امیرحسین بیرژندی 810198367	**بسمه تعالی** مخابرات بی‌سیم تمرین کامپیوتری 2	استاد: دکتر صباغیان تاریخ تحویل: 10 مرداد

بخش اول: کانال باند باریک

(1

الف) بررسی اثر محو شدگی در BPSK

در این قسمت می‌خواهیم اثر محو شدگی را مشاهده کنیم.

$$\text{BPSK}\begin{cases} 0 \rightarrow -a \\ 1 \rightarrow +a \end{cases}$$

$$h[m] = h_r[m] + j h_I[m] \rightarrow h_r[m] \sim \mathcal{N}(0, \tfrac{1}{2})$$

$$w[m] = w_r[m] + j w_I[m] \rightarrow w_r[m] \sim \mathcal{N}(0, \tfrac{N_0}{2})$$

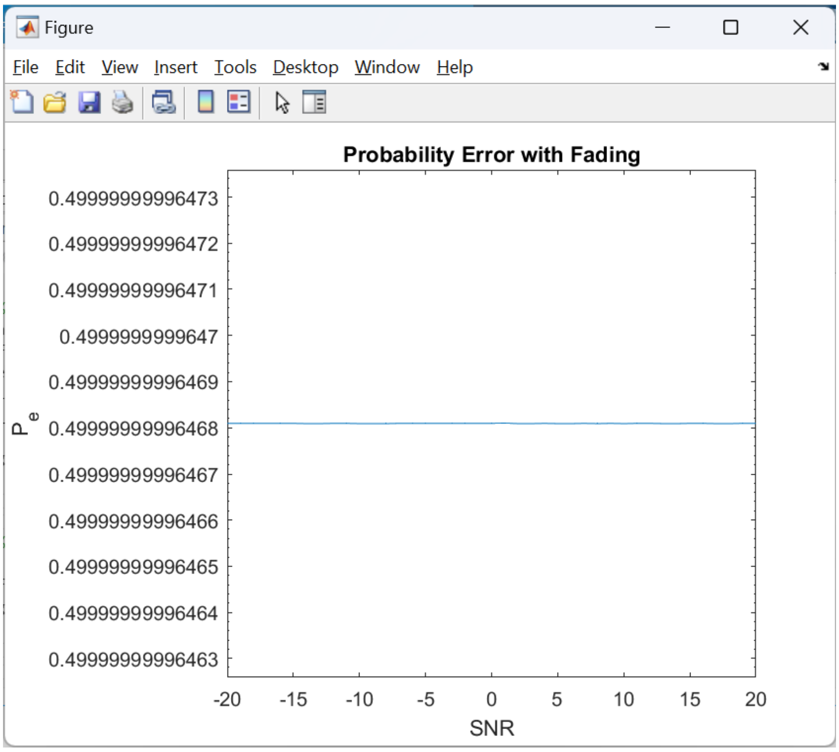
$$P_e = \frac{1}{2} P_r\{\hat{x} = 0 \mid x = 1\} + \frac{1}{2} P_r\{\hat{x} = 1 \mid x = 0\}$$

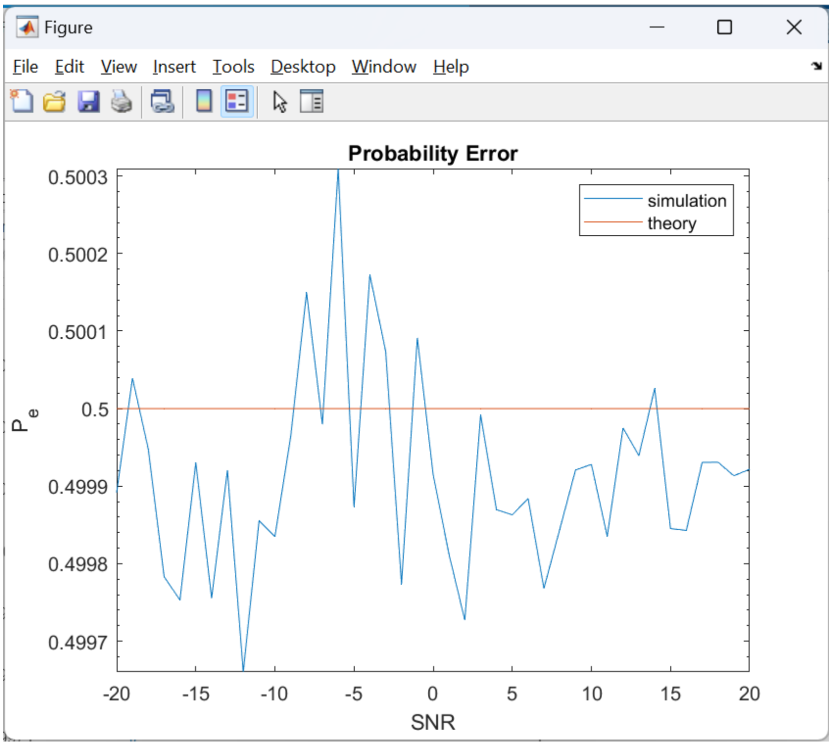
$$= \frac{1}{2} P_r\{a h_r[m] + w_r[m] < 0\} + \frac{1}{2} P_r\{-a h_r[m] + w_r[m] > 0\}$$

$$= \frac{1}{2}\int_{-\infty}^{\infty} P_r\{w_r[m] < -a h_m\} f_{h_m}(h_m)\, dh_m + \frac{1}{2}\int_{-\infty}^{\infty} P_r\{w_r[m] > a h_m\} f_{h_m}(h_m)\, dh_m$$

$$= \frac{1}{2}\int_{-\infty}^{\infty} Q\left(\frac{a h_m}{\sqrt{N_0/2}}\right) \underset{\mathcal{N}(0,1/2)}{\underset{\downarrow}{f_{h_m}(h_m)}}\, dh_m + \frac{1}{2}\int_{-\infty}^{\infty} Q\left(\frac{a h_m}{\sqrt{N_0/2}}\right) f_{h_m}(h_m)\, dh_m$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} Q\left(\frac{a h_m}{\sqrt{N_0/2}}\right) \frac{1}{\sqrt{\pi}} e^{-h_m^2}\, dh_m = \int_{-\infty}^{\infty} Q\left(h_m\sqrt{2SNR}\right) \frac{1}{\sqrt{\pi}} e^{-h_m^2}\, dh_m$$





همانطور که مشاهده می‌کنیم مقدار محوشدگی به گونه‌ای است که حتی در SNR های بالا نیز احتمال خطا 0.5 را تجربه می‌کنیم.

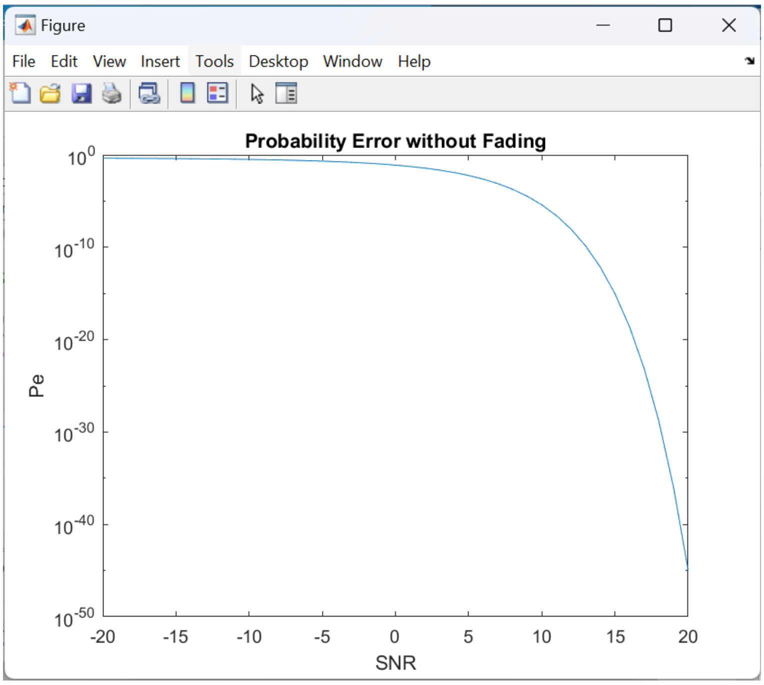
ب)

در این قسمت اثر محوشدگی را یک در نظر می‌گیریم.

