



**UNIVERSITATEA POLITEHNICA
DIN BUCUREȘTI**



**Școala Doctorală de Electronică, Telecomunicații și
Tehnologia Informației**

Decizie nr. 98 din 14-01-2022

**REZUMAT TEZĂ
DE DOCTORAT**

**Ing. Ana-Maria Claudia ȘELEPIUC
(DRĂGULINESCU)**

**OPTIMIZAREA SISTEMELOR AUTOMATE CARE
FOLOSESC SENZORI**

SENSORS-BASED AUTOMATIC SYSTEMS OPTIMISATION

COMISIA DE DOCTORAT

Prof. Dr. Ing. Bogdan IONESCU Univ. Politehnica din București	Președinte
Prof. Dr. Ing. Simona HALUNGA Univ. Politehnica din București	Conducător de doctorat
Prof. Dr. Ing. Corina NAFORNIȚĂ Univ. Politehnica din Timișoara	Referent
Prof. Dr. Ing. Ioan NICOLAESCU Academia Tehnică Militară, București	Referent
Prof. Dr. Ing. Ion MARGHESCU Univ. Politehnica din București	Referent

BUCUREȘTI 2022

Cuprins

Introducere	1
Prezentarea domeniului tezei de doctorat	1
Scopul tezei de doctorat	1
Structura tezei de doctorat	1
1 Rețelele de senzori fără fir și Internetul Lucrurilor	4
1.1 Rețele de senzori fără fir: concept și aplicații	4
1.1.1 Introducere	4
1.1.2 Principiul rețelelor de senzori fără fir: caracteristici și arhitectură	4
1.1.3 Nodurile de senzori: componente	4
1.1.4 Rețeaua fără fir: alte componente	5
1.2 Internetul Lucrurilor: Concept și arhitectură	5
1.3 Noi tehnologii de comunicații fără fir pe distanță lungă adaptate sisteme-	
lor IoT: Rețelele de joasă putere și arie largă de acoperire	5
1.3.1 Modulația LoRa și protocolul LoRaWAN	5
1.3.2 Sigfox	6
1.3.3 Narrowband-IoT (NB-IoT)	6
1.3.4 Tehnologia de comunicații LTE Cat M1	6
1.3.5 Comparatie între tehnologiile LPWAN	6
1.4 Tehnologia Wi-Fi în contextul dezvoltării IoT	6
1.5 Aspecte privind integrarea rețelelor ad-hoc FANET și SANET în arhi-	
tectura IoT	6
1.5.1 Introducere	6
1.5.2 Aplicațiile rețelelor ad-hoc aeriene	6
1.5.3 Aplicațiile rețelelor ad-hoc de suprafață	7
1.5.4 Principiile rețelelor ad-hoc aeriene și de suprafață	7
1.5.5 Arhitecturile FANET și SANET: Comparatie cu celelalte tipuri	
de arhitecturi pentru comunicațiile dintre vehiculele autonome	
aeriene sau de suprafață	7
1.6 Concluzii	7

2	Arhitectura IoT propusă: Componente și comparație cu alte arhitecturi	8
2.1	Introducere	8
2.2	Descrierea arhitecturii propuse	8
2.2.1	Nivelul Dispozitive	8
2.2.2	Nivelul Pseudo-Edge	8
2.2.3	Nivelul Conectivitate	9
2.2.4	Nivelul Cloud	10
2.2.5	Nivelul Aplicație	10
2.2.6	Comparație cu alte arhitecturi din literatură	10
2.3	Cazuri de utilizare propuse ale arhitecturii IoT folosind tehnologiile LoRa, LoRaWAN, Wi-Fi și rețelele hibride	11
2.4	Concluzii privind arhitectura propusă	11
3	Contribuții la dezvoltarea Nivelului Dispozitive și Nivelul Pseudo-Edge	12
3.1	Introducere	12
3.2	Sub-nivelul Dispozitive Non-Critice: Evaluarea unor parametri în agricultura de precizie	12
3.3	Sub-nivelul Dispozitive Critice și Nivelul Pseudo-Edge: selecția tehnologiei de comunicații și adaptarea intervalului dintre două transmisii consecutive pentru aplicații critice de management al dezastrelor	12
3.3.1	Prezentarea contextului	12
3.3.2	Teste realizate și rezultate experimentale	13
3.3.3	Metoda de selecție a tehnologiei de comunicație și de adaptare a intervalului dintre două transmisii a datelor senzorilor	13
3.4	Concluzii privind contribuțiile la dezvoltarea nivelului Dispozitive	14
4	Contribuții la dezvoltarea Nivelului Conectivitate folosind tehnologia LoRa	15
4.1	Analiza performanțelor comunicației LoRa în IoMT	15
4.1.1	Implementarea prototipului experimental	15
4.1.2	Rezultate experimentale	15
4.1.3	Concluzii și direcții viitoare pentru utilizarea tehnologiei LoRa în platformele Medical IoT	16
4.2	Utilizarea LoRa în sistemele dedicate persoanelor cu dizabilități	16
4.2.1	Prezentarea contextului	16
4.2.2	Fluxul de lucru și descrierea sistemului propus	17
4.2.3	Aducerea la zi a RTC utilizând serverul de timp LoRa	17
4.2.4	Componente hardware LoRa	17
4.2.5	Campanie de măsurători pentru dispozitivele LoRa utilizate	17
4.2.6	Scenariul fără mobilitate (I) și scenariul cu vizibilitate directă (II)	18
4.2.7	Scenariile fără vizibilitate directă (III, IV)	18

4.2.8	Concluzii privind utilizarea LoRa în sistemul de alarmare pentru hipoacuzici	18
5	Contribuții la dezvoltarea Nivelului Conectivitate folosind tehnologiile LoRa/ LoRaWAN, Wi-Fi și rețele FANET și SANET	19
5.1	Introducere	19
5.2	Algoritmul de optimizare a pozițiilor UV	19
5.2.1	Context	19
5.2.2	Noțiuni de propagare, graful pierderilor de propagare și graful legăturilor de comunicație	19
5.2.3	Integrarea componentei de optimizare a comunicației	20
5.2.4	Evaluarea algoritmului de poziționare și rezultate	22
5.2.5	Discuție	23
5.3	Concluzii privind algoritmul de optimizare propus	23
5.3.1	Comparație cu alte lucrări	23
5.3.2	Probleme nerezolvate și direcții viitoare	23
6	Campanie de măsurători WSN-UAV-USV pentru tehnologia LoRa	24
6.1	Introducere	24
6.2	Implementarea platformei de măsurători și scenariile propuse	24
6.3	Rezultate experimentale obținute pentru tehnologia LoRa și interpretare	25
6.3.1	Scenariul 1: Comunicație unidirecțională LoRa UAV-USV . . .	26
6.3.2	Scenariul 2: Comunicație unidirecțională LoRa UAV-WSN . . .	29
6.3.3	Scenariul 3: Comunicație unidirecțională LoRa USV-WSN . . .	30
6.4	Concluzii privind campania de măsurători	30
6.4.1	Rezultate obținute	30
6.4.2	Provocări întâmpinate	31
7	Concluzii și direcții viitoare de cercetare	33
7.1	Rezultate obținute	33
7.2	Contribuții personale	35
7.3	Lista lucrărilor publicate	36
7.4	Premii obținute, prelegeri și alte distincții	40
7.5	Participări în proiecte de cercetare în domeniul tezei	40
7.6	Participări în proiecte de cercetare în afara domeniului tezei	41
7.7	Impactul cercetărilor și rezultatelor	42
7.8	Direcții viitoare de cercetare	42
	Bibliografie	43

Introducere

Prezentarea domeniului tezei de doctorat

Sistemele automate care folosesc senzori nu pot fi separate de rețelele de senzori fără fir (WSN). Recent, pornind de la rețelele ad-hoc ce conectau vehiculele în scopul cooperării dintre ele, odată cu integrarea vehiculelor aeriene autonome (UAV) în sistemele IoT, s-au dezvoltat rețelele care conectează vehiculele autonome aeriene (FANET). Mai mult, principiul cooperării dintre vehicule a fost preluat și în domeniul ambarcațiunilor (marine și nu numai), dezvoltându-se rețelele ad-hoc marine sau rețelele ad-hoc acvatice, SANET. Atât rețelele FANET, cât și cele SANET au fost propuse pentru a fi integrate în peisajul IoT, însă performanțele lor într-un cadru comun nu au fost, până acum, studiate. În ceea ce privește perspectiva din care sunt analizate, în cadrul lucrării se va face referire la aspectele legate de propagarea în astfel de rețele. Această perspectivă este o noutate. Literatura abundă, însă, de lucrări care tratează conceptele legate de rutarea în astfel de rețele. Astfel, lucrarea de față își propune studierea și optimizarea performanțelor unei rețele hibrid WSN-SANET-FANET în contextul dezvoltării unei platforme IoT multi-disciplinară ce servește următoarelor domenii: agricultura de precizie, aplicațiile medicale non-critice, monitorizarea mediului și managementul dezastrelor.

Scopul tezei de doctorat

În continuare, această lucrare își propune să răspundă la următoarea întrebare: *Este fezabilă dezvoltarea unei arhitecturi IoT cu rețele de senzori hibride (WSN-FANET-SANET) bazate pe coexistența tehnologiei LoRa cu alte tehnologii de comunicații care să înlocuiască infrastructura wireless la cerere?*

Această principală întrebare atrage după sine numeroase problematice de cercetare, evidențiate prin alte nouă întrebări derivate enumerate în cadrul acestei secțiuni.

Conținutul tezei de doctorat

Pentru a putea răspunde la toate întrebările din secțiunea precedentă, este necesară parcurgerea mai multor etape ilustrate prin însăși structura lucrării.

Astfel, teza debutează cu un capitol teoretic (Capitolul 1) în care se prezintă principiile și componentele rețelelor de senzori fără fir, tehnologiile de comunicații de mică putere și arie mare de acoperire, conceptul și arhitectura IoT și un studiu privind rețelele FANET și SANET și integrarea lor în arhitecturile IoT.

În Capitolul 2, pornind de la conceptele descrise în Capitolul 1 și adăugând numeroase elemente de noutate (rețeaua WSN-FANET-SANET, metoda de selecție a tehnologiei de comunicații, algoritmul de optimizare a pozițiilor nodurilor de tip UAV și USV), este prezentată o nouă arhitectură IoT pe cinci niveluri, Dispozitive, Pseudo-Edge, Conectivitate, Cloud, Aplicație.

În Capitolul 3, contribuțiile la nivelul dispozitive sunt împărțite în două categorii: contribuții la sub-nivelul Dispozitive non-critice și contribuții la sub-nivelul Dispozitive critice, abordarea fiind inovativă, dar și foarte utilă, considerând dezavantajele abordării unitare curente unde toate datele sunt tratate cu aceeași prioritate. S-a pus în evidență și faptul că este necesară o metodă de selecție a tehnologiei de comunicații adecvată scenariului, arătându-se că, în mod uzual, intervalul dintre două transmisii succesive ale parametrilor are o valoare fixă.

În Capitolul 4, se prezintă contribuțiile la dezvoltarea nivelului Conectivitate folosind tehnologia LoRa pentru aplicații IoMT și de creștere a calității vieții. Astfel, se pun în evidență parametrii tehnologiei LoRa necesari pentru a avea un domeniu de comunicație adecvat unui scenariu de spital și, respectiv, unui scenariu de monitorizare la domiciliul pacienților. De asemenea, în ultima parte a capitolului se pun în evidență rezultatele experimentale obținute în urma implementării nivelului Conectivitate pentru un prototip de alarmă pentru hipocuzici bazat pe tehnologia LoRa.

În Capitolul 5, se propune un algoritm de optimizare a pozițiilor nodurilor mobile UAV și USV ce poate rula pe un server Cloud astfel încât să fie posibilă realizarea comunicației dintre un WSN deservit și poarta de acces a rețelei. În plus, s-au definit cele mai importante noțiuni legate de propagare și s-au detaliat modelele de propagare folosite în rețelele terestre, aeriene și acvatică, precum: modelul cu două raze, modelul propus în standardele 3GPP, modelul de propagare în spațiul liber. Acestea sunt importante pentru înțelegerea soluției de optimizare a sistemelor IoT propuse.

Capitolul 6 încheie seria de contribuții la nivelul Conectivitate printr-o campanie de măsurători efectuată pentru analiza performanțelor tehnologiei LoRa și pentru comparația cu modelele teoretice propuse în Capitolul 5. S-au reliefat, în plus față de capitolul anterior, noțiuni legate de câștigul antenelor, de fenomenele suplimentare care au apărut în timpul măsurătorilor din teren (atenuare din partea vegetației, pierderi prin reflexie și difracție etc). Pe baza rezultatelor experimentale s-au propus modele experimentale caracteristice zonei și condițiilor în care s-au efectuat experimentele.

În final, în Capitolul 7 am rezumat contribuțiile personale și rezultatele cercetării și experimentelor realizate și am evidențiat direcțiile viitoare de dezvoltare a temei.

Astfel, lucrarea tratează pe larg contribuțiile personale la optimizarea și îmbunătățirea platformelor IoT, dar și provocările și dificultățile întâmpinate în acest demers.

Capitolul 1

Rețelele de senzori fără fir și Internetul Lucrurilor

1.1 Rețele de senzori fără fir: concept și aplicații

1.1.1 Introducere

Rețelele de senzori fără fir reprezintă o legătură între mediul înconjurător și mediul digital [1]. Acest tip de rețele poate fi utilizat pentru o gamă largă de aplicații, însă lucrarea de față se concentrează pe utilizarea rețelelor de senzori în aplicații de monitorizare a parametrilor unor culturi agricole [2], [3], [4], a monitorizării mediului [5] și managementul dezastrelor [6] și în aplicații non-critice de telemedicină [7], [8].

1.1.2 Principiul rețelelor de senzori fără fir: caracteristici și arhitectură

Rețelele de senzori fără fir sunt infrastructuri compuse din noduri de senzori conectate astfel încât acestea să monitorizeze cooperativ o arie [1]. Acestea sunt capabile să achiziționeze, proceseze și să transmită datele achiziționate de la senzori către un sistem central a cărui sarcină constă în colectarea, post-procesarea și analiza datelor astfel încât evenimentele la care sistemul central trebuie să reacționeze să fie izolate [9].

1.1.3 Nodurile de senzori: componente

Un nod de senzori cuprinde următoarele componente: senzori și circuite de condiționare a semnalului, unitate de achiziție și procesare, modul de comunicație fără fir, sursă de alimentare.

1.1.4 Rețeaua fără fir: alte componente

Colectarea datelor primite de la nodurile de senzori se realizează de către nodul central. La nivelul acestui nod se pot realiza anumite procesări, însă, de obicei, resursele nodului central sunt limitate. Astfel, apar noi elemente în rețelele de senzori fără fir care participă la agregarea și direcționarea datelor, translatarea protocoalelor între diferitele rețele și coordonarea nodurilor [10]: ruterele, punctele de acces, porțile de acces, stațiile de bază.

