

NOI METODE PENTRU DEPLASAREA ASISTAT ÎN MEDII CU OBSTACOLE A PERSOANELOR CU DEFICIENȚE DE VEDERE

Teză destinată obținerii
titlului științific de doctor inginer
la
Universitatea Politehnică Timișoara
în domeniul INGINERIE ELECTRONIC
ȘI TELECOMUNICAȚII
de către

ing. Lavinia **Țepelea**

Conducător științific: prof.univ.dr.ing Virgil Tiponu
Referenți științifici: prof.univ.dr.ing. Péter Szolgay
prof.univ.dr.ing. Gavril Todorean
prof.univ.dr.ing. Mircea Ciugudean

Ziua susținerii tezei: 21 Noiembrie 2014

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- | | |
|--|--|
| 1. Automatic | 9. Inginerie Mecanic |
| 2. Chimie | 10. Știința Calculatoarelor |
| 3. Energetic | 11. Știința și Ingineria Materialelor |
| 4. Ingineria Chimic | 12. Ingineria sistemelor |
| 5. Inginerie Civil | 13. Inginerie energetic |
| 6. Inginerie Electric | 14. Calculatoare și tehnologia informației |
| 7. Inginerie Electronic și Telecomunicații | 15. Ingineria materialelor |
| 8. Inginerie Industrial | 16. Inginerie și Management |

Universitatea Politehnică Timișoara a inițiat seriile de mai sus în scopul diseminării expertizei, cunoștințelor și rezultatelor cercetărilor întreprinse în cadrul colii doctorale a universității. Seriile conțin, potrivit H.B.Ex.S Nr. 14 / 14.07.2006, tezele de doctorat susținute în universitate începând cu 1 octombrie 2006.

Copyright © Editura Politehnică – Timișoara, 2014

Această publicație este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicații, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustrațiilor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare și permisiunea pentru utilizare obținută în scris din partea Universității Politehnice Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300159 Timișoara, Bd. Republicii 9,
tel. 0256 403823, fax. 0256 403221
e-mail: editura@edipol.upt.ro

Cuvânt înainte

Asistarea în deplasare a persoanelor cu deficiențe de vedere constituie de câteva decenii un subiect important de cercetare. Odată cu trecerea anilor, evoluția tehnologiei a dat prilejul realizării unor sisteme tehnice de asistare îmbunătățite. În prezent, dezvoltarea fără precedent a dispozitivelor mobile, dă naștere realizării unor sisteme de asistare performante, inteligente, cu dimensiune redusă, având la bază utilizarea telefonului mobil inteligent.

La finalizarea procesului de elaborare a tezei de doctorat în cadrul Facultății de Electronică și Telecomunicații a Universității „Politehnica” din Timișoara, se cuvine să aduc mulțumiri deosebite D-lui prof. dr. ing. Virgil Tiponut, conducătorul științific, pentru sprijinul deplin acordat pe parcursul elaborării tezei. Cunoștințele și experiența domniei sale, împartite în cadrul unui proiect de cercetare din care am făcut și eu parte, au contribuit la alegerea subiectului tezei și de asemenea, m-au îndrumat pe parcursul elaborării ei.

Un sprijin deosebit, din punct de vedere științific și moral, l-am primit din partea colegului meu de departament, D-l prof. dr. ing. Alexandru Gacsádi, pentru care îi mulțumesc. De asemenea, mulțumesc D-nei prof. dr. ing. Cornelia Gordan, coordonatoarea departamentului de Electronică și Telecomunicații al Universității din Oradea, pentru recomandările și sprijinul moral acordat pe tot parcursul elaborării tezei. Se cuvine să mulțumesc și colegului meu de departament, ș.l. dr. ing. Ioan Gavriluț, pentru sprijinul acordat și colaborarea în cadrul proiectelor de cercetare, din care am făcut amândoi parte, cercetare care a contribuit la elaborarea acestei teze.

Nu în ultimul rând, mulțumesc lui Dumnezeu pentru puterea de a duce la bun sfârșit lucrarea de față, dar și familiei mele, care m-a susținut moral în tot acest timp.

Timișoara, noiembrie 2014

Tepelea Laviniu

Țepelea, Laviniu-Flavius

Noi metode pentru deplasarea asistată în medii cu obstacole a persoanelor cu deficiențe de vedere

Teze de doctorat ale UPT, Seria 7, Nr. 77, Editura Politehnica, 2014, 162 pagini, 117 figuri, 2 tabele.

ISSN: 1842-7014

ISBN: 978-606-554-882-4

Cuvinte cheie: asistare, persoane cu deficiențe de vedere, detectarea obstacolelor, smartphone, android

Rezumat,

Pe parcursul timpului s-au realizat diverse sisteme tehnice de asistare a persoanelor cu deficiențe de vedere, însă domeniul a rămas de mare interes pentru cercetători și la ora actuală. Ca o concluzie putem specifica cerințele unui sistem de asistare: portabilitate, volum mic, greutate redusă, cost redus, autonomie energetică ridicată. Aceste sisteme utilizează metode de navigație inspirate din domeniul Roboticii. De aceea sunt prezentate tehnici din domeniul roboților mobili, cu aplicabilitate în asistarea persoanelor cu deficiențe de vedere. Procesarea datelor se realizează mai rapid cu ajutorul rețelelor neuronale celulare, care sunt prezentate pe scurt. Se abordează planificarea traiectoriei unui robot mobil cu ajutorul rețelelor neuronale celulare, pentru determinarea rapidă a traiectoriei de urmat. Sunt prezentați algoritmi noi și un template CNN, special concepuți pentru aplicația de determinare a traiectoriei. Se prezintă rezultate experimentale legate de această aplicație. Sunt prezentați senzorii utilizați pentru sistemul de asistare și modul lor de funcționare. La ora actuală se utilizează tot mai mult senzori de tipul MEMS. Se abordează interfața de comunicație între sistem și utilizator, un element foarte important pentru asistare. Utilizarea camerei de luat vederi în scopul asistării, implică procesarea unei mari cantități de informație, iar pentru procesarea informației în timp real, rețelele neuronale celulare se dovedesc a fi de un real folos. Sunt modificate template-uri CNN pentru îmbunătățirea detecției obiectelor în imagine și de asemenea, este prezentat un algoritm de corelație transpus în domeniul CNN, care arată gradul de asemănare între două imagini. Sunt prezentate rezultatele testelor efectuate prin simulare, dar și o descriere a modului de implementare al algoritmului pe o platformă FPGA, ce emulează digital o mașină CNN. Rezultatele și concluziile survenite în urma testelor practice realizate pe această platformă, sunt de asemenea expuse. Se propune un concept de mediu integrat de asistare, utilizând atât metode de navigație locală cât și metode de navigație globală, având la bază un dispozitiv mobil de generație recentă. Sistemul de asistare propus și realizat practic, se bazează pe utilizarea unui smartphone la care se conectează prin bluetooth o platformă externă cu microcontroler, de mici dimensiuni, pentru detecția obstacolelor la trei nivele. Este prezentat în detaliu aplicația android ce rulează pe smartphone, aplicația de detecție a obstacolelor pentru platforma externă, precum și organigramele care stau la baza realizării aplicațiilor. În urma testării sistemului de asistare, sunt prezentate concluziile survenite.

CUPRINS

1. Mijloace tehnice de asistare a persoanelor cu deficien e de vedere.....	11
1.1. Metode clasice de asistare a deplas rii	11
1.2. Sisteme de asistare senzoriale bazate pe naviga ie local	12
1.2.1. Sistemul LaserCane	12
1.2.2. Sistemul Teletact.....	12
1.2.3. Sistemul Sonicguide. K.A.S.P.A.	14
1.2.4. Sistemul NavBelt	14
1.2.5. Sistemul Guide Cane.....	17
1.2.6. Sistemul ETA	19
1.2.7. Sistemul de asistare SUPERBAT.....	23
1.2.8. Sistemul de asistare RFID.....	25
1.2.9. Sistemul de asistare cu display tactil.....	25
1.2.10. Sistemul Intelligent Glasses.....	27
1.2.11. Sisteme bazate pe detec ia obiectelor în imagini	28
1.2.12. O abordare incitant – refacerea par ial a vederii	30
1.2.13. Sisteme de asistare bazate pe naviga ie global	34
1.3. Concluzii	35
2. Tehnici din domeniul robo ilor mobili, cu aplica ii în deplasarea asistat a persoanelor cu deficien e de vedere	37
2.1. Generalit i privind robo ii mobili.....	37
2.2. Principii de conducere a robo ilor mobili autonomi	40
2.3. Metode de naviga ie	44
2.4. Prelucrarea semnalelor utilizând re ele neuronale celulare	45
2.4.1. Re ele neuronale celulare	45
2.4.2. Implementarea unei aplica ii CNN.....	50
2.5. Aplica ii ale re elelor neuronale celulare în domeniul robo ilor mobili	51
2.5.1. Planificarea traiectoriei unui robot mobil.....	51
2.5.2. Rezultate experimentale.....	59
2.5.3. Deplasarea robotului prin metoda wall-following utilizând doi senzori în infraro u	62
2.6. Concluzii	66
3. Senzori i interfe e de comunica ie pentru asistarea persoanelor cu deficien e de vedere.....	68
3.1. Senzori utiliza i într-un sistem pentru asistarea persoanelor cu deficien e de vedere	68
3.1.1. Senzori ultrasonic	68
3.1.2. Senzori de pozi ie	72
3.1.3. Accelerometrul	75
3.1.4. Camera video.....	78
3.1.5. Senzori utiliza i pentru naviga ie global	81
3.2. Interfe e de comunica ie om-ma in pentru persoane cu	

deficien e de vedere	82
3.2.1. Metode de comunica ie audio	83
3.2.2. Comunica ie audio biaural	83
3.2.3. Comunica ie audio bazat pe func ii de transfer HRTF	85
3.2.4. Comunica ie bazat pe sinteza vorbirii	88
3.3. Concluzii	90
4. Procesarea CNN a imaginilor pentru asistarea persoanelor cu deficien e de vedere	92
4.1. Introducere. Motiva ia introducerii proces rii imaginilor utilizând tehnologia re elelor neuronale celulare	92
4.2. Proces ri CNN elementare ale imaginii	93
4.2.1. Metode de segmentare a unei imagini, bazate pe detec ia CNN a muchiilor	93
4.2.2. Metrica undei neliniare CNN pentru compararea dimensiunilor a dou obiecte din imagini	96
4.3. Algoritm CNN de corela ie pentru asistarea persoanelor cu deficien e de vedere	101
4.3.1. Analiza gradului de asem nare dintre dou imagini	101
4.3.2. Coeficientul de corela ie dintre dou imagini	102
4.3.3. Algoritm CNN pentru calculul corela iei între dou imagini	103
4.3.4. Testarea algoritmului CNN pentru corela ia imaginilor	105
4.3.5. Implementarea FPGA a algoritmului CNN pentru corela ia imaginilor	107
4.4. Concluzii	111
5. Sistem integrat pentru asistarea în deplasare a persoanelor cu deficien e de vedere	113
5.1. Introducere	113
5.1.1. Dispozitive mobile cu sistem de operare Android	113
5.1.2. Aplica ii de asistare	114
5.2. Mediu integrat de asistare	116
5.3. Caracteristicile tehnice ale sistemului de asistare	120
5.4. Mediul de programare	124
5.5. Aplica ia de detec ie a obstacolelor	125
5.6. Aplica ia Android pentru asistare	125
5.6.1. Interfa a principal a aplica iei de asistare	128
5.6.2. Activitatea Battery, Time and Date	131
5.6.3. Activitatea Call Someone	131
5.6.4. Activitatea OCR (Optical Character Recognition)	133
5.6.5. Activitatea GPS Guidance	135
5.6.6. Activitatea Indoor Guidance	138
5.7. Testarea sistemului de asistare	140
5.8. Concluzii	145
Contribu ii	147
Bibliografie	150

Introducere

Persoanele cu deficiențe de vedere se constituie într-o categorie importantă în cadrul populației globului, numărul acestora fiind estimat cu câțiva ani în urmă, potrivit studiilor, la 11,4 milioane de oameni [1] numai în Statele Unite, la 7,4 milioane [2] în Europa iar în Japonia la 307 mii, din care 65 de mii complet orbi [3]. Unele persoane se nasc fără vedere sau cu vedere foarte slabă, pe când altele își pierd vederea în urma unui accident sau a unei boli, precum diabetul, sau datorită procesului natural de îmbătrânire, în special peste vârsta de 40 de ani. Pentru unii pierderea vederii este brusc în timp ce pentru alții poate fi gradată [4].

Dintre cele 5 simțuri pe care un om le are, simțul văzului este cel mai important, el aducând cea mai mare cantitate de informație din mediul înconjurător în creierul uman. În lipsa vederii omul devine dezorientat și încearcă să se bazeze pe celelalte simțuri pentru a-și duce existența în această lume. Mobilitatea este capacitatea cea mai drastic afectată de către deficiența vizuală, afectând astfel deplasarea și munca, iar ca urmare crește rata omajului în rândul acestor persoane (74%) [5].

