

MINISTERUL EDUCAȚIEI NAȚIONALE
UNIVERSITATEA DIN PETROȘANI
ȘCOALA DOCTORALĂ
DOMENIUL INGINERIA SISTEMELOR

CONTRIBUȚII LA
COMUNICATIA DATELOR PRIN
SPATIUL DE LUMINĂ VIZIBILĂ,
CU APLICAȚII ÎN INDUSTRIE

Coordonator:

Profesor univ. habil. Dr. ing. LEBA Monica,

Doctorand:

Costinaș (Rîurean) Simona Mirela

Petroșani

2019

CUPRINS

INTRODUCERE	5
CAPITOLUL I	
COMUNICAȚIA ÎN SPAȚIUL OPTIC (CSO). PREZENTAREA LITERATURII DE SPECIALITATE	8
1.1.SCURT ISTORIC AL COMUNICAȚIEI ÎN SPAȚIUL OPTIC	8
1.2. REALIZĂRI SEMNIFICATIVE ÎN DOMENIUL CSO	13
1.2.IMPLEMENTĂRI ÎN DOMENIUL COMUNICAȚIEI ÎN SPAȚIUL DE LUMINĂ VIZIBILĂ (CSLV)	19
1.3.1. SISTEME DE POZIȚIONARE ÎN INTERIORUL CLĂDIRILOR CU CSLV	20
1.3.2. COMUNICAȚII ÎN INTERIORUL CLĂDIRILOR	23
1.3.3. CONEXIUNI MOBILE	24
1.3.4. COMUNICAȚII ÎNTRE VEHICULE ȘI CU SEMAFOARELE	26
1.3.5. SISTEME CSLV INTEGRATE ÎN JUCĂRII	27
1.3.6. COMUNICAȚII PENTRU EXPLORĂRI SUBACVATICE	27
1.4. INVESTIȚII ÎN PROIECTE GLOBALE CU CSLV.....	28
CAPITOLUL II	
COMPONENTELE SISTEMULUI CSLV. DESCRIEREA DETALIATĂ A TEHNOLOGIEI	30
2.1. INTRODUCERE	30
2.2. STRUCTURA DE BAZĂ A SISTEMULUI CSLV	31
2.3. TRANSMIȚĂTORUL CSLV CU MODULUL OPTIC INTEGRAT (oTx).....	34
2.4. RECEPTORUL CSLV CU MODULUL OPTIC INTEGRAT (oRx).....	41
2.4.1. FOTODETECTORUL (PD)	41
2.4.2. FILTRUL OPTIC	50
2.4.3. LENTILELE SPECIFICE SISTEMULUI CSLV	51
2.5. ARHITECTURA SISTEMULUI CSLV	52
2.5.1. MODELUL GENERAL AL CANALULUI OPTIC DE COMUNICAȚIE	52
2.5.2. MODELUL CANALULUI DE COMUNICAȚIE ÎN SPAȚIUL DE LUMINĂ VIZIBILĂ	54
2.5.3. TOPOLOGII ALE SISTEMELOR CSLV DE PROPAGAREA LUMINII	57
2.6. SISTEMUL ELECTRONIC AL CSLV.....	64
2.6.1. ARHITECTURA MODULULUI oTx PENTRU UN SISTEM CSLV EFICIENT.	64
2.6.2. ARHITECTURA MODULULUI oRx PENTRU UN SISTEM CSLV EFICIENT	73
2.7. TEHNICI DE MODULAREA SEMNALULUI SPECIFICE CSLV	75
2.7.1. TEHNICI DE MODULARE CU PURTĂTOARE UNICĂ	76
2.7.2. TEHNICI DE MODULARE CU PURTĂTOARE MULTIPLE.....	86
2.8. STANDARD IEEE PENTRU CSLV ȘI LiFi.....	93

CAPITOLUL III

SISTEM DE POZIȚIONARE ȘI MONITORIZAREA ÎN SUBTERAN (SP&MS) A PERSONALULUI CU CSLV INTEGRAT. DESCRIERE, MODELARE ȘI SIMULARE 96

3.1. DESCRIEREA GENERALĂ A SISTEMULUI SP&MS CU CSLV INTEGRAT	96
3.2. LAMPA MINERULUI CA MODUL TRANSMIȚĂTOR (σ_{Tx}) CSLV	102
3.2.1. PROIECTAREA ȘI SIMULAREA CIRCUITULUI ELECTRONIC CU CSLV INTEGRAT ÎN LAMPA MINERULUI	103
3.2.2. SIMULAREA CIRCUITULUI ELECTRONIC CU MICROCONTROLLER-UL ATMEGA 328	112
3.3. PUNCTELE DE ACCES (σ_{Rx}) CA MODULE DE RECEPTIE ALE CSLV	116
3.3.1. PROIECTAREA ȘI SIMULAREA CIRCUITULUI ELECTRONIC AL RECEPTORULUI CU CSLV INTEGRAT	117
3.3.2. SIMULAREA CIRCUITULUI ELECTRONIC CU MICROCONTROLLER-UL ATMEGA 2560	122
3.4. MODELAREA ȘI SIMULAREA SISTEMULUI OPTIC POTRIVIT PENTRU SISTEMUL CSLV ÎN FUNCȚIE DE CONDIȚIILE DE MEDIU DIN SUBTERAN	126
3.4.1. MODELAREA CANALULUI ȘI CONSIDERAȚII CU PRIVIRE LA MEDIUL SUBTERAN	126
3.5. SISTEMUL OPTIC PENTRU CSLV	133
3.5.1. LENTILELE POZIȚIONATE ÎN FAȚA LED-ULUI	133

CAPITOLUL IV

REALIZAREA PROTOTIPULUI PENTRU SISTEMUL SP&MS CU CSLV INTEGRAT 142

4.1. DESCRIEREA GENERALĂ A CONDIȚIILOR SPECIFICE MINIERE PENTRU REALIZAREA PROTOTIPULUI	142
4.2. SISTEMUL SP&MS CU CSLV INTEGRAT	145
4.2.1. ALEGEREA COMPONENTELOR OPTIME PENTRU SISTEMUL SP&MS CU CSLV	145
LED-URI	145
FOTODIODE	147
TRANZISTORI	150
AMPLIFICATOARE OPERAȚIONALE	150
CIRCUITUL MARTOR PENTRU COMUNICAȚIA DE SUNET	151
CIRCUITUL PENTRU COMUNICAȚIA CODULUI DE BARE AL LĂMPILOR MINERULUI	152
4.2.2. IMPLEMENTAREA LOGICĂ A SISTEMULUI SP&MS CU CSLV INTEGRAT	153
4.3. EXPERIMENTE ÎN LABORATOR	
4.4. CONSIDERAȚII PRIVIND EVALUAREA CANALULUI DE COMUNICAȚIE OPTICĂ DIN MINELE DE CĂRBUNE. MODALITĂȚI DE IDENTIFICAREA SISTEMULUI	163
4.5. ESTIMAREA COSTURILOR SISTEMULUI SP&MS CU CSLV INTEGRAT	167
CONCLUZII, CONTRIBUTII ȘI ÎMBUNĂȚĂȚIRI VIITOARE	168
BIBLIOGRAFIE	1174
LISTA DE ABREVIERI	190
ANEXA A	195
ANEXA B	198

REZUMAT

Mai mult decât oricând, suntem martorii unor progrese neașteptate în știință precum și ale descoperirilor tehnologice uimitoare ce au un impact incredibil asupra vieții noastre de zi cu zi.

În ultimii zece ani, din ce în ce mai multe dispozitive inteligente sunt conectate fără fir, local sau la distanță prin internet și astfel, a devenit vizibilă setea de comunicație rapidă și sigură de date. Internetul lucrurilor, casele inteligente, orașele inteligente, conducerea auto asistată de computer, rețelele personale s-au dezvoltat exponențial în ultima vreme, astfel încât, comunicația de tip mașină cu mașină (M2M) nu mai este de mult o noutate. Toate aceste comunicări de date fără fir la nivel local sau la distanță sunt bazate pe frecvențele de unde radio din spectrul electromagnetic. Atunci când toate aceste concepte vor fi complet integrate în viața noastră de zi cu zi, nevoia de comunicație rapidă și sigură de date atât în interiorul clădirilor cât și în afara lor, va necesita noi tehnologii fără fir, suficient de mature, pentru a le putea implementa, altele decât cele bazate pe tehnologiile de comunicație în spectrul de radio frecvență. Așa cum prevede Cisco în traficul de date prognozat până în 2022, vor fi mai mult de 12,3 miliarde de dispozitive mobile conectate, depășind populația planetei (de 8 miliarde) de 1,5 ori. Mai mult chiar, cu nivelul previzionat de dispozitive inteligente conectate, criza spectrului electromagnetic de comunicație wireless pe radio frecvență, va deveni curând realitate.

De ani buni deja, s-au căutat și dezvoltat multe tehnologii alternative pentru a face față dezvoltării exponențiale și “setei” de Terra octeți de comunicație fără fir de date.

Pentru că cea mai mare parte a traficului de date se desfășoară în interiorul clădirilor, tehnologia de comunicație optică de date, datorită implementărilor recente, s-a dovedit a fi o alternativă viabilă a tehnologiei de comunicație fără fir de date bazate pe radio frecvență, cum ar fi Wi-Fi sau traficul de date mobile.

Comunicația de date în spațiul optic cuprinde comunicația în infraroșu și transmisia de date în spațiul de lumină vizibilă. Comunicația în spațiul de lumină vizibilă a devenit posibilă datorită atât eforturilor de cercetare universitare din toată lumea cât și al interesului crescut pentru această tehnologie al companiilor din zona de afaceri.

Una din noile tehnologii optice de comunicație wireless, LiFi, a fost denumită de profesorul Harald Haas în 2011 la o conferință TED. Datorită analogiei inspirată cu Wi-Fi, a atras atenția întregii lumi asupra potențialului acestei tehnologii și astfel a crescut interesul atât al comunității științifice cât și al celei de afaceri în a-și intensifica eforturile de cercetare.

Cu toate că nu este standardizată încă și nici dezvoltată pe deplin la întregul ei potențial, tehnologia LiFi a fost deja lansată, la sfârșitul anului 2018, sub formă de kit de testare pentru comunitatea academică și promite să se dezvolte exponențial în viitorul apropiat.

Conceptul LiFi se referă la un sistem local, integrat în LED-urile de iluminat, care permite comunicația rapidă și sigură de date prin intermediul luminii odată cu iluminatul încăperilor, pentru ca apoi să fie posibilă comunicația de date la distanță, prin internet.