1.2 Internetul Lucrurilor: Concept și arhitectură

În literatură, începând cu anul 2005, când a fost propusă prima arhitectură relevantă pentru domeniul IoT [11], au fost descrise numeroase propuneri de arhitecturi IoT. Modelul de referință, însă, este cel propus de ITU (International Telecommunication Union, Uniunea Internațională de Telecomunicații) [12].

Pornind de la arhitectura standardizată și reunind nivelurile Acumulare Date și Abstractizare Date în cadrul nivelului consacrat Cloud, în cadrul tezei de doctorat se propune o arhitectură IoT pe cinci niveluri: Dispozitive, Pseudo-Edge, Conectivitate, Cloud, Aplicație (Capitolul 2) cu multiple caracteristici și îmbunătățiri față de cea prezentată în această secțiune.

1.3 Noi tehnologii de comunicații fără fir pe distanță lungă adaptate sistemelor IoT: Rețelele de joasă putere și arie largă de acoperire

Tehnologiile LPWAN reprezintă un concept ce include tehnologiile care permit comunicații pe o arie largă, de putere redusă și de cost mai redus, având cerința de a transmite mici cantități de date pe o distanță mare [13].

1.3.1 Modulația LoRa și protocolul LoRaWAN

Tehnologia LoRa se bazează pe comunicația cu spectru împrăștiat cu semnale de tip chirp, CSS (Chirp Spread Spectrum) [14]. Funcționând în banda de 868 MHz în Europa, 915 MHz în America de Nord și 433 MHz în Asia, LoRa este caracterizată de o rată redusă a datelor (27 kbps pentru $SF = 7$ și o lărgime de bandă a canalului de 500 kHz și un maxim de 50 kbps atunci când se utilizează modulația FSK). După Silva și alții [15], rata de transmisie variază între 290 bps și 50 kbps. Acest din urmă aspect nu reprezintă neapărat un dezavantaj, dacă se plasează tehnologia LoRa în contextul potrivit și în cadrul scenariului potrivit. LoRa are o arie de acoperire mare (poate depăși 5 km în zonele urbane [7]; 15 km, [16] sau, ca în [15], 45 km în zonele rurale).

1.3.2 Sigfox

Sigfox a fost dezvoltat în Toulouse, Franța începând cu anul 2010 [17]. În Europa, numărul maxim de mesaje Sigfox pe zi este limitat la 144. Acest număr provine din limitarea la 1% a factorului de umplere pentru această tehnologie.

1.3.3 Narrowband-IoT (NB-IoT)

Tehnologia este integrată în standardul LTE, fiind considerată o nouă interfață radio, deoarece elimină multe dintre caracteristicile standardului LTE în scopul îmbunătățirii timpului de viață al bateriei și al minimizării costului dispozitivelor [18].

1.3.4 Tehnologia de comunicații LTE Cat M1

LTE Cat M1 este dezvoltată în benzile LTE și ocupă 1,4 MHz, coexistând cu traficul curent și funcționând în întregul spectru LTE. Spre deosebire de NB-IoT, poate suporta handover și VoLTE.

1.3.5 Comparatie între tehnologiile LPWAN

În această secțiune, este realizată o analiză comparativă a tehnologiilor LPWAN prezentate. Au fost evidențiați cei mai importanți parametri și cele mai importante caracteristici.

1.4 Tehnologia Wi-Fi în contextul dezvoltării IoT

Deși versiunile Wi-Fi sunt multiple (Tabel 1.2), în această secțiune se va face referire la cele mai noi standarde, 802.11ac, 802.11ah (Wi-Fi HaLow) și 802.11ax.

1.5 Aspecte privind integrarea rețelelor ad-hoc FANET și SANET în arhitectura IoT

1.5.1 Introducere

Atât rețelele ad-hoc aeriene, cât și rețelele ad-hoc acvatice reprezintă un concept recent dezvoltat pornind de la modelul rețelelor ad-hoc vehiculare.

1.5.2 Aplicațiile rețelelor ad-hoc aeriene

Vehiculele aeriene autonome fără pilot și vehiculele aeriene controlate de la distanță au fost integrate în numeroase aplicații precum cele din Tabel 1.3.

Tabel 1.3 Aplicații în care sunt utilizate vehiculele aeriene fără pilot sau cu pilotare de la distanță

Inspectarea zonelor de risc	Misiuni de căutare și salvare
Detecția hazardurilor (incendii)	Patrularea în zonele de frontieră
Monitorizarea traficului	Monitorizarea mediului [19]
Redirecționarea datelor către alte entități (vehiculele aeriene devin stații de bază [20])	Monitorizarea culturilor [3]
Inspectarea liniilor electrice și a altor echipamente aflate la înălțime	Monitorizarea ghețarilor și a erupțiilor vulcanice

1.5.3 Aplicațiile rețelelor ad-hoc de suprafață

Vehiculele acvatice fără pilot, respectiv, rețelele de vehicule acvatice autonome au rol în monitorizarea hidrografică, facilitează cercetarea oceanografică și misiunile maritime sau fluviale. Există două categorii de vehicule acvatice fără pilot: vehicule subacvatice și vehicule de suprafață, USV [21].

1.5.4 Principiile rețelelor ad-hoc aeriene și de suprafață

În cadrul acestei secțiuni, se vor evidenția principiile rețelelor ad-hoc aeriene, cu mențiunea că aspectele legate de mobilitate, topologie și consum de energie sunt valabile și pentru rețelele de suprafață bazate pe USV (SANET). Spre deosebire de FANET, în rețelele SANET înălțimea relativ scăzută a antenei constituie un dezavantaj, scăzând probabilitatea ca vehiculele să se afle în vizibilitate directă.

1.5.5 Arhitecturile FANET și SANET: Comparație cu celelalte tipuri de arhitecturi pentru comunicațiile dintre vehiculele autonome aeriene sau de suprafață

În această secțiune, se compară arhitectura ad-hoc cu alte trei tipuri de arhitecturi non-ad-hoc: arhitectură bazată pe comunicația directă a vehiculelor autonome cu centrul de control aflat la sol, arhitectură bazată pe rețelele celulare, arhitectură bazată pe comunicațiile satelitare.

1.6 Concluzii

Acest capitol a fost dedicat prezentării rețelelor WSN și a conceptului de Internet al Lucrurilor. În plus, au fost prezentate opțiunile pentru asigurarea conectivității în cadrul rețelelor WSN și platformelor IoT propuse, mai departe, în cadrul lucrării.

Capitolul 2

Arhitectura IoT propusă: Componente și comparație cu alte arhitecturi

2.1 Introducere

În acest capitol, este prezentată arhitectura IoT propusă în cadrul tezei de doctorat. De asemenea, constituie rezultatul unui efort de cercetare care a urmărit conectarea unor aplicații din perspective precum: agricultura sustenabilă [4, 22, 23], IoMT [7], monitorizarea mediului, prevenția și managementul dezastrelor [6]. În acest capitol, sunt descrise componentele fiecărui nivel IoT propuse pentru integrare în platformă și validate ulterior în capitolele următoare.

2.2 Descrierea arhitecturii propuse

În Figura 2.1 este prezentată arhitectura IoT structurată pe 5 cele niveluri propuse: Dispozitive, Pseudo-Edge, Conectivitate, Cloud și Aplicație.

2.2.1 Nivelul Dispozitive

Acest nivel cuprinde dispozitivele și unitățile de achiziție, precum senzorii, platformele de dezvoltare, vehiculele autonome. Pentru exemplificarea acestui nivel, s-a propus cazul de utilizare agriculturii de precizie și al detecției incendiilor în locuințe sau în alte medii [5], [6].

2.2.2 Nivelul Pseudo-Edge

Nivelul Pseudo-Edge (o proiecție microscopică a nivelului original IoT Edge), pe baza datelor curente (nu există eșantioane anterioare disponibile, deoarece acest nivel nu stochează date), generează o etichetă bazată pe un cod binar ce descrie evenimentul/starea

globală curentă, de exemplu: ploaie torențială și vânt puternic detectat, sau baterie consumată și vânt puternic detectat (UAV); pH redus și turbiditate foarte mare (USV); degajare gaz petrolier lichefiat GPL (WSN). S-a propus ca, pe baza etichetei generate, să se realizeze selecția tehnologiei de comunicații adecvată scenariului. Metoda de selecție a tehnologiei de comunicații este descrisă în Capitolul 3, Secțiunea 3.3 și a fost particularizată pentru un scenariu de monitorizare a unor evenimente critice, precum incendiile sau degajările de gaze inflamabile.

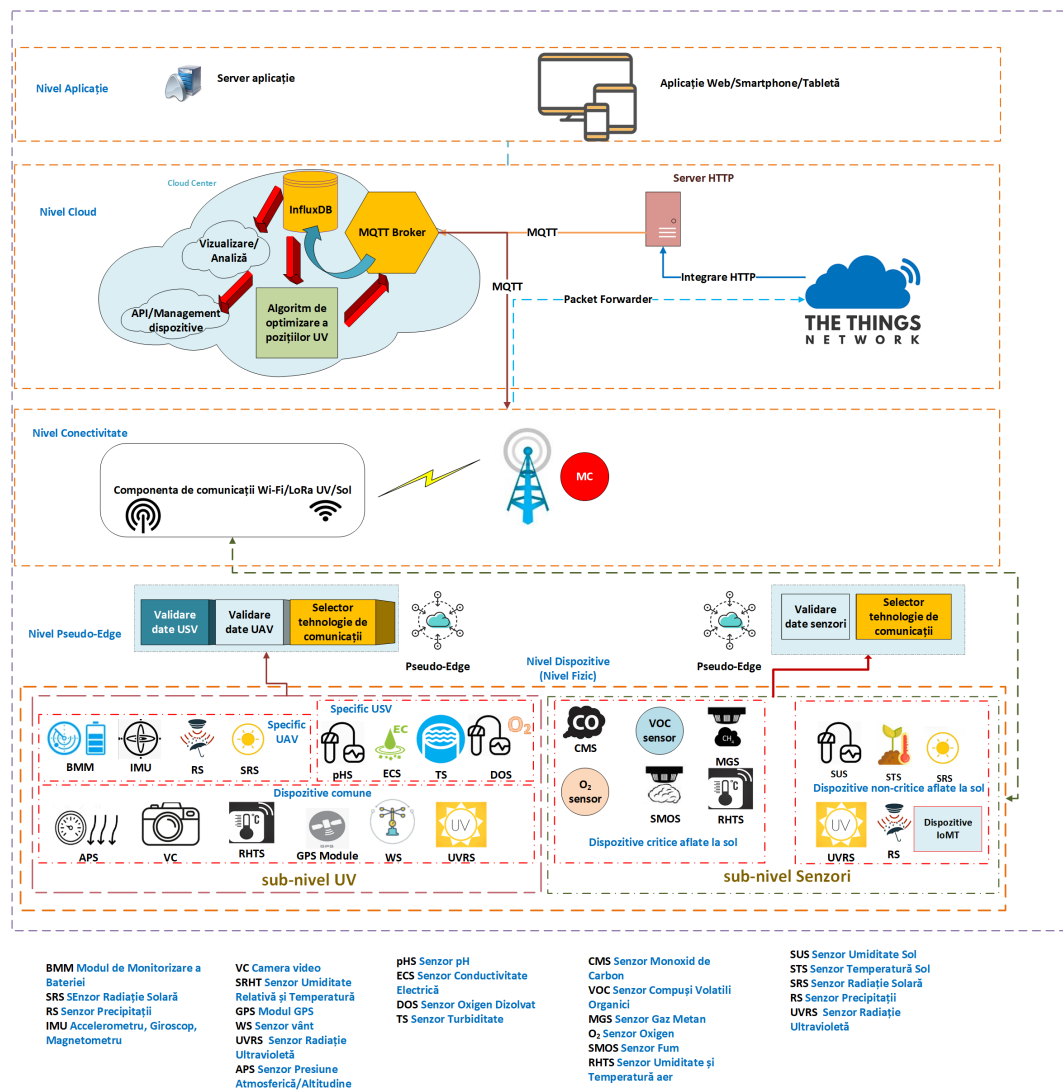


Figura 2.1 Arhitectura Internet of Things propusă (adaptare din [22–24])

2.2.3 Nivelul Conectivitate

Componenta inovativă a acestui nivel constă în utilizarea UV-urilor ca puncte de acces pentru WSN-uri care nu se află în aria de acoperire a porții de acces. Acest lucru este posibil folosind rețele ad-hoc de vehicule aeriene (FANET) și rețele ad-hoc de vehicule de suprafață (SANET) ale căror principii au fost reliefate în Secțiunea 1.5.

În Figura 2.2 este reprezentată sub-arhitectura care prezintă contextul dezvoltării unui algoritm care furnizează poziția optimă a vehiculelor autonome (UV=UAV+ USV) pentru a conecta un anumit WSN terestru la o platformă IoT.

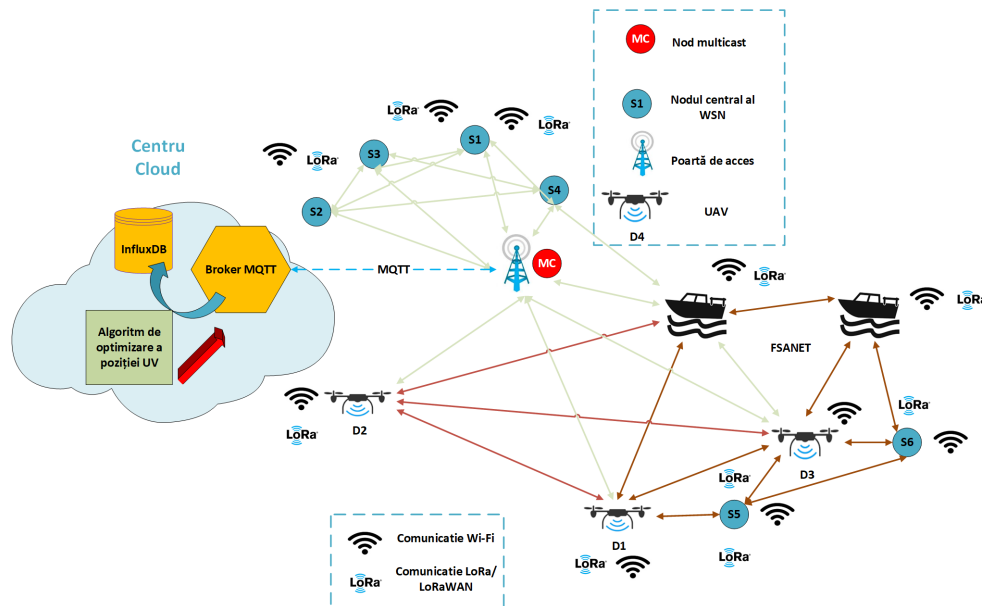


Figura 2.2 Rețeaua WSN-FSANET [24]

Contribuțiile aduse la dezvoltarea nivelului Conectivitate folosind tehnologia LoRa sunt prezentate în Capitolul 4. Contribuțiile practice la dezvoltarea nivelului Conectivitate prin simbioza dintre tehnologia LoRa, tehnologia Wi-Fi și rețelele aeriene și de suprafață sunt prezentate în Capitolul 5.