$$y[m] = h[m]\,x[m] + w[m]$$

$$SNR = \frac{E\{(h.x)^2\}}{E\{w^2\}} = \frac{E\{h^2\}\,E\{x^2\}}{\frac{N_0}{2}} = \frac{E\{x^2\}}{N_0/2} = \frac{2a^2}{N_0}$$

$$P_e = Q\left(\sqrt{\frac{2a^2}{N_0}}\right) = Q\left(\sqrt{2SNR}\right)$$



ج)

$$P_e = 10^{-6} \longrightarrow Q^{-1}(10^{-6}) = \sqrt{2SNR} \Rightarrow SNR = \frac{\left(Q^{-1}(10^{-6})\right)^2}{2}$$

$$SNR = 10.5298 \text{ dB}$$

2)

الف)

در این قسمت به ازای ارسال بیت 0 و 1 یک بردار را به گونه‌ای ارسال می‌کنیم که برای بیت 1 به ترتیب 0 و α و برای بیت 0 به ترتیب α و 0 می‌باشد.

$$x=0 \longrightarrow [\alpha, 0] \longrightarrow y = [\underbrace{\alpha h + w}_{y_0}, \underbrace{w}_{y_1}] \sim [\mathcal{N}(0, \alpha^2 + N_0), \mathcal{N}(0, N_0)]$$

$$x=1 \longrightarrow [0, \alpha] \longrightarrow y = [w, \alpha h + w] \sim [\mathcal{N}(0, N_0), \mathcal{N}(0, \alpha^2 + N_0)]$$

$$f(\underline{y} \mid x=1) \underset{0}{\overset{1}{\gtrless}} f(\underline{y} \mid x=0)$$

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi(\alpha^2+N_0)}} \exp\left(\frac{-y_0^2}{2(\alpha^2+N_0)}\right) \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi N_0}} \exp\left(\frac{-y_1^2}{2N_0}\right)$$

$$\underset{0}{\overset{1}{\gtrless}}$$

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi(N_0)}} \exp\left(\frac{-y_0^2}{2(N_0)}\right) \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi(\alpha^2+N_0)}} \exp\left(\frac{-y_1^2}{2(\alpha^2+N_0)}\right)$$

$$\exp\left(\frac{-y_0^2}{2(\alpha^2+N_0)} + \frac{-y_1^2}{2N_0}\right) \underset{0}{\overset{1}{\gtrless}} \exp\left(\frac{-y_0^2}{2N_0} + \frac{-y_1^2}{2(\alpha^2+N_0)}\right)$$

$$\frac{+y_1^2}{2(\alpha^2+N_0)} + \frac{-y_1^2}{2N_0} \underset{0}{\overset{1}{\gtrless}} \frac{-y_0^2}{2N_0} + \frac{y_0^2}{2(\alpha^2+N_0)}$$

$$y_1^2\left(\frac{1}{2(\alpha^2+N_0)} + \frac{-1}{2N_0}\right) \underset{0}{\overset{1}{\gtrless}} y_0^2\left(\frac{-1}{2N_0} + \frac{1}{2(\alpha^2+N_0)}\right)$$

$$y_1^2 \underset{0}{\overset{1}{\gtrless}} y_0^2 \longrightarrow \text{متغیر تصادفی نمایی}$$

$$P_e = \frac{1}{2} P_r\{\hat{x} = 1 \mid x=0\} + \frac{1}{2} P_r\{\hat{x}=0 \mid x=1\}$$

$$P_e = \frac{1}{2} P_r\{(y_0^2 > y_1^2) \mid x=0\} + \frac{1}{2} P_r\{(y_1^2 > y_0^2) \mid x=1\}$$

$$= \frac{1}{2}\left(P_r\{y_0^2 - y_1^2 > 0 \mid x=0\} + P_r\{y_1^2 - y_0^2 > 0 \mid x=1\}\right)$$

$$= \frac{1}{2} \frac{\lambda_0}{\lambda_0 + \lambda_1} + \frac{1}{2} \frac{\lambda_1'}{\lambda_1' + \lambda_0'}$$

$$x=0 \longrightarrow y = [\underbrace{\alpha h + w}_{y_0}, \underbrace{w}_{y_1}] \longrightarrow y_0^2 \sim \mathrm{Exp}\left(\frac{1}{\alpha^2+N_0}\right),\ y_1^2 \sim \mathrm{Exp}\left(\frac{1}{N_0}\right)$$

$$x=1 \longrightarrow y = [\underbrace{w}_{y_0}, \underbrace{\alpha h + w}_{y_1}] \longrightarrow y_0^2 \sim \mathrm{Exp}\left(\frac{1}{N_0}\right),\ y_1^2 \sim \mathrm{Exp}\left(\frac{1}{\alpha^2+N_0}\right)$$

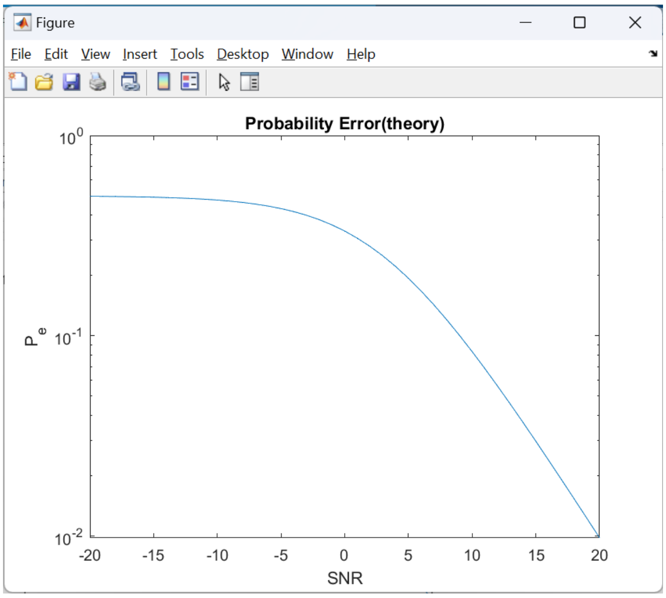
$$P_e = \frac{\frac{1}{\alpha^2+N_0}}{\frac{1}{N_0} + \frac{1}{\alpha^2+N_0}} = \frac{1}{\frac{\alpha^2+N_0}{N_0} + 1} = \frac{N_0}{\alpha^2+N_0+N_0} = \frac{1}{\frac{\alpha^2}{N_0} + 2} = \frac{1}{2 + SNR}$$

❃ نکات محاسبات:

1. می‌دانیم که مربع یک توزیع نرمال یک توزیع نمایی با پارامتر $\frac{1}{\sigma^2}$ می‌باشد.

2. برای بدست آوردن احتمال اختلاف دو توزیع نمایی کافیست از رابطه $\Pr\{X-Y>0\}=\frac{\lambda_x}{\lambda_x+\lambda_y}$ استفاده می‌کنیم.

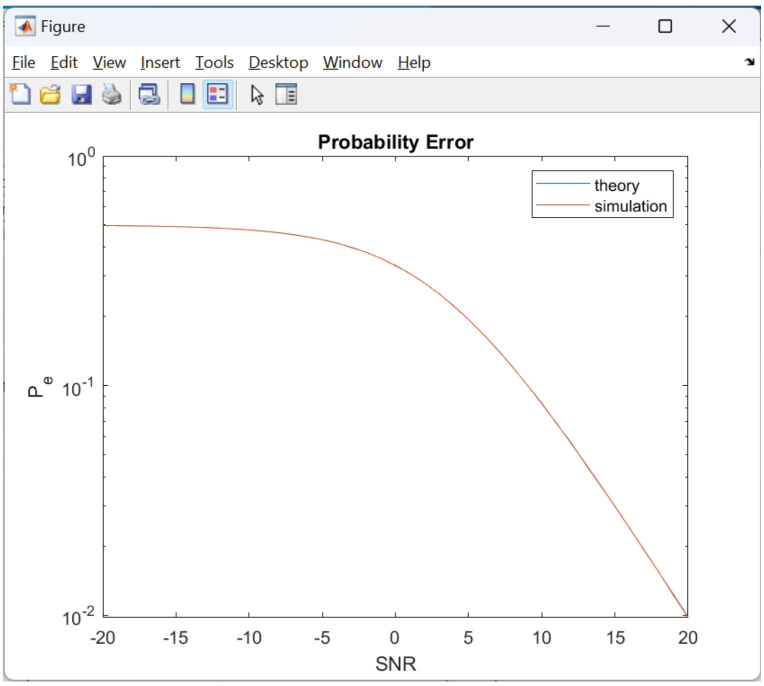
برای رسم این بخش کافیست به ازای SNR گفته شده نمودار $\frac{1}{SNR+2}$ را رسم کنیم.



