

به نام خدا



دانشگاه صنعتی شریف  
دانشکده مهندسی برق

پروژه درس سیگنال‌ها و سیستم‌ها  
گروه دکتر بهروزی

عنوان:

**مخابرات نوری باینری**

اردیبهشت ۱۴۰۱

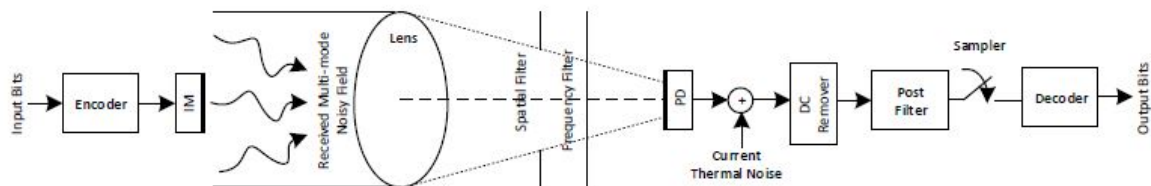
## ۱ مقدمه

تا اواسط دهه ی ۷۰ میلادی رسانه ی انتقال داده مبتنی بر انتشار امواج الکترومغناطیس در فضای آزاد و همچنین در سیم های الکتریکی بود. از طرفی نور نیز به عنوان صورتی از امواج نوری به شکل سنتی در مخابرات دریایی برای انتقال پیام بین کشتی ها در قالب کد مورس استفاده می شد. واضح بود که نور میتواند به عنوان یک موج الکترومغناطیسی برای انتقال داده در نرخ های بالا استفاده شود اما به دو دلیل این مهم محقق نشده بود: اول: منبع نوری که بتواند با فرکانس بالا کار کند و بتواند سیگنال های پیام را با فرکانس های مطلوب مخابرات تولید کند، پیاده سازی نشده بود. دوم: برخلاف موج های رادیویی، نور برای انتقال در فضای آزاد مناسب نیست. دلیل آن هم کدورت بالای هوا در مقابل انتشار طیف نور بود. به همین دلیل لازم بود رسانه ی مناسبی برای انتشار نور ساخته شود.

مبانی تئوری لیزر را آلبرت آینشتاین در سال ۱۹۱۶ میلادی مطرح کرده بود اما پیاده سازی عملی و صنعتی آن تا اواخر دهه ی ۵۰ به تعویق افتاد. در سال ۱۹۶۰ علی جوان دانشمند ایران اولین لیزر گازی را ساخت و به دنبال آن از سال ۱۹۶۲ مبانی تئوری لیزرهای نیمه هادی که با "ال ای دی" کار می کردند پایه ریزی شد و به این ترتیب مانع اول از سر راه توسعه ی مخابرات نوری برداشته شد.

ایده ی استفاده از شکست نور برای هدایت پرتوهای نور را اولین بار جان تیندال در سال ۱۸۴۸ مطرح کرد: "وقتی نور از هوا وارد آب می شود به سمت خط عمود بر سطح خم می شود و وقتی از آب وارد هوا می شود از خط عمود دور می شود. اگر زاویه پرتو نور با خط عمود در تابش از داخل آب بزرگتر از ۴۸ درجه شود هیچ نوری از آب خارج نمی شود در واقع نور به طور کامل از سطح آب منعکس میشود. زاویه ای که انعکاس کلی آغاز میشود را زاویه بحرانی می نامیم."

به رغم قدمت این ایده، اولین سیستم کارای فیبر نوری را مانفرد برنر در سال ۱۹۶۵ پیاده سازی کرد. و در کمتر از پنج سال حد تضعیف حیاتی  $20 \text{ dB/km}$  محقق شد. در ۱۵ سال بعد، قریب به ۲ میلیون متر فیبر نوری در سراسر دنیا کشیده شد و این مقدار امروز به حدود ۱.۱ میلیون کیلومتر رسیده است. به دلیل فراگیری و اهمیت مخابرات نوری، در این پروژه قصد داریم با مبانی اولیه ی مخابرات نوری آشنا شویم.