2.2.4 Nivelul Cloud

De la poarta de acces, datele sunt trimise către Centrul Cloud prin intermediul protocoalelor de date (HTTP, MQTT). Centrul Cloud are, printre altele, sarcina de a stoca datele în baza de date, de a coordona misiunile UV și de a executa algoritmul de optimizare a poziției UV-urilor în spațiul fizic propus în Capitolul 5.

2.2.5 Nivelul Aplicație

Platforma IoT propusă va cuprinde un tablou de bord propriu necesar nu doar vizualizării datelor (acest lucru este deja realizat prin intermediul serverului Thingspeak), cât și interacțiunii utilizatorului final cu întregul sistem. În acest fel, platforma propusă se va constitui într-o soluție completă, acoperindu-se toate nivelurile esențiale.

2.2.6 Comparație cu alte arhitecturi din literatură

În această secțiune este prezentată o comparație a arhitecturii propuse cu alte arhitecturi din literatură pe domenii de utilizare.

2.3 Cazuri de utilizare propuse ale arhitecturii IoT folosind tehnologiile LoRa, LoRaWAN, Wi-Fi și rețelele hibride

În această secțiune, sunt evidențiate câteva dintre cazurile de utilizare pentru monitorizarea mediului ale arhitecturii IoT propuse în Secțiunea 2.2: evitarea obstacolelor de către ambarcațiuni, monitorizarea calității apei și a mediului ambiant, asigurarea unei legături ad-hoc pentru dispozitivele din regiunile Deltei.

2.4 Concluzii privind arhitectura propusă

Arhitectura propusă urmărește standardul ITU [12], înglobând nivelurile *Acumulare date* și *Abstractizare date* într-un singur nivel validat în literatura de specialitate ca nivel Cloud. O altă deosebire față de arhitectura ITU [12] rezidă în integrarea unui nivel Pseudo-Edge care preia din caracteristicile nivelului original Edge și le exploatează mult mai aproape de nodurile centrale ale rețelelor de senzori sau ale celor hibride, cum sunt cele propuse în cadrul lucrării.

Capitolul 3

Contribuții la dezvoltarea Nivelului Dispozitive și Nivelul Pseudo-Edge

3.1 Introducere

În acest capitol, se vor prezenta îmbunătățirile aduse platformei IoT din punctul de vedere al primului nivel al acestei arhitecturi, numit nivelul Dispozitive, și rezultatele privind sub-nivelurile non-critic și critic.

3.2 Sub-nivelul Dispozitive Non-Critice: Evaluarea unor parametri în agricultura de precizie

În scopul evaluării relevanței parametrilor pentru agricultura de precizie, nivelul Dispozitive, cu sub-nivelul Dispozitive Non-critice, a fost dezvoltat, la nivel hardware, pe baza echipamentului Libelium SmartAgriculture Xtreme [3] ce cuprinde senzori calibrați. Rezultatele experimentale evidențiază relevanța parametrilor propuși pentru componenta de viticultură de precizie a platformei propuse.

3.3 Sub-nivelul Dispozitive Critice și Nivelul Pseudo-Edge: selecția tehnologiei de comunicații și adaptarea intervalului dintre două transmisii consecutive pentru aplicații critice de management al dezastrelor

3.3.1 Prezentarea contextului

Platforma IoT propusă poate veni în sprijinul comunităților prin componentele sale de management al dezastrului. Dispozitivele specifice sub-nivelului critic pot fi instalate în

fiecare cartier sau comunitate, iar locuitorii și echipele de salvare pot fi alertați atunci când viața, gospodăriile locuitorilor sau alte clădiri sunt amenințate.

3.3.2 Teste realizate și rezultate experimentale

În cadrul acestei secțiuni a fost investigat scenariul de incendiu și cel de degajare GPL. Datele dintr-un incendiu domestic sau dintr-un incendiu declanșat într-un mediu industrial nu au putut fi capturate, dar au fost realizate diferite experimente relevante.

3.3.3 Metoda de selecție a tehnologiei de comunicație și de adaptare a intervalului dintre două transmisii a datelor senzorilor

Pe baza testelor efectuate și a observațiilor făcute pe marginea lor, putem introduce nivelul Pseudo-Edge, care are rolul de a facilita procesarea datelor de la un nod central pentru decizia privind tehnologia de comunicații adecvată evenimentului detectat, dar și pentru definirea unei rate de transmisii adaptate acestui eveniment. Astfel, fiecărui eveniment i se va atribui la nivelul nodului central un cod format din șase biți (echivalent cu numărul de parametri considerați pentru exemplificare), $C = b_1b_2b_3b_4b_5b_6$.

Cât timp codul evenimentului este $C = 000000$, niciun eveniment nu este detectat, iar transmisia va fi realizată prin intermediul comunicației LoRa.

În Figura 3.10, este ilustrată comparația dintre valorile intervalului de transmisie a datelor prin Wi-Fi în trei situații. În primul caz, se propune ca intervalul dintre două

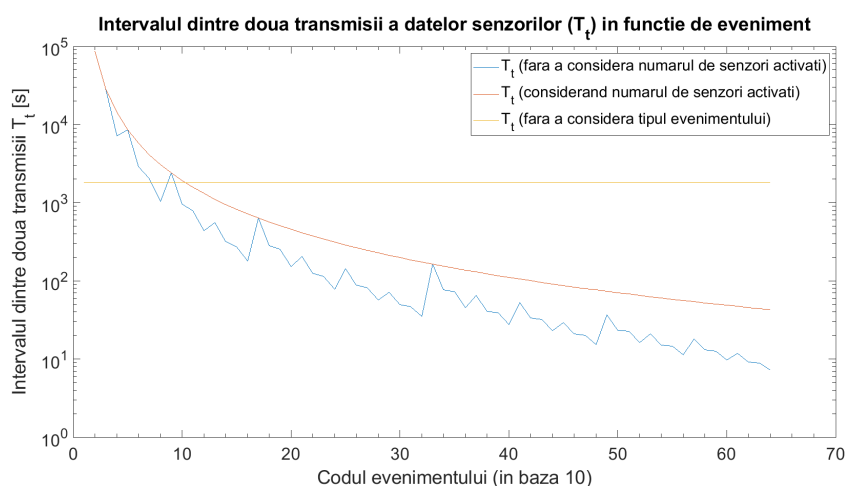


Figura 3.10 Comparație între valorile intervalului dintre două transmisii a datelor senzorilor

transmisii să se calculeze pe baza Ecuației 3.2, luându-se în considerare doar codul evenimentului.

$$T_t = \frac{T_z}{\sum_{n=1}^p 2^{p-n} \cdot b_n} \quad (3.2)$$

În al doilea caz, intervalul dintre două transmisii se calculează pe baza Ecuației 3.3, luându-se în considerare atât codul evenimentului, cât și numărul de senzori ale căror valori de prag sunt depășite. Spre deosebire de primul caz, se poate observa că atunci când avem mai multe valori ale pragurilor depășite, intervalul dintre două transmisii scade semnificativ, chiar dacă importanța parametrilor nu este cea mai ridicată. În acest fel, impactul modificării bruște și a altor parametri mai semnificativi (având ordin n mai mic) poate fi surprins cu ușurință în timp util.

$$T_t = \frac{T_z}{\sum_{n=1}^p 2^{p-n} \cdot b_n \cdot \sum_{n=1}^p b_n} \quad (3.3)$$

În ambele ecuații, $p = 6$ (numărul de senzori). Ambele modele pot fi aplicate și pentru cazul $C = 000000$, întrucât $T_t \rightarrow \infty$ pentru $b_n = 0, \forall 1 \leq n \leq 6$, iar intervalul dintre două transmisii Wi-Fi va fi ∞ (transmisia se va face în acest caz doar prin tehnologia LoRa). Pentru ambele cazuri, $T_z = 86400$ s, echivalentul a 24 de ore.

În al treilea caz, intervalul dintre două transmisii este cel utilizat în majoritatea aplicațiilor de telemetrie, 30 minute. Din reprezentarea grafică, se poate observa că acest interval nu este adecvat scenariilor critice sau celor care pot genera alarme fals-pozitive, ca urmare a unor variații anormale a parametrilor pe durate scurte de timp.

3.4 Concluzii privind contribuțiile la dezvoltarea nivelului Dispozitive

În acest capitol, s-au pus în evidență aspecte precum evaluarea senzorilor și a parametrilor determinați cu ajutorul acestora relevanți pentru viticultura de precizie, abordată în cadrul lucrării. De asemenea, s-au prezentat resursele hardware și software utilizate pentru testarea în scenarii precum degajarea de gaze inflamabile și incendiile și s-a definit o metodă de selecție a tehnologiei de comunicații potrivită unui anumit scenariu (Wi-Fi sau LoRa). De asemenea, s-a propus o ecuație pentru determinarea intervalului de timp dintre două transmisii succesive dependentă de evenimentul detectat.

Capitolul 4

Contribuții la dezvoltarea Nivelului Conectivitate folosind tehnologia LoRa

4.1 Analiza performanțelor comunicației LoRa în IoMT

Ca și în alte aplicații IoT, există dispozitive IoMT care nu necesită tehnologii de comunicații cu rată de transmisie ridicată, însă este necesar ca aceste dispozitive să aibă o autonomie cât mai mare, iar complexitatea rețelei din care fac parte să fie cât mai scăzută. În cadrul secțiunii se vor prezenta testele realizate pentru a determina gradul de acoperire al tehnologiei LoRa în platformele IoMT.

4.1.1 Implementarea prototipului experimental

Pentru prototip au fost utilizate două platforme de dezvoltare Lopy v1 (1) echipate cu modul de emisie-recepție LoRa Semtech SX1272, două antene 868 MHz LoRa (2), două antene 900 MHz (3), două plăci de expansiune pentru programarea și alimentarea modulelor (4), un senzor de temperatură în infraroșu.

Locațiile propuse pentru experimente se află în București, România: 1. Spitalul Universitar de Urgență București (SUUB) (stația de bază), 2. Facultatea de Medicină și Farmacie din București (FMFB) (dispozitiv final), 3. Bulevardul Cotroceni (dispozitiv final), 4. Stația de metrou (SM) Politehnica (dispozitiv final), 5. SM Păcii (dispozitiv final). Pentru exemplificarea cazului de utilizare în mediul spitalicesc, s-a realizat conexiunea între stația de bază amplasată la SUUB și un dispozitiv final plasat la FMFB (1-2), iar pentru utilizarea la domiciliu, s-au conectat următoarele locații: 1-3, 1-4, 1-5.

4.1.2 Rezultate experimentale

Pentru arhitectura specifică spitalului propusă în cadrul tezei [7], s-a utilizat antena monopol (2) pentru frecvențe cuprinse între 824 și 960 MHz. Factorul de împrăștiere necesar (SF) a fost 12, deși pentru a obține o rată de transmisie mai ridicată și pentru

un domeniu de acoperire relativ redus, ar fi suficient un factor de împrăștiere mai mic ($SF=9$, pentru antena (3)). După cum se va observa, caracteristicile antenei monopol impun utilizarea unui factor de împrăștiere mai mare.

În cazul scenariului de telemonitorizare a pacienților aflați la domiciliu [7], pentru toate experimentele a fost utilizată antena dipol pentru frecvența de 868/915 MHz, fiind testate diferite valori pentru factorul de împrăștiere pentru a face posibilă comunicația cu dispozitivele finale stabilite.

În Tabel 4.3 sunt rezumate rezultatele experimentului realizat.

Tabel 4.3 Domeniu maxim de acoperire și valoarea SF necesară

Scenariu	Locații conectate	Distanță	Putere TX	SF necesar	Antenă
IoMT Spital	1-2	217,12 m	14 dBm	12	Monopol
IoMT Domiciliu	1-3	735,63 m		7	Dipol
IoMT Domiciliu	1-4	1360 m		9	Dipol
IoMT Domiciliu	1-5	5240 m		12	Dipol

4.1.3 Concluzii și direcții viitoare pentru utilizarea tehnologiei LoRa în platformele Medical IoT

În această secțiune, am propus o soluție de comunicații cu aplicații în platformele dedicate IoMT. Pachetele conținând datele unui senzor de temperatură au fost trimise de la Spitalul Universitar de Urgență către nodurile terminale mobile. Cel mai extins domeniu de acoperire (5,24 km) a fost obținut pentru factorul de împrăștiere maxim, însă au fost observate pierderi de pachete.

Implementarea unei rețele LoRa determină scăderea costurilor de implementare (sunt necesare mai puține noduri, obținând un domeniu de acoperire ridicat), precum și simplificarea procedurilor de mentenanță a rețelei și a nodurilor.

4.2 Utilizarea LoRa în sistemele dedicate persoanelor cu dizabilități

4.2.1 Prezentarea contextului

În [8], a fost propus un sistem de ceas deșteptător bazat pe motoare cu vibrație, senzori ultrasonici, tehnologiile BLE și LoRa pentru a trezi utilizatorul și pentru a aduce la zi automat ceasul electronic al sistemului (RTC, Real-Time Clock) utilizat de sistem. Pentru a aborda problema unei întreruperi de alimentare cu energie, timpul poate fi ajustat prin intermediul conexiunii la serverul LoRa și prin funcționarea cu baterii.

4.2.2 Fluxul de lucru și descrierea sistemului propus

În această secțiune este prezentat și reprezentat grafic fluxul de lucru al sistemului propus. Ceasul deșteptător poate funcționa autonom sau dependent de telefonul inteligent al utilizatorului.

4.2.3 Aducerea la zi a RTC utilizând serverul de timp LoRa

RTC va fi adus la zi după cum urmează (Figura 4.3): componenta sistemului denumită LoRaTimeServer recepționează timpul universal coordonat (UTC, Coordinated Universal Time) de la modulul GPS conectat la serverul LoRa și ajustează fusul orar în concordanță cu locația serverului. Datele privind timpul sunt trimise către blocul de sincronizare LoRa utilizând comunicația LoRa. Din cauza limitărilor tehnologiei de transmisie (rată a datelor și latență foarte reduse), blocul de sincronizare LoRa estimează întârzierea de propagare și ajustează în mod corespunzător timpul. Blocul UpdateRTC permite aducerea la zi automată a modulului RTC, pe baza ieșirii blocului de sincronizare LoRa.

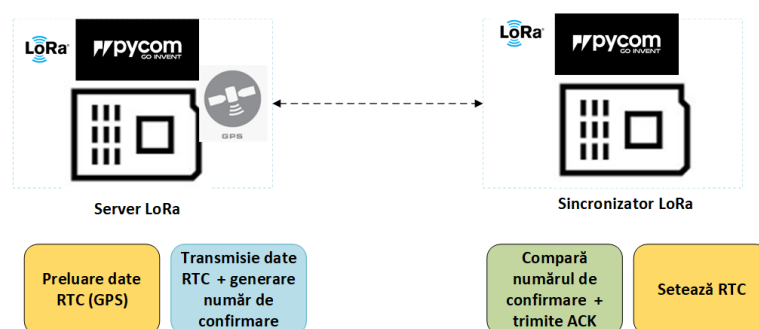


Figura 4.3 Subsistemul LoRa utilizat pentru analiza performanțelor tehnologiei LoRa [8]

4.2.4 Componente hardware LoRa

Modulele hardware de comunicație LoRa propuse sunt Semtech SX1272 (868 MHz), cu un domeniu de sensibilitate între -111 dBm și -148 dBm. Pentru a urmări poziția GPS a nodului mobil, se va utiliza placa Pytrack.

