



UNIVERSITATEA „POLITEHNICA” din BUCUREȘTI
ȘCOALA DOCTORALĂ DE AUTOMATICĂ SI CALCULATOARE

REZUMAT TEZĂ DE DOCTORAT

**Sisteme inteligente de transport
pentru eficientizarea mobilității urbane**

Celestin Domițian DRĂGĂNESCU

Conducător de doctorat: Prof.dr.ing. Aurelian Mihai STĂNESCU

BUCUREȘTI

2023

Teza de doctorat aduce contribuții într-un domeniu în permanentă evoluție și perfecționare, cel al Sistemelor Inteligente de Transport (SIT), cu aplicație directă în zona traficului auto urban. În acest sens s-a avut în vedere că eficientizarea traficului depinde de interacțiunea a trei factori: factorul uman, care este decidentul, și care beneficiază de asistența unui sistem suport de decizie, factorul de mediu, care se exprimă prin intermediul unui sistem sensibil la context în care prioritatea este dată de informația senzorială și factorul pragmatic al conducerii efective a vehiculului și al optimizării traficului. Teza de doctorat are câte un capitol dedicat analizei fiecăruia dintre cei 3 factori, aducând în prim plan atât materialele utilizate în analiză (cadru de modelare/simulare, elemente de interfață cu utilizatorul), cât și metodele propuse pentru atingerea obiectivelor. Principalele rezultate originale sunt: construcția unui model cadru pentru un SIT adaptiv care este sensibil la context; soluția de înglobare a rețelelor vehiculare (RV) în structura de rețele informaționale ierarhizate prin intermediul Internetului Vehiculelor (IoV), care include o procedură de minimizare a întârzierii medii de răspuns la cererile de serviciu în RV; dezvoltarea unui cadru dedicat pentru managementul sistemelor generice de transport inteligent sensibile la context, particularizat printr-o procedură de comunicație conștientă de context pentru evitarea coliziunilor; proiectarea și implementarea unui sistem suport de decizie pentru rezolvarea problemelor de comunicare asociate managementului traficului în RV cu vehicule autonome (VA); elaborarea unui model orientat pe agent pentru predicția locației și a timpilor de așteptare pentru o rută urbană de autobuze; implementarea unei platforme care permite furnizarea de servicii de călătorie bazate pe smartphone, valorificând fuziunea a două seturi de date: traiectoriile GPS ale utilizatorului și datele de context geo-spațial obținute prin OpenStreetMap (OSM). Toate aceste rezultate au fost verificate și validate prin studii de caz.

Capitolul 1, dedicat analizei stadiului actual al cercetării, oferă o analiză selectivă a unor lucrări de dată recentă care au evidențiat probleme specifice și instrumente dedicate care au putut fi comparate cu soluțiile adoptate de mine în elaborarea tezei, cu precizarea clară a asemănărilor și deosebirilor dintre aceste soluții și bineînțeles a elementelor de noutate introduse în teză. Atunci când am optat pentru utilizarea unei soluții, am precizat în ce măsură abordarea mea aduce ceva nou, dacă nu neapărat printr-o îmbunătățire, cel puțin ca metodă de lucru. Lucrările analizate au fost grupate în două categorii: i) Abordări teoretice și metodologice, la care accentul a fost pus pe lucrări care prezintă noi direcții în modelare și simulare, și ii) Aplicații specifice bazate pe SIT, la care accentul a fost pus pe lucrări ce vizează managementul rețelelor vehiculare.

