



# تمرین کامپیوتری اول

مخابرات بیسیم  
بهار 1404

استاد: دکتر صباغیان  
تهیه و تنظیم: دستیاران آموزشی  
مهلت تحویل: 31 اردیبهشت 1404

## بخش اول: نگاهی به دایورسیتی<sup>1</sup> در کانال باند باریک

مقاله پیوست شده دیدگاه کاربردی‌ای از اهمیت دایورسیتی زمانی و مکانی را ارائه می‌دهد. در این بخش از شما خواسته می‌شود که ضمن معرفی مفهوم دایورسیتی زمانی که در درس آموخته‌ایم، به همراه بیان انواع روش‌های ترکیب داده‌های حاصل از دایورسیتی و معیارگزینش داده‌های حاصل از هر شاخه، خلاصه‌ای نیز از مقاله موجود ارائه دهید. به کمک مقاله، لزوم استفاده از دایورسیتی مکانی علاوه بر دایورسیتی زمانی را بیان نمایید و همچنین الگوریتم‌های استفاده شده در فرستنده و گیرنده را توضیح دهید. چگونه کیفیت انواع حالت‌ها تعیین می‌شود؟

برای پاسخ این بخش، فایل صوتی‌ای با طول حدود 15 دقیقه تهیه نمایید که در آن توضیحات خود را ارائه دهید. آوردن روابط اصلی مربوط به این بخش در گزارش خود کفایت می‌کند. سنجش کارکرد شما در این بخش از ترکیب فایل صوتی و خلاصه روابط اصلی در گزارش حاصل می‌شود.

## بخش دوم: شبیه‌سازی کانال باند باریک

یک سیستم مخابرات بی‌سیم را در نظر بگیرید. فرض کنید کانال، باند باریک باشد و پس از نمونه‌برداری، سیگنال دریافتی در لحظه  $m$  به صورت رابطه زیر باشد:

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

که در رابطه اخیر،  $h[m] \sim \mathcal{CN}(0, 1)$  و  $w[m] \sim \mathcal{CN}(0, N_0)$ .

1) فرض کنید از مدولاسیون  $BPSK$  برای ارسال داده استفاده شده باشد. به عبارتی  $x[m] = \pm a$

**الف)** نمودار احتمال خطای بهینه را بر حسب  $SNR$  در بازه  $[-20 \text{ dB}, 20 \text{ dB}]$  رسم کنید.

**ب)** نمودار قسمت الف را در حالتی که کانال محوشدگی نداشته باشد (به عبارتی  $h[m] = 1$ ) رسم کنید.

**ج)** احتمال خطای بهینه را به صورت نظری برای قسمت (ب) بدست آورید. برای رسیدن به احتمال خطای  $P_e = 10^{-6}$  مقدار  $SNR$  چند  $\text{dB}$  باید باشد؟

2) فرض کنید برای ارسال بیت 1 در دو بازه زمانی متوالی به ترتیب سمبل  $a$  و 0 ارسال کنیم و به طور شابه

برای ارسال بیت 0 در دو بازه متوالی به ترتیب 0 و  $a$  ارسال شود.

**الف)** نحوه تصمیم‌گیری بهینه و احتمال خطای بهینه را به صورت نظری بر حسب  $SNR$  بدست آورید و نمودار آن را با استفاده از رابطه بدست آمده در بازه  $[-20 \text{ dB}, 20 \text{ dB}]$  رسم کنید.

**ب)** نمودار احتمال خطای بهینه را بر اساس شبیه‌سازی بدست آورید و رسم کنید.

**ج)** با استفاده از رابطه بدست آمده در قسمت (الف) برای رسیدن به احتمال خطای  $P_e = 10^{-6}$  مقدار  $SNR$  چند  $\text{dB}$  باید باشد؟ این مقدار چند  $\text{dB}$  با قسمت (ج) سوال 1 تفاوت دارد؟

3) حال فرض کنید اطلاعات کانال (مقادیر  $h[m]$ ) به صورت کامل در گیرنده معلوم باشد. فرض کنید از

مدولاسیون  $BPSK$  برای ارسال داده استفاده شده باشد. به عبارتی  $x[m] = \pm a$

**الف)** نحوه تصمیم‌گیری بهینه در گیرنده و احتمال خطای بهینه آشکارسازی سمبل  $x[m]$  در گیرنده را به

صورت نظری بر حسب  $h[m]$  و میزان  $SNR$  بدست آورید و سپس مقدار میانگین احتمال خطا را بر

حسب  $SNR$  بدست آورید و نمودار آن را در بازه  $[-10 \text{ dB}, 10 \text{ dB}]$  رسم کنید. برای رسیدن به

احتمال خطای  $P_e = 10^{-6}$  حداقل مقدار  $SNR$  چند  $\text{dB}$  باید باشد؟

**ب)** با استفاده از شبیه‌سازی نیز، نمودار احتمال خطای قسمت قبل را رسم کنید و منحنی بدست آمده را

همراه با منحنی احتمال خطای بدست آمده در قسمت (ب) سوال 2 در یک نمودار رسم کنید. دو نمودار در

$SNR$  های به اندازه کافی بزرگ چند  $\text{dB}$  تفاوت دارند؟

**ج)** با توجه به نتایج بدست آمده، به نظر شما آیا دانستن اطلاعات کانال در گیرنده مزیت قابل توجهی نسبت به نداشتن این اطلاعات (مانند سوال 2) داشته است؟

4) (\*امتیازی) مانند سوال 3، فرض کنید اطلاعات کانال در گیرنده معلوم باشد. فرض کنید از مدولاسیون  $QPSK$  برای ارسال داده استفاده شده باشد.

