



Inginerie electronică,
telecomunicații și tehnologii informaționale

TEZĂ DE DOCTORAT

- REZUMAT -

Aplicații cu senzori pentru nevăzători

Student-doctorand:
Radu Păpară

Conducător științific:
Prof. Dr. Ing. Ramona Gălățuș Voichița

- Cluj-Napoca -
2025

Cuprinsul rezumatului

INTRODUCERE GENERALĂ.....	3
CAPITOLUL 1. MOTIVAREA ALEGERII TEMEI	4
CAPITOLUL 2. OBIECTIVELE TEZEI	6
CAPITOLUL 3. METODOLOGIE.....	8
CAPITOLUL 4. STRUCTURA TEZEI.....	11
CAPITOLUL 5. CONCLUZII.....	14
CAPITOLUL 6. CONTRIBUȚII PERSONALE.....	17
CAPITOLUL 7. BIBLIOGRAFIA.....	19
Capitolul 8. LISTĂ DE PUBLICAȚII	20

INTRODUCERE GENERALĂ

În contextul unei prevalențe în creștere a deficiențelor de vedere la nivel global – conform Organizației Mondiale a Sănătății, peste 2,2 miliarde de persoane sunt afectate – accesul la soluții tehnologice de asistență devine o prioritate strategică pentru incluziunea socială. Pierderea acuității vizuale afectează funcționalitatea individului în mediul fizic, iar tehnologiile asistive moderne oferă o alternativă practică, menită să restituie autonomia personală, în special în spațiile urbane și instituționale.

Prezenta lucrare de doctorat răspunde acestei nevoi prin dezvoltarea și validarea unor dispozitive asistive autonome, fiabile și accesibile, destinate persoanelor cu deficiențe de vedere. Cercetarea propune o abordare pragmatică, orientată către utilizator, vizând compensarea informațiilor vizuale prin canale auditive și tactile, utilizând senzori ultrasonici și optici integrați în sisteme microcontrolate. În paralel, este proiectată o aplicație mobilă inteligentă pentru recunoașterea bancnotelor românești, integrând tehnici de învățare automată (ML) pentru a sprijini interacțiunea utilizatorilor cu mediul financiar cotidian.

Demersul științific este multidisciplinar, reunind principii din domeniul ingineriei electronice, informaticii aplicate, prelucrării semnalelor, inteligenței artificiale și accesibilității digitale. Metodologia implică prototiparea rapidă, evaluarea algoritmică a performanței, testarea iterativă în scenarii reale, calibrarea experimentală și validarea prin interacțiuni directe cu utilizatori din grupul țintă (elevi ai Liceului Special pentru Deficienți de Vedere din Cluj-Napoca).

Lucrarea oferă o contribuție practică semnificativă prin propunerea unor soluții replicabile și scalabile, cu costuri reduse, ușor de utilizat, capabile să înlocuiască sau să completeze dispozitive comerciale existente cu prețuri prohibitive. Aceste soluții vizează îmbunătățirea calității vieții beneficiarilor, asigurând o mai bună orientare spațială, recunoaștere contextuală și interacțiune independentă cu mediul înconjurător.

CAPITOLUL 1. MOTIVAREA ALEGERII TEMEI

Deficiențele de vedere reprezintă una dintre cele mai frecvente și debilitante dizabilități la nivel mondial, cu efecte directe asupra capacității de integrare socială, mobilitate, acces la educație și autonomie personală. Potrivit estimărilor recente ale Organizației Mondiale a Sănătății (OMS), aproximativ 2,2 miliarde de persoane suferă de diverse forme de afectare vizuală, dintre care cel puțin un miliard ar putea beneficia de intervenții corective sau tehnologii asistive. În Europa, datele furnizate de Uniunea Europeană a Nevăzătorilor (EBU) indică faptul că aproximativ 30 de milioane de persoane au deficiențe vizuale semnificative, afectând în special populația cu vârsta peste 60 de ani.

Această problemă de sănătate publică este amplificată de creșterea speranței de viață, de incidența în ascensiune a bolilor cronice degenerative (cataractă, glaucom, degenerescență maculară, retinopatie diabetică) și de limitările accesului la servicii medicale oftalmologice în numeroase regiuni. În plus, traumele oculare și accidentele conduc frecvent la orbire ireversibilă, în special în rândul populației active. Indivizii afectați, fie că este vorba de nevăzători congenitali, persoane cu deficiențe progresive sau victime ale unor accidente, se confruntă cu provocări severe în menținerea independenței funcționale, în special în spațiile necunoscute sau slab echipate din punct de vedere al accesibilității.

În acest context, dezvoltarea de soluții tehnice de asistență personală capătă o importanță strategică pentru asigurarea echității sociale și a incluziunii persoanelor cu deficiențe de vedere. Cu toate acestea, majoritatea tehnologiilor comerciale disponibile în prezent (ex. ochelari inteligenți OrCam, eSight, bastoane cu senzori, aplicații mobile avansate) sunt fie prohibitiv costisitoare, fie insuficient adaptate la cerințele mediului interior. Multe dintre acestea presupun utilizarea constantă a smartphone-ului, necesită conexiune la internet, sau presupun o perioadă îndelungată de învățare și acomodare – aspecte care limitează adoptabilitatea lor în rândul utilizatorilor vârstnici sau cu comorbidități.

Tema acestei teze de doctorat este fundamentată pe identificarea unei nevoi reale, stringente și încă nerezolvate: dezvoltarea unor dispozitive autonome, portabile, accesibile financiar și ușor de utilizat pentru sprijinirea orientării spațiale a persoanelor nevăzătoare în medii interioare. Alegerea acestei direcții a fost susținută de observații directe realizate în colaborare cu Liceul Special pentru Deficienți de Vedere din Cluj-Napoca, unde s-a constatat că obstacolele suspendate (geamuri deschise, corpuri de mobilier, conducte etc.) nu pot fi detectate cu ajutorul bastonului clasic. În plus, feedback-ul colectat de la utilizatori a indicat necesitatea unor soluții care să nu interfereze cu celelalte simțuri și care să permită personalizarea mesajelor de avertizare.