Pe parcursul timpului s-au încercat diverse metode de ajutorare a acestor persoane, începând cu ajutorul dat de o altă persoană umană sau de un câine și ajungând la diferite sisteme tehnice senzoriale, care încearcă să dea o independență persoanei în cauză și totodată încearcă să fie cât mai eficiente.

Problemele ce apar în cazul persoanelor cu deficiențe de vedere sunt similare cu cele legate de deplasarea roboților mobili, astfel încât se pot folosi metodele utilizate în domeniul roboticii.

Acest domeniu, al roboticii, l-a fascinat pe om, odată cu apariția conceptului de robot și-l fascinează tot mai mult în zilele noastre. Este o provocare pentru omenire, încercarea de a crea mașini care să reproducă activitățile umane, mai bine, mai repede, fără puțină deosebire și nu în ultimul rând, să fie activități comandate sau aflate sub totală subordonare a ființelor umane. La început, precum vedem în filme, predomină ideea unui robot umanizat, pentru că ulterior, să se mai renunțe din pretenții datorită neputinței de a realiza acest lucru. În cele din urmă a contat faptul că robotul poate executa funcțiile dorite, chiar dacă înfundată în zona sa nu mai este umanizată.

Domeniul roboților mobili cunoaște o continuă dezvoltare, subiectul fiind tot mai mult abordat de către cercetători din cele mai diverse domenii de specializare. Motivele care au dus la interesul crescut pentru acest domeniu sunt două. Primul este potențialul ridicat de aplicabilitate al roboților mobili în diverse domenii de activitate, iar al doilea este progresul crescut în domeniul tehnicii, în ce privește unitatea de calcul, senzorii, tehnologiile de implementare a acestora. Astfel avem de-a face cu roboți tot mai inteligenți, din ce în ce mai autonomi dar și disponibili la un preț tot mai scăzut.

Un capitol special în acest domeniu îl reprezintă sistemele robotice care asistă în deplasarea persoanelor cu deficiențe de vedere. Aceste sisteme robotice „beneficiază” tocmai de un mediu de desfășurare similar cu cel al roboților mobili exterior, adică un mediu nestructurat, cu variații bruște, cu modificări permanente, cu condiții de mediu (temperatură, umiditate, iluminare) necunoscute. Trebuie

avute în vedere modificările bruște ale structurii și adâncimii terenului, contactele nedorite cu ale persoane sau obiecte, precum și dificultățile legate de traversarea străzilor sau situarea persoanelor în cadrul unor medii dens populate precum mijloacele de transport, oficiile, garajele, aeroporturile, etc.

Sarcina acestor sisteme devine mai dificilă prin faptul că trebuie să ghideze în deplasare ființe umane, mult mai importante decât orice mașină. La realizarea acestor sisteme de asistare, trebuie avute în vedere câteva cerințe de ordin tehnic, specifice situației: sistemele să fie portabile, să aibă cost redus, greutate redusă, autonomie energetică crescută și nu în ultimul rând, să fie ușor de folosit. Mai apare acum încă o notă de dificultate, aceea a comunicării informației între sistemele de asistare și persoanele asistate, care sunt persoane cu deficiențe de vedere.

Luând în considerare ultima cerință enumerată mai sus pentru aceste sisteme, următoarea în folosire, putem spune că aceasta este foarte importantă și că eficiența unui sistem de asistare depinde foarte mult de împlinirea acestei cerințe, ceea ce devine în ziua de azi, necesitatea realizării unei bune comunicării între sistem și persoana în cauză.

Pentru ca sistemul senzorial să poată comunica informațiile provenite de la senzori către persoana asistată, se folosesc celelalte simțuri disponibile, adică pipitul și auzul.

Atât prin intermediul pipitului cât și prin intermediul auzului, se poate comunica informația necesară, însă transmiterea informației pe cale audio, deși se dovedește a fi uneori dificilă, datorită cercetărilor efectuate în ultimii ani și a evoluției tehnologice, aduce un plus de eficiență. S-a pornit de la comunicația informației prin sistemul audio stereo, unde se modificau caracteristicile semnalului audio, precum amplitudinea și faza semnalului, separat pentru fiecare ureche, iar redarea se realiza prin intermediul căștilor și s-a ajuns la realizarea unui sistem acustic virtual 3D, în cadrul căruia se generează sunete sau chiar se sintetizează vocea umană spațializată, în așa manieră încât persoana asistată să poată identifica poziția în spațiu a surselor virtuale de sunet sau voce, surse care comunică, de fapt, prezența unor obstacole în mediu. Acest ultim metod de comunicație amintit este des utilizat în prezent, dovedindu-se de fiecare dată eficacitatea, chiar dacă la ora actuală nu există o metodă de realizare a unui mediu virtual acustic perfect.

Sunt echipe de cercetare care preferă comunicația informației între om și sistem pe cale audio, dar prin sunete și nu prin vorbire, pentru a realiza o comunicație mai rapidă, fără erori de înțelegere pe cât posibil, și fără un efort prea mare din partea persoanei asistate.

O altă metodă de comunicație mult utilizată, cum era de înțeles, este utilizarea vorbirii, în fapt a sintezei vocale și a recunoașterii vorbirii de către sistemul de asistare, această modalitate de comunicare fiind adusă în prim plan odată cu apariția și evoluția dispozitivelor mobile.

O nouă abordare în privința asistării persoanelor cu deficiențe de vedere o constituie utilizarea camerelor de luat vederi de mici dimensiuni cu scopul de a detecta obiecte în imagini, a recunoaște diverse obiecte precum trecerile de pietoni, bancnote, semne de circulație sau numerele mijloacelor de transport, înlocuind astfel, măcar parțial, simțul vizual, pentru aceste persoane.

Astfel de camere de luat vederi sunt tot mai accesibile fiind disponibile în mai toate dispozitivele mobile aparute în ultimii ani pe piață.

Dispozitivele mobile gen smartphone sau tablet sunt tot mai folosite de către populație. Devenind populare, ele ajung să fie tot mai ieftine și tot mai performante.

Pe lângă prețul redus și performanța bună, acestea beneficiază și de autonomie energetică ridicată. În plus ele sunt dispozitive portabile, reduse ca dimensiuni, ca și greutate. Privind per ansamblu toate aceste beneficii, putem spune că dispozitivele mobile actuale îndeplinesc cerințele enumerate anterior pentru sistemele de asistare ale persoanelor cu deficiențe de vedere. Cu toate că aceste cerințe sunt îndeplinite, senzorii existenți nu satisfac pe deplin nevoile de asistare bazate pe navigație locală, ceea ce impune anexarea unor module senzoriale pentru a completa aceste nevoi.

Aceste dispozitive dispun în primul rând de o interfață tactilă, foarte utilă pentru asistare. Avem, de asemenea, o diversitate de senzori incluși în aceste dispozitive: senzor de accelerație, senzor magnetic, senzor de lumină, senzor de proximitate, compas, camere de luat vederi. Nu trebuie să uităm serviciile tot mai elaborate pe care ni le oferă odată cu avansul tehnologic față de precedent în istoria omenirii. Astfel beneficiem de servicii de telefonie GSM (Global System for Mobile Communications), 3G (third generation of mobile telecommunications technology) sau 4G (fourth generation of mobile telecommunications technology), comunicație de date GPRS (General Packet Radio Services), localizare prin GPS (Global Positioning System), servicii de localizare prin hărți, recunoașterea vorbirii și reproducerea sintetică a vorbirii. Luând în calcul toate aceste facilități putem spune că un astfel de dispozitiv mobil, având anexate module senzoriale devine sistemul tehnic de asistare optim pentru persoanele cu deficiențe de vedere.

Lucrarea de față abordează toate aceste aspecte enumerate mai sus, fiind structurată pe mai multe capitole după cum urmează:

Primul capitol face o trecere în revistă a mijloacelor de asistare a persoanelor cu deficiențe de vedere, realizate până în momentul de față. Se pornește de la cele mai simple metode de asistare și se intră în detaliu asupra sistemelor tehnice care utilizează diferite metode senzoriale inspirate din navigație locală utilizată în domeniul roboticii. Se prezintă pe urmă și sisteme care folosesc supervizare în procesul de ghidare, complementar metodelor bazate pe navigație locală.

Fiindcă aceste sisteme se inspiră din domeniul roboticii, al doilea capitol prezintă concepte de navigație folosite de către roboții mobili. În vederea planificării traiectoriei optime, se abordează utilizarea rețelelor neuronale celulare, cu scopul determinării rapide a traiectoriei optime de urmat. În acest sens, în acest capitol se prezintă algoritmi concepuți și testați pentru acest scop.

În scopul realizării practice a sistemului de asistare, capitolul 3 trece în revistă diferite tipuri de senzori și modul lor de utilizare. Se au în vedere, însă, doar senzorii propuși a fi utilizați de către sistemul de asistare prezentat în această lucrare. Având în vedere că aceste sisteme de asistare sunt destinate persoanelor cu deficiențe de vedere, capitolul 3 abordează și tema comunicației om-mășină, prezentând diverse interfețe de comunicație utilizate pentru acest tip de asistare.

Utilizarea camerei de luat vederi în scopul asistării implică o cercetare amplă, acest domeniu fiind și la ora actuală de un real interes. Cercetările efectuate de către echipa din care face parte și autorul au dovedit posibilitatea utilizării camerei de luat vederi în scopul asistării, utilizându-se rețele neuronale celulare, pentru reducerea timpului de procesare a informației și totodată asigurarea unor algoritmi eficienți pentru scopul propus. Astfel, în capitolul 4 sunt prezentate metode și algoritmi concepuți pentru detectarea optimă a obiectelor în imagine și pentru identificarea anumitor obiecte sau scene prin metoda corelației între două imagini.

Deși sistemele tehnice prezentate în capitolul 1 și-au dovedit utilitatea, ele lasă totuși de dorit în privința eficienței în asistare, astfel că autorul lucrării propune în capitolul 5 un mediu integrat complex compus dintr-un dispozitiv mobil și module senzoriale atașate, care să aducă un plus de eficiență în asistarea persoanelor cu deficiențe de vedere. Acest sistem se folosește de noile tehnologii MEMS (Microelectromechanical systems) și utilizează serviciile avansate de comunicație disponibile pe dispozitivele mobile, iar modulele senzoriale anexate se folosesc de metode de navigație locală pentru detectarea de obstacole. Pe parcursul capitolului sunt prezentate în detaliu caracteristicile tehnice ale sistemului, aplicațiile software utilizate pe dispozitivul mobil și pe modulul anexat, metodele utilizate pentru asistare, senzorii care stau la baza asistării, precum și modalitățile în care informația este comunicată bidirecțional între persoanele asistate și sistemul de asistare.

Lucrarea de față este rezultatul cercetării aplicative efectuate pe parcursul a mai multă ani de către autor în cadrul unui colectiv de cercetare, colectiv care a beneficiat de implicarea efectivă a conducătorului științific al acestei teze de doctorat. În permanență în cadrul acestei activități de cercetare atenția a fost îndreptată spre nevoile și interesul „Omului cu deficiențe de vedere”. De aceea, scopul primordial urmărit a fost realizarea practică, efectivă, a unui sistem de asistare eficient care să se poată utiliza în viața de zi cu zi.

1. MIJLOACE TEHNICE DE ASISTARE A PERSOANELOR CU DEFICIENŢE DE VEDERE

După cum vom vedea în continuare, există o mare varietate de sisteme de asistare în deplasare, a persoanelor cu deficiențe de vedere. Unele dintre aceste sisteme se bazează pe diferiți senzori și folosesc o metodă de navigație locală, similară cu cea din domeniul roboticii, iar altele utilizează o metodă de navigație globală, în care accentul cade pe comunicația informației la distanță, reușindu-se astfel o coordonare și o supraveghere a deplasării, însă foarte puține dintre sistemele existente până în prezent fac uz de ambele metode de navigație.

1.1. Metode clasice de asistare a deplasării

Cea mai veche metodă de ajutorare a persoanelor cu deficiențe de vedere, și totodată cea mai ieftină, excluzând ajutorarea de către o altă persoană, este utilizarea bastonului alb [6][7]. Bastonul alb este mult utilizat pentru detectarea solului, a diferitelor suprafețe, a scrilor, a gropilor și a altor obstacole întâlnite. Este de asemenea ușor și se poate realiza sub formă telescopică, pentru a se putea reduce la mici dimensiuni. Problema principală o reprezintă necesitatea efectuării a mai mult de 100 de ore de antrenament, ceea ce reprezintă uneori o dificultate și din punct de vedere financiar [7]. Pe de altă parte, în cazul utilizării bastonului, este necesară o explorare activă a mediului cu ajutorul bastonului, eventual și a mâinii, pentru a se distinge forma și dimensiunea obiectelor. Acest efort substanțial necesar, precum și multele ore de antrenament, constituie dezavantaje importante, care fac ca această metodă să nu fie mult umităoară. Este totuși cea mai populară pentru că este cea mai la îndemână.

