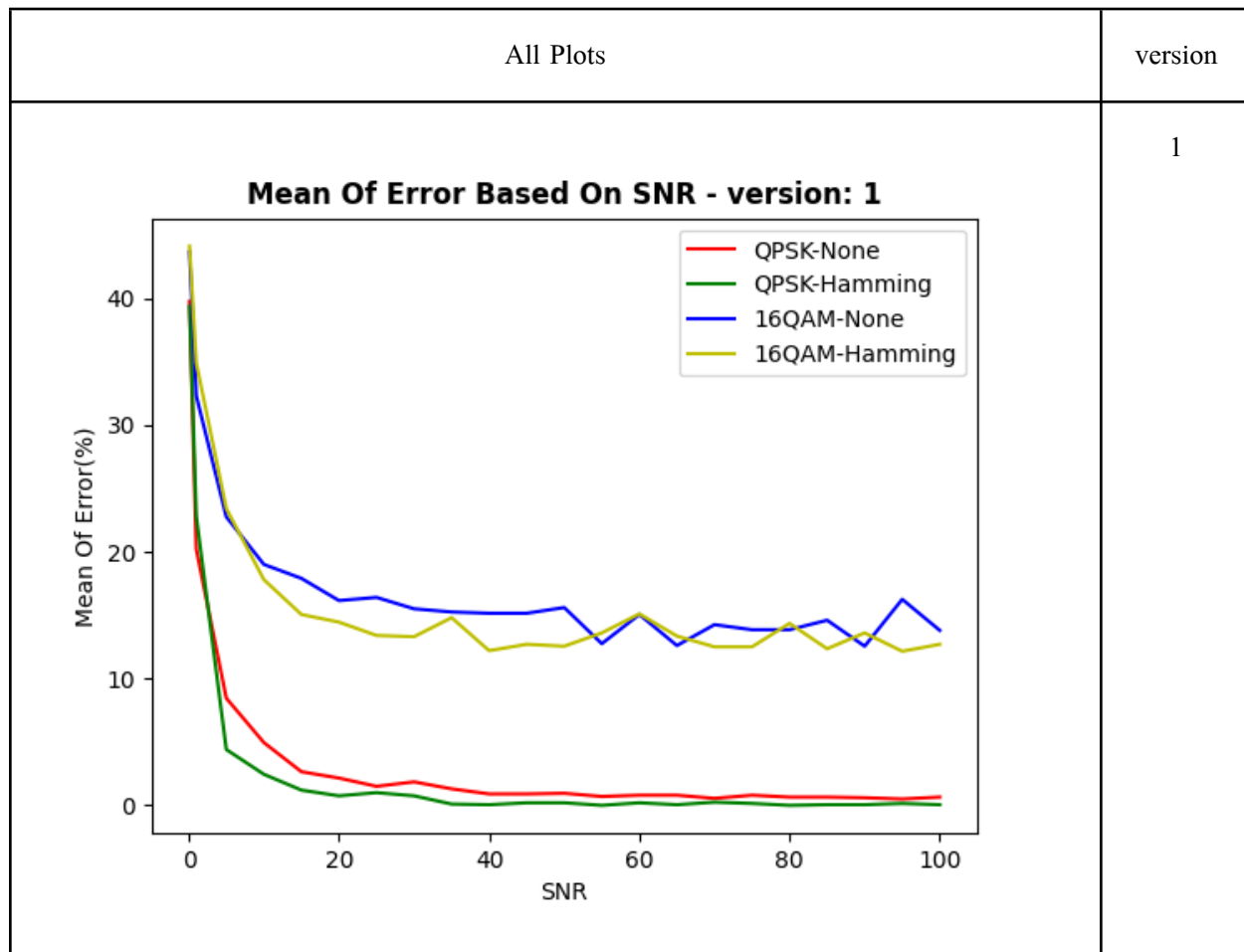
16QAM	SNR
<p data-bbox="415 520 1045 548">Received Signal For SNR = 0.1, modulation = 16QAM, coding = None</p> 	0.1
<p data-bbox="420 1060 1050 1087">Received Signal For SNR = 1, modulation = 16QAM, coding = None</p> 	1

