



Universitatea  
Ștefan cel Mare  
Suceava

Facultatea de Inginerie  
Electrică și Știința  
Calculatoarelor

# TEZĂ DE DOCTORAT

Domeniul Inginerie Electronică, Telecomunicații și Tehnologii Informaționale

## Contribuții la dezvoltarea de tehnologii informaționale și de comunicații pentru aplicații de siguranță rutieră și asistarea conducătorului auto

### REZUMAT

Coordonator științific:  
Prof. univ. dr. **Mihai DIMIAN**

Doctorand:  
Ing. **Eduard ZADOBRISCHI**

SUCEAVA 2023

---



## **CUPRINSUL REZUMATULUI TEZEI DE DOCTORAT**

<b>Cuprinsul tezei de doctorat .....</b>	<b>ii</b>
<b>Motivație .....</b>	<b>1</b>
<b>Capitolul 1: Comunicații vehiculare - Stadiul actual și perspective de dezvoltare .....</b>	<b>3</b>
<b>Capitolul 2: Modelarea și simularea fluxurilor de trafic rutier în medii urbane pentru asistarea conducătorului auto și decongestionarea traficului rutier .....</b>	<b>9</b>
<b>Capitolul 3: Propunerea unui protocol de comunicații printr-un nod comun cu aplicații în comunicații vehiculare .....</b>	<b>17</b>
<b>Capitolul 4: Contribuții privind comunicațiile optice fără fir dedicate dispozitivelor mobile cu aplicabilitate în domeniul siguranței rutiere și al pietonilor .....</b>	<b>19</b>
<b>Capitolul 5: Dezvoltarea de dispozitive cooperative și aplicații software pentru asistarea conducătorului auto și creșterea siguranței rutiere .....</b>	<b>25</b>
<b>Capitolul 6: Concluzii generale. Contribuții personale. Valorificarea rezultatelor .....</b>	<b>38</b>
<b>Bibliografie .....</b>	<b>47</b>

Pagină lăsată în mod intenționat nescrisă

## CUPRINSUL TEZEI

<b>Lista tabelor</b> .....	<b>vii</b>
<b>Lista figurilor</b> .....	<b>viii</b>
<b>Lista abrevierilor</b> .....	<b>xi</b>
<b>Introducere</b> .....	<b>1</b>
<b>Capitolul 1 - Comunicații vehiculare - Stadiul actual și perspective de dezvoltare</b> .....	<b>5</b>
1.1 Introducere .....	5
1.2 Analiza tehnologiilor radio utilizate în aplicațiile vehiculare .....	8
1.3 Analiza comunicațiilor prin lumină vizibilă (VLC) și Light Fidelity (Li-Fi).....	14
1.4 Provocări actuale legate de utilizarea tehnologiilor VLC și DSRC în aplicațiile vehiculare.....	18
<b>Capitolul 2 - Modelarea și simularea fluxurilor de trafic rutier în medii urbane pentru asistarea conducătorului auto și decongestionarea traficului rutier</b> .....	<b>21</b>
2.1 Analiza și definirea modelului teoretic pentru fluxul de trafic și a algoritmului dedicat simulărilor.....	22
2.2 Analiza și definirea congestiei prin determinarea ipotezelor de bază și transpunerea în elemente simulative printr-un model de trafic mediu .....	23
2.3 Analiza și definirea congestiei prin determinarea ipotezelor de bază și transpunerea în elemente simulative printr-un macro-model de trafic .....	33
<b>Capitolul 3 - Propunerea unui protocol de comunicații printr-un nod comun cu aplicații în comunicații vehiculare</b> .....	<b>41</b>
3.1 Prezentarea principiilor de funcționare a nodurilor comune prin joncțiunea propusă în comunicații vehiculare .....	42
3.2 Utilizarea nodurilor comune în aplicații dedicate comunicațiilor vehiculare .....	46
3.3 Evaluarea scenariilor simulative în cadrul procesului de utilizare a nodului comun V2V-V2R .....	48
<b>Capitolul 4 - Contribuții privind comunicațiile optice fără fir dedicate dispozitivelor mobile cu aplicabilitate în domeniul siguranței rutiere și al pietonilor</b> .....	<b>53</b>
4.1 Expunerea proiectivă a transformărilor regresive prin metode parametrizabile și histograme .....	60
4.2 Utilizarea senzorilor de mediu din telefonia mobilă în aplicații de comunicații .....	65
<b>Capitolul 5 - Dezvoltarea de dispozitive cooperative și aplicații software pentru asistarea conducătorului auto și creșterea siguranței rutiere</b> .....	<b>71</b>

5.1 V2V-V2R Elemente cooperative în controlul congestiei și comunicațiilor complementare aplicate în traficul urban .....	75
5.2 Implementarea unei platforme software și hardware cu aplicații în domeniul vehiculelor conectate .....	79
5.3 Contribuții privind arhitecturile cooperative RF și VLC în aplicații practice dedicate domeniului automotive .....	106
<b>Capitolul 6</b> Concluzii generale. Contribuții personale. Valorificarea rezultatelor .....	133
6.1 Concluzii generale .....	133
6.2 Contribuții personale .....	134
6.3 Diseminarea rezultatelor cercetării .....	136
6.4 Direcții viitoare de cercetare .....	141
<b>Bibliografie</b> .....	143

## Motivație

Potrivit Organizației Mondiale a Sănătății, aproximativ 50 de milioane de persoane sunt rănite anual ca urmare a accidentelor rutiere și mai mult de 1 milion dintre acestea își pierd viața, în fiecare an [1]. Este evidențiat totodată faptul că accidentele rutiere reprezintă principala cauză de deces în rândul tinerilor cu vârste între 15 și 35 de ani. Pe lângă pierderea de vieți omenești, accidentele rutiere supun majoritatea țărilor la un efort financiar important care este estimat la aproximativ 3% din produsul intern brut [2]. În acest context, Adunarea Generală a Națiunilor Unite a adoptat la 31 august 2020 o rezoluție privind îmbunătățirea siguranței rutiere globale care are ca țintă reducerea cu 50% a numărului de decese și de răniți la nivel global până în anul 2030. La nivelul Uniunii Europene, a fost elaborat la finalul deceniului trecut și aprobat în anul 2021, *Cadrul de politică al UE privind siguranța rutieră 2021-2030 – Următorii pași către „Viziunea zero”* în care este confirmată ținta asumată la nivelul Organizației Națiunilor Unite pentru 2030, dar și reafirmarea obiectivului strategic pe termen lung de a ne apropia de zero decese și vătămări grave cauzate de accidente rutiere până în 2050. Din analiza prezentată de Forumul Internațional al Transportatorilor asociat Organizației pentru Cooperare și Dezvoltare Economică [3] rezultă că s-a înregistrat o scădere a numărului de decese în deceniul precedent, însă tendința globală de descreștere a fost mai mică de 10% per deceniu în grupul de țări incluse în studiu, ceea ce evidențiază necesitatea unor acțiuni inovative majore pentru a atinge ținta de 50% propusă pentru acest deceniu. În raportul publicat de Ministerul Transporturilor din Statele Unite ale Americii, Administrația Tehnologiilor Inovative și de Cercetare, este evidențiat faptul că utilizarea aplicațiilor de siguranță rutieră bazate pe comunicațiile inter-vehiculare și comunicațiile dintre vehicule și infrastructură poate contribui la reducerea cu până la 81% a accidentelor rutiere, cu o distribuție de 83% pentru accidentele în care sunt implicate vehicule ușoare și 72% pentru accidentele în care sunt implicate vehicule grele [4]. În publicațiile suport pentru transformările substanțiale dedicate transporturilor din cadrul inițiativei *Europe on the Move* și în *Cadrul de politică al UE privind siguranța rutieră 2021-2030*, direcțiile cheie sunt mobilitate conectată, curată și sigură [5], [6]. În acest context, una din direcțiile principale de cercetare ale tezei de doctorat a fost dezvoltarea tehnologiilor de comunicații vehiculare pentru aplicații de siguranță rutieră.

În cadrul Pactului Ecologic European - *Green Deal* [7], Uniunea Europeană și-a stabilit de asemenea ținte foarte ambițioase, care vizează transportul rutier fără emisii de carbon până în 2050, iar pe termen mediu o reducere a emisiilor de 55% până în 2030. Astfel de obiective de mobilitate curată, necesită transformări inovative profunde, atât în zona tehnologiilor, cât și a serviciilor, inclusiv tehnologii de conectivitate și informaționale, dar și servicii de partajare a mașinilor (car sharing / carpooling) [8]. În acest context, o altă direcție principală de cercetare a tezei de doctorat a fost dezvoltarea de comunicații vehiculare și aplicații informatice cu scopul eficientizării transportului rutier și reducerii emisiilor de carbon.

Din analiza stadiului actual al cercetărilor existente pe plan global în tematica tezei, se poate identifica drept primă etapă de dezvoltare, implementarea soluțiilor de transport inteligent cooperativ și sisteme dedicate (C-ITS) [9]. Comunicațiile vehiculare reprezintă o parte esențială a acestor soluții, iar scopul acestora este de a implica atât participanții traficului rutier, cât și pietonii, într-o rețea care să formeze interacțiuni și să ofere informații de interes. Aceste comunicații se regăsesc sub mai multe forme, comunicații între unul sau mai multe vehicule (V2V), între vehicule și infrastructura rutieră (V2I), între pietoni și infrastructură (I2P) sau între vehicule și pietoni

(V2P). Dezvoltarea inițială a acestor comunicații a avut drept scop facilitarea transmiterii informațiilor în cadrul sistemelor de control ale traficului, creșterea siguranței și prevenția accidentelor. Ulterior, prin avansul tehnologic și dezvoltarea de noi infrastructuri, dar și automobile, acestea au fost implementate inclusiv în domeniul autovehiculelor autonome în vederea facilitării transferului de date în cantități mai mari. Aceste dezvoltări sunt însoțite și de provocări importante, în special cele legate de costurile ridicate, necesitatea dezvoltării de noi infrastructuri pe scară largă, armonizarea tehnologiilor dezvoltate de producătorii de autovehicule, standarde diferite existente la nivel mondial. Pe de altă parte, dezvoltarea de tehnologii care se pot dovedi disruptive pentru tehnologiile de comunicații vehiculare existente precum, noile tehnologii de comunicații celulare din generația a 5-a (5G) cu eforturi către implementarea celei de a 6-a generație (6G), aduce o serie de noi provocări cercetătorilor din domeniul comunicațiilor vehiculare, oferind totodată și potențiale soluții la diverse probleme deschise. O altă tehnologie vehiculară emergentă, care este abordată și în cadrul acestei cercetări doctorale, este tehnologia de comunicații prin lumină vizibilă (VLC), Privind provocările domeniului, am încercat prin cercetările personale să dezvolt și să evidențiez, atât simulativ cât și practic o soluție modulară, scalabilă și adaptivă care să poată realiza comunicații și analize informatice utile în cadrul aplicațiilor de siguranță rutieră, cât și în asistarea conducătorului auto. Soluțiile se bazează atât pe componente hardware existente, cât și pe module proiectate și implementate în vederea eficientizării anumitor operații din cadrul aplicațiilor. Cercetările au condus către conturarea unei arhitecturi hardware-software modulare și a unei platforme hibride de comunicații și aplicații informatice vehiculare.



## Capitolul 1

### Comunicații vehiculare - Stadiul actual și perspective de dezvoltare

#### 1.1 Introducere

Evoluția comunicațiilor radio și dezvoltarea de noi dispozitive mobile au produs transformări majore la nivelul societății, situație care continuă și în prezent prin implicațiile implementării celei de a 5-a generații de rețele celulare de bandă largă (5G) și perspectivele de dezvoltare a celei de a 6-a generații (6G). Acoperirea, calitatea și stabilitatea semnalului radio, precum și volumul și ratele de transfer a datelor s-au îmbunătățit continuu conducând însă și la o supraîncărcare a spectrului de frecvență radio și microunde. O primă măsură de răspuns în fața acestei noi provocări a fost divizarea spectrului radio care acoperă comunicațiile mobile în mai multe benzi, în funcție de aplicațiile utilizate, făcând referire și la transport, siguranță rutieră, siguranță publică [9], domenii care prezintă un interes special pentru cercetările din cadrul acestei teze de doctorat.

Din analiza sistemelor de siguranță ale vehiculelor actuale putem concluziona că majoritatea nu sunt conectate la o unitate de tip infrastructură care să comunice direct cu șoferul sau cu ceilalți participanți la trafic în vederea soluționării unor probleme. Tehnologiile actuale pot face posibilă o trecere într-o etapă superioară prin aspectul că oferă latențe reduse, acestea trebuie să se situeze până în 20 ms pentru a putea realiza un proces de detecție sau pentru a analiza un obstacol. Astfel, o primă soluție de actualitate în această direcție ar fi utilizarea comunicațiilor radio dedicate pe distanțe scurte (DSRC), a comunicațiilor prin lumină vizibilă (VLC), sau a altor forme de comunicații mobile vehiculare (V2X). În cadrul acestei teze sunt analizate diverse soluții de comunicații inter-vehiculare, între vehicule și infrastructură și între vehicule și pietoni, fiind urmărită totodată interconectarea acestora în cadrul unei platforme mixte prin care infrastructura, autovehiculele și pietonii pot comunica în vederea creșterii gradului siguranță activă.

Autovehiculele din generațiile actuale beneficiază de sisteme și unități de control, fiind o caracteristică a producătorilor de vehicule prin utilizarea de arhitecturi standard în construcția unor sisteme electronice de control [10]. În interiorul vehiculelor majoritatea dispozitivelor și a componentelor sunt controlate prin unități ECU, acestea fiind sisteme interne de control care gestionează unul sau mai multe subsisteme electrice. Astfel, acestea preiau datele de la majoritatea senzorilor interni, efectuează iterații care transmit constrângeri către sistemele electronice pentru a eficientiza procesul de conducere auto, dar și performanța autovehiculelor. Putem spune că unitățile de control ECU gestionează toate funcțiile autovehiculelor, de la activități rudimentare de control al blocurilor de lumini, deschiderea/blocarea ușilor, lumină ambientală, până la cele mai critice funcții, chiar și procesele autonome de tempomat sau frânare de urgență. Unitățile ECU lucrează independent de celelalte sisteme, dar atunci când gradul de complexitate a sarcinilor crește, acestea cooperează în soluționarea cât mai eficientă a problemei. Progresul tehnologic din domeniul auto a contribuit la conturarea unor unități de comandă de la motor, transmisie, până la sisteme de siguranță, confort, media și telefonie sau internet. Există unități ECU pentru coordonarea motorului și a transmisiei, ECU pentru a gestiona arbag-urile, asistența la condus, frânare și controlul sistemelor adaptive autonome. O componentă ECU de interes special pentru această teză de doctorat este aceea care se ocupă de sistemele telematice și multimedia, care permit comunicarea cu exteriorul prin diverse dispozitive, controlul sistemelor audio, video, comunicația cu dispozitivele de telefonie mobilă sau internet.

## **1.2 Structura și conținutul tezei de doctorat**

Cu scopul de a-și atinge obiectivele propuse, teza a fost structurată în șase capitole, cărora li se adaugă bibliografia.

**Capitolul 1** se axează pe analiza și prezentarea detaliată a stadiului actual de cercetare și dezvoltare din domeniul comunicațiilor intravehiculare, vehiculare, între vehicule-infrastructură sau pietoni, al tehnologiilor radio, comunicațiilor optice fără fir, standarde utilizate, incluzând rezultate relevante ale grupurilor de cercetare în domeniu din universități și institute de cercetare, dar și ale producătorilor de autovehicule. Progresul tehnologiile celulare 4G și 5G au condus și la îmbunătățirea protocoalele de comunicații vehiculare existente, contribuind la creșterea ratei de transfer a datelor și la scăderea latenței în schimbul de date. O secțiune specială este dedicată tehnologiilor emergente de comunicații vehiculare prin lumină vizibilă (VLC), evidențiind complementaritatea tehnologiilor RF-VLC pentru domeniul vehicular și potențialul conlucrării acestora pentru dezvoltarea de aplicații dedicate.

**Capitolul 2** se concentrează pe modelarea și simularea fluxurilor de trafic rutier în medii urbane pentru asistarea conducătorului auto și decongestionarea traficului rutier. Analiza densității autovehiculelor în zonele urbane și pe drumuri de mare viteză, analiza obstacolelor. Scopul principal fiind acela de a defini modele uzuale în vederea gestionării eficiente a traficului și generarea de soluții capabile să se regăsească în cadrul dispecheratelor urbane și sistemelor inteligente de management și distribuție a traficului.

**Capitolul 3** abordează la nivel arhitectural și simulativ un protocol de comunicare ajustat printr-un nod comun, care să faciliteze transmiterea și recepționarea de informații într-un timp util. Această joncțiune între două sau mai multe tipuri de comunicație oferă posibilitatea de a dezvolta sisteme și aplicații dedicate domeniului auto.

**Capitolul 4** prezintă dezvoltarea de noi dispozitive cooperative cu aplicabilitate în domeniul automotive, concentrându-se pe structurarea și analizarea elementelor care conduc către transmiterea și recepționarea de mesaje. Astfel, analiza și testarea mesajelor de conștientizare cooperativă (CAM), dar și contribuția mesajelor de notificare de mediu descentralizat (DENM) necesită un studiu intens în vederea implementării în cadrul unei platforme dedicate comunicațiilor în vehicul, dar și în exteriorul acestuia. Expunerea proiectivă a tranformărilor regresive prin metode parametrizabile și histograme, dar și utilizarea senzorilor din telefonie mobilă în aplicații dedicate siguranței rutiere și pietonale.

**Capitolul 5** abordează dezvoltarea de dispozitive cooperative și aplicații software în vederea asistării conducătorului auto, dar și creșterea siguranței rutiere. Implementarea și testarea unei platforme DSRC cu scopul de a obține comunicații pe distanțe scurte utilizând standardul 802.11p. Proiectarea arhitecturală, crearea algoritmilor dedicați sistemului de tip DSRC, validarea, implementarea scenariilor și testarea acestora în medii controlate de exterior, sunt elemente tratate în cadrul acestui capitol. Testarea scenariilor a fost realizată conform simulărilor din cadrul capitolelor anterioare, în același perimetru pentru a menține veridicitatea și calitatea rezultatelor.

**Capitolul 6** se concentrează pe expunerea concluziilor generale, a contribuțiilor personale, rezultatelor cercetării, dar și asupra valorificării rezultatelor.

### 1.3 Provocări actuale legate de utilizarea tehnologiilor VLC și DSRC în aplicațiile vehiculare

În cadrul acestei secțiuni, am sintetizat provocări actuale în dezvoltarea tehnologiilor de comunicații vehiculare fără fir bazate pe radiofrecvență sau pe lumină vizibilă pe care le-am identificat prin parcurgerea extinsă a literaturii de specialitate și le consider relevante pentru cercetările propuse în cadrul planului doctoral.

#### Provocarea nr. 1 – Îmbunătățirea raportului semnal-zgomot în comunicațiile vehiculare și evidențierea complementarității dintre comunicațiile RF și cele VLC

În vederea îmbunătățirii raportului semnal-zgomot în comunicațiile prin lumină vizibilă, una din soluțiile identificate a fost aceea de reducere a câmpului de vizualizare. Totuși, în aplicațiile vehiculare, acest demers afectează vizibilitatea directă între emițător și detector în condiții de mobilitate, putând conduce la întreruperea canalului de comunicație. Deși capacitatea sistemelor VLC a fost testată și demonstrată în [11], poziția emițătorului și a receptorului în această demonstrație a fost una care să faciliteze o comunicație stabilă, conducând astfel VLC ca soluție complementară și nu alternativă/competitivă cu tehnologiile DSRC. Confirmarea teoretică și experimentală a unor sisteme de acest tip, abordând recepționarea unui semnal de la un semafor amplasat la o distanță de aproximativ 5 m deasupra șoselei, obținându-se transmisii viabile de date și în această situație [12]. Soluții complexe au fost realizate prin introducerea unei camere video și un pachet de senzori care au un câmp mai redus de vizualizare fiind poziționați în zone diferite pentru parcurgerea unei arii cât mai mari [13]. Utilizarea camerelor video permite și o analiză suplimentară a mediului extern conducând și la identificarea unor probleme rutiere și nu numai. Cu ajutorul unei camere video de 1000 fps se pot scana în timp real elemente din trafic, putând avea astfel o perspectivă de ansamblu asupra pietonilor, participanților la trafic, dar și asupra altor entități ce își pot schimba forma sau mișcarea perturbând traficul și punând în pericol viața tuturor. Aceste soluții sunt sustenabile mai ales în cazul autovehiculelor din generații actuale, deoarece majoritatea vin echipate cu un sistem de control, cameră față și spate, pachete de senzori incluși în zonele frontale, laterale și spate. Pe lângă costul minim de implementare în cazul unui sistem VLC, tehnologia poate beneficia de avansul tehnologic înregistrat din domeniul auto, folosind întreaga resursă a mașinii pentru a forma un sistem autonom care ar îmbunătăți siguranța rutieră.

#### Provocarea nr. 2 - Creșterea ratei de transfer a datelor în comunicațiile vehiculare VLC

Sistemele VLC au nevoie de îmbunătățiri pentru a crește rata de transfer a datelor, fără a fi însă compromise rezistența la zgomot sau distanța de comunicare. Nivelul actual al cercetărilor și dezvoltărilor de aplicații în regim interior relatează obținerea unor viteze de transfer de ordinul zecilor sau sutelor de Gb/s în condițiile utilizării diverselor tehnici de modulare. Performanțele mediului exterior au fost îndreptate către sistemele VLC, fiind capabile să atingă rate de aproximativ 20 Mb/s, [14],[15], cu mențiunea că această viteză de comunicație depinde în mare parte de distanța dintre emițător și receptor. Studiile arată că cele mai bune viteze înregistrate la ora actuală sunt atinse de sisteme VLC care au prevăzută și cu o cameră video de aproximativ 1000 de fps, capabilă să realizeze și comunicații de tip MIMO.

#### Provocarea nr. 3 - Rețele neomogene DSRC și VLC

Dezvoltarea comunicațiilor VLC s-a realizat odată cu procesul de îmbunătățire și extindere al tehnologiilor LED aferente, impulsivă și de cererea crescută de comunicații fără fir în contextul congestiei spectrului radio. Decongestionarea spectrului radio prin preluarea unei părți a

fluxului de date prin canale optice, necesită dezvoltarea de rețele neomogene RF și VLC, denumite și rețele mixte sau hibride, ce necesită arhitecturi și protocoale de comunicații dedicate, cu un grad ridicat de complexitate pentru mediul dinamic și infrastructura limitată care caracterizează aplicațiile vehiculare [16].