Este de la sine înțeles că o persoană cu deficiențe de vedere își va folosi mai mult celelalte simțuri pe care le posedă. Își va folosi mâinile pentru a pipăi diferitele obiecte întâlnite, pentru a desluși forma și dimensiunile lor, de asemenea își va folosi auzul pentru a localiza în spațiu posibile obstacole, umane sau materiale, mirosul, pentru a determina apropierea de persoane sau ceva familiar, apropierea de ceva plăcut sau chiar neplăcut.

O altă metodă clasică este utilizarea câinilor dresaj. Însă pentru a dresa un câine sunt necesare multe ore de antrenament, fapt care se traduce în costul ridicat al unui astfel de câine: între 12.000 și 20.000 \$ în anul 1995. În plus, câinele are o viață relativ scurtă, și are nevoie și de îngrijire, care, pentru o persoană nevăzătoare poate constitui o problemă, mai ales dacă persoana este în vârstă. Astfel, doar 1% din rândul acestor persoane în S.U.A., au câini dresați [6][7].

Astfel, realizarea unor mijloace tehnice care să asiste deplasarea unei persoane cu deficiențe de vedere este chiar necesară. Există însă unele condiții care se impun unui astfel de sistem tehnic. Trebuie ca acesta să aibă greutatea cât mai mică, să fie portabil, să existe o comunicație (interfață) bună între om și sistem, să fie simplu de utilizat și să nu aibă un cost prea ridicat.

1.2. Sisteme de asistare senzoriale bazate pe navigație locală

Problemele legate de asistarea persoanelor cu deficiențe de vedere sunt similare cu cele din domeniul roboților mobili. De aceea se utilizează metodele și tehnicile din acest domeniu de cercetare.

În ultimele decenii au fost realizate sisteme tehnice bazate pe senzori, destinate a îmbunătăți mobilitatea nevăzătorilor din punct de vedere al siguranței și al vitezei de deplasare. Dezvoltarea tehnologiilor radar și ultrasonice au permis realizarea unor dispozitive numite sisteme electronice de asistare a deplasării (electronic travel aids - ETA). Din punct de vedere funcțional, majoritatea acestor sisteme sunt similare sistemelor radar. Un fascicul laser sau ultrasonic este emis în spațiu într-o anumită direcție și este receptat apoi fasciculul reflectat de către obiectele întâlnite în cale. Sunt detectate în general obstacole situate la o distanță mai mică de 5 metri iar informația obținută este furnizată utilizatorului [7]. Există un dezavantaj al acestei metode, acela că este necesară o explorare continuă a mediului de către sistemul de asistare, ceea ce duce la o reducere a „vitezei de reacție” și la un consum important de energie dintr-o sursă care se presupune a fi portabilă și de mărime cât mai mică.

Majoritatea acestor sisteme, echipate cu senzori, se bazează pe navigația locală, adică va da informații cu privire la modificarea dinamică a mediului într-o zonă relativ restrânsă, de câțiva metri, neputând însă, să dea informații cu privire la ruta de urmat a persoanei în cauză.

1.2.1. Sistemul LaserCane

Un prim sistem de asistare, mai simplu, este C5 LaserCane. El este, de fapt, un baston echipat cu senzori laser, care poate detecta obstacolele la trei nivele: sus – la nivelul capului, la mijloc – până la distanța de 1,5÷3,5 metri și jos – la nivelul solului. Se folosește metoda de triangulare laser bazată pe utilizarea a 3 emițători laser și a 3 fotodiode ca receptori. Astfel se evită coliziunea cu obiecte suspendate sau de mărime medie, și se detectează modificările bruște ale terenului, cum ar fi apariția unor scări [7]. În figura 1.1 putem vedea un astfel de baston laser.

1.2.2. Sistemul Teletact

Un alt sistem de asistare, numit Teletact, care poate fi observat în figura 1.2, folosește radiația laser pentru a detecta distanța până la obstacolele apărute.

Distanța până la primul obstacol detectat de fasciculul laser este măsurată cu o precizie de 1% în gama 10cm ÷ 10m [9]. Informația referitoare la poziția obiectului este comunicată persoanei atât printr-o interfață tactilă cât și una sonoră. Pentru interfața tactilă sunt folosite două dispozitive vibratoare localizate pe două degete diferite. La primul deget apare o vibrație discretă pentru distanța între 3 și 6 metri și o vibrație mai puternică pentru distanța între 1,5 și 3 metri. La cel de-al doilea deget se generează tactilă o „alertă” dacă distanța la obiect este mai mică de 1.5 metri.

Pentru interfața sonoră, distanța este codată până la 15 metri. 28 de note muzicale diferite corespund la 28 de intervale de distanță, inegale, cu tonalitatea mai ridicată la distanțele reduse.



Figura 1.1: Sistemul LaserCane.



Figura 1.2: Sistemul Teletact.

Cea mai important informa ie nu este identificarea notelor muzicale, ci sensul de cre tere sau descre tere a tonalit ii, cât i perioada de timp mai scurt sau mai lung dintre note, semnificând o apropiere mai lent sau mai rapid fa de obstacole. Percep ia obstacolelor mici poate fi f cut datorit dimensiunii mici a fascicolului laser. De asemenea, fascicolul laser are o focalizarea foarte bun i la distan , ceea ce duce la perceperea bun a obstacolelor i la distan . Teletact se poate folosi împreun cu bastonul alb, unul fiind inut într-o mân , iar cel lalt în alt mân . Pentru a se identifica un obstacol este necesar s se scaneze mediul. Se realizeaz 40 de m sur tori pe secund . În figura 1.3 se prezint principiul de func ionare al sistemul Teletact.

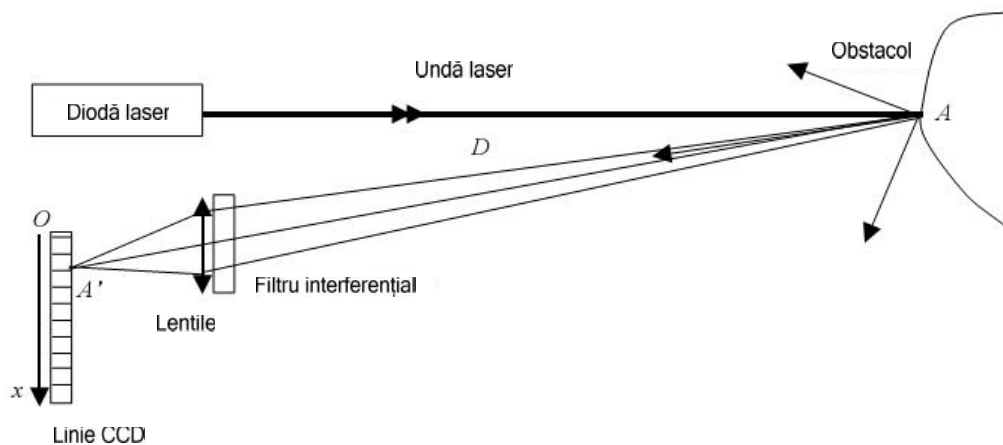


Figura 1.3: Principiul de funcționare al sistemului Teletact.

O diodă laser emite un fascicul de 1 miliwat cu lungimea de undă de 670 nm. Fascicolul întâlnește un obstacol la distanța D , iar reflexia este detectată printr-un filtru de interferență ca o deplasare pe o bară de fotoreceptori. Principala dificultate este însă asigurarea imunității față de lumina naturală, mai ales în zilele de vară, fapt care se poate realiza prin adugarea unor sisteme adiționale, optice și electronice.

Cum este de înțeles în acest sistem de ajutorare cere existența unor ore de antrenament pentru a putea fi folosit. Este posibil, de asemenea, să se folosească atât sistemul Teletact, într-o mână, cât și bastonul alb în cealaltă mână.

1.2.3. Sistemul Sonicguide. K.A.S.P.A.

Sistemul de asistare sonic binaural Sonicguide, conceput în forma unei rame de ochelari, este bazat pe radiația ultrasonică cu fascicul larg (deschidere de 55 de grade), iar semnalele ecou de la receptori sunt prelucrate și furnizate separat celor două urechi, diferența interaurală rezultată permițând utilizatorului să determine direcția obstacolului. Distanța până la un obiect este transpusă în frecvența semnalului audio, furnizându-se astfel informații clare despre poziția obiectului. Un avantaj al acestui sistem față de cele anterioare este că nu necesită o explorare activă din partea utilizatorului [7].

O versiune îmbunătățită a sistemului Sonicguide este cel numit KASPA, care este purtat de utilizator pe frunte. Acest sistem creează o imagine auditivă a obiectelor din fața utilizatorului, permițând acestuia prin antrenament, să distingă diferite obiecte și chiar diferite suprafețe din mediu [7].

1.2.4. Sistemul NavBelt

NavBelt este un sistem mai avansat format dintr-un calculator portabil și o matrice de senzori dispuse de-a lungul unei centuri, ca în figura 1.4. Sunt folosiți 8 senzori ultrasonici, fiecare acoperind un sector de 15° , în total acoperind un sector de 120° [7].

Calculatorul procesează informațiile venite de la senzori și, pe baza unui algoritm, comandă deplasarea în direcția potrivită a unui robot mobil. Schimbarea direcției robotului mobil, reprezentat în figura 1.5, este sesizată de către persoana cu deficiențe de vedere, urmând astfel traseul care nu are obstacole în întâmpinare.

NavBelt poate funcționa în două moduri: ghidare, caz în care detectează obstacolele din fața sa, modificând direcția robotului mobil, care este urmat de persoana, și modul imagine, în care sistemul scanează mediul și realizează o imagine virtuală acustică a lui, pe care o transmite mai apoi persoanei.

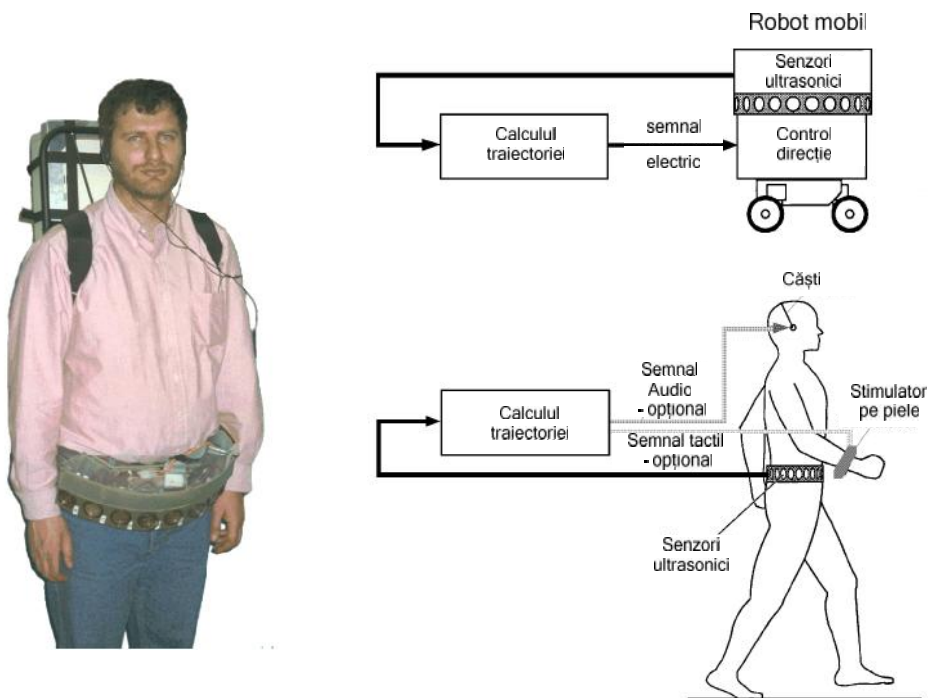


Figura 1.4: Prototipul sistemului NavBelt. Figura 1.5: Principiul de funcționare.

În modul ghidare sistemul poate conduce persoana neviztoare la locaia dorită, cum ar fi o stradă, o clădire, pe care aceasta o precizează, cu ajutorul unui sistem de poziționare global GPS. Pentru ghidare se folosesc semnale audio stereo, furnizate la căști. Dacă direcția de mers coincide cu cea planificată, atunci semnalul audio generat are o frecvență joasă (250Hz). Se folosește o frecvență joasă pentru ca persoana să fie capabilă să detecteze și sunete provenite direct din mediul înconjurător. Dacă, în schimb, persoana merge pe o direcție diferită de cea planificată, într-o limită de $\pm 5^\circ$, atunci se emite un semnal sonor de frecvență înaltă.

În cazul modului imagine, principiul de funcționare este cel al radarului, iar mediul acustic generat în căștile stereo, este un sunet care se deplasează „de la o ureche la alta”, în concordanță cu deplasarea spotului de scanare, iar caracteristicile audio ale acestuia sunt modificate în funcție de detecția sau nu a obiectelor, ca în figura 1.6.