Comunicația bidirecțională de date, este posibilă datorită primirii de date prin spațiul de lumină vizibilă (de către un dispozitiv cu fotodiode) și transmiterea lor înapoi, în infraroșu, către un punct de acces LiFi integrat în instalația de iluminat. Primele sisteme LiFi lansate spre testare permit folosirea tehnologiei de către utilizatori multipli precum și trecerea de la un punct de acces LiFi la altul fără întreruperea comunicației.

Deoarece LiFi permite transmisii cu viteze de ordinul Gigabiților, această tehnologie deține cheia de rezolvare a provocărilor ce stau în fața tehnologiei de comunicație wireless 5G, datorită avantajelor ei intrinseci și anume securitate (deoarece lumina nu pătrunde prin obiectele solide), fără pericolul de a exista interferențe și mai robustă decât tehologiile fără fir bazate pe frecvențe radio.

Mai mult decât atât, iluminatul cu LED-uri este previzionat să înlocuiască peste tot în lume lămpile incandescente, becurile fluorescente sau lămpile cu halogen datorită avantajelor lor evidente (timp de viață între 25.000 și 50.000 ore de funcționare, înaltă eficiență în conversia de energie, nivel scăzut de căldură generată, înaltă toleranță la umiditate și la temperaturi ridicate sau joase, fără mercur, dimensiune compactă), de aceea LiFi este pregătită să fie lansată ca tehnologie alternativă de comunicație fără fir.

Astăzi sunt disponibile online o serie de aplicații performante, gratuite, de simularea circuitelor electronice, dar și soluții software pentru modelarea și simularea sistemelor. Aceste aplicații fac posibilă modelarea și simularea înainte de realizarea circuitelor imprimare și implementarea hardware a diferitelor idei care permit astfel proiectarea rapidă, testarea și realizarea prototipului în laborator, cu costuri reduse.

Creșterea tehnologică avansată a făcut, de asemenea, posibil ca fotodiode mult mai sensibile și cu costuri reduse să poată fi achiziționate de peste tot din lume, și astfel, multe proiecte cu remarcabil de multe implementări bazate pe idei diverse, în varii domenii, să se transforme în realitate.

Comunicație fără fir de date se extinde în fiecare zi și datorită aglomerării spectrului de radiofrecvență, în locurile în care Wi-Fi devine supraaglomerat, este limitat sau interzis, comunicația optică fără fir să devină o tehnologie alternativă potrivită.

Diferite domenii, cum ar fi cele în care este limitată comunicația fără fir de date ce se bazează pe frecvențe radio (în avioane sau în spitale) sau interzise (centrale nucleare sau industria petrochimică), precum și diferite alte clădiri unde conectivitatea fără fir se dovedește a fi supraaglomerată sau limitată, sunt locuri potrivite în care să se integreze tehnologia LiFi.

Datorită eforturile intense de cercetare de aproape un deceniu, s-au realizat sisteme de comunicație optice în varii domenii, cum ar fi:

- Comunicație de date în interiorul clădirilor;
- Sisteme de poziționare și navigare în interiorul clădirilor (de exemplu în muzee și supermarket-uri);
- Comunicația în spațiul de lumină vizibilă între dispozitive inteligente personale sau medicale, echipamente sau diverse alte dispozitive (jucării, de exemplu);
- În casă, la birou sau integrate în electrocasnice;
- Iluminat inteligent;
- Comunicația între vehicule sau integrate în iluminatul stradal;
- Comunicația în spațiul de lumină vizibilă pentru explorări subacvatice, etc.

Din ce în ce mai multe companii multinaționale bine cunoscute derulează proiecte ce au ca scop adăugarea la funcția de bază, iluminatul, comunicația fără fir de date pentru a rezolva provocarea adusă de conectivitatea fără fir care devine din ce mai pretențioasă din punct de vedere al vitezei și al securității datelor.

Diverse concepte, demonstrate deja la nivel teoretic pe baza modelelor matematice referitoare la răspunsul canalului la impulsul optic primit, modelarea canalului de comunicație, modelarea semnalului, se pot realiza astăzi practic datorită LED-urilor, a fotodectoarelor cu caracteristici îmbunătățite și a circuitele electronice cu microprocesor avansate. Marea majoritate a proiectelor bazate pe tehnologia de comunicație în spațiul de lumină vizibilă, au trecut de la demonstrațiile teoretice la implementări practice care permit viteze mari de comunicație, pe distanțe destul de mari, un raport semnal/zgomot îmbunătățit precum și la dezvoltări de echipamente inteligente dedicate.

Tehnologia de comunicație în spațiul de lumină vizibilă (CSLV), promite să ofere în viitorul apropiat, un sistem de comunicație mai rapid, mai sigur și mai prietenos cu mediul. Atunci când tehnologia LiFi va fi suficient de matură și accesibilă financiar, ne putem aștepta ca fiecare LED din sistemul de iluminat să fie utilizat și ca punct de acces pentru comunicația de date, ceea ce înseamnă că, acolo unde vom avea instalații de iluminat, va fi posibil să existe și comunicație de date fără fir.

La cât de repede se dezvoltă aceste tehnologii, în câțiva ani, atât CSLV cât și LiFi, împreună cu alte tehnologii complementare, vor permite crearea de platforme de comunicație fără fir peste tot. Prin prisma acestei apropiate integrări, fiecare dispozitiv suficient de mare care permite integrarea unui LED, al unui circuit electronic pe post de driver și un senzor de lumină se va putea conecta prin aceste tehnologii optice pentru a comunica fără fir, date.

Referitor la CSLV, în lucrarea de față, autoarea face o trecere în revistă detaliată și actualizată a literaturii de specialitate în domeniu și prezintă, de asemenea, situația actuală de dezvoltare a tehnologiei. Este, de asemenea, realizată o descriere amănunțită a tehnologiei prin prisma tuturor elementelor componente și a modelelor matematice ce stau la baza dezvoltării acestei tehnologii.

De asemenea, autoarea realizează o prezentare detaliată a modelului general de descriere al canalului optic de comunicație, în special al poziționării și geometriei în spațiu atât al transmițătorului cât și al receptorului din sistemului CSLV (cu conectare directă sau indirectă). Împreună cu modelarea canalului sunt prezentate diferite modele de propagarea luminii în funcție de posibilele topologii CSLV.

Modelele canalului optic de comunicație sunt clasificate în deterministe și modele stohastice bazate pe geometrie. Abordarea deterministă se referă la modelele recursive, iterative, DUSTIN, urmărirea traseului fasciculelor luminoase precum și abordări recursive care evaluează răspunsul canalului de comunicație la impulsul luminos luând în considerare reflexii multiple (mai mult de două) atât în comunicația infraroșu cât și în CSLV.

Algoritmi bazați pe modele geometrice stohastice (ca de exemplu sferic sau Carruthers) precum și modele ne-geometrice stohastice precum Monte Carlo sau Monte Carlo modificat sunt utilizați pentru a descrie comportamentul luminii în interiorul încăperilor. Rădacina medie pătratică, întârzierea datorată împrăștierii precum și pierderea drumului de către razele optice sunt caracteristici definite prin modele matematice ce caracterizează canalul de comunicație optic.

Construcția electronică (atât al emițătorului cât și al receptorul optic), topologia unui sistem CSLV eficient precum și tehnicile de modularea semnalului (atât cu unică purtătoare cât și cu purtătoare multiple) au fost analizate și investigate exhaustiv.

Autoarea acestei lucrări, propune, de asemenea, un sistem de poziționare și monitorizare în subteran (SP&MS) cu sistem CSLV integrat. O prezentare detaliată a sistemului precum și modelarea, simularea și proiectarea lui împreună cu modelarea canalului de comunicație sunt, de asemenea, extins prezentate în această lucrare.

Întregul sistem electronic cu microcontroller (atât emițătorul cât și receptorul) este descris, precum și sistemului optic, al lentilelor integrate în modulul emițător și al lentilelor și filtrului integrate în modulul receptor. Toate acestea sunt detaliat prezentate împreună cu modelele matematice ce stau la baza dezvoltării sistemelor. Simulările cu aplicații specializate au permis alegerea corectă a topologiei de poziționare atât al emițătorului cât și al receptorului de comunicație în spațiul de limină vizibilă.

Aplicațiile utilizate pentru simularea sistemelor sunt Every Circuit, Multisim, MatLab, Simulink, Proteus și Phet. Rezultatele obținute în urma simulărilor au permis o prototipare rapidă, optimă, și cu costuri reduse al întregului sistem de comunicație în spațiul de lumină vizibilă.

Autoarea a dezvoltat un prototip al sistemul CSLV cu microcontroler (atât echipamentul cât și codul) și a realizat teste de laborator pentru a putea transmite fără fir date prin lumină. Datele trimise constau dintr-un exemplu de cod de bare EAN-8 care este unic atribuit fiecărei lămpi miniere cu LED ce este obligatoriu de purtat (pe cască) de către fiecare persoană ce se află în subteran.

Sistemul SP&MS propus în această lucrare constă dintr-un modul transmițător cu CSLV integrat în lampă ce se poziționează pe cască minerului, care trimite continuu date, prin lumină. Datele transmise constau în codul unic de identificarea (ID-ul) al lămpii cu LED. Atâta timp cât se află în subteran, nu doar lampa este unic identificată, dar se cunoaște astfel și persoana ce poartă pe cască lampa respectivă cu LED.

ID-ul de identificare al lămpii (și anume codul unic EAN-8) este primit de modulul de recepție care are sistemul CSLV integrat și care este, la rândul său, integrat în punctele de acces din rețeaua de iluminat fix ce se afla pe galeriile principale din subteran.

Fiecare punct de acces adaugă informației primite de la lampă, propriul ID ce reprezintă propria poziție pe galeria principală, împreună cu data și ora la care a primit datele de la emițător și crează apoi, un cadru de tip Ethernet II. Aceasta este modalitatea prin care, poziția fiecărei persoane din subteran este unic cunoscută în timp real la suprafața minei, iar persoana din subteran este de asemenea, identificată.

Prin punctele de acces, datele sunt trimise către suprafața minei (prin echipamente de rețea de tip Ethernet) către o încăpere specială de supraveghere ce conține un server și un ecran pentru monitorizarea în timp real, pe o hartă a minei, a pozițiilor persoanelor aflate în subteran.

Înainte de dezvoltarea prototipului, autoarea realizează o analiză amănunțită a sistemului CSLV din subteran. Sistemul trebuie să fie cu protecție anti-explozivă certificat ATEX, pentru a respecta cele mai restrictive standarde de securitate. Pericolul de explozie, așa cum este în minele de cărbune, impune utilizarea echipamentelor de iluminat special proiectate pentru a evita accidentele datorate existenței prafului explozibil și a concentrațiilor mari de metan din atmosferă ce pot declanșa explozii.

