بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۶-۱۵ بهمن ۱۳۹۸

تحلیل پارامترهای انتشار پرتو برای سیستم ارتباط نوری در فضای آزاد آزمایشگاه اپتیک دانشگاه زنجان

هادی بخشی[۱] و احمد درودی[۱]

۱-آزمایشگاه اپتیک، دانشکده‌ی علوم، دانشگاه زنجان

چکیده – در این مقاله لینک ارتباط نوری در فضای آزاد طراحی شده درآزمایشگاه اپتیک دانشگاه زنجان معرفی می کنیم. این سیستم ارتباطی با پهنای باند 150Mbs و استفاده از طول‌موج 1550nm را در شرایط متعارف جوی برای فاصله ۱۲۰ متری بین فرستنده و گیرنده ارائه می‌دهد. در ادامه به پارامترهای انحراف باریکه لیزر، سوسوزنی، Cn2 و طول فراید که تاثیرگذار برروی کیفیت لینک‌های FSOهستند اشاره و اندازه‌گیری‌های انجام گرفته گزارش خواهدشد.

کلید واژه- *ارتباط نوری در فضای آزاد، تلاطم، سوسوزنی* و Cn2

Analysis of effective beam propagation parameters on a FSO link of optics lab. of University of Zanjan

Hadi Bakhshi[1] and Ahmad Darudi[1]

Affiliation: 1-Optics lab. of University of Zanjan

Abstract- In this paper, we describe the analysis and results of a FSO system which was designed and tested in Optic lab. of the University of Zanjan. The system provides a FSO communication link with the bandwidth about 150Mb/s, using a 1550nm laser under normal atmosphere condition for 120m distance between transmitter and receiver. Then, we discuss and report the some effective parameters, tip/tilt and scintillation, Cn2 and Fried's length, which are very important on the performance and quality of the FSO link.

Keywords: *Cn2, FSO, Scintillation and Turbulence*

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

مقدمه

ارتباط نوری در فضای آزاد یا به اختصار اندفا با توجه به امکان ارائه پهنای‌باند بسیار بالا برای انتقال داده حجیم، قابلیت نصب و راه‌اندازی سریع، امنیت پایدار و بدون شنود(تاکنون)[1]، در کنار نسبت هزینه به داده بسیار ارزان در مقایسه با روش‌های مرسوم ارتباطات بدون‌سیم، در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از کاربران غیرنظامی و نظامی قرارگرفته است. در این شیوه، انتقال داده مبتنی بر امواج الکترومغناطیس در طیف مرئی و یا مادون‌قرمز است که علت انتخاب این قسمت از طیف دست‌یابی به نرخ بالای ارسال داده، مسائل ایمنی و عدم وجود محدودیت‌های فضای فرکانسی در ارتباطات رادیویی می‌باشد[1-3]. بررسی رفتار تلاطم جو و پارامترهای مرتبط برروی کیفیت ارتباط مبتنی بر اندفا یکی از موضوعات اساسی برای ارتقا این روش و بهینه‌سازی منابع است. تاکنون تلاش‌های بسیاری برای مطالعه این رفتار در دنیا انجام شده‌است. اخیرا با توجه به طراحی، ساخت و اجرای موفق سیستم بومی اندفا توسط این گروه تحقیقاتی، امکان مطالعه و بررسی عوامل موثر بر انتشار در فضای آزاد بر روی کیفیت لینک اندفا فراهم شده است. گزارش‌هایی در رابطه با تاثیر رفتارهای لحظه‌ای جو در بروز افت‌وخیزهایی در کیفیت اندفا ارائه‌شده[4] که در این مقاله ابتدا سیستم اندفای آزمایشگاه اپتیک دانشگاه‌زنجان بصورت مختصر معرفی و سپس نتایج اولیه از مطالعه‌ی کمیت‌های شناخته‌شده بر روی کیفیت اندفا ارایه می‌شود.

