



Universitatea Națională de Știință și
Tehnologie POLITEHNICA
București



Școala Doctorală de Electronică, Telecomunicații
și Tehnologia Informației

Decision No. 48 from 20-05-2024

REZUMAT TEZĂ DE DOCTORAT

Seyed salar SEFATI

DENSIFICAREA OBIECTELOR ÎN INTERNETUL
LUCRURILOR PENTRU SISTEME ULTRA FIABILE ȘI
CU LATENȚĂ REDUSĂ

INTERNET OF THINGS DENSIFICATION FOR
ULTRA-RELIABLE AND LOW-LATENCY
SYSTEMS

COMISIA DE DOCTORAT

Prof. Dr. Ing. Ion MARGHESCU Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA București	Președinte
Prof. Dr. Ing. Simona HALUNGA Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA București	Conducător de doctorat
Prof. Dr. Ing. Corina NAFORNIȚĂ Universitatea Politehnica Timișoara	Referent
Prof. Dr. Ing. Vladimir POULKOV Universitatea Tehnică din Sofia	Referent
Prof. Dr. Ing. Teodor PETRESCU Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA București	Referent

BUCHAREST 2024

Abstract

Internetul Lucrurilor, o inovație care a apărut în 1989, s-a concentrat inițial pe încorporarea senzorilor mici. În timp, a evoluat într-o tehnologie recunoscută la nivel global, caracterizată de o vastă rețea de dispozitive interconectate. Acest avans lărgeste domeniul conectivității internetului de la dispozitive standard, precum computerele și telefoanele inteligente, pentru a include o varietate largă de obiecte obișnuite, inclusiv aparate electrocasnice, automobile și tehnologie portabilă. Această interconectivitate permite schimbul de date și automatizarea fără întreruperi în diverse domenii, inclusiv sănătate, producție și planificare urbană, ducând la o eficiență sporită, o îmbunătățire a procesului decizional și soluții inovatoare pentru provocări complexe.

Comunicarea ultra-fiabilă cu latență scăzută este esențială pentru Internetul Lucrurilor, în special în aplicațiile care necesită fiabilitate maximă și latență minimă. În ecosistemul Internetului Lucrurilor, comunicarea ultra-fiabilă cu latență scăzută permite comunicații în timp real, neîntrerupte între dispozitive, fiind crucială în scenarii precum automatizarea industrială, monitorizarea sănătății și vehiculele autonome. Cu capacitatea sa de a asigura transmiterea datelor cu o latență de doar câteva milisecunde și o fiabilitate de până la 99.999%, comunicarea ultra-fiabilă cu latență scăzută garantează că dispozitivele din Internetul Lucrurilor pot partaja informații rapid și fiabil, facilitând luarea deciziilor și acțiunile instantanee. Cercetarea prezentată în această teză poate fi clasificată în cinci părți:

Teza începe cu o revizuire exhaustivă a literaturii care examinează rolul evolutiv al comunicării ultra-fiabile cu latență scăzută în Internetul Lucrurilor. Capitolul 2 introduce Internetul Lucrurilor și semnificația comunicării ultra-fiabile cu latență scăzută, concentrându-se pe rolul tehnologiei 5G, cadrele de Calitate a Serviciilor, metodologiile pentru comunicarea ultra-fiabilă cu latență scăzută și implicațiile asupra calității serviciilor. Capitolul 3 abordează gruparea serviciilor orientate spre calitatea serviciilor în cloud computing, utilizând algoritmi avansați pentru selecția și compunerea eficientă a serviciilor. Capitolul 4 îmbunătățește rutarea și echilibrarea încărcării în rețelele de senzori wireless printr-un algoritm metaheuristic. Capitolul 5 introduce o abordare inovatoare pentru optimizarea serviciilor orașelor inteligente, utilizând rețele neuronale recurente și algoritmi de optimizare pentru a îmbunătăți calitatea serviciilor. Capitolul 6 rezumă contribuțiile academice ale cercetării prin lucrări publicate, oferă un plan pentru direcții viitoare de cercetare și subliniază rolul studiului în impulsivitatea avansurilor ulterioare în domeniul dinamic al comunicării ultra-fiabile cu latență scăzută și Internetului Lucrurilor.

Concluzia tezei evidențiază contribuțiile actuale la Internetul Lucrurilor și comunicarea ultra-fiabilă cu latență scăzută și sugerează direcții viitoare de cercetare, cum ar fi explorarea scalabilității acestor soluții în rețele Internetul Lucrurilor mai mari și mai complexe. Această perspectivă orientată spre viitor indică relevanța continuă și impactul potențial al cercetării.

Cuprins

Abstract.....	i
Cuprins.....	ii
1. Introducere.....	1
1.1 Prezentare generală.....	1
1.2 Domeniul tezei de doctora.....	1
1.3 Întrebări de cercetare și scop.....	2
1.4 Structura tezei.....	3
2. Explorarea comunicației ultra-fiabile cu latență scăzută în Internetul Lucrurilor prin intermediul rețelelor 5G.....	4
2.1 Prezentare arhitecturală și diversitatea rețelelor Internetului Lucrurilor.....	4
2.2 Analiză comparativă și categorizarea metodologiilor de comunicație ultra-fiabilă cu latență scăzută în rețelele Internetului Lucrurilor.....	5
2.3 Prezentare generală și concluzii privind comunicația ultra-fiabilă cu latență scăzută.....	6
3. Optimizarea selecției și compunerii serviciilor Internetul Lucrurilor în cloud computing.....	8
3.1 Prezentare generală a selecției serviciilor cloud.....	8
3.2 Metoda propusă pentru selecția serviciilor.....	8
3.3 Rezultate experimentale ale selecției serviciilor.....	10
3.4 Concluzie.....	11
4. Rutare orientată pe calitatea serviciilor și echilibrarea încărcării în rețelele IoT-WSN cu Modelul Markov și Algoritmii de Colonii de Albine Artificiale.....	12
4.1 Prezentare generală a rețelelor IoT-WSN.....	12
4.2 Modelul rețelei IoT-WSN.....	13
4.3 Consumul de energie al rețelelor IoT-WSN.....	14
4.4 Metoda propusă pentru rețelele IoT-WSN.....	15
4.5 Rezultate experimentale ale rețelelor IoT-WSN.....	16
4.6 Concluzie.....	16
5. Optimizarea serviciilor orașelor inteligente cu Rețele Neuronale Recurente și Algoritmi de Optimizare.....	17
5.1 Prezentare generală a descoperirii serviciilor.....	17
5.2 Metoda propusă și rezultatele experimentale.....	18
5.3 Concluzie.....	18

6. Sinteza constatărilor, publicațiilor și direcțiilor viitoare.....	21
6.1 Prezentare generală a contribuțiilor suplimentare de cercetare.....	21
6.2 Lista publicațiilor.....	23
6.2.1 Publicații de jurnal.....	23
6.2.2 Publicații de conferințe.....	24
Bibliografie.....	25

Capitolul 1

Introducere

Comunicarea ultra-fiabilă cu latență scăzută este crucială pentru Internetul Lucrurilor, în special pentru aplicațiile orașelor inteligente, unde schimbul de date fiabil și rapid este indispensabil. Acest capitol oferă o introducere detaliată asupra rolului transformativ al comunicării ultra-fiabile cu latență scăzută în rețelele Internetului Lucrurilor, subliniind aplicațiile în mediile orașelor inteligente, unde fiabilitatea ridicată și latența minimă sunt critice. Obiectivul principal al acestei teze este de a investiga rolul comunicării ultra-fiabile cu latență scăzută în îmbunătățirea fiabilității și latenței pentru orașele inteligente, automatizarea industrială și sistemele de vehicule conectate.

1.1 Prezentare generală

Internetul Lucrurilor integrează obiectele fizice în lumea digitală prin intermediul dispozitivelor inteligente echipate cu senzori, capacități de comunicare și putere de calcul. Dispozitivele IoT colectează date din mediu prin senzorii lor și le transmit către servere centralizate pentru analiză. Actuatorii pot apoi să modifice condițiile specifice pe baza acestei analize. Cadrul de comunicare ultra-fiabilă cu latență scăzută este deosebit de important pentru Internetul Industrial al Lucrurilor în Industria 4.0 și sistemele de vehicule conectate, unde fiabilitatea și schimbul rapid de date sunt cruciale pentru funcționarea eficientă [1].

În ciuda adoptării crescânde a tehnologiilor de rețea de arie largă și consum redus de energie pentru conectivitatea dispozitivelor Internetului Lucrurilor, acestea întâmpină dificultăți în a satisface cerințele de latență scăzută ale comunicării ultra-fiabile cu latență scăzută din cauza limitărilor lor inerente. Soluțiile de Internet celular, cum ar fi Narrow Band-IoT [2], abordează acest decalaj prin oferirea unei acoperiri extinse și îmbunătățirea performanței latenței, făcându-le potrivite pentru aplicații unde sincronizarea și fiabilitatea sunt esențiale. Mai mult, rețelele Narrow Band-IoT pot ajusta dinamic parametrii protocolului în funcție de condițiile rețelei, permițându-le să sprijine aplicații din ce în ce mai complexe în timp real. Această adaptabilitate este crucială în automatizarea industrială și sistemele vehiculelor, unde condițiile rețelei pot fluctua semnificativ [3].

