بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی برق

(گرایش مخابرات)

همسان‌سازی سیستم‌های OFDM نوری در مخابرات نوری فضای آزاد در حضور غیرخطینگی فضای آزاد

از:

سعید شهباززاده

استاد راهنما:

دکتر غلامرضا باقرسلیمی

استاد مشاور:

دکتر حبیب قربانی نژاد

اسفند ۱۳۹۲

تقدیم به

مادر و برادر عزیزم که با دعاهای بی وقفه شان مرا تا سر منزل مقصود یاری نمودند

تقدیر و تشکر

آن که ناتوان شد تا به توانایی برسم ...

آن که موهایش سپید شد تا روسفید شوم ...

مادر عزیزم

استادان گرامی ام

فهرست مطالب

فصل اول- مخابرات نوری فضای آزاد	۱
۱-۱ تاریخچه مخابرات نوری فضای آزاد	۲
۱-۲ مخابرات نوری فضای آزاد	۲
۱-۳ مقایسه سیستم FSO با سایر سیستم‌ها	۳
۱-۴ قسمت‌های مختلف سیستم مخابرات نوری فضای آزاد	۴
فصل دوم- بررسی عوامل موثر بر کانال	۹
۲-۱ عوامل متغیر کانال	۱۰
۲-۲ نویزهای موجود در کانال و تاثیر آن بر سیستم	۱۹
فصل سوم- سیستم تقسیم فرکانسی متعامد	۲۴
۳-۱ سیستم تقسیم فرکانسی متعامد	۲۵
۳-۲ تشریح عملکرد سیستم مخابرات نوری در حوزه OFDM	۳۲
فصل چهارم - همسان‌سازی کانال مخابراتی	۳۸
۴-۱ مقدمه	۳۹
۴-۲ طبقه بندی همسان‌سازها	۳۹
فصل پنجم- بررسی عملکرد مخابرات نوری فضای آزاد	۵۱
۵-۱ مشخصات سیستم مخابرات نوری فضای آزاد	۵۲
۵-۲ مشخصات همسان‌سازهای DFE و LTE در مخابرات نوری فضای آزاد	۵۴
۵-۳ نتیجه	۷۴
۵-۴ پیشنهادها	۷۵
۵-۵ مراجع	۷۶

