



**MINISTERUL EDUCAȚIEI  
ȘI CERCETĂRII**  
**Universitatea POLITEHNICA**  
**din București**  
**Școala Doctorală de Inginerie Industrială și**  
**Robotică**

Doctorand:

Ing. Dipl. Viviana Laetitia MINEA

# **TEZĂ DE DOCTORAT**

**Cercetări privind monitorizarea online și  
managementul comunicațiilor inteligente**

Conducător științific  
Prof.univ.dr.ing.ec.mat. Augustin SEMENESCU

## REZUMAT

În prezent, conform datelor furnizate de diferite organizații guvernamentale sau internaționale abilitate din domeniu, populația lumii a crescut exponențial cu o rată medie de 1,2% pe an în ultimii 50 ani. Deși acest proces de urbanizare are avantajele sale, din punct de vedere al confortului și efortului de viață, el prezintă totuși și o serie de provocări. Urbanizarea rapidă crează o presiune crescândă asupra resurselor de materii prime și energie, sporind cererea pentru serviciile de furnizare și distribuție a apei, energiei, salubrității. De asemenea, această grupare urbană a populației conduce la managementul din ce în ce mai dificil al serviciilor de sănătate, educație, mobilitate urbană.

O altă problema rezultată ca o consecință a acestui proces de urbanizare, dar de prim ordin ca importanță pentru viață pe Pământ, este poluarea generată de activitățile urbane. Orașele contribuie substanțial la degradarea mediului, cu valori de până la 70% în emisia de gaze de seră și 60%-80% în ceea ce privește consumul global de energie.

Prin urmare, una dintre provocările emergente este pentru autorități și factorii de decizie aceea de a găsi soluții și căi de a transforma orașele în inteligente și sustenabile în condițiile date. Unul dintre răspunsurile posibile este adoptarea unor politici de a face orașele “inteligente” printr-un management eficient al resurselor infrastructurii, protecției mediului, respectiv o guvernare inteligentă cu scopul creșterii calității vieții cetățenilor. Au fost date mai multe definiții ale orașelor inteligente, în funcție de domeniul de cercetare.

O definiție din domeniul telecomunicațiilor descrie orașul inteligent prin prisma eficienței operațiilor și serviciilor urbane, în scopul asigurării cerințelor generațiilor prezente și viitoare în raport cu aspectele de natură economică, socială și de mediu. Operațiile în spiritul acestei definiții acoperă domenii foarte largi: obținerea de informații multiple pentru autorități, afaceri și cetățeni, optimizarea producției sau consumului de apă și energie, managementul traficului, al siguranței publice, al răspunsului la situații de urgență. Pentru a se adapta acestor cerințe multi-fațetate ale orașelor inteligente și domeniilor asociate, internetul va trebui să joace un rol fundamental în comunicații, culegerea și distribuția informațiilor, transferul de date și analiză, precum și procesarea distribuită a acestora.

Pentru elaborarea căilor de proiectare și implementare a conceptelor Smart City, este recomandabilă definirea unei arhitecturi multi-strat, ca model pentru diferitele domenii de aplicare și infrastructuri. La mijlocul acestei arhitecturi stratificate și realizând interconectarea informațională a diferitelor niveluri, trebuie să se situeze tehnologiile-suport pentru comunicații. De aceea, consider că acest strat este de maximă importanță, ceea ce justifică alegerea acestui domeniu pentru elaborarea cercetării doctorale.

Această teză de doctorat cuprinde atât un studiu teoretic, cât și o serie de cercetări experimentale și implementarea unor propuneri noi de soluții cu scopul de a descoperi modalități inovatoare de a realiza managementul integrat al serviciilor într-un oraș inteligent.

Obiectivul principal al tezei este dezvoltarea unei platforme de management integrat a serviciilor într-o infrastructură de oraș inteligent, bazată pe predicția stărilor viitoare și analiza satisfacției clienților.

De la perioada pandemiei și până în prezent, s-a pus intens accentul pe digitalizarea a cât mai multor servicii pe care publicul (cetățenii) le accesează. Există astfel o competiție acerbă între companii să ofere posibilitatea clienților să realizeze ce și-au propus în mod digital, online, accesând servicii din confortul propriilor case. Criteriul care face diferența și duce la fidelizarea clienților, în situația această, este disponibilitatea care se dorește a fi cât mai mare a aplicațiilor. Situațiile în care o aplicație răspunde greu oferă o experiență negativă utilizatorilor și îi face pe aceștia să se reorienteze către concurență.

Monitorizarea online implică supravegherea și analiză activităților și datelor generate în infrastructura unui oraș inteligent, inclusiv pe platformele de comunicare ale cetățenilor și alte canale digitale. Această monitorizare permite companiilor și organizațiilor să obțină informații valoroase despre buna funcționare a serviciilor digitale într-un astfel de ecosistem, percepția publicului, feedback-ul clienților și tendințele pieței.

Subiectele de cercetare aferente tezei sunt reprezentate de limitările și neajunsurile tuturor metodelor și soluțiilor existente până în prezent în domeniul monitorizării online a serviciilor. În același timp, teza se concentrează pe studiul stadiului actual al serviciilor de monitorizare online pentru a determina breșele ce conduc la un nivel de serviciu scăzut; definirea unor strategii integrate de analiză bazată pe agenți inteligenți, pentru monitorizarea atât a echipamentelor, cât și a serviciilor / aplicațiilor; cercetări pentru găsirea unor algoritmi și soluții de asistență electronică pentru managementul eficient al activităților de mentenanță, modelarea procesului de monitorizare, modelarea impactului disfuncționalităților, implementarea unui model de agent inteligent pentru asistență în situații de criză și situații de incertitudine, și nu în ultimul rând, propuneri de îmbunătățire a arhitecturii și managementului rețelelor de comunicații utilizate pentru gestionarea serviciilor din orașele inteligente. Au fost identificate diferite modalități de aplicare a sistemelor de inteligență artificială în managementul și supravegherea serviciilor și au fost propuse două soluții de coordonare a mai multor programe de monitorizare.

Procesul de transformare a unui oraș în oraș inteligent este unul complex și înseamnă mai mult decât îmbunătățirea vechilor sisteme prin adăugarea de senzori, supervizare de la distanță și controlul serviciilor esențiale ale orașului. Procesul trebuie gândit ca o soluție integrată, pluridisciplinară, ca o strategie ce ia în considerare în mod unitar toate componentele acestei transformări: tehnologice, de standardizare, economice, sociale, legislative. Ca urmare, se impune efectuarea unor studii prealabile pentru a determina care dintre elementele infrastructurii și serviciilor urbane trebuie supuse acestui proces și care sunt interdependențele, oportunitățile și amenințările ce pot apărea de-a lungul implementării.

În tranziția către orașele inteligente, progresul reprezintă calea către un consum mai redus al resurselor. Conform unor autori, analiza este bine să înceapă cu presupunerea inițială formulată de soluția Sollow-Hartwick, conform căreia sustenabilitatea este văzută ca o problema de investiții în care trebuie folosite beneficiile utilizării resurselor naturale pentru crearea de noi oportunități de valoare cel puțin egală, dacă nu mai mare.

În sustenabilitatea de natură ecologică, presupunerea principală este aceea conform căreia capitalul natural (combustibili, minerale, energie) nu este înlocuit de capitalul obținut prin producție (mașini, clădiri, cunoștințe). În cazul acesta, trebuie calculată suprafață necesară pentru a produce resursele consumate și modul de asimilare al deșeurilor generate de capitalul produs. Modelul acesta suferă însă de două deficiențe:

- Dificultatea de a cuantifica diferite resurse în unități teritoriale,
- Imposibilitatea de a înlocui toate resursele.

Cercetări ulterioare au demonstrat că utilizarea ambelor modele menționate anterior face ca fiecare dintre acestea să fie necesar în mod individual, dar să nu asigure totuși condiții suficiente pentru o dezvoltare sustenabilă. Au fost create chiar și modele matematice care să sugereze cât de mult ar trebui investit în produsul industrial final astfel încât să se mențină un raport de echilibru între consum și nivelul de satisfacție al investiției. Pe măsură ce rata progresului tehnologic și a satisfacției sunt în creștere, este nevoie de investiții din ce în ce mai mici.

Suportul pentru o evoluție constantă în zona urbană este asigurat de așa numitele sisteme inteligente. Acestea reprezintă o metodă de dezvoltare diferențiată a diferitelor tipuri de servicii în domeniile educație, sănătate, transporturi, distribuție energie, administrare publică, etc. Din această paletă de sisteme, unele reprezintă componente principale, în jurul cărora se pot construi servicii.

Nucleul este format din subsistemele și tehnologiile-cheie care asigura transmiterea transparentă pentru utilizatori a informațiilor într-o arhitectură logică a orașului inteligent. Sistemele componente de tip satelit pot include aplicații după cum urmează:

- Sistemul de transport:
  - Sisteme integrate de management al traficului și informare privind traficul și călătoria
  - Sisteme integrate de taxare
  - Mobilitatea ca serviciu (MaaS)
- e-Guvernare:
  - Portaluri de acces, transmitere și recepționare de documente guvernamentale
  - Plata electronică de taxe
  - Servicii electronice de informare pentru cetățeni
- Sisteme educaționale:
  - Platforme integrate de educare la distanță
  - Soluții de tip cloud și produse de automatizare a instruirii și evaluării cursanților
  - Soluții pentru formarea profesională continuă
- Sistemul de sănătate:
  - Soluții pentru telemedicină
  - Elaborarea, transmiterea, validarea de documente medicale pe cale electronică
  - Programarea vizitelor, utilizarea inteligenței artificiale în diagnosticare, monitorizarea pacienților etc.

Pentru activitatea de elaborare a tezei de doctorat, activitățile de studiu, analiză, cercetare-dezvoltare, culegere de date, implementare și simulare au fost structurate astfel încât să permită acumularea unui număr cât mai mare de cunoștințe, precum și obținerea unor rezultate utile pentru societatea științifică și mediul economic. Principalele etape ale acestei perioade, precum și rezultatele și contribuțiile notabile obținute, care se pot menționa, sunt următoarele:

- Efectuarea de numeroase studii bibliografice, atât al unor lucrări științifice din domeniu sau din domenii conexe (în principal, articole științifice din reviste naționale și internaționale de prestigiu – IEEE, MDPI și altele), a unor brevete de invenție, precum și paginile unor furnizori de servicii și producători de echipamente, prin intermediul cărora s-a identificat:
  - Stadiul actual al serviciilor din sfera orașelor inteligente, concepte, definiții, politici și standarde.
  - Rezultatele obținute în cele mai semnificative cazuri de bune practici; exemple de aplicare ale conceptelor smart city în România.
  - Aspecte ce trebuie luate în considerare în managementul integrat al orașelor inteligente.
  - Clasificarea din punct de vedere al arhitecturii a orașelor inteligente, tendințele inițiale de transformare a orașelor tradiționale în inteligente, și tendințele actuale.
  - Nișele descoperite în aceste studii bibliografice au ajutat la formarea ideilor principale și găsirea unor noi direcții de cercetare.
  - Propunerea unor noi surse de colectare a datelor, precum crowdsourcing-ul.
- Studiile bibliografice inițiale, realizate în mod comparativ după anumite criterii selectate, s-au axat pe descoperirea celor mai noi avansuri tehnologice în domeniul serviciilor pentru orașele inteligente, cu analiza importanței pe care sistemele de comunicații o au în managementul serviciilor:
  - Au fost analizate din punct de vedere tehnic mai multe tehnologii de transmitere a datelor într-o super rețea, pornind de la generația a 2-a GSM și până la tehnologiile superioare, puțin consumatoare de energie și având capacități de transmisie pe distanțe lungi.
  - Au fost efectuate teste de viteză de comunicații și comparate oportunitățile de utilizare oportunistă, combinată a acestor tehnologii pentru transmisia și / sau colectarea datelor.
  - Au fost studiate în detaliu cerințele necesare pentru implementarea aplicațiilor de tip inteligent, de la nivelul casei inteligente până la managementul rețelelor de distribuție.
  - Au fost aduse propuneri de îmbunătățire a arhitecturii și managementului rețelelor de comunicații utilizate pentru gestionarea serviciilor din orașele inteligente.