#### **Provocarea nr. 4 - Utilizarea de algoritmi și aplicații software pentru analiza în timp real**

Utilizarea aplicațiilor TIC în domeniul vehicular necesită procesarea datelor și decizii în timp real, în special, în aplicații de siguranță rutieră. O aplicație abordată în această teză este recunoașterea pietonilor, semafoarelor, semnelor de circulație și a altor elemente vehiculare sau de infrastructură rutieră prin procesare în timp real a imaginilor preluate de la o cameră video adăugată sistemului VLC dezvoltat. În acest sens, recunoașterea obiectelor dintr-o imagine scanată s-a realizat cu ajutorul algoritmului YOLO (You Only Look Once), prin localizarea și clasificarea mai multor clase împărțite în mai multe cutii de ancorare, iar în funcție de acele dimensiuni se pot recunoaște semafoare, mașini, sau persoane, scanarea având loc doar în zona în care sunt identificate obiectele.

#### **Provocarea nr. 5 - Standardizarea comunicațiilor prin lumină vizibilă**

O parte din problemele menționate anterior scot în evidență o serie de aspecte tehnice care pot afecta dezvoltarea acestui tip de tehnologie sau pot îngreuna realizarea unor dispozitive ideale. Au fost făcute eforturi semnificative în ultimii ani pentru standardizarea comunicațiilor prin lumină vizibilă în mediul exterior, rămânând însă deschisă problema dezvoltării unui standard internațional unanim acceptat de industria auto și de comunicații.

#### **Provocarea nr. 6 - Realizarea de module și dispozitive portabile dedicate aplicațiilor auto**

Un prim pas urmărit în această direcție este dezvoltarea de module dedicate achiziției de date și analizei mediului înconjurător prin procesare de imagini și identificare de obstacole. Pentru o mai bună colaborare se vor colecta informații utile prin portul CAN al autoturismelor utilizate în scenariile propuse. Analiza stilului de condus și a informațiilor din habitacul, fac și ele scopul cercetării, aceste elemente fiind analizate prin dispozitive proiectate individual și montate în exteriorul autoturismului. Dezvoltarea unei platforme de achiziție a informațiilor și proiectarea acestora pe o navigație universală dedicată tuturor autoturismelor cu o consolă centrală generoasă reprezintă, de asemenea, o necesitate în cadrul acestei provocări. Pe termen mediu, se urmărește ca sistemele să analizeze informații prioritare din trafic și din interiorul mașinii și să le transmită prin comunicații mixte RF-VLC către o interfață controlabilă din exterior.

#### **Provocarea nr. 7 - Utilizarea dispozitivelor smartphone în comunicațiile dintre infrastructură- autovehicule-pietoni**

Ubicuitatea telefoanelor inteligente și a diverselor dispozitive inteligente auxiliare asociate acestora reprezintă o oportunitate deosebită în dezvoltarea de aplicații specifice domeniului abordat, în special prin diversitatea componentelor disponibile, nu doar pentru comunicațiile RF, dar și optice (senzori, camere foto, fotorezistor, etc.). Implementarea algoritmilor de analiză a semnalului/imaginilor, dar și comunicarea directă a dispozitivului smart cu platforma hibridă, poate conduce la multiple aplicații de siguranță rutieră și asistarea conducătorului auto.

#### **Provocarea nr. 8 - Adaptivitatea la context a sistemelor VLC și DSRC**

Dinamica și lipsa de predictibilitate în mediul exterior, prezența surselor de zgomot și a condițiilor meteorologice diverse obligă cercetătorii să se concentreze asupra dezvoltării de sisteme VLC și DSRC capabile să funcționeze în diverse scenarii. În cazul VLC, cele mai uzuale metode pentru a reduce zgomotul erau acelea prin care se micșora unghiul de vizibilitate, se

foloseau de filtre optice sau se utilizau tipuri diverse de modulație. Cele mai dificile probleme generate de context au ca principale surse de perturbare factorii naturali precum: ploaie, zăpadă, ceață, dar și schimbările bruște de temperatură. Conceptul actual trebuie să înglobeze o machetă realistă prin care aceste probleme generate de context să fie procesate de sistemul realizat și să reacționeze în timp real la modificările apărute în mediul exterior.

### **Provocarea nr. 9 - Realizarea de simulări cu un grad mare de relevanță practică și compararea consistentă a diverselor scenarii realizate**

În abordarea problemelor prezentate și evidențierea soluțiilor dedicate acestui sector urmărindu-se scenarii simulative care vor avea ca scop o analiză detaliată a unei anumite probleme. Aceste scenarii vor evidenția modul în care situațiile și evenimentele din trafic se pot gestiona eficient prin utilizarea de tehnologii complementare sau de sisteme hibrid dedicate siguranței rutiere. În urma analizelor externe și studierea unor infrastructuri rutiere și sisteme de iluminat stradal, dar și a unor secțiuni de drum, acestea se vor transpune într-un mediu virtual, generând așa-numitul geamăn digital (digital twin). Aceste simulări și scenarii pot oferi o perspectivă mai clară asupra capacităților sistemelor RF - VLC proiectate și a gradului de utilitate a acestora pentru aplicații vehiculare dedicate siguranței rutiere.

### **Provocarea nr. 10 - Dezvoltarea unei platforme hibride de comunicații vehiculare utilizând (VLC, DSRC, V2X)**

Sistemele cooperative de asistare a conducerii au dobândit în ultimii ani o importanță deosebită pentru a crește eficiența rutieră, dar mai ales siguranța în trafic. Se urmărește realizarea de aplicații dedicate în cadrul unei platforme mixte prin care vehiculele vor comunica atât între ele, prin comunicație de tip V2V (vehicle-to-vehicle), cât și cu infrastructura V2I (vehicle-to-infrastructure). Astfel, autovehiculele, dar și dispozitivele externe de infrastructură pot forma o rețea vehiculară ad-hoc. Studii recente au investigat soluții hibride care încorporează comunicații vehiculare bazate pe standardul 802.11p, cât și comunicații vehiculare mobile de tip LTE (long term evolution). În cadrul acestei teze urmăresc să aduc contribuții la dezvoltarea tehnologiei VLC pentru comunicații vehiculare și integrarea acesteia într-o platformă hibridă de comunicații RF-VLC alături de sisteme de recunoaștere a obiectelor și realitate augmentată utile în aplicații de siguranță rutieră și asistare a conducătorului auto.

Pagină lăsată în mod intenționat nescrisă

## Capitolul 2

### **Modelarea și simularea fluxurilor de trafic rutier în medii urbane pentru asistarea conducătorului auto și decongestionarea traficului rutier**

Sistemele dedicate siguranței rutiere bazate pe comunicații permit unei unități de infrastructură sau a unui autovehicul să se informeze asupra unei situații de trafic cu un grad ridicat de periculozitate, informând șoferul, dar și ceilalți participanți la trafic cu privire la acea situație. Astfel, vehiculele care fac parte din acea rețea pot schimba informații cu privire la viteză, locație, dar și menținerea unei conduite preventive și a unei viteze constante, accelerând și decelerând conform celorlalte autovehicule aflate în rețea, cooperarea acestora fiind utilă atât pentru prevenirea situațiilor de trafic care pot genera accidente, cât și pentru creșterea fluidității traficului [16],[17]. Cu toate acestea, susținerea siguranței vehiculelor bazate pe comunicații este dificil de dezvoltat și implementat prin prisma cerințelor și standardelor stricte.

Cauzele care provoacă congestiunea traficului se pot enumera în trei categorii: (1) controlul barierei temporare; (2) blocajul rețelei în zone cheie; (3) fluctuația aleatorie a unei regiuni din rețea. Toate cauzele și evenimentele cunoscute sau necunoscute din trafic care afectează fluxul și influențează bunul mers al lucrurilor pot fi denumite colectiv accidente de circulație. Putem spune că o mare parte din accidentele din trafic provoacă congestie și, reciproc, congestia poate provoca accidente de trafic. Traficul rutier funcționează precum o rețea, dacă accidentul sau evenimentul este remediat la timp, vehiculul este repus pe traiectorie și își continuă drumul, altfel congestiunea traficului se va răspândi rapid în rețea. Studiile efectuate confirmă că ieșirea din coloană și părăsirea direcției de mers este nerezonabilă, formând o congestie în buclă, fenomen care nu disipă congestia. Formând o congestie în buclă închisă se ajustează timpul și blocajul chiar până în punctul de pornire al rețelei. Putem spune că atâta timp cât se formează o buclă închisă, congestia de trafic în sine devine greu de disipat, fără intervenții artificiale.

În cadrul procesului de cercetare, sunt realizate simulări privind propagarea traficului și apariția congestiei în funcție de densitatea autoturismelor și modelul grafic stabilit. Astfel, obținându-se elemente definitorii prin care congestia traficului se poate disipa folosind mijloace de fluidizare ale traficului, fie că vorbim despre sisteme inteligente de trafic, fie autoturisme autonome sau aplicații dedicate. Majoritatea evenimentelor din trafic sunt cauzate de către accidentele rutiere sau activități diverse întreprinse de către participanții la trafic sau chiar pietoni, iar fiecare întârziere în pornirea autovehiculului, produce un nod în rețeaua de autoturisme, iar din acel punct până la o congestie devine o chestiune de câteva minute sau chiar secunde. Simulările efectuate au la bază date relevante din trafic, atât cantitative cât și calitative privind densitatea de autoturisme, dar și orele cu un flux accentuat de vehicule. Modelele concepute în vederea simulării se bazează pe învățarea și calibrarea parametrilor, optimizarea simulărilor macro-model, macro-rețea, noduri și intersecții. Astfel, se pot îmbunătăți și se pot realiza prognoze pentru traficul rutier urban oferind soluții de asistență tehnică în vederea stabilirii impactului asupra fluxului de autoturisme care tranzitează o anumită zonă. Scopul principal este acela de a gestiona eficient informațiile și de a evidenția posibile soluții în remedierea problemei menționate, fie că vorbim despre vehicule autonome sau vehicule conectate prin comunicații V2V, V2I, V2X sau VLC [18],[19].

## 2.1 Analiza și definirea modelului teoretic pentru fluxul de trafic și a algoritmului dedicat simulărilor

### Introducere în teoria modelului de viteză

În cazul simulării de trafic mediu, putem spune că rețeaua de trafic se divizează conform liniei de conectare, nod și punct de plecare/încărcare. Astfel, fiecare linie de legătură se împarte într-o multitudine de segmente, fiecare segment deține o mișcare de element și un alt element în coadă. Conform acestui principiu, viteza vehiculului din cadrul elementului aflat în mișcare se determină prin modelul densității. Modelul prezentat ia în calcul partea de pantă și suprafețele întinse, acestea fiind un factor pentru menținerea vitezei de deplasare, aceasta având variație în funcție de regiunea în care se află autovehiculul, principiu prezentat și în Figura 2.1, reprezentat în ecuația (1), unde  $v_u$  se caracterizează ca fiind viteza înregistrată în final de secțiune a zonei aflate în secțiune, iar  $v_d$  este viteza înregistrată la sfârșitul secțiunii și  $L_s$  se caracterizează prin zona de decelerație.  $L_s$  poate conține și caracteristica legată de structura terenului, dar și condițiile de trafic ale secțiunii analizate. Prin stabilirea zonei de rampă, secțiunea de drum drept pornind de la 0 puncte, stabilim lungimea secțiunii  $L$ , factorul de coborâre și poziția sunt stabilite prin relația dintre viteză și poziție [20],[21].

$$v(z) = \begin{cases} v_u, & 0 \leq z \leq L - L_s, \\ \lambda(z - L) + v_d, & L - L_s \leq z, \end{cases} \quad \lambda = \frac{v_d - v_u}{L_s} \quad (1)$$

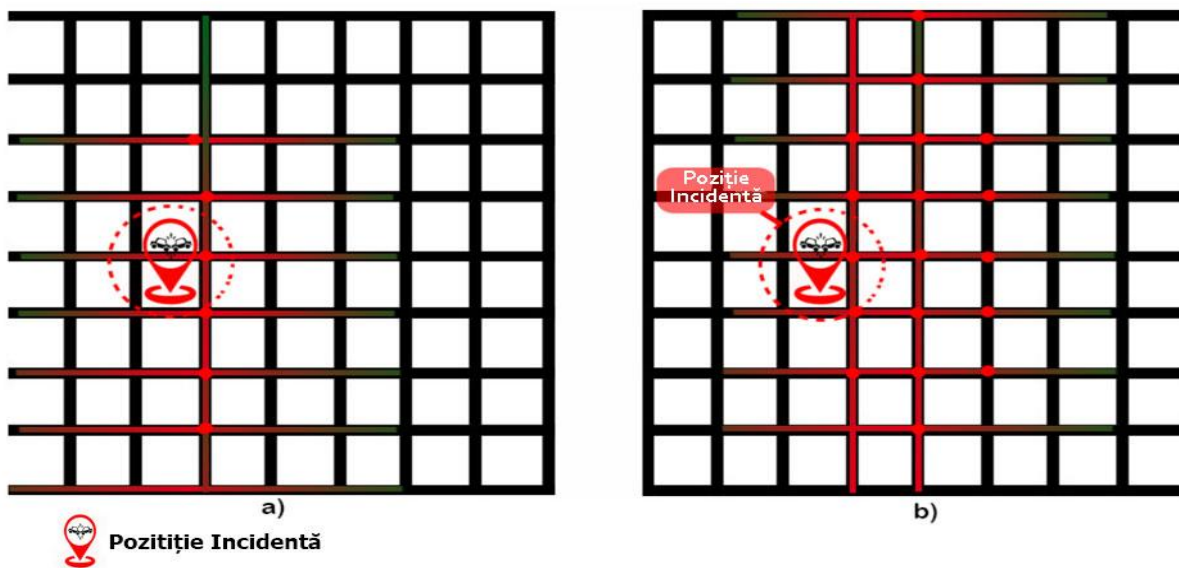


Figura 2.1 - Ilustrarea unui ambuteiaj și a poziției de incidență a evenimentului.

## 2.2 Analiza și definirea congestiei prin determinarea ipotezelor de bază și transpunerea în elemente simulative printr-un model de trafic mediu

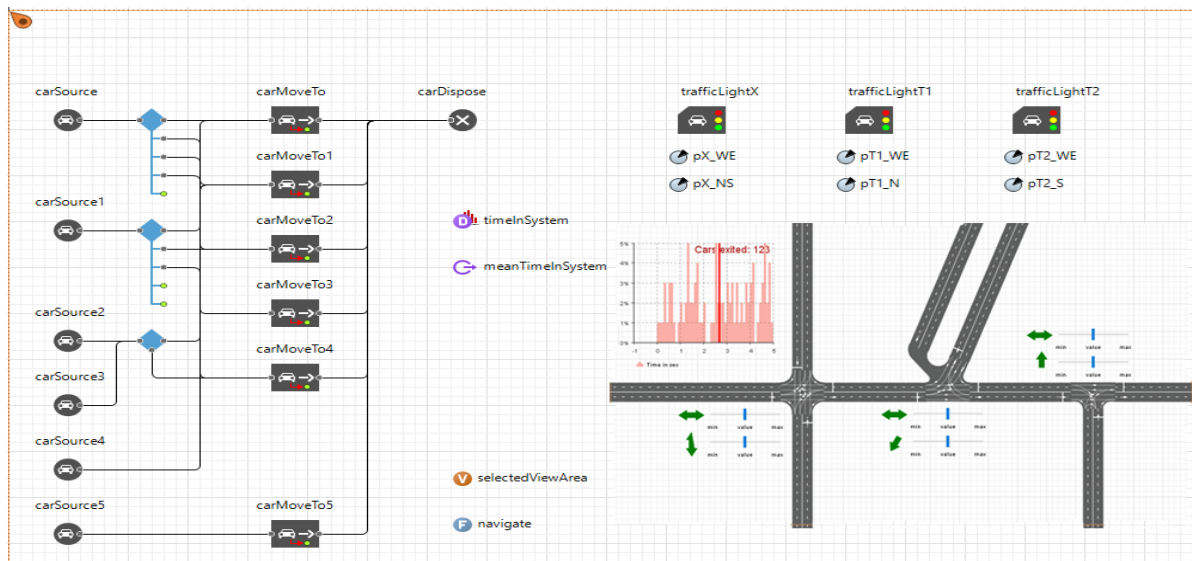
În conturarea ipotezelor de bază prin care au fost simulate rețelele de trafic, avem mai multe senzori de mers și mai multe segmente subdivizate cu aceleași caracteristici fizice, astfel, putem suprasolicita întreaga infrastructură în vederea obținerii celui mai eficient model. Fiecare secțiune



sau sens de mers depinde de caracteristicile de trafic impuse și de cele fizice ale drumului, precum lățime, înclinare, pantă, lungime, evenimente imprevizibile sau probleme apărute la sistemele de semaforizare.

## Reprezentarea arhitecturii simulative dedicate fluxului de trafic

Având în vedere capacitatea totală de tranzitare a zonei și modul în care a fost proiectată infrastructura rutieră, aceasta nu poate suporta o densitate de autovehicule mai mare de 700 de autoturisme în decurs de 90 de secunde. Astfel, orice întârziere cuprinsă între 5 - 10 s poate conduce către un blocaj, acesta transformându-se într-o congestie răspândită către celelalte străzi principale. Astfel, scenariile gândite au ca scop analiza din punct de vedere al timpilor stabiliți prin semaforizare, iar într-o propunere secundară aceștia sunt modificați în funcție de gradul de congestie pe segmentul de drum. În scenariile simulate sunt date reale și invocând probleme reale cu care se confruntă această zonă, rețeaua nu este unidirecțională factor ce îngreunează rezolvarea problemelor doar din infrastructura rutieră, dar pot reduce gradul de congestie. Scopul principal este acela de a prezenta soluții reale și cât de important este un sistem de management al traficului bazat pe comunicații hibride DSRC, V2X, V2V și VLC, transformând și îmbunătățind comportamentul vehiculelor în proximitatea zonei. Astfel, o parte din autoturisme pot evita zona respectivă dacă nu sunt condiționate, folosind o rută alternativă, o cale temporară pentru a tranzita acel sector de drum congestionat. Problema este în întregime condiționată de forma și gradul de congestie pe care îl avem în zona analizată, iar aceștia pot fi factori decisivi în strategia de control a traficului. Putem propune strategii unice de control al traficului, în ambele sensuri, dar și o strategie de control de tip arbore. Ultimul tip de control este propus în ultima diagramă simulativă reprezentată în Figura 2.2, arătând că ruta de la zona incidentă la cea mai scurtă ieșire este în mare măsură similară cu ramurile unui arbore.



**Figura 2.2.** - Schema reprezentativă a intersecțiilor și a arhitecturii simulative în raport cu protocolul de comunicație abordat.

Comportamentul în eliminarea traficului prin mijloace moderne de gestionare pot ajuta, dar într-o situație reală se pot observa mult mai multe aspecte ce pot afecta structura. În ceea ce privește diagrama care reprezintă arhitectura intersecțiilor și punctele de plecare dedicate autovehiculelor s-au luat în calcul toate căile de acces către ruta respectivă și proiectarea rețelei de drumuri Figura

2.3. Sunt conturate 6 centre de plecare sau hub-uri care vor genera un trafic prestabilit de la 100 de autovehicule per sens de mers într-un anumit timp, acestea fiind filtrate ulterior prin sistemele de trafic inteligent care reprezintă conform standardelor anumite limitări impuse de un anumit tip de comunicație. Semaforizarea este replicată conform cazurilor reale, fiind amplasate la 3,5 metri și în zona centrală cu suspendarea deasupra căilor de rulare. Realizarea acestor simulări sunt cu scopul de a evidenția mobilitatea autoturismelor în condițiile utilizării unor sisteme de trafic inteligent și modalitatea în care acestea fluidizează traficul, dar în același timp care sunt provocările la care sunt supuse aceste sisteme într-o implementare practică reală.



Figura 2.3. Scenariu de congestie 1 - fluxul vehiculului generat la 100 / min, 30 s de semafor pe culoarea roșie.

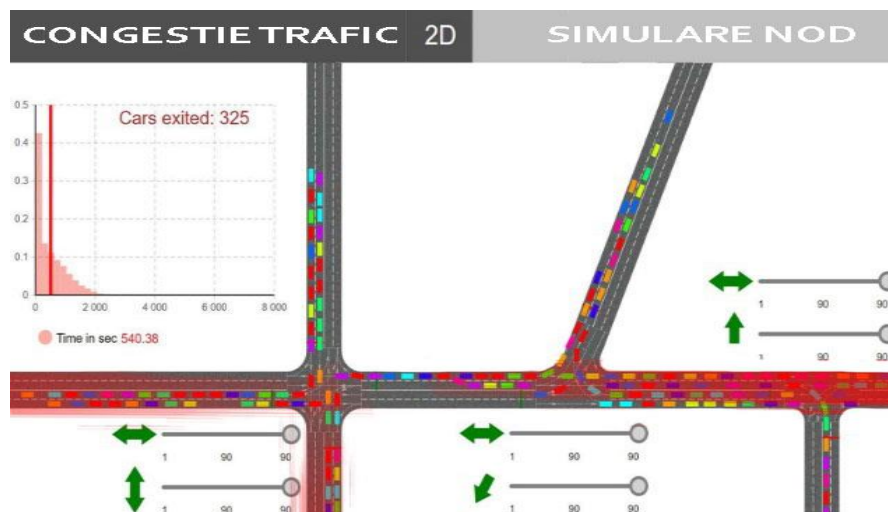


Figura 2.4. Scenariu de congestie 1 - fluxul vehiculului generat la 100 / min, 90 s de semafor pe culoarea roșie.

În cazul primelor scenarii s-au generat fluxuri de autovehicule de aproximativ 100-150 de autovehicule pe minut pentru fiecare sens de mers. Astfel, primul scenariu de analiză a traficului s-a bazat pe un grad de congestie minim conform numărului de autovehicule și gradual timpul de staționare la semafor a fost de 30 de secunde, respectiv 90 de secunde, conform cazurilor reale. După cum putem observa în Figura 2.3 și Figura 2.4, simularea nodurilor rutiere expune un flux de autoturisme și un total de 591 care au reușit să tranziteze, în cazul în care staționarea a fost de aproximativ 30 de secunde.

