



UNIVERSITATEA DIN PETROȘANI
ȘCOALA DOCTORALĂ

TEZĂ DE DOCTORAT
REZUMAT

CONDUCĂTOR DE DOCTORAT:
PROF.UNIV.HABIL.DR.ING. LEBA MONICA

STUDENT DOCTORAND:
ING. RUS NELUȚU-COSMIN

2022

UNIVERSITATEA DIN PETROȘANI
ȘCOALA DOCTORALĂ

**CONTRIBUȚII PRIVIND UTILIZAREA
AUTOVEHICULELOR ELECTRICE ÎN
SPAȚII ÎNCHISE**

CONDUCĂTOR DE DOCTORAT:
PROF.UNIV.HABIL.DR.ING. LEBA MONICA

STUDENT DOCTORAND:
ING. RUS NELUȚU-COSMIN

2022

Cuprins

Introducere	5
Capitolul 1 - Stadiul actual al cercetărilor din domeniul vehiculelor electrice	8
Obiectivele capitolului	8
1.1 Scurt istoric al mașinilor electrice	8
1.2 Vehicule rutiere electrice din Uniunea Europeană	16
1.2.1 Evoluția vehiculelor electrice pe piața Uniunii Europene	16
1.2.2 Impactul asupra sănătății și asupra mediului	19
1.3 Cercetări privind vehicule electrice	22
1.4 Cercetări privind vehiculele electrice autonome	26
Concluziile capitolului	39
Capitolul 2 – Metodologia cercetării	42
O1. Identificarea stadiului actual al utilizării vehiculelor electrice	43
O2. Proiectarea părții de acționare și conducere pentru un ATV electric	44
O2.1. Alegerea sistemului de acționare. Modelare și simulare	44
O2.2. Conducerea motorului printr-un algoritm bazat pe teoria distribuțiilor	49
O3. Proiectarea sistemului de comunicație	51
O3.1. Proiectarea și realizarea dispozitivelor de comunicație LoRa	51
O3.2. Proiectarea sistemului de localizare LoRa în spații închise	52
O4. Integrarea senzorilor în sistemul ATV electric cu LoRa	56
O4.1. Identificarea soluțiilor de mapare LIDAR	56
O4.2. Identificarea soluțiilor pentru recunoașterea mediului înconjurător	56
O4.3. Identificarea tipurilor de senzori pentru analiza parametrilor de mediu	57
O5. Realizarea aplicației practice în cadrul unui sistem de investigare a unui spațiu închis	58
Capitolul 3 - Proiectarea și realizarea autovehiculului electric	60
Obiectivele capitolului	60
3.1 Introducere	60
3.2 Stabilirea ecuațiilor matriceale intrare-stare-ieșire	60
3.3 Simularea funcționării motorului de inducție	67
3.4 Teoria distribuțiilor	75
3.4.1 Distribuții elementare	76
3.4.2 Distribuții compuse	80
3.5 Simularea conducerii motorului de inducție pe baza teoriei distribuțiilor	81
3.5.1 Modelarea și simularea invertoarelor PWM trifazate	82
3.5.2 Realizarea practică invertorului trifazat cu IGBT-uri	88
Concluziile capitolului	94

Capitolul 4 - Proiectarea rețelei de senzori LoRa	96
Obiectivele capitolului	96
4.1 Introducere	96
4.2 Tipuri de tehnologii de comunicație destinate IoT	97
4.2.1 IEEE802.15.4	97
4.2.2 Bluetooth / LE	97
4.2.3 IEEE 802.11 ah	98
4.2.4 Sigfox	98
4.2.5 DASH7	98
4.2.6 LoRa	99
4.3 Componentele unei rețele LoRa	100
4.4 Protocolul de comunicație LoRaWAN	105
4.5 Soluție de achiziție date folosind LoRa	113
4.6 Aplicație de localizare folosind rețeaua LoRa	115
4.6.1 Principii de localizare	117
4.6.2 Localizare folosind LoRa	122
Concluziile capitolului	134
Capitolul 5 – Navigarea autonomă	136
Obiectivele capitolului	136
5.1 Vehiculele autonome	136
5.2 Integrarea senzorilor în structura sistemului vehiculului electric	139
5.3 RPLIDAR A2	143
5.4 Implementare LiDAR pentru vehiculul electric	146
5.5 Simularea algoritmului de navigare autonomă	150
Concluziile capitolului	162
Capitolul 6 - Concluzii, contribuții și direcții de dezvoltare ulterioară	163
Bibliografie	167

Introducere

Dezvoltările tehnologice extraordinar de rapide din ultimii ani se regăsesc din ce în ce mai mult și în ceea ce privește industria producătoare de autoturisme reușindu-se să se realizeze vehicule la care acum câțiva ani de zile nici nu visam, autoturismele zilelor noastre devenind din ce în ce mai asemănătoare cu sisteme complexe de senzori și traductoare precum și cu sisteme informatice de management și control al tuturor funcțiilor. Astfel aceste avansuri tehnologice precum și îngrijorările din ultimii ani cu privire la impactul major al vehiculelor cu motoare cu ardere internă alimentate cu combustibili fosili asupra mediului înconjurător și implicit asupra vieților noastre, au deschis mai multe direcții de cercetare cu privire la proiectarea și realizarea unor vehicule electrice care nu poluează în mod direct.

Conform studiilor de specialitate transportul rutier este cauza principală a poluării aerului în marile orașe ale lumii și implicit și ale Europei, unde peste 400 000 de cetățeni mor prematur în fiecare an și alte milioane de persoane au boli respiratorii și cardiovasculare ca urmare a calității neadecvate a aerului. Transportul rutier este responsabil pentru aproximativ 40% din emisiile de oxizi de azot (NO_x) din Europa, majoritatea provenind din cauza vehiculelor cu motoare cu ardere internă alimentate cu motorină. Vehiculele electrice nu emit CO₂ și au emisii poluante indirecte semnificativ mai mici decât vehiculele convenționale. Chiar dacă producerea de energie electrică generează și poluare, întrucât centralele sunt de obicei situate departe de orașe, poluarea pe care o provoacă are un impact mai mic asupra sănătății umane decât poluarea provenită din cauza vehiculelor convenționale. Astfel că, deși pentru ca un vehicul electric să fie 100% nepoluant ar trebui încă să se mai găsească cele mai bune soluții cu privire la toate elementele constructive care în procesul de realizare pot emite factori poluanți și reîncărcarea bateriilor acestora să fie realizată prin intermediul unor facilități de producere a energiei electrice utilizând surse de energie regenerabile (fotovoltaice, eoliene), acest tip de vehicul este din ce în ce mai întâlnit în viața de zi cu zi mai ales în marile aglomerări urbane și ar putea contribui cu până la 43% la reducerea emisiilor de dioxid de carbon comparativ cu un vehicul clasic cu motor cu ardere internă alimentat cu benzină, motorină sau cu alte hidrocarburi. O altă caracteristică deosebită a vehiculelor electrice este aceea reprezentată de dimensiunile lor reduse astfel făcându-le candidații ideali pentru diferite aplicații în interiorul unor facilități private sau industriale. Datorită faptului că nu emit poluare în mod direct și au în general dimensiuni reduse, vehiculele electrice sunt întâlnite din ce în ce mai des în hale industriale, fabrici și alte incinte industriale ori ca vehicule cu ajutorul cărora se manipulează diferite mărfuri ori ca și mijloc de transport.

Astfel că pornind de la ideile mai sus menționate cu privire la preocupările din ce în ce mai profunde legate de găsirea celor mai bune soluții cu privire la reducerea poluării rezultate în urma creșterii impresionante a numărului de vehicule de pe străzile marilor orașe și de la noile concepte și realizări ale tehnologiei vehiculelor electrice s-a definit cadrul general de dezvoltare al unui vehicul electric adaptabil și cu funcții inteligente. Cercetarea

prezentată în această teză de doctorat se încadrează perfect în preocupările actuale cu privire la realizarea unor vehicule electrice de mici dimensiuni ce au capacități de tip inteligent care pot fi folosite în spații industriale închise sau ca platforme mobile de monitorizare a unor parametri de mediu datorită lipsei oricărei emisii directe de poluare care ar putea influența sau altera valorile respectivilor parametrii.

Obiectivul principal al prezentei teze de doctorat este reprezentat de proiectarea și realizarea unui sistem care să integreze vehicule electrice, o rețea de comunicație pretabil a fi utilizată în spații industriale închise și un sistem de localizare a vehiculelor în acest tip de spațiu precum și un sistem de cartografiere utilizabil apoi pentru realizarea unor algoritmi de conducerea autonomă.

Pe baza obiectivului general s-au definit 4 mari obiective după cum urmează:

OB.1.: Proiectarea părții de acționare și conducere pentru un vehicul electric

OB.2.: Proiectarea și implementarea sistemului de comunicație și a sistemului de localizare

OB.3.: Integrarea senzorilor în cadrul structurii funcționale a vehiculului electric

OB.4.: Realizarea implementării practice a întregului sistem construit.