فهرست جدول‌ها

جدول۵-۱ مشخصات سیستم مخابرات نوری فضای آزاد ۵۳

فهرست شکل‌ها

شکل۱-۱ فرستنده ۴
شکل۱-۲ مقایسه مدولاسیون‌های مختلف ۵
شکل۱-۳ عوامل موثر بر کانال ۶
شکل۱-۴ گیرنده ۷
شکل۲-۱ سه عامل اصلی موثر بر کانال ۹
شکل۲-۲ مدل حبابی کانال ۱۱
شکل۲-۳ مه ادوکشن ۱۲
شکل ۲-۴ مه کانوکشن ۱۳
شکل ۲-۵ مقایسه تضعیف دو نوع برف خشک و خیس ۱۴
شکل۲-۶ تضعیف ناشی از بارش ۱۵
شکل ۲-۷ رابطه بین توان دریافتی و طول موج ۱۶
شکل ۲-۸ تغییرات پارامتر ضریب شکست بر حسب تغییرات ارتفاع ۱۸
شکل ۲-۹ تغییرات توربولنس بر حسب تغییرات طول لینک ۱۸
شکل۲-۱۰ تغییرات توربولنس بر حسب طول موج ۱۹
شکل۲-۱۱ مکان خورشید در زمان‌های مختلف از سال در شهرهای تهران ۲۱
شکل ۳-۱ مقایسه سیستم تک کاریری با چند کاریری ۲۵
شکل ۳-۲ تقسیم پهنای‌باند در سیستم اولیه FDM ۲۶
شکل ۳-۳ تقسیم پهنای‌باند در سیستم OFDM نوری ۲۶
شکل ۳-۴ تبدیل اطلاعات با نرخ بالاتر به اطلاعات با نرخ پایین‌تر ۲۶
شکل۳-۵ کانال فیدینگ انتخاب‌گر ۲۷
شکل ۳-۶ کانال فیدینگ غیرانتخاب‌گر ۲۸
شکل ۳-۷ عبور سیگنال باریک‌باند از کانال انتخاب‌گر ۲۸
شکل ۳-۸ عبور سیگنال پهن‌باند از کانال انتخاب‌گر ۲۹
شکل ۳-۹ نمای کلی از سیستم OFDM نوری ۲۹
شکل ۳-۱۰ زیرکاریرهای متعامد در حوزه زمان ۳۱
شکل ۳-۱۱ زیرکاریرهای متعامد در حوزه فرکانس ۳۱
شکل ۳-۱۲ شمای گرافیکی مدولاسیون 16-QAM ۳۲
شکل ۳-۱۳عملیات IFFT ۳۳
شکل ۳-۱۴ تبدیل سیگنال از حوزه فرکانس به زمان ۳۳
شکل ۳-۱۵ تابع کسینوس برجسته در حوزه زمان ۳۴
شکل ۳-۱۶ تابع کسینوس برجسته در حوزه فرکانس ۳۵
شکل ۳-۱۷ تغییرات توان ارسالی با توجه به تغییرات جریان دریافتی و تغییرات دما ۳۶
شکل ۳-۱۸ تبدیل سیگنال از حوزه زمان به فرکانس ۳۷
شکل ۳-۱۹ عملیات FFT ۳۷
شکل ۴-۱ طبقه‌بندی کلی روش‌های همسان‌سازی به همراه نوع، ساختار و الگوریتم‌های مورد استفاده ۴۰
شکل ۴-۲ ساختار همسان‌ساز عرضی خطی پایه ۴۱
شکل ۴-۳ یک فیلترIIR با تاخیر خطی شامل دو مسیر تاخیر پیشرو و پسخور ۴۱

شکل ۴-۴ ساختار یک نمونه همسان‌ساز عرضی خطی ۴۲
شکل ۴-۵ ساختار همسان‌ساز لتیس ۴۳
شکل ۴-۶ ساختار همسان‌ساز با پسخور تصمیم(DFE) ۴۶
شکل ۴-۷ ساختار همسان‌ساز با تخمین حداکثر درست نمایی دنباله(MLSE) با فیلتر وفقی تطبیق یافته ۴۷
شکل ۵-۱ نمای کلی از سیستم مخابرات نوری فضای آزاد ۵۲
شکل ۵-۲ مقایسه میزان خطای همسان‌ساز DFE، همسان‌ساز LTE و بدون همسان‌ساز در مدولاسیون 16-QAM ۵۴
شکل ۵-۳ تاثیر دما بر تغییرات ضریب شکست ۵۶
شکل ۵-۴ تاثیر طول موج بر تغییرات ضریب شکست ۵۶
شکل ۵-۵ تاثیر رطوبت نسبی بر تغییرات ضریب شکست ۵۷
شکل ۵-۶ تاثیر فشار بر تغییرات ضریب شکست ۵۷
شکل ۵-۷ مقایسه میزان خطای همسان‌ساز DFE، همسان‌ساز LTE و بدون همسان‌ساز در مدولاسیون 16-PSK ۵۸
شکل ۵-۸ مقایسه میزان خطای همسان‌ساز DFE، همسان‌ساز LTE و بدون همسان‌ساز در مدولاسیون 64-QAM ۶۰
شکل ۵-۹ مقایسه میزان BER در مدولاسیون های 16-QAM، 16-PSK و 64-QAM با استفاده از همسان‌ساز DFE ۶۱
شکل ۵-۱۰ مقایسه میزان BER در مدولاسیون های 16-QAM، 16-PSK و 64-QAM با استفاده از همسان‌ساز LTE ۶۲
شکل ۵-۱۱ صورت فلکی مدولاسیون 64-QAM ۶۳
شکل ۵-۱۲ صورت فلکی مدولاسیون 64-QAM بعد از عبور از کانال در Eb/N0=۱۴ dB ۶۳
شکل ۵-۱۳ صورت فلکی مدولاسیون 64-QAM بعد از عبور از همسان‌ساز در Eb/N0=۱۴ dB ۶۴
شکل ۵-۱۴ صورت فلکی مدولاسیون 16-QAM ۶۴
شکل ۵-۱۵ صورت فلکی مدولاسیون 16-QAM بعد از عبور از کانال در Eb/N0=۸ dB ۶۵
شکل ۵-۱۶ صورت فلکی مدولاسیون 16-QAM بعد از عبور از همسان‌ساز در Eb/N0=۸ dB ۶۵
شکل ۵-۱۷ صورت فلکی مدولاسیون 16-PSK ۶۶
شکل ۵-۱۸ صورت فلکی مدولاسیون 16-PSK بعد از عبور از کانال در Eb/N0= ۸ ۶۶
شکل ۵-۱۹ صورت فلکی مدولاسیون 16-QAM بعد از عبور از همسان‌ساز در Eb/N0=۸ dB ۶۷
شکل ۵-۲۰ تاثیر بارش باران در بروز خطا در نرخ‌های مختلف ۶۸
شکل ۵-۲۱ تاثیر بارش برف مرطوب در بروز خطا در نرخ‌های مختلف ۶۹
شکل ۵-۲۲ تاثیر بارش برف خشک در بروز خطا در نرخ‌های مختلف ۷۰
شکل ۵-۲۳ تاثیر مه در بروز خطا در قابلیت دیدهای مختلف ۷۱
شکل ۵-۲۴ تاثیر طول کانال در بروز خطا در مخابرات نوری فضای آزاد ۷۲
شکل ۵-۲۵ تغییرات بروز خطا بر حسب تغییرات ارتفاع لینک ۷۳

