

Zavisnost performansi prenosa slike požara od atmosferskih prilika u slučaju korišćenja Rician FSO kanala

Milan A. Mišić, Bojan P. Prlinčević

Visoka Tehnička Škola Strukovnih Studija Zvečan
Zvečan, Srbija
milan.misic@pr.ac.rs, b.princevic@vts-zvecan.edu.rs

Petar Ć. Spalević

Fakultet Tehničkih Nauka Priština
Kosovska Mitrovica, Srbija
petarspalevic@yahoo.com

Stefan R. Panić

Prirodno Matematički Fakultet Priština
Kosovska Mitrovica, Srbija
stefanpnc@yahoo.com

Abdalmalik Amnisi

Univerzitet Singidunum
Beograd, Srbija
abdalmalik.amnisi.@singimail.rs

Sažetak—U ovom radu izvršena je analiza zavisnosti performansi prenosa slike požara putem Rician turbulentnog FSO kanala u zavisnosti od atmosferskih prilika, prečnika otvora aperture i dužine linka propagacije. U prvom delu rada predstavljen je algoritam za detekciju požara u slici i algoritam za simulaciju prenosa slike FSO kanalom. Izvršena je analiza performansi prenosa i parametra K . Na kraju je grafički prikazana zavisnost parametra K u odnosu na parametre atmosferskih prilika, prečnika otvora aperture i dužinu linka propagacije. Dobijeni rezultati prikazani su grafički.

Ključne riječi—FSO prenos; atmosferske prilike; detekcija požara;

I. UVOD

Pojava požara na velikim šumskim prostranstvima predstavlja veliki problem jer izaziva velike štete u svim sferama društva, uništava ekološke sisteme, infrastrukturu i ljudske živote [1]. Rana detekcija ima mnoge prednosti u gašenju požara i u tom smislu predstavlja jedan od najvažnijih elemenata sistema za detekciju požara. U cilju što efikasnijeg praćenja i otkrivanja požara na velikim prostranstvima postoje mnogi konvencionalni sistemi za detekciju i monitoring uglavnom zasnovani na principu detekcije požara putem senzora [2]. Usled brzog razvoja digitalnih tehnologija javila se tendencija da konvencionalne tehnike za detekciju (zasnovane na senzorima, termometrima i dr.) budu zamenjene kompjuterskim sistemima za detekciju požara zasnovanim na digitalnoj obradi slike [2]. Detekcija požara u slici se vrši razlaganjem slike na piksele i klasifikacijom piksela. U literaturi je poznato više algoritama za detekciju požara u slici. Algoritmi za detekciju požara u slici baziraju se na razlaganju slike na RGB odnosno YCbCr komponente. Neki od algoritama za detekciju požara u slici prezentovani su u radovima [3]-[6]. Algoritam za detekciju požara predstavljen u radu [7] predstavlja algoritam sa veoma visokom efikasnošću detekcije požara u slici.

Globalnim zagrevanjem i nepažnjom uzrokovanom ljudskim faktorom u poslednjim godinama u prirodi sve češće dolazi do velikih šumskih požara i požara na otvorenom. U cilju sprečavanja ovakvih pojava potrebno je otkriti pojavu požara na vreme. Detekcija požara na otvorenom se obično radi u centrima koji su daleko od mesta zaštite u koju svrhu je potrebno informaciju preneti sa mesta zaštite do mesta detekcije. Jedan vrlo pogodan način za prenos slike (informacije) požara, od mesta zaštite do mesta za detekciju, jeste putem FSO (*eng.* Free Space Optical) kanala.