ب)

برای شبیه‌سازی این بخش کافیست از ناحیه تصمیم‌گیری محاسبه شده استفاده کنیم که برابر عبارت زیر می‌باشد:

$$y_0^2 \underset{0}{\overset{1}{\gtrless}} y_1^2$$



ج)

$$P_e = \frac{1}{SNR+2} \rightarrow 10^6 - 2 = SNR \rightarrow SNR = 99998 = 60 \ dB$$

این مقدار با قسمت ج سوال 1 نزدیک به 50dB تفاوت دارد.

3)

الف)

در این قسمت فرض می‌کنیم اطلاعات کانال را در گیرنده داریم.

$$y[m] = x[m]h[m] + w[m]$$

$$\xrightarrow{\text{کانال را می‌دانیم}} \quad h^*[m].y[m] = x[m]|h|^2 + h^*[m]w[m]$$

$$\xrightarrow{1/|h|^2} \quad \frac{h^*[m].y[m]}{|h|^2} = x[m] + \frac{h^*[m]w[m]}{|h|^2}$$

$$P_e = \frac{1}{2}Pr\{\hat{x}=0 \mid x=1\} + \frac{1}{2}Pr\{\hat{x}=1 \mid x=0\}$$

$$= \frac{1}{2}Pr\left\{a + \frac{h^*[m]w[m]}{|h|^2} < 0\right\} + \frac{1}{2}Pr\left\{-a + \frac{h^*[m]w[m]}{|h|^2} >\right\} \xrightarrow[h[m]=h_r+jh_I]{\text{کانال را می‌دانیم در نتیجه}}$$

$$= \frac{1}{2}Pr\left\{a + \frac{(h_r - jh_I)(w_r[m] + jw_I[m])}{|h|^2} < 0\right\} + \frac{1}{2}Pr\left\{-a + (h_r - jh_I)(w_r[m] + jw_I[m]) > 0\right\}$$

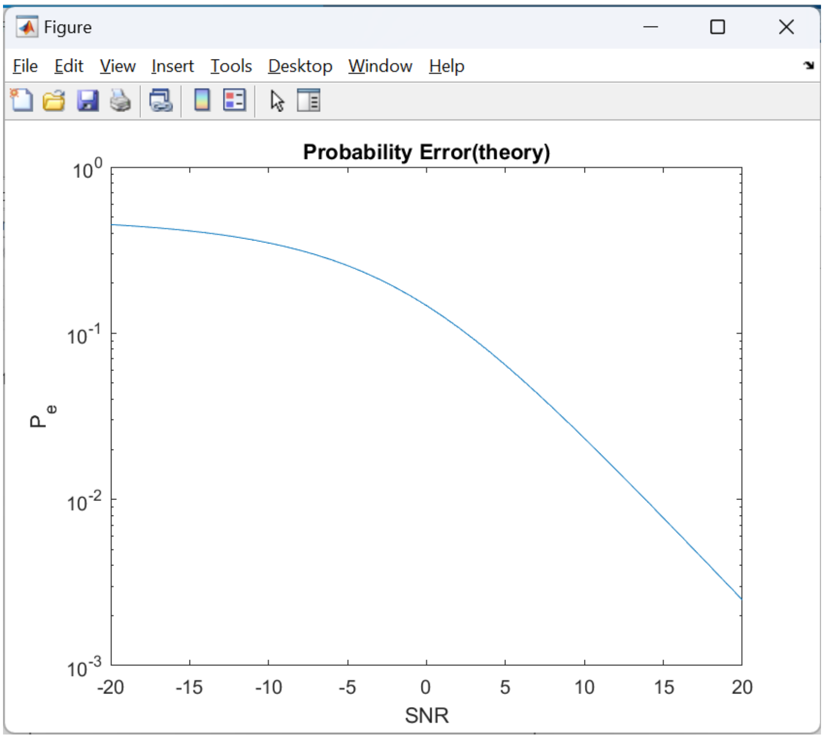
$$= \frac{1}{2}Pr\Bigg\{\underbrace{\underbrace{\frac{h_r w_r[m]}{|h|^2}}_{\mathcal{N}} + \underbrace{\frac{h_I w_I[m]}{|h|^2}}_{\mathcal{N}}}_{\mathcal{N}} < -a\Bigg\} + \frac{1}{2}Pr\left\{\frac{h_r w_r[m]}{|h|^2} + \frac{h_I w_I[m]}{|h|^2} > a\right\}$$

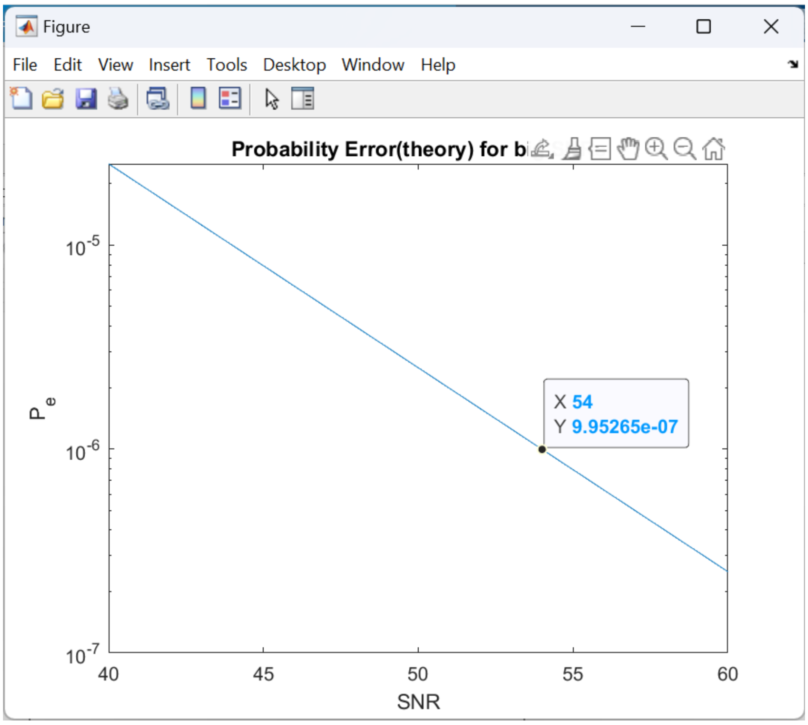
$$\Rightarrow Var\left(\frac{h_r w_r[m]}{|h|^2} + \frac{h_I w_I[m]}{|h|^2}\right) = \frac{h_r^2}{|h|^2} \times \frac{N_0}{2} + \frac{h_I^2}{|h|^2} \times \frac{N_0}{2} = \frac{1}{h_r^2 + h_I^2} \times \frac{N_0}{2}$$

$$= \frac{1}{2}\left(Q\left(\frac{a}{\sqrt{\frac{1}{h_r^2+h_I^2} \times \frac{N_0}{2}}}\right) + Q\left(\frac{a}{\sqrt{\frac{1}{h_r^2+h_I^2} \times \frac{N_0}{2}}}\right)\right)$$

$$= Q\left(\frac{a\sqrt{h_r^2 + h_I^2}}{\sqrt{N_0/2}}\right) = Q\left(\sqrt{2SNR \quad h_r^2 + h_I^2}\right)$$

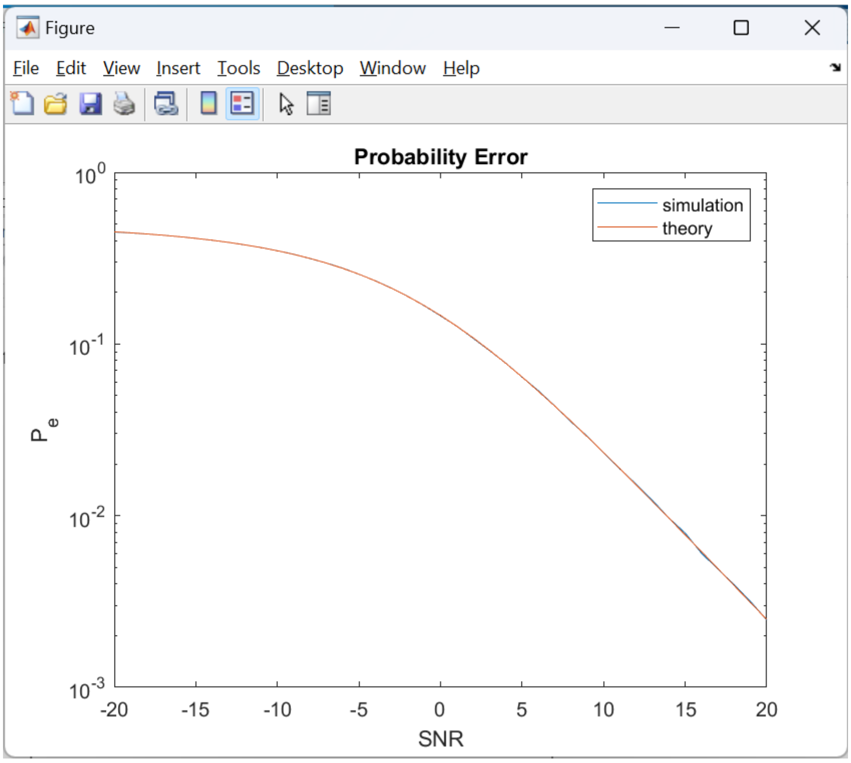
البته توجه شود عبارت بدست آمده احتمال خطا به ازای hr های و hi های مختلف می‌باشد و در انتها باید یک انتگرال دو گانه روی این عبارت بگیریم. نمودار این بخش نیز با استفاده از دستور integral2 رسم شده است.