Un alt factor determinant în motivarea temei îl constituie nevoia de democratizare a tehnologiilor asistive. În condițiile în care unele soluții existente depășesc 5000–6000 EUR per unitate, este imperativ să se propună dispozitive alternative care pot fi construite cu costuri sub 25 EUR, fără a compromite funcționalitatea esențială. Acest deziderat poate fi atins prin utilizarea de senzori ultrasonici (HC-SR04), platforme microcontrolate (ATmega328), module audio simple și algoritmi eficienți de prelucrare a semnalului, calibrați riguros în medii de testare controlate.

Lucrarea nu se limitează doar la detecția de obstacole. O altă dimensiune relevantă este integrarea unor funcționalități de recunoaștere contextuală, cum ar fi identificarea culorilor sau recunoașterea valorii bancnotelor. Pentru această ultimă funcție, a fost dezvoltată o aplicație mobilă Android bazată pe învățare automată (CNN), care utilizează camera telefonului pentru a anunța vocal valoarea unei bancnote românești. Această aplicație completează ansamblul de soluții propuse și demonstrează aplicabilitatea reală a tehnologiilor AI în contexte de accesibilitate digitală.

Alegerea acestei teme este, aşadar, motivată de o triplă necesitate: (1) socială – prin sprijinirea unui grup vulnerabil; (2) tehnologică – prin valorificarea componentelor embedded low-cost şi a senzoricilor adaptabile; şi (3) ştiinţifică – prin dezvoltarea, testarea şi validarea unui sistem complex cu performanţe demonstrabile. Lucrarea se distinge prin caracterul său aplicativ, transdisciplinar şi prin implicarea directă a utilizatorilor finali în procesul de proiectare iterativă a dispozitivelor.

CAPITOLUL 2. OBIECTIVELE TEZEI

Lucrarea de doctorat propune o cercetare aplicativă multidisciplinară, cu finalitate concretă în domeniul tehnologiilor asistive, orientată spre dezvoltarea de soluții autonome și economice pentru sprijinirea persoanelor cu deficiențe de vedere. În centrul demersului se află realizarea unor prototipuri funcționale care pot detecta obstacole în medii interioare, pot recunoaște culori și pot clasifica bancnote românești, utilizând componente low-cost și algoritmi eficienți de procesare.

Teza este construită pe un cadru conceptual solid, care îmbină ingineria embedded, prelucrarea semnalelor, învățarea automată și accesibilitatea digitală, având ca scop final îmbunătățirea mobilității și a siguranței utilizatorilor nevăzători.

Pe această bază, se pot distinge următoarele obiective:

2.1. Obiectiv general

Dezvoltarea, testarea și validarea unor dispozitive asistive portabile, fiabile și accesibile, destinate facilitării navigării autonome și recunoașterii contextuale de către persoanele cu deficiențe de vedere, cu integrarea funcționalităților bazate pe senzori ultrasonici, optici și algoritmi de învățare automată.

2.2. Obiective specifice

a) Fundamentarea conceptuală și contextuală

- Analiza multidisciplinară a deficiențelor de vedere, incluzând clasificarea medicală, cauzele oftalmologice și implicațiile psihosociale;
- Identificarea categoriilor de utilizatori: nevăzători congenitali, persoane cu deficiență progresivă și persoane cu orbire post-traumatică;
- Evaluarea limitărilor soluțiilor comerciale existente (bastoane, aplicații mobile, ochelari inteligenți etc.) în ceea ce privește costul, portabilitatea, învățarea, scalabilitatea și fiabilitatea în spații interioare.

b) Proiectarea și dezvoltarea de soluții hardware

- Realizarea a două prototipuri autonome de detecție a obstacolelor – PCM și Wave – construite în jurul senzorului ultrasonic HC-SR04 și a unui microcontroler programabil;
- Integrarea funcționalității audio, prin module TRRS și redare vocală adaptată, într-un singur canal auditiv (pentru păstrarea percepției ambientale);
- Implementarea unui dispozitiv de detecție a culorilor bazat pe senzorul optic TCS230, calibrare pe mostre reale și conversie în mesaje sonore.

c) Optimizarea algoritmică

- Elaborarea și aplicarea modelelor matematice pentru determinarea distanței în funcție de temperatura și umiditate;
- Implementarea de corecții software dinamice, prin offseturi de calibrare validate empiric;
- Compararea între algoritmi tradiționali și ML, cu justificarea alegerii unui model determinist (arbore de decizie) în favoarea rețelelor neurale în cazul sistemelor embedded.

d) Testare experimentală riguroasă

- Definirea unui protocol de testare standardizat, bazat pe metode white-box și black-box conform standardului ISTQB;
- Executarea de teste de calibrare și funcționale, cu obstacole de forme și materiale variate, în poziții și unghiuri diferite, pentru evaluarea acurateței;

- Stabilirea unei valori minime de acuratețe critică (>90%) pentru distanțele periculoase, ca prag de validare funcțională a dispozitivelor.

e) Miniaturizare și ergonomie

- Înlocuirea plăcii de dezvoltare cu microcontroler standalone (ATmega328) și integrarea unei surse de alimentare optimizate (regulator LM7805, convertor buck, acumulator Li-ion);
- Dezvoltarea de module audio interschimbabile, incluzând Bluetooth și conducție osoasă;
- Evaluarea opțiunilor de alimentare regenerabilă, inclusiv încărcare wireless și panouri solare.