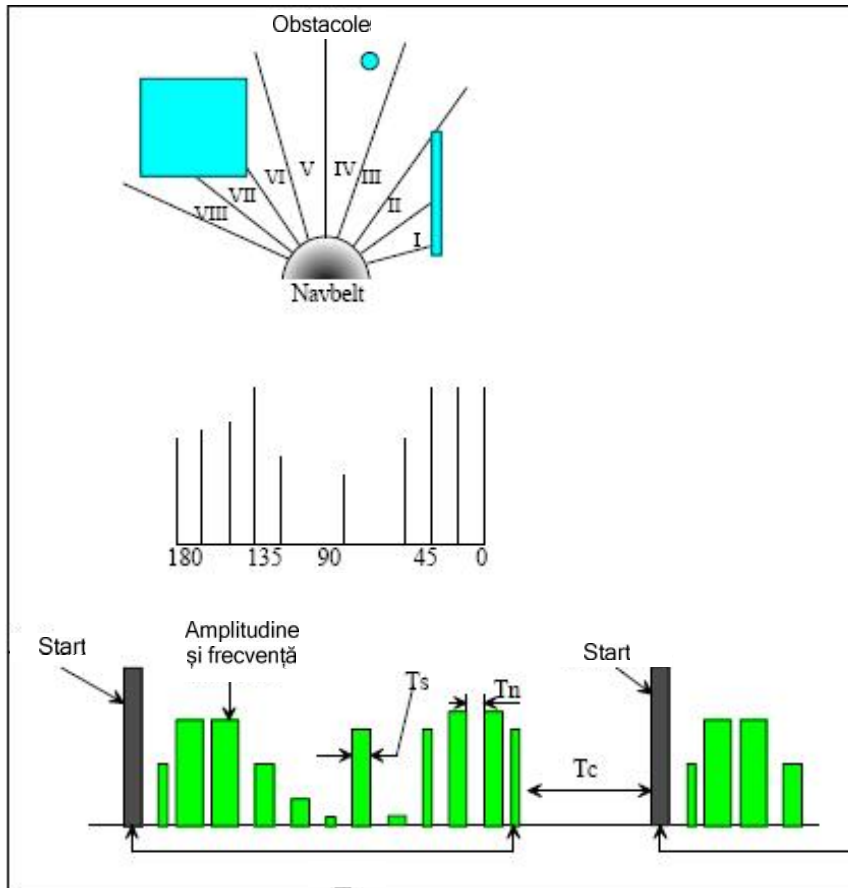


Figura 1.6: Modul de asistare imagine.

Astfel, acest mod de lucru oferă o imagine virtuală acustică a mediului. Obstacolele sunt detectate de senzorii ultrasonici, iar informația rezultată este reprezentată într-o histogramă polară, așa cum apare în figura 1.6. Scanarea se face pe pași de 15° acoperind în final 180° .

Din experimentele care s-au făcut, s-a observat că NavBelt poate detecta obiecte de aproximativ 10 mm, aceasta dacă obiectele sunt staționare și dacă persoana cu deficiențe de vedere se mișcă cu o viteză redusă (sub 0,4 m/sec), obiectele de peste 10 cm le poate detecta la orice viteză de deplasare. S-au încercat diferite structuri de mediu. Dezavantajul ce s-a evidențiat a fost imposibilitatea de a se detecta obiecte suspendate sau trepte în coborâre. În modul ghidare deplasarea se poate face cu viteză normală, dar în modul imagine, viteza de deplasare trebuie redusă la 0,3 – 0,4 m/sec.

Bineînțeles că e nevoie de până la 100 de ore de antrenament, după estimarea autorilor, pentru ca sistemul să poată fi utilizat în asistare. Acest mod de asistare folosește o reprezentare bidimensională a mediului în format audio, însă nu este totdeauna suficient, pentru că în mediu pot să apară și obstacole la nivelul capului sau al solului, care pot să nu fie detectate de către NavBelt.

1.2.5. Sistemul Guide Cane

Problemele pe care le-am întâlnit la sistemul Navbelt în modul de lucru imagine, au fost luate în vedere la acest nou sistem de asistare, care este un fel de câine de ghidare robotic. Acest metod de asistare a fost des întâlnit în literatura de specialitate încă din anul 1981.

Asemănător cu bastonul alb, Guide Cane este un baston mobil pe două roți care este deplasat de persoana cu deficiențe de vedere în fața sa [8], precum se vede în figura 1.7. Pentru a detecta obstacolele, Guide Cane este echipat cu 10 senzori ultrasonici, care sunt dispuși pe orizontală, acoperind împreună un sector de 120°. Pe cele două roți mai este plasat un computer portabil de mică dimensiune. Pe baza datelor primite de la senzori și a unui algoritm implementat, se detectează distanța până la obiectele întâlnite și în cazul detectării unor obiecte, sistemul alege traiectoria de urmat, deci se va schimba direcția de deplasare a sistemului, iar persoana nevăzătoare va sesiza direcția prin bastonul atașat și o va urma. Pe baston a mai fost plasat un comutator prin care persoana poate schimba în mod voit direcția de deplasare a sistemului.

În figura 1.8 se observă modul de funcționare a sistemului Guide Cane, iar în figura 1.9 avem o vedere mărită a sistemului în realitate.

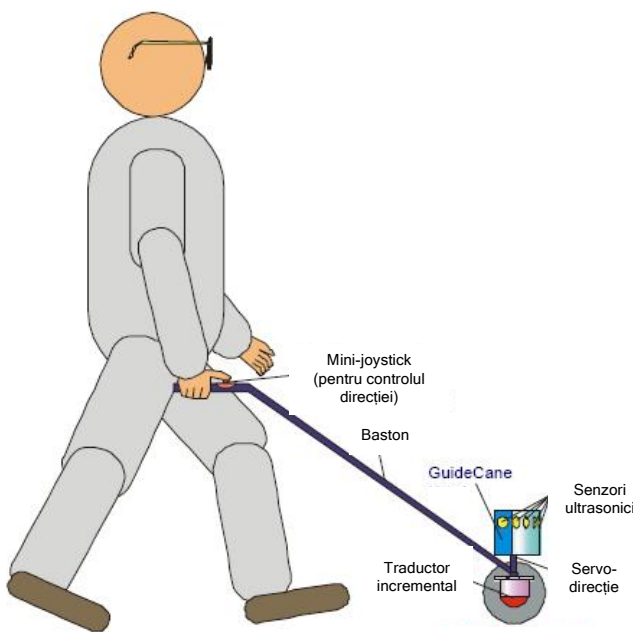


Figura 1.7: Sistemul Guide Cane.

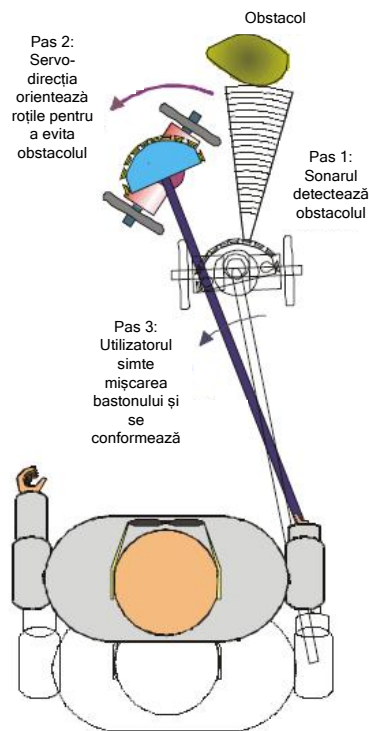


Figura 1.8: Modul de funcționare.

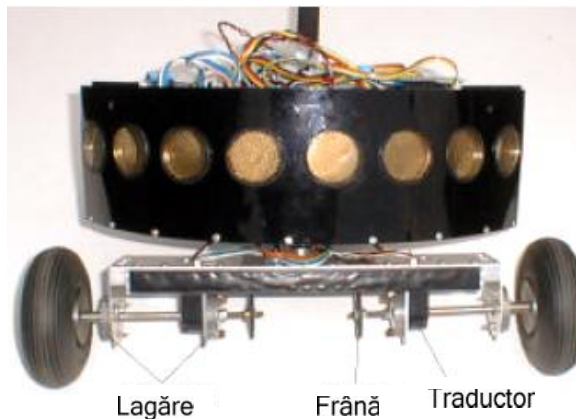


Figura 1.9: Prototipul sistemului Guide Cane.

În prima realizare a autorilor, la sistemul NavBelt, informațiile provenite de la senzori erau transformate în mediu virtual acustic, iar persoana avea nevoie de ore de antrenament și chiar de un efort permanent ca să perceapă informația codată audio. În schimb, la sistemul Guide Cane, al celorlalți autori, care este diferit de primul, pe baza informațiilor senzoriale, se ia o decizie privind traiectoria de urmat, iar această decizie se transformă în acțiunea de deplasare a sistemului pe traiectoria aleasă, comunicarea acestei decizii reducându-se în acest caz la sesizarea modificării traiectoriei de către persoane prin intermediul bastonului atașat.

Pe baza testelor efectuate s-a observat o deplasare cu mult mai mare a urii în cazul sistemului Guide Cane decât în cazul primului. Prototipul sistemului Guide Cane realizat a fost testat pe 10 persoane cu vârsta cuprinsă între 20 și 65 de ani. Trei dintre subiecți au fost complet orbi, toți fiind utilizatori ai bastonului alb. Testele au fost efectuate în interiorul clădirilor pe o perioadă de 5 – 15 minute. Concluzia generală a testelor efectuate a fost că toți subiecții au avut nevoie de doar câteva minute pentru a se obișnui cu sistemul de asistare, reușind apoi să se deplaseze cu o viteză obișnuită de peste 1 m/sec [8].

Autorii sistemului au menționat îmbunătățirile care doresc să le facă pe viitor, și anume: mărirea numărului de senzori la 13 pentru a mări sectorul de scanare la 195° ; echiparea roților cu frâne, care pot fi acționate de persoana în cauză sau de computer pentru a limita viteza de deplasare a persoanei; mărirea numărului de roți la 3 pentru a fi mai ușor de deplasat de către persoane, și pentru ca poziția sonarului să fie totdeauna una orizontală; includerea în sistem a unei componente de sinteză vocală; a unei componente de navigație globală; îmbunătățirea achiziției de informație senzorială prin așa-numita metodă „computer vision”.

O problemă în deplasarea persoanelor cu deficiențe de vedere o constituie apariția treptelor, problemă pe care sistemul o rezolvă separat pentru treptele coborâtoare și pentru cele urcătoare, cu ajutorul mai multor fascicole de ultrasunete, ca în figura 1.10.

Cel din următor prototip al acestui sistem este prezentat în figura 1.11.

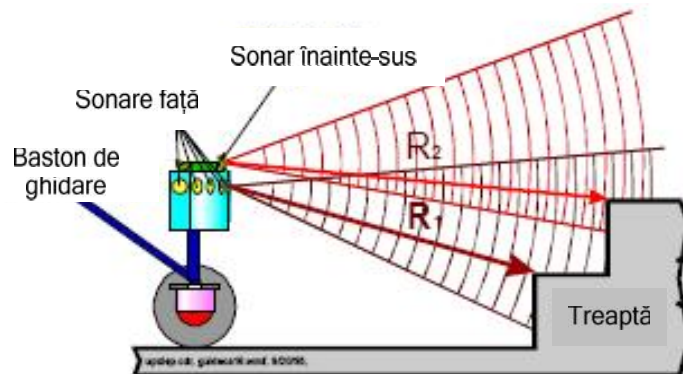


Figura 1.10: Detecția treptelor.

Din punct de vedere hardware, a fost utilizat un sistem cu procesor de tip 486 la frecvența de 33MHz, cu o memorie de 125MB de tip hard disk, iar sursa de energie constă din 12 baterii reîncărcabile NiMH, care ofereau energie pentru 2 ore.

Precum la sistemul anterior, Navbelt, se realizează o scanare a mediului de către senzorii ultrasonici, la o rată de 10 Hz pentru fiecare 10 senzori, astfel încât sistemul realizează 100 de scanări pe secundă.

Prototipul actual s-a realizat și testat în Laboratorul de Roboți Mobili de la Universitatea din Michigan.



Figura 1.11: Ultimul prototip al sistemului Guide Caine.

1.2.6. Sistemul ETA

Un grup de cercetători din Korea au realizat așa-numitul sistem ETA (Electronic Travel Aids), care asistă persoana cu deficiență de vedere, prin transformarea semnalului din stereo ultrasonic în sunet binaural [10]. Conceptul sistemului apare în figura 1.12.

Sistemul are două funcții importante: prima funcție a sa indică subiectului dacă există sau nu obstacole în direcția respectivă, iar a doua, realizează o recunoaștere a mediului, detectând distanța până la obiecte.

Pentru achiziția informației cu privire la mediu se folosesc două subsisteme, unul la nivelul capului, având doi senzori ultrasonici, situat pe rame de ochelari, iar al doilea, la nivelul solului, situat pe un baston mobil echipat cu roți. Cu ajutorul celui de al doilea subsistem, de la nivelul solului, se pot detecta variații bruște ale terenului, în genul cavităților sau a treptelor.