- S-a acordat o importanță deosebită și dedicat un studiu intens instrumentelor de monitorizare online, prin intermediul căruia s-au identificat diferite modalități de aplicare a sistemelor de inteligență artificială în managementul și supravegherea serviciilor și comunicațiilor pentru orașele inteligente, algoritmi utilizați în analiza și filtrarea datelor captate din orașe inteligente și sisteme inteligente pentru transporturi:
  - Concepte generale privind monitorizarea online.
  - Tipuri de arhitecturi de monitorizare și exemple de instrumente software care se bazează pe acestea.
  - Mecanisme de monitorizare cu agent sau fără agent.
  - Criterii de evaluare și alegere a instrumentelor de monitorizare.
  - Conceptul de management al performanței aplicațiilor (Application Performance Management – APM).
- A fost propusă o soluție de modelare matematică a procesului de monitorizare.
- A fost studiat programul de monitorizare Dynatrace și algoritmi de inteligență artificială aplicați de către acesta în vederea realizării sarcinilor complexe de urmărire distribuită (distributed tracking).
- A fost propus și analizat un studiu de caz pentru o aplicație generică de tip „Contul meu” privind o situație de funcționare defectuoasă a acesteia, precum și modalitățile prin care aplicația Dynatrace a detectat degradarea timpilor de răspuns a acesteia, oferind informații-cheie administratorului de sistem, foarte utile în procesul de recuperare. A fost realizată modelarea matematică a indicatorilor urmăriți de către programele de monitorizare, precum Dynatrace.
- A fost realizată modelarea impactului disfuncționalităților folosind legea lui Amdahl pentru găsirea factorului de degradare în caz de incidente.
- Au fost propuse două soluții de coordonare a mai multor programe de monitorizare pentru a avea în final un management cât mai eficient, autonom și exhaustiv al mentenanței rețelelor:
  - Regândirea și reconfigurarea programelor de *dynamic tracing* cu orientare și prioritarizare pe monitorizarea aplicațiilor de tip smart city.
  - Construirea unei structuri suprapuse, dedicate exclusiv controlului nivelului de serviciu trans-rețele al aplicațiilor smart city, o structură bazată pe agenți de monitorizare, fiecare având arii de activitate foarte clar definite și delimitate, conducând astfel la o nouă arhitectură a ecosistemului, bazată pe o strategie de monitorizare superioară.
- Un referat de cercetare a fost dedicat studiului managementului asistat de inteligența artificială a serviciilor pentru orașul inteligent, astfel:
  - Pe o selecție de subcomponente alese din arhitectura unui oraș inteligent s-a realizat un studiu de caz, în care s-a urmărit dezvoltarea unui management integrat al acestora.

- A fost elaborat un model de dezvoltare a unui agent AI pentru managementul global al orașelor inteligente.
  - Au fost analizate cerințele dezvoltării unei soluții de management al orașelor inteligente, asistată de inteligență artificială, cu scopul de a eficientiza procesele din sistemul de management al defectărilor (Failure Management System – FMS) și de a reduce timpul de restabilire al serviciilor și aplicațiilor.
  - A fost proiectat un prototip de agent inteligent pentru asistență în situații de criză, bazat pe algoritm Min-Max cu trunchiere alfa-beta.
  - A fost realizat un alt studiu de caz pentru managementul situațiilor de incertitudine.
- Un întreg capitol a fost dedicat propunerii unei platforme pentru managementul integrat al întreținerii preventive, folosind detectarea software, monitorizarea aplicațiilor și predicția privind starea viitoare bazată pe Markov, pentru creșterea rezistenței unei rețele complexe de rețele. A fost dezvoltat un algoritm specific pentru monitorizarea nivelului de serviciu, pe de o parte, și un instrument de sprijinire a managementului întreținerii preventive, bazat pe prezicerea stărilor viitoare ale rețelei, pe de altă parte. Un studiu de caz este, de asemenea, investigat pentru aplicațiile din orașele inteligente, iar dezvoltări ulterioare sunt sugerate la sfârșitul capitolului.
  - S-a demonstrat oportunitatea economico-financiară a dezvoltării unei aplicații software pentru monitorizarea serviciilor unui oraș inteligent prin intermediul unui plan de afaceri.

Teza de doctorat este împărțită în 8 capitole și este organizată după cum urmează.

În „**Introducere**” este prezentat contextul tezei de doctorat și sunt prezentate câteva noțiuni în legătură cu stadiul actual al dezvoltării domeniului orașelor și al transformării acestora în orașe inteligente. De asemenea, este prezentată strategia de elaborare a tezei de doctorat, sunt enumerate contribuțiile originale și este expusă structura lucrării de doctorat.

**Capitolul 1** - „*Stadiul actual al monitorizării online. Necesitatea managementului inteligent al serviciilor și comunicațiilor*” prezintă, pe baza datelor din literatura de specialitate, definiții, istoric, politici și standarde în ceea ce privește orașele inteligente, detaliază componentele acestora. De asemenea, descrie exemple curente de aplicare a bunelor practici de către orașe atât din România cât și din lume pentru transformarea de la stadiul tradițional la cel inteligent.

**Capitolul 2** - „*Provocări ale managementului infrastructurii unui oraș inteligent*” prezintă contextul economico-științific al componentelor orașelor inteligente și aspecte ce trebuie luate în considerare în realizarea unui management integrat al acestora. Pe baza literaturii de specialitate, este detaliată arhitectura orașelor inteligente și sunt atent analizate punctele slabe și neajunsurile bunei funcționări ale unei astfel de arhitecturi, urmărind să se aducă noi idei de îmbunătățiri.

**Capitolul 3 - Cerințele tehnologiilor informaționale și de comunicații pentru orașe și sisteme inteligente de transport**” – prezintă un studiu comparativ al principalelor tehnologii de comunicații de date cu aplicabilitate în sisteme inteligente de transport (SIT) și orașe inteligente (OI), analizează cerințele tehnologice ale acestor sisteme și nu în ultimul rând, aduce propuneri de îmbunătățire a arhitecturii și managementului rețelelor de comunicații pentru SIT și OI.

**Capitolul 4 - „Instrumente de monitorizare a rețelelor de comunicații cu aplicabilitate în servicii de tip smart city**” – prezintă un studiu teoretic realizat pe baza a numeroase documentații tehnice dar și literaturii de specialitate despre monitorizarea online, instrumente software ce îndeplinesc această funcționalitate, mecanisme diferite de implementare și criterii de evaluare și alegere a instrumentelor de monitorizare. Este introdus conceptul de Applications Performance Management, o practică cheie utilizată de companiile care doresc să se asigure că mențin nivelurile de serviciu așteptate și că clienții primesc o experiență pozitivă de utilizare a aplicației. Ca parte experimentală, în acest capitol s-a realizat modelarea matematică a procesului de monitorizare și exemplificat un studiu de caz concret de beneficii ale aplicării instrumentului de monitorizare Dynatrace având algoritmi de inteligență artificială pentru tratarea principalele motive de abandon al folosirii unei aplicații web/mobile de către clienți. Pe cazul respectiv a fost realizat și impactul disfuncționalităților utilizând legea lui Amdahl și s-au propus modalități de îmbinare a acțiunii coordonate a programelor de monitorizare.

Toate aceste soluții s-au materializat prin publicarea mai multor articole științifice în reviste de specialitate **ISI WOS (Web of Science) și BDI, acceptate de către CNCSIS.**

**Capitolul 5 - „Managementul asistat de inteligență artificială al rețelelor de comunicații pentru orașe inteligente**” – prezintă cercetări experimentale și implementări originale, materializate prin articole științifice publicate în reviste de specialitate (Sensors, MDPI – Basel, Elveția, IF=3,9, Ranking Q1-Q2). Au fost determinate cerințele soluției de management al orașelor inteligente asistată de inteligență artificială și a fost conceput un model de dezvoltare a unui agent AI pentru managementul orașelor inteligente. De asemenea s-a implementat un model de agent inteligent pentru asistență în situații de criză, bazat pe algoritm min-max cu trunchiere alfa-beta, și s-a realizat un studiu de caz privind managementul situațiilor de incertitudine ce pot apărea într-un ecosistem smart city.

**Capitolul 6 - „Platformă integrată pentru managementul asistat al serviciilor (bazată pe matrice de stări, predicția stărilor viitoare și analiza satisfacției utilizatorilor)**” – prezintă scopul final al tezei de doctorat, și anume elaborarea unei platforme integrate pentru managementul asistat al serviciilor într-un smart city, materializată de asemenea într-un articol științific în reviste de specialitate (Sensors, MDPI – Basel, Elveția, IF=3,9, Ranking Q1-Q2). Pentru acest pas s-au cules date de performanță concrete dintr-o rețea de comunicații din România pe parcursul a unui an de zile și pe baza lor s-a realizat dezvoltarea algoritmului pentru evaluarea riscurilor de producere a defecțiunilor de rețea și ale serviciilor și a algoritmului de previzionare a satisfacției clienților.



Având aceste mecanisme și utilizând mai departe teoria lanțurilor Markov, s-a elaborat un algoritm pentru construirea matricei de evaluare a riscurilor, ce stă la baza platformei integrate de asistență a operatorilor în luarea celor mai bune decizii de management în ceea ce privește serviciile dintr-un oraș inteligent.

**Capitolul 7 - „Model de plan de afaceri”** prezintă oportunitatea economico – financiară a dezvoltării unei aplicații software pentru managementul integrat al serviciilor” - reprezintă o validare a rezultatelor cercetării prin dezvoltarea unui nou produs software, aplicația City Master Companion. Oportunitatea economică, aplicabilitatea și caracterul inovator au fost demonstrate printr-un plan de afaceri.

**Capitolul 8 - „Concluzii generale și direcții viitoare de cercetare”** prezintă concluziile aferente studiilor teoretice și experimentale, contribuțiile personale și perspectivele de cercetare, ulterioare acestei teze de doctorat.

Pornind de la domeniul programului de doctorat – Inginerie și Management, **obiectivul principal** al tezei de doctorat este reprezentat de inovarea în ceea ce privește managementul orașelor inteligente.

**Scopul tezei de doctorat** este acela de a dezvolta soluții inovatoare în procesul de transformare al orașelor din tradiționale în inteligente și facilitarea unui management cât mai eficient al serviciilor în cadrul unui astfel de ecosistem, astfel încât să fie asigurat un nivel ridicat al calității serviciilor și satisfacției cetățenilor.