فهرست علائم اختصاری

ADC …..…….Analog to Digital Converter

AWGN ...……..Additive White Gaussian Noise

BER ...……...……Bit Error Rate

CFR ……..……Channel Frequency Response

CIR ……....Channel impulse response

CP ……..……Cyclic Prefix

DAB …….…….……..Digital Audio Broadcasting

DFE ……Decision Feedback Equalization

DFT ...……..……Discrete Fourier Transform

DVB …….…….……..Digital Video Broadcasting

FSO……..Free Space Optical

FDM ..……Frequency Division Multiplexing

FIR ……..……Finite Impulse Response

ICI ...……Inter Carrier Interference

IDFT ..…… Inverse Discrete Fourier Transform

IEEE ……..…….. Institute of Electrical and Electronic Engineers

IFFT ……..……Inverse Fast Fourier Transformation

IIR ……..…….…….…….Infinite Impulse Response

ISI ……..Inter Symbol Interference

LMS ……Least Mean Square

LS ……...Least Square

MCM ...…….... Multi-Carrier Modulation

OFDM .....Orthogonal Frequency Division Multiplexing

PAPR ……...Peak to Average Power Ratio

PAR …….Peak to Average Ratio

RLS ……..…….Recursive Least Square

RRC ..…….. Root Raised Cosine

SC ……...……..Single Carrier

SER ……..…….Symbol Error Rate

SNR ……...…….. Signal to Noise Ratio

ZF ……..Zero Forcing

ZP …….…….……Zero Padding

چکیده

عنوان: همسان‌سازی سیستم‌های OFDM نوری در مخابرات نوری فضای آزاد در حضور غیرخطینگی فضای آزاد
نام دانشجو: سعید شهباززاده