4.2.5 Campanie de măsurători pentru dispozitivele LoRa utilizate

Pentru a determina performanțele serverului LoRa și ale sincronizatorului LoRa, precum și decalajul temporal corespunzător dintre ele, au fost propuse patru scenarii și au fost realizate mai multe teste. Înălțimea antenei a fost modificată în conformitate cu scenariile din Tabel 4.4. Mărimea Δh reprezintă diferența dintre înălțimea antenei serverului LoRa și cea a antenei dispozitivului purtabil.

În toate cele patru scenarii, LoRaTimeServer va trimite coordonatele temporale bazate pe timpul UTC și pe diferența de timp în conformitate cu fusul orar. Pentru

Tabel 4.4 Descrierea scenariilor [8]

Scenariu	Mobilitate	Distanța T-R	Δh	SF	Ptx
I	Nu	1,5 m	0 m	7	14 dBm
II	Da	1,5 m-100 m	0-7,14 m	7	
III	Da	1,5 m-350 m	<1 m	12	
IV	Da	1,5 m-650 m	3 m	12	

toate testele, pentru fiecare pachet recepționat ce cuprinde coordonatele temporale recepționate, sunt achiziționați și stocați, la nivelul serverului, parametri relevanți pentru comunicația LoRa și pentru scenariile vizate, precum indicatorul de putere a semnalului recepționat RSSI, RSZ, puterea de transmisie (P_{tx}) și numărul de retransmisii, dar și coordonatele GPS. De asemenea, coordonatele GPS vor fi utilizate pentru a determina domeniul maxim de acoperire al comunicației. În acest scop, vor fi folosite două metode:

1. Determinarea domeniului maxim de acoperire (raza) cu ajutorul utilitarului Google Earth;
2. Determinarea domeniului maxim de acoperire (raza) pe baza ecuației Haversine [26] (Ecuațiile 4.1–4.3 din teza de doctorat).

4.2.6 Scenariul fără mobilitate (I) și scenariul cu vizibilitate directă (II)

În cadrul acestei secțiuni, distribuțiile valorilor RSSI în raport cu pachetele recepționate, pentru scenariul fără mobilitate și pentru primul scenariu cu mobilitate (distanța maximă mai mică decât 100 m) sunt reprezentate grafic și analizate.

4.2.7 Scenariile fără vizibilitate directă (III, IV)

În Scenariul III, în situația cea mai defavorabilă, diferența Δh este mai mică decât 0,5 m. Distanța maximă obținută este de 0,398 km, cu cea mai mică valoare RSSI de -136 dBm. În Scenariul IV, înălțimea antenei de emisie a fost crescută astfel încât Δh devine aproximativ 3 m. În cadrul secțiunii, sunt reprezentate caracteristica RSSI și distanța față de server pentru fiecare pachet recepționat de nodul mobil.

4.2.8 Concluzii privind utilizarea LoRa în sistemul de alarmare pentru hipoacuzici

În ceea ce privește propunerea de sistem de actualizare a ceasului alarmelor bazat pe tehnologia LoRa, cadrul de lucru propus, proiectat pe baza dispozitivelor cu consum redus de energie și a tehnologiilor LPWAN, precum LoRa, reprezintă principalul aspect care îl diferențiază față de celelalte soluții existente.

Capitolul 5

Contribuții la dezvoltarea Nivelului Conectivitate folosind tehnologiile LoRa/ LoRaWAN, Wi-Fi și rețele FANET și SANET

5.1 Introducere

În Capitolul 2, Secțiunea 2.2.3 s-a prezentat arhitectura unei rețele hibride formată din rețele de senzori fără fir, rețele aeriene și de suprafață care asigură transmisia datelor din medii izolate spre o poartă de acces care are conexiune la Internet. Această rețea hibridă este elementul de noutate al nivelului Conectivitate, iar capitolul curent prezintă o abordare inovativă pentru determinarea pozițiilor optime ale nodurilor mobile (UAV, USV) pentru asigurarea unei legături de date între rețeaua de senzori fără fir izolată și poarta de acces pe baza legăturilor intermediare asigurate de aceste vehicule.

5.2 Algoritmul de optimizare a pozițiilor UV

5.2.1 Context

Această secțiune are drept scop prezentarea cadrului de lucru și a arhitecturii IoT simplificate în care este necesar un astfel de algoritm.

5.2.2 Noțiuni de propagare, graful pierderilor de propagare și graful legăturilor de comunicație

Pentru a asigura comunicația între nodurile unei rețele fără fir terestre, este necesară existența unor legături între aceste noduri care acționează ca emițătoare-receptoare și

sunt aflate la o anumită distanță unele față de celelalte și în anumite condiții de mediu. Scenariul devine mult mai complex atunci când se dorește integrarea în rețeaua fără fir a vehiculelor aeriene sau a celor acvatiche, întrucât este necesară determinarea unor coordonate 3D optime pentru plasarea acestora în spațiu. S-au avut în vedere aspectele teoretice legate de propagarea semnalelor fără fir, precum: parametrii de comunicație, mediul de propagare, canalele de propagare și modelele de propagare.

S-au efectuat numeroase simulări pentru modelele de propagare cu două raze, 3GPP, propagare în spațiul liber. O sarcină foarte importantă a algoritmului propus în acest capitol constă în estimarea setului de valori optime (d, h_t, h_r) care vor fi translatate către setul de valori $(\phi_i, \lambda_i, \phi_j, \lambda_j, \epsilon_i, \epsilon_j)$ pentru a minimiza pierderile de propagare și a evita apariția pierderilor de semnal datorate compunerii distructive a semnalelor.

5.2.3 Integrarea componentei de optimizare a comunicației

În cadrul tezei, înainte de dezvoltarea algoritmului de optimizare a pozițiilor nodurilor mobile, s-a introdus un alt algoritm de mici dimensiuni care are rolul de a reduce spațiul de căutare a soluției optime. Problema plasării optime este o problemă polinomială non-deterministă, foarte consumatoare de resurse computaționale pentru care se aplică algoritmi de backtracking. Algoritmul preliminar folosește noțiunea de ortodromă – calea mai scurtă între două noduri pe o sferă. Acest concept este intens utilizat în navigație, dar este propus pentru prima dată pentru reducerea spațiului de căutare a soluției de plasare optimă. Algoritmul 1 este utilizat pentru a determina nodurile UV reale (rn) care sunt mai aproape de nodurile virtuale (vn), astfel încât să se minimizeze distanța parcursă de nodurile reale până în pozițiile nodurilor virtuale.

Pe baza caracteristicilor canalelor de propagare, a înălțimilor antenelor și a pierderilor de propagare, Algoritmul 2 calculează latitudinea, longitudinea și elevația pozițiilor optime. Astfel, legătura de comunicație este asigurată cu un cost minim în ceea ce privește deplasarea UV pe orizontală și/sau pe verticală. Scopul algoritmului constă din minimizarea funcției de cost $f_0(\Delta, \chi)$.

$$\begin{aligned} & \underset{\Delta_j, \chi_j}{\text{minimizează}} & f_0(\Delta, \chi) = \sum_{j=1}^{vn} a_j \Delta_j + b_j \chi_j, & (5.43) \\ & \text{cu restricția } w_{j,j+1} < 1 + \zeta \end{aligned}$$

unde $j \in \{1, \dots, N_{vn}\}$, $\Delta = [\Delta_j]$ este distanța parcursă de rn_j , iar $\chi = [\chi_j] = |h_f - h_i|$ este diferența de înălțime, unde h_f și h_i sunt înălțimea finală, respectiv cea inițială a rn_j (doar UAV își modifică înălțimea). a_j și b_j sunt ponderea distanței și, respectiv, ponderea înălțimii.

Problema optimizării implică o funcție de optimizare liniară cu constrângeri neliniare. Așadar, este o problemă de programare neliniară (NLP).

Algoritm 1 Algoritmul pentru nodurile UV reale cele mai apropiate [24]

Intrare: $N_{vn}, N_{rn} = n_{UAV} + n_{USV}$; Coordonate GPS;

Ieșire: CN (vectorul nodurilor reale celor mai apropiate), CD (distanțele dintre nodurile cele mai apropiate de nodurile virtuale și nodurile virtuale însele)

- 1: Determinați distanțele dintre fiecare nod virtual vn_i și fiecare nod real rn_j , $D = [d_{i,j}]$
 $i \leq N_{vn}, j \leq N_{rn}$
 - 2: Redefiniți matricea D ca $BD_{1 \times (N_{vn} \cdot N_{rn})}$
 - 3: Aranjați BD în ordine crescătoare ca BD_1
 - 4: Găsiți vectorul bd (pozițiile indicelui pentru BD_1 în BD)
 - 5: Inițializați vectorul nodurilor reale celor mai apropiate $CN_k = 0 \forall k \leq N_{vn}$
 - 6: Inițializați vectorul nodurilor reale vizitate $AT = \emptyset$
 - 7: **pentru** $i \leftarrow 1, N_{rn}$ **execută**
 - 8: $c \leftarrow \lfloor bd_i / N_{vn} \rfloor$
 - 9: $r \leftarrow bd_i \% N_{vn}$
 - 10: **dacă** $r > 0$ **atunci**
 - 11: $n \leftarrow c + 1$
 - 12: **altfel**
 - 13: $r \leftarrow N_{rn}$
 - 14: $n \leftarrow c$
 - 15: **sfârșit dacă**
 - 16: **dacă** $CN_n = 0$ & $r \notin AT$ **atunci**
 - 17: $CN_n \leftarrow r$
 - 18: $AT \leftarrow AT \cup \{r\}$
 - 19: $CD_n \leftarrow d_{n,r}$
 - 20: **sfârșit dacă**
 - 21: **sfârșit pentru**
-

Tabel 5.9 Rezultatele algoritmului de divizare a căii și de determinare a nodurilor reale cele mai apropiate de cele virtuale: timpul de execuție în funcție de distanța dintre GW și WSN și de numărul de UV-uri [24]

$n_{UAV} + n_{USV}$	d [km]	t [s]
3	1,0	0,0348
	1,5	0,0325
	2,0	0,0343
10	1,5	0,0323
	2,0	0,0404
	5,0	0,0295
	8,0	0,0325
20	2,0	0,0377
	5,0	0,0295
	8,0	0,0322
52	2,0	0,0493
	5,0	0,0427
100	2,0	0,1152
	5,0	0,1165

Algoritm 2 Algoritmul de optimizare a plasării bazat pe pierderile de propagare [24]

Intrare: n_{UAV} , n_{USV} , N_{vn} , N_{rn} Coordonate GPS; WSN deservit; h_{th} {Altitudinea maximă permisă a UAV-urilor}; h_{FSPL} {Altitudinea minimă a UAV-urilor pentru a putea aplica modelul FSPL}; δh {Pasul înălțimii} LB {Bugetul legăturii}, δd {Pasul distanței pentru $PL < LB - \Delta_{LB}$ }, Δd {Pasul adaptiv al distanței pentru $PL > LB$ }, ρ {Coeficientul pentru pasul adaptiv al distanței Δd }.

Ieșire: Latitudinea optimă $\phi_{opt,ni}$, longitudinea optimă $\lambda_{opt,ni}$, elevația optimă $\epsilon_{opt,ni}$ pentru fiecare UV

- 1: Calculați distanțele initiale 2D și 3D dintre fiecare două noduri, $d_{i,j}^{2D}$, $d_{i,j}^{3D}$
 - 2: Pașii 2-108 (a se consulta teza de doctorat)
-

5.2.4 Evaluarea algoritmului de poziționare și rezultate

Tabelul 5.10 prezintă evaluarea algoritmului pentru diferite valori ale parametrilor. Pentru a evidenția îmbunătățirile făcute după realizarea profilului codului implementat din punctul de vedere al timpului de execuție specific fiecărei funcții sau instrucțiuni, s-a inclus în Tabel 5.10 timpul de execuție de dinainte de realizarea profilului (t_1) și după îmbunătățiri (t_2). Indicatorul de performanță σ reprezintă suma tuturor ponderilor subunitare ale muchiilor care formează calea dintre WSN și poarta de acces, în funcție de numărul total de muchii ale căii din graful de comunicație ($\sigma = \frac{s}{n_{vn}+1}$, unde s este calculat pe baza Ecuației 5.45). Atunci când se stabilește cu succes o legătură între poarta de acces și WSN-ul deservit, $s \rightarrow n_{vn} + 1$ și, astfel, $\sigma \rightarrow 1$. Semnificația valorilor foarte reduse ale σ și $\sum_{i=0}^{n_{vn}} c_i = n_{vn} + 1$ ar fi în faptul că există mai multe UV-uri apropiate care se comportă ca niște relele decât este nevoie, ceea ce conduce la probleme de interferență și plasare ineficientă sau alegere ineficientă a UV, ceea ce nu este cazul pentru scenariile evaluate.

$$s = \sum_{i=0}^{n_{vn}} \frac{c_i PL_{CN[i],CN[i+1]}}{LB} \quad (5.45)$$

unde $CN[0]$ reprezintă poarta de acces, $CN[n_{vn} + 1]$ reprezintă WSN-ul deservit, iar

$$c_i = \begin{cases} 1 & PL_{CN[i],CN[i+1]} \leq LB \\ 0 & PL_{CN[i],CN[i+1]} > LB \end{cases} \quad (5.46)$$

Analizând Tabelul 5.10, observăm că cele mai bune rezultate pentru acest scenariu (σ maxim) se obțin pentru $\rho = 0.1$ și pentru timpul de execuție $t_2 = 14.347$. Totuși, un bun compromis este $\rho = 0.2$ în care timpul de execuție scade la 8,982 s.

Cazurile în care σ este marcat cu * sunt pentru legătura nereușită $\sum_{i=0}^{n_{vn}} c_i \neq n_{vn} + 1$.

Tabel 5.10 Rezultatele algoritmului: timpul de execuție (înainte și după îmbunătățire) și indicatorul de performanță σ ($\delta h = 7$ m, $nt = 3$, $LB = 92$ dB, $d = 7.2209$ km) [24]

n_{UAV}	n_{USV}	n_{vn}	d [km]	ρ	δd [m]	t_1 [s]	t_2 [s]	σ
19	2	19	7,2209	0,05	20	149,29	24,073	0,9859
				0,1	20	113,649	14,347	0,9871
				0,12*	20	126,498	14,424	0,9347*
				0,13	20	115,96	12,913	0,9836
				0,14	20	110,018	12,008	0,9813
				0,15	20	120,43	11,118	0,9815
				0,2	20	116,178	8,982	0,9830

5.2.5 Discuție

În această secțiune, se discută aspecte importante ce se referă la (1) posibilitatea de a utiliza algoritmul pentru aplicațiile în timp real și cele care nu sunt în timp real, și la (2) stările de mobilitate dintre pozițiile inițială și finală.