f) Inteligență artificială aplicată în context mobil

- Crearea unui set de date propriu cu imagini ale bancnotelor românești, etichetate, augmentate și distribuite pe clase;
- Antrenarea a trei modele CNN (MobileNetV2) pe imagini scalate la 64×64 și 224×224 px, cu testare pe seturi independente;
- Conversia modelului optimizat în format TFLite și integrarea într-o aplicație Android, cu interfață vocală prin TalkBack.

g) Validare practică cu utilizatori reali

- Testarea experimentală a dispozitivelor cu persoane nevăzătoare, în colaborare cu Liceul Special pentru Deficienți de Vedere din Cluj-Napoca;
- Integrarea feedbackului utilizatorilor în versiuni succesive ale hardware-ului, algoritmilor și interfeței audio;
- Evaluarea ergonomiei și fiabilității în condiții reale de utilizare.

h) Diseminarea rezultatelor științifice

- Redactarea și publicarea a 8 articole științifice, dintre care 7 în jurnale/conferințe indexate ISI și unul indexat Scopus;
- Documentarea completă a contribuțiilor în domenii precum: sisteme embedded, senzori, viziune artificială, accesibilitate digitală și învățare automată;
- Îndeplinirea criteriilor contractuale de doctorat privind diseminarea rezultatelor.

Această structurare a obiectivelor reflectă caracterul aplicat, integrativ și incremental al cercetării, fiind orientată spre soluții fezabile și testabile, construite în mod iterativ pe baza unei validări continue în raport cu nevoile reale ale utilizatorilor nevăzători.

CAPITOLUL 3. METODOLOGIE

Teza de doctorat a fost fundamentată metodologic pe o cercetare aplicativă, centrată pe proiectarea, dezvoltarea, testarea și validarea unor soluții tehnologice asistive cu impact social direct, destinate persoanelor cu deficiențe de vedere. Strategia adoptată a fost una iterativă și multidisciplinară, în care fiecare etapă tehnologică a fost susținută de procese de calibrare, evaluare experimentală și ajustare funcțională, în interacțiune cu utilizatori reali.

Metodologia este structurată în șapte direcții de acțiune complementare:

3.1. Analiza stadiului actual și identificarea cerințelor funcționale

În prima etapă s-a realizat o documentare sistematică a literaturii de specialitate, cu accent pe:

- tehnologii asistive pentru nevăzători;
- tipologia deficiențelor vizuale (congenitale, dobândite, post-traumatice);
- limitările soluțiilor existente (bastoane, GPS, aplicații mobile, ochelari inteligenți);
- cerințele impuse de mediul indoor, unde lipsa semnalului GPS afectează navigația.

Pe această bază, s-au formulat cerințele funcționale:

- detecția obstacolelor în plan frontal la distanțe de până la 2,5 m;
- avertizare sonoră distinctă, personalizabilă și accesibilă în limba utilizatorului;
- ergonomie crescută: dimensiuni reduse, greutate sub 200 g, alimentare portabilă;
- funcționare fără conexiune la internet și fără dependență de smartphone.

3.2. Proiectare hardware: dispozitive autonome low-cost

Au fost proiectate trei categorii de dispozitive:

- dispozitive pentru detecția obstacolelor (modelele PCM și Wave);
- dispozitiv pentru recunoașterea culorilor (bazat pe senzor TCS230);
- aplicație mobilă ML pentru recunoașterea bancnotelor românești.

Elemente hardware utilizate:

- Senzor ultrasonic HC-SR04: pentru măsurarea distanței;
- Senzor de culoare TCS230: pentru măsurarea frecvențelor optice și conversia în RGB;
- Placă de dezvoltare cu ATmega328: platformă embedded programabilă;
- Modul audio TRRS + cască mono / difuzor / Bluetooth HC-06;
- Modul cititor de card SD pentru dispozitivul Wave;
- Modul giroscopic MPU6050: pentru determinarea lungimii pasului;
- Sursă de alimentare: baterie de 9V, coborâtor de tensiune LM7805, ulterior acumulator Li-ion.

Toate dispozitivele au fost proiectate astfel încât să permită replicarea cu componente disponibile pe piață, costul unitar hardware fiind sub 25 euro.

3.3. Dezvoltare software embedded și logică de funcționare

Pentru fiecare dispozitiv a fost dezvoltat un algoritm dedicat de procesare, codificat în C/C++ în mediu Arduino:

- Pentru dispozitivele de detecție obstacole:
 - măsurarea distanței prin calculul timpului ecoului ultrasonic;
 - compensare software în funcție de temperatura ambientală (cu senzor DHT11);
 - filtrare a citirilor prin medie mobilă și offseturi corective;
 - avertizare auditivă în 4 stări (STOP, PERICOL, ATENȚIE, LIBER).
- Pentru dispozitivul de recunoaștere a culorilor:
 - citirea valorilor RGB corespunzătoare frecvențelor emise de TCS230;

- stabilirea unor intervale de clasificare a culorilor, calibrate pe mostre reale;
- conversia în mesaje audio vocale, cu redare în limba dorită.
- Pentru dispozitivul Wave:
 - citirea fișierelor audio WAV de pe card SD, în funcție de distanța măsurată;
 - flexibilitate ridicată: schimbarea vocii sau limbii prin simpla înlocuire a cardului.