مخابرات نوری فضای آزاد(FSO) یا سیستم بی‌سیم نوری، استفاده از لینک‌های نوری بین دو نقطه در آتمسفر می‌باشد. این سیستم علاوه بر مزایایی همچون هزینه کم و پهنای باند بالا، معایبی مانند کانال متغیر با زمان را نیز دارا می‌باشد. کانال متغیر با زمان با ایجاد تغییرات فازی و تلفات بر پرتوی ارسالی سبب بروز خطا در عملکرد سیستم می‌شود. به کمک استفاده از سیستم تقسیم فرکانسی متعامد و همسان‌سازها می‌توان تاثیر کانال را بر پرتوی ارسالی کاهش داد. در این پایان نامه از هر دو روش به منظور کاهش خطای سیستم استفاده شده است. لزوم استفاده از همسان‌ساز به منظور کاهش تغییرات فازی کانال رایلی بر پرتوی ارسالی می‌باشد. در این پایان نامه از دو همسان‌ساز LTE و DFE در مدولاسیون‌های 16-QAM، 16-PSK و 64-QAM استفاده کردیم. با مقایسه نتایج ناشی از شبیه‌سازی‌ها به این نتیجه رسیدیم که همسان‌ساز DFE و مدولاسیون 16-QAM بهترین عملکرد را برای مخابرات نوری فضای آزاد دارند. در نهایت در شرایطی که از همسان‌ساز DFE و مدولاسیون 16-QAM استفاده می‌کردیم تاثیر عوامل موثر بر کانال مانند مه، برف و باران و... را بر عملکرد سیستم بررسی کردیم.

کلید واژه: مدولاسیون چند کاریری، تسهیم تکنیک تقسیم فرکانسی متعامد، کانال بی‌سیم ، همسان‌سازی، مخابرات نوری فضای آزاد، همسان‌سازی با پسخور تصمیم، همسان‌سازی عرضی خطی

Abstract:

Equalization of Optical OFDM Systems in Free Space Optical Communications in the Presence of Free Space Nonlinearity

Student name:Saeed Shahbazzadeh

Free space optical (FSO) or optical_wireless communication, used to connect two spots in the atmosphere by optical links. In spite of its advantages such as low cost and high bandwidth, this system has disadvantages, like time varying channel. Time varying channel causes phase variation and loss on transmitted light beam and so degradation in system performance. It is possible to decrease channel effects on transmitted light beam by using orthogonal frequency-division multiplexing and equalizers.

In this thesis equalizers are used to compensate for phase variation effect of Reighley channel on transmitted light beam. Two equalizers namely LTE and DFE by using 16-QAM , 16-PSK and 64-QAM modulation schemes were used in this thesis. By comparing simulation results we learned that the best performance for free space optical communications will be achieved by using DFE and 16-QAM . Finally while using DFE and 16-QAM we studied the influence of effective factors on channel i.e. rain, snow, and fog etc on system performance.

Key word: Multi-Carrier Modulation, Orthogonal Frequency Division Multiplexing, Wireless Channel, Equalization, Decision Feedback Equalization

فصل اول

مخابرات نوری فضای آزاد

۱–۱ تاریخچه مخابرات نوری فضای آزاد

تکنولوژی FSO[1] یکی از تکنولوژی‌های جدید محسوب می‌شود، از سال ۱۹۶۰ توسط دانشمند آلمانی که روی انتقال اطلاعات به کمک اشعه نوری تحقیق می‌کرد، مورد بررسی قرار گرفت. این تکنولوژی پس از پی‌بردن به تکنولوژی فیبرنوری[2] تقریبا کنار گذاشته شد و به صورت محدود در کاربردهای نظامی مورد استفاده قرار گرفت. در اواسط دهه ۹۰ بررسی و تحقیق در مورد تکنولوژی FSO به علت قابلیت اطمینان سیستم از نو آغاز شد. با افزایش کاربردهای مخابرات نیاز به پهنای باند افزایش یافت و تحقیقات در مورد FSO به اوج خود رسید. پس از اتفاقات ۱۱ سپتامبر و به علت آسیب دیدن سیستم کابلی و فیبرهای ارتباطی از تکنولوژی FSO در شهر نیویورک استفاده شد و از آن پس این سیستم وارد مرحله‌ای جدید شد[۱].

