



UNIVERSITATEA NAȚIONALĂ
DE ȘTIINȚĂ ȘI TEHNOLOGIE
POLITEHNICA DIN BUCUREȘTI



Școala Doctorală de Electronică, Telecomunicații
și Tehnologia Informației

Decizie nr. ____ din __ - __ - ____

REZUMAT TEZĂ DE DOCTORAT

Ing. Alin-Alexandru ȘERBAN

CONTRIBUȚII LA IMPLEMENTAREA UNOR NOI
SOLUȚII DE CONTROL AL TRAFICULUI AUTO

CONTRIBUTIONS TO THE IMPLEMENTATION OF
NEW TRAFFIC CONTROL SOLUTIONS

COMISIA DE DOCTORAT

Prof. Dr. Ing. Florin DRĂGHICI

Univ. Națională de Știință și
Tehnologie Politehnica București

Președinte

Prof. Dr. Ing. Corneliu

BURILEANU

Univ. Națională de Știință și
Tehnologie Politehnica București

Conducător de doctorat

Prof. Dr. Ing. X

Univ. Națională de Știință și
Tehnologie Politehnica București

Referent

Prof. Dr. Ing. X

Univ. Națională de Știință și
Tehnologie Politehnica București

Referent

Dr. Ing. X

Univ. Națională de Știință și
Tehnologie Politehnica București

Referent

BUCUREȘTI 2025

Cuprins

1. Introducere	3
1.1. Prezentarea domeniului de doctorat	3
1.2. Scopul tezei de doctorat.....	4
1.3. Conținutul tezei de doctorat	4
2. Istoria sistemelor de trafic	6
2.1. Evoluția sistemelor pentru controlul traficului urban	6
2.1.1. Apariția sistemelor de control cu planuri fixe	7
2.1.2. Apariția sistemelor de control adaptabile la trafic.....	7
3. Monitorizarea poluării vehiculelor și analiza intersecțiilor	10
3.1 Surse de poluare și principalele substanțe poluante.....	10
3.2 Sistemul electronic de monitorizarea calității aerului	11
3.3 Modulul pentru recepționarea și afișarea datelor.....	12
3.4 Realizarea practică a celor două module și rezultatele obținute.....	13
4. Modele de trafic și achiziția datelor.....	14
4.1 Modulul electronic pentru achiziția datelor din trafic.....	14
4.2 Crearea modulului electronic.....	15
4.3 Testarea modulului electronic și implementarea modelelor de trafic.....	16
4.4 Aplicarea modelelor de trafic în regim de autostradă	16
5. Prezicerea traficului și a vitezei prin algoritmi de învățare automată.....	18
5.1 Algoritmii de învățare automată utilizați.....	19
5.2 Studii de caz pentru algoritmi de învățare automată în trafic.....	19
6. Îmbunătățirea siguranței traficului și reducerea emisiilor printr-un sistem de recompense și blockchain.....	21
6.1 Achiziționarea datelor de la vehicule.....	21
6.2 Sistemul de recompense implementat.....	22
6.3 Testarea sistemului implementat și rezultatele obținute.....	23
7. Concluzii	26
7.1. Rezultate obținute	26
7.2. Contribuții originale	27
7.3. Lista lucrărilor originale	27
7.4. Perspective de dezvoltare ulterioară	29
Bibliografie	31

Capitolul 1

Introducere

În zilele noastre, odată cu evoluția și dezvoltarea orașelor și a condițiilor de trai, se observă faptul că apar alte consecințe cum ar fi aglomerarea zonelor urbane, prin creșterea populației, creșterea numărului de mașini din trafic, și respectiv congestionarea traficului vehiculelor. Un trafic aglomerat înseamnă și probleme legate de un nivel de poluare ridicat în marile aglomerări urbane, respectiv consum crescut de combustibil pentru autovehicule, toate acestea conducând la probleme legate de sănătate și de mediu, în special probleme respiratorii din cauza calității aerului.

Prin prezenta lucrare se dorește introducerea și analizarea unui domeniu care ne afectează pe toți și anume transportul, respectiv traficul, iar pe baza acestuia putem analiza și îmbunătăți traficul vehiculelor, respectiv se pot propune soluții pentru îmbunătățirea traficului. Pe măsură ce tehnologia evoluează, apar noi idei și soluții care pot conduce la rezolvarea mult mai rapidă și eficientă a unor probleme deja existente.

1.1 Prezentarea domeniului tezei de doctorat

Tema abordată în cadrul acestei lucrări și anume traficul vehiculelor se referă în general la mișcarea diferitelor vehicule pe drumuri. Prin denumirea de vehicul se înțelege orice mijloc de transport utilizat pentru deplasarea unei persoane sau a unor bunuri, incluzând aici ca exemple autoturismele, camioanele sau motocicletele.

Deplasarea vehiculelor pe un drum poate fi influențată de o mulțime de factori diferiți, precum infrastructura rutieră, regulile de circulație pe o anumită secțiune de drum, condițiile meteorologice care pot diferi de la zi la zi sau comportamentul șoferilor.

Traficul și controlul acestuia sunt importante în zilele noastre având în vedere următoarele:

1. Traficul este esențial pentru funcționarea localităților, în special a orașelor deoarece este în strânsă legătură cu transportul atât al oamenilor cât și al bunurilor, putând astfel afecta și economia;
2. Calitatea mobilității urbane afectează viața cetățenilor, având în vedere stresul și timpul petrecut în trafic;

3. Traficul reprezintă și o mare sursă de poluare în marile orașe;
4. Controlul traficului crește atât eficiența cât și siguranța oricărui participant la trafic, indiferent că este un șofer de vehicul, un pieton sau un biciclist.

1.2 Scopul tezei de doctorat

Această cercetare din această teză dorește să prezinte contribuții la implementarea de noi soluții de control al traficului auto, alături de avantajele și limitările fiecăruia. Pentru aceste cercetări, au fost implementate diferite teste și experimente cu aceste metode de control al traficului care sunt descrise în capitolele următoare.

Metodele de control al traficului, fie ele bazate pe sisteme clasice (cum ar fi semafoarele cu programe fixe), fie pe soluții inteligente (precum cele adaptive, bazate pe senzori, inteligență artificială sau modele predictive), au un impact direct asupra calității vieții urbane. Un control eficient al intersecțiilor poate reduce congestia, poate contribui la scăderea consumului de combustibil și a nivelului de poluare, și poate spori siguranța rutieră.

Congestia traficului reprezintă o problemă actuală și de viitor în marile aglomerări urbane, marile orașe, întrucât numărul persoanelor în acestea crește, numărul de mașini participante la trafic crește, iar simpla îmbunătățire a infrastructurii rutiere nu este de ajuns în multe cazuri și este nevoie de metode inovative pentru a putea decongestiona traficul. Pe parcursul timpului, odată cu apariția primelor vehicule și a primelor sisteme de semnalizare și reguli de circulație, au apărut diferite metode de control al traficului adecvate vremurilor. În zilele noastre însă, odată cu avansul tehnologiei, cu apariția și avansul inteligenței artificiale, apar noi soluții inovative care pot conduce la un control mai bun al traficului, care să fie adaptabil și să răspundă rapid la orice eveniment neprevăzut în trafic.

1.3 Conținutul tezei de doctorat

Teza de doctorat se concentrează asupra implementării și evaluării soluțiilor noi de control al traficului existente, testarea și experimentarea acestora, respectiv pe analiza urmărilor legate de traficul congestionat prin monitorizarea poluării. De asemenea, sunt analizate și propuse diverse soluții pentru a putea atât monitoriza traficul, cât și de a face pe șoferi conștienți de urmările diferitelor stiluri de condus. Această teză este structurată în 7 capitole astfel:

Capitolul 1 prezintă domeniul studiat, scopul și respectiv conținutul tezei de doctorat prin prezentarea generală a capitolelor.

Capitolul 2 prezintă istoria sistemelor de control al traficului. Tot în acest capitol sunt prezentate principalele sisteme de control al traficului urban, sunt analizate din punct de vedere al avantajelor și limitărilor, iar pentru a demonstra eficiența unui astfel de sistem al traficului, au fost realizate simulări într-un program special de simulare a traficului.

În capitolul 3 sunt prezentate principalele substanțe poluante provenite în urma congestiei traficului, dioxidul de carbon (CO_2), oxizii de azot (NO_x), monoxidul de carbon (CO) și particulele fine ($\text{PM}_{2.5}$ și PM_{10}). Având în vedere importanța poluării, a fost creat și implementat un sistem electronic pe bază de două module care poate fi amplasat în zone cheie din cadrul unui oraș și poate monitoriza, respectiv transmite către un utilizator care sunt valorile pentru cei mai importanți indici, parametrii $\text{PM}_{2.5}$ și PM_{10} . Astfel, în acest capitol vor fi prezentate detalii legate de crearea sistemului electronic de monitorizare a calității aerului care constă din două module distincte, componentele folosite și rezultatele obținute în urma testelor. Totodată, în cadrul acestui capitol, va fi realizată și prezentată o analiză a traficului și a intersecțiilor din trafic din prisma teoriei informației și vor fi prezentate noțiuni precum entropie, probabilitate, distribuții în cazul caracterizării traficului și a intersecțiilor.