5.3 Concluzii privind algoritmul de optimizare propus

Pe parcursul lucrării, s-a evidențiat impactul rețelelor UAV și USV în ecosistemul Internetului Obiectelor și s-a explorat conceptul Internetului Vehiculelor Autonome, ca extrapolare a conceptului Internetului Dronelor (sau Internetului Vehiculelor Aeriene Autonome) care este mai îngust. În plus, a fost propusă o arhitectură IoT bazată pe o rețea hibridă de WSN-uri, UAV-uri și USV-uri (UV-uri), având două roluri principale: (1) asigurarea comunicației dintre un WSN deservit și o poartă de acces și (2) îndeplinirea sarcinilor desemnate de un Centru Cloud (CC).

5.3.1 Comparație cu alte lucrări

În cadrul acestei secțiuni s-a realizat o comparație cu alte lucrări în domeniu și abordarea propusă în cadrul capitolului.

5.3.2 Probleme nerezolvate și direcții viitoare

Conform celor evidențiate în cadrul acestui capitol, modelele de propagare din literatură, cercetate și utilizate în simulările din lucrarea de față, prezintă limitări, care le fac să nu fie aplicabile în toate scenariile din viața reală. În consecință, în viitor se pot explora noi modele de canal, pentru a depăși limitele modelelor de propagare întrebunțate până acum.

Capitolul 6

Campanie de măsurători WSN-UAV-USV pentru tehnologia LoRa

6.1 Introducere

În acest capitol, modelele de propagare introduse în Capitolul 5 (model 3GPP, model cu două raze) vor fi comparate cu rezultatele măsurătorilor reale pentru tehnologia LoRa și se vor propune îmbunătățiri ale acestora astfel încât să fie adaptate mediului real. Mai mult, în continuare, sunt prezentate rezultatele unei campanii de măsurători în teren pe baza căreia se pot defini modele realiste ale puterii semnalului recepționat.

6.2 Implementarea platformei de măsurători și scenariile propuse

Pentru implementarea platformei de măsurători, s-au utilizat un vehicul aerian Mavic 2 Enterprise Advanced [30], denumit în continuare UAV, și un vehicul de suprafață Double Horse 7004 1:12 RTR [31], denumit în continuare USV.

Ambele vehicule sunt echipate cu platforme de dezvoltare Lopy v4 cu modul de comunicații Semtech SX1272 și microcontroler ESP32, placă de expansiune Expansion Board v3 pentru alimentarea platformelor de dezvoltare și pentru extinderea capacităților lor (de exemplu, echiparea cu slot SD), placă de expansiune Pytrack v1 pentru alimentarea platformelor de dezvoltare și pentru urmărirea coordonatelor GPS (Pytrack) și antene LoRa de tip dipol $\lambda/2$ sleeve optimizate pentru frecvența de 868 MHz. În continuare, se vor prezenta măsurătorile realizate pentru tehnologia LoRa în următoarele scenarii din Tabel 6.3.

Tabel 6.3 Scenarii pentru efectuarea campaniei de măsurători

Tip comunicație	Legătura	Comparație
Unidirecțională	UAV-USV	model cu două raze
	UAV-WSN	model 3GPP
	USV-WSN	model cu două raze

În Figura 6.2 este prezentată platforma de măsurători bazată pe dronă, module Lopy v4 și placa de expansiune Pytrack pentru monitorizarea coordonatelor GPS (1, 3, 5-6, 8).



Figura 6.2 Platforma de măsurători bazată pe dronă, module Lopy și placa de expansiune Pytrack pentru monitorizarea coordonatelor GPS

6.3 Rezultate experimentale obținute pentru tehnologia LoRa și interpretare

Legătura dintre puterea de emisie, puterea de recepție și pierderile de propagare a fost enunțată prin Ecuația 5.1 și este reluată în acest capitol (Ecuația 6.3).

$$P_{rx}[dBm] = P_{tx}[dBm] + G_{tx}[dB] + G_{rx}[dB] - PL[dB] \quad (6.3)$$

Puterea la transmisie este de 14 dBm. Câștigurile antenelor sunt determinate pe baza unghiului de elevație θ și a directivității calculate pe baza Ecuației 6.1 specifice dipolului $\frac{\lambda}{2}$. unde η este factorul de eficiență a antenei ($0 < k \leq 1$). Întrucât foaia de catalog a antenei nu oferă valoarea acestui factor, vom considera valoarea ideală, $k = 1$.

Pentru toate scenariile, măsurătorile au fost efectuate pentru valoarea factorului de împrăștiere de 7. S-a ales lărgimea de bandă $BW = 125$ kHz pentru a nu afecta foarte

mult sensibilitatea receptorului și pentru a avea o rată de bit satisfăcătoare. De asemenea, întrucât măsurătorile s-au efectuat într-o locație cu interferență redusă, s-a optat pentru rata de cod $CR = 4/5$. Acestei configurații îi corespunde o rată de bit de 5,469 kbps.

6.3.1 Scenariul 1: Comunicație unidirecțională LoRa UAV-USV

Pentru efectuarea măsurătorilor în acest scenariu, s-au variat pozițiile horizontale ale UAV și USV și, respectiv, poziția verticală a UAV ($h_{UAV} = 30$ m, respectiv, 80 m, $h_{TX,UAV} = 29$ m, respectiv, 79 m, $h_{RX,USV} = 0.05$ m, $d_{UAV-USV} = 0 - 500$ m).

În Figura 6.5 este oferită reprezentarea geometrică a scenariului când $h_{UAV} = 30$ m. Pe baza modelului geometric, s-au calculat unghiurile de elevație și s-au reprezentat grafic alături de câștigurile antenelor corespunzătoare. Câștigul antenei de recepție poate scădea până la aproximativ -23 dB pentru distanțe mai mari. De asemenea, am determinat unghiul ϕ , dintre raza reflectată și suprafața solului.

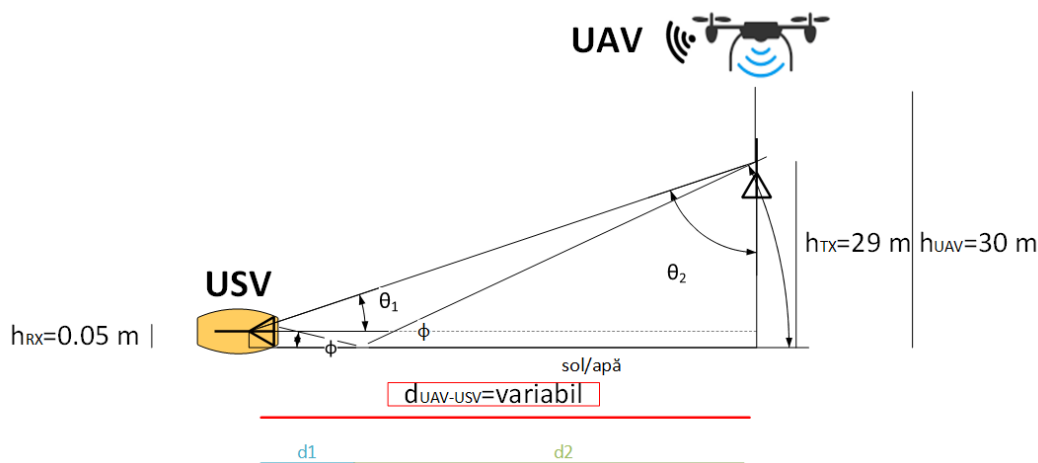


Figura 6.5 Reprezentarea scenariului pentru $h_{UAV}=30$ m și $d_{UAV-USV}$ în domeniul 0-500

Pentru comparația teoretică, inițial, s-a ales modelul teoretic cu două raze simplificat din Ecuația 5.24, însă acesta nu modelează pierderile de propagare specifice mediului în care au fost efectuate măsurătorile, aproximând coeficientul de reflexie cu valoarea $R_0 \approx -1$. De aceea, modelul cu două raze a fost îmbunătățit pentru a lua în considerare influența exercitată de condițiile de mediu ($PL_{2-raze+}$). Astfel, s-au determinat noile pierderi de propagare teoretice pe baza modelului cu două raze și a caracteristicilor electrice ale suprafeței apei și Pământului, pe baza recomandării ITU-R P.527-6 [32] și a raportului ITU 1008-1 [33]. Puterea semnalului recepționat determinată experimental a fost comparată cu puterea semnalului recepționat determinată pe baza modelului cu două raze îmbunătățit (Figura 6.7).

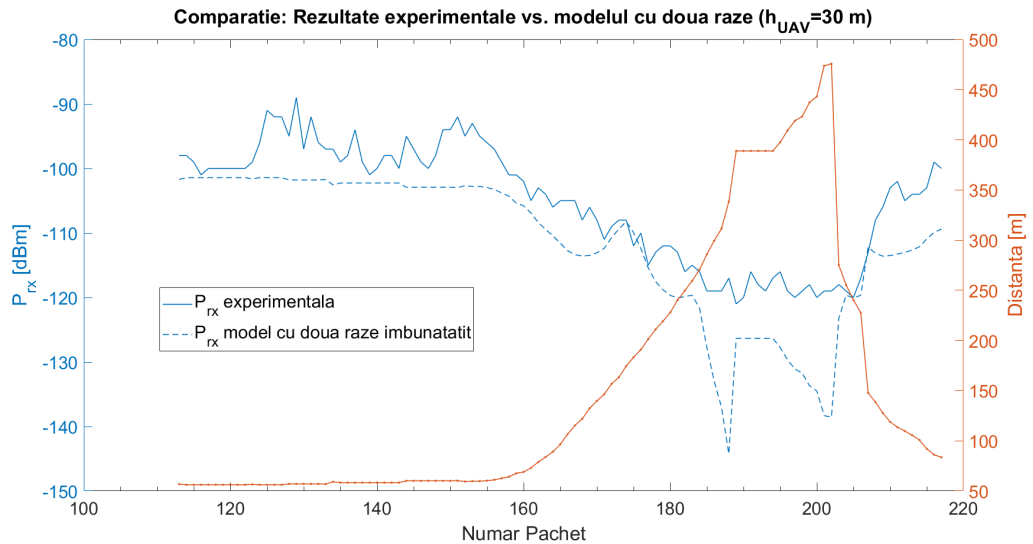


Figura 6.7 Puterea semnalului recepționat experimentală pentru $h_{UAV}=30$ m și $d_{UAV-USV}$ în domeniul 35-500 m și comparație cu modelul cu două raze îmbunătățit

În Figura 6.8 s-a reprezentat diferența dintre modelul teoretic și rezultatele experimentale în funcție de distanță, precum și histograma acestei diferențe.

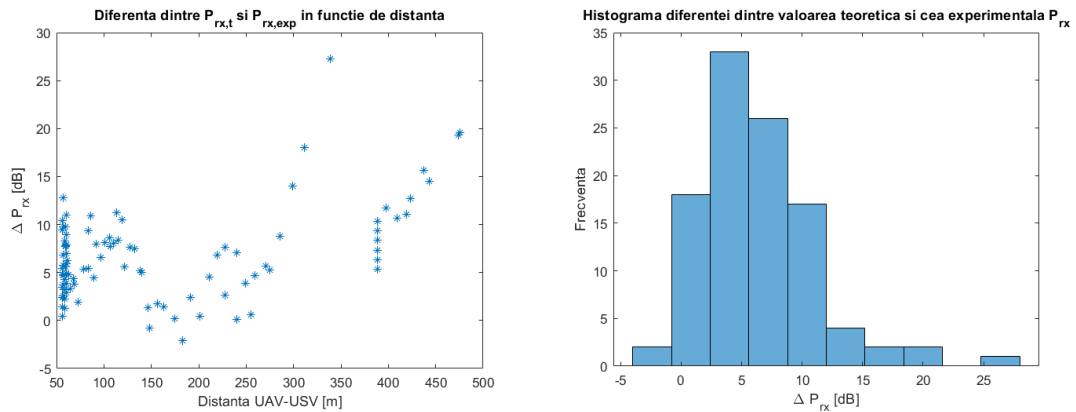


Figura 6.8 Diferența dintre puterea recepționată experimentală și puterea recepționată teoretică (model cu două raze) pentru $h_{UAV}=30$ m și $d_{UAV-USV}$ în domeniul 0-500 m

Se poate observa că diferențele sunt, cu preponderență, în domeniul 0-10 dB, acestea crescând izolat la distanțe mari (pachetele 188, 202-203). De asemenea, s-au reprezentat sub formă tabelară rezultatele privind media, maximum, minimum și deviația standard a diferenței dintre modelul teoretic și rezultatele experimentale. Ca urmare a specificului suprafeței în care s-au realizat experimentele, pot apărea pierderi de propagare suplimentare pe care modelele teoretice nu le pot îngloba. Diferențele pot fi:

- ca urmare a faptului că modelul cu două raze prezintă minime izolate la anumite tupluri ($h_{TX}, h_{RX}, d_{UAV-USV}$) așa cum a fost arătat în Capitolul 5. Întrucât distanța s-a calculat pe baza coordonatelor GPS, iar acuratețea acestora poate

afecta valoarea distanței, este posibil, ca în realitate, aceste minime să fi fost evitate;

- ca o consecință a ignorării fenomenului de atenuare cauzat de vegetație. Din reprezentarea grafică a acestei atenuări în funcție de unghiul de elevație θ_1 pentru diferite lungimi ale segmentului de vegetație, s-a constatat că o lungime de doar 20 m a segmentului de vegetație introduce o atenuare cuprinsă între 7,87 și 9,18 dB. La o valoare de 100 m a lungimii segmentului de vegetație, atenuarea poate ajunge și la 13,73 dB;
- ca urmare a atenuării fibrei lemnului arborilor. S-a constatat că atenuarea introdusă este de aproximativ 5,05 dB.

În plus, s-a formulat un model experimental pentru determinarea modelului experimental al puterii recepționate. Modelul general determinat pe baza rezultatelor experimentale pentru frecvența $f=868$ MHz, $h_t = 30$ m, $h_r = 0,05$ m este dat de Ecuația 6.19.

$$P_{rx,UAV-USV} [dBm] = a \cdot \log_{10}(d[m] + d_1) + b \quad (6.19)$$

unde $a_{opt} = -20,91$, $b_{opt} = -65,4$ dBm, $d_{1,opt} = -25,48$ m. Pentru valorile optime, eroarea pătratică medie (Root Mean Square Error, RMSE) a estimării este redusă la 2,655 dBm. Pentru a compara modelul experimental și modelul cu două raze îmbunătățit, se folosesc aceleași metrici (medie, maxim, minim, deviație standard).

În final, pe baza modelului experimental și a valorilor sensibilității receptorului oferite în foaia de catalog a platformei de dezvoltare Lopy v4 și a modulului de comunicații SX1272, s-a aproximat raza de acoperire pentru valorile factorului de împrăștiere în domeniul 7-12 pentru $h_{UAV} = 30$ m, $h_r = 0,05$ m, în scenariul UAV-USV. Se aplică următoarea metodologie de estimare a razei de acoperire:

1. Pe baza valorii sensibilității receptorului se estimează valoarea puterii minime pentru care se poate recepționa un pachet ($\hat{P}_{rx,max} = S_{rx}$);
2. Se intersectează dreapta $y = \hat{P}_{rx,max}$ cu graficul puterii semnalului recepționat modelate și se determină valoarea distanței maxime de propagare care corespunde acestei intersecții.