Persoana cu deficiențe de vedere se deplasează împingând sistemul ETA, înaintea sa precum ar folosi un baston alb. Fiindcă sistemul se deplasează pe roți, persoana poate detecta tactil prezența în fața sa a unor denivelări, a unor scări.

Detectarea distanței se face pe baza timpului de zbor, adică se emite un fascicul de ultrasunete, iar ecoul generat de reflexia pe obiectele întâlnite, este captat de doi senzori dispusi la o mică distanță între ei.

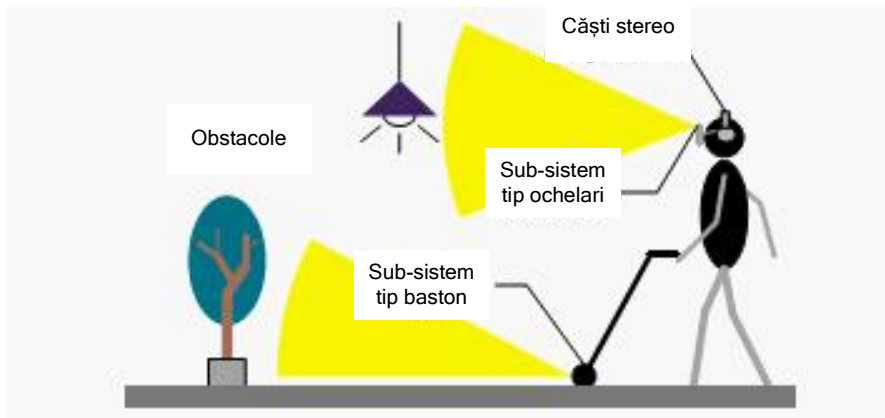


Figura 1.12: Conceptul sistemului ETA.

Apoi se calculează diferența de timp între semnalele primite de către senzori, de la același ecou. Se folosesc următoarele ecuații principale.

$$\begin{aligned} \left(l_x + \frac{L}{2}\right)^2 + l_y^2 &= l_1^2 \\ \left(l_x - \frac{L}{2}\right)^2 + l_y^2 &= l_2^2 \\ l_x &= \frac{l_1^2 - l_2^2}{2L} \quad (1.1) \\ l_y &= \sqrt{\frac{l_1^2 + l_2^2}{2} - \frac{L^2}{4} - l_x^2} \\ \alpha &= 90^\circ - \arctan 2(l_y, l_x) \end{aligned}$$

În aceste ecuații, L este distanța dintre transmișori, l_x este distanța din centru, la obstacol pe direcția x , l_y este distanța din centru la obstacol pe direcția y și α este unghiul direcției din centru la obstacol. În general erorile produse sunt de 2–3%.

După cum se poate observa în figura 1.13, transmiterea și recepția semnalului de la cele 4 transmi-toare ultrasonice, este coordonată de un microcontroler. Transmi-torii ultrasonici permit $100V_{v-v}$ ca tensiune de intrare pentru o zonă largă de detecție dar fiindcă alimentarea se face de la baterii reîncărcabile, și consumul de energie este foarte important din acest punct de vedere, autorii articolului [10] au recurs la un compromis, acela de a aplica maxim $\pm 15V$ ($30V_{v-v}$). Eco-ul semnalului este amplificat și filtrat, apoi comparat cu o tensiune de referință. Comparatorul este cel care generează o întrerupere hardware către microcontroler. Sistemul este construit în jurul microcontrolerului de 16 biți AM188™ES, de înaltă performanță, cu un ceas de 40MHz, 1 Mbit memorie ROM, 1Mbit memorie SRAM.

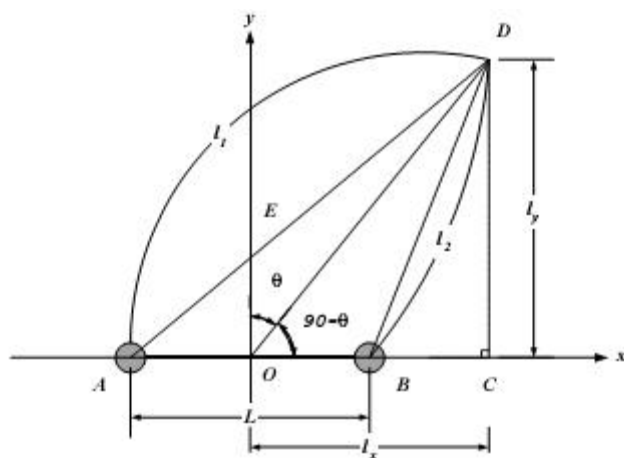


Figura 1.13: Principiul de calculare al timpului de zbor.

Transmi-torii ultrasonici sunt realizați de firma Murata și au unghiul de emisie și recepție de 40° , dimensiune mică, de 16mm, greutate de doar 2g și frecvență de rezonanță de 40KHz.

Transmi-torii ultrasonici sunt dispuși în perechi, doi dintre ei atașați pe rama ochelarilor, iar alții doi atașați de sistemul mobil cu baston.

Cum bine știm că simțul auditiv este al doilea simț după viziune, din punct de vedere al cantității de informație receptate și astfel, din punct de vedere al importanței pentru om, acest sistem de asistare folosește auzul pentru a comunica informațiile provenite de la senzori, persoanei în cauză. Există două modalități de comunicație, una de nivel înalt – limbajul, care însă creează probleme la reproducerea sa, din punct de vedere tehnic, iar a doua, de nivel scăzut – transmiterea sunetelor.

Această a doua metodă de transmitere a informației este cea utilizată de către sistemul ETA, bazându-se pe faptul că omul poate recunoaște nu doar sunetele, ci chiar poziția în spațiu a sursei sonore, datorită diferențelor percepute de către cele două urechi.

Poziția obiectului pe orizontală este transpusă în amplitudinea și diferența interaurală de fază a semnalului audio [11], azimutul, sau poziția pe verticală este transpusă în timbrul sonor [12], iar proveniența datelor de la un subsistem sau altul (cel de la nivelul solului sau cel de la nivelul capului) este transpusă în modificarea benzii semnalului audio, ca în figura 1.15.

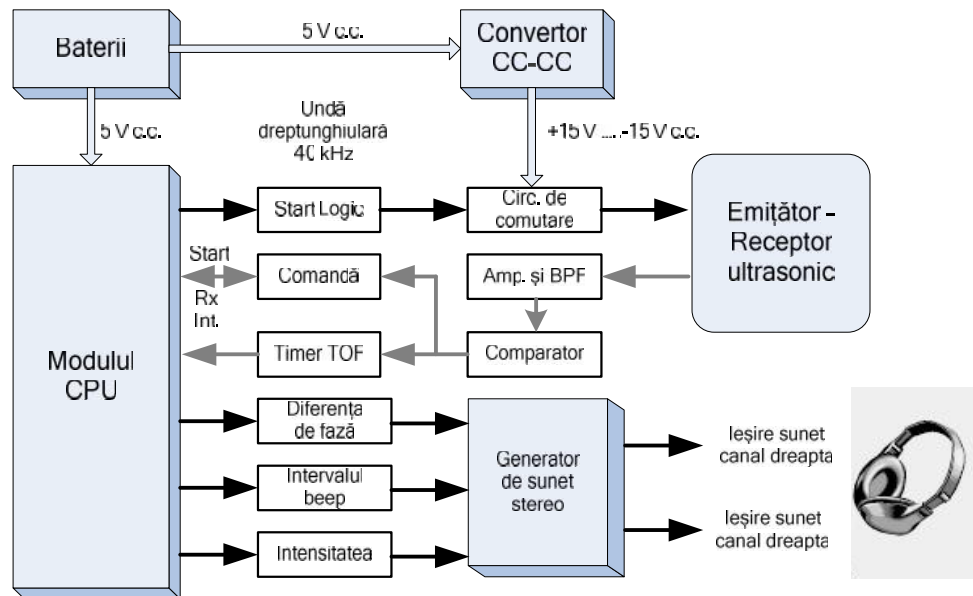


Figura 1.14: Diagrama bloc a sistemului ETA.

Pentru informații provenite de la sistemul senzorial aplicat pe ochelari, semnalul audio generat este într-o bandă de frecvență joasă, iar pentru informații provenite de la sistemul senzorial mobil de la nivelul solului, semnalul audio va fi într-o bandă de frecvență înaltă.

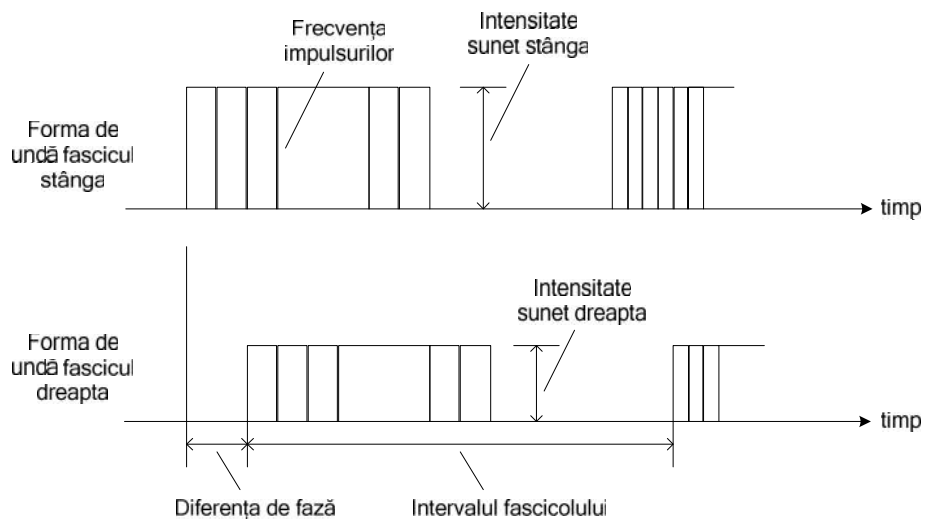


Figura 1.15: Modificarea caracteristicilor semnalului audio.

În cadrul experimentelor, au fost transmise pulsuri ultrasonice cu intervale de timp între ele, pentru a lăsa timpul necesar procesării ecoului precedent și a eliminării ecourilor false provenite din reflexii multiple pe diferite obiecte. Cu acest sistem s-au realizat mai multe teste și s-au obținut rezultate mulțumitoare, cu erorile de până la 5% [10]. S-au folosit pentru alimentare 4 baterii reîncărcabile de 1,2V, 1600mAh, de tipul NiMH, iar curentul absorbit de către sistem este de 210mA, ceea ce înseamnă că s-a obținut o autonomie de aproximativ 8 ore, care este un timp mulțumitor, pentru a putea fi reîncărcate bateriile. O parte a sistemului se află pe ramele unor ochelari, altă parte, se află purtată la centură, iar alta este sistemul senzorial mobil de la nivelul solului.

1.2.7. Sistemul de asistare SUPERBAT

O echipă de cercetare din Ungaria [14] a realizat un alt sistem de asistare care, similar cu cel anterior, realizează o ghidare audio a persoanei cu deficiențe de vedere, care transformă informația referitoare la poziția obiectului în semnal audio stereo, ca în figura 1.16.

Principalele funcții ale sistemului de asistare sunt: detectarea obstacolelor în fața utilizatorului prin intermediul ecografiilor ultrasonice și indicarea distanței și a poziției orizontale (2D) prin intermediul efectului stereo spațial; culegerea informațiilor din mediu prin intermediul unui subsistem radio. Subsistemul radio constă din stații de transmisie montate pe vehicule și clădiri publice și stații de recepție mobile purtate de către persoanele nevăzătoare. Sistemul este în particular folosit pentru a da informații de navigație privitoare la nodurile din trafic. Un sintetizator de voce inclus în sistem informează utilizatorul cu privire la datele relevante.

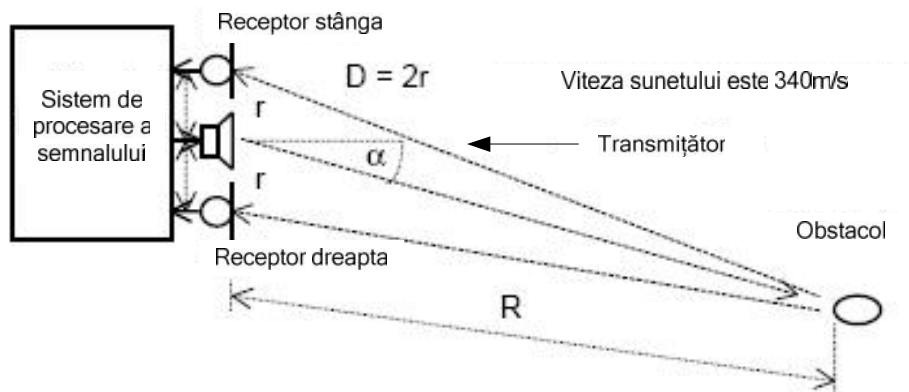


Figura 1.16: Principiul de detecție a poziției obiectului.