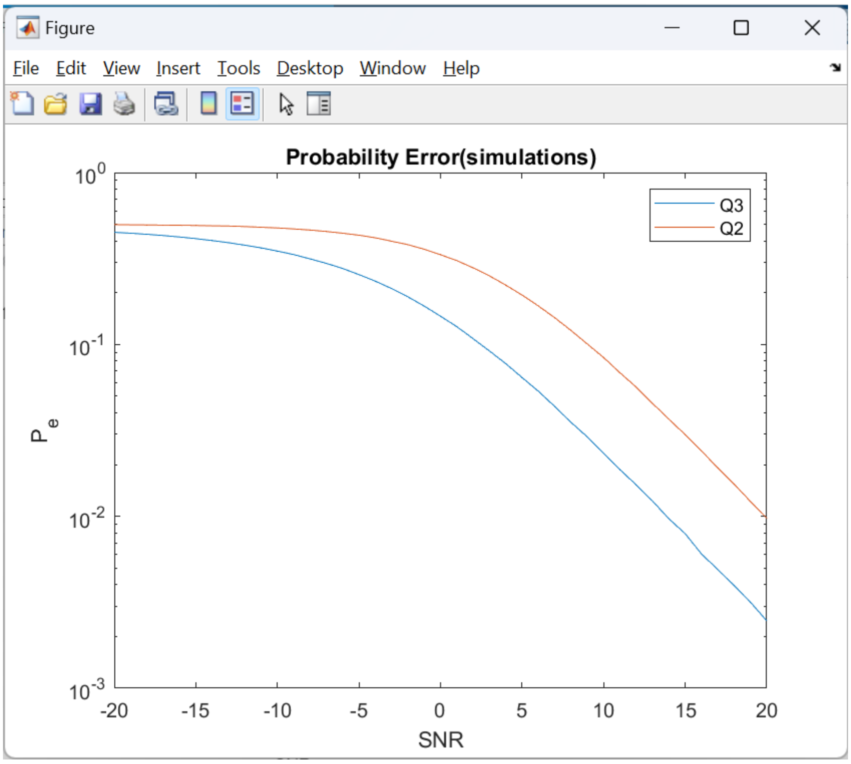




همانطور که مشاهده می‌کنیم احتمال خطای 1e-6 به ازای 54dB SNR رخ می‌دهد.

ب)





نسبت احتمال خطا در دو حالت به صورت زیر محاسبه شده است.

```
ratio = 10*log10(Pe1(end)/Pe(end));
display(ratio);
```

```
ratio = 5.9919
```

ج)

همانطور که مشاهده می‌کنیم احتمال خطا در حالتی که اطلاعات کانال را می‌دانیم کاهش پیدا می‌کند و این اختلاف با افزایش SNR بیشتر نیز می‌شود.

4)

الف)

$$y[m] = x[m]h[m] + w[m]$$

$$z[m] = \frac{h^*[m]y[m]}{|h[m]|^2} = x[m] + \frac{w[m]}{h[m]}$$

$$P_e = 1 - P_c$$

$$P_c = \frac{1}{4}P_r\{\hat{x} = x_1 \mid x = x_1\}P_r\{x = x_1\} + \frac{1}{4}P_r\{\hat{x} = x_2 \mid x = x_2\}P_r\{x = x_4\}$$

$$+\frac{1}{4}P_r\{\hat{x} = x_3 \mid x = x_3\}P_r\{x = x_3\} + \frac{1}{4}P_r\{\hat{x} = x_4 \mid x = x_4\}P_r\{x = x_4\}$$

$$= \frac{1}{4}P_r\{Real\{z\} > 0 \,, Imag\{z\} > 0 \mid x = x_1\}$$

$$+\frac{1}{4}P_r\{Real\{z\} < 0 \,, Imag\{z\} > 0 \mid x = x_2\}$$

$$+\frac{1}{4}P_r\{Real\{z\} < 0 \,, Imag\{z\} < 0 \mid x = x_3\}$$

$$+\frac{1}{4}P_r\{Real\{z\} > 0 \,, Imag\{z\} < 0 \mid x = x_4\}$$

$$= P_r\{Real\{z\} > 0 \,, Imag\{z\} > 0 \mid x = x_1\}$$

$$= P_r\left\{Real\left\{x_1 + \frac{w[m]}{h[m]}\right\} > 0 \,, Imag\left\{x_1 + \frac{w[m]}{h[m]}\right\} > 0 \;\middle|\; x = x_1\right\}$$

$$= P_r\left\{Real\left\{\frac{w[m]}{h[m]}\right\} < \frac{a}{\sqrt{2}}\right\} P_r\left\{Imag\left\{\frac{w[m]}{h[m]}\right\} < \frac{a}{\sqrt{2}}\right\}$$

$$= P_r\left\{\frac{h_r w_r + h_I w_I}{|h|^2} < \frac{a}{\sqrt{2}}\right\} P_r\left\{\frac{h_r w_I - h_I w_r}{|h|^2} < \frac{a}{\sqrt{2}}\right\}$$

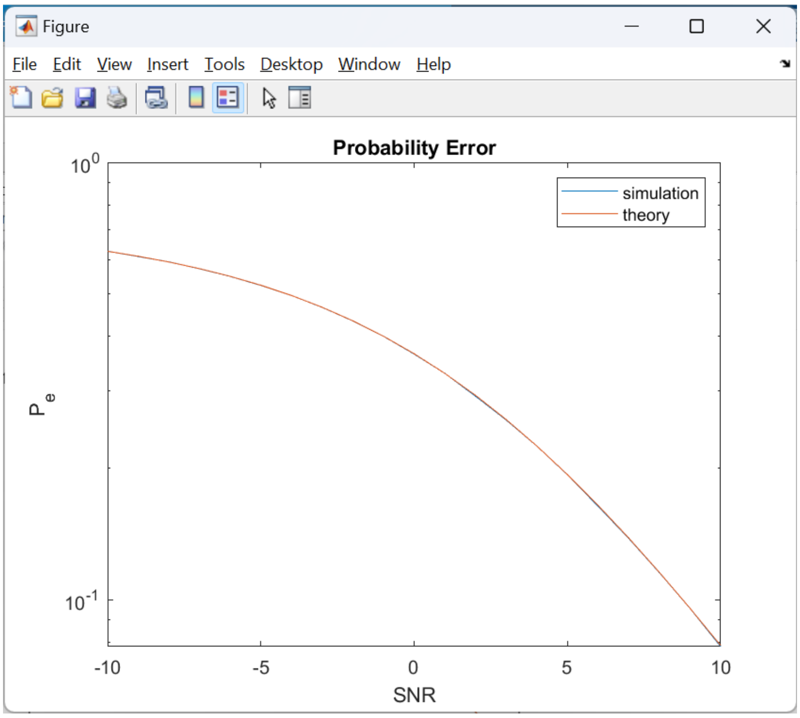
$$= P_r\left\{\underbrace{\underbrace{h_r w_r}_{\mathcal{N}} + \underbrace{h_I w_I}_{\mathcal{N}}}_{\mathcal{N}} < \frac{a|h|^2}{\sqrt{2}}\right\} P_r\left\{\underbrace{\underbrace{h_r w_I}_{\mathcal{N}} - \underbrace{h_I w_r}_{\mathcal{N}}}_{\mathcal{N}} < \frac{a|h|^2}{\sqrt{2}}\right\}$$

$$= \left(1 - Q\left(\frac{\frac{a}{\sqrt{2}}\sqrt{h_r^2 + h_I^2}}{\sqrt{\frac{N_0}{2}}}\right)\right)\left(1 - Q\left(\frac{\frac{a}{\sqrt{2}}\sqrt{h_r^2 + h_I^2}}{\sqrt{\frac{N_0}{2}}}\right)\right)$$