Conform unor definiții din literatura de specialitate, un **smart city** (oraș inteligent) reprezintă o regiune în care serviciile și rețelele tradiționale sunt făcute mai flexibile, eficiente și sustenabile cu ajutorul informațiilor, tehnologiile digitale și de telecomunicații, în scopul îmbunătățirii operării spre beneficiul locuitorilor regiunii. Transformarea unui oraș tradițional într-unul inteligent se obține prin intermediul tehnologiei informației și al telecomunicațiilor. Cele mai importante două componente ale acestora care furnizează cadrul tehnologic de dezvoltare rapidă și la scară mare sunt: internetul tuturor obiectelor (IoT) și BigData. În afară de acestea, este evidentă contribuția pe care ar trebui să o aibă dezvoltarea unor componente privind: infrastructură, energiile regenerabile etc. pentru a atinge aceste deziderate. Ariile funcționale pe care s-a concentrat analiza și pe care s-au realizat mai multe studii de caz în cadrul acestei teze de doctorat sunt: sistemul de transport, distribuția de energie electrică, iluminatul stradal, economia, componenta de crowdsourcing, comerțul digital, mediul înconjurător.

Pentru a putea face mai bine față provocărilor managementului infrastructurii smart city, este necesar a se folosi toate informațiile dezvoltării strategice în scopul definirii unei infrastructuri adaptate. Astfel, a fost propusă creerea unei arhitecturi-cadru a infrastructurii ICT plecând de la modelul OSI, dar realizând un model îmbunătățit, mai bine adaptat unei dezvoltări integrate a acestei infrastructuri. Diferitele implementări izolate ale componentelor smart city nu respectă un standard unificat al datelor, motiv pentru care se propune adăugarea stratului Conversie. Acest

strat este responsabil cu transpunerea formatului datelor, compatibile cu standardele heterogene ale diferiților furnizori de date, într-un format comun agreat, utilizat de către orice aplicație smart-city. Suplimentar, având în vedere că un oraș inteligent se va baza pe utilizarea extensivă a comunicațiilor radio, respectiv IoT, consider necesară dublarea stratului fizic pentru că acesta să răspundă mai bine cerințelor IPv6 și efectelor propagării undelor radio în mediul urban.

Aspecte ce trebuie luate în considerare în managementul integrat al orașelor inteligente:

- planificare:

- arhitecturi de referință pentru orașe inteligente
- platforme urbane accesibile oricui
- standarde adaptate

- aspecte legate de sustenabilitate:

- obiective ale dezvoltării durabile
- standarde libere (open standards)
- interfețe libere (open interfaces)
- surse libere (open sources)
- date libere (open data)

- aspecte legate de reziliență

- infrastructura ICT fiabilă și cu un nivel ridicat de disponibilitate; terminale de date<sup>1</sup> (ex. operatori umani, senzori ai diferitelor aplicații, tot ce poate fi considerat o sursă sau un receptor de informație) robuste, fiabile și cu consum redus de energie.

- aspecte tehnice:

- tehnologii inovatoare;
- aspecte legate de asigurarea calității;
- dezvoltare etapizată;
- testare și certificare.

- siguranța și securitate:

- echipamente prietenoase cu mediul;
- securitate cibernetică;

- legislație:

- aspecte legale noi;
- e-guvernare.

- social:

- creșterea calității vieții;
- accesibilitate la servicii;
- condiții echitabile de viață;
- educație de calitate.

---

<sup>1</sup> Prin terminal de date se înțelege un nod ce poate primi/furniza date într-o arhitectură de tip logic la care se pot defini diagramele fluxurilor de date (DFD)

O altă propunere este utilizarea unei soluții de tip crowdsourcing pentru aceste componente funcționale ale unui oraș inteligent, ca o sursă suplimentară de informații, pe lângă senzorii amplasați în oraș, cu potențialul de a permite autorităților competente și edililor să culegă o cantitate uriașă de date utile ulterior în direcții esențiale dezvoltării: proiectarea infrastructurii, decizii de îmbunătățire, informare de trafic și călătorie urbană multimodală, ghidare adaptivă pe rută, operarea sigură (monitorizare incidente de trafic, căderi de alimentare, întreruperi ale rețelelor de distribuție a utilităților etc.). Toate acestea vor avea ca efect creșterea eficienței proceselor de administrare, de restabilire după o întrerupere și de formare a unei baze de date ce va permite analize statistice mult mai utile în dezvoltarea planificată urbană.

Bazat pe această experiență pozitivă din domeniul sistemelor inteligente pentru transport s-ar putea dezvolta și alte aplicații similare, pentru alte componente funcționale ale orașelor inteligente ale viitorului. Prin aceste metode integrate de crowdsourcing s-ar eficientiza mult mai rapid o multitudine de servicii și aplicații, în beneficiul tuturor utilizatorilor. Astfel, ar putea fi monitorizate prin aplicații de tip crowdsourcing: managementul condițiilor de mediu din spațiile de locuit și de la birouri, iluminatul interior inteligent, monitorizarea nivelului de noxe combinată cu managementul traficului auto, monitorizarea consumurilor și pierderilor în rețelele de distribuție a utilităților și multe altele.

Pentru aplicațiile de natură socială, păstrând un anumit nivel de anonimitate, calitatea multor servicii care astăzi lasă de dorit, precum cele medicale sau de îngrijire a persoanelor în vârstă, cu handicap etc., ar putea fi îmbunătățite – dacă ar exista rețele sociale (altele decât Facebook, Instagram, Tweeter, Tik-Tok etc.) adaptate categoriei respective de servicii.

În cadrul tezei de doctorat au fost analizate și cerințele tehnologiilor informaționale și de comunicații pentru orașe și sisteme inteligente de transport. Cererea pentru comunicații mobile a crescut foarte mult, constant în ultima perioadă – în special în contextul pandemiei SARS-COV2. Se pune accent pe transmisia de date mobile prin intermediul rețelelor GSM, dar și pe extinderea acoperirii în zonele rurale. Principalele tehnologii de comunicații de date analizate sunt: rețelele celulare, LoRaWAN, LPWAN, Zigbee, WiMAX, Bluetooth, Wi-Fi și DSRC. Elemente analizate: lățimea de bandă folosită, sistemul de acces, tehnologiile, timpii de acces și distanța de transmisie, avantajele și dezavantajele, acestea fiind și criteriile ce determină aplicabilitatea în domeniul orașelor și transporturilor inteligente. Ca și parte experimentală, au fost realizate teste de viteză în mai multe zone din București, folosind mai multe terminale mobile și având activate serviciul de date mobile oferit de la mai mulți operatori de telefonie din țară (Orange, Vodafone, Digi), iar rezultatele au demonstrat vitezele net superioare la navigarea pe internet în cazul tehnologiei 5G, comparativ cu generațiile anterioare.

Se estimează o creștere exponențială a complexității managementului multitudinii de componente funcționale implicate în dezvoltarea unui oraș inteligent, efectele putând fi observate și în dificultățile de operare manuală a activităților de întreținere și restabilire a rețelelor de comunicații. Soluție propusă în cadrul tezei pentru această provocare este utilizarea unor agenți inteligenți ( bazați pe algoritmi specifici AI ), specializați, pentru monitorizarea diferitelor arii de

activitate implicate într-un oraș inteligent. Soluția trebuie să aibă posibilitatea de scalare și control global prin intermediul unui Super-agent Supervisor care să realizeze conexiuni logice, bazate pe analize de cauzalitate și efecte, între informațiile prezentate de către agenții regionali.

Extinderea virtualizării și cloud-computing-ului au dus la apariția unui număr uriaș de elemente ce trebuiesc administrate. Sistemele IT din ziua de astăzi prezintă redundanță geografică și funcționează pe sisteme de operare diferite, lucru care complică managementul lor. Monitorizarea sistemelor IT trebuie adaptată la noile cerințe de volum din etapa și condițiile actuale, deoarece starea de bună funcționare a acestor aplicații a devenit critică pentru a putea oferi clienților suport și asistență 24/7.

În cadrul tezei au fost analizate în mod aprofundat fundamentele monitorizării, monitorizarea la nivel de infrastructură, au fost propuși indicatori cheie de performanță care să fie urmăriți pentru fiecare arie funcțională de interes a orașului, mecanisme de monitorizare cu agent și fără agent, criterii de evaluare și alegere a celor mai bune instrumente de monitorizare.

Au fost, de asemenea, realizat un studiu de caz pe 5 astfel de instrumente, din mai multe puncte de vedere și realizată o comparație între acestea. Două măsuri importante se pot nota în urma studiilor efectuate: este important a se realiza managementul cât mai eficient al resurselor fizice (nivel fizic, nivel legătură de date, nivel rețea), simultan cu asigurarea că pragul QoS agreat este atins, indiferent de nivelul de virtualizare aplicat peste infrastructura fizică. Programele de monitorizare folosite să poată fi aplicabile diferitelor resurse și să poată extrage parametrii de performanță, impactul monitorizării asupra resurselor cât mai mic cu putință, iar sistemul de monitorizare trebuie să fie ușor de scalat și de configurat, ideal chiar configurabil în mod dinamic.

Un alt concept intens analizat în cadrul tezei este APM – Application Performance Management, o metodologie superioară instrumentelor clasice de monitorizare, practică de urmărire a indicatorilor-cheie de performanță a aplicațiilor folosind algoritmi complecși AI, combinați cu date de telemetrie și două tehnici de monitorizare numite data logging (urmărirea activității unei aplicații individuale –prin jurnale de activitate) și distributed tracing (urmărire distributivă). Un exemplu de program care îndeplinește criteriile disciplinei APM este Dynatrace. Acesta este unul dintre cele mai performante la ora actuală, oferă observabilitate avansată all-in-one pentru operațiuni, infrastructură, aplicații, asistența AI permite echipelor să automatizeze operațiunile, și nu în ultimul rând, oferă răspunsuri precise la probleme complexe în timp real. Cele mai utile facilități ale soluțiilor APM sunt descoperirea în mod automat a topologiei rețelei sau serviciilor și eficientizarea investigației administratorului pentru a ajunge cât mai rapid la cauza problemei.

Rularea cu întârziere a aplicațiilor este problema cu care se confruntă marea majoritate a administratorilor de aplicații, dezvoltatorilor și managerilor IT. Studiile statistice au arătat că întârzierea cu doar o secundă a timpului de încărcare a unei aplicații produce efecte foarte negative din punct de vedere business, precum reducerea cu 7% a conversiilor vizitatorilor în clienți, scăderea cu până la 16% a satisfacției clienților și 73% dintre organizații au pierderi de productivitate datorita acestui fapt.

În cadrul tezei a fost realizat un studiu de caz ca și parte experimentală, mai exact un eveniment de timpi mari de răspuns înregistrați la funcționarea unei aplicații mobile generice My-Account, pe durata a 20 de minute. Analiza operării a fost efectuată cu Dynatrace, care, la momentul T0 de timp, a detectat că timpul de servire pentru unele acțiuni ale utilizatorilor în aplicație a crescut cu 180% față de valoarea de bază (de la 1.3s la 3.64s), iar pentru alte acțiuni chiar și cu 509% față de valoarea de bază (de la 1.48s la 8.99s). Dynatrace a aplicat tehnicile de distributed tracing pentru a urmări tranzacțiile inițiate de clienți (din aplicația MyAccount) pe parcursul întregii lor rute prin toate elementele componente ale arhitecturii aplicației, și a putut descoperi că acestea nu mai primeau răspuns de la baza de date în timpul așteptat. Dynatrace a putut, de asemenea, observa probleme de performanță concomitente pe baza de date, și a corelat problemele descoperite cu comportamentul bazei de date, îndreptând administratorii de aplicație pe această pistă de investigare către cauza principală a problemei (root cause).