Teza de doctorat este structurată într-un capitol introductiv, un capitol care prezintă metodologia cercetării, trei capitole de conținut teoretic și aplicativ, un capitol de concluzii, contribuții și dezvoltări ulterioare precum și un capitol cu referințe bibliografice relevante pentru cercetare.

Capitolul 1 - Stadiul actual al cercetărilor din domeniul vehiculelor electrice

În acest prim capitol al tezei de doctorat cu titlul *Contribuții privind utilizarea autovehiculelor electrice în spații închise* se face o introducere succintă în ceea ce privește istoricul vehiculelor electrice prezentându-se faptul că primul vehicul de acest tip în forma sa rudimentară a fost realizat în jurul anului 1828. Între anii 1828 și 1835 apar din ce în ce mai multe vehicule electrice de mici dimensiuni. Anii 1889-1891 aduc în Statele Unite ale Americii un succes incredibil în ceea ce privește dezvoltarea acestor vehicule. Apogeul acelei perioade în dezvoltarea vehiculelor electrice este atins între anii 1900 și 1912. Perioada 1920-1935 este considerată punctul de declin în industria auto electrică odată cu descoperirea petrolului. Criza prețului petrolului din anii 1970 readuce în discuție dezvoltarea unor vehicule propulsate cu ajutorul energiei electrice dar acest trend nu se menține mult timp din cauza multiplelor dezavantaje ale vehiculelor electrice comparativ cu vehiculele cu motoare cu ardere internă. Anii 1990, odată cu noile reglementări cu privire la găsirea unor modalități de diminuare a poluării, creează un nou punct de interes pentru dezvoltarea unor astfel de vehicule. Avansul tehnologic în ceea ce privește dezvoltarea tuturor elementelor constructive ale unui vehicul electric și îngrijorările tot mai mari legate

de creșterea emisiilor de gaze cu efect de seră mențin și în prezent trendul de intensificare a realizării și utilizării pe scară largă a vehiculelor electrice.

Chiar dacă Statele Unite ale Americii alături de China sunt considerate pionieri în industria auto electrică și în Europa se observă o creștere a interesului pentru vehiculele electrice. Majoritatea vehiculelor electrice rutiere sunt concentrate în mai multe state europene nordice și vestice, deși sudul și estul Europei au înregistrat recent cea mai mare creștere a vânzărilor. Conform unor analize de specialitate, se poate observa cum piața vehiculelor electrice din Europa a început să crească constant începând cu anul 2018. La nivel global între anii 2010 și 2021 s-au vândut și pus în circulație peste 17.607.610 de vehicule electrice atât vehicule pur electrice cât și vehicule hibride plug-in electrice. Recordul de vânzare a vehiculelor electrice a fost atins în anul 2021 când în ciuda pandemiei Covid -19 și a problemelor provocate de aceasta în întreg procesul de fabricație, s-au vândut peste 120.000 de vehicule electrice pe săptămână. Piața vehiculelor electrice a început să crească în Europa și pe fondul conștientizării efectelor nocive ce le pot avea gazele cu efect de seră. În ciuda îmbunătățirilor tehnologice, transportul este în continuare responsabil pentru aproximativ un sfert din emisiile de gaze cu efect de seră (GES) ale Europei, care contribuie substanțial la schimbările climatice. În timp ce în alte sectoare, emisiile de GES au scăzut treptat începând cu 1990, cele din transport au început să scadă doar în 2007 și rămân în continuare mari. În sectorul transporturilor, transportul rutier este de departe cel mai poluator, reprezentând aproximativ 80% din totalul emisiilor de GES din transportul UE.

Obiectivul UE este de a reduce emisiile de GES cu cel puțin 40% sub nivelurile din 1990 până în 2030. În special pentru transport, scopul este de a reduce emisiile de GES cu 60% față de nivelurile din 1990 până în 2050.

În cadrul acestui capitol se face și o prezentare a stadiului actual al dezvoltării vehiculelor electrice făcându-se o trecere în revistă a celor mai importante lucrări de specialitate din domeniu care reliefează faptul că un astfel de vehicul ar putea contribui cu până la 43% la reducerea emisiilor de dioxid de carbon comparativ cu un vehicul clasic cu motor cu ardere internă alimentat cu benzină, motorină sau cu alte hidrocarburi. Se prezintă cele mai importante provocări din industria auto electrică și se scot în evidență acțiunile ce ar trebui să fie făcute de către decidenții politici în ceea ce privește dezvoltarea acestui segment al transportului. Mare parte din literatura de specialitate studiază și tehnologiile conexe dezvoltării vehiculelor electrice și se ocupă și de latura social economică a acestui nou concept de dezvoltare sustenabilă în domeniul transportului. După ce se face o analiză a cercetărilor cu privire la modelarea, proiectarea și realizarea tuturor elementelor ce se regăsesc în cadrul unui vehicul electric se prezintă și noi perspective de viitor după cum rezultă din cercetările actuale studiate.

Capitolul continuă oarecum firesc privind trendul actual astfel că, după ce se prezintă realizările notabile despre întreaga tehnologie a vehiculelor electrice, se trece către prezentarea unor cercetări cu privire la vehiculele electrice autonome. Se prezintă conceptul de vehicul autonom și se face o clasificare a tipurilor de automatizare ce se regăsesc sau se pot regăsi într-un vehicul electric. Vehiculele electrice autonome reprezintă trecerea

oarecum firească în contextul actual către crearea unui vehicul 100% autonom care să poată să se deplaseze fără intervenția unei persoane, să poată lua decizii rapide și să se adapteze oricărei schimbări bruște atât în ceea ce privește mediul de rulare cât și propria sa funcționare, toate aceste lucruri desfășurându-se pe un fond general de dezvoltare sustenabilă. Vehiculele autonome sunt acele vehicule care cu ajutorul unor senzori pot să preia date din mediul înconjurător, să le înțeleagă pentru ca mai apoi să poată acționa în consecință. Aceste tipuri de vehicule se ghidează după trei principii esențiale: simț, gândire și acțiune. În momentul de față nu există vehicule autonome 100% care să nu aibă nevoie de măcar prezența unei persoane care să poată interveni în caz de pericol. Se prezintă, cu referiri la multe lucrări de specialitate, principalele caracteristici funcționale ale unui vehicul autonom precum și multiplele sisteme hardware și software ce trebuie să fie integrate într-un vehicul electric pentru ca acesta să devină autonom. Astfel că, plecând de la problematica etică a acestui nou domeniu de cercetare care pune accentul pe cât de mult sau cât de puțin un șofer al unui vehicul va da voie acestuia să ia diferite hotărâri și cine va fi responsabil pentru acestea și până la realizarea întregului algoritm de funcționare al unui vehicul electric autonom, sunt prezentate o serie de realizări științifice deosebite. Sunt prezentate diferite modele operaționale de simulare, implementare și funcționare a unor vehicule autonome și sunt descrise mai multe sisteme auxiliare întâlnite în aceste tipuri de vehicule.

Realizarea unui vehicul electric de mici dimensiuni care poate să fie utilizat ca o alternativă viabilă la vehiculele clasice cu combustie internă reprezintă atât pentru România cât și pentru Universitatea din Petroșani un punct de real interes în cadrul încercărilor de a aduce plus valoare în cercetările cu privire la dezvoltarea unor alternative sustenabile în ceea ce privește transportul.

Din analiza tuturor lucrărilor de specialitate studiate și descrise în acest capitol se observă că domeniul utilizării vehiculelor electrice cu navigare autonomă în spații închise nu a fost suficient abordat în cercetare și se propune adaptarea modelelor de conducere studiate la particularitățile navigării în spații închise.

Din studiul literaturii de specialitate rezultă scopul cercetării, proiectarea unui sistem care să integreze vehicule electrice și o rețea de comunicație cu posibilitatea de localizare în spații închise.

Capitolul 2 - Metodologia cercetării

Prezintă detaliat instrumentele suport utilizate și activitățile efectuate pentru atingerea scopului cercetării. Sunt prezentate etapele de proiectare, modelare și simulare în Matlab Simulink precum și etapele de implementare a fiecărui subsistem din cadrul ansamblului general al vehiculului electric cu capabilități inteligente.