۱–۲ مخابرات نوری فضای آزاد

در سال‌های اخیر با پیشرفت علم مخابرات و دریافتن معایب سیستم‌هایی همچون فیبرنوری به دنبال جانشین ساختن سیستم-های مناسب‌تر برای آن هستیم. یکی از سیستم‌های جایگزین، تکنولوژی بی‌سیم یا همان مخابرات نوری فضای آزاد است که با استفاده از اشعه لیزر، اطلاعات را با سرعت بالا در فضا منتقل می‌کند. مزیت‌های متعددی همچون پهنای باند زیاد، هزینه کم، سهولت و زمان کوتاه نصب و راه‌اندازی در گسترش تکنولوژی مخابرات نوری فضای آزاد نقش مهمی داشته‌اندکه اگر بخواهیم این ویژگی‌ها را به طور کامل‌تری تشریح کنیم به صورت زیر دسته بندی می‌شوند:

۱) سرعت در نصب FSO یکی از مهمترین عواملی می‌باشد که سبب می‌شود در تاسیسات به کار رود.

۲) از FSO می‌توان به عنوان پشتیبان لینک‌های فیبرنوری استفاده کرد.

۳) با توجه به آن که سیستم RF [3] در شرایط جوی نامناسب عملکردش نسبت به سیستم FSO بسیار ضعیف‌تر می‌باشد، به عنوان پشتیبان برای سیستم RF می‌توان استفاده کرد.

[1] Free Space Optical
[2] Fiber Optic
[3] Radio Ferequency

۴) در مواقع بحرانی مانند زلزله می‌توان استفاده کرد.

۵) داشتن امنیت بالا به علت بیم نازک پرتوی ارسالی سبب استفاده در کاربردهای نظامی می‌شود.

۶) داشتن بیم بسیار نازک برای ارسال اطلاعات، عدم حضور لب‌های فرعی، داشتن لینک کامل و بدون وقفه به منظور ایجاد ارتباط مخابراتی موفق از دیگر ویژگی‌های این سیستم می‌باشد[۳,۲] .

سیستم‌های FSO معایبی نیز دارند که در زیر به چند عامل اشاره شده است:

۱) کانال متغیر با زمان که با تحت تاثیر قرار گرفتن عواملی مانند نور خورشید و دما و ... سبب بروز خطا در سیستم می‌شود.

۲) پراکندگی و جذب ناشی از ذرات معلق موجود در هوا که سبب بروز تلفات می‌شود.

۳) به هنگام استفاده از تکنولوژی FSO محدودیت‌هایی در مورد طول موج داریم زیرا اگر از طول موج محدوده ایمن خارج شویم خطرات جدی برای پوست و بینایی ایجاد می‌شود.

۴) دریافت نورهایی مثل نور خورشید، لامپ سفید و لامپ فلورسانس در گیرنده که به صورت نویز ظاهر می‌شود[۵,۴] .

۳-۱ مقایسه سیستم FSO با سایر سیستم‌ها

سیستم FSO معمولا از نظر ویژگی‌ها و معایب با سیستم فیبرنوری و مایکرویو[1] مقایسه می‌شود[۷,۶] . فیبرنوری دارای ظرفیت و قابلیت اطمینان بالا و همچنین سرعت ارسال اطلاعات بالا حدودا صدها گیگا بایت در ثانیه می‌باشد و برای ارتباط بین قاره‌ها، کشورها و شهرها مناسب می‌باشد. این سیستم معایبی همچون مناسب نبودن برای مناطق کوچک جغرافیایی، پیچیدگی‌های زیاد، زمان طولانی برای نصب و هزینه بالا را شامل می‌شود. سیستم FSO به منظور رفع معایب سیستم فیبرنوری مناسب می‌باشد زیرا هزینه‌ای حدود ۰/۱ فیبرنوری را شامل می‌شود و در مدت زمان یک هفته تقریبا قابل نصب بوده و همچنین برای محیط جغرافیایی کوچک مناسب می‌باشد[۷,۶] . سیستم‌های مایکرویوی از نظر ساخت آسان می‌باشند و نیازی به خطوط سیمی ندارند. به منظور استفاده از سیستم‌های مایکرویوی اخذ مجوز برای باند فرکانسی مورد استفاده الزامی است زیرا در صورت عدم اخذ مجوز تداخل فرکانسی پیش می‌آید. سیستم FSO نیمی از هزینه مایکرویو را شامل می‌شود و همین عامل ارزان قیمت بودن یکی از عوامل