S-a putut concluziona în urma studiului de caz că soluțiile APM (Dynatrace) își dovedesc eficiența în a îndrepta administratorul de aplicație în direcția corectă pentru găsirea sursei unei probleme, că creșterea numărului de solicitări poate fi cauzată atât de acțiuni operaționale cu un impact previzionat, cât și de situații de disfuncționalitate, și că acțiunile îndreptate în direcția mentenanței predictive sunt foarte importante.

După efectuarea acestui experiment, au fost propuse metrici noi și semnificația acestora, pentru a realiza modelarea matematică a procesului de monitorizare. Procesul de urmărire este dat de o relație ce culege informații în forma: Ruta (trace) aparține unor intervale de timp etichetate, compuse din Span și Tag, la diferite momente de timp și pe diferite căi, unde Span semnifică informații privind relațiile, legăturile de tip părinte – copil, colectate cu scopul de a identifica calea specifică pe care o parcurge o anumită tranzacție prin serviciile sau componentele accesate de aplicație, iar Tag – identifică un anumit moment al căii urmărite sau o componentă.

A fost, de asemenea, introdusă noțiunea de **nivel de serviciu** al unei aplicații, ca raport între timpul de răspuns și numărul de solicitări pe minut, el având semnificația de „eficiența rezolvării solicitărilor aplicației”.

O altă propunere discutată în cadrul tezei este noțiunea de degradarea temporală pentru un serviciu, care poate fi cuantizată aplicând legea lui Amdahl pe baze noi: din timpul total de rulare, orice înrăutățire are o durată de manifestare a efectului; putem atunci determina degradarea temporală pentru serviciul x, definită ca raportul de timp între timpul mediu de execuție orar al serviciului, și noul timp de execuție prelungit, datorat apariției unei disfuncționalități în fluxul operațional (Amdahl).

În continuare, în cadrul tezei sunt date alte propuneri de soluții la problema dificultății de operare manuală a activităților de întreținere și restabilire:

- folosirea unor agenți AI specializați pentru monitorizarea diferitelor arii de activitate și prin separarea sarcinilor pe componentele arhitecturii (stratificare OSI)
- scalare și control global prin intermediul unui Super-agent Supervisor
- segregarea sarcinilor către agenți regionali

- arhitectură ierarhizată, în care la nivelul de bază, agenții responsabili de monitorizarea fiecărei rețele sunt interogați de un agent regional sau funcțional, fiind avertizate numai depășirile unor anumite niveluri de serviciu
- pentru a crea o astfel de arhitectură, va fi necesar să se regândească fiecare agent local pentru a culege doar informații relative la aplicațiile implicate în procesele smart city

A fost dedicat un capitol studiului managementului asistat de inteligență artificială al rețelelor de comunicații pentru orașe inteligente. Pentru ca acesta să se realizeze cât mai eficient, este indicat să se faciliteze colaborarea între cele 4 categorii relevante ale modelului Cvadruplu Helix al inovării: mediul privat, mediul academic, autoritățile publice, ONG-urile, ideal cu plusul de valoare adus și de componenta de crowdsourcing, pentru suplimentarea informațiilor colectate în mod automat cu ajutorul aplicațiilor și senzorilor, cu date și concepte de la cetățeni. Au fost determinați pașii necesari pentru a putea pune la punct o soluție de management al orașelor asistat de inteligență artificială:

- Stabilirea ariilor funcționale pe care comunitatea le consideră prioritare și integrarea lor apoi în planuri de dezvoltare durabilă
- Stabilirea canalelor de culegere a informațiilor: **canalele automate**, bazate pe senzori IoT și agenți inteligenți de monitorizare în rețele, și **canalele social media**, cu algoritmi bazați pe AI pentru recunoașterea unor cuvinte cheie în vederea detectării timpurii a unor anomalii în managementul orașelor inteligente
- Stabilirea structurii și modului de organizare a datelor în Big Data
- Definirea agenților de monitorizare și a ariilor de operare a acestora
- Creșterea rezilienței sistemului de management asistat AI, prin utilizarea de autoînvățare (rețele neuronale recurente) – sistemul să devină capabil să învețe din propria experiență.

A fost realizat un studiu de caz pentru câteva dintre ariile funcționale definite anterior (Energie, Transporturi, Economie – predicția piețelor comerciale digitale, Economie – lanțuri de aprovizionare, Economie – utilizare resurse umane și materiale, ș.a), pentru care s-au propus diverși indicatori-cheie ce pot fi monitorizați. Aceștia au fost clasificați în felul următor:

- Indicatori cheie de performanță pentru date colectate automat
- Indicatori cheie de performanță pentru date colectate prin operatori
- Indicatori cheie de performanță rezultați în urma unui proces de calcul
- Indicatori cheie de performanță pentru date adiționale – crowdsourcing (suport alerte timpurii).

Utilizând acești indicatori, s-a propus o metodologie de eficientizare a măsurilor anti-criză:

- Primul pas este definirea problemei, realizată prin evidențierea unor cicluri funcționale, considerate normale, ale serviciilor urmărite, bazate pe indicatori-cheie KPI, și detecția situațiilor ce nu se încadrează în aceste scenarii (debutul crizei)
- Identificarea tipului de management al crizei ce trebuie adoptat

- Definierea măsurilor de criză în funcție de tipul de management ales
- Evaluarea rezultatelor aplicării metodelor specifice pentru ieșirea din criză, pe baza KPI
- Evaluarea condițiilor optime de restabilire, a celor mai bune practici, soluții pentru viitor

Aplicarea criteriului Mini-Max pentru asistență în situații de criză (minimizarea regretelor) este una dintre măsurile anti-criză propuse. Criteriul de control Min-Max pentru determinarea optimului procesului de management în situații de criză este **minimizarea pierderii maxime**. Pentru identificarea variantei optime, se vor determina valorile maxime ale regretelor, iar dintre acestea se va determina valoarea minimă de pe fiecare variantă.

Un alt studiu de caz realizat în cadrul capitolului dedicat implementării unei metodologii de management integrat și asistat al orașelor inteligente este pentru managementul situațiilor de incertitudine. S-a considerat că administrația unui oraș inteligent posedă un capital de 100.000 \$, pe care dorește să-l valorifice prin investiție. Utilizatorii platformei de management asistat, care pot fi oameni din administrația publică a orașului, solicită o analiză de tip studiu de oportunitate, în platforma de asistență bazată pe AI pentru managementul operațional al orașului inteligent, prin care să se poată decide care este varianta optimă de investiție.

S-au considerat patru posibile stadii ale economiei orașului:

- recesiune/criză economică/pandemie
- inflație
- stagnare
- creștere economică

Pe baza investigațiilor întreprinse de agenții AI, s-a creat o matrice de profituri, ca o rezultată centrală a algoritmilor aplicați și efectuarea de data mining. Restul pașilor de analiză vor indica varianta optimă, indicând și garantând soluția recomandată utilizatorului. Variantele de investiție introduse în sistem de către administratori sunt următoarele:

- V1 investiție în smart building
- V2 investiție managementul energiei și combustibililor
- V3 investiție în managementul mediului
- V4 investiție în sfera serviciilor de transport

S-au luat în considerare și au fost prezentate detaliat în cadrul tezei 5 criterii de determinare a unui optim, în teoria managementului situațiilor de incertitudine, și anume:

- Regula pesimistă
- Regula optimistă
- Regula de optimalitate (Hurwicz)
- Regula proporționalității (Bayes – Laplace)
- Regula minimizării regretelor

Efectuând calculele automat pe baza fiecărui criteriu, s-au putut constata următoarele:

- V1 și V3 nu sunt agreate de nici un criteriu, deci nu vor fi considerate
- V4 este preferată de doar un singur criteriu
- V2 este agreată de patru criterii

În acest exemplu regula majorității se poate aplica cu succes și platforma va oferi ca variantă optimă de investiție V2.

Numeroase studii și cercetări sunt efectuate la nivel mondial pentru a îmbunătăți soluțiile de mentenanță preventivă, pentru a ține pasul cu dezvoltarea rapidă a tehnologiilor și serviciilor. Nu numai factorii naturali pot produce defecțiuni ale rețelelor, intervenția umană poate fi, de asemenea, o cauză a defecțiunilor, instabilității sau funcționării defectuoase. Mentenanța preventivă a fost întotdeauna o prioritate pentru aplicațiile critice și în industrie. Penultimul capitol al tezei se concentrează pe propunerea unei platforme integrate de mentenanță preventivă dedicată rețelelor complexe de comunicații de date cu servicii smart city. Ca o continuare a unei cercetări anterioare, utilizarea agenților inteligenți în descoperirea timpurie și sesizarea abaterilor de la funcționarea normală și scăderea nivelului de serviciu este asociată în această lucrare cu o matrice de predicție a stării viitoare, menită să furnizeze operatorului alerte și sugestii pentru atenuarea efectelor negative ale defecțiunilor și operațiunilor defectuoase.

Pentru a îndeplini acest deziderat de implementare a platformei asistate AI de management integrat, a fost dezvoltat un algoritm specific pentru monitorizarea nivelurilor de serviciu, precum și un instrument integrat de asistare a managementului întreținerii preventive, bazat pe predicția stărilor viitoare ale rețelei.

A fost investigat un studiu de caz pentru aplicațiile din orașe inteligente, pentru a verifica extinderea și flexibilitatea abordării. Scopul acestei propuneri este de a îmbunătăți eficiența și timpul de răspuns al monitorizării preventive, ajutând la recuperarea rapidă a nivelurilor de serviciu necesare și creșterea rezilienței sistemelor complexe.

Din cele prezentate este evidentă necesitatea unor procese de întreținere automatizate, susținute de agenți inteligenți capabili să detecteze din timp defecțiunile și orice alte operațiuni defecte. În același timp, chiar și upgrade-ul manual, implementarea de noi versiuni de software, suport operațional, depanare etc., s-ar putea dovedi, de asemenea, o sursă de funcționare defectuoasă a unor componente funcționale din rețelele complexe. De fapt, după observațiile personale, pe una dintre rețelele de comunicații mobile din România, modernizarea intensivă și îmbunătățirile componentelor funcționale (hardware sau software) au cauzat mai mult de 55% dintre evenimente ce au dus la niveluri scăzute de serviciu. Acest lucru ar putea fi oarecum justificat, având în vedere complexitatea vastă a rețelei și implicațiile pe care un server, sau aplicație, le-ar putea avea în procesul general, implicații pe care personalul uman ar putea să nu le poată imagina de la început. Mai mult, există unele cauze care nu pot fi prognozate, precum dezastrele naturale (inundații, cutremure, incendii etc.), sau lucrări în teren, efectuate de terțe părți, care ar putea interveni în cablarea fizică, dar acestea par să fie mult mai rare decât efectele intervenției umane. Este necesar să se mențină un echilibru între numărul de intervenții de mentenanță aplicate și costurile efectelor adverse ale acestora.