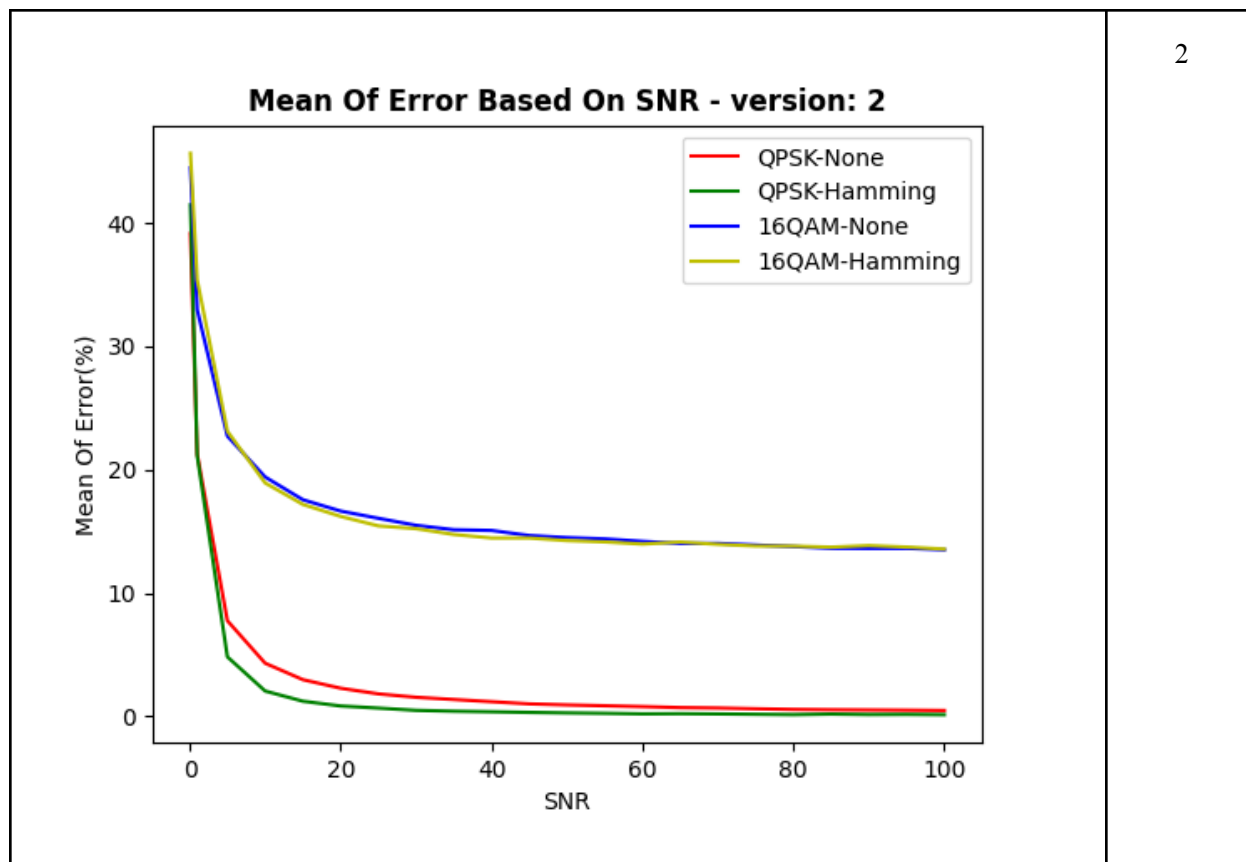
<p>Received Signal For SNR = 10, modulation = 16QAM, coding = Non</p> 	10
<p>Received Signal For SNR = 100, modulation = 16QAM, coding = Non</p> 	100
<p>Received Signal For SNR = 1000, modulation = 16QAM, coding = Nor</p> 	1000

