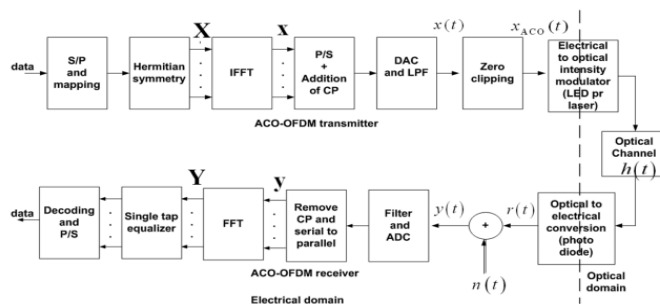


## ۱ OFDM نوری

یکی از حوزه های جذاب انتقال اطلاعات استفاده از نور و ادوات نوری همچون LEDها و لیزر ها برای انجام این کار است. یکی از معضلاتی که ما در ارسال اطلاعات داریم تخصیص پهنای باند است و روز به روز با توجه به گسترده شدن دستگاه های هوشمند و موبایل ها به این مشکل افزوده میشود، این روش باعث میشود که معضل تخصیص پهنای باند را فراموش کنیم و به انتقال اطلاعات بپردازیم. از جمله تفاوت هایی که این شیوه انتقال اطلاعات با روش های کلاسیک و مدرن دارد این است که ما نمیتوانیم از روش های مدولاسیون های مرسوم و مدولاسیون های تک حامل استفاده کنیم، از دلایل این امر میتوان به این نکته اشاره کرد که به دلیل تفاوت نحوه ارسال اطلاعات (ارسال با شدت نور) امکان تداخل بین نمونه ها افزایش پیدا میکند و علی الخصوص این امر در ارسال اطلاعات با نرخ بیت بالا خود را نشان میدهد و همچنین در ارسال اطلاعات استفاده از مدولاسیون های تک حامل باعث میشود که نتوانیم این ویژگی را به سیستم دهیم که چند کاربر بطور همزمان بتوانند به ارسال و دریافت اطلاعات بپردازند. در نتیجه رو به استفاده از مدولاسیون OFDM می آوریم. همان طور که مشخص است ما باز هم در استفاده از مدولاسیون OFDM برای کاربرد نوری با چالش روبرو میشویم چرا که در OFDM مرسوم ما بیت هایی مختلط را ارسال میکنیم ولی در این سیستم مخابراتی نوری اطلاعات با شدت نور ارسال میشوند، پس واضح است که نمیتوانیم از عددی مختلط به شدت نور برسیم. چالش دیگر هم این است که ما باز هم نمیتوانیم عددی منفی را به عنوان شدت نور لیزر در نظر بگیریم. دلایل ذکر شده مشخص میکند که ما برای انجام این مهم باید تغییراتی در سیستم OFDM مرسوم و معمولی به وجود بیاوریم. از جمله مهم ترین روش های در OFDM نوری میتوان به ACO-OFDM و DCO-OFDM اشاره کرد. تفاوت دو روش یاد شده در برطرف کردن چالش های ذکر شده است. این تفاوت در روش باعث میشود که در موارد مختلف بر حسب کاربرد از کدام روش استفاده کنیم.

### ۱.۱ ACO-OFDM

در ACO-OFDM<sup>۱</sup> تنها زیر حامل های با اندیس فرد اطلاعات را انتقال میدهند. در حالی که زیر حامل های با اندیس زوج یک بایاس را ایجاد میکنند که باعث میشوند سیگنال OFDM ارسال شده بتواند غیر منفی شود. [۸]