[1] Microwave

توجه به آن محسوب می‌شود[۷,۶] .

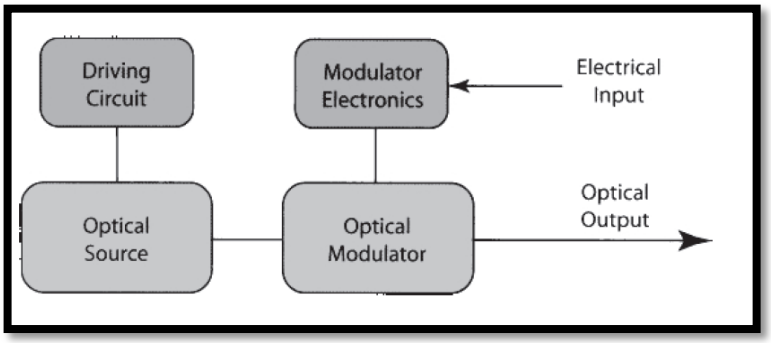
۱–۴ قسمت‌های مختلف سیستم مخابرات نوری فضای آزاد

سیستم‌های مخابراتی به طور کلی از ۳ قسمت اساسی فرستنده، گیرنده و کانال تشکیل می‌شوند.

۱–۴–۱ فرستنده

در فرستنده‌ها برای ارسال اشعه نور معمولا از دیودهای نوری(LED)[۱] یا لیزرهای نیمه هادی(LD)[۲] استفاده می‌شود. دیودهای نوری به طور طبیعی الگوی تشعشعی وسیعی دارند و برای لینک‌های غیرمستقیم مناسب‌تر هستند. لیزرهای نیمه هادی دارای مزایایی همچون پهنای باند بالا، راندمان بالا و پهنای باریک طیف[۴,۱] .

در ساخت فرستنده غالبا از لیزر VCSEL [۳] برای کار در طول موج‌های پایین یعنی در حدود ۸۵۰ نانومتر استفاده می‌شود. ویژگی‌های این لیزر کارایی بالای آن و توان کم مورد نیاز در ارسال اطلاعات با نرخ بالا می‌باشد. لیزرهایFP [۴] وDFB [۵] برای کار در طول موج‌های بالاتر از ۱۵۵۰ نانومتر مورد استفاده قرار می‌گیرند و از جمله ویژگی‌های آن‌ها می‌توان به سرعت بالای ارسال اطلاعات، تامین ایمنی چشم، پایداری طول موج، قابلیت اعتماد و طول عمر زیاد اشاره کرد[۴,۱] .



