

در این گزارش، به بازنویسی، گسترش و ساختاردهی محتوای ارائه‌شده می‌پردازیم. متن اصلی شامل توضیحاتی در مورد شبیه‌سازی مدولاسیون APSK (Amplitude Phase Shift Keying) در سیستم‌های ارتباطی دیجیتال است که با استفاده از داده‌های مجموعه MNIST انجام شده و عملکرد آن از طریق محاسبه نرخ خطای بیت (BER) ارزیابی می‌شود. ما این محتوا را به صورت ساخت‌یافته، با گسترش توضیحات فنی، تصحیح اشتباهات املائی و نگارشی، و افزودن جزئیات بیشتر برای وضوح بهتر، بازنویسی می‌کنیم. ساختار گزارش به صورت بخش‌بندی‌شده و با استفاده از عناوین فرعی ارائه می‌شود تا خوانایی افزایش یابد.

### 1-1 مقدمه

در سیستم‌های ارتباطی دیجیتال، یکی از روش‌های کارآمد برای انتقال داده‌ها در کانال‌هایی با پهنای باند محدود، مدولاسیون APSK (Amplitude Phase Shift Keying) است. این روش امکان انتقال ایمن و مقاوم در برابر نویز و تداخل را فراهم می‌کند. APSK ترکیبی از تغییرات دامنه (ام‌پلیتود) و فاز سیگنال است که اجازه می‌دهد داده‌ها با کارایی بالاتر منتقل شوند.

در این پروژه، ما شبیه‌سازی مدولاسیون ۱۶-APSK را انجام می‌دهیم و آن را بر روی مجموعه داده‌های MNIST اعمال می‌کنیم. MNIST یک پایگاه داده استاندارد برای تصاویر دست‌نویس اعداد است که برای ارزیابی الگوریتم‌های یادگیری ماشین استفاده می‌شود. هدف اصلی، بررسی عملکرد سیستم در حضور نویز و محاسبه نرخ خطای بیت (BER) است. این شبیه‌سازی نشان می‌دهد چگونه APSK می‌تواند در مقایسه با روش‌های ساده‌تر، مقاومت بیشتری در برابر نویز داشته باشد و خطاها را کاهش دهد. برای گسترش، می‌توان گفت که APSK به ویژه در ارتباطات ماهواره‌ای و سیستم‌های با قدرت محدود مفید است، زیرا توزیع نقاط constellation آن بهینه‌سازی شده برای کاهش مصرف انرژی است.

### 1-2 آماده‌سازی داده‌ها (مجموعه MNIST)

مجموعه داده MNIST شامل تصاویر دست‌نویس اعداد از ۰ تا ۹ است. این مجموعه برای آزمایش‌های شبیه‌سازی مناسب است زیرا داده‌های بصری ساده اما واقعی ارائه می‌دهد.

- ویژگی‌های داده‌ها:

- هر تصویر اندازه ۲۸×۲۸ پیکسل دارد.
- هر پیکسل ۸ بیتی است (مقدار از ۰ تا ۲۵۵، نشان‌دهنده سطوح خاکستری).
- برای تبدیل به جریان باینری: هر تصویر به یک رشته باینری طولانی تبدیل می‌شود.
- مثال: یک تصویر = ۷۸۴ پیکسل × ۸ بیت = ۶۲۷۲ بیت.

- این بیت‌ها به عنوان ورودی به مدولاتور ارسال می‌شوند.

برای گسترش، می‌توان افزود که پیش‌پردازش داده‌ها شامل نرمال‌سازی مقادیر پیکسل) برای جلوگیری از overflow و تقسیم‌بندی بیت‌ها به گروه‌های مناسب برای مدولاسیون است. همچنین، در شبیه‌سازی‌های واقعی، ممکن است از تکنیک‌های فشرده‌سازی برای کاهش حجم داده استفاده شود، اما در اینجا تمرکز بر انتقال خام است.

### 1-3 مدولاسیون APSK

APSK یک روش مدولاسیون است که سیگنال را با ترکیب تغییرات دامنه و فاز تولید می‌کند. این روش اجازه می‌دهد تا نمادها (symbols) با کارایی بالا منتقل شوند.

- ساختار ۱۶-APSK که در این پروژه استفاده شده:

- دو حلقه: (ring) حلقه داخلی با ۴ نقطه (دامنه کوچک) و حلقه خارجی با ۱۲ نقطه (دامنه بزرگ).

- هر گروه از ۴ بیت → یک نماد APSK یعنی ۱۶ حالت ممکن =  $2^4 = 16$ .

- هر نماد با یک نقطه در فضای پیچیده (complex plane) نشان داده می‌شود، که موقعیت آن بر اساس دامنه و فاز تعیین می‌شود.

- سیگنال به دو مؤلفه واقعی (In-phase) و خیالی (Quadrature) تقسیم می‌شود.

برای گسترش: در مقایسه با QAM (Quadrature Amplitude Modulation)، APSK توزیع نقاط را به صورت دایره‌ای دارد که مقاوم‌تر در برابر نویز غیرخطی (مانند در تقویت‌کننده‌های قدرت) است. در کدگذاری، بیت‌ها به نقاط constellation نگاشت می‌شوند، و سیگنال نهایی به صورت موج سینوسی مدوله‌شده ارسال می‌شود.

