

ACADEMIA DE STUDII ECONOMICE DIN BUCUREȘTI

Școala Doctorală *Informatică Economică*



TEZĂ DE DOCTORAT

Prezentată și susținută public de către autor:

ALEXANDRU-MARIUS G. OBRETIN

Titlul tezei de doctorat:

ASISTENT VIRTUAL PENTRU LOCALIZARE ȘI
NAVIGARE ÎN CLĂDIRI DE MARI DIMENSIUNI
ACCESIBILE PUBLICULUI LARG

Conducător de doctorat: prof. univ. dr. MARIAN DÂRDALĂ

Comisia de susținere a tezei de doctorat:

Prof. univ. dr. Constanța MIHĂESCU
Prof. univ. dr. Amelia BĂDICĂ
Prof. univ. dr. Florin DUMITRIU
Prof. univ. dr. Titus-Felix FURTUNĂ
Prof. univ. dr. Marian DÂRDALĂ

- Academia de Studii Economice din București
- Universitatea din Craiova
- Universitatea „Alexandru Ioan Cuza” din Iași
- Academia de Studii Economice din București
- Academia de Studii Economice din București

București, septembrie 2024

ACADEMIA DE STUDII ECONOMICE DIN BUCUREȘTI

Consiliul pentru Studii Universitare de Doctorat

Școala Doctorală: *Informatică Economică*

**ASISTENT VIRTUAL PENTRU
LOCALIZARE ȘI NAVIGARE ÎN CLĂDIRI DE
MARI DIMENSIUNI ACCESIBILE
PUBLICULUI LARG**

Alexandru-Marius Obretin

Conducător de doctorat: prof. univ. dr. Marian Dârdală

București, 2024

CUPRINS

1. INTRODUCERE	1
1.1. TEMA DE CERCETARE ȘI MOTIVAREA ABORDĂRII	2
1.2. SCOPUL ȘI OBIECTIVELE CERCETĂRII.....	4
1.3. METODOLOGIA CERCETĂRII	7
1.4. STRUCTURA TEZEI DE DOCTORAT	8
2. SISTEME DE LOCALIZARE ÎN CLĂDIRI DE MARI DIMENSIUNI	10
2.1. NOȚIUNI GENERALE	10
2.2. EVOLUȚIA SISTEMELOR DE LOCALIZARE INTERIOARĂ.....	11
2.3. SOLUȚII COMERCIALE DE LOCALIZARE INTERIOARĂ.....	15
2.4. OPORTUNITĂȚI DE CERCETARE.....	19
3. SENZORI ȘI COMPONENTE SENZORIALE	22
3.1. SEMNALE	22
3.2. SENZORI	23
3.2.1. Accelerometru.....	26
3.2.2. Giroscop.....	30
3.2.3. Magnetometru.....	33
3.3. FUZIUNEA SENZORILOR	35
4. PROCESAREA SEMNALELOR DIGITALE	42
4.1. FILTRE DIGITALE.....	42
4.2. METODE DE FILTRARE	43
4.3. METODE DE NETEZIRE A SEMNALULUI	45
4.3.1. Medie mobilă simplă.....	45
4.3.2. Savitzky-Golay	47
4.3.3. Kalman	50
4.4. METODE STATISTICE.....	52
4.5. METODE BAZATE PE ÎNVĂȚARE SUPERVIZATĂ.....	54
4.6. METRICI DE EVALUARE.....	56
5. IMPLEMENTAREA OPERAȚIILOR DE FILTRARE ȘI RUTARE	59
5.1. SELECȚIA UNUI ALGORITM DE FILTRARE A SEMNALELOR DIGITALE.....	59
5.2. COMPLEXITATEA CALCULULUI ȘI PROCESĂRII ÎN TIMP REAL.....	61
5.3. REDUCEREA EFICIENTĂ A ZGOMOTULUI ȘI FIDELITATEA DATELOR	62
5.4. ANALIZA COMPARATIVĂ A TEHNICILOR DE FILTRARE	64
5.5. ANALIZA COMPARATIVĂ A ALGORITMILOR DE CALCUL A RUTELOR	71
5.6. EURISTICI ȘI ALEGEREA LOR.....	83