Prezenta teză de doctorat cu titlul „**Contribuții privind utilizarea autovehiculelor electrice în spații închise**” se încadrează în domeniul cercetării științifice aplicative iar subiectul acestui capitol al metodologiei cercetării răspunde obiectivului general și obiectivelor derivate. Cercetarea din prezenta teză își propune să ofere soluții relativ simple de implementat pentru rezolvarea problemei identificate și anume realizarea unui vehicul

electric inteligent care poate fi utilizat în regim de conducere normală sau autonomă în interiorul unor spații închise. Pentru realizarea acestui deziderat, prezenta teză de doctorat, prezintă în mod detaliat toate etapele de proiectare, modelare, simulare și implementare a unor concepte software și hardware în ceea ce privește partea de acționare electrică a unui vehicul, integrarea acestuia într-o rețea de senzori, realizarea unui protocol de comunicație și a unui sistem de localizare pretabile a fi utilizate în interiorul unor incinte închise de tipul unor hale industriale.

Cercetarea prezentată în această teză de doctorat se încadrează perfect în preocupările actuale cu privire la realizarea unor vehicule electrice de mici dimensiuni ce au capacități de tip inteligent care pot fi folosite în spații industriale închise. După consultarea mai multor articole din literatura de specialitate care au fost prezentate în primul capitol al acestei teze de doctorat și care au prezentat stadiul actual al dezvoltării vehiculelor electrice inteligente, unele cu capacități de conducere în regim autonom, s-a concluzionat faptul că nu sunt multe referiri cu privire la conducerea unui vehicul electric de mici dimensiuni în interiorul unor incinte industriale închise. Observând această nișă de cercetare încă prea puțin studiată atât la nivel mondial cât și la nivel național au fost formulate mai multe obiective specifice pentru realizarea prezentei cercetări.

Obiectivul general al prezentei teze de doctorat este proiectarea și realizarea unui sistem care să integreze vehicule electrice, o rețea de comunicație pretabil a fi utilizată în spații industriale închise și un sistem de localizare a vehiculelor în acest tip de spațiu precum și un sistem de cartografiere utilizabil apoi pentru conducerea autonomă.

Obiective operaționale:

O1. Identificarea stadiului actual al utilizării vehiculelor electrice (aplicații, direcții de cercetare abordate)

O2. Proiectarea părții de acționare și conducere pentru un ATV electric

Obiective specifice:

O2.1. Alegerea sistemului de acționare. Modelare și simulare

O2.2. Conducerea motorului printr-un algoritm bazat pe teoria distribuțiilor

O3. Proiectarea sistemului de comunicație

Obiective specifice:

O3.1. Proiectarea și realizarea dispozitivelor de comunicație LoRa

O3.2. Proiectarea sistemului de localizare LoRa în spații închise

O4. Integrarea senzorilor în sistemul ATV electric cu LoRa

Obiective specifice:

O4.1. Identificarea soluțiilor de mapare LIDAR

O4.2. Identificarea soluțiilor pentru recunoașterea mediului înconjurător

O4.3. Identificarea tipurilor de senzori pentru analiza parametrilor de mediu

O5. Realizarea aplicării practice în cadrul unui sistem de investigare a unui spațiu închis

Capitolul 3 - Proiectarea și realizarea autovehiculului electric

Obiectivul principal al acestui capitol a fost realizarea unui vehicul electric pornind de la alegerea platformei funcționale asupra căreia s-a lucrat, modelarea și simularea elementului de acționare, modelarea și simularea modulului de comandă și control, prezentarea elementelor definitorii ale teoriei distribuțiilor utilizată pentru partea de comandă și implementarea efectivă a unei soluții fiabile. Astfel că după ce s-a ales platforma unui vehicul de tip ATV (all terrain vehicle) s-a modificat întreaga sa structură mecanică pentru a permite montarea unui motor electric ca element de acționare.

Primul sistem de acționare proiectat și realizat în prima etapă a cercetării a folosit ca element de acționare un motor de inducție alimentat la o tensiune alternativă de 220V, sistemul de comandă al motorului fiind format dintr-un invertor de tensiune care transforma tensiunea continuă de 12V furnizată de o baterie într-o tensiune alternativă de 220V necesară unui convertizor de frecvență. Cu ajutorul convertizorului de frecvență s-a putut realiza comanda întregului sistem de acționare prin implementarea unor algoritmi simpli de funcționare. Deși puteam spune că s-a reușit realizarea unui vehicul electric de mici dimensiuni capabil să ruleze pe mai multe tipuri de teren, sistemul de alimentare și acționare prezenta multe pierderi energetice din cauza multiplelor conversii ale tensiunii de alimentare și astfel cercetarea s-a orientat către găsirea unei modalități de a alimenta același motor la o tensiune mult mai mică obținută cu ajutorul a mai multor baterii auto de 12V, 40Ah alese în special datorită dimensiunilor și greutății individuale scăzute, lucru de asemenea important pentru a obținute un vehicul electric de o greutate totală scăzută.

Primul pas către realizarea acestui nou obiectiv a fost rebobinarea motorului de inducție pentru ca acesta să poată fi alimentat la o tensiune joasă, tensiune electrică obținută utilizând un număr de 8 baterii auto de 12V, 40Ah fiecare cântărind circa 10 kg. Pentru ca procesul de rebobinare să aibă rezultatul scontat s-au introdus datele de catalog ale motorului de inducție utilizat și s-au modificat caracteristicile sale funcționale (rezistența rotorică, rezistența statorică, inductanță rotorică și inductanța statorică) în Matlab Simulink pentru a putea găsi cele mai bune valori pentru ca mai apoi aceste valori să fie utilizate în procesul de rebobinare. S-a stabilit modelul matematic al unui motor de inducție cunoscut pentru fiabilitatea sa, începând cu stabilirea ecuațiilor matriceale intrare-stare-ieșire pentru ca mai apoi să se stabilească caracteristicile mecanice ale acestuia.

După implementarea ecuațiilor de simulare a motorului de inducție în Matlab Simulink s-a realizat o structură modulară a întregului program de simulare realizând șase subsisteme fiecare dintre acestea reprezentând câte o funcționalitate definită de ecuațiile mai sus definite. Astfel că se evidențiază subsistemele de simulare a rotorului, statorului, a transformării Clark și Clark invers precum și subsistemul ce permite vizualizarea graficului de ieșire cuplu/viteză. S-a ales ca tensiune de alimentare, tensiunea furnizată de 6 baterii auto de 12V, 40Ah înseriate obținând astfel 72V. S-au observat graficele de funcționare ale fluxului statoric, fluxului rotoric și diagramele de cuplu și turație pentru motorul propus

alimentat la tensiunea de 72V. S-au obținut rezultate bune și în urma analizării rezultatelor obținute se poate afirma că modelul de simulare este unul valid observându-se comportamentul funcțional al motorului de inducție studiat. După aproximativ 2,5 secunde de la inițializarea secvenței de pornire a motorului de inducție, acesta ajunge la o turație de circa 1500 rotații/minut iar momentul se stabilizează în jurul valorii de 12Nm. Astfel că utilizând acest model de simulare a motorului de inducție s-au putut trasa familii de caracteristici mecanice pentru diferite cazuri particulare: diferite tensiuni de alimentare (60V-96V), diferite valori ale rezistenței statorice, rotorice, diferite valori ale inductanțelor statorice și rotorice precum și pentru diferite valori ale frecvenței (40Hz – 60Hz).

În continuarea capitolului s-au prezentat elementele generale ale teoriei distribuțiilor care sunt în fapt funcții liniare și continue definite pe un spațiu fundamental utilizabile pentru a putea reprezenta matematic orice model asociat realității. Utilizând mai apoi proprietățile teoriei distribuțiilor s-a realizat un model matematic și de simulare a unui controller care poate comanda un motor de inducție obținându-se astfel o abordare originală în acest domeniu. Realizarea efectivă a întregului sistem de comandă și control s-a realizat cu ajutorul unor module IGBT implementând într-un controller proiectat și realizat în laboratorul din cadrul Universității din Petroșani toate elementele analizate și discutate pe parcursul capitolului.

S-a obținut astfel un vehicul electric de mici dimensiuni controlat cu ajutorul unui controller dezvoltat pe baza teoriei distribuțiilor acționat cu ajutorul unor module IGBT capabil să ruleze pe mai multe tipuri de teren.

Capitolul 4 - Proiectarea rețelei de senzori LoRa

În acest capitol al tezei de doctorat s-au prezentat diferite protocoale de comunicație utilizate în rețelele de senzori fără fir punându-se un accent deosebit pe rețeaua LoRa și pe protocolul de comunicație LoRaWAN. Astfel că, utilizând literatura de specialitate prin consultarea mai multor lucrări care descriu într-o manieră amplă diferite protocoale de comunicații fără fir, s-a reușit sintetizarea cercetărilor din domeniu realizându-se astfel o imagine de ansamblu asupra stadiului actual al dezvoltărilor tehnologice în ceea ce privește segmentul de comunicații de date wireless. S-au definit și prezentat noile concepte cu privire la interconectarea tuturor lucrurilor prin noua tehnologie a internetului lucrurilor (IoT) și s-a scos în evidență nevoia de a găsi cele mai fiabile protocoale de comunicație radio cu cel mai mic consum de energie. Din analiza mai multor lucrări științifice și în urma efectuării a diferite teste experimentale s-a ales ca principal sistem de comunicație LoRa, datorită faptului că prezintă o rază mare de acțiune și are un consum de energie mic fiind pretabil în mod deosebit în cadrul rețelelor IoT.