Datele achiziționate în baza testelor de comunicație realizate într-o galerie prototip (creată la scara 1:6,25), servesc ca bază pentru o analiză detaliată a semnalului transmis pentru a putea determina îmbunătățirile ce trebuie aduse punctelor de acces poziționate în rețeaua de iluminat apropiate de abataje, acolo unde comportamentul luminii trebuie modelat cu atenție datorată împrăștierei și absorbției cauzate de particulele fine de cărbune și rocă aflate în suspensie în aer.

În urma depunerii unei cereri de brevet la OSIM (A0491/02.07.2018), autoarea consideră oportuna realizarea unei estimări a costurilor întregului sistem CSLV din subteran care vine să completeze decalajul ce apare de la proiectarea la realizarea unui produs, pentru a scurta ciclul de viață al realizării produsului din sistemul propus.

Elementele referitoare la contribuțiile aduse cercetărilor în domeniu sunt următoarele:

- o prezentare cronologică a literaturii de specialitate referitoare la comunicația în spațiul optic precum și o analiză a stadiului său tehnic de dezvoltare;
- o prezentare detaliată a unei configurații CSLV cu caracteristici cheie ale LED-urilor și PD-urilor, subliniate și discutate cu toate modelele matematice specifice, explicate;
- descrierea canalului de comunicație, a semnalului optic la recepție precum și analiza diferitelor topologii CSLV;

- descrierea detaliată a configurației optice atât pentru emițător (oTx) cât și pentru receptor (oRx);
- descrierea detaliată a configurației electrice pentru oTx și oRx;
- analiza modulărilor cu purtătoare unică și cu purtătoare multiple cu descriere teoretică și modelele matematice pentru sistemul CSLV;
- simularea configurației electronice (cu aplicațiile specializate Every Circuit, Multisim, ISIS Proteus și Arduino) pentru oTx și oRx;
- Simularea configurației optice atât pentru oTx cât și pentru oRx (cu aplicația online Phet, modele matematice corespunzătoare și aplicația Simulink);
- simulare distribuției optice și a răspunsului receptorului la impulsul optic primit în galeria principală subterană cu trei scenarii posibile (cu aplicația MatLab);
- descrierea și analiza UP & MS a unui sistem CSLV corespunzător, adecvat în medii cu risc ridicat de explozie, cu cerințe stricte ATEX;
- realizarea prototipurilor plăcilor electronice cu microcontrolere pentru oTx și oRx;
- descrierea detaliată a ID-ului lămpii poziționate pe casca minerului asociat unui cod de bare de tip EAN-8 cu un algoritm de control pentru o identificare corectă a datelor trimise;
- descrierea generală a tipului de rețea cu specificarea datelor transmise din cadrul Ethernet de tip II;
- implementarea software-ului atât pentru oTx, cât și pentru oRx pentru transmiterea ID-ului lămpii către oRx cu modulul de tip punct acces încorporat în rețeaua de iluminat;
- realizarea la scara de 1: 6,25 a galeriei principale subterane cu respectarea geometriei specifice pentru a derula teste de laborator în timpul comunicării datelor;
- achiziționarea de date atât de la oTx cât și de la oRx cu ajutorul osciloscopului cu scopul de a identifica sistemul adecvat pe baza căruia să se dezvolte un model matematic potrivit situației reale din subteran. Datele achiziționate permit o descriere cu acuratețe a calității comunicării optice într-un mediu poluat, plin cu mici particule de cărbune și rocă în suspensie, în apropierea abatajelor;
- Estimarea costului sistemului CSLV din subteran, ca parte a SP&MS.

Diferitele posibile îmbunătățiri ale configurației CSLV propuse se pot realiza pentru oTx și oRx atât din punct de vedere al sistemului electronic cât și optic.

Se pot utiliza plăci electronice avansate de prelucrare a semnalului digital (DSP) cu microcontrolere performante și tehnici de modulare cu mai multe purtătoare.

Un design îmbunătățit, se poate implementa, atât pentru sistemul optic al oTx (lentile adecvate, sensibile, de înaltă calitate), cât și al oRx (lentile adecvate și filtre optice de înaltă calitate). Atât modulul oTx cât și oRx pot fi reproiectate pentru a conține o matrice de LED-uri și mai multe fotodiode, pentru a crește puterea optică trimisă de LED-uri și recepționată de fotodiode.

Soluția prezentată poate fi îmbunătățită prin utilizarea fibrei optice fixate pe tavanul galeriilor principale pentru a forma o rețea de tip IoT.

În baza cercetării prezente, se pot desfășura testele suplimentare - în condiții de laborator - pentru a obține și analiza date cu un grad de perturbații mai ridicat, dar care încă suportă o funcționalitate adecvată a modulelor CSLV și în condiții dificile de mediu cu atenuare optică severă, aproape de abatajele din subteran.

Se pot obține date suplimentare pentru a se investiga mai multe posibile scenarii cu scopul de a determina atât atenuarea optică cât și coeficientului de extincție corespunzător în scopul îmbunătățirii modulului oRx cu CSLV din apropierea abatajelor, acolo unde mediul devine dens.

BIBLIOGRAFIE

1. [Online] Povey G., *Visible Light Communications*, <http://visiblelightcomm.com>. Last accessed 10.04.2019
2. Hyunchoe Chun, Sujun Rajbhandar, Grahame Faulkner, Dobroslav Tsonev, Enyuan Xie, Jonathan James Donald McKendry, Erdan Gu, Martin D. Dawson, Dominic C. O'Brien, Harald Haas, et.al, *LED Based Wavelength Division Multiplexed 10 Gb/s Visible Light Communications*, OSA Publishing, Journal of Light wave Technology, Volume 34, Issue 13, (2016).
3. Smale, A. *Discovering the Electromagnetic Spectrum*, High Energy Astrophysics Science Archive Research Center (HEASARC), Astrophysics Science Division (ASD) at NASA/GSFC, https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/toolbox/history_multiwavelength_1.html (2013).
4. [Online] www.internetworldstats.com/stats.htm. Last accessed 10.04.2019
5. [Online] www.apnic.net/community/ipv4-exhaustion/ipv4-exhaustion-details/. Last accessed 10.04.2019
6. Deering, S. and Hinden R., *Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification*,. Internet Engineering Task Force (IETF), December 1995. Freely accessible. RFC 1883.
7. Dimitrov S. and Haas H., *Principles of LED Light Communications. Towards Networked Li-Fi*, Cambridge. Cambridge University Press, (2015).
8. [Online] *The Zettabyte Era: Trends and Analysis - Cisco*. www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/vni-hyper-connectivity-wp.html, Last accessed 10.04.2019
9. Riurean S., Olar L.M., Leba M. and Ionica A. *Underground Positioning System Based on Visible Light Communication and Augmented*, Conference Reality Modern Technologies for the 3rd Millennium, Oradea 21-23 March, (2018).
10. [Online] www.ntia.doc.gov/page/2011/united-states-frequency-allocation-chart. Last accessed 10.04.2019
11. Uysal M., Capsoni C., Ghassemlooy Z., Boucouvalas A. and Udvary E., *Optical Wireless Communications. An Emerging Technology*, Springer International Publishing Switzerland, ISBN 978-3-319-30201-0, (2016).
12. Khan, J. M., *Visible light communication: Applications, architecture, standardization and research challenges*, Digital Communications and Networks, Vol. 3, 2, pp. 78-88. ISSN 2352-8648, DOI: /10.1016/j.dcan.2016.07.004, (2017).
13. Holzmann G.J. and Pehrson B., *The Early History of Data Networks*. United States: IEEE Computer Society Press, (1995).
14. Arun K. Majumdar, Ricklin J. C., *Free-Space Laser Communications: Principles and Advances*, New York: Springer-Verlag, (2007).
15. Bell, Alexander Graham, *Bell's Photophone*, Springer Nature, Nov 4, Vol. Nature (1880).
16. Bapst R.F. and Gfeller U., *Wireless In-House Data Communication Via Diffuse Infrared Radiation*, [ed.] Proceedings of the IEEE. Nov. 1979, Vol. 67, 11, pp. 1474–1486, (1979).
17. Kahn J. M., and Marsh G. W., *Performance Evaluation of Experimental 50-Mb/s Diffuse Infrared Wireless Link Using On–Off Keying with Decision-Feedback Equalization*, Nov 1996, Vol. 44, 11, pp. 1496–1504, (1996).
18. Kahn, J. M. and Carruthers J. B., *Angle Diversity for Nondirected Wireless Infrared Communication*. 6, June 2000, IEEE Transactions on Communications, Vol. 48, pp. 960-969, (2000).

19. Tanaka Y., Komine T., Haruyama S., Nakagawa M., *Indoor Visible Light Data Transmission System Utilizing White LED Lights*, 8, Aug 2003, IEICE Transactions on Communications, Vols. E86-B, pp. 2440-2454, (2003).
20. Afgani, M., Haas, H., Elgala, H. and Knipp, H., *Visible Light Communication Using OFDM*, Barcelona: s.n., 2006. 2nd International Conference on Testbeds and Research Infrastructures for the Development of Networks and Communities (TRIDENTCOM). pp. 129-134, (2006).
21. Haas H., Elgala H. and Mesleh R., *Indoor broadcasting via white LEDs and OFDM*. TCE.2009.5277966, s.l. : IEEE Transactions on Consumer Electronics 55(3), 2009, IEEE Xplore, Vol. DOI:10.1109/TCE.2009.5277966, pp. 1127-1134, (2009).
22. Haas H., Elgala H., Mesleh R., *Indoor optical wireless communication: potential and state-of-the-art.*, s.l. : IEEE Communications Magazine, Vol. 49. Iss.9, (2011).
23. Khalid A. M., Cossu G., Corsini R., Choudhury P., Ciaramella E. *1Gbit/s Visible Light Communication Link Based on Phosphorescent White LED* Conference: IEEE Photonics Switching, Vol 4, No 2, DOI: 10.1109/JPHOT.2012.2210397 (2012)
24. [Online] Standards, JEITA. *Visible Light Communication*. AV&IT Technology Standardisation. https://www.jeita.or.jp/cgi-bin/standard_e/list.cgi?cateid=1&subcateid=50, (2007).
25. [Online] *P802.15.7/D4 - IEEE Draft Standard for Information technology*. s.l.: IEEE, IEEE Xplore Digital Library.35.110 - Networking. <http://ieeexplore.ieee.org/document/5658207/> Last accessed 10.04.2019 (2010)
26. [Online] *Wireless Data from Every Light Bulb*. s.l. : TED Talk, Aug, <http://bit.ly/tedvlc> Last accessed 10.04.2019 (2011).
27. [Online] https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2014/press.html Isamu Akasaki, Hiroshi Amano, Shuji Nakamura. The Nobel Prize in Physics 2014. *Nobelprize*. Last accessed 10.04.2019, (2014).
28. Vučić J., Kottke C., Nerreter S., Langer K.D., and Walewski J. W., *513 Mbit/s Visible Light Communications Link Based on DMT-Modulation of a White LED*. s.l. : OSA Publishing, Journal of Lightwave Technology, Vol. 28, Issue 24, p. 3512. (2010).
29. Alvarado A., Agrell E., Lavery D., and Bayvel P., *LDPC Codes for Optical Channels: Is the "FEC Limit" a Good Predictor of Post-FEC BER?* Optical Fiber Communication Conference Los Angeles, California, United States: OSA Publishing, DOI 10.1364/OFC.2015.Th3E.5, (2015).
30. Vučić J., Kottke C., Habel K. and Langer K.-D., *Optical wireless network built on white-light LEDs reaches 800Mb/s*, Los Angeles, CA, USA, IEEE Xplore, March, 2011, Optical Fiber Communication Conference and Exposition (OFC/NFOEC) and the National Fiber Optic Engineers Conference, (2011).
31. Pedrotti N. and Pedrotti A., *Introduction to Optics*, Prentice Hall. ISBN 0135015456, (1993).
32. Chun, H., Manousiadis, P., Rajbhandari, S., Vithanage, D. A., Faulkner, G., Tsonev, D., McKendry, J. J. D., Videv, S., Xie, E., Gu, E., Dawson, M. D., Haas, H., Turnbull, G. A., Samuel, I.D., O'Brien, D.C., *Visible Light Communication Using a Blue GaN μ LED and Fluorescent Polymer Color Converter*. 20, s.l.: IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 26, pp. 2035 - 2038. DOI: 10.1109/LPT.2014.2345256 (2014).
33. Videv, S. and Haas, H., *Practical space shift keying VLC system*, Conference Location: Istanbul, Turkey, IEEE Xplore Library, Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), DOI: 10.1109/WCNC.2014.6952042, (2014).
34. Huang X., Shi J., Li J., Wang Y. and Chi N. *A Gb/s VLC Transmission Using Hardware Preequalization Circuit*, 15, s.l.: IEEE Xplore Digital Library, June, IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 18, pp. 1915 – 1918, DOI: 10.1109/LPT.2015.2445781, (2015).