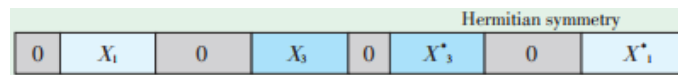
شکل ۱: سیستم ACO-OFDM

<sup>1</sup>Asymmetrically Clipped Optical

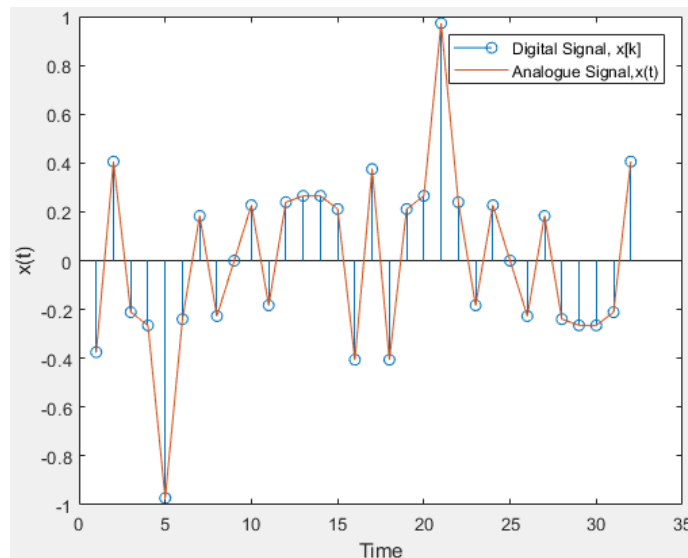
### ۱.۱.۱ فرستنده و گیرنده

شکل ۱ یک سیستم ACO-OFDM را نشان می‌دهد. سیگنال ورودی به  $\mathbf{X}, \text{IFFT}$  تنها از اندیس های فرد تشکیل شده و اندیس های زوج برابر صفر قرار گرفته اند.  $\mathbf{X} = [0, X_1, 0, X_3, \dots, X_{N-1}]$  همچنین وکتور  $\mathbf{X}$  دارای تقارن هرمیتی<sup>۲</sup> میباشد چرا که میخواهیم وکتور خروجی  $\mathbf{x}, \text{IFFT}$  حقیقی باشد. در شکل ۲ بردار ورودی به  $\text{IFFT}$  مشخص شده است. [۲] سیگنال خروجی  $\mathbf{x}$ ، حقیقی میباشد و دارای ویژگی ضد تقارن<sup>۳</sup> است همانطور که در رابطه زیر میبینیم. [۴] برای واضح تر شدن این موضوع شبیه سازی انجام شده در متلب برای خروجی  $\mathbf{x}, \text{IFFT}$  در شکل ۳ آمده است و مشاهده میشود که با تساوی ۱ همخوانی دارد.

$$x_k = -x_{k+\frac{N}{2}} \quad \text{for } 0 < k < \frac{N}{2}. \quad (1)$$



شکل ۲: ورودی IFFT در ACO-OFDM



شکل ۳: خروجی  $\mathbf{x}, \text{IFFT}$  در ACO-OFDM

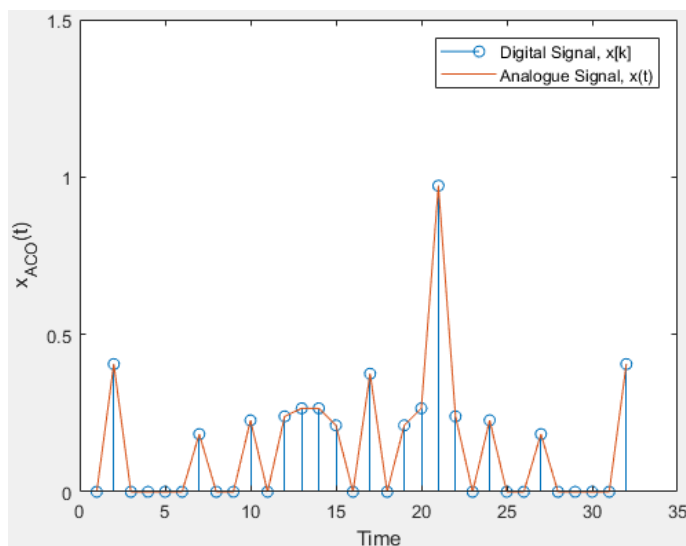
فرستنده ACO-OFDM خیلی شبیه به DCO-OFDM است. ابتدا  $x$  سریال میشود و سپس CP<sup>۴</sup> را انجام میدهیم.  $x$  به آنالوگ تبدیل میشود و خروجی از یک فیلتر پایین گذر ایده آل عبور میکند و نتیجه  $x(t)$

<sup>۲</sup>hermitian symmetry

<sup>۳</sup>anti symmetry

<sup>۴</sup>Cyclic Prefix

میشود. به دلیل این که نمونه های منفی نمیتوانند ارسال شوند چون سیستم IM/DD است. در صفر قطع میشود و سیگنال ACO-OFDM،  $x_{ACO}(t)$  حاصل میشود در شکل ۴ میتواند این سیگنال را مشاهده کنید. بخاطر خاصیت ضد تقارن این سیگنال که در رابطه ۱ مشاهده شد با بریدن و قطع کردن سیگنال در صفر هیچ اطلاعاتی از بین نمی رود. هم چنین با بریدن و قطع کردن سیگنال یک نویز جدید مانند تداخل روی زیر حامل های زوج به وجود می آید. [۳] سپس  $x_{ACO}(t)$  به عنوان ورودی به فرستنده نوری ایده آل داده می شود و ساختار گیرنده هم دقیقاً مانند گیرنده DCO-OFDM است با این تفاوت که در ACO-OFDM تنها زیر حامل های فرد دمودله میشوند چرا که تنها این زیر حامل ها اطلاعات را انتقال می دهند.