Capitolul 4 prezintă modele de trafic, caracteristicile acestora și cum acestea pot prezice traficul prin determinarea vitezei, densității de trafic sau a fluxului de trafic. De asemenea, va fi prezentat un modul electronic responsabil de achiziția de date din trafic și anume coordonate GPS, iar componentele acestuia respectiv realizarea și implementarea vor fi discutate pas cu pas. Datele achiziționate cu ajutorul acestui modul au fost folosite pentru implementarea de diverse modele de trafic pentru a putea prezice viteza cu ajutorul acestora și a testa acuratețea lor. De asemenea, în ultima parte a acestui capitol, aceste modele de trafic vor fi implementate și comparate pentru cazul în care este analizată o autostradă, unde se știe că valorile vitezei și ale densității sunt diferite față de cazul unui oraș.

În capitolul 5 este prezentat domeniul de învățare automată respectiv algoritmi care pot fi folosiți în prezicerea traficului și a vitezei medii din trafic în funcție de diferite situații și condiții. Vor fi prezentate cazuri din trafic analizate cu ajutorul principalilor algoritmi de învățare automată, respectiv se vor compara pe baza rezultatelor cu scopul de a identifica cel mai potrivit algoritm de învățare automată în funcție de tipul problemei analizate și caracteristicile acesteia.

Capitolul 6 prezintă un sistem de îmbunătățire a siguranței traficului și de monitorizare a nivelului de poluare prin implementarea conceptelor de sistem de recompense și blockchain. A fost proiectat un sistem de recompense capabil să recompenseze sau să penalizeze un șofer pe baza stilului de condus în trafic, acesta folosind diferiți parametri de la vehicul preluați prin intermediul OBD-II, cu scopul de a analiza comportamentul șoferului în trafic. De asemenea, pe baza datelor furnizate de către vehicul prin intermediul dispozitivului OBD-II, sunt estimați principalii poluanți emiși de un vehicul în urma folosirii acestuia la nivel de oraș (prin determinarea valorilor de dioxid de carbon (CO_2), oxizii de azot (NO_x), respectiv monoxid de carbon (CO)).

Capitolul 7 al acestei teze prezintă concluziile lucrării, sumarizând rezultatele obținute de-a lungul anilor de studii doctorale, alături de conferințele respectiv lucrările în care au fost prezentate rezultatele obținute.

Capitolul 2

Istoria sistemelor de trafic

De-a lungul timpului, traficul vehiculelor și infrastructura rutieră au cunoscut o transformare majoră, evoluând de la simple cărări fără nicio reglementare sau regulă la rețele extinse de drumuri și sisteme sofisticate de gestionare a traficului. Această dezvoltare a fost modelată de o combinație de invenții, inovații și cerințe sociale și economice și s-a făcut pe parcursul a sute de ani de-a lungul istoriei. Analiza traficului vehiculelor joacă un rol esențial în abordarea provocărilor contemporane, permițând dezvoltarea unor soluții creative pentru fluidizarea circulației, reducerea impactului poluării și creșterea nivelului de siguranță pe șosele.

În zilele noastre, orașele moderne se confruntă cu numeroase provocări legate de gestionarea traficului, impactul asupra mediului și eficiența infrastructurii urbane. Provocarea congestionării traficului este una dintre cele mai presante, afectând nu doar mobilitatea zilnică a cetățenilor, ci și calitatea aerului, economia și sănătatea publică [15]. Expansiunea rapidă a zonelor urbane și creșterea populației generează un volum de trafic care depășește capacitatea rețelelor existente, iar provocarea adaptării infrastructurii la aceste cerințe devine tot mai dificilă.

2.1 Evoluția sistemelor pentru controlul traficului urban

Odată cu apariția vehiculelor motorizate și răspândirea lor la scară largă, s-a pus problema legată de controlul traficului apărut. Sistemele dezvoltate pe parcursul timpului cu acest scop sunt parte a ceea ce se numesc sisteme pentru controlul traficului urban (în limba engleză fiind numite UTC – Urban Traffic Control).

Sistemele UTC (Urban Traffic Control) sunt soluții avansate pentru gestionarea inteligentă a traficului urban, optimizând circulația vehiculelor prin ajustarea dinamică a semafoarelor. Aceste sisteme colectează și analizează date în timp real, folosind senzori și echipamente instalate pe arterele principale ale orașelor, permițând o reacție rapidă la variațiile de trafic, incidente sau condiții speciale. Prin utilizarea algoritmilor inteligenți, semafoarele sunt coordonate astfel încât să reducă blocajele, timpii de așteptare și emisiile poluante, contribuind la un mediu urban mai eficient și mai prietenos [146].

2.1.1 Apariția sistemelor de control cu planuri fixe

Prima etapă în cadrul evoluției sistemelor de control a traficului UTC se situează între anii 1920 și 1980. În cadrul acestor ani, odată cu apariția semaforului electric, dar și cu apariția mai multor vehicule care a condus la congestionarea traficului, s-au stabilit obiectivele de bază pe care trebuie să le aibă un sistem de control al traficului.

Astfel, au apărut sistemele de control al traficului cu planuri fixe, care urmează un plan prestabilit legat de semafoare într-o intersecție. Pentru a putea realiza această coordonare a semafoarelor prin intermediul acestui tip de sistem, a fost nevoie de definirea fiecărei zone a unei intersecții dintr-o regiune, iar apoi de optimizare a semafoarelor prin cei mai importanți parametri stabiliți și anume [146]: timpul de ciclu, timpul de împărțire și timpul de compensare.

2.1.2 Apariția sistemelor de control adaptabile la trafic

A doua etapă din cadrul evoluției sistemelor de control al traficului UTC se situează de la finalul anilor 1970 spre zilele noastre. Datorită avansului tehnologic, s-a ajuns la noi soluții pentru a putea monitoriza și gestiona traficul. Printre invențiile și noutățile care au schimbat felul cum funcționează sistemele UTC se numără buclele inductive, radarele și tehnologia de detectare în infraroșu.

Printre cele mai avansate sisteme UTC utilizate la nivel global se numără:

SCOOT (Split Cycle Offset Optimization Technique) – Dezvoltat în Marea Britanie, acest sistem ajustează semaforizarea în timp real, utilizând detectoare inductive pentru a adapta fluxul de trafic fără a depinde de planuri prestabilite [154].

SCATS (Sydney Coordinated Adaptive Traffic System) – Creat în Australia, oferă un control descentralizat al semafoarelor, permițând fiecărei intersecții să se ajusteze individual, dar într-o manieră coordonată cu întregul sistem [11].

UTOPIA (Urban Traffic Optimization by Integrated Automation) – Dezvoltat în Italia, se remarcă prin integrarea avansată cu transportul public și alte infrastructuri urbane, folosind modele predictive pentru a anticipa și preveni congestiile [99].

Aceste sisteme contribuie la fluidizarea traficului, îmbunătățind siguranța rutieră și eficiența urbană.

Pentru a putea testa eficiența acestor sisteme UTC, în cadrul articolului [122], au fost realizate simulări în programul de trafic PTV Vissim. PTV Vissim este un program de simulare a traficului la scară microscopică, creat de compania PTV Planung Transport Verkehr AG din Karlsruhe, Germania. Acest instrument important este folosit pe scară largă în ingineria transporturilor pentru a modela și analiza diferite scenarii de trafic.

Astfel, următoarele date și rezultate sunt din articolul prezentat și menționat mai sus [122], iar în continuare se va detalia în ce a constat experimentul și rezultatele care au fost obținute. În utilizarea acestui program, un alt avantaj important pentru PTV Vissim este că are integrat în cadrul acestuia un controler pentru sistemul de control al traficului SCOOT, astfel că se pot optimiza timpii ciclurilor unui semafor, timpii pentru culoarea verde la un semafor dintr-o intersecție sau timpii de întârziere necesari pentru a gestiona o intersecție [52]. Testul cu ajutorul acestui program a fost făcut pentru o intersecție din București, intersecția dintre bulevardului Iuliu Maniu și bulevardul Doina Cornea. Pentru a putea realiza simularea, măsurătorile și rezultatele din articolul [43] au fost folosite.

Intersecția în discuție, pentru care au fost efectuate simulările și măsurătorile, a fost marcată în aplicația publică și gratuită OpenStreetMap. Aceasta include detalii despre infrastructura rutieră, urmând ca intersecția evidențiată din OpenStreetMap să fie importată în PTV Vissim. În figura următoare, figura 2.4, se poate vedea harta intersecției împreună cu infrastructura existentă, în programul utilizat.



Figura 2.4. Intersecția utilizată pentru simulare în PTV Vissim [122]

De asemenea, o examinare mai aprofundată a intersecției este disponibilă în programul PTV VISSIM, subliniind că toate detaliile infrastructurii rutiere sunt incluse, așa cum se poate vedea în figura 2.5.



Figura. 2.5. Intersecția cu detaliile infrastructurii rutiere [122]

În studiul anterior menționat [44], s-au efectuat măsurători zilnice, timp de 60 de minute, în intervalul orar 10-11 dimineața, pe parcursul a zece zile. Aceste măsurători au permis determinarea condițiilor de trafic, numărului de mașini care traversau intersecția de pe Bulevardul Iuliu Maniu, și vitezele medii ale autovehiculelor. Toate aceste detalii au fost ulterior integrate în intersecția importată în PTV Vissim.