35. Manousiadis P., Chun H., Rajbhandari S., Mulyawan R., Vithanage D. A., Faulkner G., Tsonev D., McKendry J. J.D., Ijaz M., Videv S., E.Xie, Gu E., Dawson M.D., Haas H., Turnbull G. A., Samuel I.D.W., and O'Brien D., *Demonstration of 2.3 Gb/s RGB White-light VLC using Polymer based Colour-converters and GaN micro-LEDs*, Nassau, Bahamas, IEEE Summer Topicals Meeting, Visible Light Communications (VisC). 10.1109/PHOSST.2015.7248279, (2015).
36. [Online] *How do LEDs work*. Philips Lighting. Philips. <http://www.lighting.philips.com/main/education/lighting-university/lighting-university-browser/video/LEDs>. Last accessed 10.04.2019
37. Wu F., Lin C., Wei C., Chen C., Chen Z., and Huang K., *3.22-Gb/s WDM visible light communication of a single RGB LED employing carrier-less amplitude and phase modulation*, in Optical Fiber Communication Conference/National Fiber Optic Engineers Conference 2013, OSA Technical Digest (online) (Optical Society of America, 2013), paper OTh1G.4 pp. 1-3, (2013).
38. Cossu, Y., Ali, W., Corsini, R. and Ciaramella, E., *Gigabit-class optical wireless communication system at indoor distances (1.5–4 m)*, s.l.: Opt. Express, Vol. 23, pp. 15700–15705, (2015).
39. Cossu G., Ali W., Corsini R., and Ciaramella E., *Gigabit-class optical wireless communication system at indoor distances (1.5 – 4 m)*, [ed.] Optical Society of America., s.l.: OSA Publishing, Vol. 23, Issue 12, p. 15700. DOI: 10.1364/OE.23.015700, (2015).
40. Yu-Chieh Chi, Yu-Fang Huang, Tsai-Chen Wu, Cheng-Ting Tsai, Li-Yin Chen, Hao-Chung Kuo and Gong-Ru Lin, *Violet Laser Diode Enables Lighting Communication*, s.l.: A natural Research Journal, September, DOI: 10.1038/s41598-017-11186-0, (2017).
41. Wang, Y. Tao L., Huang X., Shi J., and Chi N., *8-Gb/s RGBY LED-Based WDM VLC System Employing High-Order CAP Modulation and Hybrid Post Equalizer*, Photonics Journal, IEEE, December, Vol. 7, Issue 6, pp. 1-7, (2015).
42. Tsonev, D., Videv, S. and Haas, H., *Towards a 100 Gb/s Visible Light Wireless Access Network*, Optics Express, s.l. : OSA Publishing, 2015, Optics Express, Vol. 23, Issue 2, pp. 1627-1637, DOI: 10.1364/OE.23.001627, (2014).
43. Sun Z., Teng D., Liu, L., Huang X., Zhang X., Sun K., Wang, Y. and Chi, N., *A Power-Type Single GaN-Based Blue LED With Improved Linearity for 3 Gb/s Free-Space VLC Without Pre-equalization*, s.l.: IEEE Xplore Digital Library, IEEE Photonics Journal, Vol. 8. Issue 3. DOI: 10.1109/JPHOT.2016.2564927, (2016).
44. Chun H., Rajbhandari S., Faulkner G., Tsonev D., Xie E., James J., McKendry D., Gu E., Dawson M. D., O'Brien D. C, and Haas H., *LED Based Wavelength Division Multiplexed 10 Gb/s Visible Light Communications*, Journal of Lightwave Technology, Vol. 34, Issue 13, pp. 3047–3052, (2016).
45. Chi, N., Zhang, M., Zhou, Y. and Zhao, J., *3.375-Gb/s RGB-LED based WDM visible light communication system employing PAM-8 modulation with phase shifted Manchester coding*. s.l.: OSA Publishing, Optics Express, Vol. 24, pp. 21663–21673, (2016).
46. Ferreira, R. X. G. et al. *High Bandwidth GaN-Based Micro-LEDs for Multi-Gb/s Visible Light Communications*, s.l. : IEEE Photonics Technology, 2016, Vol. 23, 19, pp. 2023–2026, DOI: 10.1109/LPT.2016.2581318, (2016).
47. Chao Shen, Changmin Lee, Tien Khee Ng, Shuji Nakamura, and James S. Speck., *High-speed 405-nm superluminescent diode (SLD) with 807-MHz modulation bandwidth*, s.l. : OSA Publishing, Optics Express, Vol. 24, Issue 18, pp. 20281–20286, (2016).
48. Cui, L., Tang, Y., Jia, H., Luo, J. and Gnade, B., *Analysis of the Multichannel WDM-VLC Communication System*, s.l. OSA Publishing, Journal of Lightwave Technology, Vol. 34, Issue 24, pp. 5627–5634, (2016).

49. Chin-Wei Hsu, Chi-Wai Chow, I-Cheng Lu, Yen-Liang Liu, Chien-Hung Yeh and Yang Liu, *High Speed Imaging 3 × 3 MIMO Phosphor White-Light LED Based Visible Light Communication System*, IEEE, December 2016, IEEE Photonics Journal, Vol. 8. Issue 6, DOI: 10.1109/JPHOT.2016.2633395, (2016).
50. Lu, I C., Lai, C. H., Yeh, C. H. and Chen, J., *6.36 Gbit/s RGB LED-based WDM MIMO Visible Light Communication System Employing OFDM Modulation*, Los Angeles, California, USA: OSA Technical Digest, Optical Society from America, March, Optical Fiber Communication Conference. DOI: 10.1364/OFC.2017.W2A.39, (2017).
51. Islim M. S., Ferreira R. X., He X., Xie E., Videv S., Viola S., Watson S., Bamiedakis N., Penty R. V., White I. H., Kelly A. E., Gu E., Haas H. and Dawson M. D., *Towards 10 Gb/s orthogonal frequency division multiplexing-based visible light communication using a GaN violet micro-LED*, s.l. : OSA Publishing, Photon Research, Vol. 5, Issue 2, pp. A35–A43. DOI: 10.1364/PRJ.5.000A35, (2017).
52. Elgala H. et al. *Coexistence of WiFi and LiFi toward 5G: Concepts, opportunities, and challenges*, s.l. : IEEE Commun. Mag., February 2016, Vol. 54, 2, pp. 64-71, (2016).
53. Bian R., Tavakkolnia I. and Haas H., *15.73 Gb/s Visible Light Communication with off-the-shelf LEDs*, Journal of Lightwave Technology, vol. 37, no. 10, pp. 2418-2424, 15 March, DOI: 10.1109/JLT.2019.2906464, (2019).
54. Ayyash M., Elgala H. et al. *Coexistence of WiFi and LiFi toward 5G: Concepts, opportunities, and challenges*, IEEE Communications Magazine, vol. 54, no. 2, pp. 64-71, February 2016. DOI: 10.1109/MCOM.2016.7402263, (2016).
55. Tsonev D., Videv S. and Haas H., *Light Fidelity (Li-Fi): Towards All-Optical Networking*, Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering 9007:900702 December 2013, DOI: 10.1117/12.2044649, (2013).
56. Phat Huynh and Myungsik Yoo., *VLC-Based Positioning System for an Indoor Environment Using an Image Sensor and an Accelerometer Sensor*, s.l.: Image Sensor Based Optical Wireless Communications, Vol. 16, Issue 6, p. 783, (2016).
57. Do, T.-H. and Myungsik Yoo., *An in-Depth Survey of Visible Light Communication Based Positioning System*, s.l.: Sensors, Vol. 16, p. 678, (2016).
58. Zhang, W. and Kavehrad, M., *Comparison of VLC-based indoor positioning techniques*, San Francisco, CA, USA: SPIE OPTO, International Society for Optics and Photonics, DOI: 10.1117/12.2001569, (2013).
59. Wang, C., et al. *The research of indoor positioning based on visible light communication*. China : Communication, 2015, Vol. 12, pp. 85–92, (2012).
60. Yan, K., et al., *Current status of indoor positioning system based on visible light*, In Proceedings of the 15th IEEE International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS), Busan, Korea, October, pp. 565–569, (2015)
61. Hassan, N.U., Naeem, A., Pasha, M.A., Jadoon, T. and Yuen, C., *Indoor Positioning Using Visible LED Lights: A Survey*, s.l.: ACM Comput. Surv, Vol. 48, Issue 20, (2015).
62. Arafa A.T., *An Indoor Optical Wireless Location Comparison between an Angular Receiver and an Image Receiver*, Doctoral Dissertation, University of British Columbia, Vancouver, Canada, (2015).
63. Pisek, E., Rajagopal, S. and Abu-Surra, S., *Gigabit Rate Mobile Connectivity Through Visible Light Communication*, IEEE International Conference on Communications (ICC) Ottawa, ON, Canada, DOI: 10.1109/ICC.2012.6363739, (2012).
64. Kim, H.-S., Kim, D.-R., Yang, S.-H., Son, Y.-H. & Han, S.-K., *An Indoor Visible Light Communication Positioning System Using a RF Carrier Allocation Technique*. J. Lightwave Technol., pp. 134–144 . Standard No. 31, (2013).