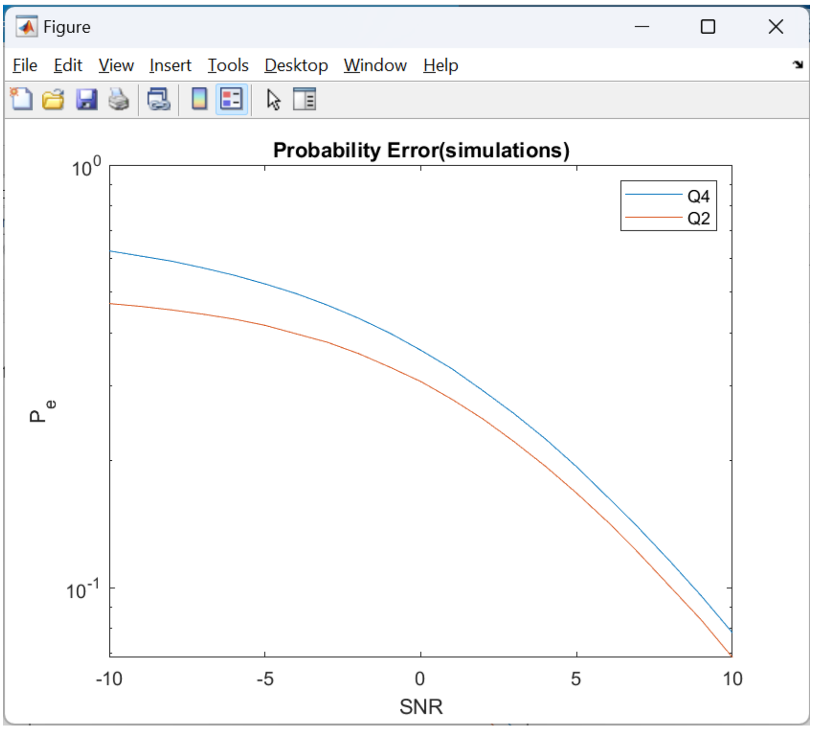
$$= \left(1 - Q\left(\sqrt{SNR(h_r^2 + h_I^2)}\right)\right)^2$$

$$\xRightarrow[\text{کل بازه}]{\text{انتگرال گیری روی}} P_c = \int_{-\infty}^{+\infty}\int_{-\infty}^{+\infty}\left(1 - Q\left(\sqrt{SNR(h_r^2 + h_I^2)}\right)\right)^2 \frac{1}{\pi} e^{-(h_r^2 + h_i^2)}\, dh_r\, dh_i$$

$$P_e = 1 - P_c$$



ب)



همانطور که مشاهده می‌کنیم این دو حالت با افزایش SNR نزدیک به یکدیگر شده و توقع داریم با افزایش بیشتر SNR این دو حالت مشابه یکئیگر عمل می‌کنند. در نتیجه احتمال خطا بهبود نیافته است.

```
ratio = 10*log10(Pe1(end)/Pe(end));
display(ratio);
```

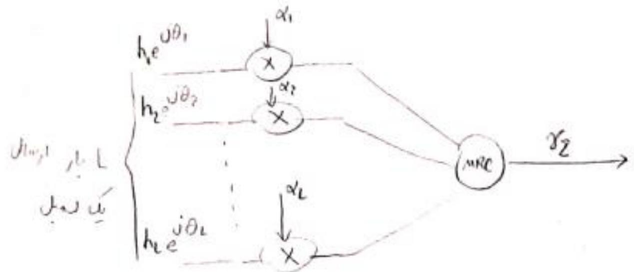
```
ratio = -9.0415
```

5)

الف)

می‌دانیم زمان همدوسی کانال که با T_C نمایش داده می‌شود به ما مقدار زمانی که باید بایستیم تا کانال از خود مستقل شود را بیان می‌کند. در نتیجه منطقی است فاصله بین ارسال سمبل ها به گونه‌ای باشد که اگر سمبلی در زمانی که کانال وضعیت مناسبی نداشته ارسال شده، سمبل بعدی را به گونه‌ای ارسال کنیم که کانال از خود مستقل شده باشد.

ب)



$$\alpha_i = a_i e^{-j\theta_i}$$

در حالت کلی
$$\gamma_\Sigma = \frac{\left(\sum_{i=1}^{L} h_i a_i\right)^2 E_x}{N_0 \sum_{i=1}^{L} a_i^2} \xrightarrow{MRC} a_i = \frac{|h_i|}{\sqrt{N_0}} \Rightarrow \gamma_\Sigma = \sum_{i=1}^{L} \gamma_i$$

$$\gamma_i = \frac{|h_i|^2}{N_0} E_x \longrightarrow \gamma_\Sigma = \sum_{i=1}^{L} \gamma_i = \sum_{i=1}^{L} \frac{|h_i|^2}{N_0} E_x = \frac{a^2}{N_0} \sum_{i=1}^{M} |h_i|^2$$

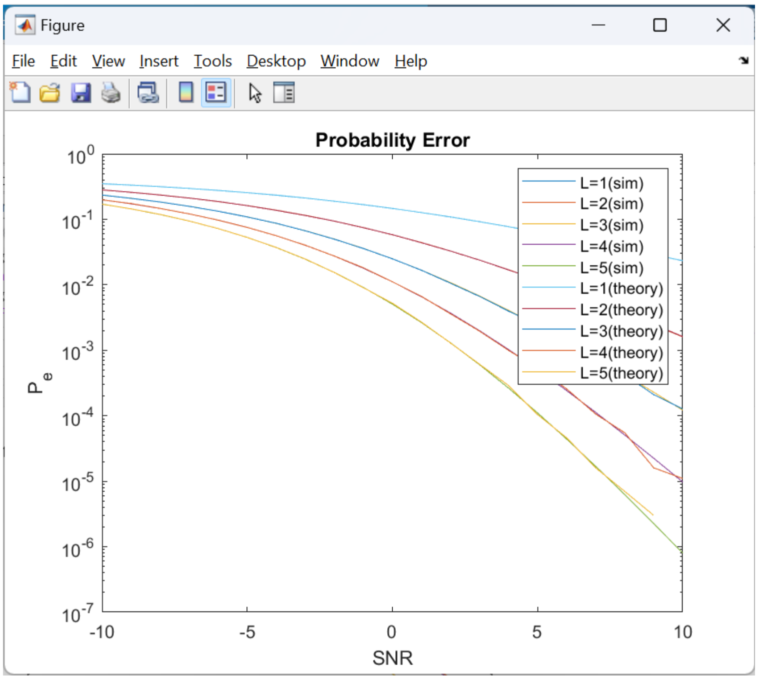
$$h \sim CN \longrightarrow \sum_{i=1}^{M} h_i^2 \sim \text{chi-squared}(2M) \quad (I)$$

$$\xRightarrow{(I)} \gamma_\Sigma = \frac{a^2}{N_0} \sum_{i=1}^{L} |h_i|^2 = \frac{a^2}{N_0} \sum_{i=1}^{L} \underbrace{h_{i_{real}}^2 + h_{i_{Imag}}^2}_{\text{chi-squared}(2L) \sim \mathcal{H}}$$

$$\text{BPSK} \Rightarrow P_{e|\gamma} = Q\left(\sqrt{2\gamma_\Sigma}\right)$$

$$= Q\left(\sqrt{2 \frac{a^2}{N_0} \mathcal{H}}\right) = Q\left(\sqrt{2\,SNR\,\mathcal{H}}\right)$$

$$P_e = \int_0^\infty P_{e|\gamma} f_H(h)\, dh = \int_0^\infty P_{e|\gamma} \underbrace{f_H(h)}_{\text{pdf of chi-squared dist.}} dh$$



تحلیل نتایج:

همانطور که مشاهده می‌کنیم با افزایش L احتمال خطای کمتری خواهیم داشت. در واقع با افزایش L احتمال محو شدگی زیاد را کمتر می‌کنیم زیرا برای مثال ما در 5 زمان متفاوت یک سمبل را ارسال می‌کنیم و مشخصا احتمال اینکه در هر 5 بار محوشدگی زیادی را تجربه کنیم به مراتب کمتر از حالتیست که هر سمبل را فقط یک بار ارسال کنیم.