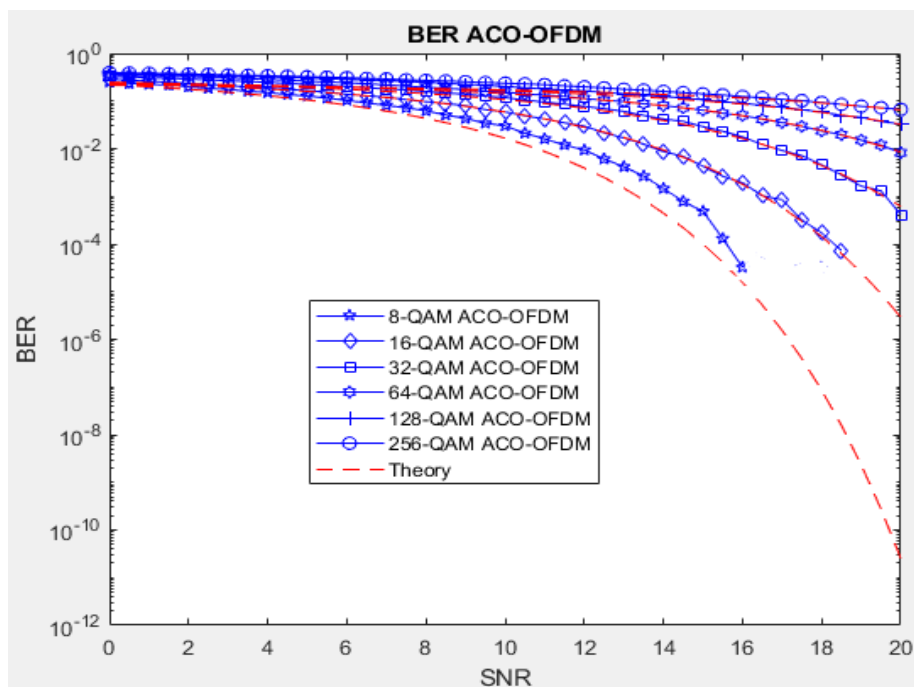
شکل ۴:  $x_{ACO}(t)$

#### ۲.۱.۱ محاسبه احتمال خطا

در این قسمت احتمال خطا ACO-OFDM مورد بررسی قرار میگیرد و فرمول تئوری بدست آمده از مقاله فلان همراه با شبیه سازی سیستم در یک نمودار نشان داده میشوند. فرمول احتمال خطای ACO-OFDM در زیر آمده است.

$$BER_{ACO} = \frac{2(\sqrt{M} - 1)}{\sqrt{M} \times \log_2 \sqrt{M}} \times Q\left(\sqrt{\frac{3 \times SNR}{M - 1}}\right) \quad (2)$$

در نمودار زیر نیز هم نمودار های تئوری و هم نمودارهای حاصل از شبیه سازی رسم شده اند.



شکل ۵: احتمال خطا سیستم ACO-OFDM

## ۲ DCO-OFDM

روش دیگری که در Optical-OFDM در سیستم های مخابرات نوری استفاده می شود روش DCO-OFDM<sup>۵</sup> می باشد. OFDM معمولی در انتها یک سیگنال مختلط ایجاد می کند اما چون در سیستم های مخابراتی نوری از LED<sup>۶</sup> استفاده می شود و LED نیز فقط قادر به مدوله کردن شدت نور می باشد، بنابراین سیگنالی که ایجاد می شود باید حقیقی و مثبت باشد.

### ۱.۲ فرستنده و گیرنده

خروجی سیستم IFFT مطابق با رابطه ی زیر به دست می آید:

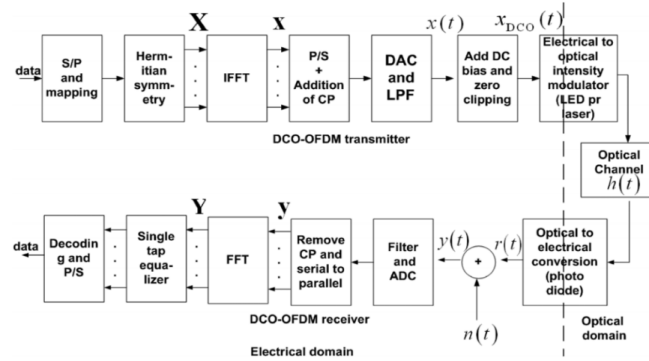
$$x_m = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{j \frac{2\pi k m}{N}} \quad \text{for } 0 \leq m \leq N-1. \quad (3)$$