1.2 Domeniul tezei de doctora

Integrarea comunicării ultra-fiabile cu latență scăzută în rețelele Internetului Lucrurilor este crucială pentru aplicațiile cu miză mare, unde milisecundele pot face o diferență semnificativă. Această teză se aliază cu eforturile globale de cercetare

menite să îmbunătățească fiabilitatea și latența Internetului Lucrurilor, construind pe studiile existente și propunând soluții inovatoare. În ciuda progreselor semnificative în comunicarea ultra-fiabilă cu latență scăzută și rețelele Internetului Lucrurilor, există încă mai multe provocări și limitări care afectează adoptarea și implementarea lor pe scară largă:

Fiabilitatea și reziliența rețelei: Asigurarea unei fiabilități aproape perfecte este esențială pentru aplicațiile din domeniul sănătății, vehiculelor autonome și automatizării industriale. Menținerea unor niveluri atât de ridicate de reziliență rămâne o provocare.

Scalabilitatea și densitatea dispozitivelor Internetului Lucrurilor: Densitatea ridicată a dispozitivelor poate duce la congestionarea rețelei și interferențe, necesitând algoritmi avansați pentru gestionarea eficientă a datelor.

Securitate și confidențialitate: Implementarea unor protocoale de securitate robuste fără a compromite performanța este crucială. Rețeaua extinsă de dispozitive interconectate formează o suprafață mare de atac, făcându-le ținte pentru amenințări cibernetice.

Eficiența energetică: Strategiile eficiente de comunicare trebuie să echilibreze consumul redus de energie cu necesitatea conectivității constante, ceea ce este provocator pentru dispozitivele alimentate cu baterii.

Managementul spectrului: Managementul eficient al spectrului radio necesită alocare dinamică, gestionarea interferențelor și algoritmi de predicție bazați pe inteligență artificială pentru a maximiza utilizarea eficientă a frecvențelor.

Cost și investiții: Implementarea comunicării ultra-fiabile cu latență scăzută și a infrastructurii Internetului Lucrurilor necesită investiții substanțiale, necesitând planificare strategică și analize cost-beneficiu.

1.3 Întrebări de cercetare și scop

Teza își propune să abordeze aceste provocări și să propună soluții pentru îmbunătățirea comunicării ultra-fiabile cu latență scăzută și a rețelelor Internetului Lucrurilor, concentrându-se pe dezvoltarea arhitecturii avansate. Întrebările de cercetare includ:

- Ce provocări apar în integrarea comunicării ultra-fiabile cu latență scăzută în rețelele Internetului Lucrurilor pentru aplicațiile orașelor inteligente?
- Cum sunt categorisite metodologiile pentru implementarea comunicării ultra-fiabile cu latență scăzută în rețelele Internetului Lucrurilor?
- Ce provocări apar în integrarea mai multor servicii cloud și ce abordări inovatoare pot satisface cerințele complexe?
- Care sunt provocările legate de consumul de energie și longevitatea rețelei în rețelele de senzori wireless ale Internetului Lucrurilor?
- Ce abordare inovatoare este propusă pentru descoperirea și compunerea serviciilor Internetului Lucrurilor și cum îmbunătățește aceasta calitatea serviciilor în orașele inteligente?
- Ce direcții de cercetare viitoare sunt recomandate pentru reconfigurarea dinamică a rețelei și managementul energiei în Internetul Lucrurilor?

1.4 Structura tezei

Această teză cuprinde o explorare cuprinzătoare a soluțiilor avansate în orașele inteligente, Internetul Lucrurilor și mediile de date mari prin algoritmi și cadre inovatoare. Structurată pe mai multe capitole, teza abordează diferite aspecte ale mediilor Internetului Lucrurilor, de la protocoale de rutare a datelor până la cloud computing. Organizarea tezei este prezentată după cum urmează:

Capitolul 2: Se prezintă o revizuire exhaustivă a literaturii și o clasificare a comunicării ultra-fiabile cu latență scăzută în contextul Internetului Lucrurilor, cu un accent deosebit pe implicațiile rețelelor 5G. Această lucrare este fundamentală pentru cercetările viitoare în înțelegerea impactului tehnologiei 5G asupra Internetului Lucrurilor și comunicării ultra-fiabile cu latență scăzută.

Capitolul 3: În al treilea capitol, manuscrisul introduce o metodologie inovatoare pentru selectarea și integrarea serviciilor în cadrul cloud computing, valorificând integrarea mecanismelor adaptive de penalizare în cadrul algoritmilor genetici, alături de metoda ABC. Această abordare îmbunătățește semnificativ eficiența alocării resurselor cloud în scenarii care implică Internetul Lucrurilor.

Capitolul 4: În al patrulea capitol, se dezvoltă un protocol de rutare orientat către calitatea serviciilor, care integrează strategii de echilibrare a încărcării prin aplicarea modelului Markov și a metodei ABC. Acest capitol abordează provocările din rețelele de senzori wireless, concentrându-se pe rutarea eficientă a datelor și gestionarea congestiei rețelei.

Capitolul 5: Acest capitol introduce un cadru cuprinzător care utilizează Rețele Neuronale Recurente și algoritmi de optimizare, îmbunătățind semnificativ cerințele de servicii în orașele inteligente. Se discută abordarea inovatoare pentru a răspunde cerințelor complexe ale serviciilor urbane în contextul Internetului Lucrurilor.

Capitolul 6: În capitolul 6, se prezintă culminarea cercetării, sintetizând principalele constatări și contribuții din capitolele precedente și propunând direcții pentru lucrări viitoare.

Chapter 2

Explorarea comunicației ultra-fiabile cu latență scăzută în Internetul Lucrurilor prin intermediul rețelelor 5G

Acest capitol explorează conceptele fundamentale și metodologiile care stau la baza acestei teze. Secțiunea 2.1 pune bazele examinând rolul Internetului Lucrurilor în tehnologia modernă, accentuând în special dispozitivele senzoriale și protocoalele de comunicare. Capitolul progresează subliniind importanța comunicării ultra-fiabile cu latență scăzută în peisajul rețelelor celulare de a cincea generație, așa cum este definită de standardele parteneriatului pentru generația a treia. Secțiunea 2.2 se aprofundează în metodologiile utilizate în acest studiu, clasificându-le în metode structurale, diversitate, metaheuristice și informații despre starea canalului pentru a prezenta o viziune cuprinzătoare a aplicațiilor comunicării ultra-fiabile cu latență scăzută în Internetul Lucrurilor. În final, capitolul abordează implicațiile mai largi ale comunicării ultra-fiabile cu latență scăzută pentru calitatea serviciilor în rețelele Internetului Lucrurilor.

2.1 Prezentare arhitecturală și diversitatea rețelelor Internetului Lucrurilor

Arhitectura sa conectează o multitudine de dispozitive bazate pe senzori care comunică și interacționează în diferite domenii, inclusiv aplicații industriale și sisteme de case inteligente. Aceste dispozitive, împreună cu actuatorile și modulele de comunicare, formează stratul fizic responsabil pentru colectarea datelor și interacțiune. Stratul de rețea asigură comunicarea fără întreruperi între aceste dispozitive și rețeaua mai largă, bazându-se adesea pe protocoale wireless. Stratul de middleware acționează ca un intermediar între straturile fizic și de aplicație, rafinând datele colectate pentru aplicații avansate, cum ar fi managementul orașelor inteligente, automatizarea caselor și automatizarea industrială [4].

Introducerea celei de-a cincea generații de rețele în Internetul Lucrurilor aduce avansuri considerabile în capacitatea rețelei, latență minimă și fiabilitate excepțională. Aceasta permite schimbul de date în timp real pentru aplicații care necesită răspuns rapid, cum ar fi vehiculele autonome și serviciile de telemedicină. Această tehnologie facilitează, de asemenea, conectarea fără probleme a unui număr mai mare de dispozitive, menținând în același timp performanța constantă. Cu toate acestea,

dezvoltarea rețelelor Internetului Lucrurilor prezintă provocări, inclusiv scalabilitatea, securitatea și eficiența energetică. Depășirea acestor obstacole necesită protocoale inovatoare, standarde și tehnologii pentru a gestiona eficient numărul tot mai mare de dispozitive din Internetul Lucrurilor.

2.2 Analiză comparativă și categorizarea metodologiilor de comunicație ultra-fiabilă cu latență scăzută în rețelele Internetului Lucrurilor

Metodologie bazată pe structură: Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (OFDM) [5] exemplifică o abordare strategică în dezvoltarea telecomunicațiilor. Flexibilitatea sa în spațierea subpurtătoarelor, tehnicile avansate de modulație, cum ar fi Modulația de Amplitudine în Cuadratură, și integrarea cu tehnologii emergente, cum ar fi MIMO masiv și formarea de fascicule, o fac ideală pentru rețelele de a cincea generație cu lățime de bandă mare [6].

Abordare prin diversitate: Această abordare îmbunătățește robustețea și fiabilitatea sistemului prin abordarea problemelor legate de probabilitatea erorilor și interferențele de zgomot. Tehnicile de Schematizare a Codificării Modulației utilizează redundanța în timp pentru a îmbunătăți robustețea semnalului, iar integrarea diversității de frecvență, timp și spațiu asigură o transmisie consistentă și fiabilă [7].

Algoritmi metaeuristici: Inspirare de fenomene naturale, aceste metodologii abordează problemele de optimizare globală prin dezvoltarea iterativă a conceptelor inovatoare și a proceselor de învățare pentru a identifica regiuni de căutare eficiente în cadrul rețelelor. Această abordare îmbunătățește fiabilitatea rețelei, aliniindu-se cu obiectivele comunicării ultra-fiabile cu latență scăzută [8].

Informații despre Starea Canalului: Informațiile despre starea canalului oferă perspective critice asupra canalelor wireless, cum ar fi puterea semnalului și întârzierile temporale. Estimarea canalului, adesea realizată prin semnale pilot, permite sistemelor să deducă condițiile canalului și să ajusteze parametrii, cum ar fi nivelurile de putere și schemele de modulație, în consecință. Achiziția de informații despre starea canalului bazată pe feedback completează acest proces, permițând un răspuns în timp real la condițiile în schimbare [9]. Tabelul 2.1 prezintă avantajele și dezavantajele fiecărei.