### 2.3 Analiza și definirea congestiei prin determinarea ipotezelor de bază și transpunerea în elemente simulative printr-un macro-model de trafic

În această secțiune, vom analiza implementarea unui macro-model de trafic rutier, incluzând și vehicule de mare tonaj precum, dar și impactul asupra mediului în alegerea rutelor optime. Pentru a explica optimizarea unui traseu într-o anumită rețea, vom porni de la diagrama prezentată în Figura 2.5 ce reprezintă o rețea cu 27 de noduri, iar liniile de legătură reprezintă traseele dintre noduri. Fiecare zonă beneficiază de proprietăți proprii, în funcție de aria de acoperire, așa că atunci când un vehicul cu tonaj mare parcurge una dintre rute, va crea un impact negativ asupra acelor zone, transformându-le în rute închise. Vom considera că vehiculul de transport logistic pleacă dintr-un punct de origine notat cu P pentru a ajunge la o destinație de livrare indicată cu L în cadrul acestei rețele. Putem spune că fiecare camion care parcurge traseul pe identificatorii k și l, va primi notația (k,l). Dacă simulăm o rută identificată ca UN, vehiculul se află pe linia verde, iar când traseul său trece prin coordonatele (U,2), acesta afectează zona 1, în timp ce persoanele din zonele 1 și 2 pot fi afectate și atunci când aleg un traseu alternativ (2,3). Astfel, pentru fiecare zonă se poate calcula pierderea totală W, iar fiecare traseu are o anumită pierdere, așa cum ar fi cazul traseului (14,18), iar o pierdere totală și o denaturare a zonei prin impactul social poate fi exprimat ca:

$$W_{14,18} = \frac{1}{2} \left( \frac{S_1 W_9}{S_1 + S_2 + S_3} + \frac{S_1 W_{10}}{S_1 + S_4 + S_5 + S_6} \right), \quad (2)$$

unde  $W_{14,18}$  reprezintă pierderea din proces atunci când camionul parcurge traseul pe intervalele (14,18),  $W_9$  and  $W_{10}$ , iar S este reprezentat ca pierderile pentru acele intervale de distanță [22].

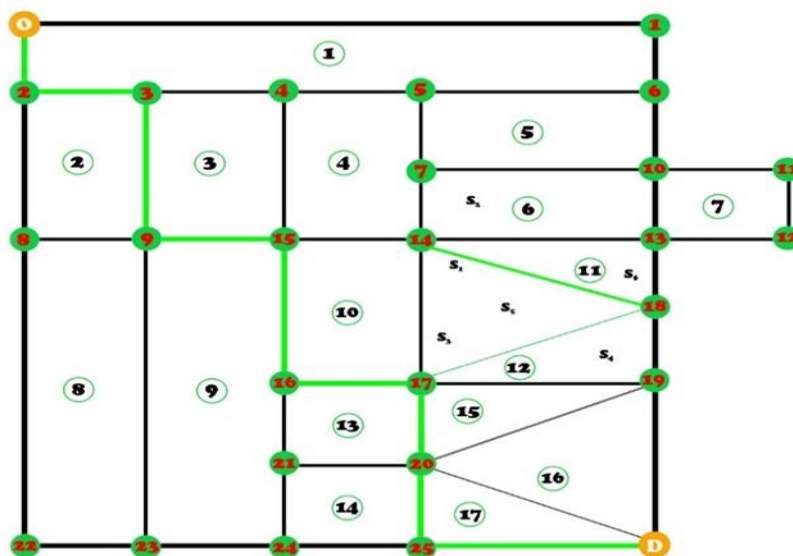


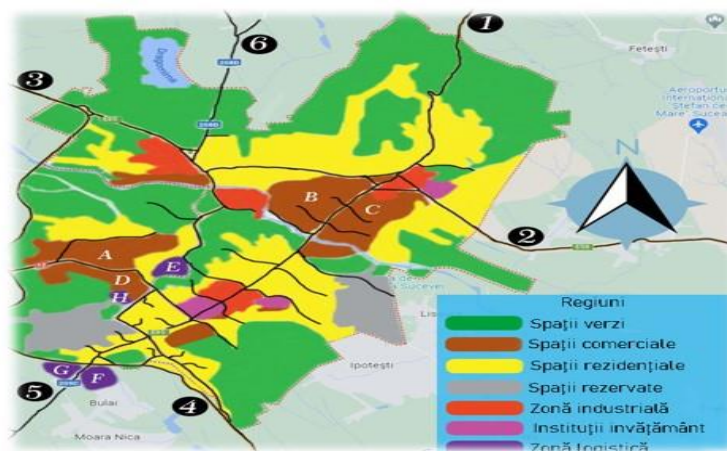
Figura 2.5. Diagrama reprezentativă a unei structuri care optimizează transportul de tonaj mare.

Putem presupune că aglomerația și activitatea rutieră sunt extrem de diferite pentru fiecare zonă cu orizonturi de timp diferite. În acest caz, dacă nu ținem cont de aspectele costului social, un vehicul de dimensiuni mari, trebuie să tranziteze o zonă pe calea cea mai scurtă pentru a obține traseul cât mai optim. Astfel, impactul negativ asupra congestionării traficului, siguranței rutiere

și a pietonilor în zonele cu o densitate a traficului, dar și aglomerația acestuia sunt elemente semnificative pe care le poate crea un vehicul mare. Putem spune că un camion trebuie să evite zonele importante cunoscute pentru probleme rutiere pentru a reduce o parte din costurile sociale. Prin urmare, stabilim un model luând în considerare atât impactul asupra mediului, cât și implicarea costurilor sociale, bazat pe un model optimizat [23].

Modelul de optimizare implementat în această secțiune are la bază un algoritm euristic de explorare a grafurilor, inspirat din comportamentul migrației furnicilor în căutarea hranei, denumit ACO (Ant Colony Optimization). Atunci când caută hrană, deși nu pot comunica, fiecare furnică lasă o anumită concentrație de feromoni pe drumul pe care tocmai l-a parcurs, fiind o modalitate de a fi găsită de restul coloniei sau de a cunoaște ruta de întoarcere. Prin urmare, furnicile folosesc această metodă de comunicare indirectă pentru a realiza o coordonare empirică și adesea eficientă pentru întregul grup. Dacă la început, procesul pare haotic și cooperarea colectivă pare o mișcare aleatorie fără un scop anume, treptat colonia se va stabiliza și va găsi calea optimă către traseul conturat de alte furnici [24].

Situația actuală, alterată de conflictul de frontieră dintre Rusia și Ucraina, a făcut recent traficul din întreg județul lipsit de mobilitate și siguranță. Luăm în considerare aplicarea modelelor de simulare pe cazuri practice, precum Suceava, deoarece fiabilitatea și aplicabilitatea pot fi demonstrate într-un caz practic. Au fost efectuate mai multe analize și experimente pentru a testa eficacitatea modelului propus. Prin urmare, Figura 2.6 își propune să prezinte zona de dezvoltare economico-industrială a Sucevei care însumează aproximativ 52km<sup>2</sup>, care cuprinde aproximativ 8 drumuri principale și aproximativ 30 de drumuri secundare, fără autostrăzi sau drumuri de mare viteză. Zonele au fost delimitate în funcție de utilitatea terenului, fiind reprezentate cu culori diferite, păstrându-se doar liniile principale de circulație. Proprietățile terenurilor și utilitatea acestora au fost reprezentate prin culori distincte, iar liniile negre sunt rețelele de circulație și drumurile interne pentru fiecare zonă, nu au fost reprezentate străzi adiacente sau drumuri cu o singură bandă. Au fost identificate stații logice pentru zonele cu densitate mare și aproximativ șase intrări pentru întreg perimetrul. Vehiculele de transport logistic intră sau ies pe orice rută numerotată de la ① la ⑥.



**Figura 2.6.** Reprezentarea grafică a zonei urbane și prezentarea distinctă a componentelor dezvoltate economic și tehnologic ale Sucevei.

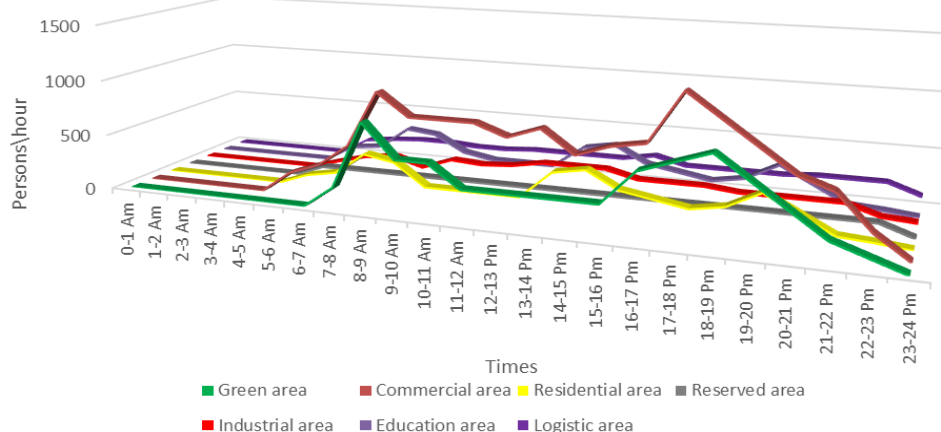
Pentru a simplifica problema, au fost implementate la nivel simulativ stații logistice cu dimensiunile sursei și au fost prezentate separat în Tabelul 2.1. Pentru a simplifica și mai mult, s-au analizat datele de trafic și distribuțiile orare în funcție de tranzit. pe acele trasee. Menționăm că

analiza datelor s-a realizat ca o medie a tuturor datelor extrase și a fluxurilor de oameni pe parcursul unei zile. Aceste date pot fi modificate în funcție de specificul zilei, mai ales dacă vorbim de weekend sau sărbători. În Figura 2.7 sunt prezentate datele privind distribuția fluxului de persoane, înregistrate într-un interval de timp și pentru o anumită categorie de zonă, fie că vorbim de zone de relaxare sau comerciale industriale, rezidențiale, educaționale sau logistice.

Proiectarea unui model de trafic bazat pe algoritmi ACO devine o premisă importantă în rezolvarea unei probleme majore cu care se confruntă astăzi zona urbană. Prin urmare, este relevantă alegerea unui interval dedicat de valori între  $\alpha$  și  $\beta$  cu scopul de a identifica nodurile comune și, ulterior, de a obține o conversie. Au fost conturate mai multe scenarii prin care se analizează un proces logistic care se referă la ACO în ceea ce privește trasabilitatea și organizarea minuțioasă a procesului de transport greu care ar putea evita zonele cu circulație dificilă. Crearea de stații logice pentru suprafețe mari și conturarea benzilor unice cu scopul de a realiza un mediu propice intrării vehiculelor de transport logistic. Prin urmare, vehiculele de transport logistic intră pe orice traseu prezentat separat, dar țin cont de mărimea sursei și densitatea traficului, reorganizându-și traseul în funcție de acestea.

**Tabel 2.1.** Prezentarea ratelor de sosire a vehiculelor de transport logistic în fiecare stație logică.

Timpul sosirii (veh/h)	①	②	③	④	⑤	⑥
A	30	28	20	17	10	9
B	18	22	21	16	19	11
C	22	33	11	19	24	13
D	17	21	9	22	17	23
E	14	9	11	16	9	17
F	7	15	13	21	8	12
G	12	19	8	4	5	4
H	9	5	4	2	2	7



**Figura 2.7.** Prezentarea distribuției în mediul urban a populației în raport cu media orelor de vârf.

În ceea ce privește validarea modelului și impactul pe care acesta îl are asupra zonelor urbane, putem observa cum se conturează distinct zonele care devin aglomerate și, în același timp, gradul de satisfacție al populației precum și modul în care aceasta este afectată de transportul

supradimensionat. Mediul comercial și aspectele zonei de afaceri au o pantă descendentă, iar cel mai important impact pe care l-a avut algoritmul ACO este diminuarea lungimii căilor cu până la 8% în comparație cu factorii standard de respingere a căilor care depășesc 30% din aria de acoperire. Prin analiza și impunerea în continuare a unui proces logistic prin care rutele de transport cu camioane au schimbări semnificative. Astfel, se observă existența unor noi orizonturi de timp în conturarea căilor de acces dedicate măsurilor de regresie logică aplicate constant schimbării zonelor de analiză. În Figura 2.8, aplicarea algoritmului ACO este pe deplin implementată, observându-se cea mai importantă caracteristică, care este cea prin care gradul de emisii de CO<sub>2</sub> scade considerabil. Simularea a fost realizată în tandem cu gradul maxim de ocupare a zonei locuibile și circulabile, fiind astfel afectat și gradul de satisfacție și confort al populației. Putem observa că distanța totală parcursă este net superioară celorlalte rute și că vehiculele de transport logistic sunt mutate din zonele cu aglomerație mare către alte rute. Aceste rute au fost cartografiate distinct față de simulările anterioare, deși mișcarea aleatorie a densităților se realizează între aceleași noduri viabile care au fost apelate pentru a crește performanța rețelei de transport logistic.

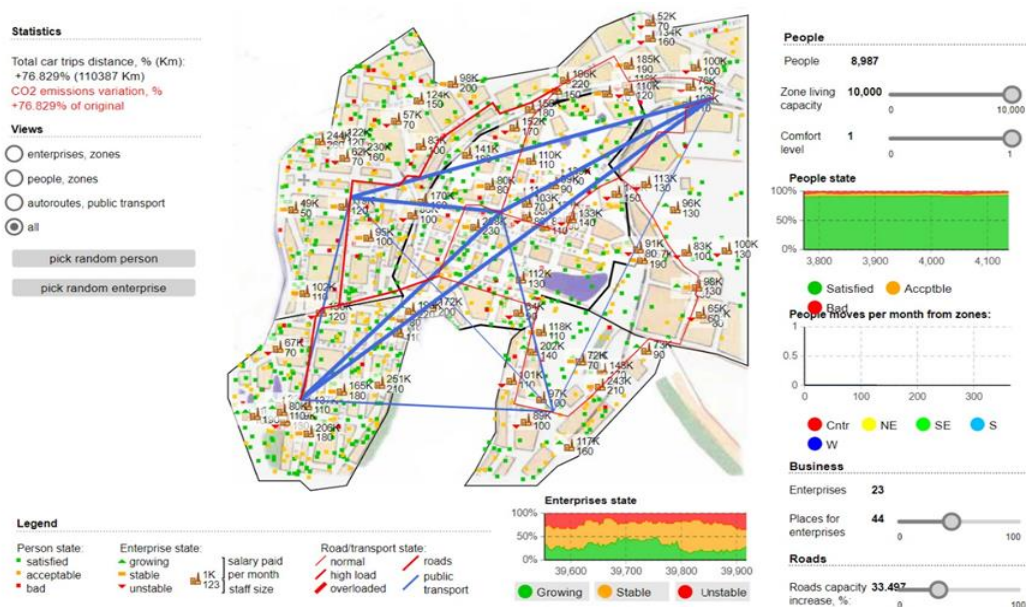


Figura 2.8. Scenariu demonstrativ care arată contribuția adusă de modelul ACO la rețeaua de transport, expunerea soluțiilor generate de algoritm și evidențierea distinctă a noilor zone de tranzit în scopul eficientizării traficului și reducerii emisiilor poluante.

Analiza în profunzime a acestei simulări dedicate căilor de optimizare pentru transportul logistic s-a materializat prin aspecte legate de modul în care acestea impactează nivelul social. S-a constatat că nivelul emisiilor și gradul de aglomerație nu se mențin la aplicarea unei distribuții la nivelul ratei de călătorie în rețeaua spațio-temporală. Așadar, fenomenul de reducere a densității traficului logistic scade costurile sociale, crește gradul de confort și, în același timp, îmbunătățește siguranța traficului. Astfel, simulările demonstrează utilitatea modelului ACO, care a contribuit la crescut eficienței traficului cu peste 33%. Putem spune că modelul în starea actuală mai are nevoie de ajustări pentru a restricționa rutele în funcție de zonele permise pentru tranzit prin transport logistic.

## Capitolul 3

### Propunerea unui protocol de comunicații printr-un nod comun cu aplicații în comunicații vehiculare

Conform studiilor de specialitate, 90% dintre accidentele rutiere sunt provocate de către erorile umane, lipsa atenției, conducerea sub influența stresului, oboselii sau timpilor de reacție întârziată generați de faptul că șoferii întreprind și alte acțiuni în timpul condusului. Din cauza unei percepții limitate a șoferilor, aceștia nu pot reacționa la timp în cazul unui posibil accident, inclusiv procesul cognitiv necesar reacției la vizualizarea stopurilor are nevoie de un timp cuprins între 0,7 secunde și 1,5 secunde pentru a fi procesat. Cercetările efectuate în domeniul protocoalelor de comunicații V2V s-au concentrat pe două domenii principale: MAC și redirectionarea mesajelor transmise. Putem spune că IEEE 802.11 MAC este considerat protocolul de facto în comunicațiile DSRC, cum ar fi cazul Time Division Multiple Access (TDMA), bazat pe protocoale MAC cu sloturi. Probabilitatea de a fi cauzată o auto-concurență 802.11 între nodurile adiacente și fluxul de date conduce către o limitare a întregului flux, deși există și capacitatea de rutare a protocoalelor, precum Ad-Hoc Distance Vector (AODV), considerat util în redirectionarea mesajelor.

#### 3.1 Utilizarea nodurilor comune în aplicații dedicate comunicațiilor vehiculare

În cadrul acestei secțiuni se vor prezenta performanțele propunerii prin nodul de tip articulație, format din V2V/V2R sau R2V, fiind detaliate scenariile de trafic atât pe o singură bandă pentru a evidenția anumite aspecte, cât și pe trei benzi de circulație pentru a crește gradul de complexitate al scenariilor, în vederea obținerii posibilității de implementare în situații similare realității, ținând cont și de standardul IEEE 802.11b. Putem spune că în ceea ce privește nivelul fizic, sensibilitatea receptorului poate avea valori cuprinse între -93.0 dBm și 98.0 dBm, în cazul simulărilor au fost abordate valori standard, mai exact -93.0 dBm, iar rata de transfer de date în cazul protocolului IEEE 802.11b, este cuprinsă între 1 Mbps și 11Mbps, iar în ceea ce privește raportul între semnal-zgomot (SNR), avem o valoare de 10,0 dB. Principala modalitatea de realizare a transmisiei de date și conlucrarea modulelor V2V cu modulele V2R sau R2V, se ajustează puterea medie recepționată care are similitudini pentru fiecare autovehicul [25],[26]. Puterea de transmitere a informațiilor generată de emițătoarele dedicate comunicației V2V are valori cuprinse între 10.0 dBm și 10.5 dBm, iar puterea de transmisie dedicată comunicațiilor V2R sau R2V are valori cuprinse între 9.0 dBm și 9.5 dBm. Conform studiilor, antenele omnidirecționale care pot avea un factor de pierdere de 0 dB, sunt utilizate în comunicații și montate pe autovehicule, iar pentru unitățile de trafic se utilizează antene de dimensiuni mai mari care pot avea un factor de câștig care depășește 20 dB. Așadar, literatura de specialitate indică un raport al comunicațiilor V2V în procesul de transmisie/recepționare care depășește 150 m. Un alt aspect este acela că atunci când discutăm despre comunicațiile de tip V2R și R2V acestea propun distanțe cuprinse între 1300 m și 1500 m, aspect care ne oferă convingerea că putem avea acoperire în ceea ce privește unitatea rutieră care cuprind distanțe și de 1500 de metri [27].

Pentru modelarea anomaliilor de propagare a semnalului radio cauzând anularea parțială a semnalului radio se folosește în mod obișnuit o funcție de distribuție de tip Rician, reprezentată de ecuația (8):

$$f(x | v, \sigma) = \frac{x}{\sigma^2} \exp\left(\frac{-(x^2 + v^2)}{2\sigma^2}\right) I_0\left(\frac{xv}{\sigma^2}\right) \quad (3)$$

unde  $I_0(z)$  reprezintă funcția Bessel pentru operații de ordin zero.

În contextul atenuării prin metoda Riciană, distribuția se poate reprezenta prin expresia parametrului Shape  $K = \frac{v^2}{2\sigma^2}$  care definește raportul dintre contribuția line-of-sight path și multipaths-urile rămase, iar parametrul scalei  $\Omega = v^2 + 2\sigma^2$  reprezintă puterea totală recepționată cu ajutorul tuturor căilor posibile. În teoria probabilității, variația este de asemenea, analizată și putem vedea chiar abaterea unei variații aleatorii față de standard. Această variație este tratată de  $f(x | v, \sigma)$  și se analizează zona centrală de incidență, care include și informații descriptive, pornind de la o ipoteză care afirmă că datele sunt eșantionate conform ecuației (8). Ulterior, informațiile sunt expuse de  $\frac{x}{\sigma^2}$ , reprezentând emisia dintre zona mascată și capătul plutonului. Restul ecuației analizează pătratul abaterii de la standard pe momentele centrale de distribuție și, de asemenea, covariația variabilei aleatorii, aceasta fiind reprezentată de notația anterioară, expunând această variabilă aleatoare în zona de incidență din momentul evenimentului până la momentul primirii mesajului [28],[29].

Modelele de canale de atenuare sunt utilizate în toate tipurile de testare care se efectuează pe baza efectelor electromagnetice atât pentru informațiile transmise în aer în rețelele celulare, cât și în cazul comunicațiilor difuze. Modelele de canale de atenuare sunt de asemenea, utilizate în comunicații care produc distorsiunea cauzată de diverse perturbații. Simulările efectuate analizează semnalul de intrare prin două câștiguri diferite, unul fiind un câștig fix, iar celălalt fiind un câștig variabil, care sunt legate de volatilitatea dată de zonele de incidență și de fluxul vehiculelor, fie de la pluton. Modelul detașat presupune analiza semnalelor care trec printr-un mediu de comunicație și analiza variației aleatorii, aceasta fiind estompată de distribuția prezentată anterior sau de distribuția Rayleigh în condiții de compromis:

$$y(t) = g_1 \times s(t) + 0.5 [\tau \times g_2 \times s(t)] + 0.25 [\tau \times g_2 \times s(t)] + n(t) \quad (4)$$

unde  $y(t)$  este semnalul de la ieșire,  $s(t)$  este semnalul de la intrare,  $\tau$  fiind întârzierea sau chiar schimbarea direcției/fazei,  $g_1$  este notația pentru câștigul fix și  $g_2$  este pentru câștigul variabil, iar  $n(t)$  este modelul de zgomot. Această alternativă vine în ajutorul modelului stochastic anterior, fiind un model statistic care are contribuția unui mediu de propagare intens pe semnalul radio, care mediază dispozitivele wireless. Pentru a analiza și generarea zgomotului dedicat simulărilor, a fost utilizată următoarea funcție:

$$\text{Syntax: } y = \text{AWGN}(x, \text{SNR}, 'measured') \quad (5)$$

Conform modelului de distribuție Rician, această funcție adaugă un fundal alb Gaussian la vectorul  $x$ . Astfel, SNR scalar returnează raportul total semnal-zgomot pentru un segment în variație dB. Sintaxa este utilizată și în simulările Matlab. AWGN calculează puterea lui  $x$  înainte de a adăuga zgomot.