Upotreba FSO bežičnih optičkih sistema za prenos podataka, koja u poslednje vreme postaje sve intenzivnija, ima značajne prednosti u odnosu na prenos podataka putem radio frekvencije (RF). Veliku praktičnu primenu FSO sistemi za komunikaciju, takođe, nalaze i u kombinovanoj primeni FSO i RF komunikacionih sistema, uz upotrebu FSO prenosa kod "last mile" konekcije. Prednosti FSO sistema u odnosu na RF sisteme su: fokusiranost snopa signala, otpornost na elektromagnetne smetnje, odsustvo međukanalne interferencije, slobodna Frenselova zona, mogućnost duplex prenosa, jednostavna praktična realizacija, dozvoljen prenos i upotreba spektra bez licence. Jedna od najvećih prednosti FSO sistema jeste mogućnost emitovanja velike prenosne snage signala, a da takvo emitovanje zahteva značajno nižu cenu i kraće vreme potrebno za instalaciju sistema [8]. Iz tog razloga FSO sistemi u poslednje vreme nalaze sve značajniju primenu u raznim sferama [9],[10]. Međutim, pored velikih prednosti, FSO sistemi za prenos podataka imaju i male nedostatke kao što su: usmeravanje je teže, javlja se rasejanje signala i slabljenje usled uticaja atmosferskih faktora (gasovi, aerosoli, kiša, magla dim...), koji utiču da se svetlosni zrak priguši i raseje. Najveće slabljenje pri FSO prenosu od svih atmosferskih faktora nanosi gusta magla [8]. Ovaj vid prigušenja potencijalno ograničava raspon linka na manje od 500m [9]. Pri dobrim atmosferskim uslovima ostvarljive su znatno veće dužine linkova. Međutim, usled atmosferskih promena, dešavaju se male ali slučajne

promene temperature koje se takođe javljaju kao ograničavajući faktor u FSO komunikacionim sistemima. Ove, kao i druge navedene promene, po analogiji, dovode do slučajnih promena u atmosferskim indeksima prelamanja duž linka optičkog signala. Atmosferske turbulencije i njihov uticaj na propagaciju optičkog FSO linka opisani su detaljno u [10],[11],[12]. Promene, vremenske i prostorne, oscilacije svetlosnog snopa, nastale usled varijacija indeksa prelamanja uzrokovanih atmosferskim turbulencijama, manifestuju se kao promena nivoa primljenog signala. Ova pojava poznata je kao FSO feding ili scincilacija.

Brzina prenosa podataka tipičnim FSO linkom kreće se od nekoliko Gb/s, a u skorije vreme čak i do 30 Gb/s. Trajanje tipičnog fedinga iznosi i do nekoliko ms, što pri velikim brzinama prenosa može uzrokovati da veliki broj uzastopnih bitova bude netačno prenešen ili čak i potpuno izgubljen, usled čega je prijemni signal značajno oslabljen, i javlja se veća greška na prijemu (BER *engl.* Bit Error Rate). Da bi se precizno modelovao i predvidele performanse FSO linka u posmatranim atmosferskim prilikama, od suštinskog je značaja statističko modelovanje promene atmosferske turbulencije. Veoma rasprostranjeni modeli turbulencije, koji obezbeđuju odličnu vezu između teorijskih i eksperimentalnih podataka su Log-normalana distribucija, K distribucija [13] i Gamma-Gamma model distribucije [10]. U radu [11] prikazana je upotreba Rician modela za modelovanje kombinovanih efekata turbulencije uzrokovane faznim pomerajem i amplitudnim fluktuacijama pri analizi performansi rada FSO sistema. Isti model je korišćen i u radu [12] za analizu performansi koherentnih FSO sistema sa većim brojem prijemnika.

Uspešnost u detekciji požara u slici u velikoj meri zavisi od primenjenog algoritma za detekciju, kao i od uspešnog prenosa slike do mesta detekcije. Postoji veliki broj predloženih algoritama za detekciju požara koji u procesu detekcije požara koriste analizu slike u boji. Proces za detekciju požara podrazumeva analizu vrednosti osvetljenosti i hrominantnih karakterisitka svakog piksela i u skladu sa time klasifikaciju piksela požara.

U ovom radu izvršena je analiza performansi slike u boji prenesene putem Rician FSO linka. Rad je organizovan na sledeći način: u sekciji 2 opisan je algoritam za detekciju požara i Rician FSO model kanala. u sekciji 3 prikazani su dobijeni rezultati i analiza performansi. Zaključak je dat u sekciji 4.

II. SISTEM MODEL

Primljeni FSO signal prijemnog otvora može se modelovati kao:

$$E_r(t, r) = u_s(t) \exp(j2\pi f_c t + \theta(t)) \exp[\chi(r) + j\phi(r)] \quad (1)$$

gde r predstavlja položaj vektora na polju prijemnog otvora, f_c frekvencija optičkog prenosa i $u_s(t) \exp(j\theta(t))$ predstavlja kompleksnu anvelopu modulacije signala. Izrazi $\chi(r)$ i $\theta(r)$ opisuju turbulenciju indukovanu amplitudnom oscilacijom i varijacijom u fazi kanala.