معرفی سیستم اندفای ازمایشگاه اپتیک دانشگاه زنجان

سیستم اندفا آزمایشگاه اپتیک با هدف دستیابی به یک لینک *FSO* و ارائه‌ی پهنای باند *150Mbs* در طول‌موج *1550nm* طراحی و ساخته شده‌است. درحال حاضر این لینک ارتباطی بین دو ساختمان دانشکده‌علوم دانشگاه‌زنجان(ساختمان فیزیک و ساختمان علوم‌طبیعی) که در فاصله‌ی *60m* از یکدیگر هستند برقرار شده‌است. برای افزایش فاصله یک سیستم بازتابنده بر روی ساختمان علوم‌طبیعی نصب‌شده که مسیر حرکت پرتو را در یک رفت و برگشت به مقدار *120m* می‌رساند (تصویر۱). این‌کار امکان مجاورت فرستنده و گیرنده در کنار هم را فراهم کرده‌است. سیستم بازتاب‌دهنده کاملا مکانیزه و از راه دور کنترل می‌شود، تا تنظیم باریکه برگشتی از محل فرستنده به‌سادگی انجام شود(تصویر۲).

جدول1: مشخصات فنی سیستم اندفا بهره‌برداری شده

مشخصات فنی سیستم ارتباط دید مستقیم نوری		
پهنای باند		150Mb/s
پروتکل ارسال و دریافت		Fast Ethernet, STM1
فرستنده	طول‌موج	1550nm
	منبع پرتو	DFP Laser
	توان خروجی	−7~0 dBm
	قطر پرتو	15cm(در فاصله‌ی 120m)
گیرنده	حساسیت	−35dBm
	حسگر	PIN



تصویر۱: نمای هوائی مسیر پرتوهای اندفا



تصویر۲: سیستم بازتابنده نصب شده در ساختمان علوم طبیعی

پارامترهای تاثیرگذار

با وجود مزیت‌های بسیار مهم فناوری اندفا، مطالعه تاثیرپذیری این فناوری از تغییرات پارامترهای انتشار در مسیر پرتو نقش بسیار کلیدی در کیفیت ارتباط دارد[1-3]. مطالعه‌ی کمیت‌های درگیر می‌تواند برای طراحی لینک پایدار اندفا موثر و کارساز

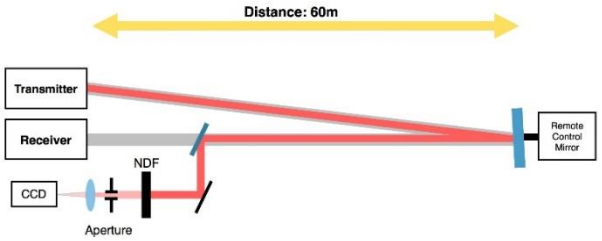
این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

باشد. انحراف باریکه لیزر، سوسوزنی، $Cn2$ و طول فراید، از عوامل موثردر افت‌وخیز کیفیت لینک اندفا است.

اندازه‌گیری انحراف باریکه لیزر (Tip/Tilt)

برای اندازه‌گیری این پارامتر از یک پرتوی لیزری جفت‌شده با پرتوی اصلی سیستم اندفا که دارای طول موج $650nm$ است، در مسیر رفت و برگشت پرتو بهره‌بردیم. هنگام برگشت این پرتو لیزری توسط یک باریکه شکن به یک سیستم اندازه‌گیری انحراف باریکه هدایت‌می‌شود(تصویر۴). یک دوربین CCD با مشخصات $480x640$ پیکسل و اندازه پیکسل 6μ با نام تجاری $Pixelink$ در کانون یک عدسی با فاصله کانونی $10cm$ و قطر $2cm$، سیستم اندازه‌گیری انحراف باریکه را تشکیل می‌دهد. توسط یک فیلتر کم‌کننده شدت در جلوی عدسی میزان نور ورودی کنترل می‌شود. با کاهش پیکسل‌های فعال دوربین به آرایه $80x80$، داده‌برداری با نرخ تصویربرداری 400 تصویر بر ثانیه و به مدت 155 ثانیه انجام‌گرفت. چینش آزمایش در تصویر ۴ آمده‌است.