Serviciul de mentenanță adecvat poate fi determinat prin două abordări diferite:

- Mentenanță preventivă – prin proceduri programate, proceduri condiționate sau întreținere centrată pe sporirea fiabilității.
- Mentenanță corectivă – se efectuează după ce defecțiunea s-a manifestat deja. De asemenea, ar putea duce la măsuri precum modificarea structurii rețelei, modernizarea componentelor software etc.

Modelarea matematică a mentenanței ar trebui să aibă în vedere o funcție obiectivă, căutând un optim între următoarele criterii: minimizarea timpului de refacere, minimizarea costurilor de întreținere, minimizarea riscului. Considerăm că un model care utilizează managementul riscului este important în mentenanța preventivă asistată de AI, fiind mai eficient în a sugera operatorilor umani măsurile adecvate care trebuie luate și riscurile prognozate ale acestora în ceea ce privește nivelurile operaționale de serviciu, pentru diferitele componente hardware și software. Cuantificarea riscurilor permite determinarea unui nivel optim de risc care oferă cea mai eficientă strategie de întreținere pentru sisteme și rețele complexe.

Metodologia din acest capitol propune automatizarea multiplelor procese integrate și anume i) introducerea agenților de monitorizare funcțională bazată pe evaluarea riscurilor și ii) monitorizarea satisfacției clienților. Pentru a determina un optim de întreținere preventivă, este necesar să se analizeze mai multe stări și scenarii posibile de funcționare, pe baza matricelor de tranziție a stărilor. O abordare pe mai multe niveluri este mai ușor de introdus în practică, mai ales atunci când sunt implicate rețele și servicii complexe. În acest fel, o aplicație și un model dedicat de monitorizare ar trebui dezvoltate pentru rețeaua de comunicații de date. Apoi, o aplicație de nivel superior pentru monitorizarea serviciilor complexe (inclusiv rețeaua monitorizată) urmează să fie setată la un nivel superior de implementare. Această aplicație de nivel superior va fi responsabilă și de monitorizarea satisfacției clienților.

A fost descrisă abordarea propusă pentru obținerea unui proces automatizat de întreținere preventivă, ajutând operatorii umani în activitățile de recuperare rapidă a rețelei de comunicații de date, sau prevenirea apariției unei defecțiuni, datorită mesajelor de avertizare timpurie.

Acest model se bazează pe analiza unei rețele complexe de comunicații de date și a unui set de agenți relevanți de monitorizare a orașului inteligent, din punctul de vedere al stărilor de funcționare, principalele cauze ale scăderii nivelului unele servicii, precum și analiza cauzelor celor mai frecvente erori de hardware și/sau aplicații. Se construiește apoi o matrice de tranziție, luând în considerare diferite rate de eșec și factorii de risc corespunzători, cu cauzele asociate. Riscul este definit ca produsul dintre probabilitatea ca o defecțiune să se producă și valoarea așteptată a costurilor pe care defecțiunea le produce în sistem. Riscul este definit la nivelul rețelei de date luate în considerare. Rețeaua de date evaluată este una complexă, cu servicii și aplicații diferite și este folosită ca o rețea de comunicații de date de bază într-un mediu smart-city, unde diferite servicii se bazează și pe rețele de comunicații mai mici, cum ar fi ZigBee, Bluetooth sau LoRa.

Pentru monitorizarea inteligentă a nucleului rețelei de date, următorii agenți inteligenți au fost utilizați pentru monitorizarea serviciilor smart city:

1. Serviciul de monitorizare a nivelurilor de servicii de trafic.
2. Monitorizarea nivelurilor serviciilor de distribuție a energiei.
3. Serviciul de monitorizare a mediului.
4. Serviciu de monitorizare crowdsourcing.
5. Serviciu monitorizare iluminat public.
6. Serviciul de monitorizare a eliminării deșeurilor.

Fiecare agent individual este setat să monitorizeze un anumit serviciu din punct de vedere al funcționalității acestuia, în mod iterativ și/sau prin eveniment declanșat. Fiecare înregistrare este indexată cu marcajele de timp pentru începutul și sfârșitul evenimentului, pentru a determina durata de indisponibilitate a serviciului. Evaluarea s-a desfășurat pe o perioadă de un an, timp în care toate cele șase servicii au fost monitorizate din punct de vedere al disponibilității, și anume raportul dintre numărul de solicitări reușite ale serviciului și cererile generale (reușite plus cereri nereușite la servicii).

Unele dintre cele mai frecvente defecțiuni observate au fost cauzate de intervenții umane, inclusiv întreținerea corectivă, întreținerea curativă, actualizarea software-ului, întreținerea preventivă, migrarea peer-to-peer, înlocuirea hardware-ului, actualizarea hardware-ului, standardizarea.

Având în vedere impactul acestor disfuncționalități, următoarele reprezintă principalele efecte, pe o scară de la cel mai grav la cel mai puțin nociv impact: eșec complet, pierdere de trafic, incoerență/pierdere de date, latență, pierdere de administrare, pierdere de supraveghere, mini defecțiune (eșec complet pentru un timp de max. 10 minute), răspuns lent.

Abordarea propusă se bazează pe analiza proceselor cu lanțuri Markov, pentru stările în care (super-)rețeaua (adică, rețeaua de rețele) ar putea evolua, pe baza evenimentelor urmărite pe o perioadă determinată. Stările cuantificate stabilite în care (super-)rețeaua ar putea evolua sunt următoarele:

- funcțional 100% (fără eșecuri),
- nivelul 1 degradat (degradări mici ale serviciului, acceptabil – de exemplu, întârziere în livrarea serviciilor),
- nivelul 2 degradat ( lipsesc unele servicii neesențiale),
- nivelul 3 degradat (lipsează unele servicii esențiale),
- degradat complet (fără serviciu).

Abordarea a fost dezvoltată în două direcții:

- i) Analiza de fiabilitate.
- ii) Analiza satisfacției clienților.

În practică, algoritmul de analiză a fiabilității funcționează pe baza următoarelor procese:

- Procesul 1: extragerea de informații privind disponibilitatea serviciilor pe perioada determinată, observarea eventualelor tipare și crearea unui tabel cu disponibilitățile agenților, care să cuprindă și probabilitățile medii de întrerupere.
- Procesul 2: detectarea tranziției de la starea curentă la o altă stare și crearea unui tabel de bază de date cu aceste tranziții.
- Procesul 3: calculul matricei tranzițiilor stărilor pe baza lanțurilor Markov.
- Procesul 4: Executarea subrutinei pentru definirea nivelurilor de risc în funcție de probabilitățile de tranziție între stări:

Case P (Current state => Possible state x) between {interval 1}, Risk level = "Very Low"  
 (Current state => Possible state x) between {interval 2}, Risk level = "Low"  
 (Current state => Possible state x) between {interval 3}, Risk level = "Medium"  
 (Current state => Possible state x) between {interval 4}, Risk level = "High"  
 (Current state => Possible state x) between {interval 5}, Risk level = "Very High"

Pentru studiul de caz de față privind analiza fiabilității, pentru a obține informații cu privire la probabilitățile de tranziție între aceste stări (matricea de tranziție), a fost evaluată o perioadă de analiză de un an, cu un interval de prelevare de un minut. Datele au fost colectate de la un mare operator de rețea și servicii. Pentru fiecare probă, a fost înregistrată starea curentă (conform celor șase posibile), împreună cu marcajele de timp. Algoritmul dezvoltat a extras informații cu privire la tipurile de tranziții (de la starea anterioară la cea nouă) și odată cu rezultatele s-a construit matricea de tranziție pentru perioada analizată.

$SN_x$  reprezintă fiecare stare posibilă, și s-au luat în considerare 4 astfel de stări posibile.  $SN_0$  reprezintă starea de disponibilitate completă, când toate serviciile funcționează în parametrii.  $SN_1$  poate reprezenta faptul că o rețea locală are un timp de răspuns mai lung,  $SN_2$  – domeniul gazdă pentru mai multe servicii din rețeaua principală este oprit,  $SN_3$  – hardware-ul fizic din centrul de date funcționează defectuos sau mai multe adrese IP sunt inaccesibile, sau regulile de rutare funcționează necorespunzător și  $SN_4$  – a avut loc deteriorarea la nivel fizic a stivei OSI sau există o creștere uriașă a tuturor solicitărilor de la clienți fără răspuns. Pe baza datelor culese din studiul de caz, s-au obținut următoarele rezultate pentru disponibilitatea serviciilor.

Datele numerice din matricea de tranziție au fost obținute prin monitorizarea pe o perioadă de 1 an a celor mai importante servicii dintr-o rețea de comunicații și înregistrarea tuturor tipurilor de incidente care au dus la degradarea acestora. A fost analizat gradul de degradare suferit de servicii (reprezentând valoarea scăzută a disponibilității), precum și numărul de incidente și durata acestora. Fiecare tranziție a serviciilor de la o stare de funcționare de disponibilitate 100% la orice altă stare de degradare a fost luată în considerare pe fiecare tip individual, precum și tranzițiile de la stările intermediare de degradare ridicată la cele în care serviciile sunt aproape recuperate. În toată această analiză este foarte importantă durata fiecărui incident și impactul acestuia.

Incidentele/eșecurile sunt cel mai adesea detectate prin aplicarea metodologiilor APM (Application Performance Management) cu instrumente de monitorizare bazate pe agenți și AI,

cum ar fi Dynatrace. Fără aceste instrumente, echipelor tehnice le este adesea dificil să găsească cauza principală a unei probleme de performanță a aplicației.

Cu toate acestea, uneori unele incidente sunt depistate reactiv prin informarea de către terți cu privire la existența unei probleme sau prin observarea creșterii numărului de reclamații. Echipele operaționale care se ocupă de menținerea cât mai mare a disponibilității aplicațiilor, 24/7, folosesc o mulțime de instrumente de monitorizare și alertă pentru informare și intervenție rapidă în cazul unui incident. Pentru fiecare incident se înregistrează momentul începerii, gravitatea acestuia, impactul asupra serviciilor și momentul recuperării. După ce se realizează recuperarea completă, de cele mai multe ori prin inginerie inversă (reverse engineering) sau analiza ultimelor intervenții efectuate asupra sistemului, se verifică și se notează și cauza producerii problemei.

Valorile din matrice au fost colectate pe baza interogării istorice a bazei de date și reprezintă probabilitățile de tranziție între o anumită stare (de degradare) într-o altă stare, reprezentând numărul de evenimente înregistrate în perioada de un an de analiză.

Pe baza stării curente și a matricei de tranziție a stărilor, devine acum posibilă estimarea stării viitoare a rețelei după  $n$  pași de eșantionare în viitor, folosind abordarea lanțurilor Markov:

$S_n = p^n S_0$ , unde  $S_n$  este probabilitatea stării prezise la al  $n$ -lea moment de eșantionare,  $p^n$  matricea de tranziție ridicată la puterea  $n$  și  $S_0$  probabilitatea stării curente. Scopul final este crearea unui mecanism de evaluare a riscurilor pentru îmbunătățirea procesului de întreținere preventivă.

Folosind indicele Apdex (APDX), pentru o perioadă de un an a fost evaluată și satisfacția clienților cu privire la diferitele servicii. Indicele APDX este definit prin raportul dintre suma cererilor satisfăcătoare și tolerate față de totalul cererilor efectuate în perioada analizată (un an, medie lunară).