După integrarea unui controller SCOOT [53] în programul software PTV VISSIM, s-au realizat simulări pentru a evalua starea traficului și vitezele medii ale mașinilor de pe bulevardul menționat. Rezultatele acestor simulări, prezentate în figura 2.6, arată vitezele medii înainte și după aplicarea sistemului SCOOT, precum și

traficul real înregistrat. Se poate observa că sistemul SCOOT îmbunătățește traficul, ducând la creșterea vitezei medii.

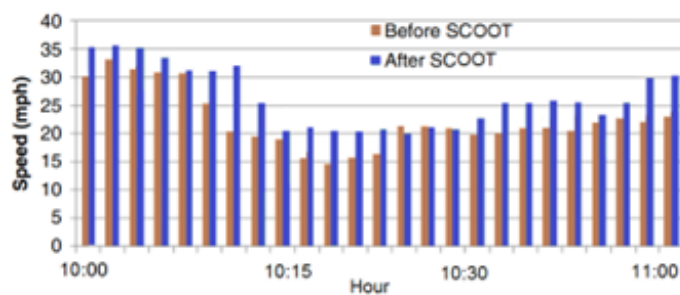


Figura. 2.6. Compararea vitezei medii înainte și după aplicarea SCOOT[122]

Capitolul 3

Monitorizarea poluării vehiculelor și analiza intersecțiilor

Orașele moderne se confruntă cu o creștere importantă a numărului de vehicule, ceea ce duce la probleme majore legate de poluare și congestie. Poluarea generată de trafic afectează calitatea aerului, contribuind la apariția unor boli respiratorii și cardiovasculare. De asemenea, particulele fine și gazele cu efect de seră produse de vehicule contribuie la schimbările climatice, iar efectul acestora se observă constant de la an la an, temperatura medie a planetei crește, astfel că efectele se resimt. Aceste schimbări climatice au un impact foarte mare asupra mediului, astfel că afectează aerul pe care îl respirăm, temperatura la nivelul planetei, acidifierea solului și a apei (astfel că solul devine mai puțin fertil pentru agricultura, iar apa ajunge să nu mai fie potabilă), distrugerea stratului de ozon (fiind în acest fel expuși la razele ultraviolete), cât și impact asupra biodiversității (multe specii de animale ajung să fie în pericol de dispariție).

3.1 Surse de poluare și principalele substanțe poluante

Vehiculele generează un spectru complex de emisii, clasificate în două categorii distincte: directe și indirecte. Emisiile directe, rezultate din arderea combustibililor fosili în motoarele cu ardere internă, includ poluanți precum dioxidul de carbon (CO_2), oxizii de azot (NO_x), monoxidul de carbon (CO) și particulele fine ($\text{PM}_{2.5}$ și PM_{10}). Motoarele diesel, în special, se remarcă prin emisia sporită de particule fine și oxizi de azot, contribuind semnificativ la poluarea atmosferică urbană. Emisiile indirecte, pe de altă parte, sunt generate de procese conexe, cum ar fi uzura anvelopelor și a sistemelor de frânare, precum și de producția și distribuția combustibililor. Studiile efectuate în zonele cu trafic intens au evidențiat o corelație directă între concentrațiile ridicate de particule fine și impactul negativ asupra sănătății populației locale [68].

3.2 Sistemul electronic de monitorizare a calității aerului

Rolul acestui modul este a colecta datele de la senzori legate de calitatea aerului, de a le prelucra și trimite atât către o bază de date, cât și către cel de-al doilea modul unde sunt recepționate și pot fi vizualizate pe un afișaj alfanumeric cu cristale lichide. Schema bloc pentru acest modul poate fi vizualizată în următoarea figură, figura 3.4, alături de toate componentele folosite.

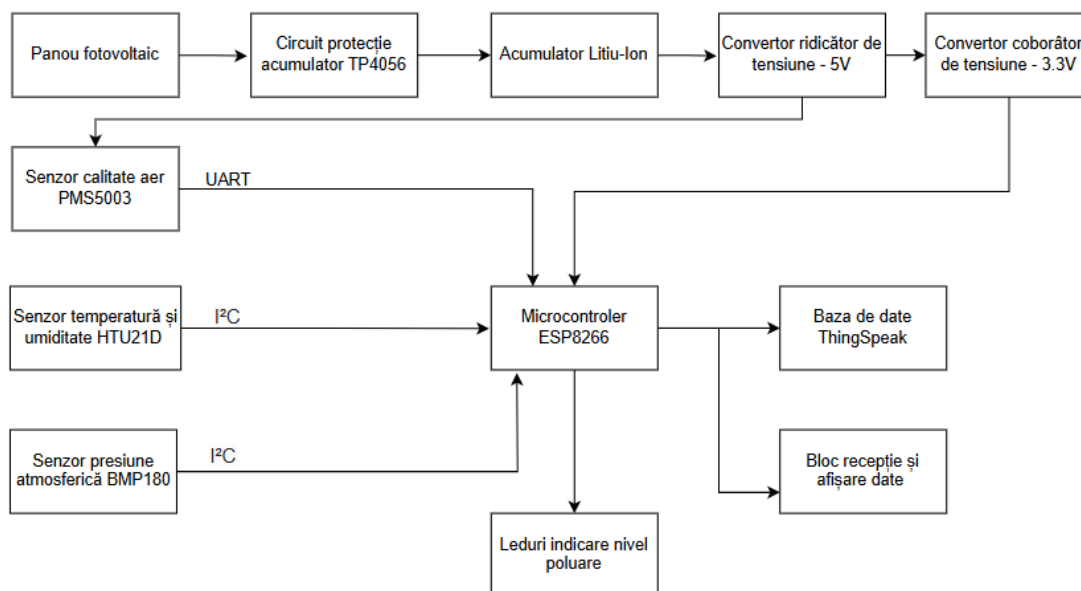


Figura. 3.4 Schema bloc pentru modulul de transmisie

Din punct de vedere al funcționării, în centrul schemei bloc se poate identifica microcontrolerul utilizat, ESP8266, acesta preluând datele de la cei trei senzori aflați în partea stângă (senzorul pentru calitatea aerului PMS5003 ce va fi oferit valorile pentru PM2.5 și PM10, senzorul de temperatură și umiditate HTU21D și senzorul de presiune atmosferică BMP180). Microcontrolerul este responsabil atât de preluarea datelor de la senzori, cât și de procesarea acestora și transmiterea datelor către o bază de date (contul personal Thingspeak), cât și către cel de al doilea modul, cel de recepție și afișare a datelor. Din punct de vedere al alimentării, blocurile componente pot fi observate în partea de sus a schemei bloc. Componentele plăcii electronice sunt alimentate de la un acumulator Litiu-Ion 18650, iar acest acumulator este încărcat la rândul său de către un panou fotovoltaic. Deoarece acumulatorul Litiu-Ion 18650 are o tensiune electrică maximă de alimentare de 4.2V, pentru a proteja acumulatorul și a asigura siguranța în funcționare a întregului modul, a fost folosit circuitul de protecție TP4056, având rolul de a limita încărcarea la valoarea maximă de 4.2V. De asemenea, deoarece tensiunea electrică maximă a acumulatorului este de 4.2V, iar unele componente din circuit au nevoie de o tensiune electrică de 5V, a fost folosit un convertor ridicător de tensiune, cu valoarea ieșirii de 5V. Totodată, microcontrolerul

ESP8266 și o parte din senzori funcționează la tensiunea electrică de 3.3V și de aceea a fost folosit și un convertor coborât de tensiune cu valoarea ieșirii fixă de 3.3V. În plus, în schema bloc se pot observa și ledurile cu rolul de a indica nivelul de poluare (sunt adăugate 3 leduri de diferite culori, verde, galben și roșu) și a căror semnificație este următoarea: LED-ul verde se aprinde atunci când concentrația particulelor PM2.5 se situează între 0 și 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, indicând un nivel scăzut de poluare, LED-ul galben semnalizează un nivel moderat de poluare, fiind activ atunci când valoarea PM2.5 se încadrează între 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ și 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, iar LED-ul roșu avertizează asupra unui nivel ridicat de poluare, aprinzându-se atunci când concentrația PM2.5 depășește 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

3.3 Modulul pentru recepționarea și afișarea datelor

Primul modul electronic a fost detaliat și descris în subcapitolul precedent. Legat de al doilea modul electronic, rolul său este de a recepționa datele legate de calitatea aerului și a condițiilor atmosferice, și de a le afișa utilizatorului, indiferent unde acesta se află, nefiind condiționat de o anumită locație în raport cu celălalt modul. În figura 3.9 se poate observa schema bloc pentru această parte a sistemului:

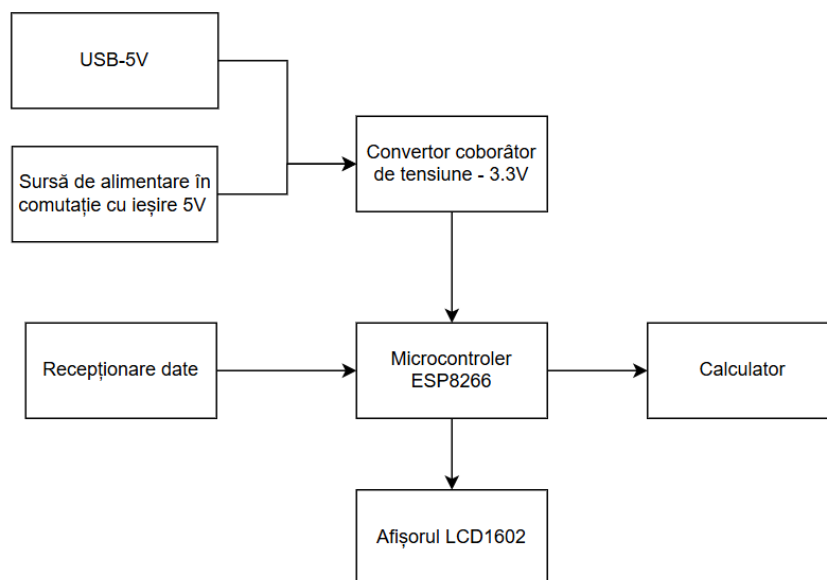


Figura 3.9 Schema bloc pentru placa de recepție și afișare a datelor

La fel ca placa anterioară, microcontrolerul ESP8266 se află poziționat central. Acesta, fiind conectat la o rețea wireless locală, preia datele de la cealaltă placă și le transmite către un afișor, al cărui funcționare va fi descris ulterior. Totodată, dispozitivul oferă posibilitatea de a fi conectat la un calculator.