تصویر۴: نمایی از ستاپ آزمایش. از پرتوی قرمز رنگ بعنوان پرتوی جفت‌شده همراستا با پرتوی اندفا(خاکستری رنگ)جهت اندازه‌گیری پارامترها استفاده شده است.

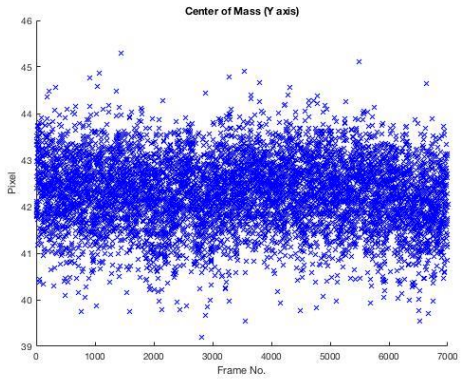
با نرم‌افزار نوشته شده در محیط Matlab مرکز جرم لکه‌های ثبت‌شده بدست‌آمد. به عنوان نمونه، مکان افقی و عمودی لکه بر حسب پیکسل در نمودارهای ۱و۲ آمده‌است. لازم به‌ذکر است که خارج‌شدن لکه از سطح‌موثر گیرنده منجر به قطعی ارتباط خواهدشد.

محاسبه کمیت سوسوزنی

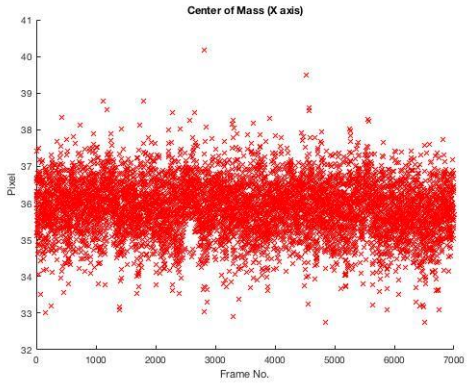
مقدار کمیت سوسوزنی از رابطه زیر محاسبه می‌شود[5]:

$$\sigma^2 = \frac{\langle I^2\rangle - \langle I\rangle^2}{\langle I\rangle^2}$$ رابطه ۱:

برای اندازه‌گیری این کمیت توسط برنامه، مجموع شدت هر لکه محاسبه و سپس مقادیر در رابطه (۱) قرار داده شده و سوسوزنی محاسبه می‌شود. به طور متوسط مقدار 0.9 برای سوسوزنی بدست آمد.



نمودار۱- تغییرات مکان مرکز لکه برحسب پیکسل در راستای محور Y



نمودار۲- تغییرات مکان مرکز لکه برحسب پیکسل در راستای محور X

محاسبه تابع ساختار C_n^2 و r_0

پارامتر ساختار نمایه ضریب شکست که C_n^2 نامیده می‌شود، روشی معمول برای توصیف مقدار شدت تلاطم جو است. با در نظرگرفتن تقریب‌ها اشاره شده در [5] می‌توان از رابطه‌ی زیر را برای محاسبه پارامتر مذکور بهره گرفت.

$$C_n^2 \approx \frac{\sigma_I^2}{1.23\, k^{7/6} L^{11/6}}$$ رابطه۲

که در این رابطه تقریبی σ انحراف‌معیار شدت، k عدد موج و L فاصله‌ی میان فرستنده و گیرنده است. مقدار متوسط این

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

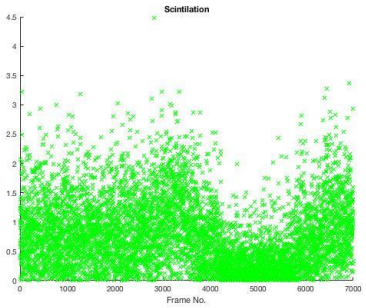
پارامتر با استفاده از دادهای سوسوزنی $2.7876^{-13}m^{-2/3}$ محاسبه شده است.