6)

الف)

در حالتی که از چند آنتن گیرنده استفاده می‌کنیم بین آنتن فرستنده و هر یک از آنتن های گیرنده در واقع یک کانال مستقل از بقیه کانال ها وجود دارد که این دقیقا مشابه حالتیست که یک سمبل را در چندین زمان متفاوت که کانال در آن زمانها از هم مستقل هستند می‌فرستیم. در نتیجه به راحتی می‌توان دایورسیتی در زمان را با ساختار این سوال ساخت.

ب)

$$y[m] = h_1[m]\, x_1[m] + h_2[m]\, x_2[m] + w[m]$$

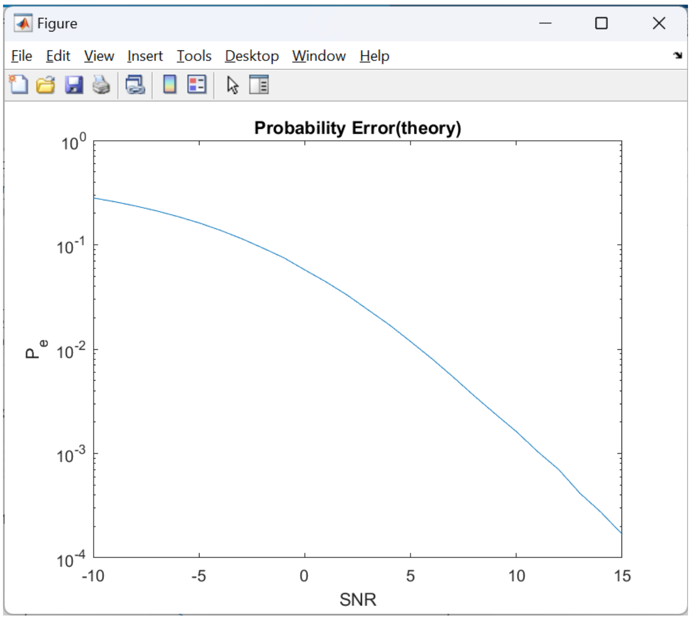
$$[y[m], y[m+1]] = [h_1 \quad h_2] \begin{bmatrix} u_1 & -u_2^* \\ u_2 & u_1^* \end{bmatrix} + [w_1 \quad w_2]$$

$$y[m] = h_1 u_1 + h_2 u_2 + w_1 \xrightarrow{\times h_1^*} |h_1|^2 u_1 + h_1^* w_1$$

$$y[m+1] = -h_1 u_2^* + h_2 u_1^* + w_2 \xrightarrow{\times h_2} |h_2|^2 u_1 + h_2 w_2^*$$

$$\Rightarrow m_1 = h_1^* y_1 + h_2 y_2^* = (|h_1|^2 + |h_2|^2) u_1 + h_1^* w_1 + h_2 w_2^*$$

بهمین ترتیب $\Rightarrow m_2 = h_2^* y_1 - h_1 y_2^* = (|h_1|^2 + |h_2|^2) u_2 + h_2^* w_1 - h_1 w_2^*$



ج)

همانطور که در بخش الف گفته شد توقع داریم که احتمال خطا مشابهی به ازای دایورسیتی در زمان و دایورسیتی در آنتن های گیرنده را تجربه کنیم. اما هر کدام مزیت هایی نسبت به دیگری دارندکه دایورسیتی در آنتن های گیرنده با اینکه هزینه بیشتری دارد اما نرخ ارسال بالاتری نسبت به حالتی که دایورسیتی در زمان داریم خواهیم داشت.

بخش دوم: کانال فرکانس گزین

1)

$$L = \frac{T_d}{f_s} = \frac{T_d}{\frac{T}{N}} = T_d . \frac{N}{T} = T_d \, . W = 10 \times 10^{-6} \times 20 \times 10^{6} = 200$$

طول پیشوند گردشی باید به گونه‌ای انتخاب شود که بتواند کانوولوشن خطی را به گردشی تبدیل کند و از آنجایی که در کانوولوشن خطی طول سیگنال نهایی برابر جمع طول دو سیگنال مثبت 1 است، کافیست طول بلاک داده را به اندازه تعداد تپ های کانال منهای 1 اضافه کنیم تا برابر نتیجه کانوولوشن خطی شود که در این صورت انگار کانوولوشن گردشی گرفته-ایم.

$$cp = L - 1 = 199$$

2)

ابتدا مقدار مینیمم و ماکزیمم را برای تعداد زیر حامل ها محاسبه می‌کنیم.

مقدار مینیمم تعداد زیر حامل ها در واقع همان cp می‌باشد زیرا قرار است پیشوند گردشی‌ای از داده های ارسالی یک بلاک به آن اضافه کنیم و اگر تعداد زیر حامل ها کمتر باشد نمی‌توانیم پیشوند گردشی را تشکیل دهیم.

$$n_c > cp$$

مقدار ماکزیمم نیز اینگونه بدست می‌آید که از آنجایی که زمان همدوسی کانال به ما مقدار زمانی که کانال از خود مستقل می‌شود را نشان می‌دهد، طول زمانی بلاک نیز نباید بیشتر از آن باشد زیرا در غیر این صورت بخشی از داده را با یک کانال و بخش دیگر را با کانالی کاملا مستقل از دیگری فرستاده‌ایم که این خوب نمی‌باشد.

$$n_{c_{max}} = T_c \, . W = 5 \times 10^{-3} \times 20 \times 10^{6} = \; 10^{5}$$

در نتیجه:

$$199 < n_c < 10^5$$

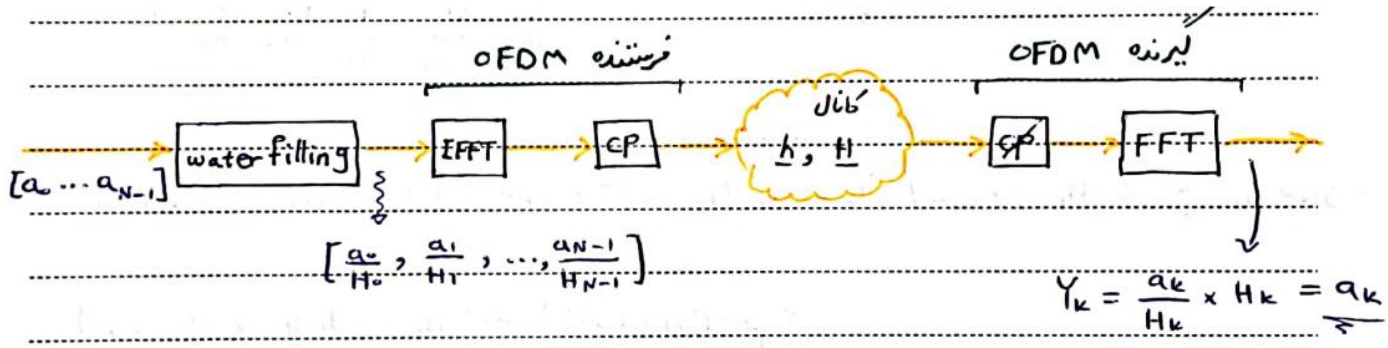
برای شبیه سازی n_c را برابر 10^4 در نظر می‌گیریم.

3)

تعداد کل بلاک های OFDM نیز به راحتی محاسبه می‌شود که برابر طول کل داده تقسیم بر تعداد زیر حامل می‌باشد.

$$Blocks = \frac{N}{n_c} = \frac{10^5}{10^4} = 10$$

4)



در تصویر بالا بلاک دیاگرام مربوط به سیستم OFDM را مشاهده می‌کنیم. در ادامه به توضیح هر بلاک می‌پردازیم.

Waterfilling: در این بلاک با فرض دانستن اصلاعات کانال که با روش های متفاوتی قابل محاسبه است یک ضریبی در سمبل های ارسالی ضرب می‌شود که با این ضریب در ادامه اثر کانال حذف می‌شود.

IFFT: در این بلاک از ورودی که داده های ما هستند IFFT می‌گیریم.

CP: در این بلاک با اضافه کردن L تا از سمبل های آخر ورودی به اول آن بردار را تغییر می‌دهیم. با این کار کانوولوشن خطی را به گردشی تبدیل می‌کنیم و از خاصیت آن استفاده می‌کنیم.