Table 2.1 General QoS of each method.

Metodă	Eficiență	Adaptabilitate	Fiabilitate	Complexitate	Latență	Energie
Bazată pe structură	Mare în gestionarea ratei de date	Se adaptează la spațierea subpurtătoarelor	Ideală pentru zone dense	Moderat complexă	Scăzută	Moderată

Abordare prin diversitate	Robustă în condiții variabile	Eficientă în scenarii diverse	Puternică în zone cu zgomot ridicat	Analiză complexă	Optimizabilă	Variază, în general eficientă
Algoritmi metaeuristici	Practică pentru complexitatea țile rețelei	Se adaptează la schimbările rețelei	Aproape optimă	Iterativ complexă	Dependentă de algoritm	Dependentă de complexitatea algoritmului

2.3 Prezentare generală și concluzii privind Comunicarea Ultra-Fiabilă cu Latență Scăzută

Metodologiile explorate mai sus au fost analizate pentru implicațiile lor asupra metricilor de comunicare ultra-fiabilă cu latență scăzută. Aproximativ 40% dintre studii au subliniat consumul de energie și disponibilitatea, în timp ce 10% s-au concentrat pe scalabilitate, cost și complexitate.

Strategie conștientă de risc în Comunicarea Ultra-Fiabilă cu Latență Scăzută: Progrese precum Banda Largă Mobilă Îmbunătățită și Comunicațiile de Tip Mașină Masivă urmăresc să îmbunătățească vitezele de transfer de date și să sprijine rețelele vaste de Internetul Lucrurilor. Comunicarea ultra-fiabilă cu latență scăzută vizează o latență minimă (1 milisecundă) și rate de eroare (sub 10), cruciale pentru vehiculele autonome, realitatea virtuală și Internetul Lucrurilor industrial. Strategiile de planificare bazate pe Valoarea Condiționată la Risc ajută la asigurarea echității proporționale prin divizarea problemei în planificarea utilizatorilor de Bandă Largă Mobilă Îmbunătățită și a dispozitivelor de comunicare ultra-fiabilă cu latență scăzută.

Tehnologie hardware cu cost redus în Comunicarea Ultra-Fiabilă cu Latență Scăzută: Tehnologia hardware cu costuri eficiente este crucială pentru proliferarea mediilor de Internetul Lucrurilor bazate pe comunicare ultra-fiabilă cu latență scăzută. Tehnologia Sistem-pe-Cip reduce costurile prin integrarea componentelor precum procesoare, memorie și interfețe de comunicare. Radiourile Definite prin Software oferă soluții hardware adaptabile prin reconfigurare bazată pe software. Reducerea costurilor hardware va fi vitală pentru adoptarea MIMO masiv și trecerea la benzi de frecvență Terahertz, influențând designul transceiverelor pentru tranziția de la generația a cincea la a șasea.

Scalabilitate și disponibilitate: Învățarea automată îmbunătățește scalabilitatea și disponibilitatea rețelelor Internetului Lucrurilor. Arhitecturile de învățare trebuie să evolueze pentru a sprijini multiple entități, oferind estimări precise ale incertitudinii epistemice și asigurând o comunicare eficientă. Tehnici precum fazele de învățare compensate pot evalua precis nevoile rețelei și îmbunătăți calitatea serviciilor.

Consumul și managementul energiei: Managementul energiei va fi o provocare în rețelele de a cincea generație datorită procesării de date masive și operării antenelor extinse. Circuitele eficiente de recoltare a energiei vor permite dispozitivelor să

funcționeze independent, susținute de strategii avansate de consum de energie. Tehnicile de Filtrare Kalman Extinsă permit controlul și mecanismele de predicție eficiente ale energiei, asigurând utilizarea optimă a acesteia. În plus, sursele de energie regenerabilă și protocoalele de comunicare adaptabile vor îmbunătăți eficiența energetică, esențială pentru o comunicare ultra-fiabilă cu latență scăzută în sistemele Internetului Lucrurilor.

Capitolul 3

Optimizarea selecției și compunerii serviciilor Internetul Lucrurilor în cloud computing

Acest capitol explorează strategiile pentru gruparea serviciilor orientate către calitatea serviciilor în Cloud Computing. Serviciile cloud individuale deseori nu reușesc să îndeplinească nevoile complexe ale lumii reale, astfel încât această cercetare subliniază importanța integrării multiplelor servicii pentru a îmbunătăți funcționalitatea și satisfacția consumatorilor. Problema grupării serviciilor este NP-hard, necesitând algoritmi metaheuristici avansați pentru soluții aproape optime. Este introdusă o abordare nouă, combinând Algoritmul Colonia de Albine Artificiale și Algoritmul Genetic. Algoritmul Genetic selectează serviciile inițiale pe baza unei funcții de fitness, în timp ce Algoritmul Colonia de Albine Artificiale optimizează în continuare selecția pe baza unor criterii specifice de calitate a serviciilor. Simulările CloudSim demonstrează eficacitatea metodei în furnizarea de grupări de servicii fiabile, accesibile și eficiente din punct de vedere al costurilor. Această strategie avansată are ca scop reducerea timpilor de răspuns, a costurilor serviciilor și a consumului de energie, îmbunătățind viteza și eficiența grupării serviciilor în cloud. În plus, capitolul compară ABCGA cu alți algoritmi metaheuristici și discută modelele viitoare de cloud computing care ar putea beneficia de brokeraj și management îmbunătățit al resurselor.

3.1 Prezentare generală a selecției serviciilor cloud

În ultimii ani, cloud computing a câștigat o popularitate imensă datorită caracteristicilor sale avantajoase și eficienței costurilor. Utilizatorii beneficiază de aceste servicii fără a avea nevoie de competențe IT extinse, plătind doar pentru ceea ce utilizează și evitând complexitățile tehnice. Cloud computing evoluează pentru a oferi servicii asemănătoare utilităților precum electricitatea și apa, punând accent pe accesibilitate. Arhitectura sa furnizează trei servicii principale: Software ca Serviciu [10], Platformă ca Serviciu [11] și Infrastructură ca Serviciu [12]. Furnizorii de cloud evaluează calitatea serviciilor și gestionează două tipuri de cereri de servicii: singulare și multiple. În timp ce oferirea unui singur serviciu este simplă, selectarea simultană a mai multor servicii este mai provocatoare. Deseori, nevoile utilizatorilor necesită o combinație de multiple resurse și servicii prin compunerea serviciilor. Integrarea serviciilor pentru a satisface nevoile diverse ale utilizatorilor este complexă, făcând din compunerea serviciilor o problemă

NP-hard, necesitând algoritmi metaeuristici pentru a găsi soluții aproape optime în mod eficient.

Această cercetare introduce o abordare nouă pentru selectarea serviciilor adecvate care să îndeplinească cerințele de calitate ale utilizatorilor, folosind o funcție de penalizare adaptivă creată utilizând Algoritmul Genetic [13] și Algoritmul Colonia de Albine Artificiale [14]. Algoritmul Genetic identifică inițial serviciile potrivite pe baza unei funcții de fitness, iar apoi algoritmul Colonia de Albine Artificiale combină aceste servicii conform criteriilor de evaluare a calității serviciilor. Principalele rezultate ale acestei abordări includ:

- Colecția optimă de servicii: Identifică un set optim de servicii bazat pe criteriile de calitate a serviciilor, asigurând alinierea cu obiectivele utilizatorului.
- Timp de răspuns și cost redus: Reduce timpul de răspuns la cererile de servicii și costurile totale ale serviciilor, sporind eficiența.
- Viteză crescută de compunere a serviciilor: Îmbunătățește rata de compunere a serviciilor, conducând la o implementare mai rapidă și satisfacția utilizatorului.
- Consum redus de energie: Reduce consumul de energie comparativ cu alți algoritmi metaeuristici, promovând soluții de cloud computing eficiente din punct de vedere energetic.

3.2 Proposed method of Service selection

Metoda propusă implică o abordare în mai mulți pași, combinând Algoritmul Genetic și Algoritmul Colonia de Albine Artificiale pentru a optimiza compunerea serviciilor în mediile de cloud computing. Iată un rezumat pas cu pas:

Pasul 1: Populația inițială și evaluarea fitnessului

Inițializare: Algoritmul Genetic începe prin crearea unei populații inițiale de cromozomi, fiecare reprezentând soluții potențiale prin secvențe numerice.

Funcția de fitness: Fitness-ul fiecărui cromozom este evaluat pentru a determina cea mai eficientă combinație de servicii, luând în considerare atât dimensiunile cantitative, cât și cele calitative.

Pasul 2: Selecția cromozomilor

Procesul de selecție: Cromozomii sunt selectați pe baza fitness-ului lor, utilizând o funcție de probabilitate $P(x)$, unde o valoare mai mare a fitness-ului crește probabilitatea de selecție.

Pasul 3: Aplicarea mecanismului de crossover și penalizare

Mecanismul de crossover: Noi cromozomi descendenți sunt generați prin combinarea cromozomilor părinți folosind o metodă de medie ponderată.

Funcțiile de fitness și penalizare: Funcția de fitness și funcția de penalizare $P(x)$ sunt aplicate pentru a evalua fiecare cromozom, penalizându-i pe cei cu încălcări ale constrângerilor pentru a ghida căutarea către soluții fezabile.

Pasul 4: Tranziția către Algoritmul Colonia de Albine Artificiale

Inițierea Algoritmului Colonia de Albine Artificiale: Odată ce Algoritmul Genetic identifică cele mai bune soluții de calitate a serviciilor, este utilizat Algoritmul Colonia de Albine Artificiale pentru a rafina în continuare combinațiile de servicii pentru a satisface cerințele utilizatorilor.