5.7. CONSTRUIREA HĂRȚILOR PENTRU NAVIGARE	85
6. ARHITECTURA SOLUȚIEI INFORMATICE.....	91
6.1. ARHITECTURA ORIENTATĂ PE MICROSERVICII	91
6.2. PROIECTAREA SOLUȚIEI INFORMATICE.....	95
6.3. SCHIMBUL DE MESAJE ȘI PERSISTENȚA DATELOR.....	103
6.4. MODELUL DE DATE ȘI SIG	105
6.5. REPREZENTAREA CLĂDIRILOR PRIN IERARHII DE GRAFURI	111
6.6. DETERMINAREA DEPLASĂRII.....	117
6.7. CALCULAREA RUTELOR	123
6.8. ASIGURAREA ELEMENTELOR DE SECURITATE	125
7. STUDIU DE CAZ PENTRU NAVIGARE ÎN CLĂDIRIA FACULTĂȚII DE CIBERNETICĂ, STATISTICĂ ȘI INFORMATICĂ ECONOMICĂ.....	127
7.1. DEPLASAREA ÎNTRE ETAJE	128
7.2. PROCESUL DE RUTARE	131
7.3. ACTUALIZAREA ÎN TIMP REAL A HĂRȚILOR.....	132
7.4. ELEMENTE DE REALITATE VIRTUALĂ ÎN MANAGEMENTUL IMOBILELOR.....	135
7.5. PERSPECTIVE BAZATE PE DATE ȘI ANALIZĂ SPAȚIALĂ.....	136
7.6. ANALIZĂ DE DATE ȘI PROCESARE DE SEMNALE	139
8. PARTICULARITĂȚI ÎN IMPLEMENTAREA SISTEMULUI PENTRU UTILIZAREA ÎN ALTE CONTEXTE	142
8.1. LOCALIZAREA ÎNTR-O PARCARE SUBTERANĂ.....	142
8.2. LOCALIZAREA INTERIOARĂ ÎNTR-UN MUZEU.....	151
9. CONCLUZII.....	159
9.1. CONCLUZII ȘI DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE	159
9.2. CONTRIBUȚII PROPRII	160
9.3. DISEMINAREA REZULTATELOR	164
REFERINȚE BIBLIOGRAFICE	166
ANEXE.....	175
ANEXA 1: SCRIPT PENTRU DECUPAZREA UNEI IMAGINI ÎN FRAGMENTE COMPATIBILE GOOGLE MAPS.....	175
ANEXA 2: IMPLEMENTARE A ALGORITMULUI HIERARCHICAL PATHFINDING A*	182
ANEXA 3: IMPLEMENTARE A ALGORITMULUI MADGWICK.....	205
LISTA ABREVIERILOR ȘI ACRONIMELOR.....	211
LISTA FIGURILOR ȘI GRAFICELOR.....	212
LISTA TABELELOR.....	214

CUVINTE CHEIE: localizare interioară, navigare interioară, fuziunea senzorilor, metode de rutare, tehnici de filtrare, procesarea semnalelor digitale, arhitectură web, corecția erorilor de măsurare.

REZUMAT

Activitatea de cercetare aferentă acestei lucrări de doctorat are un caracter pluridisciplinar, ea agregând noțiuni economice și tehnice conexe din domenii de activitate variate. Construcția tezei urmărește îndeaproape evoluția cercetării propriu-zise în domeniul localizării și navigației interioare, de la general la specific.

Astfel, teza debutează cu o analiză privind viabilitatea studierii problemelor de localizare și navigație interioară, prezintă principalele tendințe în domeniu și identifică oportunitățile de cercetare pe care lucrarea de față își propune să le adreseze. Ulterior, se conturează o istorie a evoluției tehnicilor de localizare, de la variante bazate pe rețele de balize și cititoare, la protocoale de comunicare prin semnale luminoase și ultrasunete, unde radio, semnale digitale și tehnici moderne precum rețele neurale, inteligența artificială și fuziunea senzorilor. Sunt dezvoltate apoi noțiuni de teoria semnalelor, senzori și fuziunea senzorilor, relevante pentru navigația în spații interioare și corecția erorilor de măsurare. Procesarea semnalelor digitale, iar ulterior implementarea operațiilor de filtrare și rutare reprezintă capitole în care noțiunile teoretice dezvoltate anterior sunt supuse unor evaluări concrete riguroase, unde tehnica reconstituirii, testarea și validarea de ipoteze și algoritmi, cercetarea experimentală și prototiparea abundă, cu scopul de a identifica acele metode care deservește cel mai bine scopul și obiectivele enunțate în introducerea tezei.