## Capitolul 4

### Contribuții privind comunicațiile optice fără fir dedicate dispozitivelor mobile cu aplicabilitate în domeniul siguranței rutiere și al pietonilor

Evoluțiile actuale și nevoia de dispozitive de înaltă performanță care să ofere comunicații sigure și fiabile impun o perspectivă viitoare prin utilizarea luminii vizibile ca soluție alternativă în vederea îmbunătățirii ariei de siguranță rutieră și pietonală. Utilizarea zilnică a smartphone-urilor este imperativă, așa că se poate construi pe această premisă, un sistem dedicat problemei menționate. Cu toate acestea, problema canalului de comunicare prin lumina vizibilă (VLC) este extrem de dificilă prin dinamica și impredictibilitatea în materie de expunere la sursele de zgomot. Dezvoltarea de aplicații dedicate comunicațiilor directe cu infrastructura și cu vehiculele folosind dispozitive portabile este o provocare, dar prezintă un potențial deosebit. Acest capitol este dedicat dezvoltării unei arhitecturi de emisie-recepție pentru comunicațiile adaptive prin lumină vizibilă folosind OCC (comunicație cu ajutorul camerelor optice), dar și comunicații standard VLC ce includ senzori de lumină ambientală prin intermediul unei aplicații Android. Din analiza cercetărilor în acest domeniu, am constatat că o astfel de abordare, reprezentată schematic în Figura 4.1, nu a fost implementată pentru sistemele VLC externe. Performanța arhitecturii și a aplicației sunt demonstrate prin teste practice care confirmă capacitatea tehnologiei chiar dacă se află într-un stadiu incipient.

Utilizarea tehnologiei Visible Light Communications (VLC), necesită un transmițător și un receptor VLC, acestea pot facilita transferul de informații, iar modularea undei luminoase purtătoare trebuie realizată fără a fi sesizată de ochiul uman și a afecta funcția inițială a emițătorului, care e de a ilumina. Pe de altă parte, receptorul transformă lumina modulată într-un semnal electric, iar ulterior aceste date pot fi procesate prin diferite tehnici [30],[31]. În cazul utilizării VLC pentru comunicațiile între infrastructură și dispozitivele mobile, avem două posibilități de recepție, prin procesarea imaginilor și utilizarea camerei frontale sau principale, sau prin utilizareaa senzorului frontal de tip rezistență dependentă de lumină. În Figura 4.2 se prezintă schema bloc a unui sistem OCC, care utilizează atât camera, cât și partea frontală a telefonului pentru comunicații [32]. Deoarece spectrul optic oferă o gamă largă de frecvențe, tehnologiile optice fără fir (OWC), cum ar fi comunicațiile prin lumină vizibilă (VLC), Li-Fi, comunicarea cu ajutorul camerelor optice (OCC) și comunicarea optică de top într-un mediu deschis, pot aduce o contribuție semnificativă la decongestionarea spectrului radio și creșterea capacității de transfer a datelor [33],[34].

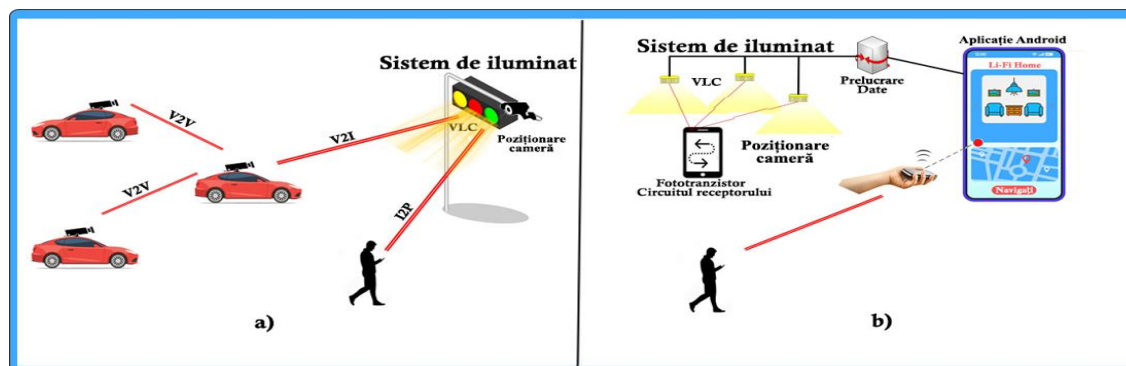


Figura 4.1. - Schema principală a comunicațiilor V2I (vehicul-la-infrastructură) și a comunicațiilor prin lumină vizibilă bazată pe comunicarea camerei optice, dar și pe utilizarea senzorilor ambiențiali.

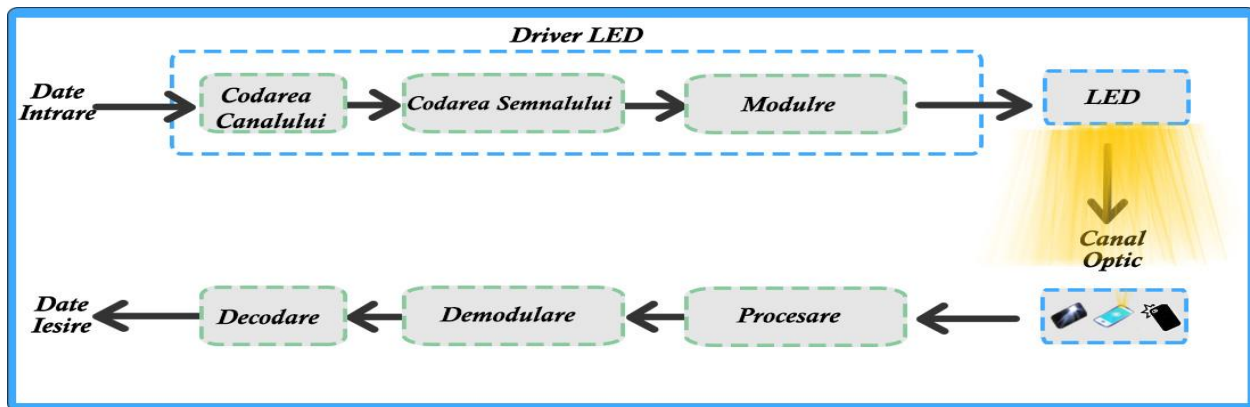


Figura 4.2. - Schema de modulare și demodulare pentru VLC - Comunicații mobile.

Existența soluțiilor de backhaul care oferă posibilitatea de a optimiza anumite limitări, celulele mici și backhauling devine o soluție care oferă o capacitate de outsourcing mai mare pentru 5G. Utilitatea lor în implementări, flexibilitate, managementul interferențelor, dar și managementul întârzierilor sau supraîncărcării. Un avantaj pentru OWC, este că acceptă rate de transfer de date mult mai mari și distanțe de comunicare care variază de la zone limitate, la zone extrem de mari, în funcție de spectrul disponibil [35]. Deși utilizarea ei reduce anumite aspecte, uneori modificările luminii unui LED sunt văzute de ochiul uman atunci când luminescența depășește pragul de 200 Hz, un prag considerat sigur [36]. Putem spune că răspunsurile în cazul impulsurilor fotoreceptoare conduc către măsurători indirecte ale LED-urilor de mare intensitate, pentru a genera blițuri cu o durată cuprinsă între 0,05 - 1,0 ms. Acestea sunt mediate la 100 - 500 de impulsuri, cu o rată de repetare de 1 - 2,5 Hz. Când lungimile de undă de vârf ale LED-urilor au fost situate în imediata apropiere a pragului UV (360 nm, la jumătate din lățimea de 15 nm) sau albastru (470 nm, reprezentând 22 nm) în spectru. Putem spune că avem o sensibilitate spectrală maximă a fotoreceptorilor pe zonele albastre și verzi care tind spre 420 nm și 550 nm, la 480 nm sensibilitate relativă cu aproximativ 0,3 și 0,5 nm [37],[38]. Această sensibilitate spectrală la vârful receptorilor ajunge uneori la 348 nm, cu o sensibilitate relativă de 360 nm. Trebuie luat în considerare aspectul atenuării sursei, precum și încercarea de a găsi o modalitate de calibrare și captare eficientă a luminii cuantice pentru procesarea de calitate a informațiilor atunci când vorbim despre fotoreceptori individuali, cum ar fi smartphone-urile. În timpul studiilor s-a observat că zgomotul din zona fotoreceptorilor, indică evenimente cuantice individuale și provenite din mediul înconjurător. Adaptarea în cazul luminii ambientale scăzute facilitează transmisia, observând o creștere a zgomotului în întuneric la fiecare câteva secunde, determinând blițuri la factor de 10 ms (intensitate medie) care atenuază limitarea de amplitudine a răspunsului de vârf la <math><10\text{ mV}</math>. Astfel, putem deduce că utilizarea atât a zonei frontale a telefoanelor mobile, cât și a camerei este absolut necesară pentru a realiza o comunicare conformă și stabilă [39],[40].

Camerele actuale conțin senzori de tip CMOS, acestea includ mecanisme de rulare automată. Putem spune că tehnica dedicată citirii secvențiale devine principala caracteristică a camerelor care beneficiază de obturator, mai exact atunci când cadrele nu sunt procesate în același timp. Ipostazele sunt analizate printr-o scanare rapidă, atât pe orizontală, cât și pe verticală, oricât de diferită de o cameră cu obturator global, caz în care scena este analizată complet în același timp. Putem spune că o cameră care conține un obturator global facilitează ca senzorul să fie expus o singură dată la lumină, putând suporta starea de închidere/coborâre a unui LED pe un singur cadru. Dacă o cameră are un obturator, pixelii de pe fiecare rând sunt expuși simultan la un moment de timp  $T$ .

Prin urmare, o imagine capturată cu ajutorul obturatorului permite expuneri multiple. Calitatea de a obține mai multe stări pentru LED-uri într-un singur cadru, prin prisma fiecărui rând expus treptat la lumină. Dacă un LED se deschide și se închide în funcție de rata de biți modulată în cod binar, imaginea conține o multitudine de degradee alb-negru. În aceste circumstanțe, lățimile de bandă depind de anumite frecvențe modulate, cu toate acestea, numărul de benzi depinde și de distanța dintre cameră și LED. Pentru a putea ajusta și îmbunătăți capacitatea de a comunica pe distanțe lungi se folosește fotoreceptorul. Figura 4.3 prezintă un model și o tehnică de imagistică a unei încăperi. În exemplul dat, starea LED-ului este definită de blocuri cu straturi grafice alb-negru, iar imaginea captată de pe LED este afișată numai după ce a trecut printr-un proces de rotație la  $280^\circ$ . Remarcăm faptul că regiunea este marcată în figură pentru a înțelege timpul de expunere pentru fiecare rând, notat cu  $n$  și pentru rândurile superioare notate cu  $n+1$ . Într-un alt caz particular, se obține o regiune de tranziție la momentul ON/OFF pentru LED, acest aspect repetă starea de schimbare în timpul expunerii.

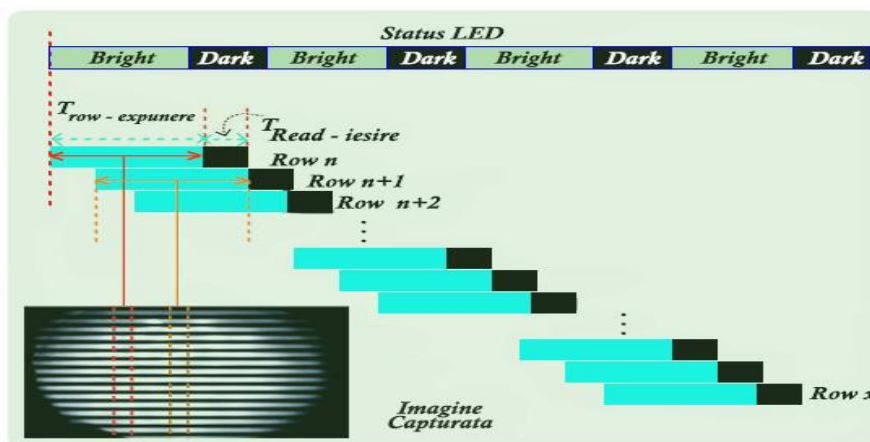


Figura 4.3. - Diagrama prin care se prezintă tehnica extragerii informațiilor dintr-un LED utilizând comunicații optice bazate pe camera smartphone-ului.

Când vine vorba de aplicații OCC în timp real, dispozitivele smartphone ar trebui să efectueze o modalitate rapidă de procesare a informațiilor pe baza imaginilor primite. Nu trebuie ignorat aspectul în care frame rate-ul trebuie stabilit inițial și să nu includă variații, procesarea fiind esențială și se face pe toată durata cadrului. Presupunem că  $R_{tf}$  este rata de cadre a camerei, atunci este necesar ca  $1/R_{tf}$  să fie limita de timp pentru fiecare cadru realizat în timp real. Literatura de specialitate afirmă că pentru un sistem OCC care se bazează pe un dispozitiv smartphone cu sistem de operare Android, trebuie proiectată și dezvoltată o aplicație de procesare a imaginilor pentru a extrage datele, vezi Figura 4.4. Fie că folosim OpenCV sau altă bibliotecă dedicată captării imaginilor și extragerea datelor, trebuie să schițăm o arhitectură. Prin urmare, o bibliotecă dedicată

cu funcții programate care se ocupă de modul de extracție computerizată în timp real, poate fi conturată folosind AndroidStudio.

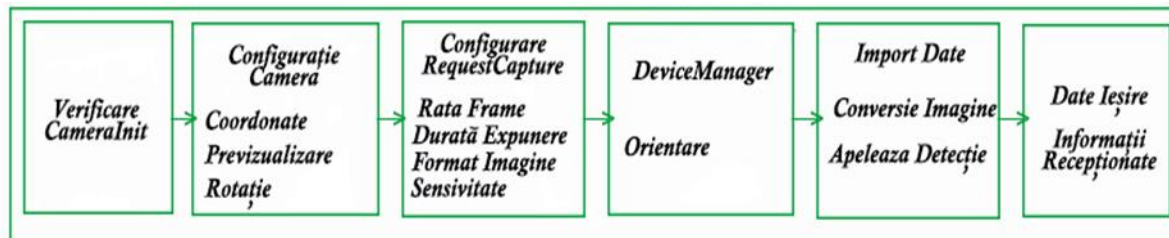


Figura 4.4. - Arhitectura software de procesare OCC dedicată prin biblioteca OpenCV.

În cazul comunicării VLC la exteriorul implementării acesteia într-un sistem de semaforizare nu este permisă sau montarea de display-uri luminoase pe arterele principale ale unor semne de circulație este contrară legislației în vigoare. Prin urmare, distanțele pentru scenariile interioare au fost păstrate și conform prezentărilor, distanța euclidiană a fost comparată cu punctele cheie de potrivire pentru un cadru proiectiv în calculul transformărilor. Prin urmare, următoarea etapă este cea în care deformarea cadrului și analiza datelor sunt efectuate prin calcule de cuantizare și binarizare a informațiilor. Conform literaturii specificate, în final avem setul de date transmis inițial ca un cadru de comparație Tx prin calcularea corelației dintre ele, scenariul interior fiind exemplificat în Figura 4.5.



Figura 4.5. Proces de detectare într-un scenariu interior cu surse de lumină perturbatoare la o distanță de 15m.

Trebuie să ținem cont de faptul că sunt necesare procese binarizate și o interfață de simbol pentru a stabili pixelii analizați în comparație cu nivelul de luminozitate lux-ambient și distanța dintre Rx și Tx, capturarea și înregistrarea celulelor pot fi obstructionate. Binarizarea tuturor pixelilor din imagine este o soluție necesară pentru a putea obține o granularitate și o netezire a pixelilor pentru a reduce efectul de oglindire al semnalului primit. Conținutul informațional este reprezentat de imagini în gradient alb-negru, într-un proces inițial standard sunt captate sub formă de RGB, fiecare pixel din imagine având o reprezentare pe trei tipuri de intensitate a culorii componente. Conversia este în tonuri de gri și returnează pixel cu pixel până când gradul de

iluminare este poziționat pe un interval între 0 și 255. Fiind această condiționare, procesul inițial este constrâns de restabilirea stărilor și iterarea stărilor pentru a reduce erorile. În condițiile în care distanța este destul de mare, iradierea semnalului VLC scade substanțial, fiind influențată de lumina de fundal având un SNR scăzut. Astfel, aceste cazuri conduc la iradierea semnalului care poate ajunge la  $0,076 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ , referința fiind luată în considerare pe baza iradierii optice măsurate la distanțe de 1m. Într-o etapă ulterioară, comunicarea va fi îmbunătățită prin introducerea unui filtru extern pentru reducerea câmpului vizual. Pentru distanțe de până la 15 m conform literaturii, FOV este compatibil cu aplicațiile mobile, deoarece unghiul dintre semafor și receptor este mai mic de  $3,5^\circ$ .



**Figura 4.6.** - Determinarea punctelor cheie prin cadre de detecție (a) zona de recepție (b) imagine în format original.

Putem spune că binarizarea ca proces standard depinde de pragul și de performanța formată între legătura directă cu puterea luminii ambientale. Prin urmare, pentru a putea expune datele cât mai veridice, metoda Otsu a fost folosită pentru comparații de prag și trecerea nivelului de lumină ambientală. Dacă presupunem că numărul total de pixeli recunoscuți se găsește în maparea principală, atunci Rx, ar trebui să scaneze întregul cadru într-o ordine stabilită, de la dreapta la stânga și de sus în jos pentru a reconsolida procesul de reconstrucție. Putem spune că în celulele inițiale, avem un procent de aproximativ 60% din numărul total de pixeli pe gradientul negru, pixelii rămași urmând să fie convertiți ulterior. Ultimul pas este transformarea întregii imagini în pixeli negri și ilustrarea finală a mesajelor prin procesul de cuantizare, vezi Figura 4.7.



**Figura 4.7.** - Înainte și după procesul de constrângere a unui set de date (cuantificare).

Putem spune că în urma măsurătorilor efectuate, varietatea transmisiei și distanța propusă nu prezintă perturbări și în condițiile în care se menține o poziție fixă pentru dispozitivul mobil, deplasarea pe linia de comunicație nu poate fi perturbată. O imagine de fundal capturată care nu conține obiecte relevante este contrastată prin focalizarea directă pe calea de comunicare. Atât Rx, cât și Tx au fost expuse treptat la diferite tipuri de condiții de iluminare, folosind treptat mai multă

iluminare panoramică cu lămpi fluorescente, mai precis zgomot de fond ambiental. Camerele telefoanelor au fost folosite pentru menținerea imaginii Tx, menționăm că performanța acestor camere utilizate are stabilizator optic (OIS) și reglare automată cu un senzor de imagine de 64 de megapixeli. Etapa de filtrare reține doar acele patrule care conțin caracteristicile necesare, calibrarea poziției, determină instanța respectivă extrem de precis. Au fost obținute rate de biți de aproximativ 11 kbps cu o expunere de 2 la un interval de 0.7 ms, care poate fi ajustată prin metoda utilizată sau tipul de codificare. Evaluarea experimentală poate fi definită ca atare, performanța este expusă de rata de succes a transferului și procesării imaginii (BER), în acest caz, s-a obținut o rată de eroare de aproximativ  $10^{-3}$  prin corelarea datelor între transmisie și recepție.

#### 4.2 Utilizarea senzorilor de mediu din telefonia mobilă în aplicații de comunicații

Experimentele efectuate într-un mediu controlat expun aspecte ale senzorului de lumină ambientală care detectează lumina diferit în funcție de fundalul zonei în care se află dispozitivul. În cele ce urmează, se vor evidenția aspectele obținute în măsurători, în care se subliniază că în funcție de intensitate, zgomotul ambiental poate crește rata de eroare a biților (BER). Prin urmare, în acest caz, a fost optimizat și creat un algoritm care va configura senzorul adaptiv, să ajusteze valorile de prag minime și maxime care nu pot interfera cu transmiterea datelor. Senzorul inițial citește luminile ambientale și apoi creează o matrice pentru a observa anumite caracteristici. Ulterior, aplicația va fi canalizată pe valorile minime și maxime observate într-o matrice. După cum putem observa în Figura 4.8, aplicația este structurată extrem de minimalist, cu un aspect relativ, cu o bară de progres care colectează informații de la senzori și le clasifică în funcție de constrângerile create în jurnalul de activitate. În ceea ce privește identificarea culorilor semaforului s-a optat pentru adăugarea unui semafor contrastant care își schimbă culoarea în funcție de detecția identificată, cu mențiunea că pe lângă acest aspect aplicația lasă și mesaje de tip alertă.



Figura 4.8. - Expunerea aplicației într-un mediu dinamic, efectuând măsurători pe o distanță de maxim 15 m.

## Capitolul 5

### Dezvoltarea de dispozitive cooperative și aplicații software pentru asistarea conducătorului auto și creșterea siguranței rutiere

În vederea abordării și soluționării provocărilor prezentate în capitolele anterioare au fost dezvoltate diverse module pentru emisia și recepția datelor, procese care necesită ulterior și o interfațare între mediul de transmitere și utilizator. Proiectarea și realizarea de interfețe UI/UX, dar și module NAVI 3D Touchscreen, dedicate amplasamentului de pe consola centrală a autoturismelor.

Pentru a putea recepționa toate informațiile posibile, este necesară înglobarea unor module de tipul CAN prin care să putem avea acces la starea tehnică a autovehiculelor, dar putem facilita și interconectarea între mai multe autovehicule printr-o rețea Cloud în care vor comunica diverse informații. Aceste date recepționate și procesate în Cloud le transmitem ulterior prin intermediul modulelor dezvoltate bazate pe protocoalele de comunicații RF-VLC în vederea extinderii ariei de acoperire, totul funcționând ca o platformă hibridă. În cadrul platformei, considerăm important și factorul de detecție atât uman, cât și cel virtual. Prelucrarea de imagini și detectarea obstacolelor este un alt punct abordabil și realizabil într-o formă prin care conducătorul auto să fie înștiințat cu privire la eventualele pericole de pe carosabil. De asemenea, în cadrul platformei hibride VLC – RF putem avea mai multe tipuri de comunicație care să funcționeze, fie simultan, fie individual, se pot observa caracteristicile pe care se bazează fiecare tehnologie, ulterior îmbunătățind fiecare caracteristică. Putem controla elemente din interiorul autoturismului, putem realiza un stil de condus eco. Figura 5.1 ilustrează o parte din caracteristicile oferite de către sistemul propus, care face parte din platforma hibridă dedicată realizării prototipului destinat autovehiculelor.