În ceea ce privește alimentarea, placa poate fi alimentată fie prin intermediul convertorului USB CH340, utilizat și pentru programarea microcontrolerului, fie printr-o sursă de alimentare în comutație, ce oferă o ieșire de 5V. Este important că această sursă să fie echipată cu o mufă rotundă standard de tip tată, cu dimensiunile 5,5x2,1 mm. Pentru programarea celor două microcontrolere, s-a utilizat un dispozitiv

capabil să efectueze conversia între USB și interfața serială a microcontrolerului. Această conversie este realizată de convertorul CH340, care dispune, la un capăt, de o mufă USB, iar la celălalt, de pinii necesari pentru conectarea la microcontroler. Convertorul CH340 a fost descris alături de caracteristicile acestuia în capitolul precedent. Având în vedere că microcontrolerul necesită o tensiune de alimentare de 3.3V, un convertor coborâtor de tensiune a fost inclus pentru a asigura această cerință.

3.4 Realizarea practică a celor două module și rezultatele obținute

În urma realizării practice a celor două module au fost obținute, rezultatele finale pot fi observate în figurile 3.10 și 3.11.

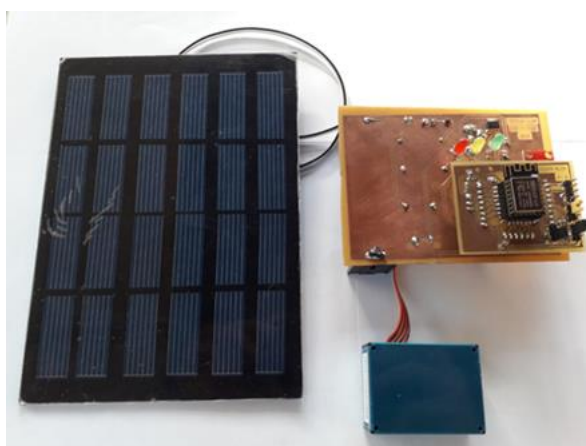


Figura 3.10 Placa de prelucrare și transmisie

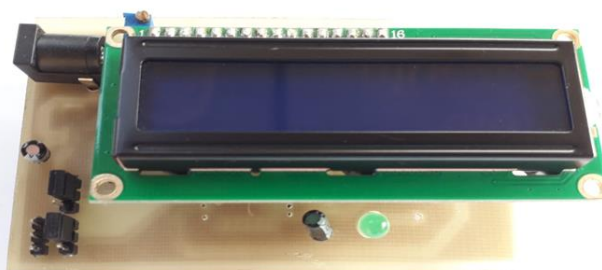


Figura 3.11 Placa de recepție și afișare

Capitolul 4

Modele de trafic și achiziția datelor

Modelele de flux de trafic sau modele de trafic (în engleză traffic flow models) reprezintă instrumente matematice menite să descrie modul în care vehiculele se mișcă pe o rețea rutieră. Acestea sunt esențiale pentru a studia și interpreta dinamica traficului, furnizând date valoroase despre densitate, viteză și fluxul vehiculelor [34].

Acestea permit simularea scenariilor reale și evaluarea impactului intervențiilor asupra traficului. Modelele de flux de trafic sunt fundamentale în înțelegerea și optimizarea traficului rutier. Ele pot fi utilizate pentru o varietate de scopuri, cum ar fi:

- Simulări predictive pentru anticiparea comportamentului traficului în diferite situații;
- Planificarea infrastructurii rutiere, ajutând la proiectarea și extinderea intersecțiilor și drumurilor pe baza previziunilor legate de volumul traficului într-o anumită zonă;
- Optimizarea traficului în timp real prin ajustarea dinamică a ciclurilor semaforului;
- Evaluarea impactului asupra mediului, putând fi folosite în estimarea emisiilor de poluanți;
- Siguranța rutieră, prin analizarea rezultatelor modelelor de trafic se pot identifica puncte critice unde au loc frecvent accidente și se pot implementa măsuri preventive, cum ar fi limitarea vitezei sau montarea semnalizărilor suplimentare.

4.1 Modulul electronic pentru achiziția datelor din trafic

Pentru a putea analiza traficul dintr-o anumită zonă și a putea avea statistici, respectiv modelele de trafic explicate în subcapitolul anterior, a fost nevoie de generarea de date din trafic. Având în vedere acest scop, a fost proiectat un modul electronic prezentat în cadrul articolului [124], dispozitiv electronic care va achiziționa datele GPS, le va înregistra și trimite spre analiza și aplicarea modelelor de trafic. Din punct de vedere al construcției pentru acest modul electronic, în figura 4.1 se poate observa schema bloc a acestuia:

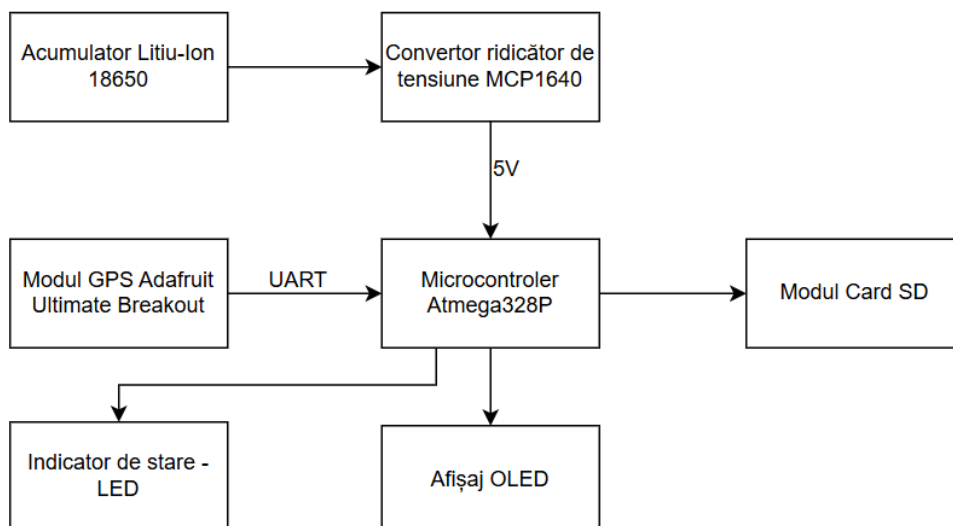


Figura 4.1 Schema bloc a modului de achiziție date trafic [124]

Din punct de vedere al alimentării, a fost folosit tot un acumulator Litiu-Ion 18650, similar cu cel folosit în modulul electronic pentru monitorizarea calității aerului și care a fost prezentat în capitolul precedent. Tot legat de alimentare, deoarece tensiunea electrică maximă a unui astfel de acumulator este de 4.2V, iar componentele din modulul electronic funcționează la 5V, a fost folosit un convertor ridicător de tensiune; acesta este MCP1640 și de asemenea a fost prezentat în capitolul precedent, alături de detaliile de funcționare și rezistorii aleși în divizorul rezistiv pentru a asigura la ieșire tensiunea electrică de 5V.

4.2 Crearea modulului electronic

Modulul electronic descris anterior a fost realizat fizic iar în figura 4.3 se poate observa asamblat cu toate componentele:



Figura 4.3 Modulul electronic în varianta finală- vedere din plan superior

4.3 Testarea modului electronic și implementarea modelelor de trafic

Odată ce modulul a fost creat, a urmat și partea de testare. Datele obținute de la modulul electronic au fost folosite pentru implementarea modelelor de trafic, iar rezultatele se pot observa în tabelul următor. Pentru a putea evalua performanța modelelor de trafic pentru datele folosite, diferența dintre valorile furnizate de model și cele reale, MAPE, eroarea medie absolută procentuală, a fost folosită, iar formula acesteia se poate observa în continuare în ecuația (4.16) [2]. În tabelul 4.1 se pot observa rezultatele obținute, iar Pipes a obținut cel mai bun rezultat pentru situația analizată.

$$MAPE = \left| \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|v_{act} - v_{est}|}{v_{act}} \right| \times 100 \quad (4.16)$$

unde v_{act} și v_{est} reprezintă viteza actuală, și cea reală, iar N reprezintă numărul de înregistrări.