Capitolul 2, corespunzător titlului: Cadru metodologic de proiectare și dezvoltare pentru SIT, este dedicat creării unui mediu de proiectare/dezvoltare care permite modelarea proceselor de achiziție și prelucrare de date și proiectarea modulelor cu funcționalități distincte care asigură combinarea celor trei componente esențiale ale sistemelor de transport: infrastructura rutieră, vehiculele și utilizatorii (factorul uman). Obiectivul esențial al operării în acest cadru a fost asigurarea capacității SIT de a reacționa (prin adaptare) la schimbări neprevăzute care se produc în mediul înconjurător, prin ceea ce am numit adaptabilitatea la schimbări de context. Acest obiectiv – adaptarea sensibilă (sau conștientă) la context – a fost un lait-motiv în elaborarea tezei, fiecare soluție, metodă, procedură sau dispozitiv care reprezintă contribuțiile autorului având o relație directă cu acest concept. Ca atare, principala noutate adusă în acest capitol constă în construcția unui model cadru pentru un SIT adaptiv care este sensibil la context, adică am elaborat soluții constructive prin care modelul cadru de bază a fost ajustat astfel încât să corespundă la cazul particular al adaptării conștiente de context. Cadrul de adaptare a fost conceput pentru a planifica sarcinile sistemului de la început, astfel că dacă resursele existente permit, sistemul va alocă taskuri adaptive predefinite, cu mențiunea că taskurile nou sosite, ajustate pe parcurs, vor avea priorități mai mici față de cele funcționale definite inițial. Modelul cadru de bază a fost apoi populat cu modele comportamentale specifice, după cum urmează: i) Model de generare a rețelei de drumuri; ii) Model de generare a traficului; iii) Modelul de conducere (pilotare) cu păstrarea distanței de siguranță; iv) Model de coordonare a intersecțiilor; v) Model de vizualizare (cadre video); vi) Model de comunicare (Vehicul la Vehicul V2V și Vehicul la Orice V2X); vii) Model de frânare. Toate aceste modele au fost validate prin simulare, iar rezultatele au fost diseminate prin două lucrări, primele publicate în stagiul de elaborare a tezei: [Dra17] și [Tun17].

O a doua abordare originală din acest capitol a fost aceea de ajustare a cadrului de bază astfel încât să poată fi configurat ca un cadru de dezvoltare interactiv pentru sisteme inteligente de transport ciber-fizice (SITCF). Scopul acestei abordări a fost acela de a permite introducerea factorului uman ca element activ al procesului de decizie, capabil de a desfășura interacțiuni în timp real, în care sunt implicate atât toate componentele hardware și software care cooperează pentru îndeplinirea obiectivelor. Se poate spune că astfel de sisteme sunt Sisteme Inteligente de Transport Cooperative (SIT-C) care permit vehiculelor să interacționeze între ele, cu infrastructura rutieră și cu utilizatorii prin intermediul tehnologiei de conectivitate (digitală) fără fir. În mod concret au fost proiectate componente cu funcționalități specifice, dintre care menționez: i) componenta utilizator; ii) componenta de gestionare a fluxului de trafic; iii) componenta de management al conducerii și iv) componenta de interacțiune. Pentru validarea soluțiilor propuse pentru proiectarea SITCF ar fi fost

necesară elaborarea unui model funcțional, care din păcate nu a fost realizat. Totuși, pe baza principiilor de proiectare a componentelor ciber-fizice, a fost elaborată și validată o metodă de utilizare a interoperabilității pentru a evita conflictele între informațiile obținute de pe diferite hărți digitale. Mai precis, metoda permite corectarea erorilor datorate eterogenității semantice, adică diferențelor în sensul informațiilor conținute în model. Rezultatele privind validarea metodei au fost publicate în [Dra19].

Capitolul 3 se referă la modalitatea prin care se poate îmbunătăți managementul unei populații mixte de vehicule echipate la diferite niveluri de automatizare, care se constituie într-o rețea eterogenă cu noduri în mișcare, numită rețea vehiculară (RV). Rețelele vehiculare reprezintă viitorul în transportul rutier, constituind singura modalitate de preluare a avansului tehnologic impus de Tehnologia Informației și a Comunicațiilor și de Inteligența Artificială. Contribuțiile mele în acest domeniu au fost mai degrabă modeste, în primul rând datorită curențelor de pregătire în ce privește comunicația. Am decis ca să mă concentrez pe două direcții. Prima se referă la integrarea de soluții practice bazate pe standarde existente, care să poată fi asociate cu conceptul de conștientizare a contextului, foarte rar descris în literatura de specialitate, dar, așa cum am mai spus, o linie de forță a cercetării mele pentru teză. Cea de a doua se referă la semnalarea unor dezvoltări pentru viitor, care să poată exploata evoluția noilor tehnologii emergente.