پارامتر فرید یا طول r_0 کمیتی است که بیان‌کننده‌ی وضعیت تلاطم محیط انتشار است. برای درک بهتر می‌توان این مقدار را اندازه دهانه تلسکوپی فرض کرد که در غیاب تلاطم جو توان‌تفکیکی را ارائه می‌کند که تلسکوپی با دهانه‌ی نامتناهی در حضور تلاطم قادر به ارائه همان مقدار توان‌تفکیک است. نشان داده‌شده که r_0 دارای رابطه زیر با C_n^2 است[۶]:

$$C_n^2 = 0.16\, r_0^{-5/3}\, \lambda^2\, L^{-1} \qquad \text{رابطه۳}$$

که در آن λ طول‌موج و L فاصله‌ی میان گیرنده و فرستنده خواهدبود. با جای‌گذاری مقادیر به مقدار $r_0 = 2.4173\ cm$ خواهیم رسید. در جدول شماره ۲ هم می‌توان اطلاعات استخراج شده از ایستگاه هواشناسی دانشگاه زنجان را در زمان انجام آزمایش، مشاهده کرد.

نمودار۳: رفتار سوسوزنی پرتوی جفت‌شده



جدول ۲: اطلاعات هواشناسی زمان و مکان آزمایش

تاریخ	05/09/1398
زمان (UTC)	18
دما	2° c
فشار	838.300 hPa
سرعت باد	2 m/s, 7.2 km/h
جهت باد	شرقی
دید افقی	متر۷۰۰۰

نتیجه‌گیری

لینک ارتباطی نوری در فضای آزاد دانشگاه زنجان یا به اختصار اندفا در این کار معرفی شد. این سیستم برای دستیابی به یک لینک *FSO* در فاصله *120m* و ارائه‌ی پهنای باند *150Mbs* در طول‌موج *1550nm* طراحی و ساخته شده‌است. برای کسب برآوردی درست از عوامل موثر جوی در مسیر انتشار پارامترهای سوسوزنی، *Cn2* و طول فراید مورد بررسی قرار گرفت. مقادیر $2.7876^{-13}m^{-2/3}$ برای مقدار متوسط *Cn2* و مقدار *2.4173 cm* به عنوان طول فراید در زمان آزمایش اندازه‌گیری شد. بررسی لینک در شرایط جوی متفاوت در حال انجام است تا برآوردی درست از وضعیت لینک ایجادشده را بدست‌آوریم. مطالعه برروی سایر عوامل و تلاش برای افزایش برد سیستم اندفا در حال انجام است که نتایج کمی آن در مقاله دیگری به زودی منتشر می‌شود.

سپاسگزاری

از مدیریت مخابرات منطقه‌ی زنجان، مدیریت و مجموعه ارتباطات سیار استان و شرکت تماس بخاطر در اختیارگذاشتن تجهیزات تست، اندازه‌گیری و ارائه‌ی کمک‌های فنی کمال تشکر و قدردانی را داریم.

مرجع‌ها

[1] A. Majumdar and J. Ricklin, “Free-Space Laser Communications: Principles and Advances”, vol. 2. Springer, 2008.

[2] M. A. Khalighi and M. Uysal, “Survey on free space optical communi- cation: A communication theory perspective,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 16, no. 4, pp. 2231–2258, 2014.

[3] N. Kumar and A. K. Rana, “Impact of various parameters on the performance of free space optics communication system,” Optik, vol. 124, no. 22, pp. 5774–5776, 2013.

[4] H. Kaushal,G. Kaddoum, “Free Space Optical Communication: Challenges and *Mitigation Techniques.”,* arXiv:1506.04836 , CoRRabs/1506.04836 (2015)

[5] L. Andrews, and R. L. Phillips, “Laser Beam Propagation through Random Media”, SPIEPress, Washington, 1998.

[6] H. Beaumont, C. Aime, E. Aristidi and H. Lanteri, “Image quality and seeing measurement for long horizontal overwater propagation”, Pure and applied optics, Jan. 1999.

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]