Din Tabel 6.9 se observă că pentru SF=7, raza estimată pe baza modelului experimental este mai mare cu aproximativ 100 m decât distanța pentru care s-au efectuat experimentele, fapt validat și de valoarea puterii semnalului recepționat pentru pachetele transmise de la distanța 480 m (-120 dBm, peste pragul sensibilității receptorului).

Tabel 6.9 Estimarea domeniului maxim de acoperire pentru comunicația UAV-USV, SF=7-12, BW=125 kHz, $h_{UAV} = 30$ m, $h_r = 0,05$ m

SF	S_{RX} [dBm]	$R_{max,est}$ [km]
7	-124	0,587
8	-128	0,992
9	-131	1,385
10	-134	1,952
11	-136	2,419
12	-137	2,706

În continuare, vom descrie pe scurt celelalte două scenarii. Merită menționat că teza descrie exhaustiv cele trei scenarii și subscenariile corespunzătoare, în total fiind analizate șase subscenarii.

6.3.2 Scenariul 2: Comunicație unidirecțională LoRa UAV-WSN

În acest scenariu, s-au variat poziția orizontală și, respectiv, poziția verticală a UAV. În scenariul 2, măsurătorile s-au efectuat pentru comunicația UAV-WSN, unde UAV s-a aflat tot la înălțimea de 30 m. Antena WSN a fost plasată la înălțimea de 1,5 m față de sol. Pe baza aceluiași relații s-au determinat unghiurile de elevație. S-a constatat o rată de succes a pachetelor de 91,09%, mai ridicată decât în cazul comunicației UAV-USV, unde era 80,07%. De asemenea, s-a reprezentat câștigurile antenelor și observăm că antena de recepție are un câștig minim de aproximativ -22 dB. Raza maximă de acoperire este de 437,15 m. Dincolo de această distanță nu s-au putut recepționa pachete.

S-a comparat puterea semnalului recepționat teoretică cu cea determinată experimental și se remarcă, din nou, un tipar similar, cu diferențe determinate de apariția fenomenului de difracție apărut ca urmare a existenței unui obstacol cu o înălțime relativă față de calea directă de 9 m, la distanța $d_1 = 6$ m față de WSN, acesta obstrucționând zonele Fresnel. Media și deviația standard în acest scenariu sunt mai ridicate față de scenariul anterior, aspect demonstrat și de histogramă. De data aceasta, valorile se concentrează în domeniul (-15, 5) dB.

Ecuția modelului experimental este similar scenariului anterior, însă parametrii optimi sunt diferiți. Pentru acest model, media are o valoare foarte mică, de ordinul 10^{-4} , iar deviația standard a scăzut la 6 dB. Din nou, s-a determinat raza de acoperire maximă și s-a constatat o rază de 881 m pentru înălțimea UAV de 30 m și valoarea maximă a factorului de împrăștiere, $SF = 12$.

6.3.3 Scenariul 3: Comunicație unidirecțională LoRa USV-WSN

Pentru efectuarea măsurătorilor în acest scenariu, ca urmare a constrângerilor legate de poziționarea USV (baterie, interferență semnal telecomandă-semnal LoRa) s-a deplasat USV la o distanță de 50 m de malul lacului și s-a variat poziția orizontală și, respectiv, verticală a WSN în raport cu USV.

Înălțimea WSN față de sol a fost de 1 m, dar elevația solului este cuprinsă între 638,1-678,8 m, iar distanța pentru care s-au efectuat măsurătorile este cuprinsă între 5 și 315,58 m, fără ca aceasta din urmă să reprezinte raza maximă de acoperire, deoarece mai exista o margine de 10 dB a sensibilității care putea să prelungească distanța până la care se efectuează experimentele. S-a constatat o diferență medie între modelul teoretic și rezultatele experimentale de doar 0,66 dB, în timp ce histograma concentra valorile între -10 și 0 dB. În acest scenariu, ca urmare a prezenței unui obstacol la distanța $d_1 = 6$ m față de TX, având înălțimea aproximativă față de calea directă de $h = 2$ m, au existat și pierderi determinate de difracție de aproximativ 9 dB.

6.4 Concluzii privind campania de măsurători

6.4.1 Rezultate obținute

În acest capitol au fost prezentate rezultatele experimentale obținute în urma desfășurării unor campanii de măsurători în proximitatea barajului Paltinu, Valea Doftanei, Prahova. Inițial, s-a dorit efectuarea campaniilor de măsurători în zona Deltei Dunării, însă acest lucru nu a fost posibil ca urmare a condițiilor pandemice. S-au analizat următoarele scenarii de comunicație:

1. Comunicația UAV-USV. În acest caz, s-a studiat influența distanței dintre UAV și USV asupra puterii semnalului recepționat, dar și a vitezei de deplasare. Au fost evaluate două subscenarii ($h_{UAV}=30$ m și $h_{UAV}=80$ m) și comparate cinci cazuri diferite pentru viteza de deplasare ($v = 1,5$ m/s, $v = 2,9$ m/s pentru $h_{UAV}=30$ m, respectiv, $v = 2,74$ m/s, $v = 3,3$ m/s, $v = 9$ m/s pentru $h_{UAV}=80$ m). S-au constatat pierderi semnificative de pachete la dublarea vitezei de deplasare a UAV când acesta se află la o înălțime de 30 m, rata de recepție fiind doar de 36,58% în acest caz. Când $h_{UAV}=80$ m, chiar și pentru o viteză de deplasare de 9 m/s, rata de recepție este de 64,1%. Rezultatele experimentale au fost comparate cu modelul teoretic cu două raze îmbunătățit pe baza condițiilor experimentale, luând în considerare valoarea reală a coeficientului de reflexie la suprafața solului și a apei și a câștigurilor antenelor. S-a constatat că puterea semnalului recepționat experimentală diferă, în medie cu 6,45 dB față de cea determinată pe baza modelului cu două raze pentru $h_{UAV} = 30$ m și, respectiv, cu 4,311 dB când $h_{UAV} = 80$ m.

2. Comunicația UAV-WSN. În cazul acestui tip de comunicații, s-au studiat, de asemenea, două subscenarii: (1) h_{UAV} -constant, $d_{UAV-WSN}$ -variabil, (2) h_{UAV} -variabil, $d_{UAV-WSN}$ -constant. Pentru ambele subscenarii, s-au făcut comparații cu modelul teoretic 3GPP. Pentru primul subscenariu, s-a optat pentru o înălțime a UAV de 30 m, distanța dintre noduri variind în domeniul 0-500 m. Comparația cu modelul de propagare 3GPP a arătat o diferență medie de -6,37 dB. Al doilea subscenariu a fost realizat în două etape, pentru aproximativ același domeniu de valori ale înălțimii UAV (13-120 m, 20-120), însă pentru două valori complet diferite ale $d_{UAV-WSN}$, respectiv, 5 m și 120 m. Pentru cazul $d_{UAV-WSN}=5$ m, s-a constatat că puterea semnalului recepționat calculată pe baza modelului 3GPP diferă în medie cu -6,05 dB față de cele experimentale. Astfel, modelul 3GPP se constituie într-un candidat suficient de bun pentru modelarea acestei puteri. Pentru cazul $d_{UAV-WSN}=120$ m, s-a remarcat faptul că puterea semnalului recepționat teoretică modelată conform standardului 3GPP diferă, în medie, cu 1,73 dB față de cea experimentală.
3. Comunicația USV-WSN. În acest scenariu, elevația antenei nodului central al rețelei WSN a variat în domeniul 638,1-678,8 m, în timp ce înălțimile antenelor USV și, respectiv, WSN față de sol au fost de 1 m și respectiv, 0,05 m (ca urmare a dimensiunilor navomodelului). Distanța dintre USV și WSN a variat în domeniul 5-315,58 m. Pentru modelarea teoretică, s-au considerat coeficienții de reflexie și câștigurile antenelor reale, determinate pe baza geometriei scenariului. De asemenea, s-a luat în considerare fenomenul de difracție și s-a pus în evidență faptul că puterea semnalului recepționat determinată experimental variază în medie cu 0,66 dB față de cea determinată pe baza modelului teoretic cu două raze îmbunătățit.

De asemenea, pentru scenariile în care distanța a fost variabilă, s-au estimat valorile razei de acoperire pentru diferite valori ale factorului de împrăștiere ($SF = 7 - 12$) pe baza modelelor matematice rezultate în urma experimentelor și a valorii sensibilității receptorului oferită în foaia de catalog a modulului de comunicații SX1272. Analog se poate aproxima raza de acoperire și pentru alte valori ale lărgimii de bandă (altele decât $BW=125$ kHz).

În viitor se vor relua scenariile și pentru alte tehnologii de comunicații.

6.4.2 Provocări întâmpinate

Premergător sau în timpul efectuării experimentelor s-au putut identifica numeroase provocări determinate de plasarea platformei de dezvoltare cu modul de comunicații LoRa în imediata proximitate a componentelor electronice ale bărcii sau de reîncărcarea bateriei dronei care au determinat realizarea experimentelor în modul continuu (fără întreruperile care ar fi dus la o mai bună discriminare a scenariilor și fără readuceri

la sol ale UAV până la epuizarea bateriei). De aceea, există posibilitatea ca maparea pachete-scenariu să nu aibă o acuratețe de 100% (să existe un decalaj de câteva pachete între diferitele tipuri de subscenarii și subsubscenarii). Alte detalii privind provocările întâmpinate sunt furnizate în cadrul lucrării.

Capitolul 7

Concluzii și direcții viitoare de cercetare

7.1 Rezultate obținute

În cadrul tezei de față, au fost prezentate cercetările efectuate de autoare, având drept scop optimizarea sistemelor automate care folosesc senzori.

În primul rând, în ceea ce privește studiul teoretic, în prima parte a Capitolului 1 a fost prezentată tehnologia rețelelor de senzori wireless, și s-au evidențiat tehnologiile de comunicații LPWAN și Wi-Fi utilizate în rețelele de senzori wireless și în platformele IoT. Întrucât lucrarea de față exploatează avantajele tehnologiei de comunicații de joasă putere și domeniu de acoperire mare (LPWAN) LoRa, s-a acordat o atenție deosebită acestei tehnologii, prezentându-o, de cele mai multe ori, în comparație cu celelalte tehnologii (Wi-Fi, NB-IoT, LTE-Cat M1). A doua parte a Capitolului 1 a fost dedicată prezentării arhitecturii standardizate IoT ITU. Tot în acest capitol s-au evidențiat principiile rețelelor ad-hoc aeriene și de suprafață, precum și o comparație cu alte abordări (rețele celulare, satelitare, centralizate).

În Capitolul 2 a fost prezentată arhitectura IoT propusă, bazată pe rețele de senzori fără fir, pe tehnologiile LoRa/LoRaWAN și Wi-Fi, precum și pe rețele ad-hoc aeriene și de suprafață. Acestea din urmă au fost folosite pentru a conecta vehicule aeriene și de suprafață autonome (UAV, USV). Arhitectura dezvoltată a cuprins patru dintre cele șapte niveluri IoT uzuale: Dispozitive, Rețea, Cloud și Aplicație, indispensabile unui sistem IoT complet. Între nivelul Dispozitive și nivelul Rețea s-a propus introducerea unui nivel numit Pseudo-Edge. Înainte ca datele să fie transmise efectiv către poarta de acces, nivelul Pseudo-Edge realizează procesări intermediare, necesare pentru a selecta adecvat tehnologia de comunicație pe care o utilizează nodurile centrale ale rețelelor WSN sau FSANET. Au fost evidențiate avantajele arhitecturii propuse în toate aceste contexte și, de asemenea, au fost propuse situații în care arhitectura IoT bazată pe WSN-FSANET ar putea fi utilizată în mod eficient.

Capitolul 3 prezintă îmbunătățirile aduse platformei IoT din punctul de vedere al evaluării parametrilor relevanți pentru un anumit caz de utilizare (viticultura de precizie). Totodată, a fost prezentată componenta pentru managementul dezastrelor, particularizată pentru scenariul unor potențiale degajări de gaze inflamabile sau incendii. În urma testării acestei componente a arhitecturii IoT a fost propusă implementarea unei metode de selecție a tehnologiei de comunicații utilizate și de adaptare a intervalului de timp dintre două transmisii succesive, conform evenimentului detectat.

În Capitolul 4 au fost incluse contribuțiile la dezvoltarea nivelului Conectivitate al arhitecturii IoT folosind tehnologia LoRa. Au fost evidențiate performanțele tehnologiei LoRa în două cazuri de utilizare, specifice Internetului Lucrurilor Medicale (IoMT) și, respectiv, creșterii calității vieții. Acestea pot fi extinse, pe baza rezultatelor experimentale, și pentru alte utilizări.

Alte contribuții la dezvoltarea Nivelului Conectivitate au fost aduse în Capitolul 5 folosind tehnologiile LoRa/LoRaWAN, Wi-Fi și rețele FANET și SANET. Capitolul prezintă o abordare inovativă pentru determinarea pozițiilor optime ale nodurilor mobile (aeriane-UAV, de suprafață-USV) pentru asigurarea unei legături de date între rețeaua de senzori fără fir izolată și poarta de acces pe baza legăturilor intermediare asigurate de aceste vehicule. Pentru a reduce timpul necesar transmisiei datelor prin intermediul nodurilor UAV și USV, este utilizată tehnologia Wi-Fi, în timp ce tehnologia LoRa este utilizată pentru transmisia pe distanțe lungi (între nodurile mobile și poarta de acces) a coordonatelor geografice ale fiecărui nod colectate la momentul interogării lor de către poarta de acces. Au fost propuse o arhitectură și un algoritm de poziționare bazat pe parametrii de comunicație legați de pierderile de propagare și care permite poziționarea UV-urilor astfel încât să dezvolte o întreagă infrastructură de rețea bazată pe UAV-uri și USV-uri. Algoritmul propus utilizează toate tipurile de canale UAV (A2A, A2G echivalent cu G2A) și canale USV (OW, S2S, A2S). Au fost utilizate modele de propagare UAV adaptate la scenariul din cazuri reale. Abordarea propusă în acest capitol este unică și ar putea constitui un punct de plecare pentru numeroase colaborări între specialiști în diferitele niveluri ale arhitecturii Internetului Obiectelor, astfel încât să fie dezvoltat un ecosistem puternic al Internetului Vehiculelor Autonome, fie ele aeriene, terestre sau de suprafață.

Capitolul 6 prezintă rezultatele unei campanii de măsurători în teren WSN-UAV-USV pentru tehnologia LoRa. Au fost propuse trei scenarii de comunicații: 1. UAV-USV; 2. UAV-WSN; 3. USV-WSN; Pe baza rezultatelor, s-au definit modele realiste ale pierderilor de propagare. S-au luat în considerare câștigurile reale ale antenelor și pierderile suplimentare de propagare datorate vegetației și unor fenomene precum reflexia și difracția.