Arhitectura generică a unei rețele LoRa este compusă din nodurile de bază (elementele care monitorizează sau controlează infrastructura dată), dispozitive gateway care au rolul de a face legătura între dispozitivele de tip end-node (noduri) și serverul de rețea în cadrul căruia se regăsește instalat un server de aplicații. Comunicația dintre dispozitivele de tip end-node

și dispozitivele gateway se realizează utilizând protocolul de comunicație LoRaWAN. Comunicația dintre dispozitivele de tip gateway și serverul de rețea realizându-se cu ajutorul unui protocol clasic TCP/IP. În cadrul capitolului s-au prezentat și câteva exemple de programe implementate pe diferite microcontrollere care permit comunicația între două sau mai multe puncte din cadrul unei rețele LoRa. De asemenea a fost prezentată și o aplicație IoT care permite achiziția datelor cu privire la starea anumitor parametri de mediu utilizând conceptele și tehnologiile specifice LoRa precum și IoT. După ce s-a prezentat cadrul general al cercetării cu privire la rețeaua LoRa și integrarea acesteia în conceptele actuale ale tehnologiilor inteligente, s-a trecut mai departe spre rezolvarea unui obiectiv major al prezentei teze de doctorat și anume identificarea unor posibilități de localizare a unor elemente de interes (în cazul prezentei cercetări, a unui vehicul electric) în interiorul unor incinte industriale închise acolo unde nu pot fi utilizate tehnologiile clasice de localizare.

După studierea literaturii de specialitate cu privire la oportunitățile de utilizare a rețelelor LoRa în scopul realizării unui algoritm de localizare într-un spațiu închis s-au identificat mai multe moduri de rezolvare a acestui deziderat printre care triangulația, trilaterarea și multilaterarea hiperbolică. Pentru cazul de utilizare a rețelei LoRa ca suport general pentru sistemul de localizare cea mai potrivită modalitate de a localiza un obiect este folosirea multilaterării hiperbolice. Utilizând și o relație interdependentă între valoarea RSSI (indicatorul de putere al semnalului primit) și distanța față de un dispozitiv central (gateway) s-a realizat un algoritm de identificare a poziției unui nod LoRa reușind astfel să se creeze un sistem integrat de poziționare și localizare a unui obiect, aplicabil într-un spațiu industrial închis. Chiar dacă algoritmul a fost testat și validat doar în anumite cazuri particulare reușind să determine cu acuratețe foarte bună poziții ale unui nod LoRa doar până la o distanță de 21 de metri față de un dispozitiv central, acesta reprezintă o realizare bună, fiind fiabil, simplu și ușor de implementat. S-a proiectat și realizat și o rețea neuronală în Matlab Simulink pe baza unui set de date de circa 12000 de valori ale semnalului RSSI ale unui nod de comunicație LoRa în funcție de distanța față de un anumit punct central fix. După ce s-au pregătit datele prin aplicarea unei aproximări Kautz, acestea au fost încărcate pentru a dezvolta un identificator care învață determine distanța în funcție de valoarea RSSI pe baza măsurătorilor realizate. Rețeaua neuronală astfel realizată, poate calcula poziția unui nod de rețea LoRa față de un dispozitiv central cu o eroare mică până la o distanță de 100 de metri.

Capitolul 5 - Navigarea autonomă

În cadrul acestui capitol s-au prezentat principalele concepte în ceea ce privește domeniul vehiculelor autonome prin sintetizarea unor lucrări de specialitate și s-au făcut și unele remarci cu privire la partea etică a ideii generale din spatele unui astfel de vehicul cu referire la cât de mult putem noi ca potențiali posesori și utilizatori de astfel de vehicule le putem permite să ia decizii și cine este răspunzător în cazul unor accidente de circulație. De asemenea, s-a prezentat integrarea unor senzori specifici pe platforma funcțională a vehiculului electric proiectat și realizat. Acești senzori au fost aleși astfel încât să poată prelua datele necesare din mediul înconjurător pentru a putea realiza o identificare și

cartografiere a unei incinte în scopul realizării unui algoritm de conducere autonomă aplicabil unui vehicul electric de mici dimensiuni. Astfel, s-a identificat familia de senzori LiDAR cu ajutorul cărora se pot crea atât sisteme de determinare și monitorizare a distanței vehiculului electric față de anumite obstacole fixe sau mobile și se poate realiza o cartografiere a unui perimetru închis a unei incinte industriale în scopul realizării unui sistem de conducere autonomă bazat pe un algoritm simplu, fiabil și eficient. În partea de început a capitoului se prezintă realizarea unui dispozitiv de măsurare a distanței față de anumite obstacole utilizând un senzor LiDAR specific.

După dezvoltarea noțiunilor teoretice și aplicative din acest domeniu de cercetare s-a făcut o descriere a unui alt tip de senzor LiDAR capabil de data aceasta să cartografieze un anumit perimetru dintr-o incintă stabilită a fi una de uz industrial. După proiectarea, modelarea și implementarea sistemului de cartografiere utilizând un senzor LiDAR RPLiDAR A2 capabil să preia date la un unghi de 360°, cu o placă de dezvoltare Raspberry PI și aplicația open-source Robot Operating System s-a realizat cartografierea unei incinte din cadrul Universității din Petroșani și s-a obținut o hartă detaliată a elementelor constructive ale respectivului perimetru. Utilizând apoi și datele privind localizarea într-un spațiu închis obținute cu ajutorul sistemului de comunicație LoRa utilizând un algoritm bazat pe indicatorul de putere al semnalului primit (RSSI), s-a dezvoltat un algoritm de conducere autonomă ce a fost simulat în MatLab. Proiectarea, modelarea și simularea unui algoritm de navigare autonomă simplu, eficient, fiabil și ușor de implementat în cadrul întregului ansamblu al vehiculului electric realizat și prezentat în cadrul acestei teze de doctorat reprezintă o contribuție adusă acestei cercetări.

Algoritmul este structurat în 9 etape principale de proiectare și simulare după cum urmează:

- 1) Utilizarea unui senzor de tip LiDAR pentru generarea unei hărți a incintei industriale închise în care se dorește utilizarea vehiculului electric autonom
- 2) Generarea traiectoriei în interiorul hărții generate
- 3) Verificarea poziției ATV-ului electric față de traiectorie
- 4) Citirea poziției ATV-ului electric cu ajutorul sistemului de localizare LoRa
- 5) Orientarea ATV-ului către traiectoria dorită
- 6) Impunerea poziției necesare pe traiectoria propusă
- 7) Determinare unghiului direcției ATV-ului
- 8) Acționarea motorului de inducție și servomotorului
- 9) Detectarea obstacolelor

Rezultatele obținute, chiar dacă nu sunt perfecte, satisfac într-o foarte mare măsură nevoia de a realiza un algoritm simplu de navigare autonomă pretabil a fi implementat pe un vehicul electric într-un spațiu închis.

Rezultatul, obținut în urma realizării și a obiectivului de cercetare privind realizarea aplicației practice în cadrul unui sistem de investigare a unui spațiu închis, este un sistem integrat pe o platformă funcțională a unui ATV electric, ce prezintă senzori și un sistem de

comunicație și localizare LoRa precum și un sistem de cartografiere a unor spații industriale închise utilizat pentru realizarea unui algoritm de conducere autonomă, acest vehicul electric inteligent autonom putând fi astfel utilizat, spre exemplu, pentru pregătirea unei hale industriale în vederea accesului în condiții de sănătate și securitate a personalului.

Capitolul 6 – Concluzii, contribuții și direcții de dezvoltare ulterioară

Concluzii

Îngrijorările cu privire la nivelul de poluare din întreaga lume sunt din ce în ce mai ridicate și fiecare nișă a fiecărei industrii încearcă în măsura posibilităților să găsească soluții rapide și eficiente în încercarea de a reduce poluare și de a realiza un cadru de dezvoltare sustenabil pentru viitoarele generații. Industria auto a fost, este și va fi mereu într-o permanentă schimbare în ceea ce privește dezvoltarea unor prototipuri de vehicule ecologice care apoi să fie produse la scară largă. Astăzi se observă preocuparea din ce în ce mai ridicată pentru dezvoltarea unor vehicule electrice care, plecând de la simplul aspect că nu emit în mod direct poluare, dispun și de anumite dezvoltări tehnice și tehnologice care le permit să fie incluse din ce în ce mai mult în conceptele noi cu privire la Internet of Things (IoT – internetul lucrurilor), Smart Grid, Smart City și tind să devină și elemente active în rețelele de furnizare a energiei electrice prin faptul că în perioadele de mare cerere de energie electrică pot lua rolul unui element de tip prosumator furnizând energia acumulată în baterii pentru ca mai apoi în perioadele fără mare cerere de energie să se reîncarce. Iată astfel doar câteva dintre domeniile de aplicabilitate ale vehiculelor electrice în contextul acestei noi ere. Dezvoltarea tehnologiei de realizarea a vehiculelor electrice care a ajuns astăzi aproape de stadiul de maturitate, permite realizări majore la un cost de ansamblu mult mai mic și odată și cu intervențiile de reglementare aplicate de toate statele lumii se observă creșterea interesului cumpărătorilor pentru acest tip de vehicul.