الف) نمودار احتمال خطای بهینه را بر حسب  $SNR$  هم به صورت نظری و هم از طریق شبیه‌سازی بدست آورده و در بازه  $[-10\text{ dB}, 10\text{ dB}]$  رسم کنید.

ب) نسبت به سوال 2، در  $SNR$  های بالا، نمودار احتمال خطا چند  $dB$  تفاوت دارد؟ آیا احتمال خطا بهبود یافته است؟

5) در این سوال می‌خواهیم از روش دایورسیتی در زمان استفاده کنیم. فرض کنید برای ارسال سمبل  $x$  به تعداد  $L$  بار، این سمبل را ارسال کنیم و سپس در گیرنده این سمبل را آشکار کنیم. به عبارتی، سیگنال دریافتی در ارسال  $i$  ام به صورت زیر است:

$$y_i = h_i x + w_i, \quad L \geq i \geq 1$$

که در رابطه اخیر،  $w_i \sim \mathcal{CN}(0, N_0)$ .

الف) توضیح دهید در این روش، فاصله زمانی بین ارسال سمبل ها چقدر باید باشد؟ (نیازی به شبیه‌سازی نیست)

ب) فرض کنید از مدولاسیون  $BPSK$  برای ارسال داده استفاده شده باشد. به عبارتی  $x = \pm a$ . نحوه تصمیم‌گیری بهینه و احتمال خطای بهینه را به صورت نظری بر حسب  $SNR$  بدست آورید و سپس هم با استفاده از رابطه بدست آمده و هم به صورت شبیه‌سازی احتمال خطا را به ازای هر  $L \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$  بر حسب  $SNR$  در بازه  $[-10\text{ dB}, 10\text{ dB}]$  در یک نمودار رسم کنید. منحنی های بدست آمده را مقایسه و تحلیل کنید.

6) در این سوال می‌خواهیم از دایورسیتی در مکان استفاده کنیم. فرض کنید  $M$  آنتن در گیرنده و یک آنتن در فرستنده داشته باشیم. فرض کنید به اندازه کافی از هم فاصله داشته باشند تا بهره کانال در آنها از هم مستقل شود. به عنوان مثال، اگر  $M = 2$  باشد، آنگاه سیگنال دریافتی در بازه‌ی زمانی  $m$  ام به صورت زیر است:

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

**الف)** توضیح دهید چگونه می توان با استفاده از این ساختار، سیستم سوال 5 (دایورسیتی در زمان) را پیاده سازی کرد. (نیازی به شبیه سازی نیست).

**ب)** فرض کنید  $M = 2$  و مدولاسیون در فرستنده را  $BPSK$  فرض کنید. برای ارسال سمبل  $x_1$  و  $x_2$  از گدالموتی استفاده کنید و با استفاده از تصمیم گیری بهینه احتمال خطا را در گیرنده در بازه  $[-10 \text{ dB}, 15 \text{ dB}]$  رسم کنید.

\* راهنمایی: در طول درس دیدیم که در روش الموتی، از دو بازه زمانی متوالی برای ارسال دو سمبل  $u_1$  و  $u_2$  استفاده می شود. به طو دقیق تر در بازه زمانی  $m$  ام،  $x_1[m] = u_1$  و  $x_2[m] = u_2$  و در بازه زمانی بعدی  $x_1[m+1] = -u_2^*$  و  $x_2[m+1] = u_1^*$  انتخاب می شود. همچنین فرض می شود بهره کانال در این دو بازه زمانی متوالی ثابت باشد یعنی  $h_1[m] = h_1[m+1]$  و  $h_2[m] = h_2[m+1]$ . در این صورت، سیگنال دریافتی در این دو بازه زمانی به فرم برداری به صورت زیر است:

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

که در رابطه اخیر،  $w_i \sim \mathcal{CN}(0, N_0)$ .

**ج)** توضیح دهید از لحاظ احتمال خطا و نرخ ارسال، روش قسمت (ب) چه مزیت(هایی) نسبت به سوال 5 (برای  $L = 2$ ) دارد؟ (نیازی به شبیه سازی نیست).

## نکات کلی درباره تمرین

- در صورت وجود هرگونه سوال و ابهام، با دستیاران آموزشی از طریق [ایمیل](#) در ارتباط باشید. دستیاران آموزشی موظف به پاسخگویی از راه‌های ارتباطی دیگر نیستند.
- مطابق قوانین اعلام شده در ابتدای ترم عمل کنید.
- فایل صوتی و فایل گزارشکار به فرمت pdf. را به همراه کدهای شبیه‌سازی خود در پوشه‌ی zip. ذخیره نمایید و تا پایان روز 31 اردیبهشت به ایمیل درس ارسال نمایید.
- مشورت کردن، کمک به یکدیگر و هم‌فکری بسیار درست و سازنده است؛ به شرط آن که به یادگیری کمک کند. بنابراین مشورت در راستای فهم دقیق مسائل مانعی ندارد.