După cum menționează autorii, scopul lor a fost acela de a realiza un dispozitiv multifuncțional, eficient și ieftin, luând în considerare cerințele persoanelor nevăzătoare. Ca urmare, componentele sistemului au fost integrate într-o singură unitate de mici dimensiuni. Autorii au decis folosirea unui procesor de semnal (DSP), cu ajutorul căruia să realizeze o detecție a obstacolelor prin metoda ecografiilor și să comunice informația prin intermediul unui mediu virtual audio. În acest scop s-au utilizat un emițător ultrasonic și doi receptori, montați pe pălăria persoanei nevăzătoare.

24 1. Mijloace tehnice de asistare a persoanelor cu deficiențe de vedere

Pentru comunicarea informației, s-a realizat un mediu virtual spațial care s-a oferit persoanei senzația de plasare a sursei de semnal acolo unde este în realitate obstacolul, prin intermediul unui semnal stereo furnizat la căști. Sistemul de asistare a fost realizat și testat. Putem vedea prototipul în figura 1.17.



Figura 1.17: Prototipul sistemului SUPERBAT.

Acestui sistem i-a fost adăugată o componentă informațională radio, prin intermediul căreia, o voce sintetică prezintă informații referitoare la ruta de urmat. Emițătoarele radio, cu o rază de acțiune de 20 metri, vor putea fi puse în locuri aglomerate, precum stațiile de autobuz, oficiile, garajele, aeroporturile, pentru a da informații utile persoanelor cu deficiențe de vedere.

Sistemul a fost testat de persoane cu deficiențe de vedere. Forma de undă a semnalului audio a fost modulată în amplitudine, încercându-se reproducerea sunetului unor corzi. În cadrul testului au fost plasate diferite obiecte de dimensiune mai mare într-un spațiu închis mai restrâns și chiar au fost puse diferite persoane să traverseze prin zona respectivă. În final rezultatele testului au fost multumitoare, persoana nevăzătoare care a realizat testul fiind chiar entuziasmată menționând că este cel mai bun sistem de ajutorare pe care l-a încercat.

În concluzie, putem menționa faptul că sistemul este încă în faza de dezvoltare, dar o versiune experimentală a demonstrat că principiile utilizate de către sistem sunt viabile a fi folosite pentru asistare.

1.2.8. Sistemul de asistare RFID

Vladimir Kulyukin împreun cu grupul s u de cercet tori a realizat un sistem de asistare a persoanelor cu deficien e de vedere, cu naviga ie interioar , pe baza metodei de identificare a frecven ei radio (RFID - Radio Frequency Identification) [5], ca în figura 1.18. Mori i Kotani de la Universitatea din Yamanashi au realizat un robot numit HARUNOBU-6 [3], format dintr-un scaun mobil cu ro i, echipat cu un sistem vizual, sonar, un sistem diferen ial GPS (Global Positioning System), i un sistem GIS (Geographic International System) portabil. Pentru c au existat probleme legate de recunoa terea vizual a formelor, au utilizat metoda RFID pentru naviga ie. Tsukiyama [15] a utilizat de asemenea metoda RFID pentru sistemul s u de asistare. Prin aceast metod au putut localiza robotul în interiorul cl dirilor, în vederea superviz rii lui de c tre o alt persoan . Robotul a fost echipat cu 16 senzori ultrasonici, 8 în fa i 8 în spate. Ca interfa de comunica ie între sistem i persoana nev z toare, s-a folosit un sintetizator de voce bazat pe componenta software Microsoft Speech API 5.1.

Din punct de vedere al componentei hardware, s-a utilizat un laptop Dell Pentium 4 la frecven a de 1,6 GHz, cu o memorie RAM de 512 MB, conectat la o platform robotic cu microcontroler de tipul Pioneer 2DX. Comunica ia între cele dou platforme de calcul este realizat printr-un cablu de tip USB-serial.

Pe baza testelor efectuate s-au observat trei limit ri legate de modificarea vitezei de deplasare: sistemul r mâne perioade scurte, pe timpul transmisiei i al proces rii datelor, f r puțin a de reac iune, robotul nu poate detecta blocarea rutelor de urmat i imposibilitatea g sirii rutei libere în cazul unui astfel de blocaj al rutei.

Dezvoltarea sistemului de asistare i testele au fost realizate în dou locuri: Laboratorul de Asistare Tehnologic (ATL) de la Centrul USU pentru persoane cu disabilit i i Departamentul CS USU din cadrul Universit ii Utah. Trei participan i la teste au fost persoane complet nev z toare, iar dou persoane puteau percepe doar lumina.

To i participan ii au mers prima oar pe aceast rut i au trebuit s parcurg 40m. To i au reu it s ajung la destina ie, dar în final au remarcat ca nemul umitoare interac iunea dintre om i sistem. Spre exemplu to i au avut probleme de recunoa tere a vorbirii, iar concluzia final a fost c se folosesc mult mai u or de bastonul alb sau de câinii dresa i.

În figura 1.18 este prezentat acest robot mobil.

1.2.9. Sistemul de asistare cu display tactil

Displayul tactil este un dispozitiv creat cu scopul de a da senza ia de atingere direct a obiectelor, unei persoane nev z toare. El const în general dintr-o arie de contactori de mici dimensiuni, care se pot mi ca vertical, pentru a reliefa un obiect de detectat, precum se observ în figura 1.19.

O persoan cu deficien e de vedere se poate folosi de sim ul tactil la fel de bine ca de cel al auzului. De altfel este bine cunoscut metoda Braille de citire a textelor cu ajutorul degetelor.

Pe parcursul a câtorva decenii s-au dezvoltat diferite suprafe e cu senzori tactili baza i pe vibra ii, îns un grup de cercet tori de la Universitatea McGill din Canada, au realizat o suprafa cu senzori tactili care se bazeaz în exclusivitate pe stimularea lateral a pielii.



Figura 1.18: Naviga ia robotului mobil pe baza RFID.

Acest display tactil este compus dintr-o arie de 64 de actuatori piezoelectrice, conecta i la o membrană . Deforma iile membranei sunt transmise la o arie de 112 actuatori, care să creeze o senza ie tactilă laterală la degete [16].

Acest display tactil este conectat informa ional la senzori care scanează senzorial mediul și detectează apari ia unor obiecte, creând o imagine virtuală a mediului sub formă tactilă , imagine care este detectată , spun autorii, mai u or prin stimularea laterală a pielii degetelor. Aceste dispozitive generează o imagine în relief , dar pentru c actuatoarii pot să i varieze rapid starea, putem spune că avem de-a face nu cu o imagine tactilă ci cu un film tactil. Acești contactori, care se află la distan mic unul de altul, de ordinul a 1 mm, vibrează cu o anumită frecven , variind de la câ iva Hz la câ iva KHz.

Însă autorii s-au folosit în mod special de o metodă nouă , pe lângă cele men ionate anterior, aceea a stimulării laterale a degetelor, așa cum este prezentat în figura 1.20.

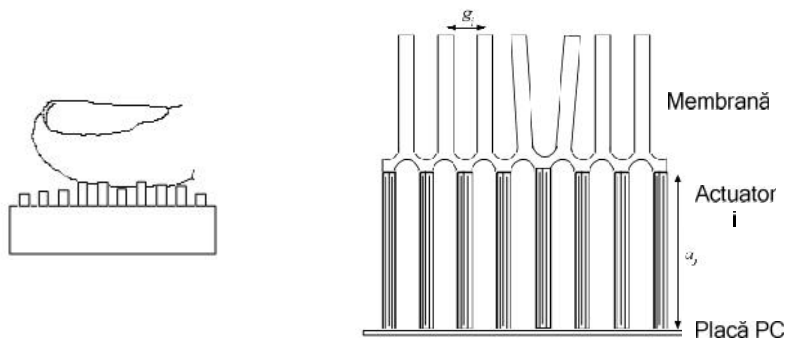


Figura 1.19: Display tactil obișnuit.

Figura 1.20: Display pentru stimulare laterală .

În figura 1.21 se poate observa aria senzorială , precum și prototipul realizat.

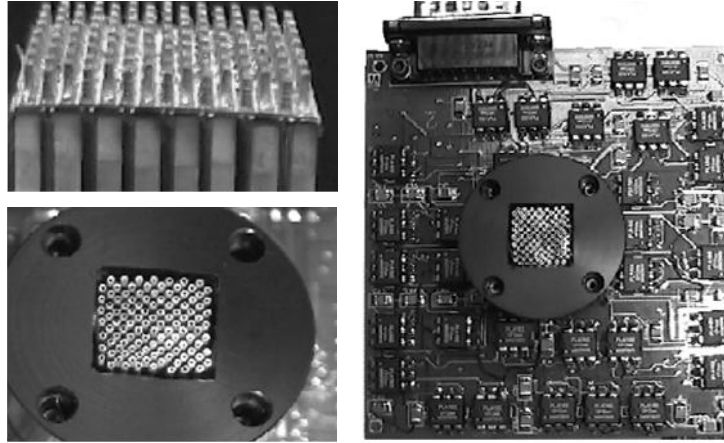


Figura 1.21: Aria senzorială și prototipul realizat.

Ca o propunere de viitor, autorii vor să testeze senzațiile oferite pielii la diferite frecvențe ale actuatorilor, de la curent continuu până la câțiva KHz.

1.2.10. Sistemul Intelligent Glasses

Tehnologia avansată și cunoștințele actuale cu privire la percepția psihologică a realității 3D, permit noi interfețe de asistare a persoanelor umane în realizarea diferitelor acțiuni care necesită atenție specială, precum ar fi în domeniul chirurgiei, dar pot de asemenea să asiste persoane cu deficiențe de vedere în deplasare sau muncă.

Acest sistem de asistare numit Intelligent Glasses, realizează o achiziție a informației referitoare la mediul prin intermediul a două camere de luat vederi de mică dimensiune, atașate de ramele unor ochelari, iar informația este apoi procesată pentru a se detecta obiecte pe baza metodelor de recunoaștere a obiectelor. În cele din urmă informația este transmisă unui „display tactil” cuprinzând o arie mare de actuatori, pe care persoana cu deficiențe de vedere îl poate „citi” cu degetele. Aadar la display-ul tactil apare o imagine tridimensională a mediului. Acest mediu virtual tactil este citit de către persoană și astfel poate lua deciziile privind direcția de deplasare [17]. Arhitectura acestui sistem se poate observa în figura 1.22.

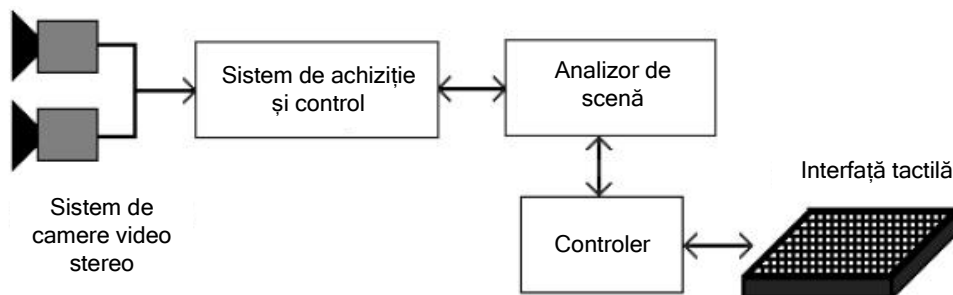


Figura 1.22: Arhitectura sistemului Intelligent Glasses.

Informația de poziționare a obiectelor în planul imaginii mediului, este corelată cu poziția în planul ariei de actuatori a display-ului, iar distanța până la obiecte este corelată cu frecvența de acționare a actuatorilor, precum se poate observa în figura 1.23.

Acest sistem numit „Intelligent Glasses” putem spune că ne introduce mai mult în lumea realității virtuale, prin intermediul creșterea persoanei cu deficiențe de vedere are o privire de ansamblu asupra mediului în care se deplasează, ceea ce-i conferă siguranță.



Figura 1.23: Citirea unei imagini pe display.

1.2.11. Sisteme bazate pe detecția obiectelor în imagini

S-au realizat de asemenea și sisteme de asistare în deplasare a persoanelor nevăzătoare, care folosesc camere de luat vederi situate pe ramele unor ochelari, însă procesarea informației provenite de la camere nu ajunsese în acel moment la un rezultat mulțumitor, datorită cantității mari de informații generate, care trebuie prelucrată în timp real, în sensul de a detecta cu precizie obstacole în imagine. Totuși, camerele de luat vederi sunt folosite, chiar dacă se prelevează doar o imagine cu rezoluție redusă, de ordinul a zecilor sau sutelor de pixeli, informația procesată fiind apoi comunicată într-o manieră fuzzy, spre exemplu unui display tactil.

Autorii articolului [18] au încercat utilizarea mai multor tipuri de senzori în vederea asistării persoanelor nevăzătoare, în cele din urmă luând decizia folosirii unei perechi de camere de luat vederi, montate pe ramele ochelarilor și a unor senzori ultrasonici montați pe vârful încălțămintei, ca în figura 1.24.