Pasul 5: Explorarea spațiului de căutare

Mișcarea albinelor: Algoritmul Colonia de Albine Artificiale explorează spațiul de căutare, ajustând pozițiile albinelor pentru a găsi cele mai favorabile locații de servicii, utilizând o variabilă aleatorie pentru a ghida căutarea.

Pasul 6: Reprezentarea populației

Reprezentarea sursei de hrană: Fiecare sursă de hrană (serviciu) este reprezentată de în cadrul populației, cu parametri care definesc limitele spațiului de căutare.

Pasul 7: Căutarea albinelor angajate

Identificarea serviciilor: Albinele angajate caută noi servicii, reprezentând noi surse de hrană, și păstrează informații despre nectarul (calitatea serviciului) din apropierea fiecărei surse.

Pasul 8: Evaluarea funcției de fitness

Evaluarea serviciilor: Fitness-ul fiecărui serviciu este evaluat folosind o formulă specifică. Dacă fitness-ul îndeplinește cerințele utilizatorilor, serviciul este considerat optim; în caz contrar, căutarea continuă.

Pasul 9: Căutarea albinelor observatoare

Căutare alternativă: Dacă evaluarea inițială a fitness-ului este insuficientă, albinele observatoare caută servicii alternative, utilizând un proces matematic pentru a naviga și evalua noi surse de hrană.

Prin combinarea algoritmilor Genetic și Colonia de Albine Artificiale, această metodă îmbunătățește sistematic procesul de compunere a serviciilor în cloud computing, vizând identificarea și optimizarea serviciilor care să îndeplinească eficient cerințele specifice ale utilizatorilor.

3.3 Rezultate experimentale ale selecției serviciilor

Setul de date a fost generat folosind metodologia Calității Serviciului Web, evaluând aspecte calitative precum funcționalitatea, securitatea și flexibilitatea, alături de șase indicatori convenționali de calitate a serviciilor. Securitatea, utilizabilitatea și flexibilitatea au fost categorizate în niveluri scăzute, medii și ridicate pentru a facilita analiza. Timpurile de răspuns au fost împărțite în intervale (de exemplu, 0.5, 2, 3 secunde), disponibilitatea a fost cuantificată în procente exacte (de exemplu, 99.5%, 99.9%, 99.999%), iar costurile au fost specificate în unități (de exemplu, 5, 20, 30, 40). Folosind acești parametri, au fost asamblate 50 de servicii, respectând modelul Calității Serviciului Web și punând accent pe adaptarea practică de către furnizorii de servicii. Distanțele de comunicare au variat de la 20 la 500 de unități pentru interacțiunile dintre utilizator și centrul de date cloud și de la 50 la 400 de unități pentru conexiunile dintre utilizator și ansamblul de servicii. Cloud SIM a fost utilizat pentru verificarea experimentală, simulând o platformă Software ca Serviciu pentru a oferi un mediu de alocare a resurselor personalizat [15].

Metoda propusă a fost comparată cu Moth Flame Optimization (MFO) [16], ABC [17], Greedy (GR) [18], Grey Wolf Optimization (GWO) [19], and Hidden Markov Model (HMM) [20] Metoda propusă a fost comparată cu alți algoritmi folosind același set de date. Costurile au fost calculate ca suma serviciilor selectate, permițând utilizatorilor să transmită semnificația fiecărui factor contributiv, îmbunătățind

fiabilitatea. Fiabilitatea, deosebit de critică în mașinile virtuale pentru domenii precum alimentarea cu energie, controlul traficului și sănătatea, a fost un punct central.

Eficiența costurilor: Metoda propusă a realizat reduceri superioare ale costurilor în comparație cu alte strategii, cu Moth-Flame Optimization fiind un competitor apropiat. Hidden Markov Model a arătat rezultate mai puțin favorabile în ceea ce privește eficiența costurilor.

Timpuri de răspuns: Metoda propusă a obținut cele mai rapide timpuri de răspuns pe măsură ce volumul cererilor a crescut, urmată îndeaproape de Moth-Flame Optimization. Hidden Markov Model a avut dificultăți în a obține timpuri de răspuns eficiente pentru un număr mare de servicii din cauza complexității sale.

Disponibilitate: Noua metodă a depășit celelalte metode în termeni de disponibilitate, crucială pentru succesul serviciilor, cu Grey Wolf Optimizer și Grouping showing the least impressive results.

Fiabilitate: Rezultatele pentru fiabilitate au fost comparabile între majoritatea metodelor, metoda propusă înregistrând un scor marginal mai ridicat. Cu toate acestea, predictibilitatea Hidden Markov Model a dus la o fiabilitate mai scăzută.

Consum de energie: Moth-Flame Optimization a demonstrat cea mai eficientă utilizare a energiei. Metoda propusă a arătat performanțe similare cu Moth-Flame Optimization la un număr mic de cereri, dar un consum mai mare de energie peste 9000 de cereri. Hidden Markov Model a depășit Artificial Bee Colony și Grouping în eficiența energetică, în timp ce Grey Wolf Optimizer, Moth-Flame Optimization și algoritmul propus au prezentat un consum de energie mai redus.

3.4 Conclusion

Cloud computing este preferat pentru furnizarea eficientă din punct de vedere al costurilor a resurselor hardware și software. Integrarea diverselor servicii prezintă adesea provocări NP-hard, necesitând compunerea serviciilor pentru cerințe complexe. Această cercetare combină Algoritmul Genetic și Algoritmul Colonia de Albine Artificiale, unde Algoritmul Genetic selectează serviciile pe baza nevoilor utilizatorilor, iar Artificial Bee Colony le evaluează și integrează. Algoritmul Genetic utilizează un mecanism de penalizare pentru gestionarea constrângerilor fără a elimina opțiunile neviabile, accelerând dezvoltarea soluțiilor eficiente. Simulările Cloud-SIM au demonstrat performanța superioară a metodei propuse în ceea ce privește timpul de răspuns, fiabilitatea și costul, în ciuda consumului de energie mai mare comparativ cu algoritmul Moth-Flame Optimization.

Chapter 4

Rutare orientată pe calitatea serviciilor și echilibrarea încărcării în rețelele IoT-WSN cu Modelul Markov și Algoritmul Colonia de Albine Artificiale

În Capitolul 4 al tezei, explorăm provocările esențiale legate de consumul de energie și longevitatea rețelei în rețelele de senzori wireless ale Internetului Lucrurilor, concentrându-ne pe dezvoltarea unei scheme inovatoare de rutare și echilibrare a încărcării. Acest capitol introduce integrarea Modelului Markov și a Algoritmului Colonia de Albine Artificiale pentru a optimiza selecția șefilor de cluster, utilizând algoritmul ierarhiei de clustering adaptiv cu energie redusă pentru echilibrarea inițială a încărcării. Prin simulări în MATLAB, capitolul demonstrează eficiența acestei noi abordări, Markov Model Artificial Bee Colony, în îmbunătățirea eficienței energetice, prelungirea duratei de viață a nodurilor și asigurarea transmiției fiabile a datelor către stațiile de bază și șefii de cluster. Aceasta abordează provocările imediate din rețelele de senzori wireless și contribuie semnificativ la domeniul mai larg al managementului rețelelor, evidențiind potențialele aplicații în diverse scenarii din lumea reală.

4.1 Prezentare generală a rețelelor IoT-WSN

Apariția Internetului Lucrurilor a revoluționat interacțiunea noastră cu tehnologia, rețelele de senzori wireless fiind un component esențial. Ecosistemele Internetului Lucrurilor și rețelele de senzori wireless constau în numeroși senzori și dispozitive care comunică wireless, permițând fluxul de date în timp real din mediile fizice în cele digitale. Aceste rețele sunt cruciale în dezvoltarea urbană, automatizarea industrială, supravegherea mediului și sănătate, oferind perspective și capacități de automatizare fără precedent. Algoritmii eficienți de rutare în rețelele de senzori wireless IoT trebuie să fie scalabili și eficienți, abordând limitările nodurilor senzorilor și asigurând livrarea fiabilă a datelor. Echilibrarea încărcării este esențială, dar provocatoare din cauza naturii NP-hard, necesitând algoritmi metaeuristici pentru soluții eficiente.

Această lucrare introduce o metodă nouă de rutare bazată pe cluster, concentrându-se pe echilibrarea încărcării și îmbunătățirea calității serviciilor în rețelele de senzori wireless IoT [21]. Metoda propusă combină Modelul Markov și Algoritmul Colonia de

Albine Artificiale pentru a optimiza selecția șefilor de cluster și a reduce consumul de energie. Procesul începe prin prezicerea energiei reziduale a fiecărui nod senzorial folosind Modelul Markov bazat pe locația acestora, urmat de Algoritmul Colonia de Albine Artificiale care efectuează căutări locale pentru a evalua candidații pentru șefii de cluster. Contribuțiile cheie includ:

- **Algoritmul Markov Model Artificial Bee Colony pentru selecția eficientă a șefilor de cluster:** Algoritmul Markov Model Artificial Bee Colony selectează eficient noi șefi de cluster, optimizând echilibrarea încărcării și reducând semnificativ timpul de construire a clusterului.
- **Reducerea consumului de energie:** Combinarea capacităților predictive ale Modelului Markov cu Algoritmul Colonia de Albine Artificiale reduce consumul total de energie al rețelelor de senzori wireless.
- **Îmbunătățirea parametrilor de calitate a serviciilor:** Îmbunătățește diverși parametri de calitate a serviciilor, cum ar fi numărul de noduri active, numărul total de pachete trimise către șefii de cluster și stațiile de bază, și energia reziduală medie, îmbunătățind astfel performanța rețelei și calitatea serviciilor.