Na prijemniku fotodetektora FSO signal može biti modelovan kao:

$$y_T(t) = x_T(t) + n_T(t) \quad (2)$$

gde AWGN (*engl.* Additive White Gaussian Noise) $n_T(t)$ ima vrednost nula i varijansu:

$$\sigma_n^2 = \frac{B_s e^2 \eta \pi}{2 h f_c} A^2 D^2 \quad (3)$$

ovde e predstavlja naelektrisanje elektrona, h je Plankova konstanta, η predstavlja efikasnost fotodetektora, B_s predstavlja propusni opseg signala, D je prečnik prijemnog otvora i A je amplituda polja lokalnog oscilatora (LO) na demodulatoru.

Deo signala koji prenosi informaciju može se modelirati kao:

$$x_T(t) = \frac{e \eta \pi}{2 h f_c} A D^2 u_s(t) \operatorname{Re} \{ \alpha \exp(j2\pi f_{IF} t + \theta_{IF}(t)) \} \quad (4)$$

gde $f_{IF} = f_c - f_{LO}$ predstavlja ekvivalentnu frekvenciju signala i α predstavlja efikasnost modelovanja fedinga FSO kanala.

Kao što je prikazano u radovima [11], [12] u cilju modelovanja efekta turbulencije indukovanih amplitudnim fluktuacijama i faznim odstupanjima, funkcija gustine verovatnoće PDF (*engl.* Probability Density Function) amplitude FSO signala pod uticajem scincilacije modelovane Rician-ovom distribucijom, dat je kao:

$$f_\alpha(\alpha) = \frac{2\alpha(1+K)}{\alpha^2} e^{-K-(1+K)\alpha^2/\bar{\alpha}^2} I_0 \left(2\alpha \sqrt{\frac{K(1+K)}{\alpha^2}} \right) \quad (5)$$

gde $I_0(x)$ predstavlja modifikovanu Bessel-ovu funkciju prvog reda [14], dok parametar K predstavlja odnos jačine detektovane koherentne i nekoherentne komponente date kao:

$$K = \left[\frac{\bar{\alpha}^2}{\sqrt{\alpha_r^4 + 2\alpha_r^2(\sigma_i^2 - \sigma_r^2)} - (\sigma_i^2 - \sigma_r^2)^2} - 1 \right] \quad (6)$$

i

$$\bar{\alpha}^2 = \sigma_i^2 + \sigma_r^2 + \bar{\alpha}_r^2 \quad (7)$$

$$\bar{\alpha}_r = \exp \left(-\frac{\sigma_\chi^2 + \sigma_\phi^2}{2} \right) \quad (8)$$

$$\sigma_r^2 = (1/2G)(1 + \exp(-2\sigma_\phi^2) - 2\exp(-2\sigma_\chi^2 - 2\sigma_\phi^2)) \quad (9)$$

$$\sigma_i^2 = (1/2G)(1 - \exp(-2\sigma_\phi^2)) \quad (10)$$

gde: σ_χ^2 predstavlja Log-amplitudnu varijansu koja je data kao $\sigma_\chi^2 = 0.307k^{7/6}L^{11/6}C_n^2$ prikazano u radu [15].

$\sigma_\phi^2 = \Delta_s(D_k/r_o)$ predstavlja preostala fazna odstupanja nakon izražavanja prečnika prijemnika D_k preko Zernike polinoma. Parametar $k=2\pi/\lambda$ predstavlja talasni broj, L -dužina linka propagacije dok C_n^2 definiše indeks refrakcije. Parametar G je dat pomoću izraza:

$$G = \left\{ 1.09(\rho_0/D_k)^2 \Gamma[1.2, 1.08](\rho_0/D_k)^{5/3} \right\}^{-1}. \quad (11)$$

$\Gamma(.,.)$ predstavlja nekompletnu Gamma funkciju, a ρ_0 -generalizovani Fried parametar.

Trenutna vrednost odnosa signal-šum SNR na prijemu nakon demulacije data je pomoću:

$$\gamma = \frac{P_x}{\sigma_n^2} = \frac{\eta I_s}{hf_c B_s} \frac{\pi D^2}{4} \alpha^2 \quad (12)$$

gde $I_s = |u_s(t)|^2$ predstavlja moduo intenziteta optičkog polja dok P_x označava snagu izlaznog signala.