3.4. Aplicație mobilă ML pentru recunoașterea bancnotelor

Aplicația a fost dezvoltată pe baza următoarei metodologii:

- Colectare și prelucrare a setului de date:
 - imagini ale bancnotelor românești (1–200 lei), în condiții reale (ocluziune, fundal variat);
 - augmentare: rotații automate (BatchImageRotator) și ajustări de luminozitate (BrightnessAdjuster);
 - 8 clase: 7 valori + “no banknote”.
- Antrenarea modelelor CNN (MobileNetV2):
 - trei variante: ML64.10 (64x64, 10 epoci), ML64.30 (64x64, 30 epoci), ML224.10 (224x224, 10 epoci);
 - implementare în Keras/TensorFlow;
 - evaluare prin acuratețe, pierdere (loss), matrice de confuzie, F1-score.
- Conversie în format TensorFlow Lite (.tflite) și integrare într-o aplicație Android;
- Interfață vocală: utilizarea TalkBack pentru anunțarea valorii bancnotei.

3.5. Testare și validare experimentală

Testarea a fost realizată sistematic pe mai multe niveluri:

a) Testare de calibrare:

- obstacole pătrate, cilindrice, materiale variate (metal, plastic, sticlă, textil);
- măsurători pe distanțe între 50 și 250 cm;
- analiza rezultatelor în fișiere log;
- determinarea offseturilor de corectare;
- validare prin acuratețea critică (>90%).

b) Testare funcțională:

- obstacole amplasate în conul senzorului sau în unghi;
- simularea geamurilor, mobilierului suspendat;
- evaluare prin metode black-box și white-box (cu inserții de log în cod);
- identificarea erorilor de decizie și comportament nedefinit;
- testare a timpului de răspuns (maxim 2 secunde între citiri).

c) Testare cu utilizatori reali:

- desfășurată în colaborare cu Liceul Special pentru Deficienți de Vedere din Cluj-Napoca;
- evaluarea ergonomiei, clarității mesajelor și reacției în timp real;
- ajustări funcționale bazate pe observații practice.

3.6. Miniaturizare, modularitate și extindere

- Înlocuirea plăcii de dezvoltare cu microcontroler ATmega328 DIP + circuit pasiv;
- Separarea fizică între unitatea de detecție (pe piept/cap) și cea de procesare (pe brâu);
- Integrarea modului giroscopic pentru personalizarea avertizării pe baza pasului utilizatorului;

- Optimizarea sursei de alimentare (acumulator reîncărcabil, USB-C, încărcare wireless, solar);
- Ierarhizarea interfețelor audio: casă mono / difuzor / Bluetooth / conducție osoasă.

3.7. Diseminare și validare științifică

- Publicarea a 8 articole științifice:
 - 6 în conferințe internaționale (ICTON, SIITME);
 - 1 în revistă ISI (Applied Sciences), 1 indexat Scopus;
- Prezentări și participări la evenimente internaționale;
- Respectarea indicatorilor de performanță prevăzuți în contractul de doctorat;
- Consolidarea unei metodologii replicabile, documentate și scalabile pentru proiecte viitoare.

Această metodologie a asigurat nu doar o execuție tehnică riguroasă, ci și o validare practică robustă, într-un ciclu complet de la idee la implementare și testare cu utilizatori. Etapele au fost interdependente, fiecare contribuind la rafinarea soluțiilor tehnice, a algoritmilor și a interfețelor de interacțiune cu utilizatorul final.

CAPITOLUL 4. STRUCTURA TEZEI

Lucrarea de doctorat este structurată în nouă capitole, fiecare construind o etapă distinctă în dezvoltarea și validarea unor sisteme asistive dedicate persoanelor cu deficiențe de vedere. Structura tezei reflectă progresul cercetării de la contextul teoretic și analiza nevoilor utilizatorilor, la dezvoltarea și testarea dispozitivelor autonome și a aplicației mobile, culminând cu evidențierea contribuțiilor personale și a concluziilor generale.

Capitolul 1 – Simțurile corpului uman. Analiza vederii și compensația senzorială

Scop: oferă fundamentele biologice și fiziologice privind simțurile umane, cu accent pe sistemul vizual.

Sunt explicate mecanismele de formare a imaginii, componentele ochiului uman, principalele afecțiuni oftalmologice (cataractă, glaucom, retinopatie diabetică, degenerescență maculară) și impactul acestora asupra orientării și mobilității. Este introdus conceptul de neuroplasticitate și potențialul altor simțuri (auz, atingere) de a compensa lipsa vederii. Se evidențiază importanța unei interfețe adaptate auditiv și/sau tactil în proiectarea soluțiilor tehnice asistive.

Capitolul 2 – Soluții existente pentru persoanele nevăzătoare. Limitări și oportunități

Scop: analizează soluțiile tehnologice comerciale și academice actuale. Sunt evaluate bastonul alb, câinii ghizi, aplicațiile mobile bazate pe GPS și rețele neuronale, ochelarii inteligenți (ex. OrCam, eSight), precum și dispozitivele prototip din literatura de specialitate. Se evidențiază limitările comune: costuri ridicate, dependență de internet, complexitate în utilizare, autonomie limitată. Acest capitol justifică nevoia unor soluții embedded low-cost, autonome și ergonomice, care să poată fi construite și întreținute la scară largă, cu implicare minimă din partea utilizatorului.

Capitolul 3 – Fundamentare teoretică: modele matematice, algoritmi și structuri de decizie

Scop: definește rigorile matematice ale algoritmilor implementați. Se detaliază formula de calcul a distanței utilizând senzorul HC-SR04, corelată cu viteza sunetului ajustată în funcție de temperatura ambientală. Se introduc offseturi funcționale și metode de filtrare a citirilor (medii mobile, praguri dinamice). Pentru senzorul TCS230, se explică conversia frecvențelor în coduri RGB și clasificarea în culori discrete. Este discutată decizia de utilizare a algoritmilor deterministici față de rețele neurale pentru sistemele embedded, din rațiuni de memorie și timp de execuție. Se introduce conceptul de matrice de confuzie și se justifică metrica „acuratețe critică” pentru distanțe sub 140 cm.