7.2 Contribuții personale

În cele ce urmează, vor fi subliniate contribuțiile personale la această teză.

1. Comparația dintre tehnologiile de comunicații LPWAN și analiza influenței parametrilor de nivel fizic ai tehnologiei LoRa (factor de împrăștiere, lățime de bandă, rată de transmisie)
2. Analiza caracteristicilor arhitecturii standardizate IoT (ITU) și ale rețelelor SANET și FANET în vederea integrării lor în arhitectura IoT
3. Propunerea unei arhitecturi IoT inovative care exploatează avantajele legate de mobilitatea vehiculelor autonome aeriene (UAV) și de suprafață (USV).
4. Discriminarea între dispozitivele critice și non-critice și abordarea diferențiată a transmisiei datelor de la acestea prin propunerea nivelului Pseudo-Edge și a unei metode de selecție a tehnologiei de comunicații
5. Propunerea și implementarea unei metode de adaptare a duratei dintre două transmisii succesive a datelor senzorilor pentru a răspunde diferențiat scenariilor critice și non-critice
6. Analiza și selecția parametrilor de comunicație pentru a asigura conectivitatea în scenariul de transmisie a datelor între diferitele pavilioane ale unui spital sau de la pacient către spital folosind tehnologia LoRa.
7. Propunerea, implementarea și analiza performanțelor unui sistem de sincronizare pentru dispozitivele conectate prin tehnologia LoRa și particularizarea pentru sisteme dedicate hipoacuzicilor.
8. Propunerea unei arhitecturi FSANET și analiza modelelor de propagare teoretice adecvate canalelor și scenariilor de utilizare ale acestei arhitecturi
9. Definirea, implementarea și analiza performanțelor unor algoritmi de poziționare optimă a UAV și USV în cadrul unei rețele hibrid WSN-FSANET pentru asigurarea legăturii de comunicație dintre un WSN deservit și o poartă de acces (pe baza modelelor de propagare teoretice analizate).
10. Implementarea unui prototip de evaluare a performanțelor tehnologiei LoRa în cadrul rețelei hibrid WSN-FSANET.
11. Propunerea unor scenarii adecvate de evaluare a tehnologiei LoRa.
12. Efectuarea unei campanii de măsurători pentru tehnologia LoRa folosind prototipul de evaluare
13. Realizarea unei comparații între modelele teoretice analizate și rezultatele experimentale obținute în cadrul campaniei de măsurători.

7.3 Lista lucrărilor publicate

Pe parcursul studiilor doctorale și a cercetării desfășurate au rezultat 35 de articole (din care 31 articole în conferințe și jurnale ISI–7 articole Q1/Q2). Dintre acestea, 28 de articole au fost publicate în domeniul tezei de doctorat sau în domenii conexe acestuia. Astfel, 25 de articole sunt publicate în conferințe și jurnale ISI: 4 articole în jurnale Q1 (un articol Q1 ca prim autor), 3 articole în jurnale Q2, 1 articol în jurnal Q3.

În continuare, se vor prezenta cele două categorii de publicații (în domeniul tezei, respectiv, în domenii conexe), cea din urmă fiind rezumată.

Lista lucrărilor publicate în domeniul tezei de doctorat

Articolele [Cf1], [Cf2], [Cf3] sunt folosite ca bază pentru Secțiunea 4.2. Contribuțiile din articolele [Cf4],[Cf5], [Cf6] au fost incluse în Secțiunile 3.1-3.2. Rezultatele din articolul [Cf7] au fost incluse în Secțiunea 3.3. Rezultatele din articolul [R1] au fost incluse în Secțiunea 4.1. Contribuțiile din articolul [R2] au fost integrate în secțiunile 2.1 și 3.1. Rezultatele și contribuțiile din articolul [R3] au fost incluse în secțiunea 3.2. Rezultatele și contribuțiile din articolul [Cf8] au fost incluse în secțiunea 4.2. Contribuțiile din articolul [Cf9] au fost incluse în secțiunile 3.1-3.2. Contribuțiile din articolele [Cf10], [R4] au fost incluse în secțiunea 2.2. Contribuțiile din articolele [Cf11], [Cf12] au fost incluse în secțiunile 1.2 și 2.1. Contribuțiile din articolul [R5] au fost incluse în secțiunea 4.1. Contribuțiile din articolul [R6] au fost incluse în secțiunile 1.5, 2.1, 2.3 și în Capitolul 5.

Aplicații brevete

- [AB1] Ioana Marcu, Octavian Fratu, Simona Halunga, Alexandru Vulpe, Carmen Florea, Alexandru Vulpe, **Ana-Maria Drăgulescu**, George Suci, Gheorghe Suci, Cristina Bălăceanu, Alexandru Drosu, Romulus Chevereșan, Daniel Miu, Smart Agro (Sistem de telemetrie pentru agricultura de precizie), Depunere brevet OSIM Nr. A/00442/27.07.2020.

Articole de revistă

- [R1] **Ana Maria Claudia Drăgulescu**, Adrian Florin Manea, Octavian Fratu, and Andrei Drăgulescu. LoRa-Based Medical IoT System Architecture and Tested. *Wireless Personal Communications*, mar 2020. (ISI, Q3, IF:1.671, WOS: 000521919100001).
- [R2] Ioana Marcu, George Suci, Cristina Bălăceanu, Alexandru Vulpe, and **Ana-Maria Claudia Drăgulescu**. Arrowhead technology for digitalization and

automation solution: Smart cities and smart agriculture. *Sensors*, 20(5):1464, Mar 2020. (ISI, Q1, IF: 3.576, WOS: 000525271500226).

- [R3] Ioana Marcu, **Ana-Maria Drăgulinescu**, Carmen Florea, Cristina Bălăceanu, Marius Alexandru Dobrea, and George Suci. Agricultural data fusion for SmartAgro telemetry system. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, 5(5):1266–1272, October 2020.
- [R4] Veronica Sanda Chedea, **Ana-Maria Claudia Drăgulinescu**, Liliana Lucia Tomoiagă, Cristina Bălăceanu, and Maria Lucia Iliescu. Climate Change and Internet of Things Technologies—Sustainable Premises of Extending the Culture of the Amurg Cultivar in Transylvania—A Use Case for Târnavă Vineyard. *Sustainability*, 13(15), 2021. (ISI, Q2, IF:3.251, WOS: 000682201300001).
- [R5] Alexandru Vulpe, Răzvan Crăciunescu, **Ana-Maria Drăgulinescu**, Sofoklis Kyriazakos, Ali Paikan, and Pouyan Ziafati. Enabling security services in socially assistive robot scenarios for healthcare applications. *Sensors*, 21(20), 2021. (ISI, Q1, IF: 3.576, WOS: 000716908400001).
- [R6] **Ana-Maria Drăgulinescu**, Simona Halunga, and Ciprian Zamfirescu. Unmanned vehicles' placement optimisation for Internet of Things and Internet of Unmanned Vehicles. *Sensors*, 21(21), 2021. (ISI, Q1, IF: 3.576, WOS: 000525271500226).

Articole de conferință

- [Cf1] **Ana-Maria Claudia Drăgulinescu**, Ioana Marcu, Simona Halunga, and Octavian Fratu. Sensors system design for discrimination between humans and animals. In Marian Vlădescu, Răzvan Tamaș, and Ionică Cristea, editors, *Advanced Topics in Optoelectronics, Microelectronics, and Nanotechnologies VIII*. SPIE, December 2016. (ISI, WOS: 000391359600038).
- [Cf2] **Ana-Maria Claudia Drăgulinescu**, Ioana Marcu, Simona Halunga, and Octavian Fratu. Persons Counting and Monitoring System Based on Passive Infrared Sensors and Ultrasonic Sensors (PIRUS). In *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering*, pages 100–106. Springer International Publishing, 2018. (BDI).
- [Cf3] **Ana-Maria Claudia Drăgulinescu**, Andrei Drăgulinescu, Ioana Marcu, Simona Halunga, and Octavian Fratu. SmartGreeting: A New Smart Home System Which Enables Context-Aware Services. In *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering*, pages 158–164. Springer International Publishing, 2018. (ISI, WOS: 000481658200023).
- [Cf4] Ioana Marcu, Carmen Voicu, **Ana-Maria Claudia Drăgulinescu**, Octavian Fratu, George Suci, Cristina Bălăceanu, and Maria-Mădălina Andronache. Overview of IoT Basic Platforms for Precision Agriculture. In *Lecture Notes of the Institute*

for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering, pages 124–137. Springer International Publishing, 2019. (ISI, WOS: 000552334400013).

- [Cf5] George Suciu, Hussain Ijaz, Ionel Zatreanu, and **Ana-Maria Claudia Drăgulinescu**. Real Time Analysis of Weather Parameters and Smart Agriculture Using IoT. In *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering*, pages 181–194. Springer International Publishing, 2019. (ISI, WOS: 000552334400018).
- [Cf6] Ioana Marcu, George Suciu, Cristina Bălăceanu, **Ana-Maria Claudia Drăgulinescu**, and Marius-Alexandru Dobrea. IoT Solution for Plant Monitoring in Smart Agriculture. In *2019 IEEE 25th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)*, pages 194–197, 2019. (ISI, WOS: 000564733700038).
- [Cf7] **Ana-Maria Claudia Drăgulinescu**, Andrei Dragulinescu, Ciprian Zamfirescu, Simona Halunga, and George Suciu Jr. Smart Neighbourhood: LoRa-based environmental monitoring and emergency management collaborative IoT platform. In *2019 22nd International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC)*, pages 1–6, 2019. (ISI, WOS: 000587757300073).
- [Cf8] Cătălina Mărculescu, **Ana-Maria Claudia Drăgulinescu**, Alina Machedon, Ioana Marcu, and Ciprian Zamfirescu. LoRa and Bluetooth-based IoT alarm clock device for hearing-impaired people. In *2020 IEEE 26th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)*, pages 140–143, 2020. (ISI, WOS: 000651085100028).
- [Cf9] Cristina Bălăceanu, Alexandru Negoită, **Ana-Maria Claudia Drăgulinescu**, Roxana Roșcăneanu, Veronica Sanda Chedea, and George Suciu. The use of IoT technology in Smart Viticulture. In *2021 23rd International Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS)*, pages 362–369, 2021.
- [Cf10] Denisa Patea, Daniela-Marina Draghici, George Suciu, Mihaela Balanescu, George-Valentin Iordache, Andreea-Geanina Vintila, Alexandru Vulpe, Marius Vochin, **Ana-Maria Drăgulinescu**, and Catalina Dana Popa. Decision support platform for intelligent and sustainable farming. In *Advances in Intelligent Systems and Computing*, pages 401–410. Springer International Publishing, 2021.
- [Cf11] **Ana-Maria Drăgulinescu**, Filip Constantin, Oana Orza, Sabina Bosoc, Robert Streche, Alexandru Negoita, Filip Osiac, Cristina Balaceanu, and George Suciu. Smart Watering System Security Technologies using Blockchain. In *2021 13th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI)*, pages 1–4, 2021.

- [Cf12] **Ana-Maria Claudia Drăgulescu**, Cristina Bălăceanu, Filip Osiac, Roxana Roșcăneanu, Veronica Sanda Chedea, George Suciuc Jr., Mirel Ciprian Păun, and Ștefania Bucuci. IoT-Based Smart Water Management Systems. In *2021 IEEE 27th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)*, 2021. prezentat, în curs de publicare.

Lista lucrărilor publicate în domenii conexe

Cărți

- [C1] I. M. Marcu, I. Pirnog, A. Vulpe, L. Dogariu, **A.-M. Drăgulescu**, Electronic Measurements. Theory and Applications, Politehnica Press, 2021 (ISBN:978-606-515-987-7)

Articole de revistă

- [R1] Octavian Fratu, Maria-Mădălina Andronache, **Ana-Maria Claudia Drăgulescu**, Carmen Voicu, and Alexandru Vulpe. Cooperation scenarios in multi-agent water monitoring platform. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences (PEN)*, 7(1):261, April 2019. (BDI).
- [R2] Andrei Drăgulescu, **Ana-Maria Drăgulescu**, Gabriela Zincă, Doina Bucur, Valentin Feieș, and Dumitru-Marius Neagu. Smart Socks and In-Shoe Systems: State-of-the-Art for Two Popular Technologies for Foot Motion Analysis, Sports, and Medical Applications. *Sensors*, 20(15):4316, Aug 2020. (ISI, Q1, IF:3.576, WOS: 000559029300001).
- [R3] Răzvan Alexandru Popa, Dana Cătălina Popa, Gheorghe Emil Mărginean, George Suciuc, Mihaela Bălănescu, Denisa Paștea, Alexandru Vulpe, Marius Vochin, and **Ana-Maria Claudia Drăgulescu**. Hybrid Platform for Assessing Air Pollutants Released from Animal Husbandry Activities for Sustainable Livestock Agriculture. *Sustainability*, 13(17), 2021. (ISI, Q2, IF:3.251, WOS:000694541300001).
- [R4] Eugen Borcoci, **Ana-Maria Drăgulescu**, Frank Li, Marius Vochin, and Kjetil Kjellstadli. An overview of 5G slicing operational business models for Internet of Vehicles, maritime IoT applications and connectivity solutions. *IEEE Access*, 2021. (ISI, Q2, IF: 3.367, WOS:000724471600001).

De asemenea, au fost publicate și șase articole de conferință (enumerare în teza de doctorat).

7.4 Premii obținute, prelegeri și alte distincții

1. **A. M. C Drăgulescu**, Școala de vară „Cyber-Physical Systems 2018” (CPS2018), 16-20 iulie 2018, Toulouse, Franța
Distincții Posterul prezentat cu ocazia Școlii de Vară CPS2018, „Cellular and Long Rang Wide Area Wireless Technologies for Internet of Things”, a fost evaluat și premiat în cadrul sesiunii de postere.
2. Echipa S-Chance (**A. M. C. Drăgulescu**, Gabriela Zincă, Concursul Național Techallenge 2019, organizat de UPB și Honeywell, București, 9 mai 2019
Distincții Proiectul privind sistemul de asistență a persoanelor ce necesită reabilitare motorie sau care lucrează în medii cu risc ridicat de accidente prezentat în cadrul concursului Techallenge a primit premiul special Eliza Leonida Zamfirescu.
3. **A. M. C Drăgulescu**, ICTurkey2019, Turkey in H2020, 5 iulie 2019, Istanbul, Turcia
Distincții Prezentarea trimisă organizatorilor a fost selectată pentru obținerea unui travel grant și pentru susținerea în cadrul Workshop-ului Smart Health and Care.
4. **A. M. C Drăgulescu** și alții, Școala de vară „IoT meets AI”, 2-5 Septembrie 2019, Munchen, Germania
Distincții În cadrul Școlii de Vară "IoT meets AI", 2-5 septembrie 2019, în urma hackaton-ului organizat de Siemens și Universitatea Tehnică din Munchen și a implementării de succes a provocării propuse de coordonatori (Using the SIMATIC open controller to control a robotic arm which gets the target position by an AI component combined with a vision sensor), alături de echipa din care am făcut parte, am primit premiul pentru cea mai bună implementare ("Best Challenge Implementation Award").
5. **A. M. C Drăgulescu**, O. Fratu, CTIF Global Capsule Workshop, 14-17 Octombrie 2019, Herning, Danemarca
Prezentare: „Safety and Security in Smart Community”
6. O. Fratu, **A. M. C Drăgulescu**, CTIF Global Capsule, 14-17 Octombrie 2019, Herning, Danemarca
Prezentare: „Challenges in LPWAN-based IoT applications”

7.5 Participări în proiecte de cercetare în domeniul tezei

Autoarea a participat la două proiecte naționale în domeniul tezei, acestea fiind finalizate, iar în prezent este membru a două proiecte naționale și patru proiecte internaționale în derulare.