Figura 1.24: Sistemul senzorial utilizat.

Camerele video oferă o rezoluție de 320x240 pixeli, luând imagini cu rata de 30fps. Comunicarea informației către persoana nevăzătoare s-a realizat sub formă tactilă.

În schimb autorii articolului [19], au folosit o metodă nouă de detectare a obstacolelor în cadrul imaginilor provenite de la camere de luat vederi, și anume, utilizarea unei rețele neuronale antrenate pentru a clasifica regiunile din cadrul imaginilor în culori reprezentative pentru obiecte. Astfel, s-a realizat detectarea diverselor obiecte, precum: vehicule, paviment, obstacole, cerul. Pentru clasificarea obiectelor în imagine de către rețeaua neuronală, s-a utilizat transformata Hough, care a redus foarte mult cantitatea de informație din imagine, ajungându-se la segmente de linii [19]. Autorii acestui articol pledează pentru folosirea acestei imagini de informație redusă de către persoane cu vederea slabă, prin utilizarea unor implanturi moderne la calea vizuală a ochiului.

Alți cercetători, autori ai proiectului WLVA (Wearable Low-Vision Aid), au încercat realizarea unui sistem portabil, cu cost redus, cu ajutorul camerelor de luat vederi preiau informația din mediu, o preprocesează pentru a detecta diferite obstacole iar informația procesată este transformată de către un display cu fibră optică, montat pe ramele unor ochelari, în informație de lumină care este proiectată pe retină [20].

Proiectul utilizează iluminarea în infraroșu și algoritmi eficienți de detectare a obiectelor în imagine, precum se vede în figura 1.25. Sistemul hardware de procesare a informației video constă dintr-un laptop Dell Latitude cu frecvența procesorului de 1,8 GHz. Sistemul discutat urma să fie testat în 2004, cu voluntari cu vederea slabă, la Universitatea din Washington.



Figura 1.25: Sistemul cu display montat.

În alt articol [21], autorii prezintă un sistem portabil cu cost redus care utilizează de asemenea două camere de luat vederi ieftine, conectate la portul USB, și un sistem tactil virtual care comunică informațiile persoanei nevăzătoare. S-au impus de asemenea, de la început o serie de constrângeri, cum ar fi: costul redus al sistemului, consum redus de energie, procesare în timp real, greutate sub 4Kg, să fie ușor de folosit, eficient și confortabil, să nu deranjeze în timpul acțiunilor obișnuite și nu în ultimul rând să fie portabil. La început s-a considerat că sistemul este folosit în interior și că nu există suprafețe reflectante sau geamuri, care ar putea crea erori de detecție a obstacolelor.

Din punct de vedere hardware sistemul constă dintr-un laptop IBM Thinkpad 1230, cu procesor Celeron de 500 MHz, 64MB RAM, 6 GB hard disk. Ca sistem de operare s-a folosit Linux. Comunicația informației s-a realizat printr-un sistem tactil

realizat sub forma unei mîni. Pentru transmiterea informației senzoriale s-au folosit senzori piezoelectrice conectați la circuitul convertor TLV5620DAC. Fiecare senzor tactil montat pe cîte un deget corespunde unei anumite direcții de deplasare, ca în figura 1.26. Obiectele detectate în imagine, prin procesare sunt corelate cu unghiul față de persoana nevăzătoare, rezultând generarea unui semnal de vibrație corespunzător cu o anumită direcție.

1.2.12. O abordare incitantă – refacerea parțială a vederii

Simul vizual este cel mai important sim, el aducând cea mai mare cantitate de informație din mediul înconjurător, care este procesat instantaneu, fără un efort marcant din partea omului, de aceea lipsa acestui sim afectează drastic mobilitatea și munca acestor persoane, ca urmare ajungându-se la o rată a omajului de pînă la 74% [5].

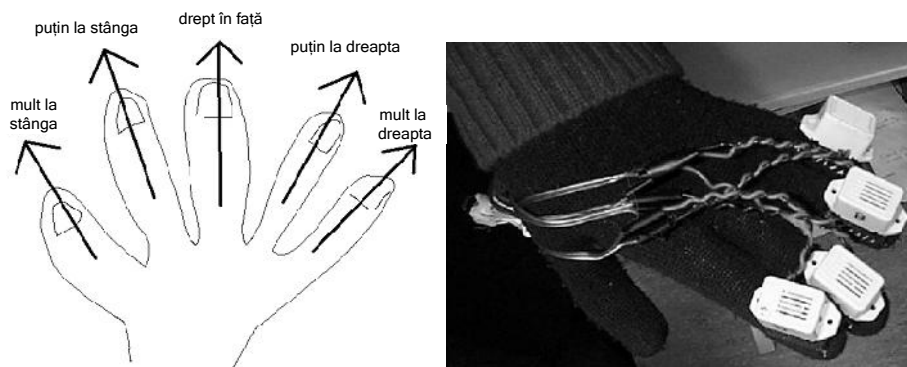


Figura 1.26: Sistemul tactil de comunicare.

Refacerea parțială a vederii pentru persoane nevăzătoare constituie o abordare incitantă, care în momentul de față este obiectul de cercetare al mai multor echipe din întreaga lume. Refacerea parțială a vederii poate fi obținută prin utilizarea unei camere de luat vederi care furnizează la anumite intervale de timp imagini unui bloc de procesare a informației, pentru ca în final informațiile să fie transformate în impulsuri electrice, ce sunt trimise la creier printr-un implant ce face legătura cu calea vizuală umană [6]. Astfel persoana nevăzătoare poate percepe mai multe puncte luminoase numite „phosphenes”. Imaginile preluate de camera de luat vederi, apoi procesate și în cele din urmă recepționate de către creier, sunt prezentate în figura 1.27.

O metodă de procesare a imaginii include filtrarea imaginii de zgomot, detecția muchiilor și segmentarea imaginii, pentru a identifica obiectele din imagine. O altă metodă de procesare ar fi aceea de detecție a mișcărilor. Însă oricare din metode sunt folosite, există limitări tehnologice care nu permit existența unui număr prea mare de fosfene. De aceea este necesară dezvoltarea unor metode care să folosească optim numărul limitat de fosfene, tipic o arie de 25*25. Desigur o problemă care trebuie rezolvată este procesarea acestor imagini în timp real.

Vederea uman implic focalizarea luminii de către cristalini și corneea pe zona numită retină, unde informația este preluată de către peste 120 de milioane de fotoreceptori, dar acești fotoreceptori sunt legați la doar 1 milion de celule ganglionare, ceea ce înseamnă o reducere substanțială a cantității de informație.

De aici informația este transportată la cortexul vizual din cutia craniană, unde se formează o reprezentare spațială a imaginii receptate de retină [21].

În general sunt trei modalități prin care se încearcă o refacere a vederii: o proteză vizuală care implică un implant retinal (subretinal sau epiretinal), electrozi conectați la nervul optic și un implant cortical. Fiecare metodă are avantajele și dezavantajele ei și toate au oferit cu succes percepția unor fosfene de către subiect [23].

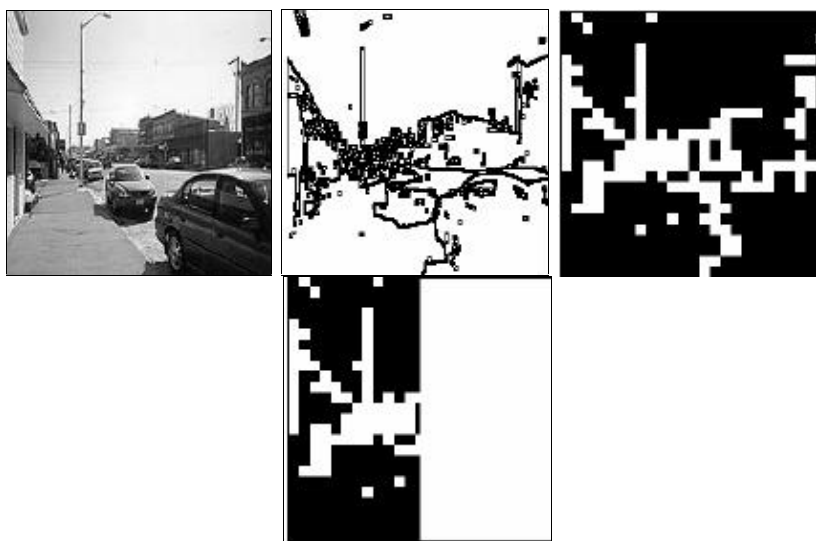


Figura 1.27: Succesiunea de imagini.

Procesarea imaginii presupune o digitizare a ei, o filtrare de zgomot și apoi o reducere a cantității de informație prin detectarea muchiilor și segmentare, pentru că numărul de conexiuni de implant este mult redus față de rezoluția inițială a imaginii.

Testele efectuate au determinat faptul că s-au detectat obiecte în imagine chiar dacă rezoluția imaginii generate de fosfene este mult redusă, în general la 25x25 pixeli.

Noi vedem cu mintea, nu cu ochii, spunea Bach-y-Rita în 1972. Imaginea ajunge la retină, de unde este transmisă prin impulsuri electrice la creier, unde de fapt se formează imaginea [24]. Tot el spunea că percepția imaginii se bazează pe memorie, învățare, interpretare contextuală, cultură și alți factori sociali. Pe aceste principii s-a bazat proiectul realizat de autorii articolului. Imaginile preluate de o cameră de luat vederi, au fost transformate într-o formă de energie (vibrație sau stimulare electrică directă), care este comunicată apoi simțului tactil. Deși imaginile virtuale create au fost de rezoluție redusă, ca matrice între 100 și 1032 de puncte, aceasta a fost totuși suficientă pentru a se realiza o percepție a imaginii reale.

O altă echipă de cercetători condusă de Gislin Dagnelie menționează în lucrările sale despre implanturile retinale realizate. Un astfel de implant se poate observa în figura 1.28. El a fost testat pe o persoană în vârstă de 81 de ani, om de

afaceri semi-retras, și a dat rezultate multumitoare. Acest sistem constă dintr-o cameră de luat vederi în miniatură, un senzor de detecție a poziției ochiului, un transmisor de radiofrecvență, a cărui recepție se face la o antenă intraoculară, legată la un sistem în miniatură cu chip care decodează și stimulează prin implantul realizat nervul optic.

Prototipul acestui sistem se numește MOP. În ultimii ani milioane de oameni au putut beneficia de o astfel de proteză de rețină [25].

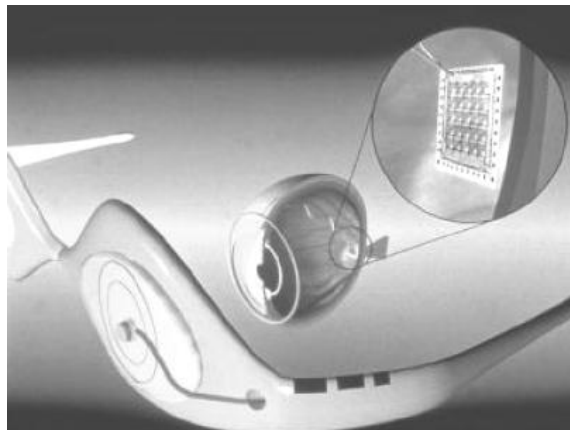


Figura 1.28: Implantul optic.

Se pot folosi atât camere de luat vederi cu rezoluție redusă, cât și camere cu rezoluție mai bună. Pentru procesare se utilizează procesoare de semnal (DSP), însă dacă se procesează și se transmite o cantitate mare de informație prin intermediul sistemului de radiofrecvență, trebuie avut cont de cantitatea de energie disipată sub formă de căldură în globul ocular și asupra retinei, pentru a nu se produce o deteriorare a retinei. Procesarea informației se poate realiza acum în timp real și cu ajutorul cipurilor CNN (Cellular Neural Network).

Sigur că este necesară o scurtă perioadă de adaptare a persoanei cu sistemul de asistare. Există trei tipuri de reabilitare a vederii: vedere îmbunătățită, vedere protețică și vedere artificială. Vederea îmbunătățită se referă la folosirea unor metode tehnice de capturare a imaginii, procesare a ei și adugare de informație la imaginea slab receptată de către rețină. Vederea protețică se referă la protezarea retinei sau la stimularea electrică a neuronilor pentru a se percepe o informație de imagine. Vederea artificială însă, înseamnă percepția imaginii, procesarea ei și chiar luarea de decizii cu privire la obiectele din imagine, și prezentarea rezultatelor persoanelor nevăzătoare prin intermediul altor sisteme senzoriale.

Autorii menționează în lucrarea citată că până în 9 grupuri de cercetători lucrează la dezvoltarea protezelor vizuale: 5 prin rețină, unul prin nervul optic și 3 prin stimularea corticală. Detalii legate de aceste feluri de implanturi putem vedea în figura 1.29. Unele din aceste metode utilizează procesare cu chip CNN, pentru a mări viteza de procesare.