- Satisfacut - client mulțumit, ce a experimentat o capacitate de răspuns ridicată la aplicație. (În funcție de aplicație, mai puțin de 1 s, de obicei zeci de milisecunde).

- Tolerant - un client ce a experimentat un răspuns lent, vizibil, din partea aplicației. (În funcție de aplicație, mai puțin de 5 s, de obicei în intervalul 1 – 3 s.)

- Nesatisfăcut (frustrat) – un client care s-a confruntat cu o performanță inacceptabilă a aplicației, ceea ce duce la abandonarea utilizării ei (de obicei, mai mult de 5 secunde).

Cu toate acestea, este important de reținut că diferite categorii de clienți pot avea așteptări diferite pentru serviciile sau performanța aplicațiilor. Clienții vor fi dispuși să aștepte dacă serviciul aduce o valoare adăugată foarte ridicată, în timp ce în alte zone, dacă clientul nu se bucură de proces, menținerea unui scor APDX ridicat s-ar putea dovedi crucială.

Pentru aceeași perioadă de analiză, indicele APDX a fost calculat pentru toate cele șase servicii menționate mai sus.

Scopul acestei abordări a fost proiectarea unei soluții automate de colectare a datelor privind starea de funcționare a mai multor rețele și servicii (bazate pe agenți AI), pentru a ajuta operatorii administratori de aplicații în luarea deciziilor, pe baza previziunii viitoare a riscurilor posibile. Este prezentată construirea unei matrice de evaluare a riscurilor bazată pe inteligență artificială, tabelul informativ global care conține evaluările riscului, cu sau fără măsuri de control. Informațiile

suplimentare pot include departamente responsabile și acțiuni recomandate. În această abordare, sunt considerate și riscuri reziduale cele care ar putea apărea încă, după ce a fost efectuat primul set de operațiuni de întreținere/corecție.

Pe baza rezultatelor obținute mai sus, a fost concepută o matrice de evaluare a riscurilor bazată pe inteligență artificială, prin următoarele procese:

- Pentru fiecare dintre stările actuale  $S_N$  ale serviciilor și rețelelor, se construiește un tabel cu posibile tranziții la stările următoare  $S_{N+1}$  și riscurile asociate acestora.
- Calcularea nivelurilor de risc rezidual (riscul trecerii în stare nefuncțională, parțial sau total, în urma intervențiilor de restaurare deja aplicate).
- Afișarea riscurilor reziduale.
- Afișarea stării curente de funcționare. Dacă starea curentă nu este 100% operațională, atunci afișare acțiuni, recomandări, alarme, departamente implicate. Afișare cea mai probabilă stare următoare, conform prognozei.
- Afișare scăderea treptată a nivelurilor de risc precalculate pentru tranziții în toate celelalte stări posibile.

Luând în considerare experiența anterioară în lucrări de mentenanță, algoritmul a fost îmbunătățit cu o caracteristică suplimentară de analiză a riscului, și anume matricea **Risc rezidual cu control** (RRC). Această caracteristică ar trebui să îmbunătățească viziunea personalului de administratori cu mai multe acțiuni pentru a evita căderea într-o nouă situație de defecțiune a rețelei și/sau a serviciilor, atunci când acțiunile inadecvate în timpul recuperării ar putea declanșa defecțiuni în cascadă sau afectare asupra altor servicii care erau anterior într-o stare bună. Pentru a obține rezultate mai puțin defectuoase în acțiunile de recuperare, înregistrările defecțiunilor cauzate de operațiuni de întreținere incorecte sau insuficient documentate ar putea fi folosite pentru a construi o matrice de probabilitate. Pe baza acestei baze de date, un model pentru stările de evoluție ale sistemului ar putea fi obținut printr-un proces similar cu cel descris anterior.

Pentru studiul de caz în analiză, matricea de evaluare a riscurilor bazată pe inteligență artificială a fost completată cu secțiunea de evaluare a riscurilor cu control. De asemenea, această matrice poate fi considerată un instrument util în întreținerea preventivă, servind drept tutorial pentru:

- construirea de noi reglementări pentru evaluarea riscurilor la care subsistemele sau serviciile ar putea fi afectate atunci când se efectuează intervenții periodice de întreținere;
- definirea de noi proceduri de operare,
- crearea standardizării etc.

Au fost luate în considerare următoarele rate de risc:

- Foarte scăzut – rata de risc  $R_r \leq 20\%$ .

- Scăzut – rata de risc  $21\% \leq R_r \leq 40\%$ .
- Mediu – rata de risc  $41\% \leq R_r \leq 60\%$
- Ridicat – rata de risc  $61\% \leq R_r \leq 80\%$ .
- Foarte mare – rata de risc  $81\% \leq R_r \leq 100\%$

Fiecare modificare a stării sistemului este detectată automat (prin modificarea bruscă a valorilor indicilor de disponibilitate și APDX) și după o astfel de modificare, o nouă linie cu starea curentă este înregistrată în matrice (ID starea curentă). Pentru această nouă stare se calculează posibilele stări viitoare, probabilitatea trecerii în ele, impactul pe care l-ar avea trecerea, iar pe baza acestor ultime 2 criterii se afișează riscul estimat, dacă nu se iau măsuri corective. Preluarea informațiilor din instrumentele de monitorizare adiacente, cum ar fi Dynatrace, poate ajuta, de asemenea, la detectarea posibilelor cauze principale care au dus la schimbarea stării.

Pe baza istoricului legat de impactul pe care l-a avut aplicarea măsurilor corective de bază în trecut, se calculează și se afișează posibilele stări viitoare cu control și riscul apariției acestora.

În ambele cazuri, instrumentul de evaluare a riscurilor oferă utilizatorului o imagine de ansamblu asupra evoluției sistemului/rețelei și îi informează care sunt departamentele responsabile cu măsurile corective. Platforma AI-DRAM arată o vedere generală a câte riscuri scăzute, medii sau foarte mari ar putea avea operatorul de întreținere, pentru a putea face față diferitelor situații și a alege cele mai potrivite măsuri, în funcție de momentul executării procedurilor de mentenanță. Acest instrument oferă imediat întregul tabel al posibilelor implicații pe care le-ar putea avea operațiunea de întreținere.

Pe măsură ce complexitatea componentelor de automatizare, a dispozitivelor conectate IoT și a rețelelor de comunicații crește de la zi cu zi, întreținerea sistemelor eterogene devine din ce în ce mai dificilă. Prin urmare, sprijinul pe care l-ar putea aduce un proces de întreținere automatizat este considerat benefic în creșterea productivității și rezilienței serviciilor de orașe inteligente bazate pe IoT. În acest capitol, a fost dezvoltată o soluție pentru evaluarea riscurilor și estimarea stărilor viitoare ale mediului complex al unui oraș inteligent. Atunci când sunt utilizați agenți de monitorizare inteligenți pentru hardware, componente software și satisfacția utilizatorilor, armonizarea evenimentelor înregistrate privind defecțiunile și operațiunile defectuoase ar trebui, de asemenea, să facă obiectul unei procesări automate. Pentru ca acest lucru să fie realizat într-o manieră eficientă, în cercetarea de față a fost dezvoltată o matrice de evaluare a riscurilor, bazată pe o analiză de un an a unui studiu de caz care cuprinde șase servicii smart city și rețele aferente de comunicații de date. Scopul acestei analize a fost de a crea evidențe ale disponibilității serviciilor și ale APDEX-ului.

După finalizarea acestei analize, a fost realizată o a doua evaluare cantitativă a cauzelor incidentelor și a modului în care aceste incidente au afectat funcționalitatea sistemului. Orice incident care a avut loc a determinat o scădere a indicatorilor de performanță. Cu toate acestea, de un interes deosebit a fost analiza cauzelor care au produs incidente. S-a subliniat că în acest studiu au fost luate în considerare intervențiile umane (operațiuni de întreținere) care au provocat incidente.

Următoarea fază a fost de a nota numărul de incidente și de a calcula probabilitățile acestora. Pe baza probabilităților obținute a fost elaborată o matrice de tranziție a stărilor. Folosind o abordare a lanțurilor Markov, ar putea fi apoi estimate stările viitoare posibile ale sistemului. Pentru fiecare dintre stările de defecțiune, a fost asociat un impact și o scalare a probabilităților de apariție respective. AI-DRAM a fost dezvoltat pe baza unui algoritm dedicat. În acest algoritm, în orice moment când starea curentă se schimbă, se notează o nouă înregistrare și se calculează probabilitățile noi, estimate ale sistemului de a evolua în orice stare posibilă, împreună cu impacturile asociate. Principalul KPI al acestui proces este indicatorul de disponibilitate; cu toate acestea, APDEX este o îmbunătățire pentru a corela calitatea serviciilor cu satisfacția clienților.

Comparația optimă între senzori hardware și agenți inteligenți poate atinge cel mai înalt grad de fiabilitate în procesul complex de întreținere preventivă. Întreținerea preventivă reprezintă o abordare proactivă pentru menținerea infrastructurii hardware și a aplicațiilor software în condiții optime, prin utilizarea analizei datelor istorice și a inteligenței artificiale (AI) pentru a anticipa și a preveni defecțiunile, a reduce timpul de nefuncționare și a optimiza performanța. În această cercetare, s-a încercat optimizarea interacțiunii dintre operațiunile de întreținere automate și efectuate de om. Creșterea complexității sistemelor și serviciilor, ce implică și multiplicarea operațiilor, și totodată a dificultăților managementului acestora, trebuie să fie compensată de introducerea de elemente de asistență automată în management, precum agenții de monitorizare și serviciile FMS de asistență în luarea deciziilor. Contribuțiile principale din acest capitol se pot rezuma la:

- Analiza și sinteza informațiilor de actualitate privind sistemele și soluțiile automate, sau automatizate parțial pentru asistență la serviciile de mentenanță pro-activă și post-eveniment.
- Dezvoltarea unor noi soluții pentru utilizarea eficientă a datelor preluate de la sistemele de monitorizare hardware și software a rețelelor de telecomunicații, în mod integrat cu datele de la agenții de monitorizare a performanțelor aplicațiilor și satisfacției clienților.
- Efectuarea unui studiu de caz cu date preluate pe perioada unui an de zile de la o serie de aplicații pentru monitorizarea serviciilor specifice comunicațiilor unui oraș inteligent, reprezentând disponibilitatea și satisfacția clienților.
- Analiza și înregistrarea tuturor evenimentelor și incidentelor pe perioada de monitorizare, cu ierarhizare după criteriile gravității și al impactului.
- Definierea unui set de stări ale serviciilor și sistemelor și crearea unei matrici de stare și a probabilităților de trecere dintr-o stare în oricare alta.
- Utilizarea proceselor Markov de ordin 1 pentru descrierea stărilor viitoare, pe baza matricii de tranziție.
- Definierea unei aplicații integrate pentru mentenanța preventivă și analiza riscurilor și a impactului, inclusiv a impactului rezidual.

Un oraș inteligent reprezintă o oportunitate pentru incluziunea pe scară largă a cetățenilor ce pot beneficia de avantajele unor soluții tehnologice și informaționale noi, cu scopul de a le simplifica existența, de a crea confort, mediu climatic sănătos și o viață mai puțin costisitoare în

multe aspecte. De aceea, am propus ca toate studiile, cercetările, experimentele efectuate, algoritmi implementați și soluțiile inovatoare descoperite să fie integrate într-o idee de afacere.