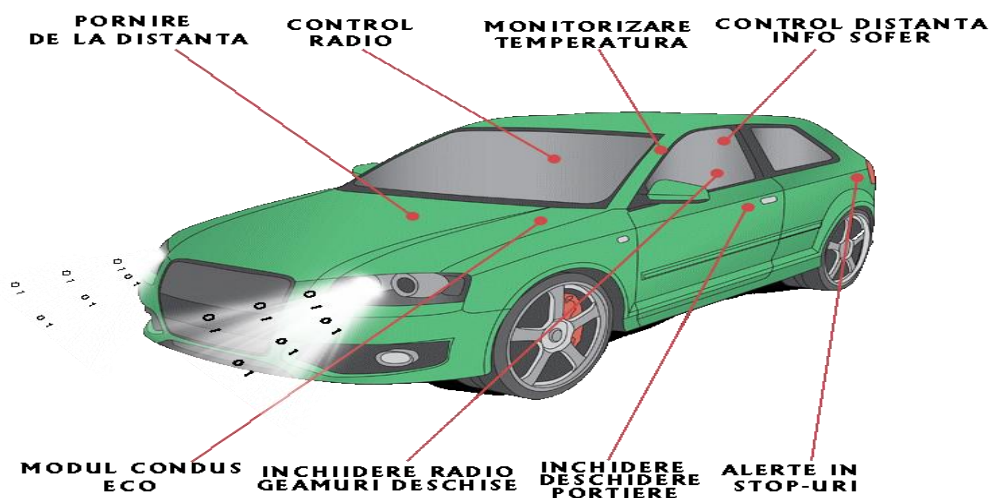


Figura 5.1. - Funcții și caracteristici modelate cu ajutorul dispozitivului hardware OBD și a platformei.

O diagramă prin care se evidențiază metoda de comunicație între infrastructură, echipamente și autovehicule este prezentată în Figura 5.3. Sistemele cooperative de asistare a conducerii ocupă o zonă importantă în sectorul auto cu scopul creșterii eficienței siguranței în trafic, iar prototipul prezentat anterior poate fi dezvoltat în această direcție înglobând o mare parte din caracteristicile necesare realizării de aplicații cooperative de asistare a conducerii, dar și pentru vehicule

autonome. În prezent, aceste sisteme se bazează pe standardul 802.11p, dar și pe comunicații care au la bază comunicații mobile LTE. Evoluția și investigațiile recente au scos în evidență soluții hibride care încorporează ambele modalități de comunicație. Acest lucru oferă o perspectivă mult mai amplă pentru viitor, existând posibilitatea de a dezvolta un sistem complex, autonom și incorporabil pe autoturismele noi, fără intervenții asupra părții electrice, hardware sau software, deja existente pe un autovehicul. Pe de altă parte, complementaritatea RF-VLC oferă o perspectivă mai amplă în vederea realizării unui prototip mixt în care utilizarea mai multor protocoale de comunicație este necesară, astfel, fiecare tip de comunicație gestionează o anumită zonă, acolo unde poate să ofere fiabilitate, mobilitate și siguranță întregului proces.

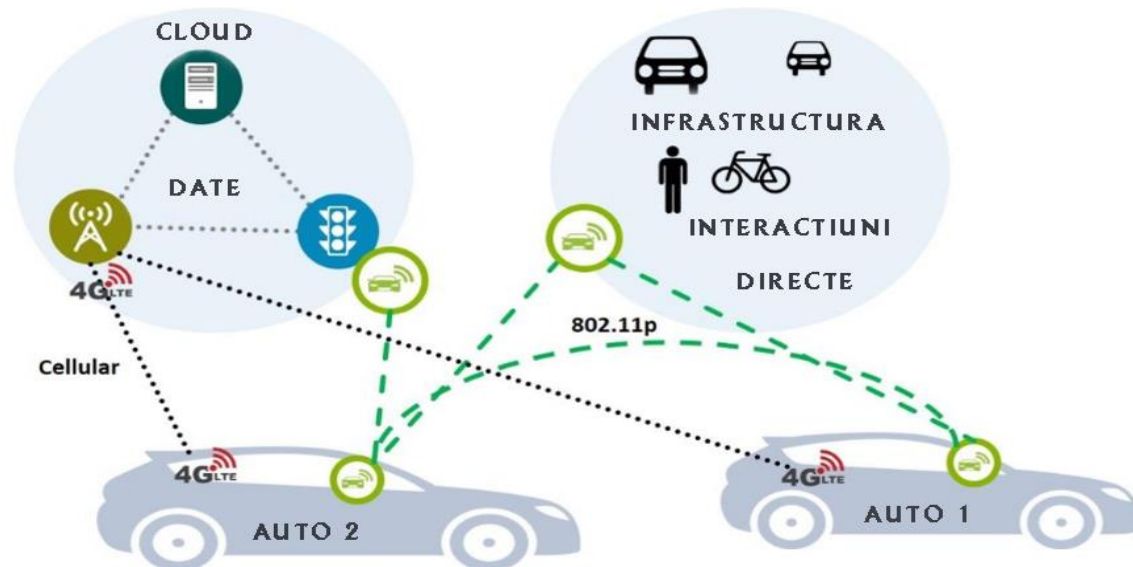


Figura 5.2. - Scenariu V2V/V2I sistem cooperativ de colectare și transmitere a datelor.

Arhitectura prezentată oferă un design simplificat a două componente, una pentru comunicațiile RF, iar cealaltă pentru comunicațiile VLC. Așteptările în acest caz, sunt de a obține o comunicație stabilă realizată prin complementaritatea celor două tipuri de comunicație. Această îmbinare de tehnologii poate genera un prototip care oferă o soluție cu performanțe superioare ambelor tehnologii, care poate gestiona o cantitate mare de informație și o poate transmite în siguranță către receptor, arhitectura fiind expusă în Figura 5.3 [41].



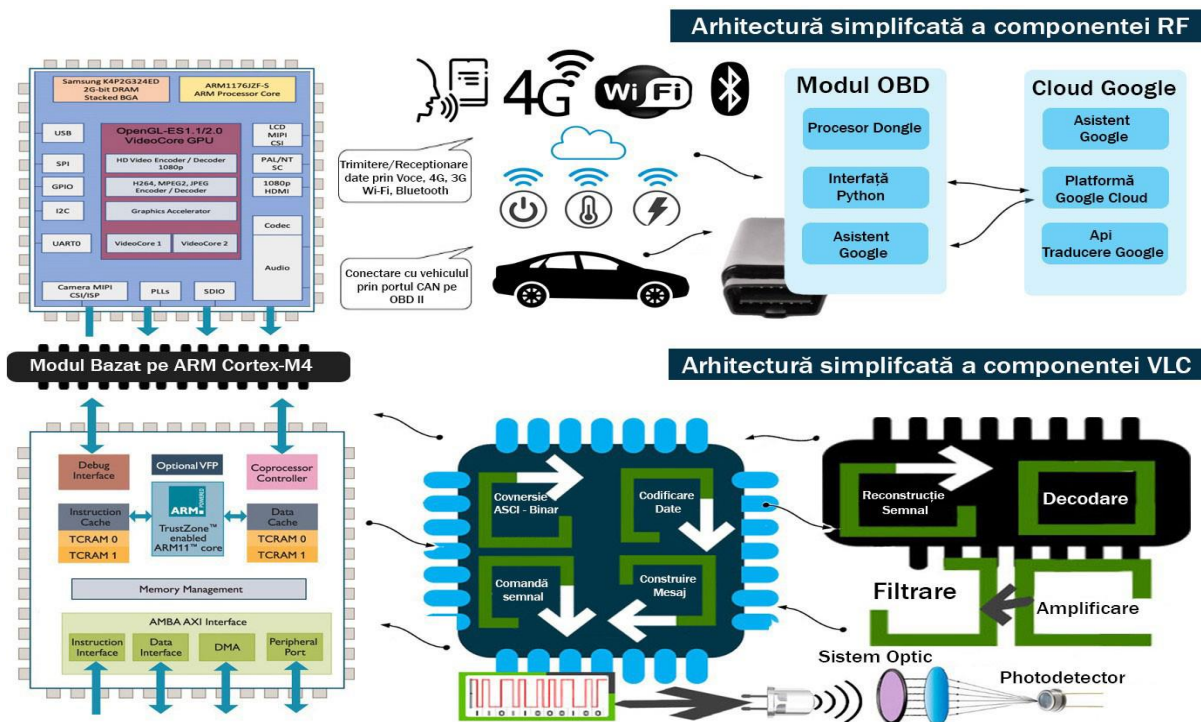


Figura 5.3. - Arhitectura standard platformă hibridă mixtă RF-VLC.

În cadrul Figurii 5.4 se ilustrează dispozitivul conceput sub forma unei navigații 3D care beneficiază de un touchscreen de 7' inch, iar în cadrul acesteia sunt incorporate un OBD Dongle dedicat conexiunilor CAN și interfațarea cu autovehiculele pentru a realiza conexuni externe și a facilita accesul la internet, un Raspberry Pi 0 W, inclusiv un port SIM. În vederea menținerii unui flux de date constant pentru procesarea informațiilor/datelor se apelează la un microcontroler Teensy 4.1 acesta fiind ideal în condițiile implementării unui receptor/emisător VLC. Pentru a putea expune toată informația într-un mod cât mai fluid, se integrează un Raspberry Pi 4, cu o putere de procesare de 1.5 GHz și o memorie RAM de 8 GB, în vederea facilitării unor timpi extrem de rapizi pentru procesarea informațiilor.



Figura 5.4. - Prezentarea navigației 3D instalată în habitacul autoturismului pe consola centrală și modulele componente.

## 5.2 Implementarea unei platforme software și hardware cu aplicații în domeniul vehiculelor conectate

Comunicația pe distanțe scurte utilizând frecvența de 5,9 GHz (DSRC) are la bază standardul IEEE 802.11p și a devenit o soluție care promite extrem de multe și se implementează în aplicații de tip vehicul-la-vehicul (V2V), vehicul-la-drum (V2R), vehicul-la-infrastructură (V2I), dar și în dezvoltarea autovehiculelor autonome. DSRC folosește multiplexarea de tip ortogonal prin diviziune de frecvență (OFDM), uneori bazându-se pe standardul rețelelor locale fără fir (WLAN) cunoscut sub denumirea de IEEE 802.11a. Așadar, în contextul prevenirii coliziunilor de date, DSRC se bazează pe accesul multiplu purtător în evitarea coliziunii (CSMA/CA), mai ales fiind un tip de comunicație fără fir și pe rază scurtă spre medie, acesta se pliază extrem de bine pe conceptele sistemelor de siguranță rutieră. În abordarea finală se analizează sincronizarea și alocarea sloturilor dedicate distribuției în rețelele multihop, având condiții de mobilitate crescută și se optimizează corect comunicația IEEE 802.11 MAC în abordarea sistemelor dedicate sectorului rutier. Deși există limitări în materie de performanță pentru stabilirea protocolului MAC, în cazul IEEE 802.11 se poate vorbi despre o auto-concurență între nodurile adiacente și fluxul de informație care ulterior conduce către o limitare care direcționează informația spre vectorul de distanță ad-hoc (AODV) fiind cel mai util în protecția mesajelor din cadrul aplicațiilor DSRC [42][43].

Fiecare atingere este estompată folosind Pure Doppler, dar a doua antenă are un Doppler de 11 Hz, care împiedică sincronizarea fazelor canalelor. Semnalul Rx se referă la puterea fluxului 0, nivelul maxim de intrare și funcționare al receptorului este - 20 dBm (PER poate depăși 10% pentru nivelurile de intrare peste valoare) [44],[45]. Astfel, sensibilitatea de recepție se măsoară printr-un semnal de intrare direct pe porturile antenei, fiecare atingere sau joncțiune este estompată folosind Pure Doppler, în plus cea de a doua antenă utilizează un Doppler de 11 Hz care împiedică sincronizarea prematură a canalelor [46]. Semnalul Rx face referire la puterea semnalului în concordanță cu timpul 0. Putem spune că nivelul maxim de intrare pentru receptor este de - 20 dBm (PER poate avea o fluctuație care să depășească 10 - 15% în condiții de mobilitate pentru toate nivelurile de intrare).

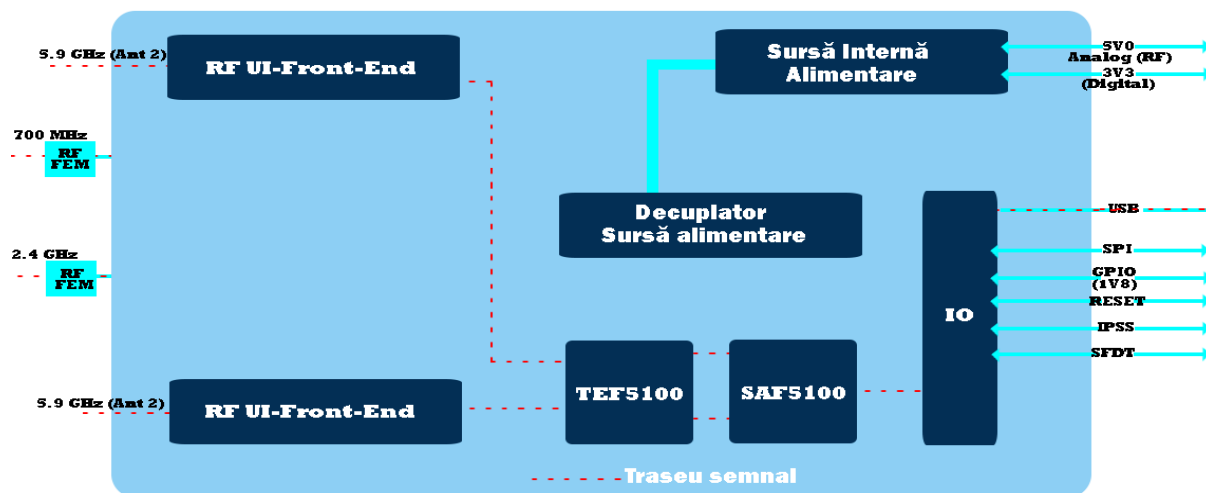


Figura 5.5. - Arhitectura modul Mk5-OBU.

În vederea îmbunătățirii performanțelor radio, se poate realiza transmisia și recepția diversității prin două antene, mai exact, stratul MAC care rulează pe procesorul ARM al SAF5100,

permite o gamă variată de moduri de operare. Putem spune că puterea minimă de transmisie este de -10 dBm, iar puterea maximă de transmisie este de +22 dBm pe portul antenei. Această putere de transmisie fiind controlabilă pas cu pas de câte 0.5 dB. Detecția și precizia poziției, fac ca procesul de sincronizare să fie crucial în cazul unui sistem de tip V2X. Prin urmare, MK5 utilizează un receptor de tip GNSS care înglobează și suport GPS și Glonass, dar și Galileo pentru a putea suplini în condițiile în care semnalul radio GNSS este scăzut, precum zonele urbane cu relief mix și construcții extrem de înalte, excluzând fenomenul de calcul estompat. Așadar, receptorul GNSS al MK5 oferă actualizări extrem de precise privind poziția și relativitatea, viteze de până la 10 corecții/sec, cu o precizie orizontală de aproximativ 2 m și o sincronizare de precizie echivalentă cu 25 ns. Conform precizărilor din capitolele anterioare porturile de care beneficiază sistemul au utilizări mixte, și în special portul serial are scopul de a conecta receptorul GNSS extern. În cadrul MKx rulează un server de tip GPS (Daemon) pe fundal, care menține tot timpul conexiunea, indiferent dacă există intermitențe în procesul de transmitere, acesta reconectează sistemul fără ca transmiterea de date să fie afectată. Putem spune că această facilitate oferă posibilitatea ca aplicațiile să acceseze datele GPS direct de la receptor, dar și din linia de comandă pentru faza de testare în vederea optimizării procesului de funcționare al receptorului GPS.

Implementarea arhitecturală a sistemului are la bază un controler de interfață de rețea, module CAN și platforma MK5, iar pentru partea de asimilare date și menținere conexiune o antenă GNSS - GPS. Transmisia informației pe baza 802.11p este controlată de aplicația ITS, având conectivitate exterioară Ethernet sau portul RS232, acesta fiind ocupat în funcție de scenariul prezentat, fiind util și pentru momentele în care se dorește depanarea unor secvențe neclare.

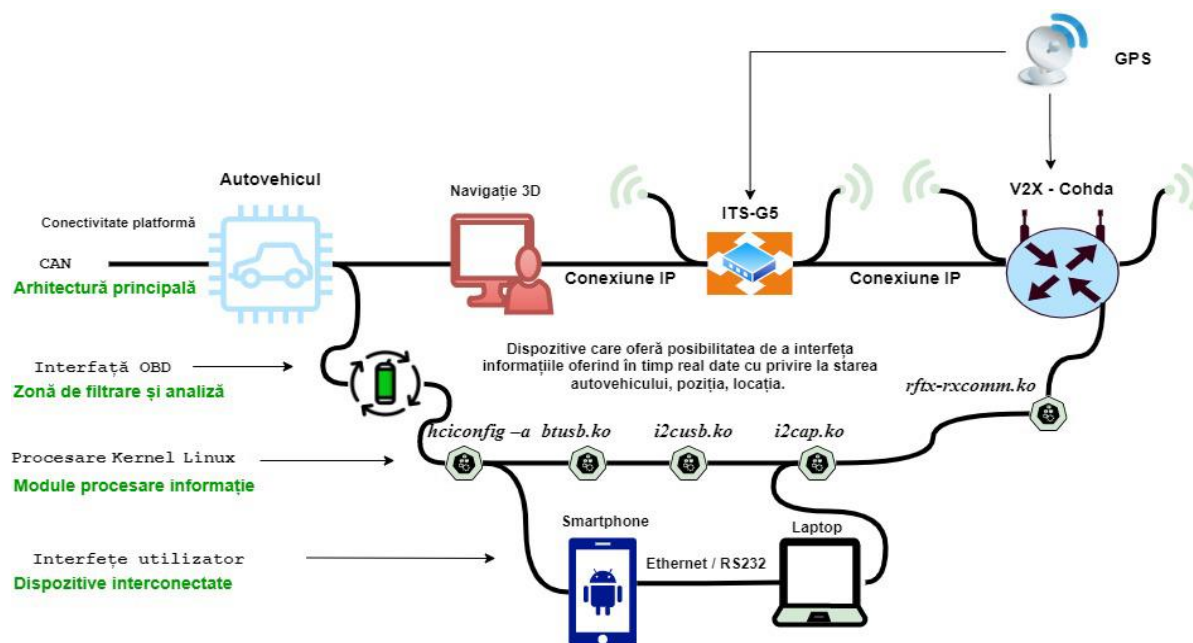


Figura 5.6. - Diagrama comunicație DSRC și flux de date propus.

După cum putem observa din Figura 5.6, se prezintă întreg conceptul și configurarea sistemului pe care se bazează scenariile de trafic. Configurarea modulului și sincronizarea acestuia cu întreg sistemul se poate realiza cu ajutorul interfeței Host și prin activarea pinilor accesibili în `/usr/etc/cohda/rc.inc(RC_LOCAL_PIN_DEF)` prin `fw_setenv_rc_local_pin"ID"`,

implicit 0000. Terminalul încarcă modulele Kernel Linux necesare și activează, *btusb.ko*, *i2cusb.ko*, *i2cap.ko*, dar și *rftx-rxcomm.ko*.

```
Connect to SDP server on DD:DD:DD:00:00:00
```

Ulterior dispozitivul se inițializează și sunt activate interfețele de control gazdă pentru gestionarea echipamentului și recunoașterea utilizatorului. În vederea obținerii stadiului de funcționare pe care o are în acel moment dispozitivul, acesta poate primi comenzi precum *hciconfig -a* având un rezultat prin care obținem informații:

```
hci0:
Type: USB BD
Address: 00:05:DS:80:F2:71
ACL MTU: 410:80 SCO MTU: 94:4
UP RUNNING PSCAN ISCAN
RX bytes:918 acl:0 sco:0 events:36 errors:0
TX bytes:578 acl:0 sco:0 commands:40 errors:0
Features: 0xff 0xff 0x8f 0xfe 0x9b 0xf9 0x00 0x80
Packet Type: DM2 DM4 DM5 DH1 DH3 DH5 HV1 HV2 HV5
Link policy: RSWITCH HOLD SNIFF PARK Link mode: SLAVE ACCEPT
Name: 'Cohda_MK5' Class: 0x100100
Service Classes: Device Class: Computer, Uncategorized HCI Ver: 5.0 (0x5)
HCI Rev: 0xc5c LMP Ver: 4.0 (0x3) LMP Subver: 0xc5c
```

Acest process confirmă informațiile cu privire la numele dispozitivului și utilizarea procedurii de autentificare și inițializare a terminalului, dar și scanarea proceselor *hcitool*. Înainte de a configura o conexiune, trebuie să stabilim profilul acesteia și cum ar putea susține modulul MK5 întreg procesul. Profilul standard, simplificat privind portul serial, se definește prin configurarea SPP și înlocuirea RS-232 în baza profilului RFCOMM, acesta realizând un set de protocoale de transport pentru a emula portul serial. Conexiunea tipică de punct-la-punct realizează fluxul de date într-un mod flexibil susținând permanent conexiunea între componentele modulului MK5. Serviciile de identificare au un *ID* unic, universal pe 128 de biți (UUID), caracterizat de exemplu: (SPP: 0x1101). Configurarea utilitarului și programarea interfeței de evaluare a interogărilor SDP pentru dispozitive se poate comanda prin *sdptool* la nivel local sau prin SSH, de pe un alt dispozitiv. Obținem confirmarea conexiunii în prezentul sistem, iar activarea manuală nu mai este necesară în acest caz.

### Validare și testarea arhitecturii dedicate

Așadar, putem spune că testele de interior și-au atins scopul și au generat rezultatele scontate, conturându-se scenariul general în care se mapează întreg perimetrul acoperit de către acest sistem. În Figura 5.7, avem în vedere expunerea întregului traseu, dar și a punctelor de plecare pentru a testa sistemul, totul având loc gradual, plecând de la scenarii statice de parcare și rulare a autovehiculului în zonă pietonală, cu distanțe din aproape în aproape (5 - 10m) între intervalele de măsurare. Ulterior aceste distanțe și viteza cresc considerabil, intervalele de măsurare, (din 50 în 50 de metri și chiar din 100 în 100 de metri). Astfel, există scenarii de testare cu mobilitate pentru ambele OBU-uri, densitate și distanțe între emisie și recepție care depășesc 1.200m în linie dreaptă. Conform primei interogări în care analizăm locația și coordonatele GPS, avem dovada că informația este concludentă prin compararea acesteia cu harta generată direct prin CLOUD-API Google și ArcGIS, încât să existe un model comparativ permanent.