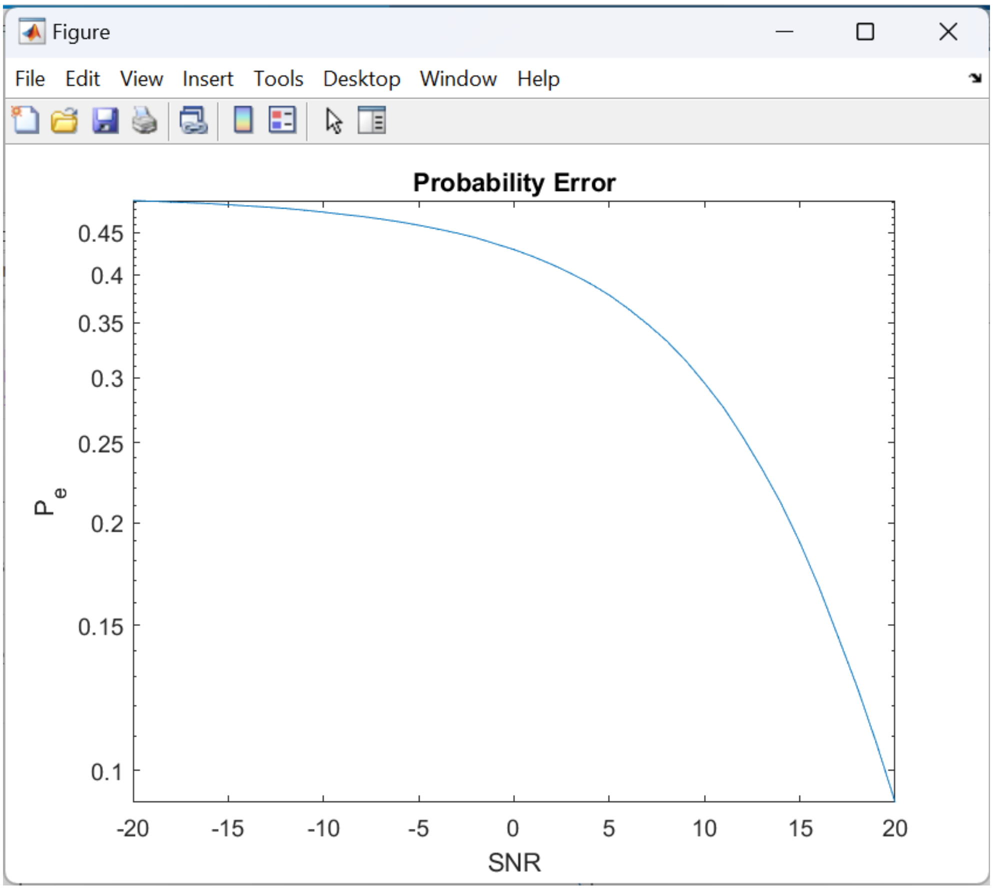
C/P: در این بلاک پیشوند گردشی را حذف می‌کنیم.

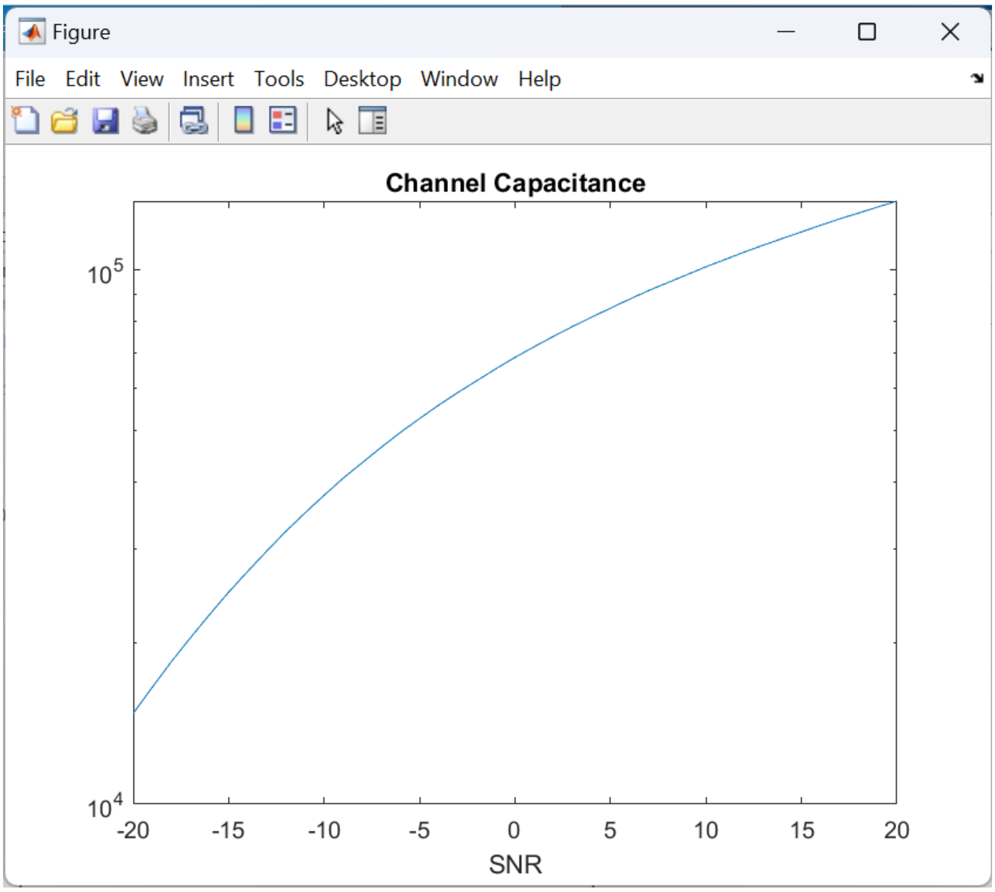
FFT: در این بلاک FFT می‌گیریم.

توجه شود که اگر از همسانساز استفاده کنیم در انتها پس از گرفتن FFT ضرایب همسانسازی را در آن ضرب می‌کنیم.

5)

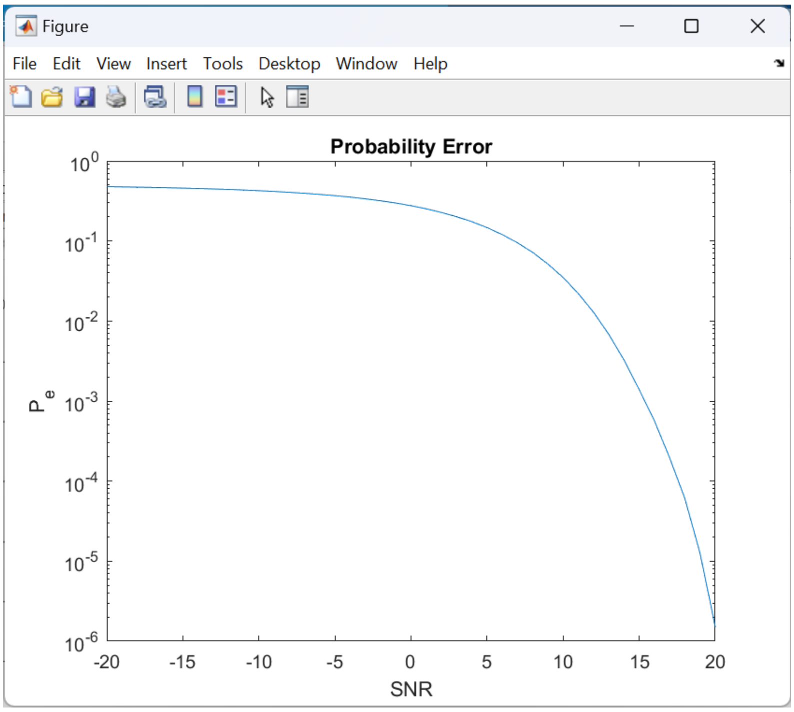
برای پیاده سازی این بخش کافیست تمام مراحل بلاک دیاگرام بالا را یک به یک پیاده کنیم.