4.2 Modelul rețelei IoT-WSN

În abordarea noastră propusă, folosim algoritmul ierarhiei de clustering adaptiv cu energie redusă pentru a grupa inițial nodurile în cluster, iar începând cu a doua iterație, integrăm algoritmul Markov Model Artificial Bee Colony în funcționarea rețelei. Inițial, tehnicile Modelului Markov identifică mai multe noduri candidate pentru rolurile potențiale de șefi de cluster pe baza datelor istorice despre nodurile rețelei. Ulterior, Algoritmul Colonia de Albine Artificiale este utilizat pentru a selecta și confirma unul dintre candidați pentru fiecare rol de șef de cluster. Așa cum este ilustrat în Figura 4.1, unii șefi de cluster pot stabili conexiuni directe cu stația de bază, în timp ce alții trebuie să recurgă la comunicarea multi-hop pentru a transmite datele către stația de bază. Principala responsabilitate a șefilor de cluster este de a agrega datele primite și de a le pregăti pentru transmiterea către destinațiile respective. Ulterior, șefii de cluster transmit aceste date către stația de bază, utilizând fie comunicarea directă pentru șefii de cluster apropiați, fie rutarea multi-hop pentru cei situați la o distanță mai mare de stația de bază.

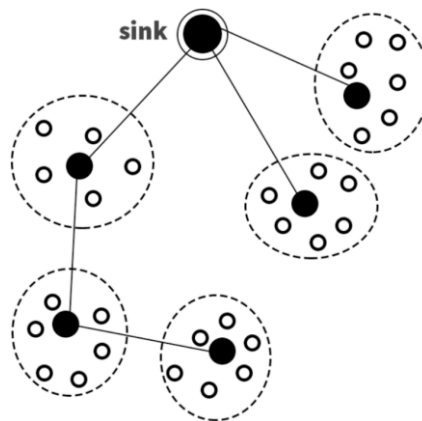


Figure 4.1 : IoT-WSN network model

Când se configurează nodurile rețelei în cadrul domeniilor, algoritmul LEACH este utilizat împreună cu Modelul Markov și Algoritmul Colonia de Albine Artificiale pentru a alege șeful de cluster optim pe baza condițiilor rețelei în timpul fiecărei iterații. Pentru claritate, începând cu a doua iterație, Modelul Markov identifică cei mai promițători candidați pentru rolul de șefi de cluster în cadrul fiecărui domeniu. Ulterior, Algoritmul Colonia de Albine Artificiale selectează unul dintre aceștia pe baza unor criterii precum locația și eficiența energetică. Transmiterea energiei se realizează prin salturi simple pentru destinațiile apropiate și folosește metoda celui mai apropiat vecin pentru multiple salturi în cazul destinațiilor îndepărtate. Nodurile desemnate ca șefi de cluster nu pot prelua același rol până la iterația P , unde P reprezintă un procent specificat de clustere. Astfel, în fiecare iterație, un nod are o șansă de $1/P$ de a deveni șef de cluster. Membrii clusterelor pot comunica cu șeful de cluster doar folosind scheme de acces multiplu prin diviziune în timp, conform programului stabilit de șeful de cluster. Algoritmul LEACH folosește în mod constant salturi simple pentru transmiterea datelor de la toți șefii de cluster la stația de bază [22].

4.3 Consumul de energie al rețelelor IoT-WSN

Consumul de energie al modelului propus a fost determinat prin aplicarea algoritmului LEACH. Pentru a calcula energia necesară pentru transmiterea unui pachet de date de dimensiune k biți pe o distanță d (care reprezintă spațiul dintre nodurile emițător și receptor), se poate folosi următoarea Ecuatie (4.1).

$$E_{tx}(i) = k(E_{elec} + E_{amp} * d^2) \quad (4.1)$$

Aici, E_{elec} reprezintă consumul de energie în circuitul electric, în timp ce E_{amp} semnifică energia necesară pentru a amplifica semnalele transmise pentru a trimite un singur bit de date. În plus, se poate calcula energia necesară pentru a primi un pachet de date conținând k biți cu următoarea Ecuatie (4.2):

$$E_{rx}(i) = k * E_{elec} \quad (4.2)$$

În plus, pentru nodurile poziționate la mijloc între nodurile emițător și receptor, energia totală consumată va fi combinația dintre energia necesară pentru trimiterea și primirea datelor:

$$E_{cons}(i) = \sum_{i=1}^n [E_{tx}(i) + E_{rx}(i)] \quad (4.3)$$

Prin urmare, energia utilizată de orice noduri, fie că trimit sau primesc, în cadrul acestor rețele poate fi determinată folosind ecuațiile furnizate.

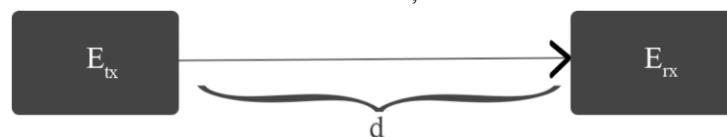


Figura 4.2: Transmiterea energiei

4.4 Metoda propusă pentru rețelele IoT-WSN

Abordarea propusă utilizează Modelul Markov pentru a identifica nodurile cu cea mai mare energie rămasă. Apoi, Algoritmul Colonia de Albine Artificiale selectează nodurile șefi de cluster dintre cele identificate de Modelul Markov, cu cel mai puțin activ nod central fiind ales ca șef de cluster în fiecare iterație. Pașii sunt următorii:

Inițializare: Nodurile sensor sunt dispersate aleatoriu în mediu.

Selecția inițială a șefilor de cluster: Algoritmul LEACH desemnează șefii de cluster inițiali.

Publicitate: Nodurile șefi de cluster transmit pachete de publicitate către membrii de cluster din apropiere.

Formarea clusterelor: Nodurile rămase se alătură clusterelor pe baza puterii semnalului recepționat.

Transmiterea datelor: Folosind algoritmul LEACH, datele sunt transmise.

Selecția ulterioară a șefilor de cluster: Începând cu a doua iterație, Modelul Markov identifică nodurile optime pe baza funcțiilor de fitness și a datelor istorice, iar Algoritmul Colonia de Albine Artificiale finalizează selecția șefilor de cluster.

Funcția de fitness: Funcția de fitness combină energia reziduală, distanța de la centru și dimensiunea bufferului pentru a evalua nodurile.

Funcția de fitness este dată de:

$$\text{Fitness}(i) = \alpha \left(\frac{E_{res}(i)}{E_{init}} \right) + \beta \left(1 - \frac{D_{cen}(i)}{D_{max}} \right) + \gamma \left(\frac{B_{res}(i)}{B_{init}} \right) \quad (4.5)$$

$$\alpha + \beta + \gamma = 1 \quad (4.6)$$

Pașii algoritmului:

Prima rundă:

1. Distribuie aleatoriu nodurile sensor.
2. Selectează șefii de cluster pe baza unui prag.
3. Șefii de cluster transmit semnale pentru a atrage nodurile.
4. Nodurile se alătură clusterelor pe baza puterii semnalului.
5. Transmiterea datelor.

Din a doua rundă încolo::

1. Calculează fitness-ul pentru toate nodurile.
2. Modelul Markov identifică nodurile candidate.
3. Algoritmul Colonia de Albine Artificiale aprobă noii șefi de cluster.
4. Transmiterea datelor continuă cu noii șefi de cluster.

Din a doua rundă încolo: Nodurile încep cu o energie inițială de 1 joule și o dimensiune a bufferului de 65 de bytes. Șefii de cluster sunt selectați în fiecare iterație folosind Modelul Markov și Algoritmul Colonia de Albine Artificiale, iar datele sunt transmise la stația de bază folosind metoda celui mai apropiat vecin.

4.5 Rezultate experimentale ale rețelelor IoT-WSN

Abordarea propusă utilizează Modelul Markov și Algoritmul Colonia de Albine Artificiale pentru a optimiza selecția șefilor de cluster, îmbunătățind eficiența energetică și prelungind durata de viață a rețelei în rețelele de senzori wireless IoT.

Această metodă a fost evaluată în comparație cu mai mulți algoritmi, inclusiv Ant Colony Optimization (ACO) [23], Glowworm Swarm Algorithm (GSO) [24], Greedy Meta-heuristic Algorithm, Meta-Heuristic Ant Colony Optimization based Unequal Clustering (MHACO-UC) [25], and Chaotic Discrete Artificial Bee Colony (CDABC) [26], utilizând un set de date consistent. Simulările au fost realizate în MATLAB R2016b pe un sistem cu procesor Intel Core i7 și 16 GB RAM, rulând Windows 10.

Durata de viață a rețelei: Metoda propusă a demonstrat cea mai lungă durată de viață a rețelei, cu un număr semnificativ mai mare de noduri supraviețuitoare peste 1500 de runde.

Consumul de energie: A arătat o gestionare mai eficientă a energiei încă din primele runde, depășind ceilalți algoritmi în conservarea energiei totale.

Colectarea datelor: Metoda propusă a colectat cea mai mare cantitate de date la nivelul șefilor de cluster.

Transmiterea pachetelor: A excelat în numărul total de pachete primite de stația de bază, în special în rundele inițiale.

Convergența: Metoda a afișat o convergență rapidă, atingând performanțe stabile în aproximativ 40 de cicluri.

Stabilitatea: Metoda propusă a prezentat o stabilitate puternică în diverse sarcini și iterații, depășind ceilalți algoritmi.