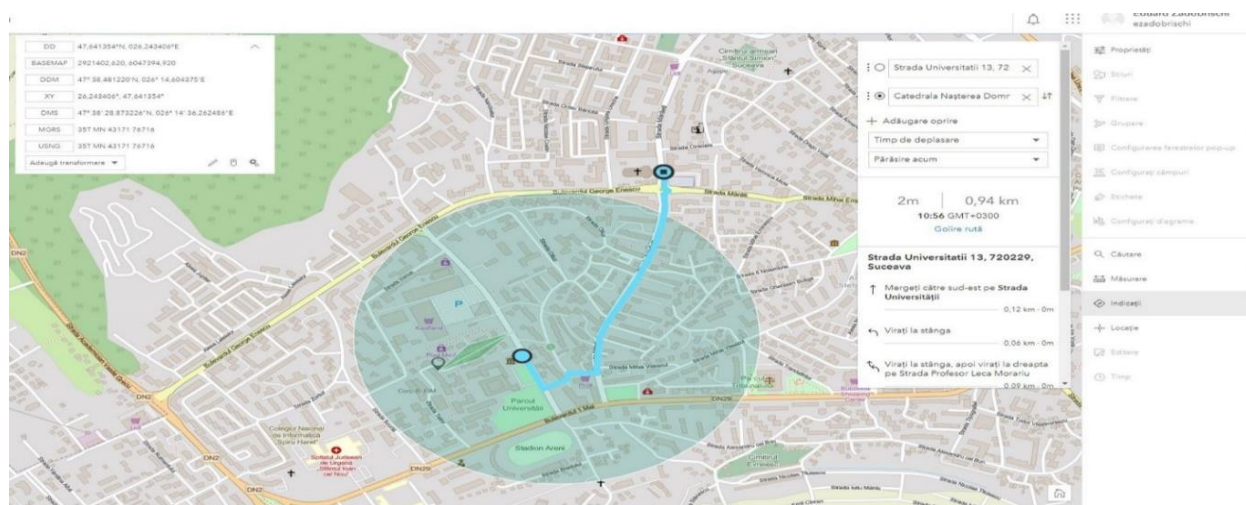


Figura 5.7. Ilustrație privind traseul total și aria de acoperire propusă

În conturarea scenariilor exterioare a fost pregătită o zonă controlabilă din punct de vedere al fluxului de persoane și autovehicule. Acest aspect a conturat un prim scenariu într-un mediu de exterior, aflat în incinta campusului universitar pe o suprafață de aproximativ 200 m -250 m de parcare. Pentru testarea în condiții optime ale sistemului au fost setate puncte de măsurare și verificare pe intervale de timp și distanță, încât gradul de comparație al locației identificate cu cel din transmisie să poată fi localizat. Conform Figura 5.8, putem observa punctul de plecare și distanța pe care se realizează măsurătorile în condiții controlabile fără obstacole sau densitate pietonală și rutieră. Conform standardului condițiile expuse în aceste scenarii sunt ideale și pe întreaga durată a acestora nu ar trebui să se întâmpine probleme care să cauzeze pierderea conexiunii pe o distanță de aproximativ 200 m – 250 m, a se vedea Figura 5.9. Fiecare întrerupere a furnizării pachetelor de date este evidențiată prin avertizare sonoră sau mesaj de tip pop-up pe interfața utilizator, conform Figura 5.10.



Figura 5.8. - Configurație sistem și instalare exterioară (emisie).

Aplicația de gestionare și transmitere a informației bazată pe modulul MK5 rulează următoarele iterații principale în vederea activării interfețelor de comunicație și transmisia și recepția pe baza mesajelor CAM sau DENM. Formarea pachetelor și utilizarea lor ca mijloc comun de comunicație furnizează o stivă de protocol în cadrul aplicației sub forma unui fișier executabil care permite transmiterea și recepționarea, fiind singura modalitate de a gestiona acest proces, deoarece codul sursă al aplicației centrale nu este unul în regim open-source. Utilizând `.ets-shell` sau `.bash`, rulăm întreg procesul și adaptăm funcționalitățile conform căii principale `/home/duser/mk5/stack/ets-shell/`, pentru a executa arhitectura principală (Mk5: ARM11, Mk4 sau ARM Cortex-A9).

În condiții de mobilitate, observăm că pierderea pachetelor de date se stabilizează, și apar procente mai mari în cazul unor pachete mult mai reduse decât în cazul anterior. Se poate observa stabilitatea sistemului și flexibilitatea acestuia în condițiile date, chiar dacă distanțele față de emisie sunt reduse, avem o putere a semnalului emis și recepționat în mare măsură identic cu cel al scenariului anterior. Zgomotul identificat atât pentru antena A cât și pentru B nu pune în pericol stabilitatea comunicației. Distanța față de emițător crește constant fără a sesiza modificări în ceea ce privește pierderea datelor sau factori perturbatori care ar putea defecta comunicația. În continuare procentul datelor pierdute pentru pachetele care depășesc 110 kB se menține în jurul a 4 - 5%, cantitatea de informație fiind și aceasta într-o buclă ascendentă, Figura 5.9 și Figura 5.10.



Figura 5.9. - Scenariu simulat pe o distanță de 20 m față de emițător într-un mediu controlat.

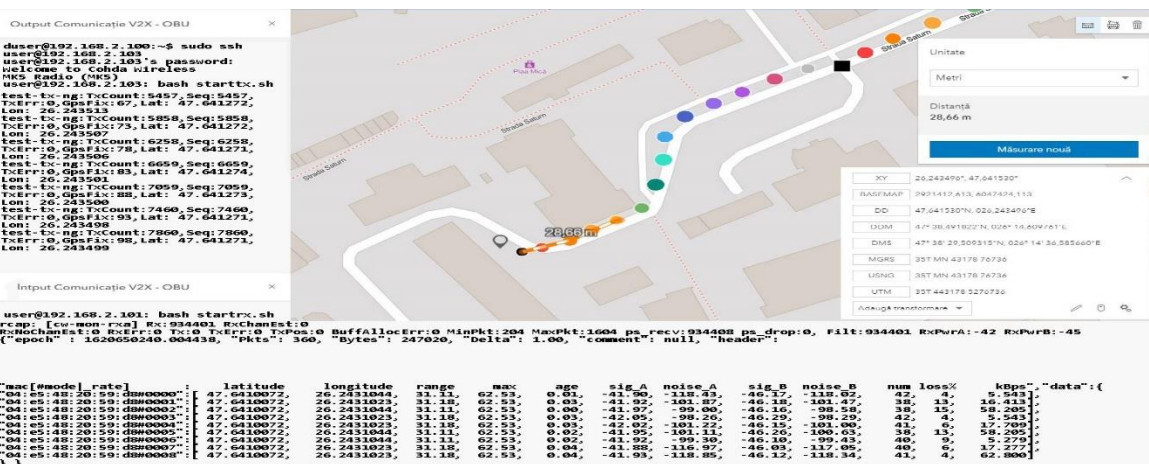


Figura 5.10. - Scenariu simulat pe o distanță de 30 m față de emițător într-un mediu controlat

Raportul semnal zgomot se menține pe aceeași linieritate precum în cazul scenariilor anterioare. Folosind generatorul de trafic și date, acesta emite periodic un semnal la fiecare 100 ms, fiind toate sistematizate, saturarea canalului ne fiind posibilă.

### 5.3 Contribuții privind arhitecturile cooperative RF și VLC în aplicații practice dedicate domeniului automotive

Sistemul realizat (Figura 4.11) se bazează pe elemente hardware dezvoltate în funcție de necesitate, fiind suplinite anumite deficiențe prin module comerciale în materie de achiziție de date și transfer, cât și modalitatea de comunicație între autovehicule. Colectarea informațiilor din interiorul autovehiculelor se realizează prin portul CAN cu ajutorul unui dongle OBD, iar informațiile care țin de habitacul autoturismului se obțin prin analiza senzorială și video. Prezentarea informației se realizează pe o interfață dezvoltată în limbajul Angular și .NET pentru achiziția de date și expunerea lor în timp util în urma procesării de la senzori sau camere. Aplicația software permite conexiuni multiple în rețea și accesul extern chiar și de pe dispozitive mobile pentru o mai bună expunere în fața utilizatorilor care în acel moment nu sunt în trafic. Pentru afișarea informațiilor a fost proiectată o navigație universală, adaptabilă oricărui tip de bord auto având dimensiunile necesare încadrării acestuia pe consola centrală.



Figura 5.11. - Ilustrarea sistemului propus. Posibilitatea înglobării VLC-RF în scenarii atât de interior cât și de exterior.

Dispozitivul proiectat se bazează pe studiul intens în materie de spații disponibile în habitacul autoturismelor și de zona consolei centrale în vederea înglobării acestuia. În urma studiilor au fost proiectate elemente 3D care ulterior au construit o navigație portabilă, având touchscreen cu o dimensiune de aproximativ 17 cm diagonală, cu o înălțime de 10 cm și adâncimea de 7 cm, dimensiuni suficiente pentru înglobarea componentelor electronice în

interiorul acesteia. Conform prezentărilor anterioare pentru o mobilitate și o flexibilitate în viitor au fost proiectate circuite dedicate conexiunilor și interconexiunilor între modulele de achiziție date și câteva shield-uri pentru pachetele de senzori. Pentru interfațare au fost utilizate module Raspberry Pi3 și Pi4 cu un ecran de 7 inch cu touchscreen și un modul de control prin tabletă sau telefon mobil.

Conform arhitecturii simplificate din Figura 5.12, modulul principal se bazează pe ARM Cortex-M4 având ca scop principal de interfață de depanare, controlul proceselor și parsarea instrucțiunilor venite de la celălalt modul bazat pe un procesor Samsung K42G324ED cu o memorie de 2 GB-RAM pentru instanțierea elementelor video și interconectarea acestora cu modulul de decodificare și construire a mesajului. Intrarea imaginilor se realizează din mai multe surse, fie că vorbim despre camerele instalate în habitaclul autoturismului. Pentru comunicarea cu sistemul se utilizează și un modul semi-comercial îmbunătățit având conectivitate OBD II prin portul CAN al autovehiculului, acesta fiind proiectat cu scopul de a comunica prin 3G, 4G, LTE, Wi-Fi sau Bluetooth, platforma fiind realizată pe un microcontroler Raspberry Pi W capabil să ofere timpi suficienți de procesare și o conectivitate sigură și stabilă în condiții ideale pentru obținerea unui proces de calitate.

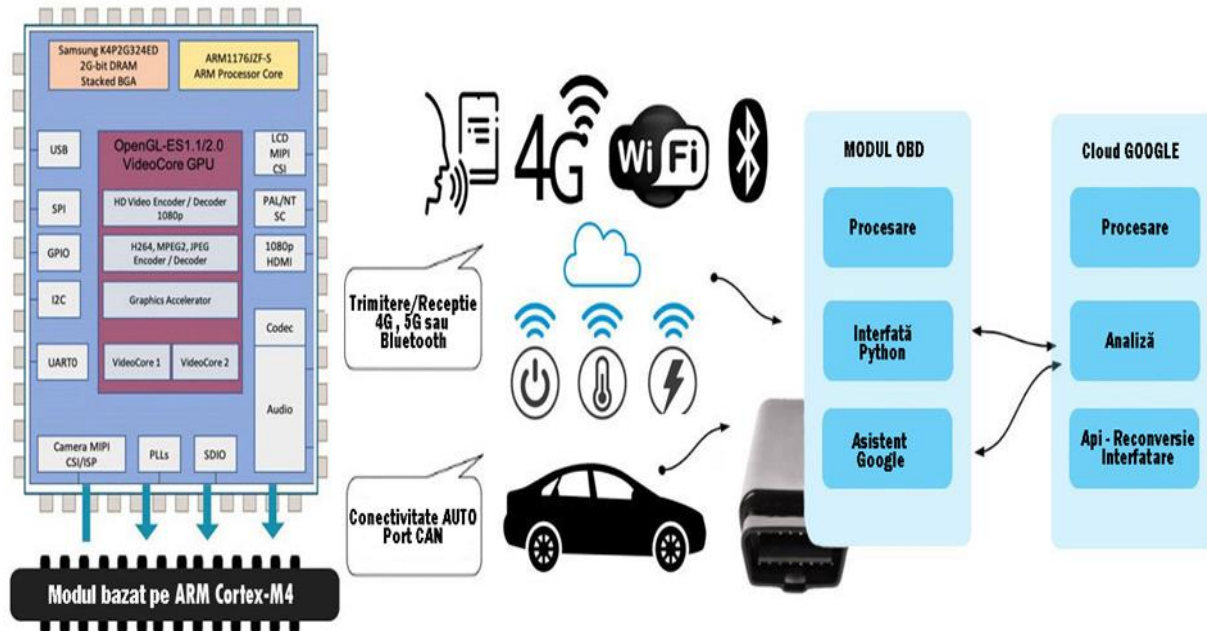


Figura 5.12. - Arhitectura propusă pentru sistemul de comunicații mixt. Bazat pe elemente și module ARM Cortex-M4 și Rpy4, OBD II.

## Contribuții în dezvoltarea algoritmilor de procesare neuronală

Sistemele de analiză din domeniul automotive gravitează în zona implementărilor de gestionare computerizată și conducere asistată fără șofer cu omiterea unor elemente extrem de importante. În ultima decadă studiile efectuate continuă prin creșterea puterii de calcul și implementarea de soluții pe bază de rețele neuronale convoluționale. Putem spune că cele mai utilizate metode sunt seriile R-CNN (Region Based Convolutional Neuronal Networks) și SSD (Single Shot MultiBox Detection), dar și controversatul YOLO, fiind dezvoltat de către o echipă care activează în cadrul platformelor Darknet. YOLO (You Look Once) fiind un algoritm propus de către Josep Redmon și Ross Grishick, acesta are capacitatea de a detecta obiecte prin regresie, și excluderea locației și clasificarea obiectului de la un capăt până la celălalt printr-o singură



parsare. Acest lucru îl face să se poziționeze în topul algoritmilor de viteză, dar cu un grad de acuratețe scăzut în cazul obiectelor de dimensiuni reduse, și o rată de eroare scăzută în cazul scenelor pietonale cu un grad de complexitate crescut.

În vederea conturării unei structuri software pentru a putea expune cât mai precis informațiile, au fost construite și adăugate un set de modele de detecție care conțin elemente cu caracteristici și parametri. Modelele de detecție sunt create strict pe analiza și predictibilitatea pietonilor având mai multe moduri de clasificare și identificare în instanțe diferite, fie că vorbim despre medii interioare sau exterioare, caracteristici umane sau elemente care pot perturba procesul. Arhitectura implementată reprezentată în Figura 5.13, se bazează pe elemente standard fără a complica procesul de analiză clasificând informația în funcție de modul în care procesul avansează în direcția dorită conturând fiecare pieton identificat cu un gradient transparent, acesta având două culori, mai exact: roșu și verde.

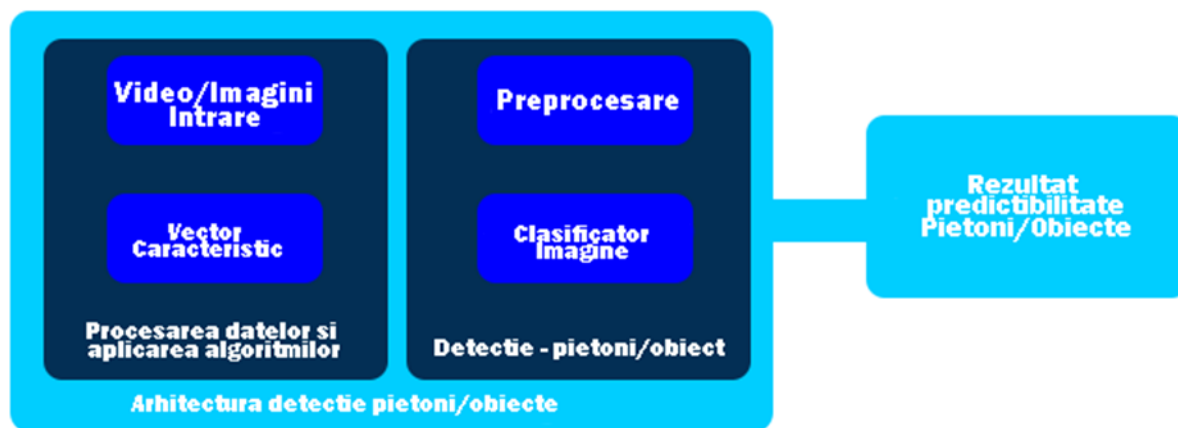


Figura 5.13. - Arhitectura algoritmului de procesare pentru detecție pietoni/obiecte.

Aceste culori reprezintă modalitatea prin care se indentifică pietonul care poate recurge la o mișcare necontrolată și în același timp are o distanță destul de mică între el și autoturism. Pietonii care au o distanță de tampon de aproximativ 15 - 20 de m între aceștia și autovehicul nu sunt identificați ca posibile pericole deoarece distanța permite și oferă posibilitatea de a fi operată o manevră care să nu pună în pericol pe nimeni. Conform arhitecturii propuse se pot efectua modificări viitoare în vederea optimizării aplicației software încât să se identifice un set mai mare de date și să se clasifice într-un mod organizat și alte elemente de importanță majoră pentru trafic și siguranța acestuia. Detecția se realizează prin procesul de delimitare și conturare a imaginilor, filtrându-le și gestionând fiecare caracteristică identificată folosind modelul de regresie logică.





**Figura 5.14.** - Detecția pietonilor și mișcările predictibile. Identificarile conturate roșu reprezintă o intenție periculoasă, iar cele verzi denotă o locație sau o poziție/locație sigură.

După finalizarea acestei etape, se realizează scenarii care au loc pe un traseu cu o densitate crescută de autovehicule, pietoni, semafoare, dar și persoane care nu au atenție distributivă și se aruncă în procesul de traversare al străzilor fără a se asigura. Momentul în care mașina circulă pe drumul principal, un prim factor deranjant este lumina soarelui, care cade pe suprafața parbrizului, a capotei și a căii de rulare. Acest factor perturbă atât deplasarea, cât și procesul de detectare, în tot acest timp, nu au fost identificați pietoni. După întoarcerea mașinii pe un traseu ideal, observăm că, în timp ce viteza crește, analiza și detectarea pietonilor este întârziată, viteza de deplasare a fost între 55 km/h și 62 km/h.

Putem spune că avatajul major al algoritmului YOLOv3 este acela că utilizează clasificatori de tip independent pentru analiza claselor, iar pierderile obținute de tip binar având entropie încrucișată, acest factor identifică clasa mult mai obiectiv [47][48]. Atunci când sunt folosite astfel de clasificatoare logice și independente, obiectul creat într-un model propriu se poate detecta dintr-o gamă largă de alte obiecte. Așadar, studiile efectuate au condus către utilizarea acestui algoritm și ajustările aduse au făcut posibilă identificarea a peste 80 de categorii de obiecte cu menținerea de a ajusta exponențial puterea de calcul.

### Contribuții asupra arhitecturii și a algoritmului de analiză rutieră

Conform literaturii și elementelor prezentate în capitolele anterioare viitorul sistemelor de siguranță rutieră prinde contur și se bazează extrem de mult pe analiza impredictibilităților din trafic și din afara lui, mai exact pietoni, infrastructură, bicicliști, obiecte care pot distra atenția și pot conduce către producerea unui eveniment negativ. Predictibilitatea acestor elemente din trafic este din ce în ce mai dificilă din cauza fluxului de autoturisme și caracterul uman total impredictibil.

Putem spune că procesul de detectare al unei clase acționează independent ca un declanșator, acesta focusându-se pe determinarea transmisiei și la rândul său este menținut pe întreg procesul

de detecție, a se vedea Figura 5.15. Așadar, odată obținută, forma unei clase, aceasta este detectată conform secvenței de cod prezentate, o casetă are ca scop evidențierea fiecărui element detectat, și mesajul specific este gata pentru a raspunde clasei detectate, fiind ulterior transmis către o listă de priorizare.

Interfata procesare:  
0.67 s

Obiecte:  
car: 78.22%  
car: 66%  
truck: 53.12%  
traffic light: 54%  
person: 66.12%  
person: 59.43%

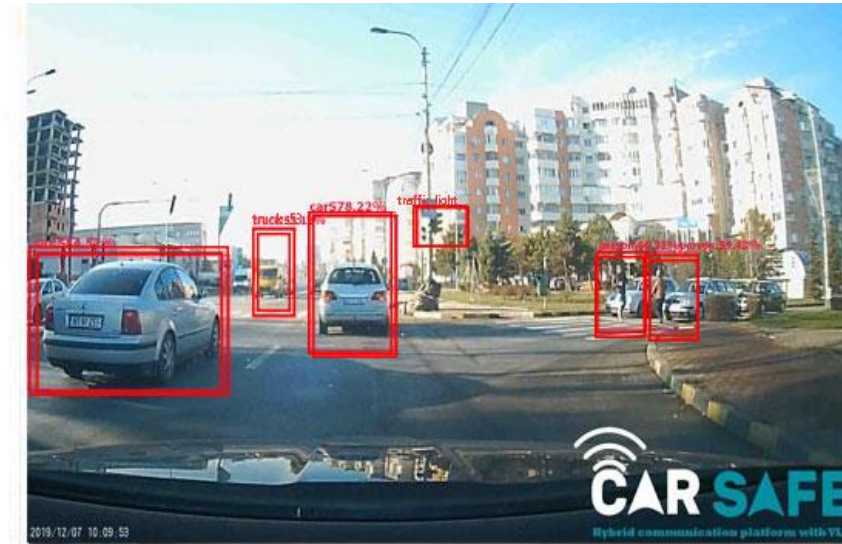


Figura 5.15. - Rezultate privind obiectele detectate din mediul extern, timp interferență, grad de detecție și acuratețe.

## Capitolul 6

### Concluzii generale. Contribuții personale. Valorificarea rezultatelor

#### 6.1 Concluzii generale

Conform provocărilor inițiale enunțate în cadrul primelor capitole, au fost respectate și expuse elemente care contribuie la dezvoltarea domeniului și oferă perspective extrem de viabile pentru combaterea problemei principale, cea a deceselor cauzate de evenimentele rutiere. Propunerile inițiale s-au conturat în jurul comunicațiilor și standardelor RF-VLC cu aplicabilitate în domeniul auto în vederea gestionării optime a evenimentelor negative și în special evidențierea caracteristicilor complementare între aceste două tipuri de comunicație. Pe întreaga durată a studiilor au fost expuse, de la analize sau studii din domeniu, la cercetări elocvente, ajungând până la scenarii simulative care au avut ca scop probarea anumitor aspecte din trafic în vederea optimizării și reducerii numărului de accidente.