65. [Online] Mark Halper, Contributing Editor, LEDs Magazine, and Business/Energy/Technology Journalist. *Two more indoor positioning projects sprout in European supermarkets*. <https://www.ledsmagazine.com> 8 March (2017).
66. Mousa F. I. K. et al. *Indoor localization system utilizing two visible light emitting diodes*. s.l.: Opt. Eng., Vol. 55, Issue 11, pp. 114–116, (2016).
67. Kim H. S., Kim D. R., Yang S. H., Son Y. H. and Han S. K., *An indoor visible light communication positioning system using a RF carrier allocation technique*. Journal of Lightwave Technology, January 2012, Vol. 31, Issue 1, pp. 134–144. (2012).
68. Zhuang Y. et al. *A Survey of Positioning Systems Using Visible LED Lights*, IEEE Communications Surveys & Tutorials, Third quarter 2018., Vols. 20, no. 3, pp. 1963–1988, DOI: 10.1109/COMST.2018.2806558, (2018).
69. Eroglu Y. S., Guvenc I., Pala N. and Yuksel M., *AOA-based localization and tracking in multi-element VLC systems*, s.l.: Proceedings Wireless Microwave Technology Conference, pp. 1 – 5, (2015).
70. Wang T. Q., Sekercioglu Y. A., Neild A. and Armstrong J., *Position accuracy of time-of-arrival based ranging using visible light with application in indoor localization systems*. 20, October 2013, Journal of Light Technology, Vol. 31, pp. 3302–3308. (2013).
71. Nadeem U., Hassan N. U., Pasha M. A. and Yuen C., *Highly accurate 3D wireless indoor positioning system using white LED lights*, Electronic Lett., Vol. 50, Issue 11, pp. 828–830, (2014).
72. Kuo Y. S., Pannuto P., Hsiao K.J. and Dutta P., *Luxapose: Indoor positioning with mobile phones and visible light*, Proc. 20th Annu. Int. Conf. Mobile Comput. Netw, pp. 447–458, (2014).
73. Rahman M. S. and Kim K. D., *Indoor location estimation using visible light communication and image sensors*, Int. J. Smart Home, Vol. 7, pp. 166–170, (2013).
74. Yang S. H., Kim H. S., Son Y. H. and Han S. K., *Three-dimensional visible light indoor localization using AOA and RSS with multiple optical receivers*, Journal Lightw. Technology, July 2014, Vol. 32, Issue 14, pp. 2480–2485, (2014).
75. [Online] Wright, M. *Acuity acquires indoor-location-services specialist ByteLight*. <http://www.ledsmagazine.com/articles/2015/04/acuity-acquires-indoor-location-service-specialist-bytelight.html>. (2015)
76. [Online] <http://www.ledsmagazine.com/articles/2015/04/acuity-acquires-indoor-location-service-specialist-bytelight.html>. (2015).
77. [Online] <http://www.lvxsytem.com/>. Last accessed 10 April, 2019
78. [Online] Millward, Steven. <https://www.techinasia.com/korean-supermarket-emarket-led-lights-smartphone-app-discounts>. 17 April (2013). Last accessed 10 April, 2019
79. [Online] Jovicic A. *A high accuracy indoor positioning system based on visible light communication*, Whitepaper <https://pdfs.semanticscholar.org/69da/67e63fa2ae0b771819916adf41817e40cd59.pdf>. Last accessed 10 April, 2019
80. [Online] Press-release, *Qualcomm and Acuity Brands Collaborate to Commercially Deploy Qualcomm Lumicast Technology for Precise Indoor Location Services in More Than 100 Retail Locations*, <https://www.qualcomm.com/news/releases/2016/03/14/qualcomm-and-acuity-brand>. Last accessed 10 April, 2019
81. [Online] Lydecker S. *Illuminating the In-Store Experience* indoor positioning white paper revised 110315.pdf. http://www.acuitybrands.com/solutions/-/media/files/acuity/solutions/services/bytelight_services_indoor_positioning. Last accessed 10 April, 2019
82. [Online] *GE Intelligent Lighting to Transform Retail Experience through Qualcomm Collaboration*, <http://pressroom.gelighting.com/news/ge-intelligent-lighting-to-transform-retail-experience-through-qualcomm-collaboration>. May 2015. Last accessed 10 April, 2019

83. [Online] <http://www.ot-c.co.jp>. Last accessed 10 April, 2019
84. [Online] Michael Gorman. <http://www.ot-c.co.jp/>. 16 7 2012. Last accessed 10 April, 2019
85. [Online] <http://www.oledcomm.com/> . Last accessed 10 April, 2019
86. [Online] <http://www.slate.fr/story/104255/li-fi-transmission-donnees-lumiere>. Last accessed 10 April, 2019
87. [Online] Kelion. BBC News. Technology. *Supermarket LED lights talk to smartphone app.*, 22 May 2015. <http://www.bbc.com/news/technology-32848763>. Last accessed 10 April, 2019
88. [Online] McGrath, D. *Retailers Test Visible Light Communications*. *Electronics 360* <http://electronics360.globalspec.com/article/5360/retailers-test-visible-light-communications>. (2015). Last accessed 10 April, 2019
89. [Online] http://rbth.com/science_and_tech.russian_firms_li-fi_internet_solution_winning_foreign_client_37805.html, <https://www.rbth.com/science-and-tech>. 30 June 2016, Last accessed 10 April, 2019
90. Muhammad, S., Qasid, S. H. A., Rehman, S. and Rai, A. B. S. *Visible light communication applications in healthcare*, PubMed, Technol. Health Care, Vol. 24, Issue 1, pp. 135-138. DOI: 10.3233/THC-151098 (2016).
91. Cahyadi W.A., Jeong T.I, Kim Y.H., Chung Y.H. and Adiono T., *Patient monitoring using visible light uplink data transmission*, Proceedings of International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems, ISPACS, pp. 431–434. (2015).
92. Ding W., Yang F., Yang H., Wang J., Wang X, et al. *A hybrid power line and visible light communication system for indoor hospital applications*. *Coput. Ind.* Vol. 68, pp. 170-178, (2015).
93. An J.Y. and Chung W.Y., *Bio-medical data transmission system using multi-level visible light based on resistor ladder circuit*, JSST25, pp. 131–137. (2016).
94. Riurean, S. M., Leba, M., Ionica, A. *VLC embedded medical system architecture based on medical devices quality requirements*. Iss. S1, Bucharest, Journal Quality-Access to Success, Vol. 20, Issue 1, p. 317. Jan (2019).
95. Riurean S., Antipova T., Rocha A., Leba M, Ionica A. *Li-Fi Embedded Wireless Integrated Medical Assistance System*, 16 - 19 April 2019. WorldCist'19 - 7th World Conference on Information Systems and Technologies Spain. (2019).
96. Song, Jian, et al. *Indoor Hospital Communication Systems: An Integrated Solution Based on Power Line and Visible Light Communication*. Monaco, 4-6 May 2014, Faible Tension Faible Consommation, (2014).
97. Ali H., Ahmad M. I. and Malik A., *Li-Fi Based Health Monitoring System for Infants*, 2nd International Conference on Communication, Computing and Digital systems (C-CODE), Islamabad, Pakistan, pp. 69-72. DOI: 10.1109/C-CODE.2019.8681012 (2019).
98. [Online] *pureLiFi to demonstrate first ever Li-Fi system* at Mobile World Congress Virtual-Strategy Magazine. 19 February 2014. Last accessed 10 April, 2019
99. [Online] <http://purelifi.com/>. Last accessed 10 April, 2019
100. [Online] [<https://yourstory.com/2015/05/velmenni/>] [<http://www.fiercetelecom.com/telecom/estonia-s-velmenni-to-release-li-fi-broadband-led-bulbs-2018-19>]. Last accessed 10 April, 2019
101. [Online] <https://www.ausbt.com.au/airbus-wants-to-upgrade-wifi-to-the-speed-of-light>].
102. Cui K., Chen G., Xu Z. and Roberts R. D., *Traffic light to vehicle visible light communication channel characterization*. s.l. : OSA Publishing, Applied Optics, Vol. 51, pp. 6594-6605 DOI: 10.1364/AO.51.006594, (2012).