Model trafic utilizat	v_f	k_j	v_c	Ecuație	Valoare MAPE
Greenshields	43.2	100.2	21.6	$v = 4324 \left(1 - \frac{k}{100.2}\right)$	0.0789
Greenberg	-	130.4	20.4	$v = 20.4 \cdot \ln\left(\frac{130.4}{k}\right)$	0.0823
Underwood	52.3	-	26.1	$v = 52.3 \cdot e^{-\left(\frac{k}{51.2}\right)}$	0.0934
Pipes	42.8	90.3	21.4	$v = 42.8 \left(1 - \left(\frac{k}{90.3}\right)^5\right)$	0.0712

Tabel 4.1 Rezultatele în urma aplicării modelelor de trafic

4.4 Aplicarea modelelor de trafic în regim de autostradă

Pentru a se putea compara modelele de trafic, a fost realizată o comparație a acestora și pe date obținute din trafic la nivel de autostradă. Pentru acest scop, au fost folosite date publice provenite după site-ul Autostrăzile Naționale ale Angliei (National Highways of England) despre A2 și din anul 2014. Această bază de date despre trafic conține informații despre date și timp, despre fluxurile de trafic (în vehicule pe oră), și valorile vitezelor (în mile pe oră). Așadar, deoarece aceste date conțin doar valori pentru fluxul de trafic și viteză, iar în modelele care vor fi utilizate este nevoie de viteză și densitatea de trafic, pentru a putea pregăti datele pentru aplicarea modelelor, a fost aplicată ecuația următoare fundamentală între mărimile standard din trafic astfel încât să se obțină densitatea traficului [72]:

$$q = u * k$$

unde q reprezintă fluxul de trafic, u este viteza și k reprezintă densitatea traficului.

Pe baza modelelor de trafic analizate și a rezultatelor R^2 obținute, s-au extras următoarele rezultate din tabelul 4.2, unde se poate observa că modelul Drake a obținut cele mai bune rezultate. Modelul Drake se distinge prin obținerea constantă a celei mai mari valori ale coeficientului R^2 dintre modelele de trafic analizate, deoarece poate să ofere estimări bune pentru viteză în condiții de flux liber, precum și pentru viteza și densitate la atingerea capacității maxime [147].

Tabel 4.2 Comparația parametrilor modelelor de trafic

Model de trafic	u_f Km/h	k_j Veh/km	u_c Km/h	k_c Veh/km	R^2
Greenshields	119.2	150.4	59.6	75.2	0.76
Underwood	122.4	-	61.2	73.4	0.80
Greenberg	-	180.4	28.7	55.11	0.61
Drake	123.4	-	73.9	106.23	0.91
Robertson	120.5	140.3	64.2	84.5	0.74
Van Aerde	121.8	138.2	62.3	83.2	0.70
Northwestern	122.8	-	71.4	85.6	0.88

Capitolul 5

Prezicerea traficului și a vitezei prin algoritmi de învățare automată

Învățarea automată este o ramură a inteligenței artificiale care permite sistemelor să își îmbunătățească performanța pe baza experienței, fără a fi nevoie de instrucțiuni explicite din partea unui programator. Acest progres este posibil datorită cantității uriașe de date disponibile în prezent, permițând mașinilor să fie antrenate în loc să fie pur și simplu programate.

Tehnologiile de învățare automată sunt tot mai frecvent aplicate în sistemele moderne de control al traficului rutier, având potențialul de a reduce semnificativ congestia din marile orașe. Spre deosebire de metodele clasice, bazate pe reguli fixe sau programări rigide ale semafoarelor, algoritmi de învățare automată pot analiza în mod continuu datele colectate din teren și pot adapta strategiile de control în funcție de contextul dinamic al traficului [30]. Aceste date pot proveni dintr-o varietate de surse, precum senzori inductivi încorporați în carosabil, camere video, sisteme GPS instalate pe vehicule, aplicații mobile sau infrastructuri inteligente de tip V2X (Vehicle-to-Everything).

Pe baza acestor informații, modelele de machine learning pot anticipa valorile de trafic în diferite zone ale rețelei rutiere, pot detecta în timp real formarea aglomerărilor și pot oferi soluții de optimizare a fluxurilor. De exemplu, algoritmi precum rețelele neuronale recurente sau modelele LSTM (Long Short-Term Memory) sunt utilizați pentru a prezice evoluția fluxului de trafic pe termen scurt, în timp ce metodele de învățare prin întărire pot fi aplicate pentru reglarea adaptivă a ciclurilor de semaforizare, în funcție de condițiile din intersecții. În același timp, rețelele convoluționale permit interpretarea imaginilor video pentru detectarea automată a incidentelor sau a comportamentului neobișnuit al vehiculelor.

Prin combinarea acestor abordări, se obțin sisteme capabile să reacționeze rapid la modificările din trafic, să distribuie mai eficient fluxurile de vehicule și să reducă timpul de așteptare în intersecții. Efectele directe sunt vizibile în scăderea duratei călătoriilor, reducerea consumului de combustibil și a emisiilor de gaze cu efect de seră, precum și în creșterea siguranței rutiere. În plus, aceste sisteme pot învăța din comportamentele trecute și pot îmbunătăți constant deciziile luate, fără a necesita reprogramare manuală.

O provocare esențială rămâne integrarea acestor tehnologii într-o infrastructură existentă, adesea învechită sau lipsită de conectivitate digitală. De asemenea, calitatea datelor și viteza de procesare în timp real sunt factori critici pentru performanța modelelor. Cu toate acestea, pe măsură ce orașele devin mai interconectate, iar vehiculele autonome încep să circule alături de cele convenționale, învățarea automată va deveni un element fundamental în orchestrarea unui sistem de mobilitate urbană inteligentă, adaptivă și sustenabilă.

5.1 Algoritmii de învățare automată utilizați

În prezicerea traficului, algoritmii de învățare automată sunt utilizați pentru a analiza date istorice și în timp real, oferind estimări precise despre fluxul de vehicule, timpii de deplasare și eventualele ambuteiaje. Acești algoritmi pot fi împărțiți în mai multe categorii, precum învățare supervizată, învățare nesupervizată, învățare semi-supervizată sau prin recompensă.

În cadrul articolului [123], au fost folosiți următorii algoritmi de învățare automată: Arborele de decizie (Decision Tree), Mașini cu Vectori de Suport (SVM, Support Vector Machine în engleza) și Pădurea Aleatoare (Random Forest).

5.2 Studii de caz pentru algoritmii de învățare automată în trafic

Algoritmii prezentați alături de metricile aferente au fost folosite în evaluarea diferitelor probleme de trafic care au fost prezentate în cadrul articolului [123] la conferința 2022 14th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI). Pentru implementarea acestor algoritmi a fost nevoie de date din trafic, iar acestea sunt cele de tip GPS, a căror achiziție și prelucrare a fost prezentată în capitolul precedent; s-au folosit pentru aceste studii de caz mesajele de tip \$GPRMC care conțin informațiile esențiale pentru algoritmi și implementarea lor și anume locația (latitudine și longitudine), viteza și respectiv timpul. În imaginea următoare, figura 5.1, se poate observa aria de interes de unde datele au fost colectate, având în partea stângă punctul de plecare, respectiv în partea dreapta punctul de sosire.



Figura 5.1 Aria de interes pentru achiziția datelor [123]

În această lucrare publicată, au fost analizate mai multe situații folosind algoritmii de învățare automată prezentați anterior: viteza vehiculului a fost studiată raportat la ora din zi, abordând această situație ca o problemă de regresie. De asemenea, a fost examinată variația vitezei în funcție de ziua săptămânii, alături de o analiză a vitezelor vehiculelor în trafic și de calcularea nivelului de congestionare a traficului.

În ceea ce privește prima situație menționată, și anume viteza vehiculelor în funcție de ora din zi (între 8:00 și 20:00), antrenarea și testarea algoritmilor au generat valori specifice pentru metricile de evaluare. Pe baza analizării acestei situații și aplicării algoritmilor de învățare automată, tratând această problemă ca una de regresie și aplicând metricile corespunzătoare, au fost obținute următoarele rezultate:

Tabel 5.2 Rezultatele metricilor de evaluare pentru prima problemă analizată [123]

Algoritm	R^2	MSE	RMSE	MAE
Support Vector Machine	0.72	8.86	2.97	4.92
Random Forest	0.80	6.10	2.46	3.10
Decision Tree	0.82	6.23	2.49	3.68

Cel mai bun rezultat pe baza metricilor se poate observa ca rezultatele sunt similare, Decision Tree obținând valori puțin mai bune pentru metricile folosite la analizarea performanțelor.

Pentru cea de a doua situație analizată, cu determinarea vitezei pe baza zilei săptămânii, această situație a fost analizată ca o problemă de clasificare. Au fost aplicați cei trei algoritmi prezentați în acest capitol, iar apoi au fost aplicate metricile de evaluare a performanței pentru o problemă de tip clasificare. În tabelul 5.3 se pot observa rezultatele obținute de metricile de evaluare pentru fiecare algoritm:

Tabel 5.3 Rezultatele metricilor de evaluare pentru a doua problemă analizată [123]

Algoritm	Acuratețea	Precizia	Sensibilitatea	Scorul F1
Decision Tree	78%	73.45%	73%	73.22%
Support Vector Machine	77%	75.12%	72%	73.53%
Random Forest	81%	79.45%	74%	76.63%

Din acest tabel se poate observa faptul că algoritmul de învățare Random Forest a obținut cele mai bune rezultate pentru toate metricile de evaluare a performanței, ceilalți doi algoritmi având performanțe similare.