Algoritam za simulaciju FSO transmisije slike požara realizovan je u dve faze i sastoji se od sledećih koraka:

Faza 1:

Korak 1: Slika u boji je razložena na R,G,B komponente;
Korak 2: Od matrica R,G,B komponenti slike, kreiran je vektor A ;

Korak 3: Izvršena je binarizacija elemenata vektora A i dobijen je vektor D ;

Korak 4: Nad vektorom D primenjena je BPSK modulacija $x=2D-1$;

Korak 5: Izvršena je transmisija BPSK modulisanog signala kroz Rician-ov turbulentni kanal: $y = h \times x + n$, gde h predstavlja vektor koji sadrži Rician-ov fading, koji je generisan u skladu sa jednačinom (5), uzimajući u obzir parametar K i odnos jačina koherentne i nekoherentne komponente definisane u jednačini (6) dobijen je kao slučajna komponenta iz izraza: $h = \sigma \times n$;

Korak 6: Dekodovanje prenesenog signala je izvršeno prema $Y = h \times D + n$ i dobijen je vektor Y .

Faza 2:

Nad dobijenim vektorom Y , nakon transmisije FSO Rician-ovim kanalom, primenjen je MIPFD algoritam za detekciju požara prikazan u radu [16].

III. SIMULACIONI REZULTATI I ANALIZA PERFORMANSI

U cilju simulacije FSO transmisije slike u boji kroz Rician-ov turbulentni fading kanal i detekcije požara u slici na udaljenoj lokaciji, izvršen je sledeći eksperiment:

Korak 1: Originalna slika požara je učitana i izvorno kodovana. Korak 2: Na binarizovanoj test slici primenjena je BPSK modulacija. Korak 3: Izvršena je transmisija BPSK modulisanog signala kroz Rician-ov fading kanal sa dodatim AWGN šumom i sa različitim vrednostima parametra K . Korak 4: Na prijemnoj strani signal je dekodiran i izvršena je rekonstrukcija slike. Korak 5: Nad rekonstruisanom slikom primenjen je algoritam za detekciju požara u slici. Korak 6: Rezultati detekcije požara nakon transmisije upoređeni su sa rezultatima detekcije požara pre transmisije. Korak 7: Izvršena je analiza prečnika blenda u zavisnosti od uticaja dužine propagacije linka i indeksa refrakcije na vrednost parametra K .

Kao mera kvaliteta transmisije slike i detektovanog požara primenjena BER:

$$BER = \frac{\sum_{i,j,l} [(x_{ij})_l]_2 \oplus [(y_{ij})_l]_2}{M \times N} \quad i=1..M, j=1..N, l=1..n \quad (13)$$

gde: x_{ij} predstavlja piksel originalne slike, y_{ij} predstavlja piksel rekonstruisane slike, $M \times N$ predstavlja dimenzije slike i \oplus predstavlja operator EXOR (ekskluzivno ili) koji je primenjen na n parova bita x i y .

Za potrebe eksperimenta korišćena je baza slika prikazana na sl. 1 [17]. Vrednosti parametra K , varirane su u njegovim teoretskim vrednostima $K=\{1,2,5,10,20,30\}$. Vrednost parametra T_h je za potrebe eksperimenta optimizovana i usvojena $T_h=65$ [7].

Na sl. 2 prikazan je izgled slika nakon transmisije Rician FSO kanalom pri vrednosti parametra $K=10$, dužina linka propagacije $L=1000$ m, prečniku otvora blende $D=0.25$ m i indeksa refrakcije $C_n^2=2 \times 10^{-16} \text{ m}^{-2/3}$.

Na sl. 3 prikazani su rezultati mere kvaliteta BER.

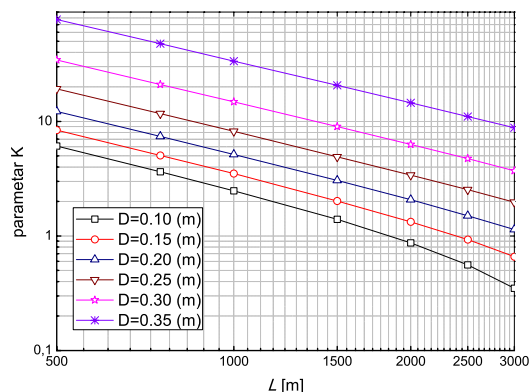
Na sl. 4 prikazana je zavisnost parametra K u odnosu na indeks refrakcije C_n^2 , a na sl. 5 zavisnost parametra K u odnosu na dužinu linka propagacije L . Analiza parametra K izvršena je za vrednost $G=1$.