Teza de doctorat cu titlul *Contribuții privind utilizarea autovehiculelor electrice în spații închise* prezintă modelarea, simularea și realizarea unui vehicul electric de mici dimensiuni pretabil pentru rularea pe orice tip de teren, acționat de un motor condus utilizând abordarea originală a teoriei distribuțiilor și destinat unui caz special de utilizare, în spații industriale închise.

CONTRIBUTII

În ceea ce privește partea de contribuții aduse în cadrul tezei de doctorat se remarcă în primul rând contribuții din punct de vedere al cercetărilor bibliografice și analizei stadiului actual al temei abordate.

- Se face o introducere detaliată în domeniul de cercetare al vehiculelor electrice și se realizează pe baza mențiunilor bibliografie un scurt istoric evolutiv al dezvoltărilor din acest domeniu.

- Se studiază și se sintetizează cadrul legislativ în vigoare mai ales pentru zona Europei și a Uniunii Europene deoarece încă în această parte a lumii vehiculele electrice nu sunt așa de răspândite ca în Statele Unite ale Americii. Se scoate în evidență faptul conform căruia, deși în zona Europeană mulți ani vehiculele electrice nu au reprezentat un interes deosebit, pe fondul reglementărilor legale din ultima perioadă se remarcă o creștere a atractivității acestora datorată nu în ultimul rând și conștientizării pericolelor majore cu privire la gazele cu efect de seră produse de industria autovehiculelor cu motoare cu ardere internă.
- Pe baza unor lucrări științifice din literatura de specialitate se prezintă principalele dezvoltări tehnologice din cadrul industriei vehiculelor electrice din ultimii zece ani și stadiul actual al acestui domeniu.
- O contribuție majoră din punct de vedere al cercetărilor bibliografice este reprezentată de studiul critic a circa 50 de lucrări de specialitate din care s-a putut realiza o sinteză cu privire la principalele caracteristici ale unui vehicul electric și mai apoi ale unui vehicul electric autonom.
- S-au definit conceptele de vehicul electric și vehicul electric autonom și pornind de la identificarea problemelor de natură etică în ceea ce privește conducerea autonomă s-a realizat o sinteză a principalelor realizări în ceea ce privește modelele de conducere a unui vehicul autonom, metodele de planificare a unui traseu al acestui tip de vehicul, metode de implementarea a diversilor algoritmi utilizați precum și metode de implementarea hardware.

Din punct de vedere al stabilirii obiectivelor de cercetare se remarcă mai multe contribuții majore pornind de la stabilirea particularităților de realizare a unui vehicul electric.

- Utilizând analiza lucrărilor de specialitate din aria de dezvoltare și interes a tezei s-au formulat, proiectat și realizat mai multe obiective generale și specifice.
- S-au stabilit apoi direcții clare de acțiune pentru îndeplinirea fiecărui obiectiv în parte.
- S-a realizat proiectarea părții de acționare și conducere pentru un vehicul electric ales a fi construit pe platforma mecanică și funcțională a unui ATV.
- S-a proiectat, modelat și realizat un controller bazat pe IGBT-uri și condus pe baza teoriei distribuțiilor pentru motorul de inducție.
- După realizarea vehiculului electric s-a efectuat proiectarea sistemului de comunicație căruia i s-a atribuit un dublu rol atât de sistem de interconectare a vehiculului cu alte vehicule sau cu infrastructura de transport cât și de sistem de localizare într-un spațiu industrial închis acolo unde nu este posibilă utilizarea unui sistem de localizare clasic.
- S-au identificat apoi o serie de senzori care să poată să fie integrați în structura funcțională a vehiculului electric dotat cu sistem de comunicație și sistem de

localizare realizate într-o abordare originală prin utilizarea protocolului de comunicație LoRa.

- Senzorii identificați și integrați în sistemul ATV electric cu LoRa au fost folosiți pentru identificarea unor soluții de recunoaștere a mediului înconjurător reușind să se realizeze o soluție de mapare de tip LIDAR.

Din punct de vedere al cercetării teoretice se remarcă multiple contribuții care reușesc să definească un vehicul electric cu sistem de comunicație și localizare bazat pe LoRa și cu un sistem de mapare a mediului înconjurător utilizabil în scopul realizării unui vehicul autonom destinat uzului mai ales în spații industriale închise.

- S-a realizat descrierea sintetică a evoluției și principiilor de funcționare a vehiculelor electrice și s-a efectuat o analiză concretă a sistemelor de conducere pretabil a fi utilizate în cadrul unui astfel de vehicul precum și în cazul unui vehicul electric autonom.
- S-au realizat și unele delimitări conceptuale asupra noțiunilor și termenilor utilizați în ceea ce privește noile concepte de dezvoltare sustenabilă care au legătură cu tehnologiile utilizate în cadrul dezvoltării unor vehicule electrice inteligente și sustenabile.
- S-a realizat o sintetizare a rezultatelor cercetărilor fundamentale și aplicative din domeniul de dezvoltare al tezei de doctorat privind etapele principale pentru realizarea unui vehicul electric cu capabilități de tip inteligent.
- După proiectarea întregului sistem de acționare al vehiculului electric s-a realizat un model matematic al unui motor de inducție și o simulare a funcționării acestuia în Matlab Simulink.
- Pe baza rezultatelor simulărilor a fost posibilă identificarea parametrilor electrici necesari unui proces de rebobinare al motorului de inducție pentru a permite alimentarea sa la o tensiune de maxim 110V.
- Utilizând modelul de simulare a motorului de inducție s-au trasat familii de caracteristici mecanice pentru diferite cazuri particulare. Astfel că s-a realizat determinarea caracteristicilor mecanice pentru diferite valori ale tensiunii de alimentare, caracteristici mecanice pentru diferite valori ale rezistenței statorice, caracteristici mecanice pentru diferite valori ale rezistenței rotorice, caracteristici mecanice pentru diferite valori ale inductanțelor statorice și rotorice precum și caracteristici mecanice pentru diferite valori ale frecvenței tensiunii de alimentare.
- S-a realizat modelarea și simularea controllerului utilizat pentru conducerea motorului de inducție în Matlab Simulink utilizând teoria distribuțiilor.
- În ceea ce privește partea de localizare și poziționare a vehiculului electric într-o incintă închisă s-au proiectat și implementat doi algoritmi de determinare a distanței în funcție de valoarea RSSI a unor noduri LoRa montate pe structura funcțională a vehiculului realizându-se astfel un sistem fiabil și ușor de implementat.

- O contribuție importantă în ceea ce privește realizarea acestui sistem de poziționare și localizare în interiorul unei incinte închise, este reprezentată de realizarea unui algoritm de tip machine learning implementat cu ajutorul unei rețele neuronale realizată și validată în Matlab Simulink.
- O altă contribuție adusă în cadrul prezentei teze de doctorat este cea legată de proiectarea, modelarea și simularea unui algoritm de navigare autonomă, simulat și validat în Matlab Simulink precum și dezvoltarea suportului matematic și a programelor Matlab pentru generarea unor traiectorii de mișcare pentru vehiculul electric.

Obiectivele propuse a fi rezolvate în cadrul acestei teze de doctorat au fost realizate și implementate în totalitate obținându-se un vehicul electric condus cu ajutorul unui controller realizat folosind o abordare diferită față de modelele existente, cu sistem de comunicație și localizare LoRa fiind în același timp capabil să identifice și să mapeze anumite incinte industriale închise pentru a putea obține datele necesare utilizării unui algoritm de navigare autonomă proiectat și realizat. Testarea în condiții de laborator a scos în evidență fiabilitatea întregului sistem și a validat astfel vehiculul electric realizat. Pentru partea de acționare electrică, implementarea sistemului de comunicație și localizare LoRa și pentru identificarea unor modalități originale de recuperare a unei părți a energiei electrice consumate în vederea creșterii autonomiei vehiculului electric a fost înregistrată cererea de brevet de invenție OSIM cu numărul **A00201/28.03.2019**.

DIRECȚII DE DEZVOLTARE ULTERIOARĂ

În ceea ce privește direcțiile de cercetare viitoare se pot defini două propuneri principale.