4.6 Concluzie

Integrarea tehnicilor Modelului Markov și Algoritmului Colonia de Albine Artificiale în selectarea nodurilor șefi de cluster asigură o distribuție echilibrată a sarcinilor, îmbunătățind semnificativ eficiența energetică și durata de viață a rețelei. Selecția strategică a nodurilor șefi de cluster este crucială pentru minimizarea consumului de energie și creșterea longevității rețelei. Algoritmul Markov Model Artificial Bee Colony identifică candidații optimi pentru șefii de cluster pe baza nivelurilor de energie și a poziționării geografice, iar Algoritmul Colonia de Albine Artificiale evaluează adecvarea acestora. Rezultatele simulărilor indică faptul că această metodologie depășește algoritmi existenți în ceea ce privește eficiența energetică, ratele de recepție a datelor la nivelul șefilor de cluster și al stațiilor de bază, și performanța generală a rețelei.

Chapter 5

Optimizarea serviciilor orașelor inteligente cu Rețele Neuronale Recurente și Algoritmi de Optimizare

Acest capitol abordează provocarea identificării și integrării serviciilor în cadrul Internetului Lucrurilor pentru mediile urbane inteligente, concentrându-se pe îmbunătățirea optimizării calității serviciilor. Introducem o metodologie folosind un cadru de Rețea Neuronală Recurentă îmbunătățit de rețele Long Short-Term Memory și tehnologia de Optimizare Black Widow. Rețeaua Neuronală Recurentă valorifică capacitățile Long Short-Term Memory pentru recunoașterea modelelor temporale și folosește Backpropagation Through Time pentru actualizarea parametrilor. Inspirată de păianjenii văduva neagră, strategia de Optimizare Black Widow rafinează selecția serviciilor prin dinamici de atracție și respingere, identificând cele mai bune servicii top-K care îndeplinesc cerințele de calitate a serviciilor. Această abordare îmbunătățește semnificativ viteza, accesibilitatea și fiabilitatea descoperirii și integrării serviciilor Internetului Lucrurilor.

5.1 Prezentare generală a descoperirii serviciilor

Un oraș inteligent se caracterizează printr-un mediu urban avansat, remodelat de Internetul Lucrurilor, care îmbunătățește calitatea vieții, eficiența serviciilor urbane și creșterea economică. Internetul Lucrurilor integrează diverși senzori și dispozitive în obiecte comune, cum ar fi stâlpi de iluminat și sisteme de apă, formând o vastă rețea care schimbă și procesează informații. Această rețea permite supravegherea și gestionarea în timp real a infrastructurilor urbane, îmbunătățind alocarea energiei, gestionarea deșeurilor, siguranța publică și planificarea urbană, făcând orașele mai durabile, confortabile și adaptabile la cerințele în schimbare. În Internetul Lucrurilor, descoperirea și compunerea serviciilor implică conectarea dispozitivelor variate folosind tehnologii precum web-ul semantic, arhitectura orientată pe servicii și cloud computing, creând un cadru de servicii dinamic și scalabil pentru aplicațiile orașelor inteligente. O provocare majoră este asigurarea că aceste servicii îndeplinesc cerințele utilizatorilor, în special

calitatea serviciilor. Acest studiu introduce o abordare nouă pentru selectarea serviciilor care îndeplinesc optim așteptările utilizatorilor privind calitatea serviciilor, abordând problema NP-hard a selecției serviciilor în orașele inteligente. Metoda folosește un algoritm de Rețea Neuronală Recurentă pentru a estima calitatea serviciilor fiecăruia pe baza dispozitivelor conectate, a volumului de trafic și a structurii rețelei, utilizând date istorice pentru a proiecta calitatea serviciilor prin recunoașterea modelelor. Ulterior, Optimizarea Black Widow este utilizată pentru compunerea serviciilor. Contribuțiile cheie includ:

- Integrarea calității serviciilor pentru a îndeplini cerințele utilizatorilor.
- Îmbunătățirea latenței, utilizării energiei, disponibilității și fiabilității.
- Realizarea de experimente cuprinzătoare pentru a evalua eficiența abordării pe diverse servicii.

5.2 Metoda propusă și rezultatele experimentale

O rețea neuronală recurentă este o rețea neuronală specializată, concepută pentru a gestiona date secvențiale, păstrând informații importante în memoria sa prin bucle, făcând-o potrivită pentru aplicații precum predicția seriilor temporale și procesarea limbajului natural. Rețelele neuronale recurente încorporează stări anterioare ale rețelei ca intrări, permițându-le să își amintească intrările anterioare și să îmbunătățească acuratețea predicției. Rețelele Long Short-Term Memory, un tip de rețele neuronale recurente, gestionează mai eficient dependențele pe termen lung. Rețelele neuronale recurente sunt antrenate folosind metoda Backpropagation Through Time pentru a actualiza greutățile prin minimizarea unei funcții de pierdere. Totuși, ele se confruntă cu provocări precum problema gradientului care se estompează, pe care tehnici precum Long Short-Term Memory și tăierea gradientului o atenuază. În acest studiu, cadrul rețelei neuronale recurente funcționează pe trei straturi: Strat de intrare, Strat recurent și Strat de ieșire. Stratul de intrare include preferințele utilizatorilor, numărul de utilizatori, serviciile disponibile, serviciile vizate și serviciile top-K. Rețeaua neuronală recurentă identifică serviciile top-K prin analiza datelor de calitate a serviciilor, prezicând cele mai potrivite servicii pe baza diverselor parametri. Acești parametri includ timpul de răspuns, debitul, fiabilitatea, disponibilitatea și consumul de energie. După descoperirea serviciilor disponibile, algoritmul de Optimizare Black Widow utilizează aceste servicii pentru a satisface cererile utilizatorilor prin identificarea celor mai bune combinații de servicii. Inspirată de păianjenii văduva neagră, strategia de Optimizare Black Widow folosește forțe atractive și repulsive pentru a evalua combinațiile de servicii, rafinând iterativ candidații până când este găsită soluția optimă.

Această metodologie este evaluată în comparație cu mai mulți algoritmi, inclusiv compunerea serviciilor bazată pe calitatea experienței utilizatorilor folosind GA-based QoS-aware service composition (GQSC) [27], Artificial Neural Network based Particle Swarm Optimization (ANN-PSO) [27], Deep Reinforcement Learning (DRL) [28], and ML [29], aplicate în principal în contextul descoperirii și compunerii serviciilor. Valori

consistente de fitness au fost observate pentru fiecare algoritm pe toate seturile de date. Cercetarea s-a concentrat pe analizarea variabilelor și a magnitudinilor lor, în plus față de factorii și rezultatele simulărilor. Metodologia noastră centrată pe oraș a fost evaluată utilizând simulatorul Cooja, adaptat pentru aplicații mobile. Aceasta a implicat un mediu urban inteligent simulat în care au avut loc interacțiuni între furnizorii de servicii, cetățeni și o rețea de gateway-uri care supravegheau serviciile. Configurația a permis stări atât statice, cât și mobile ale furnizorilor, cetățenilor și gateway-urilor, cele din urmă fiind capabile să gestioneze înregistrarea, distribuția și descoperirea serviciilor. Pentru a se potrivi naturii expansive și în evoluție a unui oraș inteligent, am aplicat un mecanism de întreținere a suprapunerii pentru ambele modele.

Simulările au fost operate pe un sistem de operare Linux, alimentat de un procesor Intel Core i7 și 32 GB de RAM. În domeniul guvernării și planificării, serviciul dezvoltat generează un tablou de bord stradal, integrând date din videoclipuri stradale, măsurători de temperatură și niveluri de apă. Acesta valorifică punctele de interes din Dublin și domeniile lor corespunzătoare ca puncte de referință. Fiecare punct de interes primește etichete de domeniu automatizate pe baza poziției sale geografice și a etichetelor din hărțile deschise. Serviciile orașului sunt delimitate utilizând punctele de interes din Dublin și domeniile lor specifice. Simularea, replicând cadrul orașului Dublin, cuprinde 500 de gateway-uri, împărțite egal între 250 de unități mobile și 250 de unități statice. Experimentele au variat în numărul de servicii și au ajustat mai mulți parametri pentru fiecare metodă. Pentru specificațiile tehnice ale simulării noastre, am ajustat rata de învățare la 0.01 și am experimentat cu diferite configurații ale rețelei neuronale, inclusiv numărul de straturi ascunse stabilit la 3, 5 și 7, și numărul de neuroni pe strat la 50 și 100. În plus, am variat dimensiunea lotului, testând atât 32, cât și 64, și am efectuat experimente pe parcursul a 50 și 100 de epoci pentru a evalua pe deplin performanța și eficiența metodologiei noastre [30].

Acest studiu evaluează diverși algoritmi în descoperirea și compunerea serviciilor IoT prin măsurarea ratei cererilor procesate cu succes. Metoda noastră propusă demonstrează performanțe superioare, atingând rate de succes mai mari la creșterea numărului de servicii comparativ cu algoritmul de ML și GQSC, care arată rate de succes mai mici. Această metodă combină algoritmi de Rețea Neuronală Recurentă pentru a prognoza calitatea serviciilor cu algoritmi de Optimizare Black Widow pentru a îmbunătăți ratele de rezolvare a cererilor, formând un cadru robust pentru descoperirea și compunerea serviciilor IoT.

Fiabilitate: Fiabilitatea este, de asemenea, evaluată în cadrul diferitelor metode, metoda noastră propusă fiind clasată pe primul loc, în special la un număr mare de servicii, în timp ce altele, cum ar fi algoritmul GQSC, arată scoruri de fiabilitate în scădere.

Cost: Analiza costurilor relevă că algoritmul de ML este cel mai economic, în timp ce algoritmul ANN-PSO este cel mai costisitor. Metoda noastră propusă implică costuri

mai mari decât algoritmi de Învățare Automată și DRL din cauza abordării sale metaheuristică pentru rezolvarea provocărilor de compunere.

Disponibilitate: Disponibilitatea, crucială pentru accesibilitatea serviciilor IoT, este asigurată la niveluri mai ridicate de metoda noastră, reflectând un design robust și protocoale de redundanță.