Capitolul 6

Îmbunătățirea siguranței traficului și reducerea emisiilor printr-un sistem de recompense și blockchain

Traficul rutier a crescut considerabil în ultimele decenii, iar această creștere a adus cu sine îngrijorări legate de siguranță, atât pe termen scurt, cum ar fi accidentele și ambuteiajele, cât și pe termen lung, precum deteriorarea calității aerului sau problemele de sănătate cauzate de expunerea prelungită la emisii nocive. Aceste probleme au fost abordate prin politici și reglementări cu un succes variabil. Până de curând, majoritatea politicilor și reglementărilor au vizat sectorul industrial, dar, în prezent, cele mai multe probleme de trafic rutier sunt generate de indivizi. Traficul vehiculelor, în special în orașele aglomerate, are un impact semnificativ asupra amprente de emisii a fiecărui individ și expune șoferii și pietonii unor riscuri crescute, cauzate de comportamente agresive în trafic, mai ales în mediul urban.

Pentru a putea îmbunătăți siguranța în trafic, cât și a monitoriza și reduce emisiile de poluanți proveniți de la vehicule, a fost proiectat un sistem de recompense, în care au fost achiziționate date reale din trafic, urmând ca acestea să fie folosite pentru un sistem de recompense creat pe bază de blockchain. Din punct de vedere al poluanților monitorizați și a căror cantitate a fost estimată prin diverse metode, aceștia sunt cei care au fost explicați și folosiți în cadrul capitolului 3 al acestei lucrări, dioxidul de carbon (CO_2), monoxidul de carbon (CO) și oxizii de azot (NO_x).

6.1 Achiziționarea datelor de la vehicule

Pentru a putea realiza întregul sistem a fost nevoie de achiziționarea de date reale din timpul sesiunii de condus. De aceea, datele au fost achiziționate de la vehicul prin intermediul unui dispozitiv OBD-II care se va conecta și va trimite date prin tehnologia Bluetooth unei aplicații pe un telefon mobil. OBD-II (On-Board Diagnostics II) este un sistem standardizat de diagnosticare a vehiculelor utilizat pentru monitorizarea și raportarea parametrilor esențiali ai motorului și ale altor componente critice. OBD-II este un sistem de auto-diagnosticare care monitorizează performanța motorului și a sistemelor auxiliare. Acesta colectează și raportează date despre emisii, combustibil, parametri ai motorului și altele, printr-un port de diagnosticare standardizat [79].

Modalitatea de achiziție a datelor, respectiv felul în care funcționează întregul sistem se poate observa în figura următoare, figura 6.1. Astfel datele de la vehicul sunt primite prin OBD-II și ajung pe aplicația instalată pe telefon, iar apoi pot fi trimise către sistemul de blockchain.



Figura 6.1 Schema sistemului utilizat

6.2 Sistemul de recompense implementat

Un sistem de recompense este un mecanism organizat menit să încurajeze apariția comportamentelor dorite, oferind beneficii ca reacție la atingerea unor obiective sau la respectarea anumitor cerințe. Fundamentat pe teoriile motivației și ale învățării prin stimulare pozitivă, un astfel de sistem găsește aplicații variate, de la educație și afaceri până la tehnologii digitale sau managementul traficului urban. Astfel, implementarea unui sistem de recompense implică stabilirea clară a acțiunilor vizate, urmărirea realizării acestora și acordarea de beneficii care să reflecte îndeplinirea lor.

Recompensele pot lua forma unor bunuri materiale, cum ar fi bani, cupoane de reducere, produse, sau a unor elemente simbolice, precum insigne, titluri de onoare ori acces la funcții speciale [4].

În cadrul acestui proiect și sistem, integrarea sistemului de recompense face ca utilizarea tehnologiei blockchain să devină o opțiune ideală. Jetonurile digitale (în engleză token) ale rețelei pot fi transformate într-o monedă virtuală de tip ERC-20, care servesc ca un mecanism de recompensare, astfel că în funcție de comportamentul unui șofer în trafic, poate să fie recompensat sau penalizat [7].

Soluția propusă își bazează componenta de recompensă pe un sistem de calcul al punctelor, care sunt fie adăugate, fie scăzute din contul utilizatorului după fiecare sesiune de condus. Procesul este activat printr-un algoritm al sistemului de recompense, care evaluează viteza vehiculului în comparație cu limita impusă din cadrul zonei în care circulă. Pe baza acestei analize, punctele sunt ajustate conform ecuației 6.1, contribuind la încurajarea unui comportament responsabil în trafic.

$$p_s = \begin{cases} 1, & \text{dacă } \Delta s < 0 \\ 0, & \text{dacă } \Delta s \in [0, 5) \\ -3 \log_2 \left(\frac{\Delta s}{5} \right), & \text{dacă } \Delta s \geq 5 \end{cases} \quad (6.1)$$

unde

Δs = viteza curentă – limita de viteză

Această formulă definește o funcție de recompensă în funcție de variația vitezei Δs , având următoarea interpretare:

- Pentru primul caz, dacă $\Delta s < 0$, atunci $p_s = 1$, acest lucru însemnând că, atunci când valoarea vitezei scade (de exemplu, un șofer reduce consumul sau emisiile față de un prag de referință), utilizatorul primește recompensa maximă posibilă, un punct;
- În al doilea caz, dacă $\Delta s \in [0,5)$, adică Δs este pozitiv, dar mic (mai mic de 5 km/h), atunci $p_s = 0$, șoferul nu primește niciun punct;
- În al treilea caz, dacă diferența $\Delta s \geq 5$, utilizatorul este penalizat. Pentru că logaritmul este aplicat la o fracție și apoi înmulțit cu -3, rezultatul va fi negativ și va descrește pe măsură ce Δs crește.

Această formulă construiește un sistem de recompense bazat pe performanță, astfel că șoferul este încurajat să respecte limita legală de viteză, iar creșterea vitezei peste această limită conduce la penalizarea utilizatorului, iar penalizarea crește într-un mod logaritmic (deci nu liniar, ci progresiv, mai sever pe măsură ce deteriorarea crește). Folosirea funcției logaritmice face ca penalizarea să fie relativ „blândă” la început, dar să crească mai rapid odată cu creșterea valorii Δs . Pragul de 5 km/h este ales ca o limită între toleranță și penalizare.

În figura 6.4 se poate vedea o reprezentare grafică asupra sistemului de recompense:

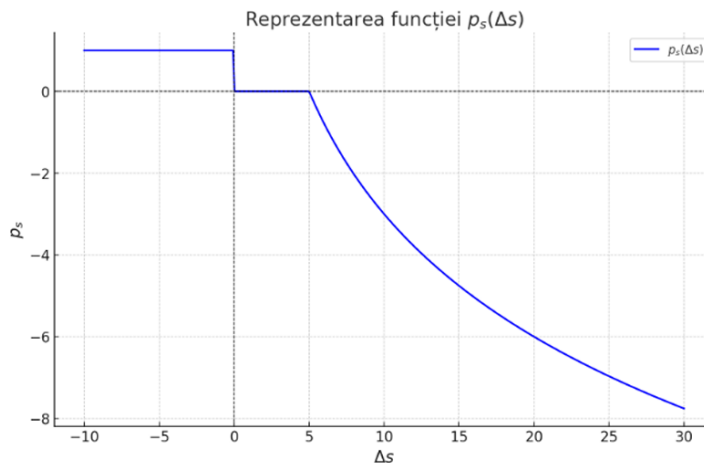


Figura 6.4 Reprezentarea grafică a sistemului de recompense

6.3 Testarea sistemului implementat și rezultatele obținute

Pentru validarea soluției propuse, aceasta a fost testată folosind un vehicul Ford Kuga 2023, echipat cu motor pe benzină de 1.5L și având o rată a emisiilor de CO₂ de 148.95 g/km conform standardelor WLTP [40], [41]. Au fost organizate mai multe curse pe rute similare, în condiții de trafic comparabile. Fiecare traseu a inclus

două sesiuni de conducere distincte: una caracterizată de un stil de conducere agresiv și inefficient, fără respectarea limitelor de viteză și fără preocupări legate de consumul de combustibil, și cealaltă orientată spre un stil de conducere moderat și optimizat, cu accent pe respectarea limitelor de viteză și economia de combustibil. Ambele sesiuni s-au desfășurat în condiții similare de trafic, vreme și moment al zilei. Tabelul 6.3 oferă o perspectivă generală asupra caracteristicilor celor două sesiuni de conducere. Figurile 6.5 și 6.6 ilustrează rutele parcurse în cele două sesiuni și calitatea aerului corespunzătoare. Observațiile indică o calitate mai redusă a aerului în prima sesiune comparativ cu cea de-a doua.