Soluțiile originale din prima categorie se leagă nemijlocit de acea subdiviziune distinctă a IoT numită Internet al Vehiculelor (IoV), și au fost validate prin simulare pe modelul cadru de adaptare dezvoltat de mine și descris în capitolul 2. În acest sens am prezentat atât soluțiile potențiale (deja validate sau în curs de validare) de înglobare a RV în structura de rețele informaționale ierarhizate, dar și o viziune proprie asupra îmbunătățirii performanțelor de conducere și exploatare a SIT prin prisma integrării în IoV. Principala contribuție a fost o metodă de optimizare a diseminării mesajelor, pe care am numit-o strategie de difuzare prin caching. Strategiile de caching s-au mai utilizat în RV, astfel că partea originală a cercetării se referă la o îmbunătățire a unui soluții de optimizare propusă în [Hua21], prin care am introdus conceptul de conținut conștient de întârziere (delay-aware content) și am elaborat un algoritm care eficientizează simultan atât difuzarea mesajelor V2V cât și a mesajelor V2I. Îmbunătățirea propusă în teză are în vedere descompunerea problemei de optimizare în două probleme suboptimale, și anume optimizarea asociațiilor de vehicule și optimizarea deciziilor de stocare în cache a conținutului [Dra21b]. Pe baza acestor considerente se propune un algoritm de optimizare a procedurii de stocare în cache denumit numit în continuare Algoritm de Optimizare Caching (AOC), care rezolvă două obiective: optimizarea

asocierii sensibilă la întârziere a vehiculelor și optimizarea deciziilor de stocare în cache în funcție de conținut.

A doua contribuție semnificativă a acestei secțiuni urmărește îmbunătățirea eficienței în controlul rețelelor vehiculare, prin asocierea noului concept de Inteligență Edge cu modalitatea de descriere a rețelelor vehiculare prin modelele de rețele dinamice distribuite. Apoi, aceste elemente sunt utilizate pentru a dezvolta o procedură de optimizare a prestării serviciilor în rețele vehiculare, al cărui rezultat este minimizarea întârzierii răspunsului la cererea de serviciu formulată de un vehicul component al RV prin optimizarea în comun a stocării în cache a serviciului, a programării cererilor și a alocării resurselor. Menționez că analiza rețelelor vehiculare ca rețele dinamice distribuite a fost o sarcină asumată prin participarea într-un colectiv de cercetare din Departamentul de Automatică și Informatică Industrială, iar obiectivul meu a fost demonstrarea modului în care RV poate fi formalizată ca rețea dinamică distribuită (RDD), urmând ca apoi valabilitatea soluției să se exemplifice prin aplicații concrete derulate cu ajutorul tehnicilor de Inteligență Edge. Rezultatele obținute s-au concretizat prin elaborarea unui algoritm bazat pe consens pentru stabilirea deciziei în RDD, pe care îl pot considera principala mea contribuție teoretică (dacă nu singura) la această teză. Noutatea constă în faptul că am folosit ideea de consens distribuit cu o schimbare esențială, în sensul că nodurile de rețea au fost considerate agenți ai unui sistem multi-agent care funcționează în intervalele în care trebuie să se ia decizia privind introducerea sau eliminarea unui nod, și apoi să se configureze topologia rețelei pentru noua instanță. Astfel de constrângeri pot fi codificate în dinamica consensului prin saturarea valorilor pe care un agent le transmite nodurilor învecinate.