Așadar, comunicațiile intervehiculare pot să constituie un pas extrem de important în abordarea unor soluții prin care să se diminueze accidentele rutiere și să se comunice informații relevante, într-un timp relativ scurt. Putem spune că informațiile critice care se transmit în intervale de câteva milisecunde, pot să ofere o acoperire de peste 400 - 500m în jurul autovehiculelor. Acest aspect fiind unul care confirmă că există timp suficient pentru a fi luate decizii și acțiuni în procesul de evitare al pericolelor la care se expune un conducător auto, dar și ceilalți participanți la trafic. Putem spune că în ceea ce privește optimizarea traficului și evitarea congestiilor, deplasarea în sistem de tip pluton nu se poate realiza fără abordarea unui sistem de comunicații eficient între autovehiculele care fac parte din acel pluton. Așadar, dezvoltarea standardului 802.11p la nivel de sisteme înglobate în autovehicule, în special autovehicule autonome, confirmă utilitatea și beneficiile pe care le aduce un astfel de standard în noile concepte.

Pe întreaga durată a studiilor s-a observat progresul înregistrat de rețelele intervehiculare și dispozitivele care s-au transformat de la stadiul de concept către primele produse implementate la scară largă. Implementările de la nivelul țărilor precum: SUA, Japonia, au condus către noi obiective și investigarea performanțelor din punct de vedere a nivelului aplicație și modul prin care se poate îmbunătăți etapizat tehnicile de procesare și transmitere a mesajelor. Așadar, au fost analizate scenarii din viața reală, evidențiindu-se probleme și în același timp identificarea unor soluții în gestionarea deficiențelor în materie de fluxuri de trafic, congestie sau comunicații intervehiculare. Modelarea traficului auto, a fost conturată prin crearea unei hărți reale pe baza unor arhitecturi de drumuri rutiere, cu un număr de benzi variabil, limitări de viteză, sisteme de semaforizare, indicatoare rutiere, intersecții și în unele cazuri și obstacole. Au fost utilizate modele de trafic mediu și ridicat, aspect care a conturat caracteristici ulterioare în vederea implementărilor în scenarii practice. Analiza și gestionarea pragurilor de congestie și evidențierea fluxurilor de trafic, prin abordarea de modele dinamice și studiul teoriei cozilor, implementând modele de filtrare și limitare a propagării congestiei și ramificării acesteia pe toate rutele alternative. Testarea și simularea din punct de vedere arhitectural a unei rețele de tip pluton în care se utilizează un nod de tip joncțiune comună care folosește caracteristici asemănătoare unor comunicații hibride, autovehiculele urmărind o anumită culoare și menținând o distanță constantă între acestea, transmițând mesaje prioritizate în funcție de codurile de cauză stabilite în arhitectura software.

Prin urmare, aceste studii amănunțite au conturat scenariile simulative pe baza cărora ulterior au fost create arhitecturile hardware și software în vederea realizării de aplicații practice reale. Au

fost implementate pe baza literaturii arhitecturi software de prioritizare a mesajelor de tip CAM și DENM prin cadrul unei platforme DSRC, acesta poate funcționa atât în bandă radio de 5,9 GHz, conform standardului IEEE 802.11p cât și în bandă de 2,4 GHz sau 760 MHz. În prezent, noile sisteme și module de tip radio dedicate SBC-urilor au capacitatea de a funcționa doar în acele benzi nelicențiate din cadrul domeniilor IoT sau WiFi.

Pe întreaga perioadă a cercetărilor domeniul și-a continuat expansiunea, dezvoltându-se noi tehnologii precum 5G, chiar și arhitecturi care vor sta la baza generației a 6-a. Apariția premelor autovehicule controlate la distanță, prin compania Enride, în colaborare cu Ericsson, aceștia reușind controlul propriei flote de camioane pe o distanță de aproximativ 2500 de km pe ruta Göteborg (Suedia) – Barcelona (Spania), utilizând tehnologia 5G. Această trecere către o nouă etapă în materie de comunicații au împins dezvoltarea către perfecțiune și atingerea unor praguri de viteze care conform companiilor care se ocupă de implementare, ating viteze de peste 50 – 100 GB/s. Apariția de autovehicule autonome și implementarea de noi sisteme de AI în cadrul acestora pentru a îmbunătăți impactul utilizatorului cu dispozitivele de comandă din interiorul habitaculului.

## 6.2 Contribuții personale

Pentru a obține rezultatele scontate, au fost implementate și testate diferite implementări și modele simulative, alternând aplicațiile vehiculare cu metodele clasice de comunicare din domeniul automotive. În urma studiilor aprofundate în domeniul comunicațiilor bazate pe standarde RF, dar și VLC, s-au structurat următoarele subcapitole.

### 6.2.1 Simularea de rețele de trafic cu comunicații V2X

În vederea realizării de simulări care să reproducă rețele de trafic intervehicular, dedicate situațiilor critice din domeniu, au fost studiate și modelate modele simulative standard, dar și îmbunătățirea algoritmilor de analiză și fluidizare a traficului prin abordarea teoriei cozilor sau distribuției Riciene. Modelarea standardelor de bază și simulările, efectuându-se în suite software precum AnyLogic și MATLAB, reușind reproducerea protocoalelor la nivelul fizic și MAC pentru diferite benzi radio. La nivel simulativ s-au reprodus scenarii reale în care plutoanele de autovehicule s-au comportat ca parte componentă a unor sisteme inteligente bazate pe comunicații RF sau VLC. Aceste simulări au demonstrat eficiența comunicațiilor RF-VLC că sunt extrem de utile în aplicații de siguranță rutieră, fluidizarea traficului sau congestia traficului. Au fost demonstrate aspecte cu privire la mesajele transmise prin benzile de frecvență oferite de către standardul 8011.p, suferă din cauza interferențelor caracterizate prin fenomenul de umbrire al obstacolelor, dar în același timp mesajele pot atinge distanțe satisfăcătoare.

### 6.2.2 Implementarea și testarea unei platforme 802.11p – DSRC

Etapa următoare a avut ca scop implementarea unui sistem integrat în habitacul autoturismului sub forma unei navigații portabile, instalabile pe consola centrală, aceasta furnizând toate informațiile necesare. În vederea implementării și testării platformei bazate pe standardul 802.11p – DSRC, s-a utilizat un sistem de tipul Mk5, produs și dezvoltat de către Cohda Wireless într-o formă nulled. Așadar, dispozitivul a beneficiat de o arhitectură mixtă, dezvoltată cu scopul de a transmite mesaje prioritizate prin două modalități, CAM și DENM, acestea fiind prioritizate de către o unitate RSU (virtuală). Informația fiind filtrată de la o stație centrală în parcursul acesteia de la OBU1 către OBU2. Sistemul de operare dedicat acestui tip de aplicații, a fost Linux și s-a regăsit pe navigația instalată în interiorul autovehiculului. Așadar, benzile de frecvență în care poate

funcționa sistemul sunt 700 MHz, 2,4 GHz și 5,9 GHz. Implementarea s-a conturat în diferite medii și a avut ca scop evidențierea aspectelor cu privire la deficiențele pe care le creează interferențele în raport cu acest standard. Mesajele utilizate în scenariile conturate au fost conform nomenclatorului dedicat identificărilor de cauză din domeniul siguranței rutiere. Așadar, s-a demonstrat că folosind această arhitectură și sistemul Mk5, doar prin abordarea altor tipuri de protocol de comunicație, mesajele critice transmise cu ajutorul CAM și DENM pot ajunge la destinație chiar și în cazul unor medii dinamice, cu obstacole sau chiar cu interferențe.

### **6.2.3 Dezvoltarea, implementarea și testarea unei platforme TIC mixte de siguranță rutieră și asistare a conducătorului auto**

Proiectarea unei arhitecturi hardware simplificate care să poată utiliza comunicații mixte RF-VLC, s-a realizat printr-o suită de module proiectate și prin intermediul interfețelor OBD, în vederea obținerii de informații prin comunicații CAN încât acestea să fie pe cât posibil de veridice, atât pentru conducătorul auto cât și pentru ceilalți participanți la trafic. Semnalele fiind împachetate sub forma de mesaje DENM, acestea fiind difuzate atât prin module radio, având posibilitatea ca acestea să fie transmise și prin comunicații prin lumină vizibilă. Recepția mesajelor și interpretarea acestora se realizează pe dispozitivul portabil de tip navigație 3D instalat în habitacul autovehiculului, poziționat pe consola centrală. Interacțiunea utilizatorului cu interfața se realizează printr-un display LCD – touchscreen, dar pentru a nu impacta stilul de condus s-au stabilit notificări audio cu privire la gradul și complexitatea situației. Dezvoltarea de module și arhitecturi software capabile să analizeze mediul exterior și să prioritizeze informația în funcție de importanța acesteia. Astfel, conducătorul auto pe lângă faptul că poate observa obiecte și pietoni care se află într-o situație care le poate periclita integritatea fizică, acesta, poate să comunice mai departe situațiile care pot produce accidente. Studiul intens al domeniului siguranței rutiere, a scos la suprafață aspecte care precizează că extrem de multe dintre accidentele rutiere au strânsă legătură și cu cei care conduc autovehiculele, de aceea, au fost conturate arhitecturi și implementări care să analizeze strict comportamentul șoferilor în timpul condusului și modul în care aceștia acționează și reacționează. Cele mai importante aspecte au strânsă legătură cu influența directă a comunicațiilor vehiculare în abordarea subiectului siguranței rutiere. Sistemele care gestionează plutoanele de autovehicule și care controlează și monitorizează deplasarea în pluton a vehiculelor este o altă realizare prin implementările exterioare bazate pe mesaje periodice de tip CAM.

Importanța acestor mesaje este existențială prin calitatea lor, deoarece conțin date cu privire la poziția, viteza sau direcția de deplasare a autovehiculelor. Aceste mesaje se pot stoca într-o bază de date LDM, iar aplicația interpretează rezultatele pentru fiecare autovehicul aflat în pluton, fără o intervenție exterioară. Așadar, acest tip de aplicații evidențiază utilitatea și necesitatea unor astfel de implementări în domeniul producției de autovehicule, facilitând comunicația fiabilă nemaifiind necesară intervenția factorului uman, autovehiculele fiind autonome în păstrarea distanțelor și a vitezelor de deplasare.

Aspectele tratate în cadrul tezei s-au concretizat printr-o abordare generală care a condus către dezvoltări uniforme în domeniul comunicațiilor hibride cu aplicabilitate în domeniul auto, în special în cel al siguranței rutiere. Studiul intens în domeniul comunicațiilor vehiculare a condus către evidențierea caracteristicilor complementare și modalitatea în care comunicațiile radio pot funcționa în cadrul aceluiași sistem împreună cu cele prin lumină vizibilă, conturând direcții extrem de importante pentru dezvoltările ulterioare. Majoritatea scenariilor și simulărilor au fost aplicate în mediu real cu trafic și densitate de autovehicule, pentru a evidenția și pentru a pune în balanță complexitatea și dinamica mediului exterior în raport cu sistemele proiectate. Așadar, pe

durata efectuării studiilor, au fost concepute dispozitive și module hardware dedicate comunicațiilor intervehiculare. O altă direcție abordată și demonstrată ca fiind viabilă, a avut ca scop cercetarea comunicațiilor optice fără fir bazate pe senzorii ambientali ai telefoanelor mobile, dar și a procesării de imagini prin metoda OCC. Astfel, s-a demonstrat că dispozitivele mobile se pot integra într-un sistem mixt, dar au nevoie de o infrastructură permisivă, iar mesajele transmise nu trebuie să depășească mai mult de 8 caractere pentru o fiabilitate și un timp relativ sub 10ms.

### 6.3 Diseminarea rezultatelor cercetării în publicații

Putem spune că tehnologiile de comunicații fără fir au un potențial de a ajusta semnificativ siguranța și eficiența sistemelor de transport. Impunerea unor cerințe în domeniul siguranței rutiere și aplicarea acestora în funcție de context este extrem de dificilă. Într-un astfel de context, un prim studiu oferă o perspectivă de ansamblu asupra celor mai promițătoare tehnologii aplicabile în siguranța vehiculelor bazate pe comunicații. Studiul se bazează pe o analiză vastă, concentrată asupra tehnologiei DSRC, fiind extrem de favorizată prin prisma aplicațiilor dezvoltate până în prezent, dar și contribuțiile pe care le poate avea prin alternativa oferită de către tehnologia VLC. Propunerea unei arhitecturi hibride DSRC și VLC care prevede că autovehiculele învecinate sunt interconectate pe baza VLC se regăsesc în studiul acesta.

Contribuțiile prezentate în cadrul acestei teze de doctorat au fost diseminate la nivel național și internațional, în reviste și conferințe dedicate domeniului Științelor Inginerești într-un număr de 27 articole științifice. Dintre acestea 23 sunt indexare Web of Science, după cum urmează:

a) *Publicarea a 12 articole în reviste cotate ISI, dintre care:*

- *3 articole Q1 Quartile (zona roșie);*
- *9 articole Q2 Quartile (zona galbenă);*

b) *Publicarea a 10 articole în cadrul unor conferințe internaționale a căror volume au fost indexate ISI, Scopus sau IEE.*

c) *Publicarea unui articol în reviste indexate BDI.*

1. **E. Zadobrischi**, S. Avătămănitei, A. Căilean, M. Dimian and M. Negru, "Toward a hybrid vehicle communication platform based on VLC and DSRC technologies," 2019 IEEE 15th International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing (ICCP), Cluj-Napoca, Romania, 2019, pp. 103-107, doi: 10.1109/ICCP48234.2019.8959672.

Zona comunicațiilor fără fir se confruntă cu transformări majore, pe măsură ce comunicațiile mobile fac tranziția tehnologică către generația a cincea, iar rețelele locale către cea de-a șasea generație Wi-Fi. Studiul s-a canalizat pe evidențierea aspectelor complementare în cazul sistemelor de comunicații cu radiofrecvență, dar și celor prin lumină vizibilă în contextul aplicării acestora în sisteme de interior și vehiculare. Analizele subliniază aspecte semnificative care evidențiază cercetările conturate în jurul paradigmei în care diverse tehnologii vor comunica sub forma unei platforme hibride care să satisfacă cerințele cele mai exigente, oferind posibilitatea de a fi integrate inclusiv în IoT.

2. **E. Zadobrischi**, L. Cosovanu, S. Avătămănitei and A. Căilean, "Complementary Radiofrequency and Visible Light Systems for Indoor and Vehicular Communications," 2019 23rd International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC), Sinaia, Romania, 2019, pp. 419-423, doi: 10.1109/ICSTCC.2019.8885570.

Comunicațiile optice fără fir apar ca o alternativă promițătoare la comunicațiile prin radiofrecvență și microunde, pentru a răspunde cererii tot mai mari de transfer de date și zonei în expansiune a aplicațiilor fără fir. În acest context, această lucrare oferă o scurtă prezentare generală a tehnologiilor OWC și se concentrează pe utilizarea acestora în aplicațiile auto. Astfel, sunt prezentate sistemele de comunicații cu lumină vizibilă pentru vehicule și sisteme de măsurare a luminii vizibile dezvoltate recent de grupurile noastre de cercetare pentru a stabili calea către proiectarea unui sistem mixt de comunicații cu lumină vizibilă și de rază pentru aplicații auto bazat pe un sistem standard de iluminat auto.

3. C. Beguni et **E. Zadobrischi** al., "Toward a mixed visible light communications and ranging system for automotive applications," 2019 6th International Symposium on Electrical and Electronics Engineering (ISEEE), Galati, Romania, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/ISEEE48094.2019.9136155.

Datorită numeroaselor avantaje, comunicațiile prin lumină vizibilă sunt considerate a avea un potențial ridicat în furnizarea de suport pentru aplicațiile de siguranță rutieră bazate pe comunicații. În acest domeniu, comunicațiile de la infrastructură la vehicul sunt unul dintre principalele cazuri de utilizare. Cu toate acestea, canalul de comunicare în aer liber este foarte problematic, afectând fiabilitatea sistemelor VLC. Studiul efectuat împreună cu echipa de cercetare se concentrează pe efectuarea unui test intensiv de zi pentru o astfel de legătură VLC. Scopul este de a determina experimental influența puterii solare și a orientării soarelui asupra VLC, subliniind și analizând efectul luminii solare asupra performanțelor legăturii. Un alt scop al acestei investigații experimentale este de a identifica potențialele vulnerabilități pentru a oferi suport dezvoltărilor viitoare. Pentru această configurație s-a folosit un semafor LED, conform standardului ca emițător VLC și un design îmbunătățit al receptorului VLC bazat pe fotodiode, folosind o nouă configurație de transimpedanță logaritmică. Rezultatele experimentale au arătat că soarele poate avea o influență majoră asupra VLC în aer liber.

4. S. Avătămăniței, A. Căilean, **E. Zadobrischi**, A. Done, M. Dimian and V. Popa, "Intensive Testing of Infrastructure-to-Vehicle Visible Light Communications in Real Outdoor Scenario: Evaluation of a 50 meters link in Direct Sun Exposure," 2019 Global LIFI Congress (GLC), Paris, France, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/GLC.2019.8864129.

Creșterea haotică a numărului de autovehicule în coroborare cu densitatea populației cresc gradul de nesiguranță rutieră. Planificarea urbană și dezorganizarea în materie de sisteme de siguranță rutieră, fac din toate acestea o provocare pentru mediul academic. Propunerea și testarea unor prototipuri dedicate analizei pietonale, obiectelor, autovehiculelor, dar și a intențiilor pe care le au ceilalți participanți la trafic sunt abordări care au generat studii de cercetare. Îmbinarea comunicațiilor RF și VLC în cadrul aceluiași sistem a fost o altă direcție care să evidențieze eficiența acestor tehnologii. Analiza infrastructurii rutiere și a surselor de iluminat în vederea conturării propunerilor de prototipuri vehiculare și înglobarea acestora cu scopul de a îmbunătăți raportul semnal-zgomot (SNR) și al legăturii active în procesul de comunicare pe distanțe mari. Pe lângă aceste elemente s-au studiat intens efectele stărilor emoționale ale conducătorilor auto și modalitatea în care acestea influențează stilul de condus. Conform studiilor efectuate majoritatea stărilor prin care un conducător auto trece, pot să afecteze într-un mod pozitiv sau negativ reacțiile



acestui. Abordările efectuate și modulele proiectate, testate, conturează funcționalități ideale în vederea înglobării acestora în cadrul platformei mixte RF-VLC dedicate siguranței traficului.

5. **E. Zadobrischi**, "System Prototype Proposed for Vehicle Communications Based on VLC-RF Technologies Adaptable on Infrastructure," 2020 International Conference on Development and Application Systems (DAS), 2020, pp. 78-83, doi: 10.1109/DAS49615.2020.9108908.
6. **E. Zadobrischi** and M. Negru, "Pedestrian detection based on TensorFlow YOLOv3 embedded in a portable system adaptable to vehicles," 2020 International Conference on Development and Application Systems (DAS), 2020, pp. 21-26, doi: 10.1109/DAS49615.2020.9108940.
7. **E. Zadobrischi**, L. -M. Cosovanu, M. Negru and M. Dimian, "Detection of Emotional States Through the Facial Expressions of Drivers Embedded in a Portable System Dedicated to Vehicles," 2020 28th Telecommunications Forum (TELFOR), 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/TELFOR51502.2020.9306572.
8. **E. Zadobrischi**, L. -M. Cosovanu and M. Dimian, "Benefits of a Portable Warning System Adaptable to Vehicles Dedicated for Seat Belts Detection," 2020 24th International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC), Sinaia, Romania, 2020, pp. 892-897, doi: 10.1109/ICSTCC50638.2020.9259723.
9. L. -M. Cosovanu, **E. Zadobrischi** and M. Dimian, "Optical amplification on automotive VLC applications," 2020 24th International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC), 2020, pp. 699-704, doi: 10.1109/ICSTCC50638.2020.9259672.
10. L. -M. Cosovanu, **E. Zadobrischi**, M. Dimian and E. Plascencia, "Unified Road Infrastructure Safety System using Visible Light Communication," 2020 28th Telecommunications Forum (TELFOR), 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/TELFOR51502.2020.9306674.

Congestionarea traficului și cauzele în care acesta devine o povară pentru infrastructura rutieră, sunt o direcție abordată. Cercetările în acest domeniu au avut scopul principal de a analiza infrastructuri rutiere supuse unor fluxuri de trafic intens. Conform datelor înregistrate în urma analizelor sectoarelor de drum, s-au conturat scenarii simulative pentru a evidenția beneficiile utilizării unor sisteme de trafic inteligent bazat pe comunicații RF - VLC. Scenariile simulate s-au conturat în jurul unor secțiuni de drum cu un grad ridicat de congestie și cu o densitate mare de autovehicule în anumite intervale orare. Acest sector de drum a fost proiectat la nivel de infrastructură simulativă computerizată, aplicându-se modalități de filtrare, precum teoria cozilor sau modelele simulative de trafic mediu și ridicat, aplicându-se caracteristicile unor sisteme vehiculare de trafic. Semaforizarea beneficiind de o arhitectură de analiză și filtrare a numărului de participanți la trafic, iar în funcție de gradul de tranzitare s-au conturat scenarii ideale în care traficul a fost deblocat prin mijloace inteligente. Pe lângă aceste simulări s-au luat în considerare și comunicațiile vehiculare pentru secțiuni de drum de mare viteză. Caracteristicile unei comunicații în cazul secțiunilor de drum unde se circulă cu viteză sunt extrem de ridicate. Astfel, arhitectura simulativă propusă, îmbină comunicațiile V2V cu V2R și cu implicarea directă a algoritmilor de plutonaj în care un autovehicul urmărește vehiculul sursă, iar informațiile sunt transmise dintr-un nod în altul până la confirmarea finală sau până la pierderea căii de comunicare. Toate scenariile simulative au avut peste 50 de instanțe practice, fiind reprezentate inclusiv, arhitectura urbană și zonele adiacente.

11. **Zadobrischi, E.**; Cosovanu, L.-M.; Dimian, M. Traffic Flow Density Model and Dynamic Traffic Congestion Model Simulation Based on Practice Case with Vehicle Network and

System Traffic Intelligent Communication. Symmetry 2020, 12, 1172. <https://doi.org/10.3390/sym12071172>.

12. **Zadobrischi, E.**; Dimian, M. Vehicular Communications Utility in Road Safety Applications: A Step toward Self-Aware Intelligent Traffic Systems. Symmetry 2021, 13, 438. <https://doi.org/10.3390/sym13030438>.