در تکنیک DCO-OFDM بردار  $X$  را به گونه ای در نظر می گیرند که خروجی رابطه ی ۳ یک سیگنال حقیقی بشود.

$$X = [X_1, X_2, X_3, \dots, X_{N-1}] \quad (4)$$

<sup>5</sup>DC biased optical OFDM

<sup>6</sup>Light Emitting Diode



شکل ۶: سیستم DCO-OFDM

$$X_{DCO} = [0, X_1, X_2, X_3, \dots, X_{N-1}, 0, X_{N-1}^*, X_{N-2}^*, X_{N-3}^*, \dots, X_1^*] \quad (5)$$

در این صورت طول  $X$  برابر با  $2N$  می‌شود و رابطه IFFT برای  $X$  را به صورت زیر می‌توان نوشت:

$$x_m = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{2N-1} X_k e^{j \frac{2\pi k m}{N}} \quad \text{for } 0 \leq m \leq 2N-1. \quad (6)$$

تا اینجا با استفاده از تکرار کردن اطلاعات و از دست دادن بهره‌ی طیفی سیگنال حقیقی به دست آمده است. اما در مرحله‌ی بعدی طبق شکل ۶ اضافه کردن *Cyclic Prefix* می‌باشد. در این بلوک اگر طول رشته‌ی ورودی  $L$  باشد، به تعداد  $L/4$  از انتهای رشته را در ابتدای رشته‌ی ورودی کپی می‌کنیم. این کار باعث می‌شود که گیرنده دچار ISI<sup>۷</sup> نشود.

در مرحله‌ی بعدی که اصلی‌ترین قسمت روش DCO-OFDM می‌باشد، برای ایجاد یک سیگنال حقیقی و مثبت باید مقادیر منفی سیگنال را به مقادیر مثبت تبدیل کرد. بنابراین یک مقدار DC به سیگنال افزوده می‌شود. این مقدار بایاس طبق شکل ۶ در حالت پیوسته به سیگنال افزوده می‌شود.

$$x_{DCO}(t) = x(t) + B_{DC} \quad (7)$$

بعد از این مراحل سیگنال دیگر تغییری پیدا نمی‌کند و درگیرنده ابتدا با فرض سنکرون بودن گیرنده و فرستنده قسمت *Cyclic Prefix* حذف می‌شود. پس از آن از حوزه‌ی زمان با استفاده از ماژول FFT به حوزه‌ی فرکانس باز می‌گردد.

*Single Tap Equalizer* نیز برای حذف اثرات کانال می‌باشد. در این قسمت در ضمن می‌توان اثراتی هم چون *Multi-Path fading* را نیز کم کرد و پس از حذف اثرات کانال مطابق با آن مدلاسیون که در فرستنده استفاده شده است، دمدولاسیون انجام می‌شود و سیگنال اطلاعات به دست می‌آید.

یکی از معایب این روش مصرف انرژی زیاد می‌باشد و از لحاظ انرژی خیلی بهینه نمی‌باشد، زیرا که در فرستنده با افزودن بایاس به سیگنال انرژی سیگنال زیاد می‌شود و هم چنین با افزودن سیگنال بایاس به سیگنال اصلی احتمال اشباع شدن بیشتر می‌شود.

## ۲.۲ شبیه سازی

در این قسمت شبیه سازی این روش در متلب انجام شده است و نمودار *Bit Error Rate* را به دست آورده‌ایم. در ابتدا سیگنال تصادفی‌ای را به عنوان

<sup>۷</sup>Inter Symbol interference

## مراجع

- [1] J. Armstrong and B. J. C. Schmidt, "Comparison of asymmetrically clipped optical OFDM and DC-biased optical OFDM in AWGN," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 12, pp. 343–345, 2008.
- [2] H. Elgala, R. Mesleh, and H. Haas, "Practical considerations for indoor wireless optical system implementation using OFDM," in *Proc. ConTEL*, Zagreb, Croatia, 2009, pp. 25–30.
- [3] J. Armstrong and A. J. Lowery, "Power efficient optical OFDM," *Electron. Lett.*, vol. 42, pp. 370–372, 2006.
- [4] K. Asadzadeh, A. Dabbo, and S. Hranilovic, "Receiver design for asymmetrically clipped optical OFDM," in *Proc. IEEE GLOBECOM OWC Workshop*, Houston, TX, USA, 2011.