Propunerea dezvoltării unui plan de afaceri cu aplicabilitate în sfera digitalizării unui oraș promovează relaționarea dintre cetățeni și administrație, oferind informații și mijloace de încurajare a participării cetățenilor în mod mai activ la viața comunității.

Principalele atribute avute în vedere de propunerea de afacere sunt îndreptate către mobilitate inteligentă, infrastructură inteligentă, tehnologii inteligente, energie inteligentă, cetățeni mai informați, și prin urmare, inteligenți.

Soluția integrată „City Master Companion”, propusă și detaliată în ultimul capitol al tezei, se adresează comunităților locale, fiind axată pe digitalizarea și simplificarea modului de interacțiune dintre autoritățile publice, pe de-o parte, și infrastructura urbană, respectiv cetățenii, de cealaltă parte.

De asemenea, este susținută deschiderea unui acces cât mai larg al publicului la informații necesare în viața de zi cu zi, prin proiectarea și interconectarea de sisteme inteligente pentru dezvoltarea serviciilor în favoarea cetățenilor orașului.

### **Informații generale afacere**

Domeniul de activitate al afacerii: proiectare software, integrare sisteme, dezvoltare de soluții hardware/software pentru componente funcționale ale orașelor inteligente.

• Denumire investiție: dezvoltare de componente funcționale pentru managementul asistat AI al mediului urban

• Denumire societate: S.C. Intelligent City Development (ICD) SRL. Sediul: București, Splaiul Independenței 313, sector 6.

### **Portofoliul de soluții ale platformei City Master Companion (CMC22)**

- Soluții integrate de crowdsourcing: portal inteligent CMC22 pentru cetățeni
- Soluții pentru culegerea, gestionarea, analiza și prognozarea bazată pe datele din teren: soluții de call-center automatizat
- Soluții de info kiosk în stații de transport public și alte locuri frecventate de public
- Soluții de gestiune inteligentă a serviciilor de salubritate
- Soluții de gestiune a consumului de energie electrică și iluminat public
- Soluții de monitorizare a traficului
- Soluții de informare privind nivelul de poluare
- Asistență bazată pe inteligență artificială a procesului de administrare complexă a facilităților din orașul inteligent
- Asistență automatizată pentru situații de criză

### **Direcții de dezvoltare a afacerii**

- Etapa 1: consultanță pentru administrația publică: stabilirea necesităților cetățenilor administrației și altor utilizatori.



- Etapa 2: documentare, culegerea de date din teren. În aceasta etapă, firma va angaja personal cu calificare medie și de nivel superior (tineri absolvenți ai facultăților de profil) în scopul colectării unor informații din teren.
- Etapa 3: proiectarea soluției de integrare a componentelor smart city. În aceasta etapă, pe baza informațiilor culese în etapele anterioare, se va realiza designul componentelor funcționale integrate în soluția de management smart city, prin consultanță cu administrațiile locale.
- Etapa 4: consultanță pentru achiziția de servicii. Elaborarea caietului de sarcini, asistența la ofertare, licitare și achiziția de produse și servicii.
- Etapa 5: asistență la perioada de integrare a produselor hardware/software. Societatea comercială va asigura integrarea de produse software proprii, asistența pentru instalarea senzorilor din teren, dezvoltarea de pagini web și aplicații mobile.
- Etapa 6: instruire a personalului administrativ pentru operarea CMC22.
- Etapa 7: asistență tehnică pe perioada de garanție 2 ani.

Viziunea firmei nou înființate se axează exclusiv pe componenta tehnică de proiectare a arhitecturii și dezvoltarea componentelor software și a agenților AI pentru administrarea asistată a orașului inteligent (etapele 1, 3, 6). Dacă beneficiarul va dori achiziția de servicii de la S.C. Intelligent City Development SRL pentru etapele 2, 4, 5, 7, se vor încheia acte adiționale după parafarea unui contract de servicii cadru.

Ideea acestei afaceri s-a născut din analiza tendințelor actuale ale pieței software și de integrare a serviciilor pentru dezvoltarea orașelor inteligente, o piață emergentă la ora actuală și de mare interes pentru multe administrații. Într-o lume aflată în continuă transformare și, în același timp, într-o permanentă interconectare, capacitatea unui oraș de a se adapta noilor tendințe manifestate la nivel internațional joacă un rol esențial în dezvoltarea sa ulterioară. Astăzi aproximativ 360 de milioane de europeni (aproximativ 72% din populația totală a UE), trăiesc în orașe și suburbiile acestora, tendința fiind una crescătoare. Potrivit estimărilor Organizației Națiunilor Unite, procentul populației urbane este în creștere, mai exact, se preconizează că la nivelul anilor 2050 acesta va depăși 80% (aproximativ 6,3 miliarde de oameni din cei 9,3 miliarde).

Creșterea confortului vieții urbane, asigurarea de servicii digitalizate și a metodelor de plată electronice va permite în viitorul apropiat dezvoltarea componentelor de tip smart city, mărind interesul și suportul cetățenilor către un viitor mai sigur, mai comod și mai prietenos cu mediul. Tendința globală de transformare în smart city a creat o comunitate de piețe globale, regiuni, țări, metropole, alianțe, asociații, grupuri de inovare care colaborează în acest demers și au adoptat în acest sens strategii, programe, inițiative, planuri de acțiune și declarații pentru care se alocă din ce

în ce mai multe fonduri la nivel mondial. Astfel, se dezvoltă o piață nouă de afaceri, cu numeroase oportunități și locuri de muncă pentru multe categorii sociale, fiind totodată promovată excelența în domenii precum IT, electronică aplicată, servicii sociale și altele. Orice demers într-un proces de dezvoltare a unui oraș inteligent trebuie să înceapă cu un management inteligent, asistat; în acest sens a fost gândită și această afacere, cu scopul de a promova excelența în managementul integrat și asistat al serviciilor dintr-un oraș inteligent. Executivul din administrația locală, primăria prin aparatul său de specialitate vor fi primii care trebuie să asigure dezvoltarea comunității de servicii publice inteligente, explicând cetățenilor importanța unei strategii inteligente de dezvoltare bazată pe tehnologie. De altfel, strategia Europa 2020 promovează orașele inteligente pe întregul continent prin investiții în infrastructurile TIC, pentru dezvoltarea capitalului uman, și în soluții care să profite de avantajele legate de noile tehnologii și de digitalizare pentru realizarea următoarelor obiective: îmbunătățirea durabilității și calității vieții și muncii cetățenilor și întreprinderilor, optimizarea eficienței și accesibilității serviciilor, reducerea sărăciei, a ratei șomajului, a excluziunii sociale, a poluării și a degradării mediului.

În acest context, precum și în cel al derulării studiilor doctorale, s-a considerat că această afacere va aduce beneficii mari tuturor persoanelor care locuiesc în marile orașe și nu numai. Aplicațiile software pe care le va dezvolta firma au ca principal rol siguranța și confortul zilnic al oamenilor.

Ca urmare a acestor elemente, s-a dezvoltat și aplicat o idee care să răspundă unor nevoi sociale importante, având în vedere faptul că viața de zi cu zi necesită servicii sigure, eficiente și cu o largă recunoaștere de către comunitatea urbană. Totodată, siguranța și confortul constituie alte aspecte importante din viața noastră. Această afacere s-a născut cu intenția de a aborda și soluționa o nevoie socială într-un mod pozitiv și benefic.

Astfel, așa cum s-a precizat, caracterul inovator al acestei afaceri este asigurat de cercetările originale care au stat la baza dezvoltării primei aplicații software (Platformă online de monitorizare a senzorilor de gaz, bazată pe tehnologie LoRaWAN), precum și de ideea dezvoltării unor servicii integrate pentru monitorizarea bazată pe agenți de inteligență artificială specializați pe controlul automat al sistemelor de tip telematic pentru asigurarea serviciilor în orașele inteligente

Prin dezvoltarea aplicațiilor și serviciilor pe care firma nou înființată își propune să le furnizeze, se speră că în perioada următoare se va crea un mediu urban durabil, capabil să asigure:

- O mai bună și lină tranziție de la orașele tradiționale la orașele inteligente, prin introducerea factorului digital în mai multe sectoare de activitate ale orașului, factor mai ușor de administrat prin intermediul soluției propuse, City Master Companion;
- O creștere economică și o organizare teritorială a activităților echilibrate, cu o structură urbană policentrică; Suportul oferit prin serviciile asistate AI va asigura o creștere sigură și fluentă, precum și o dezvoltare bazată pe aplicații deschise extinderii;
- Crearea unor regiuni metropolitane puternice, care să poată oferi o mai bună accesibilitate la serviciile de interes public cetățenilor orașului inteligent;
- Asigurarea unui grad înalt de protecție a mediului și a calității în interiorul și în jurul orașelor.

Soluțiile care urmează să fie analizate în viitorul apropiat și să fie recomandate beneficiarilor, pentru creșterea eficienței managementului orașului inteligent includ următoarele direcții de abordare:

- Noi strategii pentru extinderea serviciilor sociale
- Transformarea digitală a afacerilor
- Optimizarea afacerilor și raportarea electronică
- Schimbul regional de informații și bune practici în domeniul orașelor inteligente.

Astfel, produsul dezvoltat propune o platformă de monitorizare și suport pentru decizii predictive în timp real, care se adresează atât controlului operațiunilor, cât și nevoilor de informare a cetățenilor orașului. Platforma va putea să ofere autorităților previziuni asupra evoluției diverselor servicii monitorizate din cadrul sectorului urban, de transport, de mediu, de energie electrică etc. , pe baza informațiilor captate de super-agenții AI, ținând cont de evenimentele imprevizibile care pot să apară. Apoi, va comunica aceste informații utilizatorilor platformei și va lua în considerare răspunsul acestora.

Prin aceasta inițiativă, se pot mai departe dezvolta și demara inclusiv acțiuni colaterale de cercetare în domeniile urbane în care există cerere de digitalizare a anumitor facilități sau servicii.

Contribuții în cadrul acestui capitol:

- Crearea cadrului de afaceri pentru dezvoltarea unui serviciu destinat administrării asistate a serviciilor de tip smart-city;
- Realizarea unui plan de afaceri pentru servicii de asistență automată a administrării orașelor inteligente.

Prezenta teză de doctorat se concentrează pe domeniul serviciilor din sfera orașelor inteligente și vizează identificarea unor soluții fezabile pentru digitalizarea acestora, bazată pe noile tehnologii ale informației și comunicațiilor, și de asemenea pe managementul lor integrat, care să contribuie la creșterea calității vieții cetățenilor. Cercetările efectuate au avut ca scop identificarea și dezvoltarea unor soluții inovatoare pe baza conceptelor teoretice descrise în literatura de specialitate, astfel încât să se poată obține noi metode, tehnici și algoritmi fezabili pentru îmbunătățirea timpului de răspuns al aplicațiilor online din sfera orașelor inteligente, oferirea unei disponibilități cât mai ridicate, sporirea satisfacției clienților și nu în ultimul rând, ajutorarea personalului administrativ de operare să identifice și să rezolve incidentele cât mai repede.