103. Cailean A., Cagneau B., Chassagne L., Topsu S., Alayli Y., Blosserville J.M. and Alcalá de Henares, *Visible light communications: application to cooperation between*. Spain: Intelligent Vehicles Symposium (IV2012), (2012).
104. [Online] Liang, Q. and Ford N.T.U. *Tie Up in VLC Project to Enhance Driving Safety*. 2015. http://www.cens.com/cens/html/en/news/news_inner_48751.html, Last accessed 10 April, 2019
105. Fang, P., Bao, Y., Shen, J. and Chen, J., *A Visible Light Communication based Infra-to-Vehicle Intelligent Transport Demo System*. Shenzhen, China: IEEE Xplore, International Conference on Connected Vehicles and Expo. DOI: 10.1109/ICCVE.2015.62, (2015).
106. [Online] <http://www.du.ae/>. Last accessed 10 April, 2019
107. [Online] <http://www.zero1.zone/>. Last accessed 10 April, 2019
108. [Online] <http://whatis.techtarget.com/definition/LiFi>. Last accessed 10 April, 2019
109. [Online] [<http://www.thenational.ae/business/telecoms/end-of-wi-fi-in-the-uae-du-trials-super-speedy-li-fi>]. Last accessed 10 April, 2019
110. Schmid S., Gorlatova M., Giustiniano D., Vukadinovic V. and Mangold S., *Networking Smart Toys with Wireless ToyBridge and ToyTalk*. s.l. : Poster Session Infocom 2011 Springer International Publishing, (2015).
111. Schmid S., Richner T., Mangold S., Thomas B., and Gross R., *EnLighting: An Indoor Visible Light Communication System Based on Networked Light Bulbs*. Sensing, Communication, and Networking (SECON), 13th Annual IEEE International, Switzerland. (2016).
112. Schmid, S., Corbellini, G., Mangold, S. Gross, T. and Anaheim R., *An LED-to-LED Visible Light Communication System with Software-Based Synchronization*. California, USA, Dec. 3–7. Globecom Workshops, DOI: 10.1109/GLOCOMW.2012.6477763 (2012).
113. Corbellini, G., Aksit, K., Schmid, S., Mangold, S. and Gross, T. R., *Connecting networks of toys and smartphones with visible light communication*. IEEE Commun. Mag. Vols. 52, pp. 72–78. (2014).
114. Gkoura L., Roumelas G., Nistazakis H. E. and Tombras G. S., *Underwater Optical Wireless Communication Systems: A Concise Review*. July. DOI: 10.5772/67915, (2017).
115. Kaushal, H. and Kaddoum G., *Underwater Optical Wireless Communication*. s.l.: IEEE Access, April, Vol. 4, pp. 1518- 1547. DOI:10.1109/ACCESS.2016.2552538, (2016).
116. Tian P., Liu X., Yi S., Huang Y., Zhang S., Zhou X., Hu L., Zheng Lirong and Liu R., *High-speed underwater optical wireless communication using a blue GaN-based micro-LED*. s.l.: Optics Express 1193, 23 Jan. 2017, Vol. 25, No. 2, DOI: 10.1364/OE.25.001193, (2017).
117. Wang J, Shen J, Shi W, Qiao G, Wu S. and Wang X., *A Novel Energy-Efficient Contention-Based MAC Protocol Used for OA-UWSN*. s.l.: Sensors (Basel), 7 Jan 2019, Vol. 19. Issue 1, DOI:10.3390/s19010183, (2019).
118. [Online] *OMEGA project: Home Gigabit Access project*, www.ictomega.eu, (2008). Last accessed 10 April, 2019
119. [Online] Grallert H.J.and Boche H., *Innovations for the digital future Annual Report 2007*.
120. [Online] <https://www.epsrc.ac.uk/>, Last accessed 10 April, 2019
121. [Online] <http://www.thehindu.com/news/national/karnataka/city-students-win-praises-for-triple-lifi-project/article8444278.ece>. Last accessed 10 April, 2019
122. [Online] <http://lificonsortium.org/speed.html>. Last accessed 10 April, 2019
123. Wang Q., Giustiniano D. and Puccinelli D., *OpenVLC: Software-defined visible light embedded networks*, 978-1-4503-3067-1. pp. 15-20, (2014).

124. [Online] Vega, A. *Li-fi record data transmission of 10 Gbps set using LED lights*. Engineering and Technology Magazine. Retrieved 29 November 2015. Last accessed 10 April, 2019
125. [Online] http://www.ledinside.com/news/2014/7/mexican_software_company_sisoft_li-fi_transmission_reaches_10gbps. (2014). Last accessed 10 April, 2019
126. [Online] *GitHub* <https://github.com/jpiat/arduino/wiki/Arduino-simple-Visible-Light-Communication> Last accessed 10 April, 2019
127. [Online] *GitHub* <https://github.com/c-i-a-n-i/Final-year-LiFi-Project>. Last accessed 10 April, 2019
128. [Online] *pureLiFi* <https://purelifi.com/lifi-technology> Last accessed 10 April, 2019
129. Leba M., Riurean S. and Ionica A., *LiFi — The path to a new way of communication*, Lisbon, s.n., 12th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI), pp. 1-6. DOI: 10.23919/CISTI.2017.7975997 (2017).
130. Vappangi S. and Vakamulla V. M., *Synchronization in Visible Light Communication for Smart Cities*, in IEEE Sensors Journal, vol. 18, no. 5, pp. 1877-1886, 1 March, DOI: 10.1109/JSEN.2017.2777998, (2018).
131. [Online] <https://www.cisco.com>. <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.html>. Last accessed 10 April, 2019
132. Borah D.K., Boucouvalas A.C., Davis C.C., Hranilovic S. and Yiannopoulos K., *A review of communication-oriented optical wireless systems*, s.l.: Eurasip J. Wirel. Commun. Netw., (1) 91, (2012).
133. [Online] *Technical Briefing: Phasing Out Incandescent Bulbs in the EU*. European Commission, <http://ec.europa.eu>, Sep. 2008. Last accessed 10 April, 2019
134. Yang Qiu, Hsiao-Hwa Chen and Wei-Xiao Meng *Channel modeling for visible light communications—a survey*, Ed. Wirel. Commun. Mob. Comput. s.l.: Wiley Online Library, Wireless Communications and Mobile Computing, pp. 2016-2034, (2016).
135. [Online] Nobel Prize https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2014/popular-physics-prize2014.pdf. (2014). Last accessed 10 April, 2019
136. Oxlade C., *Tales of Inventions. The light bulb*. London: Capston Global Library Ltd., (2012).
137. Novikov M.A. and Losev O. V., *Pioneer of Semiconductor Electronics*. Physics of the Solid State, Translated from Fizika Tverdogo Tela, No. 1, pp. 5–9, (2004).
138. Virk H. S., *History of Luminescence from Ancient to Modern Times*, Defect and Diffusion Forum, Vol. 361, pp. 1-13, (2015).
139. Lupei V. and Lupei A. *Nd:YAG at its 50th anniversary: Still to learn*, Journal of Luminescence, DOI: 10.1016/j.jlumin.2015.04.018, (2015).
140. Ghassemlooy Z., Popoola W. and Rajbhandari S., *Optical Wireless Communications, System and Channel Modelling with MATLAB*. CRC Press, Tylor and Francis Group, (2013).
141. Haas H., Chen C. and O'Brian D., *A guide to wireless networking by light*, Progress in Quantum Electronics, Vol. 55, pp. 88-111. (2017).
142. Tsonev D., Sinanović S. and Haas H., *Novel Unipolar Orthogonal Frequency Division Multiplexing (U-OFDM) for Optical Wireless*. Yokohama, Japan: IEEE, May 6–9, Vol. Proceedings of the Vehicular Technology Conference (VTC Spring), (2012).
143. Kwon D. H., Yang S. H. and Han S. K., *Modulation bandwidth enhancement of white-LED-based visible light communications using electrical equalizations*, San Francisco, California, United States SPIE OPTO, Vols. Proc. SPIE 9387, Broadband Access Communication Technologies IX, 938. DOI: 10.1117/12.2078680, (2015).

144. [Online] <https://www.lumileds.com/uploads/377/WP17-pdf>. Last accessed 10 April, 2019
145. [Online] <https://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?e>. Last accessed 10 April, 2019
146. [Online] The NIST Reference on Constants, Units and Uncertainty. [https://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?k|search_for=Boltzmann %E2%80 %99s+ constant+](https://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?k|search_for=Boltzmann%E2%80%99s+constant+). Last accessed 10 April, 2019
147. Sánchez-López Juan-de-Dios, Arturo Arvizu, Mendieta Francisco J. and Hipólito Iván Nieto, *Advanced Trends in Wireless Communications*. IntechOpen, DOI: 10.5772/15493, (2011).
148. Hoa M. Le, O'Brien D., Faulkner G. , Lubin Z., Kyungwoo L., Daekwang J. and YunJe O., *High-speed visible light communications using multiple-resonant equalization*, IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 20, pp. 1243–1245, (2008).
149. Randel, S., Breyer F., Lee S. C. J. and Walewski J. W., *Advanced modulation schemes for short-range optical communications*, IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, Vol. 20, pp. 1280–1289, (2010).
150. Vucic J., Kottke C., Nerreter S., Buttner A., Langer K. D. and Walewski J. W., *White light wireless transmission at 200+ Mb/s net data rate by use of discrete-multitone modulation*, IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 21, pp. 1511–1513, (2009).
151. Chitnis D., Zhang L., Chun H., Rajbhandari S., Faulkner G., O'Brien D. and Collins S. A., *200 Mb/s VLC demonstration with a SPAD based receiver*, s.l.: IEEE Summer Topicals Meeting Series (SUM),. pp. 226–227, (2016).
152. Li Y., Safari M., Henderson R. and Haas H., *Optical OFDM with single-photon avalanche diode*, IEEE, Photonics Technology, Vol. 27, Issue 9, pp. 943–946, DOI:10.1109/LPT.2015.2402151, (2015).
153. Sarbazi E. and Haas H., *Detection statistics and error performance of SPAD-based optical receivers*, IEEE 26th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC), 2015, pp. 830–834, IEEE 26th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC), pp. 830–834, DOI: 10.1109/PIMRC.2015.7343412, (2015).
154. [Online] Thorlabs, “Bandpass Filters”. [https://www.thorlabs.com search/thorsearch.cfm? search=bandpass%20filter](https://www.thorlabs.com/search/thorsearch.cfm?search=bandpass%20filter). Last accessed 10 April, 2019
155. Mulyawana R., Gomeza A., Chuna H., Rajbhandarib S. and Manousiadisc P. P., *A Comparative Study of Optical Concentrators for Visible Light Communications.*, et.al. SPIE OPTO., IEEE Photonics Technology Letters, pp. 99-105, DOI: 10.1117/12.2252355, (2017).
156. Collins S., O'Brien D. C and Watt A., *High gain, wide field of view concentrator for optical communications*, April, Optics Letters, Vol. 39, Issue 20, DOI: 10.1364/OL.39.0017562014, (2014).
157. Kahn R. and, Barry J. M., *Wireless Infrared Communications*, Proceedings of the IEEE, Vol. 85, Issue 2, pp. 265-298, (1997).
158. Meyer-Arendt J.R. *Radiometry and photometry: units and conversion factors*, Appl. Opt. , Vol. 7, 10, pp. 2081–2084, DOI: 10.1364/AO.7.002081, (1968).
159. Collins S., O'Brien D.C. and Watt A., *High gain, wide field of view concentrator for optical communications*, Opt. Lett. Vol. 7, Issue 39, pp. 1756–1759, (2014).
160. Manousiadis P.P., Rajbhandari S., Mulyawan R., Vithanage H., Chun G., Faulkner D.C., O'Brien G.A., Turnbull S., Collins I.D. and Samuel W., *Wide field-of-view fluorescent antenna for visible light communications beyond the etendue limit*, Optica, Vol. 3, 7, pp. 702-7016. DOI: 10.1364/AO.7.002081, (2016).