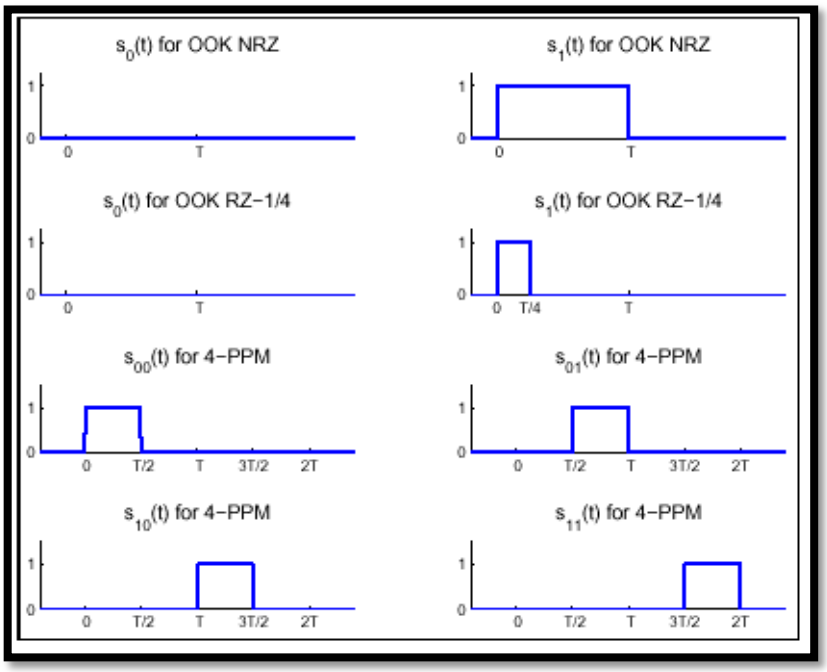
شکل ۱-۱- فرستنده[۶]

[1] Light Emitting Diode
[2] Laser Diode
[3] Vertical Cavity Surface Emitting Laser
[4] Fabry-Perot
[5] Distributed-Feedback

یکی از مهمترین اموری که در فرستنده انجام می‌گیرد، انتخاب نوع مدولاسیون می‌باشد.

۱-۴-۱-۱ مدولاسیون مخابرات نوری فضای آزاد

به طور کلی سوار کردن سیگنال باند پایه بر روی سیگنالی که معمولا فرکانس بالاتری دارد، مدولاسیون گفته می‌شود. به منظور آن که بتوان به بیشترین برد سیگنال یا بهترین بهره انتقال و پهنای باند دست یابیم، مدولاسیون‌های متفاوتی طراحی شده است. مدولاسیون‌های متفاوتی مانند بازگشت به صفر(RZ)[۱] ، بدون بازگشت به صفر(NRZ) [۲] و مدولاسیون چند پالس (L-PPM)[۳] داریم[۱] .



شکل ۱-۲- مقایسه مدولاسیون‌های مختلف[۱]

در شکل ۱-۲ مدولاسیون‌های مختلف نمایش داده شدند.

[1] Return Zero
[2] Not Return Zero
[3] Line Pulse-Position-Modulation

۱-۴-۲ کانال

از مهم‌ترین بخش‌های سیستم FSO مانند هر سیستم مخابراتی دیگر کانال انتقال است. یکی از پارامترهای با اهمیت در مورد هرکانال انتقال، شناسایی علل تلفات و نویزهای موجود در کانال و در نهایت استخراج مدلی مناسب به منظور طراحی سیستمی مناسب مبتنی بر مشخصات کانال می‌باشد. در سیستم FSO، کانال انتقال آتمسفر است که کانالی با پیچیدگی‌های قابل ملاحظه می‌باشد و این شرایط جوی عملکرد سیستم را به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهد [۱] . در اینجا ما سیستم خود را در حالت پراکندگی رایلی[1] بررسی می‌کنیم که این پراکندگی ناشی از ذراتی با طول موج کمتر از طول موج سیستم مانند نیتروژن و اکسیژن در مسیر انتقال می‌باشد[۱] .