- Prima propunere de dezvoltare viitoare se referă la implementarea în structura hardware existentă a vehiculului electric realizat a unui element de execuție de tip servomotor precum și a unor senzori specifici cu ajutorul cărora să se poată obține un vehicul electric autonom care să poată să ruleze în condiții de deplină siguranță în orice tip de incintă cu ajutorul algoritmilor de localizare, poziționare și navigare autonomă special realizați în acest scop.
- A doua propunere majoră de dezvoltare viitoare are legătură cu conceptele legate de sustenabilitate și de protecția mediului înconjurător fiindcă acest vehicul a fost realizat în mare parte din componente și piese reciclate dar încă nu dispune de un sistem de alimentare cu energie din surse regenerabile, astfel încât vehiculul să fie cu adevărat ecologic. În altă ordine de idei și gândind la scară macro, se propune construirea unui sistem inteligent în orașul Petroșani format din surse și echipamente de producere a energiei electrice din surse regenerabile și vehicule electrice care să integreze pe larg conceptul de V2G (vehicle-to-grid). Deși potențialul energetic eolian este relativ bun datorită amplasării geografice a municipiului Petroșani, din cauza costurilor mari în ceea ce privește realizarea instalațiilor cu turbine eoliene, se propune un sistem de panouri fotovoltaice întinse pe acoperișurile clădirilor din oraș.

În urma efectuării unor simulări s-a putut constata că nevoia de energie electrică doar pentru a alimenta toate vehiculele electrice necesare pentru un procent de 70% din populația orașului Petroșani este de doar 17,72% din potențialul de producție doar din surse fotovoltaice. Deci, se poate spune că întregul concept este sustenabil și poate fi folosit. În ceea ce privește conceptul de vehicle-to-grid, crearea unor stații inteligente de încărcare de uz personal pentru vehicule electrice poate să ajute la echilibrul rețelei de furnizare a energiei electrice prin simplul fapt că un vehicul electric personal atunci când nu este utilizat poate fi conectat la rețea furnizând energia stocată în baterii pe parcursul perioadelor de consum mare devenind astfel un element de tip prosumator urmând a se încărca în perioadele cu consum energetic scăzut.

BIBLIOGRAFIE

1. Adame, T., Bel, A., Bellalta, B., Barcelo, J., & Oliver, M. (2014). IEEE 802.11 AH: the WiFi approach for M2M communications. *IEEE Wireless Communications*, 21(6), 144-152.
2. Anderson, J. M., Nidhi, K., Stanley, K. D., Sorensen, P., Samaras, C., & Oluwatola, O. A. (2014). *Autonomous vehicle technology: A guide for policymakers*. Rand Corporation.
3. Bagloee, S. A., Tavana, M., Asadi, M., & Oliver, T. (2016). Autonomous vehicles: challenges, opportunities, and future implications for transportation policies. *Journal of modern transportation*, 24(4), 284-303.
4. Bankov, D., Khorov, E., & Lyakhov, A. (2016, November). On the limits of LoRaWAN channel access. In *2016 International conference on engineering and telecommunication (EnT)* (pp. 10-14). IEEE.
5. Baronti, P., Pillai, P., Chook, V. W., Chessa, S., Gotta, A., & Hu, Y. F. (2007). Wireless sensor networks: A survey on the state of the art and the 802.15. 4 and ZigBee standards. *Computer communications*, 30(7), 1655-1695.
6. Bhatti, G., Mohan, H., & Singh, R. R. (2021). Towards the future of smart electric vehicles: Digital twin technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 141, 110801.
7. Bonnefon, J. F., Shariff, A., & Rahwan, I. (2016). The social dilemma of autonomous vehicles. *Science*, 352(6293), 1573-1576.
8. Bor, M., Vidler, J. E., & Roedig, U. (2016). LoRa for the Internet of Things.
9. Broggi, A., Medici, P., Zani, P., Coati, A., & Panciroli, M. (2012). Autonomous vehicles control in the VisLab intercontinental autonomous challenge. *Annual Reviews in Control*, 36(1), 161-171.
10. Brown, M., Funke, J., Erlien, S., & Gerdes, J. C. (2017). Safe driving envelopes for path tracking in autonomous vehicles. *Control Engineering Practice*, 61, 307-316.

11. Bruin, R. W. D. (2022). *Regulating Innovation of Autonomous Vehicles: Improving Liability & Privacy in Europe* (Doctoral dissertation, Uitgeverij deLex BV).
12. Cao, Y., Stuart, D., Ren, W., & Meng, Z. (2010). Distributed containment control for multiple autonomous vehicles with double-integrator dynamics: algorithms and experiments. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 19(4), 929-938.
13. Centenaro, M., Vangelista, L., Zanella, A., & Zorzi, M. (2016). Long-range communications in unlicensed bands: The rising stars in the IoT and smart city scenarios. *IEEE Wireless Communications*, 23(5), 60-67.
14. Corby S. (2022), How many electric cars are there in the world?, <https://www.carsguide.com.au/ev/advice/how-many-electric-cars-are-there-in-the-world-85961>
15. Costăchioiu, T., 2017, Dragino LoRa gateway: connecting to ThingSpeak, <https://medium.com/electronza/dragino-lora-gateway-connecting-to-thingspeak-e5c792f5b355>
16. Dave, E. (2011). How the next evolution of the internet is changing everything. *The Internet of Things*.
17. Deloitte Automotive Consumer , <https://www2.deloitte.com/global/en/pages/consumer-business/articles/global-automotive-consumer-study.html>
18. Deng, H., Xiong, J., & Xia, Z. (2017, July). Mobile manipulation task simulation using ROS with MoveIt. In *2017 IEEE International Conference on Real-time Computing and Robotics (RCAR)* (pp. 612-616). IEEE.
19. Dolgov, D., Thrun, S., Montemerlo, M., & Diebel, J. (2010). Path planning for autonomous vehicles in unknown semi-structured environments. *The international journal of robotics research*, 29(5), 485-501.
20. Dongare, A., Hesling, C., Bhatia, K., Balanuta, A., Pereira, R. L., Iannucci, B., & Rowe, A. (2017, March). OpenChirp: A low-power wide-area networking architecture. In *2017 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops)* (pp. 569-574). IEEE.
21. Ehsani, M., Singh, K. V., Bansal, H. O., & Mehrjardi, R. T. (2021). State of the art and trends in electric and hybrid electric vehicles. *Proceedings of the IEEE*, 109(6), 967-984.
22. Energy.gov, <https://www.energy.gov/timeline/timeline-history-electric-car>
23. Fagnant, D. J., & Kockelman, K. M. (2014). The travel and environmental implications of shared autonomous vehicles, using agent-based model scenarios. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 40, 1-13.
24. Fernandes, P., & Nunes, U. (2012). Platooning with IVC-enabled autonomous vehicles: Strategies to mitigate communication delays, improve safety and traffic flow. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 13(1), 91-106.
25. Funke, J., Brown, M., Erlien, S. M., & Gerdes, J. C. (2016). Collision avoidance and stabilization for autonomous vehicles in emergency scenarios. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 25(4), 1204-1216.

26. Garmin LiDAR Lite v3 – datasheet
https://static.garmin.com/pumac/LIDAR_Lite_v3_Operation_Manual_and_Technical_Specifications.pdf
27. Gerla, M., Lee, E. K., Pau, G., & Lee, U. (2014, March). Internet of vehicles: From intelligent grid to autonomous cars and vehicular clouds. In 2014 IEEE world forum on internet of things (WF-IoT) (pp. 241-246). IEEE.
28. Glaser, S., Vanholme, B., Mammari, S., Gruyer, D., & Nouveliere, L. (2010). Maneuver-based trajectory planning for highly autonomous vehicles on real road with traffic and driver interaction. *IEEE Transactions on intelligent transportation systems*, 11(3), 589-606.
29. Global EV Outlook 2022, Securing supplies for an electric future, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/e0d2081d-487d-4818-8c59-69b638969f9e/GlobalElectricVehicleOutlook2022.pdf>, accesat la 01.08.2022
30. Goldoni E, Prando L, Vizziello A, Savazzi P, Gamba P. Experimental data set analysis of RSSI-based indoor and outdoor localization in LoRa networks. *Internet Technology Letters* 19;2:e75.
31. Gong, Q., Lewis, L. R., & Ross, I. M. (2009). Pseudospectral motion planning for autonomous vehicles. *Journal of guidance, control, and dynamics*, 32(3), 1039-1045.
32. Gray, A., Gao, Y., Lin, T., Hedrick, J. K., & Borrelli, F. (2013, October). Stochastic predictive control for semi-autonomous vehicles with an uncertain driver model. In *16th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2013)* (pp. 2329-2334). IEEE.
33. Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future generation computer systems*, 29(7), 1645-1660.
34. Guibene, W., Nolan, K. E., & Kelly, M. Y. (2015, October). Survey on clean slate cellular-iot standard proposals. In 2015 IEEE International Conference on Computer and Information Technology; Ubiquitous Computing and Communications; Dependable, Autonomic and Secure Computing; Pervasive Intelligence and Computing (pp. 1596-1599). IEEE.
35. Guo, J., Hu, P., & Wang, R. (2016). Nonlinear coordinated steering and braking control of vision-based autonomous vehicles in emergency obstacle avoidance. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 17(11), 3230-3240.
36. Haboucha, C. J., Ishaq, R., & Shiftan, Y. (2017). User preferences regarding autonomous vehicles. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 78, 37-49.
37. Hengstler, M., Enkel, E., & Duelli, S. (2016). Applied artificial intelligence and trust—The case of autonomous vehicles and medical assistance devices. *Technological Forecasting and Social Change*, 105, 105-120.
38. Hevelke, A., & Nida-Rümelin, J. (2015). Responsibility for crashes of autonomous vehicles: An ethical analysis. *Science and engineering ethics*, 21(3), 619-630.