Tabel 6.3 Prezentare generală a sesiunilor de conducere

Stil de condus	Distanța (km)	Timp (min:sec)	Viteza medie (km/h)	Turația motorului (rpm)	Consum mediu
Normal	19.04	32:35	34.25	1485.28	2.13
Agresiv	12.50	27:24	26.59	1550.39	2.32

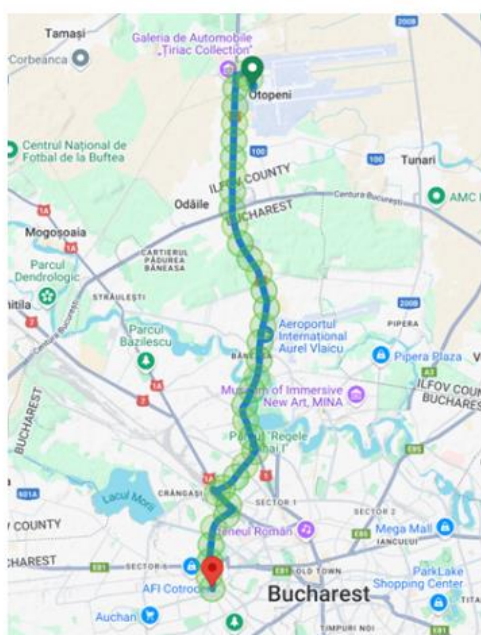


Figura 6.5 Ruta pentru stilul de conducere normal

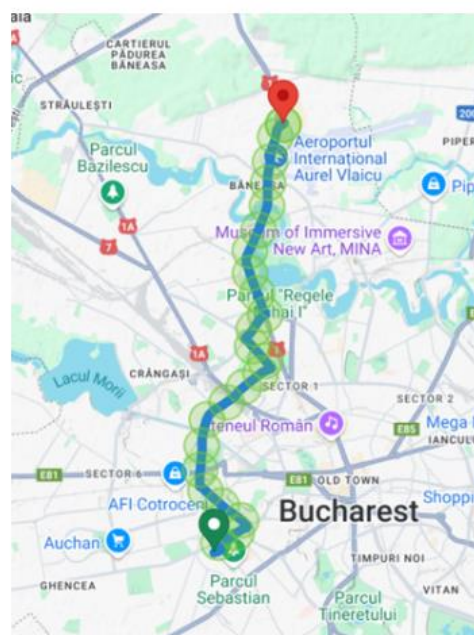


Figura 6.6 Ruta pentru stilul de conducere agresiv

Pe baza celor trei metode de estimare a poluanților (metoda distanței parcurse, metoda IPCC și metoda reacției chimice), pentru cele două sesiuni de conducere, au fost rezultatele din tabelele 6.4 și 6.5. Se poate observa că metoda 3 a obținut cele mai bune rezultate, apropiate de realitate deoarece ține cont de toate reacțiile chimice dintre substanțele implicate și utilizează fluxul de aer masiv.

Tabel 6.4 Estimări ale emisiilor prin metodele prezentate pentru condus normal

Poluant	Metoda 1	Metoda 2	Metoda 3
CO ₂ g/km	120.12	145.21	149.45
CO g/km	0.21	0.31	0.78
NO _x g/km	0.003	0.03	0.04

Tabel 6.5 Estimări ale emisiilor prin metodele prezentate pentru condus agresiv

Poluant	Metoda 1	Metoda 2	Metoda 3
CO ₂ g/km	130.22	147.54	150.21
CO g/km	0.41	0.64	1.35
NO _x g/km	0.005	0.04	0.05

Având în vedere cele prezentate anterior în cadrul acestui capitol, se poate concluziona faptul că sistemul de recompense este benefic pentru siguranța rutieră, ajutând la conștientizarea șoferilor în ceea ce privește stilul de condus. De asemenea, un astfel de sistem este util și în cazul monitorizării emisiilor de poluanți precum cei prezentați și calculați în cadrul acestui capitol: CO₂, CO, și NO_x .

Capitolul 7

Concluzii

Această teză de doctorat a avut ca obiectiv principal implementarea și evaluarea soluțiilor noi de control al traficului având în vedere dezvoltarea și creșterea orașelor din punct de vedere al populației dar și al numărului de vehicule participante la trafic. Odată cu apariția vehiculelor și a primelor sisteme de semnalizare și reguli de circulație, traficul s-a transformat semnificativ, astfel încât pe parcursul anilor au apărut soluții de control și monitorizare adecvate vremurilor. În situația actuală, traficul din marile orașe este într-o continuă transformare, impulsionat atât de urbanizarea accelerată, cât și de creșterea numărului de vehicule, nevoia de mobilitate sustenabilă, astfel că identificarea unor metode eficiente sau inteligente de gestionare a traficului devine esențială.

Traficul rutier nu reprezintă doar un simplu aspect al vieții de zi cu zi, ci este un element important de ținut seama când se analizează un oraș. Circulația vehiculelor reflectă vitalitatea economică, unde se concentrează activitățile sociale, cât de ușor se deplasează oamenii și cât de dezvoltate sunt orașele. Dacă traficul este bine organizat, viața de zi cu zi devine mai ușoară, stresul scade, lucrurile se mișcă mai rapid și mediul este mai protejat.

7.1 Rezultate obținute

În capitolul 1 este prezentat domeniul tezei de doctorat, scopul, respectiv conținutul tezei de doctorat.

În capitolul 2 este prezentată istoria traficului și cele mai importante sistemele de control de traficului. De asemenea au fost realizate simulări într-un program special de simulare a traficului și sunt prezentate rezultatele obținute.

În capitolul 3 sunt prezentate principalele substanțe poluante, respectiv este descris sistemul electronic creat cu scopul de monitorizare a nivelului de poluare. Sunt prezentate componentele constitutive, rezultatele finale alături de testele și experimentele realizate. De asemenea, a fost realizată și prezentată o analiză a traficului și a intersecțiilor din trafic din punct de vedere al teoriei informației.

În capitolul 4 prezintă modelele de trafic alături de caracteristicile acestora, respectiv un modul electronic responsabil de achiziția de date din trafic. Datele obținute au fost folosite pentru implementarea și testarea modelelor de trafic descrise.

În capitolul 5 sunt prezentați algoritmi de învățare automată respectiv diferite cazuri din trafic analizate cu ajutorul principalilor algoritmi de învățare automată cu

scopul de a identifica cel mai potrivit algoritm în funcție de tipul problemei analizate și caracteristicile acesteia.

În capitolul 6 este prezentat un sistem de îmbunătățire a siguranței traficului și de monitorizare a nivelului de poluare prin implementarea conceptelor de sistem de recompense și blockchain.

În capitolul 7 sunt prezentate concluziile acestei teze, alături de rezultatele obținute, conferințele în care au fost prezentate lucrările, respectiv perspectivele viitoare de dezvoltare.

7.2 Contribuții originale

Printre contribuțiile originale în această lucrare amintim:

1. Configurarea și crearea unui test de simulare a sistemului de control al traficului SCOOT în cadrul programului PTV Vissim[4];
2. Proiectarea și implementarea unui sistem electronic capabil să monitorizeze calitatea aerului respectiv condițiile atmosferice astfel încât nivelul de poluare din cadrul unui oraș să fie observat continuu[1];
3. Crearea unui modul electronic cu scopul de achiziționare de date din trafic pentru a putea fi folosite ulterior[5];
4. Adaptarea conceptelor de teoria informației în cadrul analizei traficului și a intersecțiilor[2];
5. Configurarea și implementarea modelelor de trafic pentru situația în care este analizat traficul la nivel de oraș, respectiv la nivel de autostradă[5];
6. Implementarea de algoritmi de învățare automată cu scopul de a prezice viteza medie din trafic în funcție de diferite situații și condiții[3];
7. Crearea și implementarea unui sistem de recompense bazat pe blockchain cu scopul de a îmbunătăți siguranța în trafic și de a crește gradul de informare asupra consecințelor în urma stilului de condus al unui vehicul[1];
8. Evaluarea de diferite metode de estimare a emisiilor unui vehicul pe baza parametrilor furnizați de către acesta prin intermediul dispozitivului OBD-II[1];

7.3 Lista lucrărilor originale

Rezultatele obținute și prezentate în aceasta lucrare de doctorat au fost publicate în următoarele conferințe și reviste:

1. Serban, AA; Frunzete, M, "Electronic System for Monitoring Quality of Air and Atmospheric Conditions with Autonomous Power Supply System", International Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering (ISFEE), NOV 05-07, 2020, Univ Politehnica Buchares, Bucharest, ROMANIA, pp: 1-