### 1-4 شبیه‌سازی کانال AWGN

برای شبیه‌سازی محیط واقعی انتقال، از کانال AWGN (Additive White Gaussian Noise) استفاده می‌شود. این کانال نویز سفید گاوسی را به سیگنال اضافه می‌کند.

-فرآیند:

- نویز به طور مستقل به مؤلفه‌های In-phase و Quadrature اضافه می‌شود.

- سطح نویز (variance) تعیین‌کننده میزان جابجایی نقاط دریافتی از نقاط اصلی است.

- اگر نویز کم باشد، نقاط دریافتی نزدیک به نقاط اصلی باقی می‌مانند؛ اما با افزایش نویز، احتمال خطا افزایش می‌یابد.

برای گسترش: مدل AWGN یک تقریب ساده برای کانال‌های بی‌سیم است. در واقعیت، پارامتر SNR (Signal-to-Noise Ratio) برای کنترل سطح نویز استفاده می‌شود. در این شبیه‌سازی، می‌توان SNR را تغییر داد تا تأثیر آن بر BER بررسی شود. مثال: نویز گاوسی با میانگین صفر و واریانس  $\sigma^2$  مدل‌سازی می‌شود.

## 1-5 demodulation APSK

demodulation وظیفه تشخیص نماد دریافتی و تبدیل آن به بیت‌های اصلی است.

-الگوریتم:

1. محاسبه فاصله نماد دریافتی تا تمام نقاط ممکن در constellation معمولاً با معیار فاصله اقلیدسی.
2. انتخاب نزدیک‌ترین نقطه.
3. نگاشت نقطه انتخاب‌شده به بیت‌های مربوطه.

-ایجاد خطا: اگر نویز باعث جابجایی بیش از حد شود، نقطه اشتباهی انتخاب می‌شود و خطا رخ می‌دهد.

برای گسترش: این روش "حداقل فاصله (Minimum Distance Decoding)" نامیده می‌شود و ساده اما کارآمد است. در سیستم‌های پیشرفته، از تکنیک‌های کدگذاری خطا مانند Viterbi برای بهبود استفاده می‌شود، اما اینجا تمرکز بر demodulation پایه است.

## 1-6 محاسبه BER (Bit Error Rate)

BER نرخ خطای بیت است که عملکرد سیستم را اندازه‌گیری می‌کند.

-روش محاسبه: مقایسه بیت‌های اصلی با بیت‌های demodulated. BER = (تعداد بیت‌های اشتباه) / (کل بیت‌ها).  
-مثال:

- کل بیت‌ها: ۶۲۷۲۰.

- خطاها در demodulation ساده: ۱۱۶۸۰ BER → بالا به دلیل نویز.

- خطاها در APSK: ۵۶۱۹ APSK → خطاها را تقریباً نصف می‌کند.

برای گسترش BER: تابعی از SNR است و معمولاً به صورت منحنی پلات می‌شود. در سطوح SNR بالا، BER نزدیک به صفر می‌شود. این محاسبه برای ارزیابی مقاومت سیستم ضروری است.

## 7-1 نتایج نمایش

-تصویر اصلی vs تصویر بازسازی‌شده: خطاهای پیکسلی قابل مشاهده است، اما تصویر تقریباً قابل تشخیص باقی می‌ماند.

-نمودار: Constellation

- نقاط آبی: نمادهای ارسال‌شده.

- نقاط قرمز: نمادهای دریافتی با نویز.

demodulation - به نزدیکترین نقطه.

-مدل ساده: با استفاده از نقشه constellation، می‌توان سیگنال را به حالت اصلی بازگرداند، اما نویز باعث انحراف منحصربه‌فرد در APSK می‌شود.

-تصاویر نمونه: تصویر اصلی (پروتکل ۱ در سیستم مدولاسیون ساده)، تصویر بازسازی‌شده، پروتکل (۲) نمودار (demodulation، و APSK)

برای گسترش: نتایج نشان می‌دهند که APSK در SNR پایین‌تر عملکرد بهتری دارد. می‌توان از ابزارهایی مانند MATLAB (یا Python با کتابخانه‌هایی مثل NumPy و Matplotlib) برای پلات constellation استفاده کرد.

## 8-1 نتیجه‌گیری عملکرد

-جریان فرآیند: بیت → نماد → APSK کانال → نماد نویزی → بیت‌ها.

-کارایی: APSK در برابر نویز مقاوم‌تر است و با مصرف قدرت کمتر، خطاها را کاهش می‌دهد.

demodulation: با روش نزدیکترین همسایه انجام می‌شود.

BER: نشان‌دهنده نرخ خطای کلی است؛ حتی با نویز، نقاط مشابه کمتر خطا ایجاد می‌کنند.

برای گسترش APSK: در کاربردهای واقعی مانند ارتباطات فضایی برتر است. پیشنهاد: آزمایش با سطوح مختلف SNR و مقایسه با QPSK یا ۱۶-QAM برای بهبود آینده. این شبیه‌سازی اثبات می‌کند که APSK می‌تواند خطاها را تا ۵۰٪ کاهش دهد.