39. Hou, R., Lei, L., Jin, K., Lin, X., & Xiao, L. (2022). Introducing electric vehicles? Impact of network effect on profits and social welfare. *Energy*, 243, 123002.
40. Hult, R., Campos, G. R., Falcone, P., & Wymeersch, H. (2015, July). An approximate solution to the optimal coordination problem for autonomous vehicles at intersections. In *2015 American Control Conference (ACC)* (pp. 763-768). IEEE.
41. Husain, I., Ozpineci, B., Islam, M. S., Gurpinar, E., Su, G. J., Yu, W., & Sahu, R. (2021). Electric drive technology trends, challenges, and opportunities for future electric vehicles. *Proceedings of the IEEE*, 109(6), 1039-1059.
42. IEA.org, <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/number-of-electric-cars-in-circulation-in-selected-countries-2013-2017>
43. IEEE 802.3 Ethernet Working Group. (2012). IEEE 802.3 industry connections Ethernet bandwidth assessment. *Piscataway, NJ, USA, Jul, 19*.
44. Jaiswal, D., Deshmukh, A. K., & Thaichon, P. (2022). Who will adopt electric vehicles? Segmenting and exemplifying potential buyer heterogeneity and forthcoming research. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 67, 102969.
45. Janai, J., Güney, F., Behl, A., & Geiger, A. (2020). Computer vision for autonomous vehicles: Problems, datasets and state of the art. *Foundations and Trends® in Computer Graphics and Vision*, 12(1–3), 1-308.
46. Jo, K., Chu, K., & Sunwoo, M. (2013, June). GPS-bias correction for precise localization of autonomous vehicles. In *2013 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)* (pp. 636-641). IEEE.
47. Kato, S., Takeuchi, E., Ishiguro, Y., Ninomiya, Y., Takeda, K., & Hamada, T. (2015). An open approach to autonomous vehicles. *IEEE Micro*, 35(6), 60-68.
48. Khorov, E., Lyakhov, A., Krotov, A., & Guschin, A. (2015). A survey on IEEE 802.11 ah: An enabling networking technology for smart cities. *Computer communications*, 58, 53-69.
49. Koos, S. (2021). Artificial Intelligence as Disruption Factor in the Civil Law: Impact of the use of Artificial Intelligence in Liability, Contracting, Competition Law and Consumer Protection with Particular Reference to the German and Indonesian Legal Situation. *Yuridika*, 36(1), 235-262.
50. Krueger, R., Rashidi, T. H., & Rose, J. M. (2016). Preferences for shared autonomous vehicles. *Transportation research part C: emerging technologies*, 69, 343-355.
51. Kuderer, M., Gulati, S., & Burgard, W. (2015, May). Learning driving styles for autonomous vehicles from demonstration. In *2015 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)* (pp. 2641-2646). IEEE.
52. Leben, D. (2017). A Rawlsian algorithm for autonomous vehicles. *Ethics and Information Technology*, 19(2), 107-115.
53. Lekkas, A. M. (2014). Guidance and path-planning systems for autonomous vehicles.
54. Levinson, J., Askeland, J., Dolson, J., & Thrun, S. (2011, May). Traffic light mapping, localization, and state detection for autonomous vehicles. In *2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation* (pp. 5784-5791). IEEE.

55. Likhachev, M., & Ferguson, D. (2009). Planning long dynamically feasible maneuvers for autonomous vehicles. *The International Journal of Robotics Research*, 28(8), 933-945.
56. Liu, S. (2021, March). Competition and valuation: a case study of Tesla Motors. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 692, No. 2, p. 022103). IOP Publishing.
57. Lopes, J. A. P., Soares, F. J., & Almeida, P. M. R. (2010). Integration of electric vehicles in the electric power system. *Proceedings of the IEEE*, 99(1), 168-183.
58. LoRa Alliance, 2015 - https://lora-alliance.org/wp-content/uploads/2020/11/2015_-_lorawan_specification_r0_611_1.pdf
59. Luettel, T., Himmelsbach, M., & Wuensche, H. J. (2012). Autonomous ground vehicles—Concepts and a path to the future. *Proceedings of the IEEE*, 100(Special Centennial Issue), 1831-1839.
60. Maddern, W., Stewart, A., McManus, C., Upcroft, B., Churchill, W., & Newman, P. (2014, May). Illumination invariant imaging: Applications in robust vision-based localisation, mapping and classification for autonomous vehicles. In *Proceedings of the Visual Place Recognition in Changing Environments Workshop*, IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Hong Kong, China (Vol. 2, No. 3, p. 5).
61. Makarem, L., & Gillet, D. (2013, October). Model predictive coordination of autonomous vehicles crossing intersections. In *16th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2013)* (pp. 1799-1804). IEEE.
62. Marcus, R., M., **Rus, N., C.**, Leba, M. (2019). Smart electric motor vehicle with function of recovery of portion of consumed electric power, has generators whose produced electric energy is transferred by wireless system placed inside closed metallic enclosure, Patent Number RO133662-A0, Derwent Primary Accession Number 2019-935159 (<https://www.webofscience.com/wos/diidw/full-record/DIIDW:2019935159>)
63. Marcus, R., Stoicuța, O., **Rus, C.**, & Tomus, B. (2020). Exploring the possibilities to increase the autonomy of an electric vehicle. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 305, p. 00034). EDP Sciences.
64. Margelis, G., Piechocki, R., Kaleshi, D., & Thomas, P. (2015, December). Low throughput networks for the IoT: Lessons learned from industrial implementations. In *2015 IEEE 2nd world forum on internet of things (WF-IoT)* (pp. 181-186). IEEE.
65. Marino, R., Scalzi, S., & Netto, M. (2011). Nested PID steering control for lane keeping in autonomous vehicles. *Control Engineering Practice*, 19(12), 1459-1467.
66. Menze, M., & Geiger, A. (2015). Object scene flow for autonomous vehicles. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 3061-3070).
67. Meyer, J., Becker, H., Bösch, P. M., & Axhausen, K. W. (2017). Autonomous vehicles: The next jump in accessibilities?. *Research in transportation economics*, 62, 80-91.

68. Millard-Ball, A. (2018). Pedestrians, autonomous vehicles, and cities. *Journal of planning education and research*, 38(1), 6-12.
69. Mousavi, S. M., Osman, O. A., Lord, D., Dixon, K. K., & Dadashova, B. (2021). Investigating the safety and operational benefits of mixed traffic environments with different automated vehicle market penetration rates in the proximity of a driveway on an urban arterial. *Accident Analysis & Prevention*, 152, 105982.
70. Mousazadeh, H. (2013). A technical review on navigation systems of agricultural autonomous off-road vehicles. *Journal of Terramechanics*, 50(3), 211-232.
71. Muratori, M., Alexander, M., Arent, D., Bazilian, M., Cazzola, P., Dede, E. M., ... & Ward, J. (2021). The rise of electric vehicles—2020 status and future expectations. *Progress in Energy*, 3(2), 022002.
72. Park, J. M., Kim, D. W., Yoon, Y. S., Kim, H. J., & Yi, K. S. (2009). Obstacle avoidance of autonomous vehicles based on model predictive control. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 223(12), 1499-1516.
73. Patrascioiu, N., **Rus, C.** (2018, May). A mobile system for data acquisition in traffic management. In 2018 19th International Carpathian Control Conference (ICCC) (pp. 318-321). IEEE.
74. Patrascioiu, N., & **Rus, C.** (2022). Industrial area environmental monitoring based on transducers with MODBUS communication. In MATEC Web of Conferences (Vol. 354). EDP Sciences.
75. Patrascioiu, N., **Rus, C.**, & Negru, I. N. (2021, May). Virtual tools used to study the electrical equipment operating modes. In 2021 22nd International Carpathian Control Conference (ICCC) (pp. 1-6). IEEE.
76. Patrascioiu, N., **Rus, C.**, and Negru, I. N. (2022), Temperature monitoring system in an industrial facility using NI myRIO equipment and I2C sensors, 2022 23rd International Carpathian Control Conference (ICCC), 2022, pp. 287-292, doi: 10.1109/ICCC54292.2022.9805956.
77. Pătrășcoiu, N., & **Rus, C.** (2016). Study on the Use of Arduino Boards to Monitor Power Consumption. *Electrical Engineering* Vol. 18, 55.
78. Pătrășcoiu, N., & **Rus, C.** (2019). Increase the quality of temperature measurements using virtual instrumentation. *Quality-Access to Success*, 20.
79. Pătrășcoiu, N., **Rus, C.**, & Negru, N. (2020, October). A Solution to Monitor Environmental Parameters in Industrial Areas. In 2020 21th International Carpathian Control Conference (ICCC) (pp. 1-6). IEEE.
80. Pătrășcoiu, N., **Rus, C.**, & Roșulescu, C. (2017). Virtual Instrumentation Used in Study of Dynamic Regim of the DC Motor. *Annals of the University of Petrosani Electrical Engineering*, 19.
81. Pătrășcoiu, N., **Rus, C.**, Roșulescu, C., & Negru, N. (2020). System For Monitoring The Parameters Of Pollution Factors In Industrial Areas With Application In The Jiu Valley Area. *Annals of the University of Petrosani Electrical Engineering*, 21.