- 4, ISBN: 978-1-7281-9038-9, DOI: 10.1109/ISFEE51261.2020.9756153, WOS:000812321500023
2. ȘERBAN, A. A., & FRUNZETE, M. (2021, July). Data obtained from vehicle to manage traffic control. In 2021 International Symposium on Signals, Circuits and Systems (ISSCS) (pp. 1-4). IEEE.
3. Șerban, A. A., & Frunzete, M. (2022, June). Statistical analysis using machine learning algorithms in traffic control. In 2022 14th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI) (pp. 1-4). IEEE.
4. Șerban, A. A., & Frunzete, M. (2022, October). Analysis and comparison between urban traffic control systems. In 2022 IEEE 28th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME) (pp. 92-95). IEEE. WOS:000947243400022
5. ȘERBAN, A. A., & Frunzete, M. (2024, September). Traffic flow models and statistical analysis using compressed data from acquisition module. In 2024 Signal Processing: Algorithms, Architectures, Arrangements, and Applications (SPA) (pp. 183-187). IEEE.
6. Zîrnă, B. A., Mihailovschi, D., Șerban, A. A., & Frunzete, M. C. (2024, September). Design of a Portable EMG and ECG Signal-Based System for Upper Limb Recovery Using Data Compression. In 2024 Signal Processing: Algorithms, Architectures, Arrangements, and Applications (SPA) (pp. 109-114). IEEE.
7. Serban, A. A., Marghescu, C. I., & Drumea, A. (2018, October). Sensor Module for Monitoring Atmospheric Pressure, Temperature and Humidity With Autonomous Power Supply System. In 2018 IEEE 24th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging(SIITME) (pp. 361-364). IEEE. WOS:000466960400077
8. Șerban, A. A., Drumea, A., & Marghescu, C. (2019, October). Electronic module for carbon monoxide monitoring and warning. In 2019 IEEE 25th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME) (pp. 146-170). IEEE. WOS:000564733700030

Articole în curs de publicare:

1. Bogdan Cristian Florea, Alin Alexandru Serban, Dragos Daniel Taralunga(2024 December). Blockchain-Driven Gamification Solution for Improving Road Traffic Safety. In 2024 9th International Conference on Information Systems Engineering (ICISE2024), ISBN: 979-8-4007-1736-9

Articole trimise spre acceptare și publicare:

1. Bogdan Cristian Florea, Alin Alexandru Șerban, Dragoș Daniel Țarălungă, Mădalin Corneliu Frunzete, Blockchain-Driven Gamification Solution for Road Traffic Safety and Emissions Regulation, MDPI Applied Sciences

2. Alin Alexandru Serban, Mădalin Corneliu Frunzete, Corneliu Burileanu, Comparative analysis of macroscopic traffic flow models on highways, UPB Sci. Bull., Series C

Rapoarte de cercetare:

4 rapoarte de cercetare științifică în cadrul SD-ETTI:

1. Raportul științific nr. 1/2021, Sistem electronic pentru monitorizarea calității aerului și a condițiilor atmosferice cu sistem de alimentare autonom (Electronic system for monitoring quality of air and atmospheric conditions with autonomous power supply system)
2. Raportul științific nr. 2/2021, Date obținute de la vehicul pentru a gestiona controlul traficului (Data obtained from vehicle to manage traffic control)
3. Raportul științific nr. 3/2022, Analiză statistică folosind algoritmi de învățare automată în controlul traficului (Statistical analysis using machine learning algorithms in traffic control)
4. Raportul științific nr. 4/2022, Analiză și comparație între sistemele de control ale traficului (Analysis and comparison between urban traffic control systems).

Proiecte la care studentul a participat:

1. ARUT 2023 - Compression algorithm for medical signal storage recorded with wearable devices (Algoritm de compresie pentru stocare de semnal medical înregistrat cu dispozitive de tip wearable), MedCS (ID: 220235152)

7.4 Perspective de dezvoltare ulterioară

Problema traficului congestionat reprezintă o problemă actuală care încă nu este rezolvată deoarece conform celor de la TomTom și statisticilor prezentate încă din introducere, traficul este congestionat în marile orașe, iar oamenii pierd mult timp în trafic pentru a se deplasa dintr-o anumită zonă în cealaltă.

Odată cu ascensiunea vehiculului inteligent, dotat cu tehnologie avansată și capabil să interacționeze cu Internetul, trebuie ținut cont și de un alt aspect important în zilele noastre și anume securitatea datelor și protecția împotriva accesului neautorizat. Astfel de mașini moderne nu doar colectează și transmit informații, dar integrează și o rețea complexă de elemente, inclusiv zeci de unități de control electronic (ECU-uri), senzori, rețele de comunicație CAN, conectivitate prin Wi-Fi, Bluetooth, și rețele mobile avansate precum 4G și 5G. Mai mult, actualizările software la distanță facilitează îmbunătățirea constantă a funcționalităților, însă sporesc și riscurile asociate.

Tot din punct de vedere al perspectivelor de dezvoltare, în afară de securitatea datelor, trebuie ținut cont și de viteza transmisiei datelor de la și către vehiculele inteligente, astfel că rețeaua de tip 5G reprezintă o soluție sigură și eficientă deoarece

deține o latență foarte redusă (de aproximativ 1-10 ms), lățime de bandă ridicată și capacitatea de a conecta simultan un număr mare de dispozitive mobile. Datorită acestor funcționalități, vehiculele pot stabili o comunicare directă și continuă atât între ele, cât și cu elementele infrastructurii rutiere (Vehicle-to-Everything – V2X), ceea ce sporește considerabil siguranța pe drumuri și ajută la fluidizarea traficului.

Bibliografie

- [2] Ahmad Abubakar, Mahmud M Jibril, Carlos FM Almeida, Matheus Gemignani, Mukhtar N Yahya, and Sani I Abba. A novel hybrid optimization approach for fault detection in photovoltaic arrays and inverters using ai and statistical learning techniques: a focus on sustainable environment. *Processes*, 11(9):2549, 2023.
- [4] Naresh C Agarwal. Reward systems: Emerging trends and issues. *Canadian Psychology/Psychologie Canadienne*, 39(1-2):60, 1998.
- [7] Mohammed Rehan Ansari, Navratan Navratan, and KM Umamaheswari. A study of awarding student achievement using blockchain. *Linguistics and Culture Review*, pages 823–836, 2021.
- [11] J Carlos Aydos and Andrew O’Brien. Scats ramp metering: strategies, arterial integration and results. In *17th international IEEE conference on intelligent transportation systems (ITSC)*, pages 2194–2201. IEEE, 2014.
- [15] Alexander York Bigazzi and Mathieu Rouleau. Can traffic management strategies improve urban air quality? a review of the evidence. *Journal of Transport & Health*, 7:111–124, 2017.
- [30] DataScienceCentral. How machine learning is changing the world, 2023. URL <https://www.datasciencecentral.com>. Accesat la data de 16.04.2023.
- [34] University of Memphis Department of Civil Engineering. Traffic engineering, Accessed 2025. URL <https://www.ce.memphis.edu/4162/>. Accessed: 14 April 2024.
- [40] Ford Europe. Ford kuga - european technical specifications, 2025. URL https://media.ford.com/content/dam/fordmedia/Europe/documents/productReleases/Kuga/Kuga_Euro_TechSpec.pdf. Accesat: 15 Ianuarie 2025.
- [41] Ford Europe. Ford kuga - wltip information for diesel models (pre-april 2023), 2025. URL https://www.wltipinfo.com/model/ford_europe/kuga_model_year_pre_2023-04/Diesel.html. Accesat: 15 Ianuarie 2025.
- [43] Madalin Frunzete and Anca Andreea Popescu. Information channel theory for traffic control. In *2016 International Conference on Communications (COMM)*, pages 477–480. IEEE, 2016.
- [53] Shuai Hua, Manika Kapoor, and David C Anastasiu. Vehicle tracking and speed estimation from traffic videos. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*, pages 153–160, 2018.
- [68] Alessandra La Notte, Stefania Tonin, and Greti Lucaroni. Assessing direct and indirect emissions of greenhouse gases in road transportation, taking into account the role of uncertainty in the emissions inventory. *Environmental Impact Assessment Review*, 69:82–93, 2018.

- [72] Yue Li, Huapu Lu, Changzhi Bian, and Ya Gang Sui. Traffic speed-flow model for the mix traffic flow on beijing urban expressway. In 2009 International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, volume 3, pages 641–644. IEEE, 2009.
- [79] Keith McCord. Automotive Diagnostic Systems: Understanding OBD I and OBD II. CarTech Inc, 2011.
- [99] Daniel Pavleski, Daniela Koltovska-Nechoska, and Edouard Ivanjko. Evaluation of adaptive traffic control system utopia using microscopic simulation. In 2017 International Symposium ELMAR, pages 17–20. IEEE, 2017.
- [122] Alin Alexandru , Serban and Madalin Frunzete. Analysis and comparison between urban traffic control systems. In 2022 IEEE 28th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME), pages 92–95. IEEE, 2022.
- [123] Alin Alexandru , Serban and Madalin Frunzete. Statistical analysis using machine learning algorithms in traffic control. In 2022 14th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), pages 1–4. IEEE, 2022.
- [124] Alin Alexandru , SERBAN and Madalin Frunzete. Traffic flow models and statistical analysis using compressed data from acquisition module. In 2024 Signal Processing: Algorithms, Architectures, Arrangements, and Applications (SPA), pages 183–187. IEEE, 2024.
- [146] K Wood, JP Palmer, and RD Bretherton. Congestion analysis and diagnosis in utc networks. In *Seventh International Conference on Road Traffic Monitoring and Control, 1994.*, pages 172–176. IET, 1994.
- [147] Siqi Xie and SC Wong. A bayesian inference approach to the development of a multidirectional pedestrian stream model. *Transportmetrica A: transport science*, 11(1):61–73, 2015.
- [154] Bo Zhang, Qing Wang, Fen Liu, and Lu Kang. Bus signal priority based on scoot. In 2017 International Smart Cities Conference (ISC2), pages 1–4. IEEE, 2017.