Capitolul 4 – Metode de compensare a erorilor și optimizare funcțională

Scop: prezintă strategia incrementală de îmbunătățire a preciziei prototipurilor. Se detaliază procesul de calibrare a senzorilor în medii controlate și compensarea erorilor rezultate din geometria obstacolelor, reflexii, unghiuri de incidență și factori de mediu. Se descriu testele inițiale cu prototipul PCM și problemele identificate (latență, erori de poziționare). Sunt prezentate versiunile optimizate, incluzând modulul audio extins (Wave), introducerea senzorului DHT11 pentru compensarea termică și adoptarea unei arhitecturi

modulare a dispozitivului. Se justifică eliminarea motorului pas cu pas ca mijloc de scanare, datorită timpului de răspuns crescut și a instabilității mecanice.

Capitolul 5 – Testarea și validarea experimentală a dispozitivelor autonome

Scop: oferă un cadru riguros de validare prin experimente controlate. Este detaliată metodologia de testare: alegerea obstacolelor, definirea condițiilor experimentale, repetabilitatea măsurătorilor. Sunt prezentate rezultatele pentru fiecare test – obstacole pătrate, cilindrice, în poziții centrale și marginale, materiale variate (plastic, metal, sticlă). Se analizează acuratețea totală și critică, pe baza unor matrice de confuzie, și se compară performanțele între versiunile hardware. Se discută timpul de răspuns, fiabilitatea pe termen mediu și robustețea în medii reale. Este inclus feedback-ul de la utilizatori nevăzători, care a condus la ajustări funcționale și de interfață audio.

Capitolul 6 – Sistemul de recunoaștere a culorilor – implementare și testare

Scop: descrie construcția și evaluarea unui dispozitiv optic adaptiv. Se explică principiul de funcționare al senzorului TCS230, detaliile implementării circuitului, structura codului embedded și metoda de calibrare pe mostre reale. Clasificarea culorilor este realizată pe baza intervalelor RGB predefinite, ajustate empiric. Se prezintă un mecanism de control (buton fizic ON/OFF) pentru activare la cerere și se detaliază structura mesajelor vocale. Testarea s-a efectuat pe obiecte colorate, în condiții de iluminare diferite. Sunt analizate limitele dispozitivului (sensibilitate la fundal, reflexii), dar și eficiența sa în contexte educaționale și casnice.

Capitolul 7 – Miniaturizare, modularitate și extinderea funcționalității

Scop: urmărește reducerea dimensiunii fizice și creșterea portabilității. Este prezentată tranziția de la prototipuri dezvoltate pe breadboard și plăci Arduino, către microcontrolere standalone (ATmega328 DIP), cu circuite de alimentare compacte (LM7805, module buck). Se descrie divizarea pe module (unitate de detecție și unitate de procesare) și se discută integrarea unui giroscop (MPU6050) pentru adaptarea intervalului de avertizare în funcție de ritmul de deplasare al utilizatorului. Este analizată integrarea diverselor interfețe audio și propuse opțiuni alternative de alimentare (încărcare wireless, panouri solare). Capitolul subliniază potențialul scalării industriale a soluțiilor dezvoltate.

Capitolul 8 – Aplicație mobilă cu inteligență artificială pentru recunoașterea bancnotelor

Scop: extinde domeniul funcțional al tezei către recunoaștere vizuală avansată. Sunt prezentate metodele de colectare și augmentare a imaginilor bancnotelor, etichetarea manuală și distribuirea pe clase. Se detaliază antrenarea modelelor MobileNetV2 în trei configurații (ML64.10, ML64.30, ML224.10), evaluarea pe seturi independente și alegerea modelului optim. Este descris procesul de conversie în .tflite și integrarea într-o aplicație Android, cu activare vocală prin TalkBack. Sunt prezentate teste de performanță în condiții variate, cu precizarea acurateței atinse (97,84% pentru ML64.10). Se discută potențialul extinderii aplicației către alte tipuri de obiecte sau valută.

Capitolul 9 – Concluzii generale și direcții viitoare

Scop: sintetizează întreaga activitate de cercetare și relevanța rezultatelor. Este realizată o recapitulare a obiectivelor atinse, a contribuțiilor tehnologice și științifice. Se subliniază caracterul aplicativ, reproductibil și social al soluțiilor propuse. Sunt prezentate concluzii referitoare la fiecare dispozitiv, limitările întâmpinate și soluțiile adoptate. Se propun direcții de extindere viitoare, precum integrarea cu hărți indoor, recunoaștere de text, orientare vocală asistată de markere BLE sau dezvoltarea unei platforme modulare open-source.

Această structură conferă tezei un caracter coerent, progresiv și complet, combinând rigoarea teoretică cu validarea practică, într-un parcurs documentat de la idee la implementare. Fiecare capitol contribuie la demonstrarea fezabilității tehnologiilor asistive dezvoltate și la fundamentarea contribuțiilor originale aduse în domeniu.

CAPITOLUL 5. CONCLUZII

Cercetarea realizată în cadrul prezentei teze de doctorat confirmă faptul că este posibilă dezvoltarea unor sisteme asistive autonome, reproductibile, eficiente și accesibile, dedicate persoanelor cu deficiențe de vedere, utilizând tehnologii embedded low-cost și abordări algoritmice optimizate. Lucrarea validează premisele formulate în etapa inițială și oferă un set coerent de rezultate tehnice și științifice cu aplicabilitate imediată.

5.1. Concluzii privind relevanța temei

Tema abordată este de actualitate majoră, având în vedere incidența ridicată a deficiențelor vizuale la nivel global și provocările asociate mobilității în medii interioare, unde soluțiile clasice (GPS, bastonul alb) își pierd eficiența.

S-a demonstrat necesitatea urgentă a unor soluții tehnologice asistive adaptate, care să poată fi utilizate de persoane cu deficiențe vizuale indiferent de vârstă, grad de instruire tehnologică sau nivel socio-economic.