Având în vedere toate aceste aspecte, concluziile principale care se desprind din cercetările experimentale efectuate în cadrul acestei teze de doctorat sunt următoarele:

- România beneficiază de infrastructură modernă de comunicații, cu viteze de acces la internet bune spre foarte bune, dar nivelul de digitalizare și cunoaștere a dispozitivelor de date este încă în dezvoltare, în special în mediul rural.
- Analiza comparativă a diferitelor tehnologii de comunicații, cum ar fi rețelele celulare, LoRaWAN, LPWAN, ZigBee, WiMAX, Bluetooth, Wi-Fi și DSRC, a relevat avantajele și dezavantajele acestora în contextul aplicațiilor pentru orașele și transporturile inteligente.

- Pentru dezvoltarea caselor inteligente, au fost identificate cerințe importante, cum ar fi nivelul de complexitate al dezvoltării aplicațiilor, adaptabilitatea, constrângerile de timp, sincronismul, mobilitatea, cerințele tehnice, expandabilitatea, securitatea și managementul resurselor.
- Rețelele de senzori fără fir au demonstrat utilitatea lor în domenii precum automatizarea locuințelor, transportul, sănătatea, supravegherea teritorială și monitorizarea mediului.
- Pentru managementul complex al unui oraș inteligent, s-a propus utilizarea agenților AI specializați și a unui Super-agent Supervisor pentru monitorizarea și gestionarea diferitelor componente și activități.
- Întreținerea și reziliența rețelelor de comunicații devin din ce în ce mai importante în contextul creșterii cererii de servicii și comunicații de date. Utilizarea instrumentelor AI și a abordărilor bazate pe optimizare poate contribui la îmbunătățirea managementului și reducerea timpului de recuperare în cazul defecțiunilor.
- Studiile de caz au evidențiat că instrumentele de monitorizare sunt relativ eficiente în detectarea problemelor, dar nu oferă întotdeauna informații rapide și utile pentru identificarea cauzei principale a defecțiunilor.
- Activitățile de mentenanță și actualizări pot provoca căderi ale nivelului de serviciu în rețelele de comunicații, iar supervizarea orientată pe aplicații specifice trans-rețea, cu ajutorul agenților AI, este considerată necesară pentru dezvoltarea ulterioară a sistemelor de comunicații de date în orașele inteligente.
- Pentru un management eficient al rețelelor în cadrul orașelor inteligente, se recomandă dezvoltarea și implementarea soluțiilor propuse, care implică utilizarea agenților de monitorizare și inteligență artificială pentru a asigura o monitorizare adecvată și o gestionare optimă a rețelelor de comunicații.
- Combinarea ideală între senzorii hardware și agenții inteligenți poate atinge cea mai înaltă fiabilitate în procesul complex de întreținere preventivă.
- Întreținerea preventivă reprezintă o abordare proactivă pentru menținerea infrastructurii hardware și a aplicațiilor software în condiții optime. Aceasta implică utilizarea analizei datelor istorice și a inteligenței artificiale pentru a anticipa și preveni defecțiunile, reducând timpul de nefuncționare și optimizând performanța. În această cercetare, s-a încercat optimizarea interacțiunii dintre operațiunile de întreținere automate și cele efectuate de om.
- Creșterea complexității sistemelor și serviciilor, care implică multiplicarea operațiilor și dificultățile managementului, necesită introducerea de elemente de asistență automată în management, cum ar fi agenții de monitorizare și serviciile FMS de asistență în luarea deciziilor.
- Cu cât o firmă se află într-o situație economico-financiară mai bună, cu atât poate asuma riscuri mai mari în speranța obținerii unor rezultate superioare. Cu toate acestea, este necesară existența resurselor de compensare în caz de eșec.

- Utilizarea tehnicilor de optimizare a deciziilor în condiții de risc și incertitudine oferă managerilor posibilitatea de a-și asuma riscuri conștient, selectându-le în funcție de efectele și consecințele pe care aceste riscuri le-ar putea avea dacă s-ar materializa.

### **Contribuțiile personale**

Contribuțiile originale rezultate din aceste activități de studiu, analiză, cercetare, experimentare, testare și implementare soluții, desfășurate pe toată perioada stagiului doctoral sunt prezentate în cele ce urmează

1. Sintetizarea unui bagaj bogat de informații din o multitudine de lucrări de specialitate.
2. Propunerea unui model OSI modificat, având o mai bună aplicabilitate în contextul tehnologiilor suport foarte eterogene utilizate la transmisia datelor în cadrul rețelei de comunicații din orașul inteligent.
3. Ideea de a utiliza, într-o infrastructură a viitorului oraș inteligent, nu numai informații captate în mod automat de la senzori instalați în rețea, ci și servicii de tip crowdsourcing, adică aplicații disponibile pe terminale mobile în care informațiile și eventualul feedback să fie introduse de către utilizatorii înșiși.
4. S-au propus două soluții de coordonare și monitorizare eficientă a rețelelor în cadrul orașelor inteligente. Primul scenariu propune o structură bazată pe agenți de monitorizare la nivel de rețele de comunicații, cu focus pe monitorizarea aplicațiilor de tip smart city și prezentarea indicatorilor de performanță pentru fiecare aplicație. Colectarea datelor de nivel regional prin intermediul agenților regionali de monitorizare și prelucrarea acestora la nivel local, cu prezentarea rezultatelor la nivelul aceluiași agenți regionali. Al doilea scenariu propune o structură suprapusă dedicată controlului nivelului de serviciu trans-rețele al aplicațiilor smart city, cu interfațare cu sistemele FMS ale fiecărei rețele de comunicații.
5. S-a realizat studiul privind importanța monitorizării rețelelor de comunicații adaptate pentru aplicații specifice orașelor inteligente, s-au analizat diferite modalități de a aplica mecanisme de monitorizare și s-au comparat programe software destinate acestui scop.
6. S-a realizat un studiu de caz de unde s-a constatat că instrumentele de monitorizare sunt relativ eficiente în depistarea problemelor, însă utilizarea lor singulară este de cele mai multe ori insuficientă. O supervizare orientată pe aplicații specifice trans-rețea, bazată pe agenți cu inteligență artificială a fost considerată că necesară în dezvoltarea mai departe a sistemelor de comunicații de date în orașele inteligente.
7. Au fost propusă o soluție de coordonare a mai multor astfel de programe pentru a avea în final un management cât mai eficient, autonom și exhaustiv al mentenanței rețelelor în scenariul orașelor inteligente.

8. Analiza eficienței soluțiilor de tip APM.
9. Propunerea unui model matematic al proceselor de monitorizare, bazat pe legea lui Amdahl cu regândire pe baze noi.
10. Realizarea unui studiu de caz pentru o rețea de comunicații având peste 10 milioane de abonați, echipată cu Dynatrace, pentru exemplificarea eficienței găsirii cauzei principale a unei disfuncționalități în diferite scenarii, unde s-a evidențiat ponderea ridicată a disfuncționalităților create de activitățile operaționale, inclusiv de dezvoltare și mentenanța rețelei.
11. Propunerea a două scenarii de dezvoltare a unor servicii de tip FMS pentru rețele de comunicații dedicate orașelor inteligente.
12. Analiza sintetică, clasificarea și prezentarea organizată a principalelor componente funcționale ale orașelor inteligente, prin prisma managementului integrat al acestora.
13. Studii de caz ale unor exemple de aplicații utile unei integrări într-o soluție centralizată de management digital al orașelor inteligente.
14. Analiza și definirea principalilor indicatori cheie și metrici necesari pentru etapele de dezvoltare ale orașului inteligent.
15. Propunerea unui model și a unei arhitecturi pentru dezvoltarea unui agent AI destinat managementului unui oraș inteligent.
16. Propunerea unei metodologii pentru asistență în situații de criză în oraș, bazată pe algoritmi Min-Max cu trunchiere Alfa-Beta.
17. Studiu de oportunitate pentru managementul situațiilor de incertitudine.
18. Exemplu de calcul automat bazat pe criterii multiple, în diverse stadii economice, pentru avertizarea apariției condițiilor de criză.
19. Analiza și sinteza informațiilor de actualitate privind sistemele și soluțiile automate, sau automatizate parțial pentru asistență la serviciile de mentenanță pro-activă și post-eveniment.
20. Dezvoltarea unor noi soluții pentru utilizarea eficientă a datelor preluate de la sistemele de monitorizare hardware și software a rețelelor de telecomunicații, în mod integrat cu datele de la agenții de monitorizare a performanțelor aplicațiilor și satisfacției clienților.
21. Efectuarea unui studiu de caz cu date preluate pe perioada unui an de zile de la o serie de aplicații pentru monitorizarea serviciilor specifice comunicațiilor unui oraș inteligent, reprezentând disponibilitatea și satisfacția clienților.
22. Analiza și înregistrarea tuturor evenimentelor și incidentelor pe perioada de monitorizare, cu ierarhizare după criteriile gravității și al impactului.
23. Definirea unui set de stări ale serviciilor și sistemelor și crearea unei matrici de stare și a probabilităților de trecere dintr-o stare în oricare alta.

24. Utilizarea proceselor Markov de ordin 1 pentru descrierea stărilor viitoare, pe baza matricei de tranziție.
25. Definierea unei aplicații integrate pentru mentanța preventivă și analiza riscurilor și a impactului, inclusiv a impactului rezidual.
26. Crearea cadrului de afaceri pentru dezvoltarea unui serviciu destinat administrării asistate a serviciilor de tip smart-city.
27. Prezentarea oportunitatea economico – financiară a dezvoltării unei aplicații software pentru managementul integrat al serviciilor.
28. Realizarea unui plan de afaceri pentru servicii de asistență automată a administrării orașelor inteligente.

### **Direcții viitoare de cercetare**

Avându-se în vedere toate cercetările efectuate până în prezent pentru găsirea celor mai bune practici și soluții de îmbunătățire a procesului de transformare a orașelor din tradiționale în orașe având componenta smart, și totodată implementarea unor metodologii de management cât mai eficient și integrat al serviciilor componente dintr-un ecosistem de oraș inteligent, cercetările viitoare vor avea în vedere mai multe aspecte:

- Realizarea unui studiu prealabil mai aprofundat pentru a se determina carențele în dezvoltarea de aplicații web care pot duce la diverse comportamente ce introduc disfuncționalități în sistem, asta incluzând de asemenea și o abordare proactivă în a scrie cod care să poată fi mai ușor supervizat.

- Constituirea unei baze de date elaborate, dedicate managementului componentelor smart city astfel încât să fie posibilă îmbunătățirea soluțiilor dezvoltate în cadrul tezei de doctorat. Folosirea acestor date pentru analiza complexă și îmbunătățirea semnificativă a procedeeleor de mentenanță predictivă non-intruzivă.

- Se va încerca dezvoltarea altor soluții pentru monitorizarea serviciilor, soluții care ar putea să aibă în vedere identificarea posibilității de a înlocui, în mare măsură, activitatea umană asupra sistemelor, fie ea și preventivă.

- Cercetările viitoare vor avea în vedere și dezvoltarea unor mecanisme de clean-up exhaustiv asupra sistemelor, în momentul în care sunt înlocuite componente sau sunt introduse și schimbate elemente în arhitectura ecosistemului smart. Acest lucru este imperios necesar întrucât în practică există numeroase cazuri când anumite echipe nu sunt conștiente de modificările care sunt realizate asupra sistemului și nu propagă aceste modificări în sistemele pe care le au în administrare, existând astfel riscuri reziduale de a se produce incidente.