161. Lee S. J., Kwon J. K., Jung S. Y. and Kwon Y. H., *Simulation modeling of visible light communication channel for automotive applications*, Anchorage, USA, Sept. 2012, Proc. IEEE ITSC'12, pp. 463–468, DOI: 10.1109/ITSC.2012.6338610, (2012).
162. Sarbazi E., Uysal M., Abdallah M. and Qaraqe K., *Ray tracing based channel modeling for visible light communications*. Trabzon, Turkey, Proc. SPCA'14, pp. 23-25, (2014).
163. Miramirkhani F. and Uysal M., *Channel modelling and characterization for visible light communications*, IEEE Photonics Journal, Dec., Vol. 7, Issue 6, pp. 1-16, DOI: 10.1109/JPHOT.2015.2504238, (2015).
164. Al-Kinani A., Wang C.-X., Haas H., and Yang Y., *A geometry-based multiple bounce model for visible light communication channels*, Paphos, Cyprus: in Proc. IEEE IWCMC'16, pp. 31–37, (2016).
165. Miramirkhani F., Narmanlioglu O., Uysal M. and Panayirci E., *A mobile channel model for VLC and application to adaptive system design*, IEEE Commun. Lett., May 2017, Vol. 21, Issue 5, pp. 1035–1038, (2017).
166. [Online] *Git Hub* https://github.com/mhrex/Indoor_VLC_Ray_Tracing. Last accessed 10 April, 2019.
167. [Online] IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks, Part 15.7.: *Short-Range Wireless Optical Communication Using Visible Light*. IEEE Std. 802.15.7- 2011, (2011).
168. Barry, J. R. , Kahn J. M., Krause W. J., Lee E. A. and Messerschmitt D. G., *Simulation of multipath impulse response for indoor wireless optical channels*, IEEE J. Sel. Areas Commun., Apr. 1993, Vol. 11, pp. 367– 379, Issue 3, (1993).
169. Carruthers J.B. and Kannan J. M., *Iterative site-based modeling for wireless infrared channels*, s.l.: IEEE Trans. on Antennas and Propagation, May 2002, Vol. 50, Issue 5, pp. 759–765, (2002).
170. Carruthers J. B. and Kahn J. M., *Modeling of nondirected wireless infrared channels*, s.l.: IEEE Trans. Commun., Oct., Vol. 4510, pp. 1260– 1268, (1997).
171. Lopez-Hernandez F. J. and Betancor M. J., *DUSTIN: Algorithm for calculation of impulse response on IR wireless indoor channels*, IEEE Electronic. Lett, Vol. 33, Issue 21, pp. 1804–1806, (1997).
172. Al-Kinani A., Wang C-X., Zhou L. and Zhang W., *Optical Wireless Communication Channel Measurements and Models*. s.l.: IEEE Communications Surveys and Tutorials, DOI: 10.1109/COMST.2018.2838096, (2018).
173. Carruthers J. B. and Carroll S., *Statistical impulse response models for indoor optical wireless channels*, s.l.: Int. J. Commun. Syst., Apr. 2005, Vol. 18, pp. 267–284, (2005).
174. Jungnickel V., Pohl V., Nonnig S. and Helmolt C. V., *A physical model of the wireless infrared communication channel*. IEEE J. Sel. Areas Commun, Apr. 2002., Vol. 20, Issue 3, pp. 631–640, (2002).
175. Lopez-Hernandez F. J., Perez-Jimenez R. and Santamaria A., *Monte Carlo calculation of impulse response on diffuse IR wireless indoor channels*, s.l.: IEEE Electronic. Lett., June, Vol. 34, 12, pp. 1260–1262, (1998).
176. [Online] Haas, H. *Wireless Data from Every Light Bulb*, <http://bit.ly/tedvlc>. TED Website, August (2011).
177. Rappaport Theodore S., *Wireless Communications: Principles and Practice*, 2nd Edition. [ed.] Prentice Hall. s.l.: Prentice Hall Communications Engineering and Emerging Technologies, Dec 31, (2001).
178. Pakravan M. R., Kavehrad M. and Hashemi H., *Indoor Wireless Infrared Channel Characterization by Measurements*.. 4, July 2001, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 50 , pp. 1053–1073.

179. Goldsmith, A., *Wireless Communications*, s.l.: Cambridge University Press, (2005).
180. Jivkova M. and Kavehrad S.T., *Multispot diffusing configuration for wireless infrared access*, IEEE Transactions on Communications, Vol. 48, Issue 6, pp. 970-978. (2000).
181. [Online] Viswanathan, M. *Gaussian Waves*. <https://www.gaussianwaves.com/2014/07/power-delay-profile/>. 9 July (2014). Last accessed 10 April, 2019
182. Zeng, L., Brien, D.O., Le-Minh, H., Lee, K., Jung, D. and Oh, Y. *Improvement of data rate by using equalization in an indoor visible light communication system*. Shanghai Proceedings of the International Conference on Circuits and Systems for Communications, pp. 678–682, (2008).
183. Marsh M. and Kahn J., *Channel reuse strategies for indoor infrared wireless Communications*, IEEE Transactions on Communications, Vol. 45, pp. 1280–1290, (1997).
184. Chi, N. *LED-Based Visible Light Communications. Signals and Communication Technology*. Beijing: Tsinghua University Press, DOI: 10.1007/978-3-662-56660-2, (2018).
185. [Online] Balogh L., www.ti.com . Fundamentals of MOSFET and IGBT Gate Driver Circuits. Last accessed 10 April, 2019.
186. [Online] *Electronics-tutorials*. https://www.electronics-tutorials.ws/transistor/tran_8.html. Last accessed 10 April, 2019.
187. Toumazou, C., Lidgey F. J. and Haigh D. G., *Analogue IC Design: The Current Mode Approach*, s.l.: IEE Circuits, Devices and Systems Series, Peter Peregrinus Ltd., USA, (1990).
188. Fujimoto, N. and Mochizuki, H., *477 Mbit/s visible light transmission based on OOK-NRZ modulation using a single commercially available visible LED and a practical LED driver with a pre-emphasis circuit*. [ed.] OSA Publishing. Anaheim, CA, USA, : Optical Fiber Communication Conference, pp. 1-3, DOI: 10.1364/NFOEC.2013.JTh2A.73, (2013).
189. Li H., Chen X., Guo J. and Chen H., *A 550 Mbit/s real-time visible light communication system based on phosphorescent white light LED for practical high-speed low-complexity application*. s.l.: Optics Express, OSA Publishing, Vol. 22, 22, pp. 27203-27213. DOI: 10.1364/OE.22.027203, (2014).
190. Haigh P., Bausi F., Ghassemlooy Z., Papakonstantinou I., Minh H. Le, Fléchon C., and Cacialli F., *Visible light communications: real time 10 Mb/s link with a low bandwidth polymer light-emitting diode*, Opt. Express 22, 2830-2838 DOI: 10.1364/OE.22.002830, (2014).
191. Huang, X., et al., *750Mbit/s visible light communications employing 64QAM-OFDM based on amplitude equalization circuit*. Los Angeles, CA, USA, Proceedings of the Optical Fiber Communications Conference and Exhibition. pp. 1-3. (2015).
192. Zhou, Yingjun et al., *2.08Gbit/s visible light communication utilizing power exponential pre-equalization*. s.l.: 25th Wireless and Optical Communication Conference (WOCC), pp. 1-3, DOI: 10.1109/WOCC.2016.7506539, (2016).
193. Chan Y.-J., Chien F.-T., Shin T.-T. and Ho W.-J., *Bandwidth Enhancement of Transimpedance Amplifier by Capacitive Peaking Design*, . 6353366 U.S.A., (2002).
194. Morikuni J. J. and Kang S.-M. *An Analysis of Inductive Peaking in Photoreceiver Design*,. IEEE J. Lightwave Technology, Vol. 10, Issue 10, pp. 1426–1437. (1992).
195. Shekhar S., Walling J. S. and Allstot D. J., *Bandwidth Extension Techniques for CMOS Amplifiers*, IEEE J. Solid-State Circuits, Vol. 41, Issue 11, pp. 2424–2439. (2006).
196. Figueiredo M., Alves L. N. and Ribeiro C., *Lighting the Wireless World: The Promise and Challenges of Visible Light Communication*,. IEEE Consumer Electronics Magazine. 6, Vol. 4, pp. 28–37, DOI:10.1109/mce.2017.2714721, (2017).

197. Böcker A., Eklind V., Hansson D., Holgersson F., Nolkrantz J. and Severinson A., *An implementation of a Visible Light Communication system based on LEDs*, Gothenburg, Sweden, Chalmers University of Technology. Department of Signals and Systems Division of Communication Systems, (2015).
198. Alves L. N. and Aguiar R. L., *Design Techniques for High Performance Optical Wireless Front-Ends*, Aveiro, Portugal, Proceedings of the Conference on Telecommunications - ConfTele, 2003.
199. Ghassemlooy Z., Alves L.N., Zvánovec S. and Khalighi M.-A., [ed.]. *Visible Light Communications. Theory and Applications*. CRC Press Taylor & Francis Group, (2017).
200. Razavi B., *Design of Integrated Circuits for Optical Communications*, New York, McGraw-Hill, (2012).
201. Sindhubala K. and Vijayalakshmi B., *Simulation of VLC system under the influence of optical background noise using filtering technique*. Issue 2, Part B, s.l. Science Direct, Elsevier, Materials Today: Proceedings, Vols. Volume 4, pp. Pages 4239-4250, (2017).
202. Adiono T., Putra R. V. W. and Fuada S. *Noise and Bandwidth Consideration in Designing Op-Amp Based Transimpedance Amplifier for VLC*. 2, June 2018, Bulletin of Electrical Engineering and Informatics, Vol. 7, pp. 312~320, DOI: 10.11591/eei.v7i2.870, (2018).
203. Chang F-L., Hu W-W, Lee D. and Yu C., *Design and implementation of anti low-frequency noise in visible light communications*,. [ed.] International Conference on Applied System Innovation (ICASI). Sapporo. pp. 1536-1538, DOI:10.1109/ICASI.2017.7988219, (2017).
204. Karimi-Bidhendi A., Mohammadnezhad H., Green M. M. and Heydari P., *A Silicon-Based Low-Power Broadband Transimpedance Amplifier*,. Feb 2018, IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, Vols. vol. 65, no. 2, pp. 498-509, DOI: 10.1109/TCSI.2017.273, (2018).
206. [Online] BS EN 62471:2008., *Photobiological Safety of Lamps and Lamp Systems*, BSI British Standards Std., Sept. (2008).
207. Ruonan Ji, Shaowei Wang, Qingquan Liu and Wei Lu, *High-Speed Visible Light Communications: Enabling Technologies and State of the Art*. August 2018, Applied Sciences , Vol. 8, 4, p. 589, DOI: 10.3390/app8040589, (2018).
- 208., Langer K.-D., *DMT modulation for VLC*. [ed.] Shlomi Arnon. *Visible Light Communication*. s.l.: University Printing House, Cambridge CB2 8BS, United Kingdom, (2015).
209. Burchardt H., Serafimovski N., Tsonev D., Videv S. and Haas H., *VLC: Beyond Point-to-Point Communication*,. July: IEEE Commun. Magazine, Vol. 52 , no. 7, pp. 98–105, (2014).
210. Islim M.S. and Haas H., <http://www.cnki.net/kcms/detail/34.1294.TN.20160413.1658.002.html>, Published online. DOI: 10.3969/j. ISSN.16735188 (2016).
211. Hou R., Chen Y., Wu J. and Zhang H., *A Brief Survey of Optical Wireless Communication*. Sydney, Australia, Proceedings Australian Symposium on Parallel and Distributed Computing, (2015).
212. Li H., Chen X., Huang B., Tang D., and Chen H., *High bandwidth visible light communication based on a post-equalization circuit*, no. 2, Jan. 2014, IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 26, pp. 119–122, (2014).
213. Noshad N. and Brandt-Pearce M., *Can Visible Light Communications Provide Gb/s Service?* <https://arxiv.org/abs/1308.3217> (2013).
214. Audeh M. D., Kahn J. M., and Barry J. R. , *Performance of Pulse-position Modulation on Measured Non-directed Indoor Infrared Channels*,. s.l.: IEEE Transactions on Communications, June 1996, Vols. vol. 44, 6, pp. 654–659, (1996).