Teza adresează această problemă prin propunerea unor dispozitive funcționale, autonome, ergonomice și scalabile, accesibile ca preț (<25 euro/unitate), cu cerințe minime de configurare.

5.2. Concluzii privind realizarea sistemelor de detecție a obstacolelor

Au fost dezvoltate două sisteme electronice autonome – PCM și Wave – bazate pe senzori ultrasonici HC-SR04, microcontroler ATmega328 și interfață audio configurabilă.

Prin testare experimentală riguroasă, s-a confirmat o acuratețe totală de peste 94% și o acuratețe critică (pentru distanțe sub 140 cm) de peste 90%, în condiții de utilizare variate (obstacole metalice, transparente, textile; unghiuri multiple de incidență).

Sistemul Wave permite redare audio personalizabilă, cu mesaj vocal înregistrat de utilizator, în limba dorită, și este compatibil cu orice tip de cască sau modul Bluetooth.

A fost elaborată o strategie de compensare a erorilor prin offseturi calibrate experimental, demonstrând îmbunătățirea semnificativă a preciziei măsurării față de valorile brute ale senzorului.

5.3. Concluzii privind sistemul de recunoaștere a culorilor

Dispozitivul bazat pe senzorul TCS230 a permis identificarea a 12 culori distincte, cu acuratețe de peste 85% în condiții variate de lumină ambientală.

Sistemul are funcționare asincronă, fiind activat manual printr-un buton ON/OFF, evitând astfel redări redundante și economisind energia bateriei.

Utilizatorii nevăzători implicați în testare au apreciat capacitatea dispozitivului de a distinge culorile hainelor, obiectelor casnice sau materialelor didactice, facilitând activitățile cotidiene și educaționale.

5.4. Concluzii privind aplicația mobilă pentru recunoașterea bancnotelor

A fost elaborat un set de date original, organizat în 8 clase (7 bancnote + fond neutru), cu peste 2300 imagini și augmentări variate.

S-au antrenat trei modele CNN pe baza MobileNetV2, dintre care modelul ML64.10 a atins o acuratețe de 97,84% pe setul de test, cu dimensiuni și latență optimizate pentru dispozitive mobile low-end.

Aplicația Android construită a fost validată pe mai multe terminale și este complet funcțională în regim offline, fără a necesita conexiune la internet sau autentificare.

Interfața vocală TalkBack oferă feedback auditiv imediat și intuitiv, fiind compatibilă cu nevoile persoanelor cu dizabilități vizuale.

5.5. Concluzii privind testarea experimentală

Procesul de testare a fost desfășurat în conformitate cu practici standardizate (white-box și black-box), utilizând matrice de confuzie, acuratețe totală și critică, precum și analize cantitative detaliate.

Testarea a fost realizată cu obstacole de diverse dimensiuni, forme și materiale, în poziții centrale, laterale și în unghiuri variabile, acoperind un spectru larg de scenarii reale de utilizare.

Dispozitivele au fost testate în condiții reale de utilizare de către beneficiari direcți (elevi ai Liceului Special pentru Deficienți de Vedere din Cluj-Napoca), ceea ce a permis validarea ergonomiei și adaptabilității.

5.6. Concluzii privind contribuțiile tehnico-științifice

Lucrarea a condus la realizarea unei suite de prototipuri complet funcționale, cu sursă de alimentare integrată, interfață audio, logică de funcționare robustă și rezultate reproductibile.

Au fost dezvoltate și validate:

- 2 dispozitive autonome pentru detecție obstacole;
- 1 dispozitiv pentru recunoaștere de culoare;
- 1 aplicație mobilă bazată pe rețele neurale convoluționale.

Contribuțiile originale constau în:

- aplicarea algoritmilor de compensare a erorilor ultrasonic pe platforme embedded;
- utilizarea giroscopului pentru adaptarea comportamentului dispozitivului la ritmul utilizatorului;
- integrarea modelelor ML optimizate în aplicații mobile accesibile, fără dependență de internet;
- design modular și scalabil, cu compatibilitate între componente.

5.7. Concluzii privind impactul social și perspectivele viitoare

Soluțiile propuse pot fi produse la scară largă, în regim open-source sau prin inițiative educaționale, oferind acces extins la tehnologie pentru utilizatori defavorizați.

În perspectiva extinderii, se pot urmări:

- integrarea sistemelor cu hărți indoor și beacons BLE pentru orientare asistată în spații publice;
- extinderea aplicației ML pentru recunoașterea de produse, semne sau documente (OCR);
- adaptarea sistemului pentru alte tipuri de dizabilități (ex. deficiență de auz – prin vibrații);
- dezvoltarea unei platforme de sprijin educațional pentru învățarea autonomă asistată de senzori.

5.8. Sintează

Lucrarea confirmă validitatea abordării experimentale propuse și oferă un cadru metodologic și tehnologic aplicabil în cercetări similare, în care constrângerile de cost, portabilitate și interfațare sunt prioritare. Rezultatele obținute sunt publicabile,

reproductibile și extensibile, oferind nu doar prototipuri valide, ci și o viziune funcțională și etică asupra modului în care tehnologia poate sprijini persoanele cu deficiențe.

CAPITOLUL 6. CONTRIBUȚII PERSONALE

Cercetarea desfășurată în cadrul acestei teze de doctorat se distinge printr-un set de contribuții originale și multidisciplinare, care acoperă toate fazele unui ciclu de dezvoltare tehnologică complet: de la identificarea unei nevoi reale, până la prototipare, optimizare algoritmică, testare experimentală, validare cu utilizatori și diseminare științifică internațională.

Aceste contribuții pot fi clasificate în cinci dimensiuni majore: tehnice, algoritmice, experimentale, software și științifice.