Energie: Consumul de energie, un factor critic în mediile IoT, este echilibrat în metoda noastră, arătând o utilizare eficientă a energiei, în special pentru dispozitivele care depind de baterii.

Latență: Latența în descoperirea serviciilor este un alt metric cheie, metoda noastră propusă atingând cele mai mici timpuri de latență în cadrul diverselor volume de servicii, depășind algoritmi de ML, ANN-PSO și DRL.

5.3 Concluzie

Orașele inteligente, alimentate de tehnologiile Internetului Lucrurilor, promit să îmbunătățească standardele de viață prin infrastructură, servicii și sustenabilitate rafinate. Descoperirea și compunerea serviciilor sunt esențiale pentru adaptarea la cerințele urbane în evoluție, menținând în același timp calitatea serviciilor. Acest studiu introduce o metodologie nouă folosind algoritmi de Rețea Neuronală Recurentă și Optimizare Black Widow pentru a îmbunătăți compunerea serviciilor în cadrele Internetului Lucrurilor. Rețeaua Neuronală Recurentă - Long Short-Term Memory prezice calitatea serviciilor, în timp ce algoritmul de Optimizare Black Widow integrează serviciile pentru a satisface cerințele utilizatorilor, îmbunătățind semnificativ acuratețea compunerii serviciilor și performanța sistemului Internetului Lucrurilor. Evaluată într-un mediu simulat de oraș inteligent, metoda s-a dovedit eficientă în metrici precum latența, fiabilitatea, disponibilitatea și rezolvarea cererilor, deși implică un consum mai mare de energie și costuri. Cercetările viitoare ar putea include testarea în lumea reală, încorporarea învățării profunde pentru predicția calității serviciilor, explorarea algoritmilor metaheuristici și introducerea de noi metrici de eficiență.

Chapter 6

Sinteza constatărilor, publicațiilor și direcțiilor viitoare

În această teză, am explorat integrarea comunicării ultra-fiabile cu latență scăzută în Internetul Lucrurilor, concentrându-ne pe aplicațiile din orașele inteligente. Contribuțiile noastre majore includ dezvoltarea de soluții inovatoare pentru sistemele Internetului Lucrurilor pentru a obține o fiabilitate ridicată și o latență minimă, esențiale pentru transformarea industriilor și a orașelor inteligente. Am categorisit metodologiile pentru implementarea comunicării ultra-fiabile cu latență scăzută în Internetul Lucrurilor în abordări bazate pe structură, bazate pe diversitate, bazate pe algoritmi metaeuristici și bazate pe informațiile despre starea canalului, oferind o înțelegere cuprinzătoare a aplicațiilor comunicării ultra-fiabile cu latență scăzută. În plus, am abordat provocările în dezvoltarea arhitecturilor profunde pentru comunicarea ultra-fiabilă cu latență scăzută și Internetul Lucrurilor, îmbunătățind capacitățile de procesare și interpretare a datelor. Lucrarea noastră a evidențiat, de asemenea, necesitatea unor rețele agile și adaptive, strategii de eficiență energetică în rețelele de a cincea și a șasea generație și măsuri avansate de securitate și confidențialitate. Aceste constatări deschid calea pentru cercetări viitoare menite să îmbunătățească eficiența și fiabilitatea sistemelor Internetului Lucrurilor în mediile orașelor inteligente și nu numai.

6.1 Contribuții suplimentare de cercetare

În timpul acestei cercetări, au fost publicate mai multe lucrări, contribuind semnificativ la domeniu, deși nu sunt incluse ca capitole individuale în această teză:

Îmbunătățirea securității în rețelele ad-hoc vehiculare prin tehnici avansate de detectare a atacurilor Sybil: Acest manuscris introduce o metodă nouă pentru detectarea atacurilor Sybil în rețelele ad-hoc vehiculare folosind o funcție de fitness și metrici precum indicele de putere a semnalului și debitul. Metoda îmbunătățește înțelegerea securității rețelei și asigură sisteme de comunicații vehiculare mai sigure și mai fiabile prin abordarea atacurilor Sybil și a amenințărilor mai ample din rețelele vehiculare.

Optimizarea selecției clusterelor în rețelele ad-hoc de zbor pentru echilibrarea încărcării: Această cercetare prezintă un mecanism de clustering nou pentru rețelele ad-hoc de zbor, concentrându-se pe eficiența energetică și optimizarea resurselor,

abordând provocările unice puse de mobilitatea și constrângerile energetice ale rețelelor de zbor.

Redirecționarea datelor cu toleranță la erori în calculul de tip ceață în IoT: Introducând un cadru robust de redirecționare a datelor, punând accent pe toleranța la erori în mediile de calcul de tip ceață, această lucrare îmbunătățește semnificativ reziliența și fiabilitatea sistemelor IoT și contribuie la domeniul în creștere al calculului de tip ceață.

Utilizarea îmbunătățită a punctelor mobile pentru comunicarea ultra-fiabilă cu latență scăzută în IoT, prin logica fuzzy: Prin utilizarea logicii fuzzy în utilizarea punctelor mobile pentru colectarea datelor, această lucrare evidențiază importanța sistemelor inteligente și adaptive în gestionarea comunicării ultra-fiabile cu latență scăzută în IoT.

Rutare eficientă energetic și stabilă în rețelele mobile IoT: Această cercetare dezvoltă un protocol de rutare concentrat pe prezicerea și optimizarea consumului de energie și stabilitatea legăturilor, abordând aspectele critice ale gestionării energiei și fiabilității rețelei în rețelele mobile IoT.

Un algoritm hibrid euristic pentru replicarea datelor în sistemele distribuite: Această lucrare despre replicarea datelor în sistemele distribuite folosind agenți artificiali prezintă un algoritm hibrid euristic, dezvoltat în colaborare cu Universitatea Istinye. Acesta gestionează optim plasarea și replicarea datelor, având un impact semnificativ asupra gestionării datelor în medii de rețea complexe.

Îmbunătățirea calității serviciilor în mediile de date mari IoT folosind algoritmul Harris Hawks: Aplicarea algoritmului de optimizare Harris Hawks pentru îmbunătățirea calității serviciilor în IoT, în special în contexte de date mari, această lucrare contribuie la înțelegerea modului în care datele mari și IoT pot fi sinergizate pentru performanțe optime ale rețelei.

Recomandarea de servicii IoT pentru utilizatorii de grup pe baza popularității: Acest studiu propune o metodă de recomandare a serviciilor IoT concentrată pe utilizatorii de grup și valorificând popularitatea serviciilor, abordând aspectele centrate pe utilizator și dinamica utilizării serviciilor în IoT.

O metodă bio-inspirată de generare a testelor folosind algoritmul de optimizare a liliecilor discretizat și modificat: Această abordare adaptează algoritmul de optimizare a liliecilor pentru testarea software-ului, dezvoltat în colaborare cu Universitatea Istinye, îmbunătățind metodele de generare a testelor în ingineria software-ului.

Îmbunătățirea securității și eficienței Internetului Lucrurilor: Detectarea anomaliilor prin tehnici blockchain bazate pe dovada de miză: Introducând algoritmul de dovadă de miză pentru detectarea anomaliilor de date în IoT, această lucrare demonstrează performanțe superioare în termeni de metrice de calitate a experienței, cum ar fi reducerea timpului de procesare, câștigul de resurse și latența.

6.2 Lista publicațiilor

6.2.1 Publicații de jurnal

1. Sefati, Seyed Salar, and Sara Ghiasi Tabrizi. "Detecting sybil attack in vehicular ad-hoc networks (vanets) by using fitness function, signal strength index and throughput." *Wireless Personal Communications* (2022): 1-21.
<https://doi.org/10.1007/s11277-021-09261-x> WOS:000712739400002 Q2 – IF= 2.017
2. Sefati, Seyed Salar, Simona Halunga, and Roya Zareh Farkhady. "Cluster selection for load balancing in flying ad hoc networks using an optimal low-energy adaptive clustering hierarchy based on optimization approach." *Aircraft Engineering and Aerospace Technology* 94.8 (2022): 1344-1356.
<https://doi.org/10.1108/AEAT-08-2021-0264> WOS:000784089300001 Q3 – IF=1.5
3. Sefati, Seyed Salar, and Simona Halunga. "A hybrid service selection and composition for cloud computing using the adaptive penalty function in genetic and artificial bee colony algorithm." *Sensors* 22.13 (2022): 4873.
<https://doi.org/10.3390/s22134873> WOS:000825529200001 Q2 – IF=3.9
4. Arasteh, Bahman, Seyed Salar Sefati, Simona Halunga, Octavian Fratu, and Tofigh Allahviranloo. "A hybrid heuristic algorithm using artificial agents for data replication problem in distributed systems." *Symmetry* 15, no. 2 (2023): 487.
<https://doi.org/10.3390/sym15020487> WOS:000942053900001_Q2 – IF = 2.7
5. Sefati, Seyed Salar, and Simona Halunga. "Ultra-reliability and low-latency communications on the internet of things based on 5G network: Literature review, classification, and future research view." *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies* (2023): e4770.
<https://doi.org/10.1002/ett.4770> WOS:000964150700001 Q1 – IF=4.7
6. Sefati, Seyed Salar, Mehrdad Abdi, and Ali Ghaffari. "QoS-based routing protocol and load balancing in wireless sensor networks using the markov model and the artificial bee colony algorithm." *Peer-to-Peer Networking and Applications* 16.3 (2023): 1499-1512.
<https://doi.org/10.1007/s12083-023-01502-z> WOS:000990428800002 Q2 – IF =4.6
7. Sefati, Seyed Salar, Bahman Arasteh, Simona Halunga, Octavian Fratu, and Asgarali Bouyer. "Meet User's Service Requirements in Smart Cities Using Recurrent Neural Networks and Optimization Algorithm." *IEEE Internet of Things Journal* (2023).
<https://doi.org/10.1109/JIOT.2023.3303188> WOS:001163472700080 Q1 – IF= 12.62
8. Arasteh, Bahman, Keyvan Arasteh, Farzad Kiani, Seyed Salar Sefati, Octavian Fratu, Simona Halunga, and Erfan Babae Tirkolae. "A Bioinspired Test Generation Method Using Discretized and Modified Bat Optimization Algorithm." *Mathematics* 12, no. 2 (2024): 186.