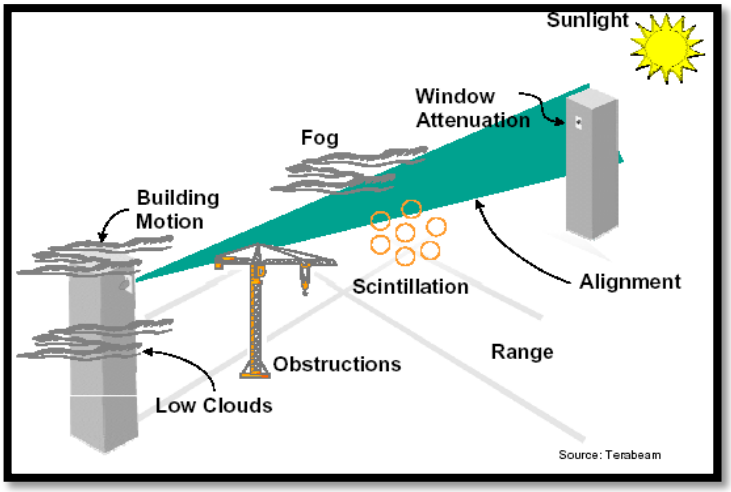
اگر بخواهیم سیستم‌های مخابرات نوری را از لحاظ لینک دسته بندی کنیم به ۲ صورت زیر تفکیک می‌شوند:

۱) لینک مستقیم: که در آن فرستنده و گیرنده باید در خط مستقیم و میدان دید یکدیگر باشند.

۲) لینک غیرمستقیم: که در آن فرستنده و گیرنده در دیده مستقیم هم نمی‌باشند و از خصوصیاتی مثل بازتاب نور ناشی از سطوح مختلف سقف و دیوار و... استفاده می‌شود[۱] .

مشکل عمده سیستم FSO کانال متغیر با زمان می‌باشد. در این سیستم کانال تحت تاثیر عوامل مختلفی مانند مه، برف، باران و ... قرار می‌گیرد. این عوامل به طور کامل در فصل ۲ تشریح شده است.

[1] Rayleigh



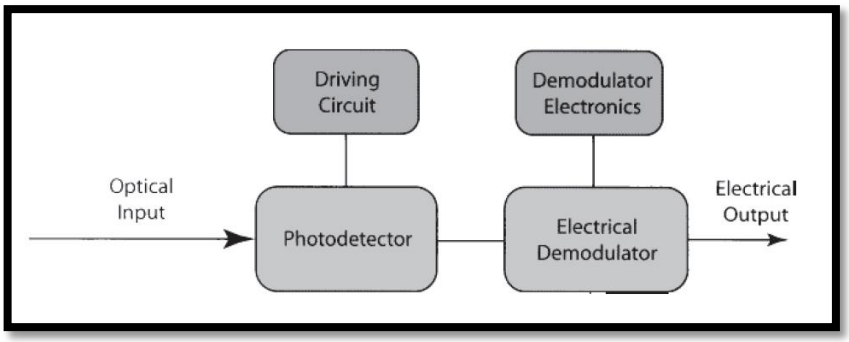
شکل ۱-۳- عوامل موثر بر کانال[۵]

۱-۴-۳ گیرنده

دو نوع آشکارساز معمول در گیرنده‌ها PIN و APD می‌باشند. در آشکارساز PIN معمولا تقویتی صورت نمی‌گیرد و برای زمانی که نویز ناشی از محیط کم باشد، مفید است. آشکارساز APD که در آن تقویت صورت می‌گیرد برای زمانی مناسب است که نویز ناشی از محیط زیاد باشد.

در ساخت آشکارسازها معمولا از دو ماده InGaAs[1] و Si[2] استفاده می‌شود. InGaAs برای کار در طول موج ۱۳۱۰ تا ۱۵۵۰ نانومتر معمولا به کار می‌رود و Si معمولا در طول موجی حدود ۸۵۰ نانومتر به کار می‌رود. با توجه به طول موجی که سیستم با آن کار می‌کند، یکی از این دو آشکارساز را انتخاب می‌کنیم. مشکلی که گیرنده‌های نوری دارند این است که نورهایی مثل نور خورشید، لامپ فلورسانس و لامپ‌های سفید به صورت نویز در گیرنده ظاهر می‌شوند[۴] .

[1] Indium Gallium Arsenide
[2] Silicon



شکل ۱- ۴- گیرنده[۶]

به طور کلی آنچه در این فصل مرور کردیم شمای کلی از سیستم FSO و بررسی فرستنده، گیرنده و کانال بود.