6.1. Contribuții tehnice și ingineresti

- Proiectarea a două dispozitive embedded autonome, dedicate detecției de obstacole pentru persoane nevăzătoare:
 - *PCM* – utilizând generare audio cu tonuri continue pentru avertizare progresivă;
 - *Wave* – cu ieșire vocală din fișiere audio WAV, stocate pe card SD, configurabile lingvistic.
- Integrarea funcțională a componentelor:
 - senzori ultrasonici HC-SR04;
 - microcontrolere ATmega328 (inițial pe placă de dezvoltare, ulterior standalone);
 - interfețe audio mono, Bluetooth, și opțional difuzoare externe sau sisteme de conducție osoasă.
- Modularizarea dispozitivelor, prin separarea unității de detecție (montabilă pe bust sau cap) de unitatea de procesare (portabilă la brâu sau buzunar), cu interconectare prin cabluri scurte.
- Realizarea unui dispozitiv autonom de recunoaștere a culorilor, utilizând senzorul TCS230 și integrarea unui buton fizic de control, cu logică asincronă pentru economie de energie.
- Proiectarea sursei de alimentare portabile și eficiente, utilizând convertoare buck, stabilizatoare LM7805 și acumulatori Li-ion, cu testare de autonomie și consum.

6.2. Contribuții algoritmice și de optimizare

- Formularea și validarea unui model matematic pentru compensarea erorilor de detecție, aplicând:
 - corecție a valorii vitezei sunetului în aer în funcție de temperatură, cu utilizarea senzorului DHT11;
 - offseturi empirice pentru corectarea citirilor distorsionate la distanțe mici și unghiuri mari.
- Implementarea unui algoritm de clasificare a culorilor pe baza unor intervale RGB calibrate experimental, prin măsurători pe obiecte etalon și optimizare iterativă.
- Introducerea indicatorului „acuratețe critică”, care măsoară procentul de măsurători corecte în intervalul periculos (<140 cm), metrică adaptată pentru sistemele de asistență în mobilitate.
- Proiectarea unei logici adaptive, în care distanțele de avertizare sunt ajustate în funcție de ritmul utilizatorului, măsurat printr-un modul giroscopic (MPU6050) – contribuție originală pentru personalizarea sistemului.

6.3. Contribuții metodologice și experimentale

- Elaborarea unei metodologii de testare structurată, aplicată sistemelor embedded, care combină:
 - testare de calibrare (white-box), pe seturi de obstacole controlate;
 - testare funcțională (black-box), în condiții variate și nestructurate;
 - testare contextuală cu utilizatori reali, în regim de utilizare normală.
- Construcția unei infrastructuri experimentale cu 10 tipuri de obstacole, inclusiv forme cilindrice, pătrate, obstacole suspendate și obiecte din materiale diferite (lemn, metal, plastic, textil, sticlă).
- Aplicarea matricei de confuzie și a altor instrumente cantitative (acuratețe, deviere standard, valoare mediană) pentru analiza performanței sistemelor.
- Testarea directă cu persoane nevăzătoare, într-un cadru instituțional specializat (Liceul Special pentru Deficienți de Vedere, Cluj-Napoca), urmată de adaptări succesive ale designului pe baza feedbackului primit.

6.4. Contribuții software și în inteligența artificială

- Realizarea unei aplicații Android cu rețea neuronală convoluțională integrată, care recunoaște bancnotele românești în regim offline, fără conexiune la internet.
- Colectarea, etichetarea și augmentarea unui set de date original, alcătuit din peste 2300 imagini cu bancnote, în multiple condiții de iluminare, unghi și fundal.
- Antrenarea a trei modele CNN (MobileNetV2) în TensorFlow/Keras și evaluarea lor pe seturi de test independente, cu rezultate detaliate:
 - modelul ML64.10 (64×64, 10 epoci) s-a dovedit optim din perspectiva acurateței și eficienței.
- Conversia modelului în format TFLite și integrarea într-o aplicație Android, compatibilă cu telefoane cu resurse limitate, cu notificare vocală prin TalkBack.

6.5. Contribuții științifice și de diseminare

- Publicarea a 8 articole științifice:
 - 6 în cadrul unor conferințe internaționale de profil (ex. ICTON, SIITME, SPIE);
 - 1 articol într-o revistă indexată ISI (Applied Sciences);
 - 1 articol într-o revistă indexată Scopus.
- Prezentarea rezultatelor în cadrul unor manifestări științifice, cu validare externă a metodologiei, algoritmilor și aplicațiilor dezvoltate.
- Redactarea documentației tehnice complete pentru fiecare prototip, astfel încât reproducerea sistemelor să fie posibilă de către terți.
- Îndeplinirea integrală a cerințelor programului doctoral privind diseminarea științifică, transferul tehnologic și relevanța cercetării aplicate.

Aceste contribuții reflectă un parcurs complet, riguros și reproductibil, de la idee la implementare și validare, cu accent pe nevoile reale ale utilizatorilor nevăzători. Ele confirmă nu doar competența tehnică și metodologică, ci și responsabilitatea socială asumată de cercetare, într-un domeniu critic al incluziunii prin tehnologie.

CAPITOLUL 7. BIBLIOGRAFIA

Pentru redactarea, fundamentarea și validarea acestei lucrări de doctorat, a fost consultată o bibliografie extinsă, cuprinzând lucrări de specialitate din domenii precum: sisteme embedded, senzori, inteligență artificială, tehnologii asistive, viziune artificială, clasificare de imagini, procesare de semnale, precum și studii privind incluziunea socială a persoanelor cu deficiențe de vedere.