Mi-am dorit să integrez rezultatele cercetării mele într-un program de optimizare multi-obiectiv care să vizeze simultan trei ținte: memoria cache a serviciului (prin algoritmul AOC), programarea cererilor de serviciu și strategiile de alocare a resurselor. La ultimele două probleme, deciziile urmau să fie luate prin consens conform algoritmului descris în secțiunea anterioară, numit în continuare Algoritm de Optimizare a Managementului (AOM). Rezultatele acestei abordări au fost sintetizate într-o Procedură de minimizare a întârzierii medii de răspuns la cererile de serviciu într-o rețea vehiculară, dar soluția nu a fost publicată, deoarece nu este completă, pentru că: i) nu include și aspectele de mobilitate a vehiculelor; ii) algoritmi de optimizare au fost tratați separat, nu există (nu a fost testat) un algoritm global care să rezolve o problemă de optimizare multiobiectiv. Totuși, procedura de minimizare a întârzierii a fost pusă în practică în aplicația care constituie subiectul studiului de caz 6.1.

În ce privește contribuțiile din a doua categorie, cele care vizează compatibilitatea cu evoluția pe termen scurt a unor tehnologii emergente, am plecat de la situația actuală în care evoluția IoV, atât din punct de vedere al dezvoltării dimensionale cât și prin modul în care ține pasul cu progresul tehnologic va urma în totalitate evoluția IoT, în primul rând a raportării acestuia la paradigmele Edge Computing (EC) și Fog Computing (FC). Ca răspuns la volumul uriaș de date transferate prin rețele, EC și FC au apărut ca niveluri informaționale distincte într-o structură ierarhizată de rețele la care nivelul inferior este IoT și cel superior Cloud Computing (CC), care permit distribuirea resurselor de calcul și de stocare către marginea rețelei, pentru a migra o parte din puterea de procesare de la serverele cloud centralizate la resursele LAN distribuite. Ca atare, am studiat modul în care IoV se va extinde pe suportul oferit de tehnologia Big Data, pornind de la fundamentul teoretic și metodologic al analizei exploratorii a datelor, definită prin acronimul BDA (Big Data Analytics). Sunt multe argumente care susțin o astfel de evoluție, dar din acestea două mi se par esențiale. În primul rând faptul că volumul de date transferat în rețelele vehiculare va crește în continuare, în măsura în care numărul vehiculelor complet autonome va ajunge la valori de neimaginat astăzi. În al doilea rând, faptul că tehnologia BDA evoluează în ritmul în care se dezvoltă tehnicile de Inteligență artificială, care își întărește astfel statutul de tehnologie dominantă a viitorului. Pe baza acestui studiu am luat în considerație dezvoltarea în viitor a unei variante IoV numită IoV cognitiv și am propus o arhitectură middleware pervazivă pentru integrarea SIT independente care poate rezolva toate problemele de interacțiune la nivelul EC în cadrul a trei subrețele din RV, și anume rețeaua intra-vehicul, rețeaua inter-vehicule și rețeaua dincolo de vehicule, după care am propus dezvoltarea unui cadru dedicat pentru managementul sistemelor generice de Transport Inteligent sensibile la context (Context-Aware Intelligent Transport - CAIT), pe care l-am făcut cunoscut prin publicarea lucrării [Dra19].

Capitolul 4, intitulat Managementul incertitudinilor și al riscului în SIT, este orientat pentru găsirea de soluții pentru situații care depășesc stadiul actual al SIT, fiind destinate să facă față condițiilor în care se va dezvolta în viitor circulația rutieră, în principal cu vehicule autonome. Și acest capitol are două secțiuni, una dedicată riscului, cealaltă incertitudinilor. Prima secțiune se bazează pe diferite modele de management al riscului, care pot fi integrate și descrise într-un cadru unificator mai larg de analiză globală a riscului, pentru care obiectivul principal este proiectarea unui sistem suport de decizie capabil să facă față la situații complexe care au o dinamică rapid schimbătoare și greu previzibilă. Complexitatea în luarea deciziilor pentru un sistem mare ca IoV necesită noi instrumente și metodologii pentru modelare și luare a deciziilor, motiv pentru care am decis să utilizez modelarea orientată pe agent (MOA) ca soluție recomandată pentru sistemele dinamice

distribuite, care permite totodată valorificarea unor tehnici ale IA. Rezultatele experimentale au demonstrat aplicabilitatea abordării MOA pentru examinarea și coordonarea traficului rutier în rețele vehiculare cu suport de comunicație IoV. Principalul avantaj este dat de faptul că MOA oferă mijloacele de a modela fiecare agent și relațiile acestuia în cadrul sistemului și în plus, modelul este scalabil, adică poate fi extins la situații cu trafic urban intens. Flexibilitatea abordării MOA permite o reconfigurare fără întreruperi a rețelei și indică adaptabilitatea pentru schimbările impuse de evoluția RV.