شکل ۱: سیستم مخابرات نوری دیجیتال باینری غیرهمدوس

## ۲ آشنایی با آشکارسازهای نوری

آشکارسازهای نوری حسگرهایی حساس به نور و یا سایر امواج الکترومغناطیسی هستند. آشکارساز نوری از یک اتصال  $pn$  تشکیل شده است. جذب فوتون های نور در ناحیه ی تخلیه موجب ایجاد جفت های الکترون-حفره می شود و از این طریق تابش نور را به جریان الکتریکی تبدیل می کنند. می توان نشان داد که تعداد الکترون های آزاد شده در طی بازه ی آشکار سازی  $\Delta t$  و بر روی سطح  $\Delta A$  آشکارساز نوری، از توزیع پواسون پیروی می کند. یعنی احتمال منتشر شدن  $k$  الکترون برابر است با:

$$p(k) = \frac{e^{-m_v} \times m_v^k}{k!} \quad (1)$$

که در این عبارت  $m_v$  نرخ میانگین برخورد فوتون است و این گونه محاسبه می شود:

$$m_v = \alpha \int_0^T \int_{A_d} I_d(t, A) dA dt \quad (2)$$

که در عبارت فوق  $\alpha$  به این شیوه محاسبه می شود و ضریب تبدیلی از انرژی به تعداد است:

$$\alpha = \frac{\eta}{hf} \quad (3)$$

که در آن  $\eta$  کارایی کوانتومی آشکارساز،  $h$  ثابت پلانک و  $f$  فرکانس نور تابیده شده است.

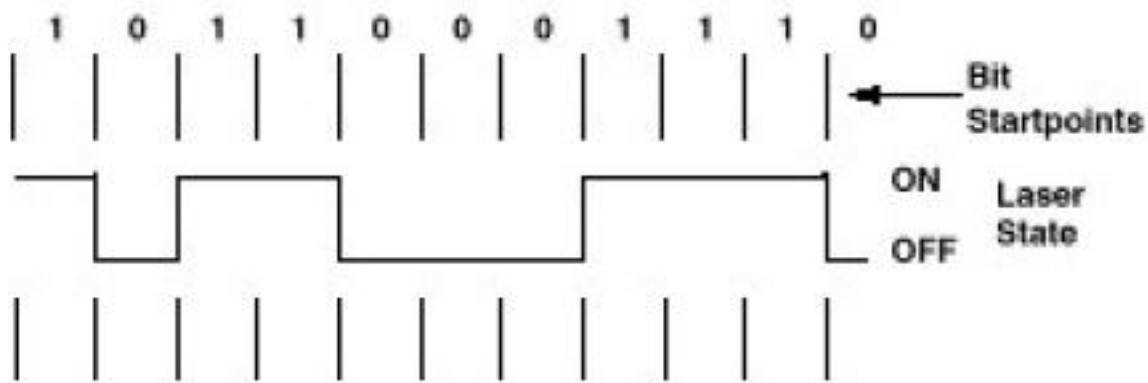
نویز در سمت آشکارساز می تواند منابع مختلفی داشته باشد از قبیل تابش زمینه، نویزهای حرارتی، نویز ذاتی آشکار سازی و .... این نویز باعث می شود زمانی که منبع خاموش است و هیچ گونه توانی به سمت آشکارساز گسیل نمی کند تعداد  $k_b$  الکترون آزاد شوند که به این الکترون ها، الکترون های پس زمینه گفته میشود. الکترون هایی که بیان گر انرژی ساطع شده از منبع هستند تعدادی برابر با  $k_s$  دارند و به آن ها الکترون های سیگنال گفته می شود.

### ۳ مدولاسیون های نوری

همان گونه که در قسمت قبل توضیح داده شد، آشکارسازی نور بر اساس انرژی دریافت صورت می گیرد. بدیها مقدار انرژی همواره مثبت است و از این رو شمای مدولاسیون مخابرات نوری با مخابرات رادیویی متفاوت خواهد بود. در این قسمت با دو نمونه از مدولاسیون های مرسوم در حوزه ی مخابرات نوری آشنا می شویم:

#### ۱-۳ OOK

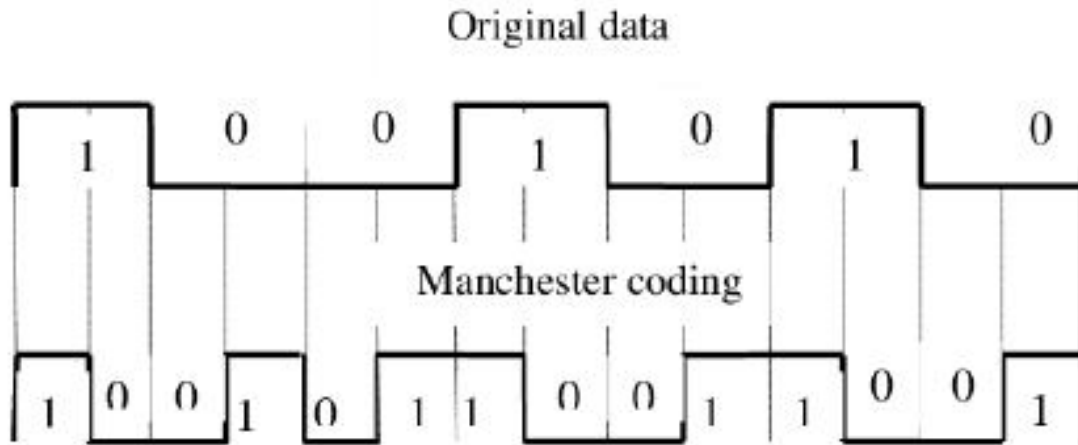
مدولاسیون کلیدزنی روشن-خاموش یا اصطلاحاً *OOK* اطلاعات با سوئیچینگ نور منتقل میشوند. به عنوان نمونه برای ارسال بیت 1 در بازه ی زمان کوتاه  $T_b$  منبع نور روشن می شود و برای ارسال بیت 0 در بازه زمان به همان طول منبع نور خاموش می ماند.



شکل ۲: کلید زنی روشن خاموش

#### ۲-۳ سیگنال دهی منچستر

در کدینگ منچستر برای ارسال داده ها بازه ی زمان  $T_b$  را به دو نیمه تقسیم می کنیم. برای ارسال بیت 1 در بازه ی  $[0, T_b/2]$  منبع را روشن می کنیم و برای ارسال بیت 0 در بازه ی  $[T_b/2, T_b]$  منبع را روشن نگه می داریم.



شکل ۳: سیگنال دهی منچستر

## ۴ سوالات

در تمام سوالات الفبای منبع را متساوی احتمال فرض کنید.

### ۴-۱ محاسبه ی احتمال خطا برای کلیدزن روشن وخاموش

ابتدا رابطه ای را برای محاسبه ی احتمال خطا در یک سیستم مخابرات نوری که با کلیدزنی روشن خاموش کار می کند، به دست آورید. سپس حد آستانه ای برای تصمیم گیری در مورد بیت ارسال شده بر اساس تعداد الکترون های آزاد شده به دست آورید. به ازای  $K_b = 1, 5, 10, 20$  تعداد الکترون های سیگنال  $K_s$  را که برای تحقق احتمال خطای  $p_e = 10^{-4}$  لازم است، به دست آورید.

قسمت امتیازی: نمودار احتمال خطا را برحسب  $K_s$  برای مقادیر  $K_b = 1, 5, 10, 20$  رسم کنید.

### ۴-۲ محاسبه ی احتمال خطا برای سیگنال دهی منچستر

خطا در این سیستم زمانی روی می دهد که تعداد الکترون های آزاد شده در نیمه ای که منبع خاموش است، بیشتر از زمانی باشد که منبع بایست روشن باشد. با توجه به این نکته رابطه ای برای احتمال خطا در این سیستم مخابراتی بیابید و مشابه قسمت قبل تعیین کنید تعداد الکترون های سیگنال  $K_s$  برای تحقق احتمال خطای  $p_e = 10^{-4}$  و به ازای  $K_b = 1, 5, 10, 20$  چقدر است. نتیجه را با تعداد الکترون های

سیگنال که در قسمت قبل یافته اید مقایسه کنید و نتیجه را توجیه کنید.  
قسمت امتیازی: نمودار احتمال خطا را برحسب  $K_s$  برای مقادیر  $K_b = 1, 5, 10, 20$  رسم کنید.

## ۵ موارد تحویلی

فایل زیپ حاوی گزارش بصورت *PDF* و فایل های متلب (*mfiles*). .