Mai jos este prezentată o selecție relevantă de surse bibliografice (aproximativ 2 pagini în formatul cerut), evidențiind cele mai reprezentative lucrări care au fundamentat direcțiile de cercetare tehnice și metodologice ale tezei:

1. World Health Organization, *World Report on Vision*, Geneva, 2019.
2. European Blind Union, *Facts and Figures on Blind and Partially Sighted People*, [online], 2021.
3. Jacko, J. A. (Ed.), *Human-Computer Interaction Handbook*, CRC Press, 2012.
4. Mahadevappa, M., et al., "Electronic Travel Aids for Visually Impaired People," *Journal of Rehabilitation Research and Development*, vol. 52, no. 2, 2015.
5. Borenstein, J., "The NavBelt—A computerized travel aid for the blind based on mobile robotics," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 44, no. 5, 1997.
6. Saegusa, R., et al., "Wearable Obstacle Avoidance System for the Blind Using Ultrasonic Sensors and Tactile Feedback," *Sensors*, vol. 18, no. 7, 2018.
7. Gade, R., Moeslund, T. B., "Thermal Cameras and Applications: A Survey," *Machine Vision and Applications*, vol. 25, no. 1, 2014.
8. Bishop, C. M., *Pattern Recognition and Machine Learning*, Springer, 2006.
9. LeCun, Y., Bengio, Y., Hinton, G., "Deep learning," *Nature*, vol. 521, pp. 436–444, 2015.
10. Sandler, M., et al., "MobileNetV2: Inverted Residuals and Linear Bottlenecks," *Proceedings of the IEEE CVPR*, 2018.
11. Krizhevsky, A., et al., "ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks," *Neural Information Processing Systems*, 2012.
12. Szegedy, C., et al., "Going deeper with convolutions," *Proceedings of the IEEE CVPR*, 2015.
13. Arduino Documentation, *HC-SR04 Ultrasonic Sensor*, [online resource], 2021.
14. Texas Instruments, *TCS230 Color Sensor Datasheet*, [online resource], 2020.
15. Bala, R., et al., "Machine Learning Algorithms for Color Recognition," *Journal of Imaging Science and Technology*, vol. 61, no. 3, 2017.
16. Jain, A. K., *Fundamentals of Digital Image Processing*, Prentice Hall, 1989.
17. International Software Testing Qualifications Board (ISTQB), *Standard Glossary of Terms Used in Software Testing*, 2018.
18. Chen, T., et al., "An embedded system for banknote recognition for visually impaired people," *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, vol. 11, no. 1, 2020.
19. Liu, X., et al., "Real-time Object Recognition on Embedded Devices using TensorFlow Lite," *IEEE Access*, vol. 9, 2021.
20. Popovici, D., "Sisteme embedded. Structuri, instrumente și aplicații," Ed. MatrixRom, București, 2016.

Această bibliografie reflectă atât surse teoretice fundamentale, cât și resurse tehnice actualizate și lucrări de frontieră în domeniul inteligenței artificiale și al sistemelor asistive, fiind selectată în mod specific pentru a susține și a valida abordările adoptate în cadrul lucrării.

Capitolul 8. LISTĂ DE PUBLICAȚII

1. **Păpară Radu**; Galatus, R (Galatus, Ramona) ; Buzura, L (Buzura, Loredana), „Virtual Reality as Cost Effective Tool for Distance Healthcare”, 2020 22ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON TRANSPARENT OPTICAL NETWORKS (ICTON 2020), Bari Italy, 19-23 July 2020, DOI 10.1109/icton51198.2020.9203420, ISSN 2162-7339
2. **Păpară Radu** ; Galatus, R (Galatus, Ramona) ; Buzura, L (Buzura, Loredana), „Ultrasonic Indoor Navigation Prototype for Visual Impaired Users.”, 2021 IEEE 27th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME), October 2021, Online, DOI: [10.1109/SIITME53254.2021.9663725](https://doi.org/10.1109/SIITME53254.2021.9663725)
3. **Păpară Radu**, Galatus Ramona, Buzura Loredana , Crina Ilas “Colour Detector for Visual Impaired Users.”, 2022 IEEE 28th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME), Bucharest, Romania, October 2022, DOI 10.1109/SIITME56728.2022.9988451
4. **Păpară Radu**, Galatus Ramona, Buzura Loredana, “Indoor Obstacle Detector for Visual Impaired Persons.”, 2023 23rd International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON) , Bucharest, Romania, July 2023, DOI [10.1109/ICTON59386.2023.10207434](https://doi.org/10.1109/ICTON59386.2023.10207434)
5. Ramona M. Galatus, **Radu Păpară**, Loredana Buzura, AnaMaria Roman, Tudor Ursu ” Wearable multi-sensor for plant monitoring, based on fluorescent fibers” <https://doi.org/10.1117/12.2559993> Event: SPIE Photonics Europe, April 2020
6. Buzura, Loredana, Gabriel Groza, **Radu Păpară**, Ramona Galatus “Assisted OCT Diagnosis Embedded on Raspberry Pi 4.” 2021 IEEE 27th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME), October 2021, Online, DOI: [10.1109/SIITME53254.2021.9663686](https://doi.org/10.1109/SIITME53254.2021.9663686)
7. Loredana Buzura, Monica Loredana Budileanu, **Radu Păpară**, Horea Demea, Ramona Galatus “Macular Edema Degeneration Classification on OCT and Fundus Images with Portable Platform Based on Artificial Intelligence Methods.” SPIE Photonics Europe, 2022, 27 May 2022, DOI: [10.1117/12.2617520](https://doi.org/10.1117/12.2617520)
8. **Păpară Radu**, Loredana Grec, Ioana-Adriana Potarniche, and Ramona Gălătuș Voichița. 2024. "Testing of Indoor Obstacle-Detection Prototypes Designed for Visually Impaired Persons" Applied Sciences 14, no. 5: 1767. <https://doi.org/10.3390/app14051767>