16QAM		version																																																							
<p>an Of Error Based On SNR - version: 1, modulation: 16QAM, coding: l</p>  <table><caption>Data for Mean Of Error Based On SNR - version: 1, modulation: 16QAM, coding: l</caption><tr><th>SNR</th><th>Mean Of Error (%)</th></tr><tr><td>0</td><td>44</td></tr><tr><td>2</td><td>34</td></tr><tr><td>4</td><td>23</td></tr><tr><td>6</td><td>20</td></tr><tr><td>8</td><td>19</td></tr><tr><td>10</td><td>18</td></tr><tr><td>12</td><td>17</td></tr><tr><td>14</td><td>17</td></tr><tr><td>16</td><td>16</td></tr><tr><td>18</td><td>16</td></tr><tr><td>20</td><td>16</td></tr><tr><td>25</td><td>15</td></tr><tr><td>30</td><td>16</td></tr><tr><td>35</td><td>15</td></tr><tr><td>40</td><td>15</td></tr><tr><td>45</td><td>15</td></tr><tr><td>50</td><td>15</td></tr><tr><td>55</td><td>15</td></tr><tr><td>60</td><td>14</td></tr><tr><td>65</td><td>14</td></tr><tr><td>70</td><td>15</td></tr><tr><td>75</td><td>14</td></tr><tr><td>80</td><td>14</td></tr><tr><td>85</td><td>14</td></tr><tr><td>90</td><td>14</td></tr><tr><td>95</td><td>14</td></tr><tr><td>100</td><td>14</td></tr></table>	SNR	Mean Of Error (%)	0	44	2	34	4	23	6	20	8	19	10	18	12	17	14	17	16	16	18	16	20	16	25	15	30	16	35	15	40	15	45	15	50	15	55	15	60	14	65	14	70	15	75	14	80	14	85	14	90	14	95	14	100	14	1
SNR	Mean Of Error (%)																																																								
0	44																																																								
2	34																																																								
4	23																																																								
6	20																																																								
8	19																																																								
10	18																																																								
12	17																																																								
14	17																																																								
16	16																																																								
18	16																																																								
20	16																																																								
25	15																																																								
30	16																																																								
35	15																																																								
40	15																																																								
45	15																																																								
50	15																																																								
55	15																																																								
60	14																																																								
65	14																																																								
70	15																																																								
75	14																																																								
80	14																																																								
85	14																																																								
90	14																																																								
95	14																																																								
100	14																																																								
<p>Mean Of Error Based On SNR - version: 2, modulation: 16QAM, coding: Nor</p>  <table><caption>Data for Mean Of Error Based On SNR - version: 2, modulation: 16QAM, coding: Nor</caption><tr><th>SNR</th><th>Mean Of Error (%)</th></tr><tr><td>0</td><td>44</td></tr><tr><td>2</td><td>33</td></tr><tr><td>4</td><td>23</td></tr><tr><td>6</td><td>20</td></tr><tr><td>8</td><td>19</td></tr><tr><td>10</td><td>18</td></tr><tr><td>12</td><td>17</td></tr><tr><td>14</td><td>17</td></tr><tr><td>16</td><td>16</td></tr><tr><td>18</td><td>16</td></tr><tr><td>20</td><td>16</td></tr><tr><td>25</td><td>15</td></tr><tr><td>30</td><td>15</td></tr><tr><td>35</td><td>15</td></tr><tr><td>40</td><td>15</td></tr><tr><td>45</td><td>14</td></tr><tr><td>50</td><td>14</td></tr><tr><td>55</td><td>14</td></tr><tr><td>60</td><td>14</td></tr><tr><td>65</td><td>14</td></tr><tr><td>70</td><td>14</td></tr><tr><td>75</td><td>14</td></tr><tr><td>80</td><td>14</td></tr><tr><td>85</td><td>14</td></tr><tr><td>90</td><td>14</td></tr><tr><td>95</td><td>14</td></tr><tr><td>100</td><td>14</td></tr></table>	SNR	Mean Of Error (%)	0	44	2	33	4	23	6	20	8	19	10	18	12	17	14	17	16	16	18	16	20	16	25	15	30	15	35	15	40	15	45	14	50	14	55	14	60	14	65	14	70	14	75	14	80	14	85	14	90	14	95	14	100	14	2
SNR	Mean Of Error (%)																																																								
0	44																																																								
2	33																																																								
4	23																																																								
6	20																																																								
8	19																																																								
10	18																																																								
12	17																																																								
14	17																																																								
16	16																																																								
18	16																																																								
20	16																																																								
25	15																																																								
30	15																																																								
35	15																																																								
40	15																																																								
45	14																																																								
50	14																																																								
55	14																																																								
60	14																																																								
65	14																																																								
70	14																																																								
75	14																																																								
80	14																																																								
85	14																																																								
90	14																																																								
95	14																																																								
100	14																																																								