Modelul pe care l-am propus are o serie de limitări, pentru că din dorința de a testa un model simplu, am neglijat o serie de factori care în mod normal afectează comportamentul sistemului (neutilizarea unui protocol de comunicație performant, adaptat vitezelor ridicate de transmisie, limitarea numărului de surse de interferență, lipsa unui mecanism pentru gestionarea informațiilor vechi (istorice). Totuși algoritmul pe care l-am propus pentru Controlul Intersecției pe baza unui Model Orientat pe Agenți (CI_MOA) și-a dovedit eficiența în cazul aplicației implementate pentru Studiul de caz 6.2 (validată însă doar prin simulare), numită Comunicație conștientă de context pentru evitarea coliziunilor. Prin această aplicație se administrează modul de emisie și recepție a mesajelor care anunță o posibilă coliziune, astfel încât vehiculul să aibă suficient timp să se oprească complet înainte de a ajunge la punctul posibilei coliziuni. Scopul definirii cerinței aplicației este de a controla în mod corespunzător parametrii comunicației, astfel încât șoferii/vehiculele să fie alertați la timp dacă este detectat un risc de coliziune. Evident, aplicația trebuie, în primul rând, să recunoască prezența altor vehicule și, prin urmare, cerința de aplicare trebuie să fie definită doar pe baza informațiilor proprii ale autovehiculului și a informațiilor de mediu. Dacă presupunem că aplicația de evitare a coliziunilor funcționează într-o rețea vehiculară cu comunicație V2V, va trebui mai întâi să modelăm probabilitatea de coliziune PC a unui vehicul care se apropie de o intersecție. Pentru că PC să poată fi exploatată direct de sistemul de comunicații, am propus ca aceasta să se convertească într-un indicator de performanță propriu sistemului de comunicație, pe care l-am ales să fie raportul minim de livrare a pachetelor (Packet Delivery Ratio - PDR).

A doua secțiune a acestui capitol se numește Elaborarea deciziilor în condiții de incertitudine și este dedicată unor soluții menite să combată efectele schimbărilor neașteptate și necontrolate care pot să apară în mediul înconjurător. Obiectivul principal a fost proiectarea și implementarea unui sistem suport de decizie care asigură asistență pentru rezolvarea problemelor de comunicare asociate managementului traficului rutier pentru RV la care se consideră că vehiculele angrenate

sunt vehicule autonome (VA) cu șofer, care sunt interconectate prin IoV într-o rețea de agenți autonomi care interacționează reciproc și totodată sunt capabile să recepțeze informație dintr-un mediu înconjurător complex. Soluția propusă se bazează pe un principiu relativ nou în ce privește tratarea incertitudinilor, cel al antifragilității, preluat din materialele puse la dispoziție în cadrul colectivului de cercetare din Departamentul de Automatică și Informatică Industrială deja menționat din care am făcut parte în perioada elaborării tezei. Contribuția mea a constat în proiectarea antifragilă a unui sistem de control adaptiv conștient de context capabil să-și îmbunătățească performanța în condiții adverse și stresante, adică având proprietatea de auto-îmbunătățire și de aceea denumit Antifragile Self-Improving System (ASIS). Metodologia de proiectare propusă arată cum un ASIS poate fi integrat în structura unui SIT și în ce mod contribuie la creșterea performanței. Pentru validarea soluției am folosit o procedură originală de testare bazată pe injecția unor date corupte și false pentru a introduce defecte în sistemul de direcție în timpul real de funcționare a vehiculului. Testul a fost realizat într-un mediu complet virtual care permite simularea comportamentului sistemului de siguranță activă în trafic pe baza unui model adaptiv virtual (în mediul MATLAB) cu structură de control predictiv (MPC) - Model Predictive Control). Ca atare, am dezvoltat un model MPC adaptiv pentru a simula mișcarea longitudinală și laterală a vehiculului.