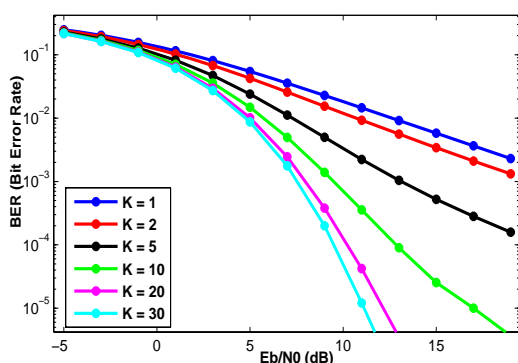
Slika 1. Baza slika



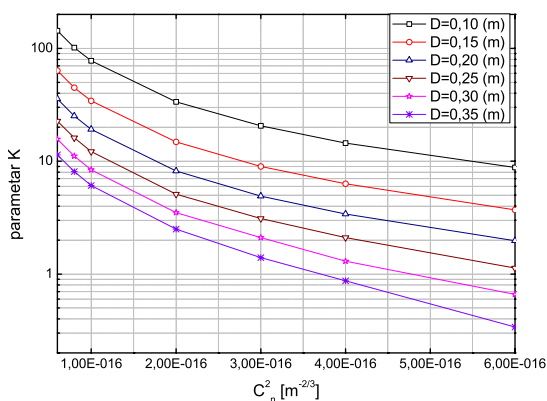
1. Izgled slika nakon prenosa Rician FSO kanalom pri vrednosti parametra $K=10$, dijimetru otvora blende $D=0,25$ (m), dužini linka propagacije $L=1000$ (m) i indeksu refrakcije $C_n^2=2 \times 10^{-16}$ ($m^{-2/3}$).



Slika 4. Zavisnost parametra K u odnosu na dužinu propagacije linka L pri konstantnom indeksu refrakcije $C_n^2=2 \times 10^{-16}$ ($m^{-2/3}$).



Slika 2. Mera performansi BER



Slika 3. Zavisnost parametra K u odnosu na indeks refrakcije C_n^2 pri konstantnoj dužini propagacije linka $L=1000$ m

Uočljivo je da parametar K pri vrednosti $K=5$ daje na prijemu sliku zadovoljavajućeg kvaliteta dok pri vrednosti parametra $K=10$ pri uobičajenim vrednostima prečnika otvora blende, dužine propagacije linka i indeksa refrakcije (sl.3) na prijemnoj strani dobijamo sliku visokog kvaliteta i vrednosti mere kvaliteta BER koje su u granicama očekivanih, red veličina 10^{-6} . Na sl. 4 i 5 pokazana je zavisnost parametra K u odnosu na promenu prečnika aperture, dužinu linka propagacije i indeksa refrakcije. Na osnovu dijagrama sa sl. 3 zaključuje se da se na prijemnoj strani detektuje slika izuzetnog kvaliteta pri koeficijentu $K=10$ i više. Sa dijagrama na sl. 4 može se zaključiti da pri konstantnoj vrednosti dužine linka propagacije, se povećanjem prečnika otvora aperture, smanjuje se vrednost parametra K . Sa dijagrama na sl. 5 može se zaključiti da pri konstantnoj dužini linka propagacije, pri povećanju prečnika otvora blende raste i vrednost parametra K .

IV. ZAKLJUČAK

Analiza performansi FSO prenosa slike kroz Rician-ov turbulenti kanal izvršena je kroz prizmu vrednosti mere kvaliteta primljenog signala BER. Na osnovu rezultata predstavljenih u ovom radu, određene su optimalne vrednosti parametara linka (dužina linka, prečnik aperture, indeks refrakcije) za koje je obezbeđen odgovarajući kvalitet FSO prenosa. Metod predstavljen u radu se može iskoristiti i za analizu drugih scenarija FSO prenosa slike u prisustvu turbulencije.

ZAHVALNICA

Istraživanja prezentovana u ovom radu su delimično podržana sredstvima Ministarstva obrazovanja, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije kroz projekte III 44006 i TR 32023).