1. 2018-2020, Asistent de cercetare, Proiect MultiMonD2, „Platformă de sisteme inteligente multiagent pentru monitorizarea calității apei pe sectorul românesc al Dunării și Deltei Dunării”, contract nr. 33PCCDI/2018 (Responsabil de proiect UPB Prof. Octavian Fratu)
2. 2018-2020, Responsabil tehnico-științific, Proiect SmartAgro: „Sistem de Telemetrie pentru agricultura inteligentă (SmartAgro)”, contract subsidiar nr. 8592/08.05.2018 din cadrul proiectului „Ecosistem de cercetare, inovare și dezvoltare de produse și servicii TIC pentru o societate conectată la Internet of Things – NETIO”, contract nr. 53/05.09.2016 (Responsabil de proiect UPB Conf. Ioana Marcu)
3. octombrie 2020-prezent, Asistent de cercetare, Proiect SmartDelta: „Creșterea competitivității inovative a SC AdNet Market Media prin investiții inițiale de inovare, în scopul realizării unei platforme tehnologice SmartDelta, în cadrul unei unități nou înființate pentru realizarea activităților CD în colaborare efectivă” (Responsabil de proiect UPB: Conf. Șerban Obreja)
4. noiembrie 2020-prezent, Asistent de cercetare, Proiect NGI-UAV-AGRO, "Platforma Next Generation Internet bazată pe 5G și UAV-uri pentru agricultura de precizie" (Responsabil de proiect UPB: Conf. Ioana Marcu)
5. ianuarie 2021-prezent, Asistent de cercetare, Proiect SOLID-B5G, "Platformă IoT bazată pe MIMO masiv cu feliere a rețelei pentru servicii IoV/V2X și maritime în rețele dincolo de 5G" (Responsabil de proiect UPB: Conf. Marius Vochin)
6. decembrie 2020-prezent, Inginer de cercetare, Proiect FarmSustainBI, "Tehnologii inteligente în domeniul creșterii animalelor pentru sustenabilitatea mediului folosind Blockchain" (Responsabil de proiect Beam Innovation: Conf. Alexandru Vulpe)
7. noiembrie 2021-prezent, Inginer de cercetare în comunicații, Proiect HUBCAP, Business Intelligence Enhanced Venue-agnostic Threat Management Platform for Citizens' Safety and Venue Resilience (BIE-T4S), (Responsabil de proiect Beam Innovation: Conf. Alexandru Vulpe)
8. decembrie 2020-prezent, Inginer de cercetare, Proiect DISAVIT, "Sistem inteligent pentru fundamentarea deciziilor în domeniul viticol" (Responsabil de proiect Beia Consult International: Dr. Ing. George Suci)

7.6 Participări în proiecte de cercetare în afara domeniului tezei

Autoarea a participat la șase proiecte în afara domeniului tezei, toate fiind finalizate.

7.7 Impactul cercetărilor și rezultatelor

Lucrarea de față constituie un punct de plecare pentru realizarea unor platforme IoT în care dispozitivele își pot extrapola obiectivele. Privită în ansamblu, lucrarea prezintă elementele arhitecturii IoT dedicate unor comunități inteligente în care domenii precum monitorizarea mediului, agricultura de precizie și telemedicina pot fi abordate congruent sau nu, în funcție de aplicațiile dezvoltate la nivelurile superioare ale arhitecturii. Cercetările efectuate și prezentate de cele mai multe ori diferențiat, modular, pe niveluri, în cadrul tezei, sunt utile în înțelegerea oportunităților pe care Internetul Lucrurilor le oferă, iar componentele descrise pot fi integrate, mai departe, în alte sisteme sau platforme IoT.

Dezvoltarea algoritmului de poziționare a vehiculelor autonome își găsește utilitatea și în cazul Internetului Vehiculelor, unde criteriile și constrângerile optimizării se pot particulariza pentru aplicații cu rată de transmisie mai ridicată, într-un mediu mai dens. Așa cum a fost implementat, acest algoritm are în centru ideea de reconfigurabilitate (alte criterii/constrângeri) și pe cea de multifuncționalitate a nodurilor (posibilitatea de atribuire de sarcini către vehicule în funcție de locația finală a acestora și traiectoria urmată), iar în viitor se pot implementa noi sub-algoritmi pentru a adapta algoritmul la noi scenarii.

Prin evoluția ultimilor ani de studii doctorale și prin activitățile desfășurate în cadrul proiectelor de cercetare, s-a arătat că cercetările și rezultatele obținute își găsesc aplicabilitatea în domenii emergente, cu posibilități de extindere și de colaborare importante conectate prin cuvinte cheie precum: rețele LPWAN și mixte, Internetul Lucrurilor (senzorilor, vehiculelor și altor dispozitive inteligente), rețele ad-hoc terestre, aeriene și de suprafață.

7.8 Direcții viitoare de cercetare

Ca direcții viitoare de cercetare, în ceea ce privește algoritmul de poziționare al nodurilor din rețeaua FSANET: se vor explora noi modele de canal, pentru a depăși limitele modelelor de propagare întrebuințate până acum și se vor implementa modele de propagare mai elaborate. Se va îmbunătăți algoritmul, luând în considerare impactul interferenței experimentate de UAV-uri la altitudine joasă și se va elimina un dezavantaj al algoritmului, care constă din timpul mare de execuție pentru soluțiile tehnice care implică un buget ridicat al legăturii.

Întrucât s-a dorit implementarea unei platforme complete, în viitor se va realiza o interfață grafică pentru utilizatorii platformei IoT. De asemenea, se vor prezenta în noi articole științifice rezultatele privind campania de măsurători și analiza performanțelor serverului conceput pentru preluarea datelor rețelei LoRa/LoRaWAN prin intermediul porții de acces.

Bibliografie

- [1] Walteneagus Dargie and Christian Poellabauer. *Fundamentals of Wireless Sensor Networks*. John Wiley & Sons, Ltd, July 2010.
- [2] Cristina Bălăceanu, Alexandru Negoită, **Ana-Maria Claudia Drăgulinescu**, Roxana Roșcăneanu, Veronica Sanda Chedea, and George Suciu. The use of IoT technology in Smart Viticulture. In *2021 23rd International Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS)*, pages 362–369, 2021.
- [3] Ioana Marcu, Carmen Voicu, **Ana-Maria Claudia Drăgulinescu**, Octavian Fratu, George Suciu, Cristina Bălăceanu, and Maria-Mădălina Andronache. Overview of IoT Basic Platforms for Precision Agriculture. In *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering*, pages 124–137. Springer International Publishing, 2019. (ISI, WOS: 000552334400013).
- [4] Veronica Sanda Chedea, **Ana-Maria Claudia Drăgulinescu**, Liliana Lucia Tomoiagă, Cristina Bălăceanu, and Maria Lucia Ilescu. Climate Change and Internet of Things Technologies—Sustainable Premises of Extending the Culture of the Amurg Cultivar in Transylvania—A Use Case for Târnave Vineyard. *Sustainability*, 13(15), 2021. (ISI, Q2, IF: 3.251, WOS: 000682201300001).
- [5] **Ana-Maria Claudia Drăgulinescu**, Cristina Bălăceanu, Filip Osiac, Roxana Roșcăneanu, Veronica Sanda Chedea, George Suciu Jr., Mirel Ciprian Păun, and Ștefania Bucuci. IoT-Based Smart Water Management Systems. In *2021 IEEE 27th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)*, 2021. prezentat, în curs de publicare.
- [6] **Drăgulinescu, Ana-Maria Claudia**, Andrei Dragulinescu, Ciprian Zamfirescu, Simona Halunga, and George Suciu Jr. Smart Neighbourhood: LoRa-based environmental monitoring and emergency management collaborative IoT platform. In *2019 22nd International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC)*, pages 1–6, 2019. (ISI, WOS: 000587757300073).
- [7] **Drăgulinescu, Ana-Maria Claudia**, Adrian Florin Manea, Octavian Fratu, and Andrei Drăgulinescu. LoRa-Based Medical IoT System Architecture and Tested. *Wireless Personal Communications*, mar 2020. (ISI, Q3, IF: 1.671, WOS: 000521919100001).
- [8] Cătălina Mărculescu, Alina Machedon, **Ana-Maria Claudia Drăgulinescu**, Ioana Marcu, and Ciprian Zamfirescu. LoRa and Bluetooth-based IoT alarm clock device for hearing-impaired people. In *2020 IEEE 26th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)*, pages 140–143, 2020. (ISI, WOS: 000651085100028).
- [9] Kazem Sohraby, Daniel Minoli, and Taieb Znati. *Wireless Sensor Networks: Technology, Protocols, and Applications*. Wiley-Interscience, USA, 2007.

- [10] Michael J. McGrath and Cliodhna Ní Scanaill. *Sensor Network Topologies and Design Considerations*, pages 79–95. Apress, Berkeley, CA, 2013.
- [11] D. Aksu and M. A. Aydin. A survey of iot architectural reference models. In *2019 16th International Multi-Conference on Systems, Signals Devices (SSD)*, pages 413–417, 2019.
- [12] Sami Tabbane. IoT Standards, Part I: IoT Technology and Architecture. <https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/AsiaPacific/Documents/Events/2018/IoT-BDG/IoT%20Standards%20Part%20I%20Sami.pdf>.
- [13] Kais Mekki, Eddy Bajic, Frédéric Chaxel, and Fernand Meyer. Overview of Cellular LPWAN Technologies for IoT Deployment: Sigfox, LoRaWAN, and NB-IoT. *2018 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops)*, pages 197–202, 2018.
- [14] Amine Rghioui, Sandra Sendra, Jaime Lloret Mauri, and Abedlmajid Oumnad. Internet of Things for Measuring Human Activities in Ambient Assisted Living and e-Health. *Network Protocols & Algorithms*, 8:15–28, 2016.
- [15] Jonathan de Carvalho Silva, Joel J. P. C. Rodrigues, Antonio M. Alberti, Petar Solic, and Andre L. L. Aquino. Lorawan — a low power wan protocol for internet of things: A review and opportunities. In *2017 2nd International Multidisciplinary Conference on Computer and Energy Science (SpliTech)*, pages 1–6, 2017.
- [16] U. Raza, P. Kulkarni, and M. Sooriyabandara. Low Power Wide Area Networks: An Overview. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, 19(2):855–873, Secondquarter 2017.
- [17] Kais Mekki, Eddy Bajic, Frederic Chaxel, and Fernand Meyer. A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. *ICT Express*, 5(1):1–7, March 2019.
- [18] Rashmi Sharan Sinha, Yiqiao Wei, and Seung-Hoon Hwang. A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT. *ICT Express*, 3(1):14–21, 2017.
- [19] Inam Ullah Khan, Ijaz Mansoor Qureshi, Muhammad Adnan Aziz, Tanweer Ahmad Cheema, and Syed Bilal Hussain Shah. Smart IoT Control-Based Nature Inspired Energy Efficient Routing Protocol for Flying Ad Hoc Network (FANET). *IEEE Access*, 8:56371–56378, 2020.
- [20] Dongju Cao, Wendong Yang, and Gangyi Xu. Joint Trajectory and Communication Design for Buffer-Aided Multi-UAV Relaying Networks. *Applied Sciences*, 9(24):5524, December 2019.
- [21] R. Ringbäck, J. Wei, E. S. Erstorp, J. Kutteneuler, T. A. Johansen, and K. H. Johansson. Multi-Agent Formation Tracking for Autonomous Surface Vehicles. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, pages 1–12, 2020.
- [22] Razvan Alexandru Popa, Dana Catalina Popa, Gheorghe Emil Mărginean, George Suci, Mihaela Bălănescu, Denisa Paște, Alexandru Vulpe, Marius Vochin, and **Ana-Maria Claudia Drăgulinescu**. Hybrid Platform for Assessing Air Pollutants Released from Animal Husbandry Activities for Sustainable Livestock Agriculture. *Sustainability*, 13(17), 2021. (ISI, Q2, IF: 3.251, WOS: 000694541300001).

- [23] Ioana Marcu, George Suciu, Cristina Bălăceanu, Alexandru Vulpe, and **Ana-Maria Claudia Drăgulinescu**. Arrowhead technology for digitalization and automation solution: Smart cities and smart agriculture. *Sensors*, 20(5):1464, Mar 2020. (ISI, Q1, IF: 3.576, WOS: 000525271500226).
- [24] **Ana-Maria Drăgulinescu**, Simona Halunga, and Ciprian Zamfirescu. Unmanned vehicles' placement optimisation for internet of things and internet of unmanned vehicles. *Sensors*, 21(21), 2021. (ISI, Q1, IF: 3.576, WOS: 000525271500226).
- [25] Ioana Marcu, Ana-Maria Drăgulinescu, Carmen Florea, Cristina Bălăceanu, Marius Alexandru Dobreă, and George Suciu. Agricultural data fusion for SmartAgro telemetry system. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, 5(5):1266–1272, October 2020.
- [26] Tarsha Eason, Wen-Ching Chuang, Shana Sundstrom, and Heriberto Cabezas. An Information Theory-Based Approach to Assessing Spatial Patterns in Complex Systems. *Entropy*, 21(2), 2019.
- [27] ITU Radiocommunication Bureau. Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-Advanced M Series Mobile, radiodetermination, amateur and related satellites services. Technical report, International Telecommunication Union, 2009.
- [28] ETSI. TR 125 996 - V13.0.0 - Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Spatial channel model for Multiple Input Multiple Output (MIMO) simulations (3GPP TR 25.996 version 13.0.0 Release 13). Technical report, European Telecommunications Standards Institute, 2016.
- [29] Wikiwand. Great-circle navigation. https://www.wikiwand.com/en/Great-circle_navigation.
- [30] DJI. Mavic 2 Enterprise Advanced. <https://www.dji.com/mavic-2-enterprise-advanced>, 2021.
- [31] Carmodels. Barca cu Motor Double Horse 7004 Scara 1:12 RTR. <https://carmodels.ro/motorboat-double-horse-7004-1-12-rtr-white-25563>, 2021.
- [32] International Telecommunication Union. P.527 : Electrical characteristics of the surface of the Earth. <https://www.itu.int/rec/R-REC-P.527-6-202109-I/en>, 2021.
- [33] International Telecommunication Union. Report 1008-1 : Reflection from the surface of the Earth. https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-P.1008-1-1990-PDF-E.pdf, 1990.