Ultima contribuție prezentată în acest capitol este o soluție pentru Combaterea incertitudinilor în planificarea serviciilor de transport public, care a fost utilizată în aplicația prezentată în Studiul de caz 6.1, denumită Elaborarea unui model orientat pe agent pentru predicția locației și a timpilor de așteptare pentru o rută de autobuz (MOA_BUS). Reiau pe scurt ideile care au stat la baza implementării MOA-BUS: i) Pe baza unor măsurări efectuate la parcursul unei rute în diferite condiții de trafic, de oră, sau de vreme, se generează un model ipotetic, de dorit cât mai aproape de realitate, pe care îl numim BUSi; ii) Acest model stochează parte din datele achiziționate în scenariile anterioare (numite date istorice), dar este capabil să le completeze cu date sintetice achiziționate în timpul deplasării autobuzului pe ruta curentă; iii) Pe baza unei proceduri de calibrare, toate datele sintetice permit dezvoltarea unui model actualizat în timp real, numit BUSc. Acest model calibrat este un tipar static (adică are un număr fix de stări care sunt neschimbate în timp), dar care permit configurarea prin asimilare de noi date atât în mod determinist, cât și aleator (stochastic).

Se poate afirma că am realizat un cadru integrat pentru a reduce incertitudinea în rularea unui model MOA atunci când se fac predicții în timp real, combinând calibrarea parametrilor și

asimilarea datelor. Experimentele numerice au arătat că acest cadru oferă predicții mai precise decât un scenariu de referință (fără calibrarea parametrilor) și decât un scenariu cu calibrare a parametrilor, dar fără asimilarea datelor. În forma sa actuală, cadrul poate oferi sisteme de informare în timp real privind locația unui autobuz și orele de sosire în stațiile pentru pasageri. O predicție bazată pe model a locației autobuzului și a orei de sosire permite operatorilor de autobuze capacitatea de a evalua și de a își actualiza infrastructurile de transport în timp real. Deși modelul de simulare este relativ simplu el este capabil să recreeze unele dintre caracteristicile importante ale sistemului de autobuze, cum ar fi planificarea, aglomerarea autobuzelor și răspunsuri la cererea dinamică a pasagerilor.

Capitolul 5 a fost conceput ca o deschidere spre viitorul utilizării SIT în conjuncție cu diverse tehnologii emergente. De data aceasta accentul este pus pe valorificarea unor rezultate (model, algoritm, metodă) descrise în capitolele precedente, dar nu ca soluții definitive, ci mai degrabă ca sugestii de utilizare în cel mai judicios mod. Aceste contribuții ”de perspectivă” nu au avut șansa publicării – și pentru că au fost formulate în ultima etapă de redactare a tezei, și pentru că nu aveau suficientă consistență, dar cele mai multe au stat la baza unor implementări evidențiate în cele două studii de caz.

În cele ce urmează le voi trece în revistă pe cele de care sunt sigur că își pot găsi utilizare în aplicații concrete, într-un viitor nu prea îndepărtat. Subliniez însă ca le-am selectat pe cele care au legătură directă cu cele două caracteristici esențiale ale SIT pe care le-am avut în vedere în cuprinsul tezei, și anume evidențierea capacității de conștientizare a contextului și respectiv modalitatea de integrare a factorului uman în conducerea automatizată a traficului urban mixt, cu accent pe valorificarea experienței pilotului în stabilirea raportului optim între controlul uman și cel automat.