Arhitectura propusă detaliază apoi componentele sistemului informatic, cum comunică aceste componente între ele și care este modalitatea prin care se efectuează localizarea și navigația în timp real în interiorul unui imobil referință. Secțiunea de rezultate prezintă concluziile experimentale și principalele cazuri de utilizare ale arhitecturii. Accentul cade pe complexitatea scenariilor de test, pe evaluarea acurateței și fiabilității sistemului, în concordanță cu ipotezele cercetării. În capitolul destinat utilizării în domenii conexe sunt identificate sectoare de activitate suplimentare, unde arhitectura propusă poate crea valoare adăugată sau poate adresa probleme stringente cu care acestea se confruntă în prezent.

Prin dezvoltarea unei soluții care utilizează senzorii disponibili în telefoane mobile convenționale și tehnici de captare a elementelor de localizare, această cercetare oferă o soluție de navigație interioară robustă, precisă și flexibilă, care poate fi adaptată cu ușurință la diferite medii, fără a fi nevoie de o infrastructură suport costisitoare. Pe cale de consecință, cercetarea de față este relevantă pentru mediul academic, cel economic și social dintr-o serie de motive.

Din perspectivă academică, soluția contribuie la stadiul cunoașterii domeniului localizării și navigării în spații interioare, prin prisma experimentelor, analizelor și comparațiilor pe care le propune. Teza explorează o abordare pluridisciplinară în care se întrepătrund tehnici de filtrare a semnalelor digitale, metode de analiza datelor, elemente de algoritmică și anatomie, oferind noi

perspective asupra capacităților și limitărilor aferente folosirii senzorilor întâlniți în dispozitive de larg consum. Explorarea utilizării algoritmilor adaptivi și implementarea unor tehnici eficiente de procesare a semnalului îmbogățesc cadrul aplicativ al sistemelor de poziționare în interior.

Din perspectivă economică, soluția propusă oferă o alternativă practică și scalabilă a sistemelor existente, pretabilă pentru agenții economici care preferă o soluție software pură. Prin reducerea dependenței de o infrastructură hardware dedicată, agenți economici provenind din sectoare de activitate fără bugete de investiții substanțiale pot implementa într-o manieră avantajoasă soluții de navigație în locații de mari dimensiuni, pentru a crește eficiența operațională și gradul de satisfacție al clienților.

Din punct de vedere social, îmbunătățirea sistemelor de localizare interioară are potențialul de a spori accesibilitatea și siguranța pentru un spectru larg de subiecți. Prin urmare, în centre comerciale mari și aeroporturi, existența unor sisteme de navigație eficiente poate reduce stresul și timpul asociat cu identificarea punctuală a unor locații. În spitale, acestea pot asista pacienții și vizitatorii ce caută anumite secții și cabinete. Nu în ultimul rând, sistemele inteligente de poziționare și monitorizare au capacitatea de a oferi îndrumări în timp real utilizatorilor, în timpul situațiilor de urgență, ceea ce poate contribui chiar la salvarea de vieți omenești.

În ansamblu, această cercetare abordează o nevoie stringentă în domeniul localizării interioare, propunând o soluție eficientă din punct de vedere al costurilor, pretabilă pentru imobile de mari dimensiuni și ușor de utilizat. Prin valorificarea tehnologiilor existente, aceasta democratizează accesul la capabilități avansate de navigare în interior, făcându-le accesibile unui public mai larg și aplicabile într-o gamă mai variată de contexte.

Rezultatele acestei teze de doctorat deschid oportunități viitoare de cercetare și dezvoltare în domenii conexe. Perspectivele obținute din aplicarea tehnicilor de fuziune a senzorilor pot fi aplicate altor provocări de localizare, cum ar fi tranzițiile de la exterior la interior sau operarea în medii adaptive, în care contextul se schimbă frecvent. Cercetările viitoare pot investiga, de asemenea, integrarea unor senzori și tehnologii suplimentare, cum ar fi LiDAR și viziunea computerizată, pentru a spori și mai mult capacitățile sistemelor de navigație interioară.