16QAM + Hamming	version																																																		
<p data-bbox="355 590 1045 615">Of Error Based On SNR - version: 1, modulation: 16QAM, coding: Ha</p>  <table border="1" data-bbox="386 615 976 1062"><caption>Data for Version 1: Mean Of Error (%) vs SNR</caption><thead><tr><th>SNR</th><th>Mean Of Error (%)</th></tr></thead><tbody><tr><td>0</td><td>46</td></tr><tr><td>2</td><td>36</td></tr><tr><td>4</td><td>23</td></tr><tr><td>6</td><td>19</td></tr><tr><td>8</td><td>17</td></tr><tr><td>10</td><td>16</td></tr><tr><td>15</td><td>15</td></tr><tr><td>20</td><td>16</td></tr><tr><td>25</td><td>15</td></tr><tr><td>30</td><td>15</td></tr><tr><td>35</td><td>15</td></tr><tr><td>40</td><td>15</td></tr><tr><td>45</td><td>14</td></tr><tr><td>50</td><td>14</td></tr><tr><td>55</td><td>15</td></tr><tr><td>60</td><td>15</td></tr><tr><td>65</td><td>14</td></tr><tr><td>70</td><td>15</td></tr><tr><td>75</td><td>14</td></tr><tr><td>80</td><td>14</td></tr><tr><td>85</td><td>14</td></tr><tr><td>90</td><td>14</td></tr><tr><td>95</td><td>14</td></tr><tr><td>100</td><td>14</td></tr></tbody></table>	SNR	Mean Of Error (%)	0	46	2	36	4	23	6	19	8	17	10	16	15	15	20	16	25	15	30	15	35	15	40	15	45	14	50	14	55	15	60	15	65	14	70	15	75	14	80	14	85	14	90	14	95	14	100	14	1
SNR	Mean Of Error (%)																																																		
0	46																																																		
2	36																																																		
4	23																																																		
6	19																																																		
8	17																																																		
10	16																																																		
15	15																																																		
20	16																																																		
25	15																																																		
30	15																																																		
35	15																																																		
40	15																																																		
45	14																																																		
50	14																																																		
55	15																																																		
60	15																																																		
65	14																																																		
70	15																																																		
75	14																																																		
80	14																																																		
85	14																																																		
90	14																																																		
95	14																																																		
100	14																																																		
<p data-bbox="355 1161 1045 1186">Of Error Based On SNR - version: 2, modulation: 16QAM, coding: Ha</p>  <table border="1" data-bbox="386 1186 976 1633"><caption>Data for Version 2: Mean Of Error (%) vs SNR</caption><thead><tr><th>SNR</th><th>Mean Of Error (%)</th></tr></thead><tbody><tr><td>0</td><td>46</td></tr><tr><td>2</td><td>36</td></tr><tr><td>4</td><td>23</td></tr><tr><td>6</td><td>19</td></tr><tr><td>8</td><td>17</td></tr><tr><td>10</td><td>16</td></tr><tr><td>15</td><td>15</td></tr><tr><td>20</td><td>16</td></tr><tr><td>25</td><td>15</td></tr><tr><td>30</td><td>15</td></tr><tr><td>35</td><td>15</td></tr><tr><td>40</td><td>15</td></tr><tr><td>45</td><td>14</td></tr><tr><td>50</td><td>14</td></tr><tr><td>55</td><td>14</td></tr><tr><td>60</td><td>14</td></tr><tr><td>65</td><td>14</td></tr><tr><td>70</td><td>14</td></tr><tr><td>75</td><td>14</td></tr><tr><td>80</td><td>14</td></tr><tr><td>85</td><td>14</td></tr><tr><td>90</td><td>14</td></tr><tr><td>95</td><td>14</td></tr><tr><td>100</td><td>14</td></tr></tbody></table>	SNR	Mean Of Error (%)	0	46	2	36	4	23	6	19	8	17	10	16	15	15	20	16	25	15	30	15	35	15	40	15	45	14	50	14	55	14	60	14	65	14	70	14	75	14	80	14	85	14	90	14	95	14	100	14	2
SNR	Mean Of Error (%)																																																		
0	46																																																		
2	36																																																		
4	23																																																		
6	19																																																		
8	17																																																		
10	16																																																		
15	15																																																		
20	16																																																		
25	15																																																		
30	15																																																		
35	15																																																		
40	15																																																		
45	14																																																		
50	14																																																		
55	14																																																		
60	14																																																		
65	14																																																		
70	14																																																		
75	14																																																		
80	14																																																		
85	14																																																		
90	14																																																		
95	14																																																		
100	14																																																		

برای مقایسه بهتر نمودار های میانگین احتمال خطا هر دو مدولاسیون به همراه کدینگ و بدون آن نمودار های زیر هم ترسیم شده است:





همانطور که در نمودار ها دیده می شود خطای 16QAM به وضوح بیشتر از QPSK است. ابتدا با هم شروع می کنند اما برای QPSK به سرعت افت می کند. دلیلی که می توان گفت از روی نمودار های سیگنال دریافتی مشخص است. در 16QAM نقاط constellation به هم نزدیک ترند و همین مساله یافت نزدیک ترین همسایه را سخت تر می کند. همانطور که دیده می شود در SNR های پایین چون در نمودار سیگنال دریافتی هم فشردگی بود خطا هم زیاد بود و با رفع فشردگی خطا کاهش می یابد. کدینگ هم به دلیل مرحله تصحیح و رفع خطا تا حدی احتمال خطا را کم می کند اما اثر فشردگی 16QAM بیشتر است و تفاوت در QPSK واضح تر است.

توجه:

نمودار های بیشتری برای حالات مختلف ترسیم شدند اما برای عدم شلوغی گزارش اینجا آورده نشدند و در فایل آپلودی و فولدر plots قابل مشاهده اند.