Proiectarea unei navigații portabile care să poată gestiona eficient mediul exterior în materie de informații importante pentru șoferi s-a conturat mult mai intens în faza de implementare finală. Introducerea modulelor de recunoaștere și detecție pietonală, socio-emoțională sau prezența centurilor de siguranță, înglobarea acestora cu informațiile importante pe care le oferă un autovehicul prin portul CAN cu ajutorul unui dongle OBD II sau transmiterea mesajelor prioritizate direct către navigație. Introducerea în cadrul arhitecturii propuse unor module radio de tipul Mk5 – DSRC pe frecvența de 5,9 GHz.

13. **Zadobrischi, E.**; Dimian, M. Inter-Urban Analysis of Pedestrian and Drivers through a Vehicular Network Based on Hybrid Communications Embedded in a Portable Car System and Advanced Image Processing Technologies. Remote Sens. 2021, 13, 1234. <https://doi.org/10.3390/rs13071234>.
14. **E. Zadobrischi**; Dimian, M.; Negru, M. The Utility of DSRC and V2X in Road Safety Applications and Intelligent Parking: Similarities, Differences, and the Future of Vehicular Communication. Sensors 2021, 21, 7237. <https://doi.org/10.3390/s21217237>.

Utilizarea zilnică a smartphone-urilor este imperativă, astfel, se poate construi pe această premisă un sistem dedicat problemei menționate. Cu toate acestea, problema canalului de comunicare cu lumina vizibilă (VLC) fiind foarte dinamic, devine extrem de imprevizibil în ceea ce privește expunerea la sursele de zgomot. Dezvoltarea de aplicații dedicate comunicațiilor directe cu infrastructura și vehiculele, folosind dispozitive portabile devine o provocare, și în același timp, o soluție necesară. Studiul își propune modelarea unei arhitecturi de emisie-recepție dedicată comunicațiilor adaptive prin lumină, folosind OCC (comunicare cu camere optice), dar și comunicații standard VLC, folosind senzori de lumină ambientală prin intermediul unei aplicații Android. Această abordare oferă un prim pas în modelarea aplicațiilor de partajare a informațiilor folosind comunicațiile VLC. Din câte știm, această abordare nu a fost implementată în sistemele VLC externe. Performanța arhitecturii și a aplicației au fost demonstrate prin teste practice care au confirmat capacitatea tehnologiei, chiar dacă suntem în prima etapă.

15. **Zadobrischi, E.** Analysis and Experiment of Wireless Optical Communications in Applications Dedicated to Mobile Devices with Applicability in the Field of Road and Pedestrian Safety. Sensors 2022, 22, 1023. <https://doi.org/10.3390/s22031023>

Rezultatele cercetărilor s-au concretizat și prin realizarea unei platforme hardware și software, ușor de înglobat pe consola centrală a autoturismelor. Aceasta fiind capabilă să recepționeze informații din mediul exterior atât pe baza tehnologiilor Wi-Fi, 4G/3G/LTE sau 5G, DSRC sau VLC prin înglobarea unui emițător și al unui receptor VLC. Platforma furnizează informații culese din mediul extern și le pune la dispoziția utilizatorilor, dar în același timp poate emite mesaje acustice prin care să evidențieze anumite aspecte. Conturarea unor comunicații DSRC cu ajutorul platformei Mk5-Cohda Wireless, atingându-se distanțe de comunicare directă și de peste 500 m în zone urbane congestionate face parte din punctele atinse în cadrul cercetării

elaborate. Scopul principal al acestor sisteme proiectate și aplicații este de a îmbunătăți siguranța pietonală și rutieră, eficientizarea traficului auto, dar în același timp demonstrația practică prin care se poate observa complementaritatea și utilitatea comunicațiilor RF – VLC în cadrul aceluiași sistem.

16. Beguni, C.; Căilean, A.-M.; Avătămăniței, S.-A.; **Zadobrischi, E.**; Stoler, R.; Dimian, M.; Popa, V.; Béchadergue, B.; Chassagne, L. In-Vehicle Visible Light Communications Data Transmission System Using Optical Fiber Distributed Light: Implementation and Experimental Evaluation. *Sensors* 2022, 22, 6738. <https://doi.org/10.3390/s22186738>.
17. **Zadobrischi, E.** Intelligent Traffic Monitoring through Heterogeneous and Autonomous Networks Dedicated to Traffic Automation. *Sensors* 2022, 22, 7861. <https://doi.org/10.3390/s22207861>.
18. C. Beguni, **E. Zadobrischi**, S. -A. Avătămăniței and A. -M. Căilean, "Experimental Demonstration of a Visible Light Communications Crosswalk Assistance System," 2022 International Symposium on Electronics and Telecommunications (ISETC), Timisoara, Romania, 2022, pp. 1-4, doi: [10.1109/ISETC56213.2022.10009985](https://doi.org/10.1109/ISETC56213.2022.10009985).
19. **Zadobrischi, E.**; Negru, M. Applied Study of the Fluidization Model of Logistics Transportation through the Prism of the Impact Generated on the Environment. *Sensors* 2022, 22, 9255. <https://doi.org/10.3390/s22239255>.
20. Beguni, C.; Căilean, A.-M.; Avătămăniței, S.-A.; Potorac, A.-D.; **Zadobrischi, E.**; Dimian, M. Increasing Vehicular Visible Light Communications Range Based on LED Current Overdriving and Variable Pulse Position Modulation: Concept and Experimental Validation. *Sensors* 2023, 23, 3656. <https://doi.org/10.3390/s23073656>
21. Beguni, C.; Done, A.; Căilean, A.-M.; Avătămăniței, S.-A.; **Zadobrischi, E.** Experimental Demonstration of a Visible Light Communications System Based on Binary Frequency-Shift Keying Modulation: A New Step toward Improved Noise Resilience. *Sensors* 2023, 23, 5001. <https://doi.org/10.3390/s23115001>.

În cadrul articolelor s-au pus în practică toate studiile de până acum, împreună cu alte grupuri de cercetare din țară și din străinătate. S-au dezvoltat sisteme și dispozitive capabile să soluționeze probleme reale, abordând probleme de siguranță rutieră și pietonală, utilizând atât comunicații VLC, cât și prin comunicații RF.

### 6.3.1 Implicarea în proiecte de cercetare

**P<sub>1</sub>** Proiect PNIII, “Platformă hibridă de comunicații prin lumină vizibilă și realitateaugmentată pentru dezvoltarea de sisteme inteligente de asistență și siguranță activă a autovehiculelor”, cod proiect PN-III-P3-1.2-PCCDI-2017-0917, contract nr. 21PCCDI/ 2018, perioada de derulare 01.2018—11.2022 în cadrul Universității Tehnice din Cluj-Napoca.

**P<sub>2</sub>** Proiect PNIII, “Dezvoltarea de sisteme adaptive de comunicații auto cu funcții de măsurare a distanței între autovehicule, bazat pe tehnologii prin lumină vizibilă”, cod proiect PN-III-P3-3.1-PM-RO-FR-2019-0282, contract nr.21BM/2019, perioada de derulare 16.07.2019—31.12.2020, partener Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines - Université Paris-Saclay.

**P<sub>3</sub>** Proiect POCU, “Sprijin pentru doctoranzi și cercetători post-doctorat”, “DECIDE - Dezvoltare prin educație antreprenorială și cercetare inovativă doctorală și postdoctorală”, cofinanțat din Programul Operațional Capital Uman 2014-2020, contract nr. 45649/20.06.2019, POCU/380/6/13, Cod SMIS 2014+: 125031, perioadă de derulare 03.2020 – 04.2021.

**P<sub>4</sub>** Proiect PNIII, “Conexiuni între automobile prin intermediul comunicațiilor prin lumină vizibilă (C2C-VLC)”, cod proiect PN-III-P1-1.1-TE-2021-1371, contract nr. TE10/2022, perioada de derulare 27.04.2022 – 26.04.2024.

**P<sub>5</sub>** Proiect PNIII, “Lumină pentru orbi: Sistem de asistență a persoanelor nevăzătoare bazat pe tehnologia comunicațiilor prin lumină vizibilă - Light4Blind”, cod proiect PN-III-P2-2.1-PED-2021-4233, contract nr. 692PED/24.06.2022, perioada de derulare 24.06.2022 – 26.06.2024.

**P<sub>6</sub>** Proiect PNRR-III-C9-2022-15, “National Competence Center and solutions for the development of Climate Neutral and Smart Cities (NetZeRoCities)”, Nr. contract: 760007/30.12.2022.

### 6.3.2 Implicarea în proiecte de mobilitate și schimb de experiență

Proiect derulat prin programul gPBL, SGU2017-2018 (Global Based Learning Project) în cadrul instituției Shibaura Institute of Technology – Tokyo, Japonia. Proiectul având ca scop testarea și îmbunătățirea structurilor OLED cu ajutorul polimerilor tratați cu plasmă în vederea obținerii curbelor de electroluminiscentă.

### 6.4 Direcții viitoare de cercetare

Direcțiile viitoare sunt extrem de clare, pe baza rezultatelor obținute se pot continua studiile și elaborarea de sisteme care să ofere un produs final integrabil în cadrul autoturismelor. Acest studiu susține aspecte importante care expun caracteristici de complementaritate în cazul unor sisteme bazate pe RF - VLC, dar în același timp și avansul obținut de tehnologiile RF fiind echipamente care au devenit imperios necesare în proiectarea și controlul autovehiculelor autonome. Împreună cu alte echipe de cercetare se vor concretiza implementări la nivelul autovehiculelor în vederea implementării unor astfel de sisteme pentru a prezenta gradul de eficiență a modulelor proiectate, concretizându-se sub forma unor prototipuri bazate pe infrastructura existentă, atât la nivel rutier cât și la nivelul habitaculului autoturismelor. Implementarea de sisteme și intersecții sau elemente de infrastructură inteligentă, mix-uri tehnologice în care se vor utiliza atât comunicații RF cât și VLC, implicarea și modelarea dispozitivelor de tip RSU ca noduri comune chiar și în aplicațiile vehiculare în care sunt utilizate comunicații prin lumină vizibilă. Modelarea și testarea resurselor radio prin integrarea de module SDR, reducerea dimensiunilor sistemelor actuale și consolidarea rezultatelor prin standardizare în cazul VLC.

## Bibliografie

- [1] *Global status report on road safety 2018*. World Health Organization, 403 pagini, Geneva, 2018, ISBN: 9789241565684.
- [2] *The High Toll of Traffic Injuries : Unacceptable and Preventable*. World Bank. 103 pagini, Washington, DC. 2017, Link online: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/29129>
- [3] Road Safety Annual Report 2020, International Transport Forum - Organisation for Economic Co-operation and Development. OECD/ITF 2020. Link online: [https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/irtad-road-safety-annual-report-2020\\_0.pdf](https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/irtad-road-safety-annual-report-2020_0.pdf)
- [4] W. G. Najm, J. Koopmann, J. D. Smith, J. Brewer, *Frequency of Target Crashes for IntelliDrive Safety Systems*; Technical Report; U.S. Department of Transportation Research and Innovative Technology Administration: Washington, DC, USA, Oct. 2010.
- [5] European Economic and Social Committee, *European Transport Policy. Europe on the Move – Volume 1*, EESC, pagini 120, 2018, ISBN:978-92-830-4178-8.
- [6] European Economic and Social Committee, *European Transport Policy. Europe on the Move – Volume 2*, EESC, pagini 72, 2019, ISBN:978-92-830-4479-6.
- [7] European Commission, *A European Green Deal - Striving to be the first climate-neutral continent*, 2020 [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_en](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en)
- [8] Crozet, Y. (2020), "Cars and Space Consumption: Rethinking the Regulation of Urban Mobility", International Transport Forum Discussion Papers, No. 2020/13, OECD Publishing, Paris.
- [9] J. Wang, J. Wu and Y. Li, "The Driving Safety Field Based on Driver–Vehicle–Road Interactions," in IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 16, no. 4, pp. 2203-2214, Aug. 2015, doi: 10.1109/TITS.2015.2401837.
- [10] Bohm, Martin: 'Deployment of C-ITS: a review of global initiatives' (Transport, 2019), 'Cooperative Intelligent Transport Systems: Towards high-level automated driving', Chap. 2, pp. 21-40, DOI: 10.1049/PBTR025E\_ch2.
- [11] T. Zhang and L. Delgrossi, *Vehicle safety communications: protocols, security, and privacy* vol. 103: John Wiley & Sons, 2012.
- [12] M. Y. Abualhoul, M. Marouf, O. Shagdar and F. Nashashibi, "Platooning control using visible light communications: A feasibility study," 16th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2013), The Hague, 2013, pp. 1535-1540. doi: 10.1109/ITSC.2013.6728448.
- [13] A. Cailean, M. Dimian, V. Popa, L. Chassagne and B. Cagneau, "Digital Signal Processing Sensor for Automotive Visible Light Communications Applications," 2017 New Generation of CAS (NGCAS), Genova, 2017, pp. 225-228. doi: 10.1109/NGCAS.2017.53
- [14] Avătămăniței, S.-A.; Beguni, C.; Căilean, A.-M.; Dimian, M.; Popa, V. Evaluation of Misalignment Effect in Vehicle-to-Vehicle Visible Light Communications: Experimental Demonstration of a 75 Meters Link. *Sensors* 2021, 21, 3577. <https://doi.org/10.3390/s21113577>
- [15] Avătămăniței, S.-A.; Căilean, A.-M.; Done, A.; Dimian, M.; Popa, V.; Preliceanu, M. Design and Intensive Experimental Evaluation of an Enhanced Visible Light Communication System for Automotive Applications. *Sensors* 2020, 20, 3190. <https://doi.org/10.3390/s20113190>
- [16] Zadobrischi, L. Cosovanu, S. Avătămăniței and A. Căilean, "Complementary Radiofrequency and Visible Light Systems for Indoor and Vehicular Communications," 2019 23rd International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC), Sinaia, Romania, 2019, pp. 419-423, doi: 10.1109/ICSTCC.2019.8885570.
- [17] W.-W. Shieh, W.-H. Lee, S.-H. Tung, B.-S. Jeng, C.-H., Liu, "Analysis of the Optimum Configuration of Roadside Units and Onboard Units in Dedicated Short-Range Communication Systems," in IEEE Trans. Intell. Transp. Syst., Vol. 7, No. 4, pp. 565-571, Dec. 2006.
- [18] M. Y. Abualhoul, M. Marouf, O. Shagdar and F. Nashashibi, "Platooning control using visible light communications: A feasibility study," 16th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2013), The Hague, 2013, pp. 1535-1540. doi: 10.1109/ITSC.2013.6728448.
- [19] T. Yamazato et al., "Image-sensor-based visible light communication for automotive applications," in IEEE Commun. Mag., vol. 52, no. 7, pp. 88–97, Jul. 2014.
- [20] Jung, C.; Lee, D.; Lee, S.; Shim, D.H. V2X-Communication-Aided Autonomous Driving: System Design and Experimental Validation. *Sensors* 2020, 20, 2903. <https://doi.org/10.3390/s20102903>.

- [21] E. Zadobrischi, S. Avătămănitei, A. Căilean, M. Dimian and M. Negru, "Toward a hybrid vehicle communication platform based on VLC and DSRC technologies," 2019 IEEE 15th International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing (ICCP), Cluj-Napoca, Romania, 2019, pp. 103-107, doi: 10.1109/ICCP48234.2019.8959672.
- [22] G. Karagiannis, O. Altintas, E. Ekici, G. Heijenk, B. Jarupan, K. Lin, and T. Weil. Vehicular Networking: A Survey and Tutorial on Requirements, Architectures, Challenges, Standards and Solutions. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 13(4):584–616, 4th Quarter 2011.
- [23] R. Popescu-Zeletin, I. Radusch, and M.A. Rigani. Vehicular-2-X Communication, State-of-the-Art and Research in Mobile Vehicular Ad hoc Networks. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, online edition, 2010.
- [24] M. Dorigo, M. Birattari and T. Stutzle, "Ant colony optimization," in IEEE Computational Intelligence Magazine, vol. 1, no. 4, pp. 28-39, Nov. 2006, doi: 10.1109/MCI.2006.329691.
- [25] Lin, L.; Li, W.; Peeta, S. Efficient Data Collection and Accurate Travel Time Estimation in a Connected Vehicle Environment Via Real-Time Compressive Sensing. J. Big Data Anal. Transp. 2019, 1, 95–107.
- [26] Miao, L.; Virtusio, J.J.; Hua, K.-L. PC5-Based Cellular-V2X Evolution and Deployment. Sensors 2021, 21, 843.
- [27] Huch, S.; Ongel, A.; Betz, J.; Lienkamp, M. Multi-Task End-to-End Self-Driving Architecture for CAV Platoons. Sensors 2021, 21.
- [28] Zadobrischi, E.; Dimian, M. Vehicular Communications Utility in Road Safety Applications: A Step toward Self-Aware Intelligent Traffic Systems. Symmetry 2021, 13, 438. <https://doi.org/10.3390/sym13030438>
- [29] Lenkutis, T.; Čerškus, A.; Šešok, N.; Dzedzickis, A.; Bučinskas, V. Road Surface Profile Synthesis: Assessment of Suitability for Simulation. Symmetry 2021, 13, 68.
- [30] He, Y.; Liu, Z.; Zhou, X.; Zhong, B. Analysis of Urban Traffic Accidents Features and Correlation with Traffic Congestion in Large-Scale Construction District. In Proceedings of the 2017 International Conference on Smart Grid and Electrical Automation (ICSGEA), Changhsa, China, 27–28 May 2017; IEEE: Changhsa, China, 2017; pp. 641–644.
- [31] Lee, J.; Chung, J.; Sohn, K. Reinforcement Learning for Joint Control of Traffic Signals in a Transportation Network. IEEE Trans. Veh. Technol. 2020, 69, 1375–1387.
- [32] Chen, E.; Tang, X.; Fu, B. A Modified Pedestrian Retrieval Method Based on Faster R-CNN with Integration of Pedestrian Detection and Re-Identification. In Proceedings of the 2018 International Conference on Audio, Language and Image Processing (ICALIP), Shanghai, China, 16–17 July 2018; pp. 63–66.
- [33] Hossan, M.; Chowdhury, M.Z.; Hasan, M.; Shahjalal, M.; Nguyen, T.; Le, N.T.; Jang, Y.M. A new vehicle localization scheme based on combined optical camera communication and photogrammetry. Mob. Inf. Syst. 2018, 2018, 8501898.
- [34] Nakazawa, Y.; Makino, H.; Nishimori, K.; Wakatsuki, D.; Komagata, H. Indoor positioning using a high-speed, fish-eyelens-equipped camera in visible light communication. In Proceedings of the Fourth International Conference on Indoor Positioning Indoor Navigation, Montbeliard-Belfort, France, 24 May 2013.
- [35] Lee, H.Y.; Lin, H.M.; Wei, Y.L.; Wu, H.I.; Tsai, H.M.; Lin, K.C. RollingLight: Enabling line-of-sight light-to-camera communications. In Proceedings of the Thirteenth Annual International Conference on Mobile Systems (ACM MobiSys), Florence, Italy, 18–22 May 2015.
- [36] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) Light-Emitting Diodes (LEDs): Implications for Safety, Health Physics: May 2020 - Volume 118 - Issue 5 - p 549-561 doi: 10.1097/HP.0000000000001259.
- [37] Rahman, M.R.; Adedara, K.; Ashok, A. Enabling Multiple Access in Visible Light Communication Using Liquid Crystal Displays: A Proof-of-Concept Study. Electronics 2020, 9, 826. <https://doi.org/10.3390/electronics9050826>.
- [38] Skorupski P, Chittka L (2011) Photoreceptor Processing Speed and Input Resistance Changes during Light Adaptation Correlate with Spectral Class in the Bumblebee, *Bombus impatiens*. PLoS ONE 6(10): e25989. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0025989>.
- [39] Shen, W.; Tsai, H. Testing vehicle-to-vehicle visible light communications in real-world driving scenarios. In Proceedings of the IEEE Vehicular Networking Conf. (VNC), Torino, Italy, 27–29 November 2017; pp. 187–194.
- [40] Zhang, Y.; Zhang, M.; Zhou, H.; Sun, Y.; Wei, C.; He, W. A Long Distance Real-time DPSK Visible Light Communication System Based on FPGA. In Proceedings of the 18th International Conference on Optical Communications and Networks, Huangshan, China, 5–8 August 2019; pp. 1–3.

- [41] K. N. Le, "On Selection Combiner Output Multivariate Distributions in Correlated Generalized-Rician Fading," in *IEEE Communications Letters*, vol. 21, no. 2, pp. 242-245, Feb. 2017.
- [42] J. Aznar-Poveda, E. Egea-López and A. García-Sánchez, "Cooperative Awareness Message Dissemination in EN 302 637-2: an Adaptation for Winding Roads," 2020 IEEE 91st Vehicular Technology Conference (VTC2020-Spring), 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/VTC2020-Spring48590.2020.9128815.
- [43] Xiaolin Li, Xiaoqiang Wen and Xuesong Li, "Design and application of the ASN.1 module in the LTE-Uu interface protocol stack," 2010 International Conference on Educational and Information Technology, 2010, pp. V3-149-V3-152, doi: 10.1109/ICEIT.2010.5608403.
- [44] ETSI EN 302 637-3 V1.2.0 Draft. Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part3: Specifications of Decentralized Environmental Notification Basic Service. 2013-08
- [45] P. Spaanderman. Infrastructural Message Sets Standardization at CEN and ISO. In Proceedings of the 6th ETSI ITS Workshop, February 12-13, Berlin, Germany, 2014.
- [46] Kang Kim, H.; Becerra, R.; Bolufé, S.; Azurdia-Meza, C.A.; Montejo-Sánchez, S.; Zabala-Blanco, D. Neuroevolution-Based Adaptive Antenna Array Beamforming Scheme to Improve the V2V Communication Performance at Intersections. *Sensors* 2021, 21, 2956. <https://doi.org/10.3390/s21092956>
- [47] Zhang, L.; Wu, J.; Fan, Y.; Gao, H.; Shao, Y. An Efficient Building Extraction Method from High Spatial Resolution Remote Sensing Images Based on Improved Mask R-CNN. *Sensors* 2020, 20, 1465. <https://doi.org/10.3390/s20051465>.
- [48] Yan, J.; Wang, H.; Yan, M.; Diao, W.; Sun, X.; Li, H. IoU-Adaptive Deformable R-CNN: Make Full Use of IoU for Multi-Class Object Detection in Remote Sensing Imagery. *Remote Sens.* 2019, 11, 286. <https://doi.org/10.3390/rs11030286>.