LITERATURA

- [1] R. Gonzalez, M.Palahi, A.Trasebores, T.Pukkala, "A fire probability model for forest stands in Cataonia (north-east Spain)", *Annals of Forest Science*, pp.169-176, 2006.
- [2] E.Kuhr, J.Knollenberg, V.mertens. "An Automatic Early Warning System for Forest Fires", *Annals of Burns and Fire Disasters*, vol. XIV, pp. 151-154, 2001.
- [3] G.Marbach, M.Leopfe, T.Brupbacher, "An image processing technique for fire detection in video images", *Fire Saf. J.* 41 (4), pp 285-289,2006.
- [4] T.Celik, H.Demirel, H.Ozkaramanli, "Automatic Fire detection in video sequences", *Proceedings of European Signal Processing Conference*, September 2006.
- [5] T.Celik, H.Demirel, H.Ozkaramanli, "Fire and smoke Detection without Sensors: Image Processing Based Approach", *Proceedings of 15th European Signal Processing Conference*, Poland, September 3-7, 2007
- [6] B. Princevic, Z. Milivojevic, D. Brodic, "MIPFD Algorithm for Image Fire Detection", *XLIX international conference ICEST 2014 Nis*, 25-27 june 2014, vol.II, Serbia.
- [7] H. Willebrand and B.S. Ghuman, "Free Space Optics: Enabling optical Connectivity in today's network", Indianapolis, SAMS publishing, 2002.
- [8] J. D. Montgomery, "Free-space optics seen as viable alternative to cable," *Lightwave (Analyst corner)*, pp. 43- 44, 2004.
- [9] C. H. Kwok, R. V. Penty, and I. H. White, "Link reliability improvement for optical wireless communication systems with temporal domain diversity reception" *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 20, pp. 700-702, 2008.
- [10] M. Al-Habash, L. C. Andrews, R. L. Phillips, "Mathematical model for the irradiance probability density function of a laser beam propagating through turbulent media" *Optical Engineering*, vol. 40,no. 8, pp. 1554–1562, 2001.
- [11] B A. Belmonte and J. M. Kahn, "Performance of synchronous optical receivers using atmospheric compensation techniques" *Opt. Express*, vol. 16, no. 18, pp. 14151–14162, Sept. 2008.
- [12] S.M. Aghajanzadeh, M. Uysal "Diversity-Multiplexing Trade-Off in Coherent Free-Space Optical Systems With Multiple Receivers", *J. Opt. Commun. Netw.*, Vol. 2, No.12, pp. 1087-1094, December 2010.
- [13] H. Sandalidis, T. Tsiftsis, G. Karagiannidis, M. Uysal, "BER Performance of FSO Links over Strong Atmospheric Turbulence Channels with Pointing Errors", *IEEE Comm. Letters*, Vol. 12, No. 1, pp. 44 - 46 January 2008.
- [14] I.S. Gradshteyn, I.M. Ryzhik, "Table of Integrals, Series and Products", Academic Press, NY, USA, 2000.
- [15] G. R. Osche, "Optical Detection Theory for Laser Applications Wiley", New York, 2002.
- [16] D. Vučković, B. Prlinčević, P. Spalević, S. Panić, H. Škrijelj "Performance analysis of FSO transmission of image processing fire detection over Rician fading channels", *24 Int. El. and Com. Sc. Conf. ERK*, 2015 Portorož Slovenia, p.p.81-84 , ISSN 1581-4572.
- [17] Forest fire images: <http://www.flickr.com>.

ABSTRACT

In this paper performance analysis of FSO transmission of image fire detection over Rician turbulence channels has been carried out. Influences of various FSO transmission system parameters such as refraction index, optical link range and aperture diameter has been observed. First image fire detection algorithm and algorithm for FSO transmission over Rician turbulence channel have been presented. Further, capitalizing on presented algorithms, standard performance measure BER have been efficiently evaluated and discussed in the terms of observed system parameters. Influence of FSO transmission system parameters on K parameter are also observed for the purpose of determining optimal FSO link properties. Obtained results are graphically presented.

Performance analysis of transmission of fire image, in depends on atmospheric turbulence in case of use Rician FSO channels

Milan A. Mišić, Bojan P. Prlinčević, Stefan R. Panić, Petar Č. Spalević, Abdalmalik Ammiesi