6.2.2 Publicații de conferințe

1. Sefati, Seyed Salar, and Simona Halunga. "Data forwarding to Fog with guaranteed fault tolerance in Internet of Things (IoT)." *2022 14th International Conference on Communications (COMM)*. IEEE, 2022.
<https://doi.org/10.1109/COMM54429.2022.9817179>
2. Sefati, Seyed Salar, and Simona Halunga. "Mobile sink assisted data gathering for URLLC in IoT using a fuzzy logic system." *2022 IEEE International Black Sea Conference on Communications and Networking (BlackSeaCom)*. IEEE, 2022.
<https://doi.org/10.1109/BlackSeaCom54372.2022.9858268> WOS:000865848800065
3. Sefati, Seyed Salar, et al. "A Novel Routing Protocol based on Prediction of Energy Consumption and Link Stability in Mobile Internet of Thing (MIoT)." *2022 25th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC)*. IEEE, 2022.
<https://doi.org/10.1109/WPMC55625.2022.10014984> WOS:000947852500005
4. Sefati, Seyed Salar, and Simona Halunga. "Enhancement of Quality of Service (QoS) in Internet of Things based on big data environment using the Harris Hawks algorithm." *Advanced Topics in Optoelectronics, Microelectronics, and Nanotechnologies XI*. Vol. 12493. SPIE, 2023.
<https://doi.org/10.1117/12.2642727>
5. Sefati, Seyed Salar, and Simona Halunga. "Service Recommendation for a Group of Users on the Internet of Things Using the Most Popular Service." *2023 12th International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCASST)*. IEEE, 2023.
<https://doi.org/10.1109/MOCASST57943.2023.10176696>
6. Nor, Ahmed M., Seyed Salar Sefati, Octavian Fratu, and Simona Halunga. "RXs Directions based codebook solution for passive RIS beamforming." In *2023 IEEE International Black Sea Conference on Communications and Networking (BlackSeaCom)*, pp. 330-335. IEEE, 2023.
<https://doi.org/10.1109/BlackSeaCom58138.2023.10299786>
7. Sefati, Seyed Salar, Octavian Fartu, Ahmed M. Nor, and Simona Halunga. "Enhancing Internet of Things Security and Efficiency: Anomaly Detection via Proof of Stake Blockchain Techniques." In *2024 International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication (ICAIIIC)*, pp. 591-595. IEEE, 2024.
<https://doi.org/10.1109/ICAIIIC60209.2024.10463516>.

Bibliografie

- [1] K. Chopra, K. Gupta, and A. Lambora, "Future internet: The internet of things-a literature review," in *2019 International Conference on Machine Learning, Big Data, Cloud and Parallel Computing (COMITCon)*, 2019, pp. 135-139.
- [2] S. Sefati, M. Abdi, and A. Ghaffari, "Cluster-based data transmission scheme in wireless sensor networks using black hole and ant colony algorithms," *International Journal of Communication Systems*, vol. 34, p. e4768, 2021.
- [3] A. Zanella, N. Bui, A. Castellani, L. Vangelista, and M. Zorzi, "Internet of things for smart cities," *IEEE Internet of Things journal*, vol. 1, pp. 22-32, 2014.
- [4] I. Yaqoob, E. Ahmed, I. A. T. Hashem, A. I. A. Ahmed, A. Gani, M. Imran, *et al.*, "Internet of things architecture: Recent advances, taxonomy, requirements, and open challenges," *IEEE wireless communications*, vol. 24, pp. 10-16, 2017.
- [5] A. G. Armada, "Understanding the effects of phase noise in orthogonal frequency division multiplexing (OFDM)," *IEEE transactions on broadcasting*, vol. 47, pp. 153-159, 2001.
- [6] H. Mukhtar and M. El-Tarhuni, "An adaptive hierarchical QAM scheme for enhanced bandwidth and power utilization," *IEEE transactions on communications*, vol. 60, pp. 2275-2284, 2012.
- [7] M. R. Elhebeary, M. A. Ibrahim, M. M. Aboudina, and A. N. Mohieldin, "Dual-source self-start high-efficiency microscale smart energy harvesting system for IoT," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 65, pp. 342-351, 2017.
- [8] B. Arasteh, A. Seyyedabbasi, J. Rasheed, and A. M. Abu-Mahfouz, "Program source-code re-modularization using a discretized and modified sand cat swarm optimization algorithm," *Symmetry*, vol. 15, p. 401, 2023.
- [9] Z. Gao, M. Ke, Y. Mei, L. Qiao, S. Chen, D. W. K. Ng, *et al.*, "Compressive sensing-based grant-free massive access for 6G massive communication," *IEEE Internet of Things Journal*, 2023.
- [10] W. Tsai, X. Bai, and Y. Huang, "Software-as-a-service (SaaS): perspectives and challenges," *Science China Information Sciences*, vol. 57, pp. 1-15, 2014.
- [11] T. Devi and R. Ganesan, "Platform-as-a-Service (PaaS): model and security issues," *TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering*, vol. 15, pp. 151-161, 2015.
- [12] S. S. Manvi and G. K. Shyam, "Resource management for Infrastructure as a Service (IaaS) in cloud computing: A survey," *Journal of network and computer applications*, vol. 41, pp. 424-440, 2014.
- [13] L. M. Schmitt, "Theory of genetic algorithms," *Theoretical Computer Science*, vol. 259, pp. 1-61, 2001.
- [14] D. Karaboga, B. Gorkemli, C. Ozturk, and N. Karaboga, "A comprehensive survey: artificial bee colony (ABC) algorithm and applications," *Artificial intelligence review*, vol. 42, pp. 21-57, 2014.
- [15] H. Chang and K. Lee, "A Quality-Driven Web Service Composition Methodology for Ubiquitous Services," *J. Inf. Sci. Eng.*, vol. 26, pp. 1957-1971, 2010.
- [16] M. Ghobaei-Arani, A. A. Rahmanian, A. Soury, and A. M. Rahmani, "A moth-flame optimization algorithm for web service composition in cloud computing: simulation and verification," *Software: Practice and Experience*, vol. 48, pp. 1865-1892, 2018.
- [17] K. Zambouri and N. Jafari Navimipour, "A cloud service composition method using a trust-based clustering algorithm and honeybee mating optimization algorithm," *International Journal of Communication Systems*, vol. 33, p. e4259, 2020.
- [18] H. Ma, A. Wang, and M. Zhang, "A hybrid approach using genetic programming and greedy search for QoS-aware web service composition," *Transactions on large-scale*

data-and knowledge-centered systems XVIII: special issue on database-and expert-systems applications, pp. 180-205, 2015.

- [19] Y. Yang, B. Yang, S. Wang, W. Liu, and T. Jin, "An improved grey wolf optimizer algorithm for energy-aware service composition in cloud manufacturing," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 105, pp. 3079-3091, 2019.
- [20] Z.-C. Jia, Y. Lu, X. Li, and X. Xing, "HMM-based fault diagnosis for Web service composition," *J. Comput*, vol. 31, pp. 18-33, 2020.
- [21] H. Gou and Y. Yoo, "An energy balancing LEACH algorithm for wireless sensor networks," in *2010 Seventh International Conference on Information Technology: New Generations*, 2010, pp. 822-827.
- [22] D. D. Falconer, F. Adachi, and B. Gudmundson, "Time division multiple access methods for wireless personal communications," *IEEE Communications Magazine*, vol. 33, pp. 50-57, 1995.
- [23] K. Guleria and A. K. Verma, "An energy efficient load balanced cluster-based routing using ant colony optimization for WSN," *International Journal of Pervasive Computing and Communications*, vol. 14, pp. 233-246, 2018.
- [24] A. Sampathkumar, J. Mulerikkal, and M. Sivaram, "Glowworm swarm optimization for effectual load balancing and routing strategies in wireless sensor networks," *Wireless Networks*, vol. 26, pp. 4227-4238, 2020.
- [25] O. Deepa and J. Suguna, "An optimized QoS-based clustering with multipath routing protocol for wireless sensor networks," *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, vol. 32, pp. 763-774, 2020.
- [26] M. Masdari, S. Barshande, and S. Ozdemir, "CDABC: chaotic discrete artificial bee colony algorithm for multi-level clustering in large-scale WSNs," *The Journal of Supercomputing*, vol. 75, pp. 7174-7208, 2019.
- [27] A. Hosseini Bidi, Z. Movahedi, and Z. Movahedi, "A fog-based fault-tolerant and QoE-aware service composition in smart cities," *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, vol. 32, p. e4326, 2021.
- [28] A. G. Neiat, A. Bouguettaya, and M. Bahutair, "A deep reinforcement learning approach for composing moving IoT services," *IEEE Transactions on Services Computing*, vol. 15, pp. 2538-2550, 2021.
- [29] A. Namoun, A. A. Abi Sen, A. Tufail, A. Alshantiti, W. Nawaz, and O. BenRhouma, "A two-phase machine learning framework for context-aware service selection to empower people with disabilities," *Sensors*, vol. 22, p. 5142, 2022.
- [30] C. Cabrera, G. White, A. Palade, and S. Clarke, "The right service at the right place: A service model for smart cities," in *2018 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom)*, 2018, pp. 1-10.