1. Integrarea factorului uman în conducerea automatizată a traficului urban mixt

Atât prin instrumente de reglementare cât și prin rezultate ale cercetării de dată recentă s-au formulat recomandări și principii de conduită pentru a asigura o activitate colaborativă în ce privește traficul rutier mixt, cunoscută sub acronimul CAD (Cooperative and Automated Driving). Contribuția mea la acest domeniu este tot o suită de recomandări în aplicarea unui concept pe care l-am numit Intervenția Factorului Uman (IFU), pentru a include în mod explicit intențiile și motivele umane în abordarea problemelor de control care au fost deviate parțial sau chiar în totalitate de la un șofer uman către un sistem tehnologic. Aceste recomandări au fost puse în practică printr-un exemplu de integrare IFU într-o aplicație de control. Cazul de utilizare ia în considerare interacțiunea dintre un vehicul cu nivel minim 4 de automatizare și un biciclist care se

deplasează în aceeași direcție pe un drum urban cu circulație bidirecțională. Exemplul a demonstrat că IFU poate fi o primă bază matematică a modului în care pot fi operaționalizate componentele esențiale ale sistemului de control pentru analiză și proiectare în cazuri reale. Consider că cea mai importantă contribuție a IFU constă în extinderea tipului clasic de control pentru un mediu mai larg de trafic, inclusiv luarea în considerare a entităților esențiale: conducătorul auto, vehiculul, infrastructura și mediul de trafic, a comportamentului uman și a standardelor morale raportate la siguranța traficului. În al doilea rând, IFU oferă expertiză pentru rezolvarea situațiilor critice datorate unor evenimente imprevizibile, pentru că fiecare situație rezolvată este înregistrată și sporește bagajul de cunoștințe acumulate. În fine, IFU are capacitatea de auto-perfecționare, asigurată nu numai prin creșterea calității raționamentelor prin iterații succesive, ci și prin aceea că valorile umane sunt luate în considerare în mod explicit în interiorul sistemului inteligent de control.

2. Valorificarea suportului logistic al IoT în optimizarea traficului urban

Pentru a pune în valoare toate facilitățile oferite de IoT în managementul inteligent al traficului am propus o structură de sistemul de dispecerizare care include: managementul integrat al informațiilor din trafic, sistemul de control al semnalelor de avertizare și semaforizare, sistemul de comunicare cu poliția rutieră și sistemul de serviciu public de transport. Managementul integrat al informațiilor de trafic este nivelul de utilizare în timp real a datelor colectate din trafic și se materializează prin oferirea de sugestii rezonabile de călătorie pentru călători în combinație cu modelele teoretice de planificare a traficului. Sistemul de control al semnalelor preia date de la infrastructura rutieră și informații despre congestionarea traficului și oferă indicații și avertizări care au ca scop să aducă debitul de trafic la un nivel rezonabil. Informațiile comunicate de comandamentul poliției se referă la situațiile de urgență în trafic, la evenimente neprevăzute și la schimbări intempestive pe anumite tronsoane de drum și ia măsurile corespunzătoare pentru a reduce impactul cauzat de aceste evenimente în trafic. Sistemul de servicii de transport public permite călătorilor să stabilească traseul de călătorie, să aleagă modul cel mai convenabil de transport și astfel să-și optimizeze activitățile de călătorie.

3. Proiectarea unui sistem ciber-fizic-social pentru transport inteligent

Am pornit de la observația că majoritatea cercetărilor legate de utilizarea CPS în diferite domenii de industriale se concentrează în continuare pe complexitatea elementelor de inginerie și ignoră complexitatea socială a CPS. Pentru a compensa această deficiență, am propus o structură complexă numită sistem ciber-fizic-social (CPSS) care este constituită dintr-un sistem fizic

(material) și un sistem social (care include factorul uman), și un sistem cibernetic care le conectează pe ambele. Validarea acestei structuri de concepție proprie am facut-o printr-un studiu de caz (demonstrație de concept) privind utilizarea CPSS într-o aplicație bazată pe IoV. Aplicația pune în valoare tehnologiile de comunicare V2V, V2I și V2X pentru îmbunătățirea siguranței și eficienței traficului în rețelele vehiculare, prin accesarea serviciilor cloud de transport cu extensii CPSS, astfel încât sistemul de conducere inteligentă să poată include o gamă largă de noi aplicații care să exprime nevoile de transport ale oamenilor și alte informații sociale simultan cu îmbunătățirea nivelului de autonomie al vehiculului. Factorul uman este reprezentat prin analiza comportamentală (în special stilul personal de călătorie) și prin modul de obținere a informațiilor de la dispozitivele mobile de navigare.