6)

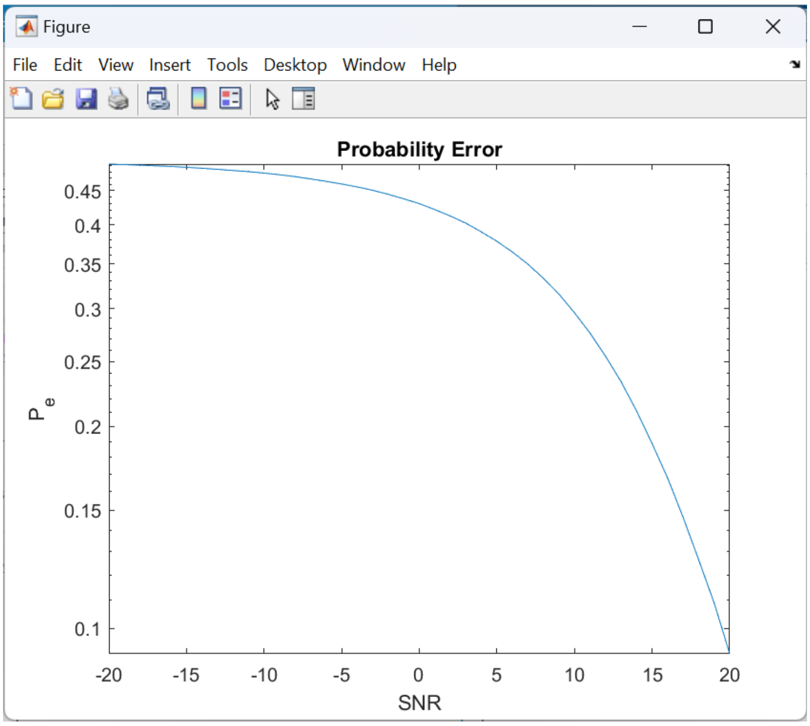
در این جا از داورسیتی در گیرنده استفاده می‌کنیم. یعنی 10 تا آنتن را در گیرنده خواهیم داشت و در واقع هر سمبل را در 10 کانال متفاوت می‌فرستیم. با بدست آوردن ضرایب MRC در نهایت تصمیم گیری را انجام می‌دهیم.



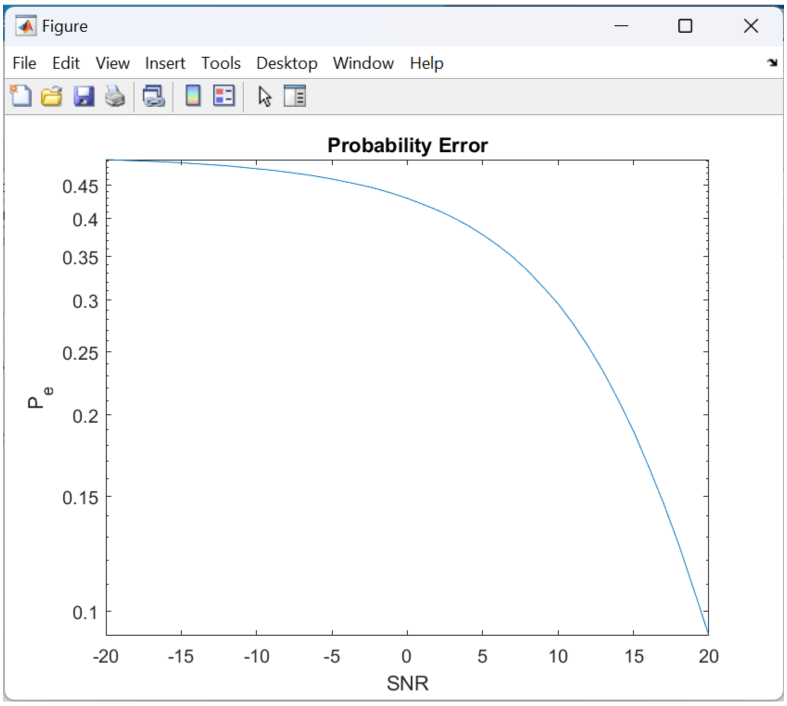
* مشاهده می‌کنیم که در این قسمت احتمال خطا به مراتب کمتر شده است و این نشان از اهمیت دایورسیتی دارد.

7)

ZF



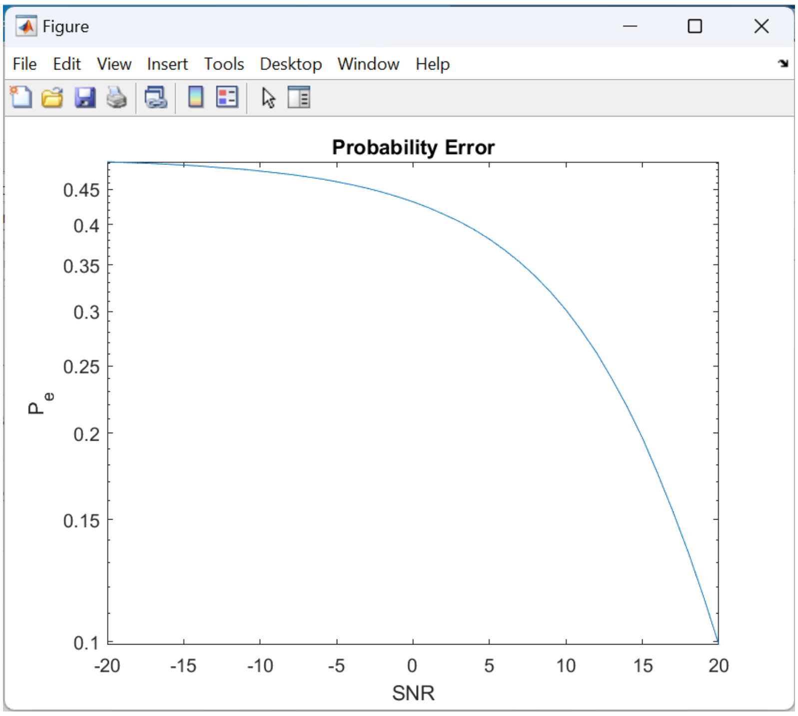
MMSE



* همانطور که مشاهده می‌کنیم احتمال خطا در این بخش خیلی مشابه بخش 5 شده است. این موضوع با انتظارات ما نیز سازگار است زیرا ماهیت واترفیلینگ و همسانسازی از منظر شبیه سازی با متلب بسیار شبیه است. اما باید توجه کنیم که هر یک از این روش ها در عمل دارای ملاحظاتی می‌باشد.

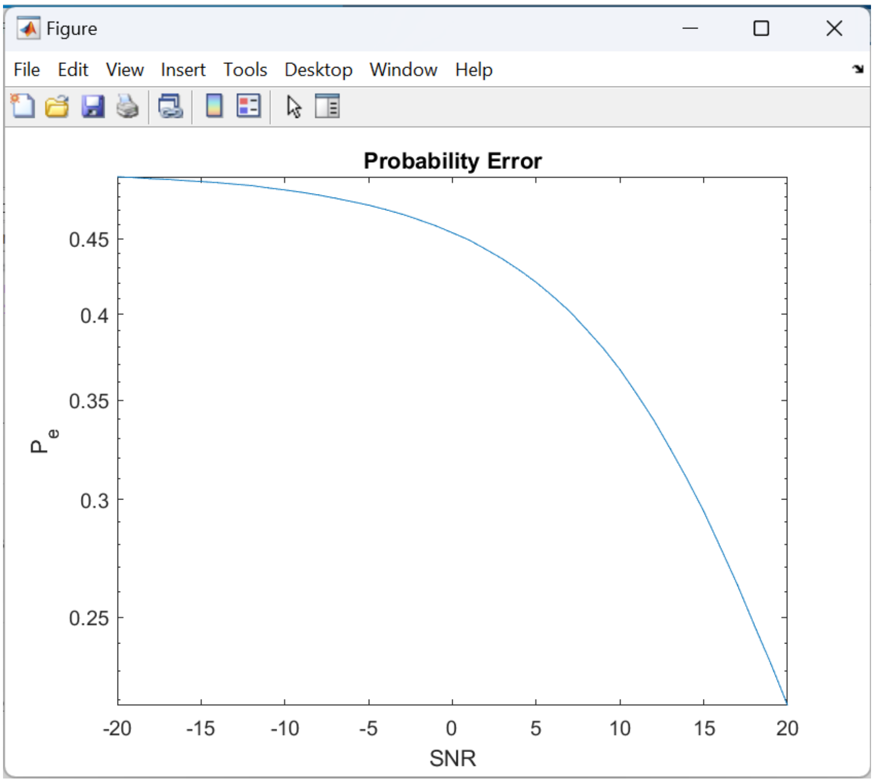
8)

Clipping -> 0.8



همانطور که مشاهده می‌کنیم با clipping 0.8 احتمال خطا تفاوت چندانی نکرده است.

Clipping -> 0.5



در اینجا که شرایط کلیپینگ را سختگیرانه تر کردیم مشاهده می‌کنیم که احتمال خطا بیشتر شده است.