82. Pătrășcoiu, N., **Rus, C.**, Roșulescu, C., Ilcea, G., & Negru, N. (2018). The use of Lidar technology in the management of car traffic in urban areas. *Annals of the University of Petrosani Electrical Engineering*, 20.
83. Pendleton, S. D., Andersen, H., Du, X., Shen, X., Meghjani, M., Eng, Y. H., ... & Ang, M. H. (2017). Perception, planning, control, and coordination for autonomous vehicles. *Machines*, 5(1), 6.
84. Pereira, J. L., & Rossetti, R. J. (2012, March). An integrated architecture for autonomous vehicles simulation. In *Proceedings of the 27th annual ACM symposium on applied computing* (pp. 286-292).
85. Pérez, J., Milanés, V., & Onieva, E. (2011). Cascade architecture for lateral control in autonomous vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 12(1), 73-82.
86. Petajajarvi, J., Mikhaylov, K., Roivainen, A., Hanninen, T., & Pettissalo, M. (2015, December). On the coverage of LPWANs: range evaluation and channel attenuation model for LoRa technology. In *2015 14th international conference on its telecommunications (itst)* (pp. 55-59). IEEE.
87. Pivtoraiko, M., & Kelly, A. (2005, September). Efficient constrained path planning via search in state lattices. In *International Symposium on Artificial Intelligence, Robotics, and Automation in Space* (pp. 1-7). Germany: Munich.
88. Rathod, N., Jain, P., Subramanian, R., Yawalkar, S., Sunkenapally, M., Amrutur, B., & Sundaresan, R. (2015, May). Performance analysis of wireless devices for a campus-wide IoT network. In *2015 13th International Symposium on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc, and Wireless Networks (WiOpt)* (pp. 84-89). IEEE.
89. Ravi, S. S., & Aziz, M. (2022). Utilization of Electric Vehicles for Vehicle-to-Grid Services: Progress and Perspectives. *Energies*, 15(2), 589.
90. Rebrisoreanu, M., **Rus, C.**, Leba, M., & Ionica, A. (2018). Exploring the possibilities of blockchain use in a smart city. *International Journal of Systems Applications, Engineering & Development*, 12, 164-167.
91. Riurean, S., Rosca, S., **Rus, C.**, Leba, M., & Ionica, A. (2017, December). Environmental Monitoring Systems in Schools' Proximity Areas. In *International Conference on Information Technology Science* (pp. 47-55). Springer, Cham.
92. RPLiDAR A2 – datasheet
https://www.generationrobots.com/media/robopeak_2d_lidar_brief_en_A2M4.pdf
93. **Rus, C.**, Leba, M., & Ionica, A. (2018). Road traffic control in the context of an environmental friendly smart city. In *17th International Technical-Scientific Conference on Modern Technologies for the 3rd Millennium* (pp. 351-356).
94. **Rus, C.**, Leba, M., Marcus, R., Pellegrini, L., & Costandoiu, A. (2020). LoRa communication and geolocation system for sensors network. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 305, p. 00043). EDP Sciences.
95. **Rus, C.**, Leba, M., Negru, N., Marcus, R., & Costandoiu, A. (2021). Autonomous Control System for an Electric ATV. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 343, p. 06003). EDP Sciences.

96. **Rus, C.**, Leba, M., Negru, N., Marcuș, R., & Rîsteiu, M. (2021). Electric vehicles in smart grid and smart city for Petroșani case. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 342). EDP Sciences.
97. **Rus, C.**, Marcus, R., Pellegrini, L., Leba, M., Rebrisoreanu, M., & Constandoiu, A. (2019, July). Electric cars as environmental monitoring IoT Network. In *IOP conference series: materials science and engineering* (Vol. 572, No. 1, p. 012091). IOP Publishing.
98. **Rus, C.**, Mija, N., & Leba, M. (2020, April). Autonomous electric ATV using IPM based inverter control and deep learning. In *World Conference on Information Systems and Technologies* (pp. 746-755). Springer, Cham.
99. **Rus, C.**, Negru, N., & Patrascoiu, N. (2019). Low-cost system to acquire environmental parameters in urban areas in the context of IoT. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 20(3), 1451-1461.
100. **Rus, C.**, Negru, N., Leba, M., & Ionica, A. (2018). Environmental Parameter Monitoring System for Urban Traffic Restriction/Reconfiguration. *Glorep 2018 final*, 237.
101. Sanchez-Iborra, R., Sanchez-Gomez, J., Ballesta-Viñas, J., Cano, M. D., & Skarmeta, A. F. (2018). Performance evaluation of LoRa considering scenario conditions. *Sensors*, 18(3), 772.
102. Sanguesa, J. A., Torres-Sanz, V., Garrido, P., Martinez, F. J., & Marquez-Barja, J. M. (2021). A Review on Electric Vehicles: Technologies and Challenges. *Smart Cities*, 4(1), 372–404. <https://doi.org/10.3390/smartcities4010022>
103. Saponara, S., Greco, M. S., & Gini, F. (2019). Radar-on-chip/in-package in autonomous driving vehicles and intelligent transport systems: Opportunities and challenges. *IEEE Signal Processing Magazine*, 36(5), 71-84.
104. Schwarting, W., Alonso-Mora, J., & Rus, D. (2018). Planning and decision-making for autonomous vehicles. *Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems*, 1, 187-210.
105. Shah, S., Dey, D., Lovett, C., & Kapoor, A. (2018). Airsim: High-fidelity visual and physical simulation for autonomous vehicles. In *Field and service robotics* (pp. 621-635). Springer, Cham.
106. Spampinato, G., Bruna, A., Guarneri, I., & Giacalone, D. (2021, February). Deep learning localization with 2D range scanner. In *2021 7th International Conference on Automation, Robotics and Applications (ICARA)* (pp. 206-210). IEEE.
107. Stern, R. E., Cui, S., Delle Monache, M. L., Bhadani, R., Bunting, M., Churchill, M., ... & Work, D. B. (2018). Dissipation of stop-and-go waves via control of autonomous vehicles: Field experiments. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 89, 205-221.
108. Sun, X., Li, Z., Wang, X., & Li, C. (2019). Technology Development of Electric Vehicles: A Review. *Energies*, 13(1), 90. <https://doi.org/10.3390/en13010090>

109. Talebpour, A., & Mahmassani, H. S. (2016). Influence of connected and autonomous vehicles on traffic flow stability and throughput. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 71, 143-163.
110. Want, R., Schilit, B., & Laskowski, D. (2013). Bluetooth le finds its niche. *IEEE Pervasive Computing*, 12(4), 12-16.
111. Weyn, M., Ergeerts, G., Wante, L., Vercauteren, C., & Hellinckx, P. (2013). Survey of the DASH7 alliance protocol for 433 MHz wireless sensor communication. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 9(12), 870430.
112. Wu, C., Zhao, G., & Ou, B. (2011). A fuel economy optimization system with applications in vehicles with human drivers and autonomous vehicles. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 16(7), 515-524.
113. Xu, W., Wei, J., Dolan, J. M., Zhao, H., & Zha, H. (2012, May). A real-time motion planner with trajectory optimization for autonomous vehicles. In 2012 IEEE International Conference on Robotics and Automation (pp. 2061-2067). IEEE.
114. Zohdy, I. H., Kamalanathsharma, R. K., & Rakha, H. (2012, September). Intersection management for autonomous vehicles using iCACC. In 2012 15th international IEEE conference on intelligent transportation systems (pp. 1109-1114). IEEE.