215. Wang Z., Tsonev. D., Videv S. and Haas, H., *Unlocking Spectral Efficiency in Intensity Modulation and Direct Detection Systems'*. s.l.: IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2015, Vol. 33. 9, DOI:10.1109/JSAC.2015.2432530, (2015).
216. Perin J. K., Sharif M., and Kahn J. M., *Modulation schemes for single-laser 100 Gb/s links: Multicarrier*,. no. 24, s.l.: Journal of Lightwave Technology, Dec 2015., Vols. vol. 33, pp. 5122–5132, (2015).
217. Armstrong, J. *OFDM for Optical Communications*. 3, s.l.: Journal of Lightwave Technology, Vol. 27, pp. 189–204. doi:10.1109/jlt.2008.2010061, (2009).
218. Elgala H., Mesleh R., and Haas H., *Predistortion in optical wireless transmission using OFDM*, Shenyang, China, s.n., Aug 2009, Ninth International Conference on Hybrid Intelligent Systems, . vol. 2, . pp. 184–189. (2009).
219. Chen C., Basnayaka D. A, and Haas H. *Downlink performance of optical attocell networks*, no. 1, Jan 2016, Journal of Lightwave Technology,vol. 34, pp. 137–156. DOI:10.1109/JLT.2015.2511015 (2016).
220. Armstrong J., Schmidt B.D.C , Kalra D., Suraweera H.A. and Lowery A.J., *Performance of Asymmetrically Clipped Optical OFDM in AWGN for an Intensity Modulated Direct Detection System*. San Francisco, CA, USA, 27 November - 1 December Proceedings of the Global Telecommunications Conference GLOBECOM '06. doi:10.1109/GLOCOM.2006.571 (2006).
221. Wu F.-M et al., *3.22-gb/s WDM visible light communication of a single RGB LED employing carrier-less amplitude and phase modulation*. Anaheim, CA, USA, Proc. OFC/NFOEC, pp. 1–3. (2013).
222. Wu F. et. al., *Performance comparison of OFDM signal and cap signal over high capacity RGB-led-based WDM visible light communication*,., s.l.: IEEE Photon. J., Aug. 2013., vol. 5, no. 4., Art. ID. 7901507. (2013).
223. Haigh P., Le S.T., Zvanovec S., et al., *Multiband carrier-less amplitude and phase modulation for band limited visible light communications systems*,. Apr. 2015, IEEE Wireless Communications,. vol.22 no.2, pp. pp.46-53. doi:10.1109/ MWC. 2015.7096284, (2015).
224. Wu C., Zhang H. and Xu W., *On visible light communication using LED array with DFT-spread OFDM*, Sydney, Australia, Jun. 2014, in IEEE International Conference on Communications (ICC), pp. 3325-3330 doi: 10.1109/ ICC.2014.6883834, (2014).
225. Armstrong B J. and Schmidt J.C, *Comparison of asymmetrically clipped optical OFDM and DC-biased optical OFDM in AWGN*, May 2008, IEEE Communications Letters, Vol. 12, 5, pp. 343- 345, doi: 10.1109/ LCOMM.2008.080193. (2008).
226. Mesleh R, Elgala H. and Haas H., *On the performance of different OFDM based optical wireless communication systems*,. Aug. 2011, IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking, Vol. vol.3, no. 8, pp.620-628, doi: 10.1364/JOCN.3.000620. (2011).
227. Barros D., Wilson S. and Kahn J., *Comparison of orthogonal frequency division multiplexing and pulse amplitude modulation in indoor optical wireless links*, IEEE Transactions on Communications, Vols. vol.60, no.1, pp.153-163, doi:10.1109/TCOMM.2011.112311.1, (2012).
228. Dissanayake J.and Armstrong S, *Comparison of ACO-OFDM,DCO-OFDM and ADO-OFDM in IM/DD systems*, Journal of Lightwave Technology, Apr. 2013, Vol. vol. 31, no.7, pp. 1063-1072, doi:10.1109/JLT.2013.2241731. (2013).
229. Kashani M. and Kavehrad M., *On the performance of single and multi-carrier modulation schemes for indoor visible light communication systems*, Austin, USA, s.n., Dec 2014. in IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), pp.2084-2089, doi:10.1109/GLOCOM.2014.703, (2014).

230. Armstrong J., Brendon J., Schmidt C., Dhruv Kalra, Himal A. Suraweera, and Arthur J. Lowery, *SPC07-4: Performance of Asymmetrically Clipped Optical OFDM in AWGN for an Intensity Modulated Direct Detection System.* s.l.: IEEE Globecom, pp. 1-5. (2006).
231. Armstrong J. *OFDM for Optical Communications*, Feb. 2009., Journal of Lightwave Technology, vol. 27, no. 3, pp. 189–204. (2009).
232. Dardari D., Tralli V. and Vaccari A., *A Theoretical Characterization of Nonlinear Distortion Effects in OFDM Systems*, s.l.: Oct. 2000, IEEE Transactions on Communications, Vols. no. 10, vol. 48, pp. 1755–1764. (2000).
233. Carruthers J.B. and Kahn J.M., *Multiple-subcarrier modulation for non directed wireless infrared communication*, Nov./Dec., 1994, Proc.IEEE Global Telecommun. Conf. (GLOBECOM), Vol. 2, pp. 1055–1059, (1994).
234. Armstrong J. and Lowery A.J., *Power efficient optical OFDM*,. s.l.: Electron. Lett., Mar. 2006, Vol. 42, 6, pp. 370–372, DOI: 10.1049/el:20063636 (2006).
235. Mohamed, S. D., Khallaf, H. S., Shalaby, H., Andonovic, I. and Aly, M. H., *Two approaches for the modified asymmetrically clipped optical orthogonal frequency division multiplexing system*, 2013. Second International Japan-Egypt Conference on Electronics, Communications and Computers (JEC-ECC), doi:10.1109/jec-ecc.2013.6766400, (2013).
236. Lee S. C. J., Randel S., Breyer F. and Koonen A. M. J., *PAM-DMT for Intensity-Modulated and Direct-Detection Optical Communication Systems*,. s.l. : IEEE Photonics Technology Letters, December 2009, vol. 21, no. 23, pp. 1749– 1751, (2009).
237. Islim M., D.Tsonev D. and Haas H., *Spectrally enhanced PAM-DMT for IM/DD optical wireless communications*,. [ed.] Proc. IEEE 25th Int. Symp. Pers. Indoor and Mobile Radio Commun (PIMRC). Hong Kong,China, pp. 927-932, doi:10.1109/PIMRC.2015.7343421, (2015).
238. Noshad M. and Brandt-Pearce M., *Hadamard coded modulation for visible light communications*, no.99, s.l.: IEEE Transactions on Communications, vol.PP, pp.1167-1175, doi:10.1109/TCOMM.2016.2520471, (2016).
239. Drost R. and Sadler B., *Constellation design for color-shift keying using billiards algorithms*.. Miami, USA,: s.n., Dec.2010. IEEE GLOBECOM Workshops (GC Wkshps), pp.980-984, doi:10.1109/GLOCOMW.2010.5700472, (2010).
240. Monteiro E. and Hranilovic S., *Design and implementation of color-shift keying for visible light communications*,. no.10, May 2014., Journal of Lightwave Technology, Vols. vol. 32, pp. pp.2053-2060, doi:10.1109/JLT.2014.2314358, (2014).
241. Singh R., O’Farrell T. and David J.P.R, *An enhanced color shift keying modulation scheme for high-speed wireless visible light communications*. no.14, Journal of Lightwave Technology, vol.32, pp. 2582-2592, doi:10.1109/JLT.2014.2328866, (2014).
242. Jiang J., Zhang R. and Hanzo L., *Analysis and design of three-stage concatenated color-shift keying*, Nov. 2015., IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol.64, no.11, pp.5126-5136, doi:10.1109/TVT.2014.2382875, (2015).
243. Roberts R. D., Rajagopal S. and Lim S., *IEEE 802.15.7 physical layer summary*, Houston, TX, s.n., 2011 IEEE GLOBECOM Workshops (GC Wkshps). pp. 772-776.
244. Ullah, Khan Latif, *Visible light communication: Applications, architecture, standardization and research challenges*. [book auth.] Elsevier Digital Communications and Networks. 18 July, 10.1016/j.dcan.2016.07.004, (2016).
245. [Online] <https://purelifi.com/lifi-is-getting-a-global-standard/>, Last accessed 10 April, 2019
246. [Online] <http://everycircuit.com/app>, Last accessed 10 April, 2019
247. Cannon H. C. G. and George W., *Refractive Index of Coals*, 09 Jan. 1943, Publisher Nature, Vol. 151 (1943).

248. Speight J.G., *The chemistry and technology of coal*, 1994 New York, USA, Marcel Decker Inc., (1994)
249. [Online] <https://phet.colorado.edu/sims/geometric-optics> Last accessed 10 April, 2019
250. [Online] <https://www.bongarde.com/niosh-conducting-illuminating-research-into-underground-mine-lighting/> Last accessed 10 April, 2019
251. Sammarco J.J., Reyes M.A. and Gallagher S., *Do Light-Emitting Diode Cap Lamps Enable Improvements in Miner Safety?*, NIOSHTIC2 , Min Eng, 2009, Vol 61, No. 10, Number: 20036219, (2009).
252. Avery R. K. and Jones A. R., *Measurement of the complex refractive index of pulverised coal by light scattering: an attempt and some comments*, Journal of Physics, Volume 15, No. 8, doi.org/10.1088/0022-3727/15/8/008 (2014).
253. Zegong L., Kicki J., Xinzhu H., Shujie Y., Guanglong D. and Sobczyk E.J. *Mine Safety and Efficient Exploitation Facing Challenges of the 21st Century*, CRC Press, Published June 28, Pag 300, (2017).
254. Stoicuța O. and Mândrescu C., *Identificarea sistemelor. Lucrări de laborator*, Editura Universitas, Petrosani, Romania (2012).