4. Utilizarea Digital Twin pentru stabilirea traseelor în rețele vehiculare definite de software

În câteva lucrări de dată recentă (2021) am întâlnit conceptul de rețea vehiculară (RV) definită de software (Software-Defined Vehicular Network -SDVN) în legătură cu relația RV cu mediul (contextul), și m-am gândit că pot propune SDVN pentru construcția și aplicarea de noi scheme de rețea sensibile la context care oferă avantaje în operații de colectare, predicție, verificare și validare a datelor, dar în același timp pot să validez aceste operații premergător execuției reale în mediul fizic, pe baza unei simulări în mediul Digital Twin (DT). În acest fel am încercat să utilizez cunoștințele acumulate prin participarea în cadrul proiectului complex CIDSACTEH, și să propun o soluție de tip SDVN, pe un exemplu simplu de alegere inteligentă a traseelor vehiculelor. Concret, aplicația SDVN poate fi derulată în mediu simulat DT, înainte de a fi lansată în prelucrare în timp real, iar procedura care permite combinarea celor două tehnologii a fost denumită DT-SDVN. Exemplul (de asemenea o demonstrație de concept) a constat în compararea unei variante convenționale de algoritm de rutare bazat pe un graf temporal cu noua variantă care utilizează DT, pentru a arăta îmbunătățirea calității RV ca urmare a interacțiunii în mod recursiv între componenta fizică și cea virtuală a DT-SDVN.

5. Servicii de transport inteligent bazate pe smartphones.

Punctul de plecare a fost implementarea unei platforme SBTS, care permite furnizarea de Servicii de călătorie bazate pe smartphone (Smartphone-based Travel Surveys - SBTS). Tehnologia (sau mai corect tehnologiile) legate de smartphones reprezintă cea mai dinamică arie de dezvoltare TIC. E greu de precizat dacă și când se va opri evoluția în domeniul tehnologiei smartphone, dar se

poate afirma cu certitudine că aplicațiile avute în vedere la nivelul anului 2020, concentrate în exploatarea unei platforme SBTS, sunt deja depășite în complexitate în acest moment. Accesul la baze de date de dimensiuni uriașe aduce noi provocări în ce privește accelerarea calculelor, optimizarea spațiului de stocare, extensia comunicațiilor. Am explicat că am reușit, prin integrarea cunoștințelor căpătate în cercetarea ”colaborativă” a unei grupe de doctoranzi, o aplicație originală particulară care asigură fuziunea dintre GPS și GIS cu un tensor multidimensional, pe care apoi am pus-o în practică în Studiul de caz 6.2. Procedura de fuziune se bazează pe două seturi de date: traiectoriile GPS ale utilizatorului și datele de context geo-spațial obținute prin OpenStreetMap (OSM). Este important ca cele două seturi de date să acopere același interval atât spațial, cât și temporal, iar soluția pe care am propus-o asigură descrierea contextului spațial prin datele OSM în același interval de timp în care utilizatorii și-au generat traiectoriile.

6. Optimizarea sistemelor inteligente de guvernare a traficului urban folosind inteligența artificială

Sunt prezentate câteva considerații privind utilizarea tehnicilor IA pe unele direcții în care acestea tehnici pot fi valorificate cu eficiență maximă, mai ales am avut intenția să le utilizez în Studiul de caz 6.2, în cazul în care aș fi transpus aplicația validată prin simulare într-un caz de trafic real. Pe scurt, aceste direcții sunt: i) Integrarea BDA într-un sistem de management al traficului rutier; ii) Tehnici IA pentru agregarea datelor în medii de simulare; iii) Tehnici IA pentru elaborarea și utilizarea modelelor predictive.