În lucrarea [26] autorii afirmă faptul că în ziua de azi, metodele tehnice de refacere a vederii sunt mult studiate. Un număr important de studii arată faptul că stimularea electrică a retinei, a nervului optic sau a cortexului vizual, duc la percepția unor puncte de lumină numite fosfene.

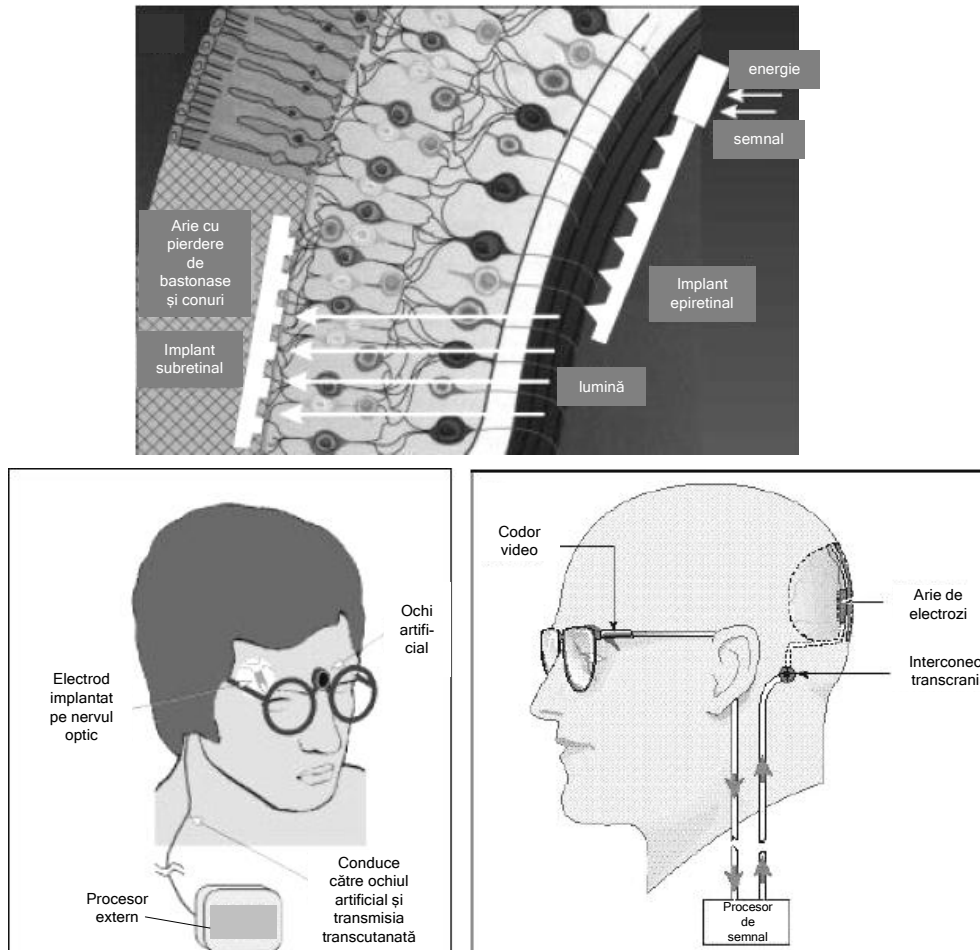


Figura 1.29: Reprezentarea schematic a celor trei tipuri de proteze vizuale.

Cercetarea referitoare la Neuroproteza Cortical Vizual , realizat de autorii lucrării, se bazează pe studiul efectuat de un grup de cercetători de la Universitatea din Utah, sub conducerea Prof. Richard Normann și de consorțiul european CORTIVIS, sub tutela cărui au colaborat Universitatea Miguel Hernandez din Spania, Universitatea din Oldenburg (Germania), Universitatea din Viena (Austria), Universitatea din Granada (Spania), Centrul Național de Cercetări Științifice din Franța, Universitatea din Montpellier (Franța), Institutul de Ingineria Sistemelor și Calculatoare (Portugalia) și Tehnologiile Biomedicale din Spania.

Deși nu se poate realiza o restaurare totală a vederii persoanelor nevăzătoare, totuși printr-o bună procesare a informației vizuale, se poate realiza o detecție a scenei din imagine, și în final o bună percepție a realității de către persoanele în cauză.

1.2.13. Sisteme de asistare bazate pe navigație globală

Aceste sisteme de asistare au o componentă care realizează o supervizare a persoanei cu deficiențe de vedere, prin intermediul unei transmisii de radiofrecvență sau de tip GSM, sau folosind un modul GPS. Această componentă aduce avantajul supervizării, având cunoștințe despre ruta de deplasare, modificările de ultim moment ale acestei rute, de genul unui accident de circulație, a blocajului unei străzi datorate unei manifestații, etc. și furnizează o siguranță în deplasarea persoanei.

Aceste informații de ordin global nu sunt suficiente pentru a asista persoana cu deficiențe de vedere în deplasare, ci mai sunt necesare informații de ordin local, cu privire la modificarea dinamică a mediului din imediată apropiere a subiectului. Aceste informații se pot achiziționa din mediu cu ajutorul senzorilor. Cu alte cuvinte, navigația globală într-un mediu exterior și interior a unei persoane cu deficiențe de vedere nu este suficientă, ci este necesară și o navigație locală, realizată prin senzori.

DRISHTI este un astfel de sistem de navigație cu comunicație la distanță. El integrează câteva tehnologii: calculator portabil, analiză și sinteză vocală, rețele fără fir, sistemul internațional geografic (GIS - Geographic Information System) și sistemul de poziționare globală (GPS - Global Positioning System) [27].

Motivul realizării acestui proiect a fost faptul că tatăl unuia dintre autorii articolului a fost nevvăzător. Dr. Theral Moore este nevvăzător din naștere, dar este conferențiar la Departamentul de Matematică al Universității din Florida, specializat în Topologie și Teoria Numerelor. Niciodată în viața sa nu a văzut și nici nu poate distinge lumina.

De regulă, o persoană nevvăzătoare se bazează pe experiența sa acumulată în deplasare, pe învățare și repetare, și folosește o rută binecunoscută, cu cât mai puține obstacole în cale. Chiar dacă se folosește de metodele clasice de asistare, cum ar fi bastonul alb și câinii dresați, totuși nu sunt eliminate toate pericolele din drumul său. Poate întâlni obstacole neprevăzute, pe care nici metodele clasice nu le detectează, așa cum ar fi crengile rupte ale unui copac. Cea mai dificilă sarcină pentru o persoană nevvăzătoare este deplasarea în medii nestructurate, nemăiîntâlnite sau deplasarea în medii publice aglomerate, cum ar fi oficiile, aeroporturile, garile, strada, mijloacele de transport în comun.

Scopul proiectului, spun autorii articolului, a fost de a oferi unei persoane nevvăzătoare destule informații referitoare la mediul în care se deplasează, pentru ca deplasarea dintr-un loc în altul să fie una confortabilă, fără probleme. Pentru acest lucru autorii au folosit o hartă a campusului universității, acolo, unde se deplasează de regulă Dr. Theral Moore, pe care au transformat-o într-o bază de date GIS, urmând a fi folosită pentru comunicația rutei printr-un sistem wireless, de tipul 802.11b, iar prin sistemul de poziționare globală GPS, aflat pe sistemul purtat de către persoana nevvăzătoare, să se comunice poziția acestuia în permanență. În acest fel se realizează o coordonare și supraveghere a deplasării pe o anumită rută. Toate modificările importante pe o anumită rută, cum ar fi o grevă, un accident de circulație, un incendiu, o clădire prăbușită, pot fi comunicate de la distanță pentru ca persoana nevvăzătoare să nu întâmpine probleme în deplasare.

Prototipul realizat, prezentat în figura 1.30, conține un calculator portabil cu procesor de 200 MHz, 64 MB de memorie, sistem de operare Windows 98 și o greutate redusă.

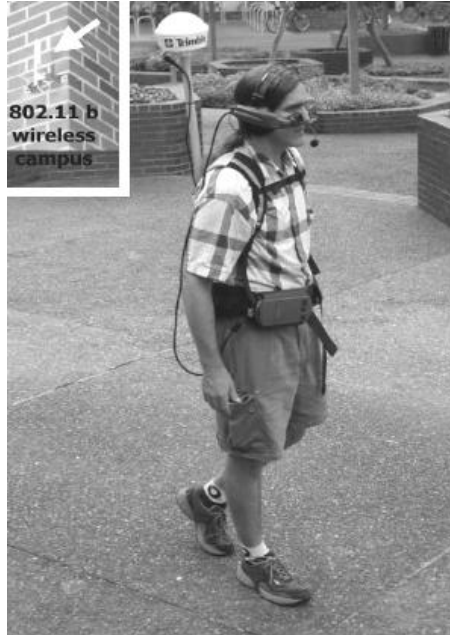


Figura 1.30: Sistemul DRISHTI.

El este purtat în spate de utilizator. Sistemul GPS este de tip diferențial și are o precizie bună. Rețeaua fără fir poate transmite 11Mbps și este de tipul 802.11b. Pentru comunicație s-a mai folosit un circuit GSM de 9600bps. Ca componentă de sinteză vocală s-a folosit IBM ViaVoice.

Pentru a se putea constitui într-un veritabil sistem de asistare a persoanelor cu deficiențe de vedere, DRISHTI, care se traduce „vedere”, din limba sanscrită, are nevoie de senzori care să realizeze o navigație locală reactivă. Acest lucru a fost prevăzut de autori, care au și testat prototipul chiar cu Dr. Theral Moore.

De altfel în interiorul clădirilor, sistemul GPS nu mai este folosit, deplasarea fiind asistată doar de sistemul senzorial portabil.

Echipa de cercetători menționează faptul că sistemul senzorial portabil folosit pentru navigația locală reactivă este încă în dezvoltare, dar un sistem experimental a fost deja testat, așa cum se observă în figura 1.30.

Concluzia trasă de autori a fost aceea că doar un sistem complex, care utilizează atât navigație locală bazată pe senzori multipli, cât și navigație globală realizată prin GIS GPS și comunicație wireless, poate satisface mulțimea de cerințe de asistare în deplasare a persoanelor cu deficiențe de vedere.

1.3. Concluzii

Metodele clasice de asistare a acestor persoane, precum bastonul alb, câinii dresați sau chiar prezența unei alte persoane, nu sunt suficient de multumitoare.

Metodele tehnice de asistare concepute de-a lungul timpului sunt preluate din domeniul roboticii. La realizarea unor sisteme de asistare trebuie avute în vedere unele cerințe precum: portabilitatea sistemelor, costul redus, greutatea redusă, autonomia energetică crescută. Pe de altă parte trebuie să înținem cont de

condițiile pe care trebuie să le îndeplinească aceste sisteme. Ele sunt concepute pentru a realiza asistarea persoanelor cu deficiențe de vedere sau nevizi toare, în medii dinamice nestructurate precum străzile, oficiile, gările, aeroporturile, mijloacele de transport în comun, piețele, etc. Aadar, trebuie evitate coliziunile cu alte persoane sau obiecte, chiar dacă ele apar „instantaneu”, respectiv au o modificare dinamică a traiectoriei. O altă problemă importantă o constituie cavitățile situate sub nivelul solului, respectiv treptele.

Pe parcursul mai multor decenii s-au realizat diverse sisteme de asistare pentru aceste persoane, de către nenumărate echipe de cercetare. Am prezentat cele mai importante sisteme, și anume: Laser Cane, Teletact, Sonicguide, K.A.S.P.A., ETA, SUPERBAT, NavBelt, Guide Cane, RFID, Tactile display, Intelligent Glasses. Toate aceste sisteme sunt bazate pe navigația locală și folosesc diferiți senzori: ultrasonici, laser, infraroșu. Sistemele utilizate la navigația locală determină distanța până la obiecte, câți pozii în spațiu, pe baza metodei „timpului de zbor”, folosit în domeniul roboticii.

Puține dintre sistemele de asistare au abordat metoda de navigație globală, care desigur, nu este suficientă singură, ci necesită o metodă de navigație locală, dar încă niciunul din aceste sisteme nu abordează aceste două tipuri de navigație într-o manieră complementar eficientă, deși există spre exemplu sistemul DRISHTI care abordează această complementaritate.

Pentru navigația globală se folosesc metode de transmisie a informației la distanță și hărți cu traseele de urmat. Ca metode de supervizare la distanță amintim Sistemul de Poziționare Globală (GPS), în corespondență cu Sistemul Informațional Geografic (GIS), care se constituie într-o bază de date geografice, și echipamente de transmisie-recepție radio.

Pentru a beneficia de folosirea într-o manieră complementar eficientă a celor două metode de navigație, cea locală și cea globală, trebuie conceput un nou sistem de asistare a deplășării persoanelor cu deficiențe de vedere. Pentru navigația locală el trebuie să utilizeze mai mulți senzori, ale căror date să fie fuzionate corespunzător. Folosindu-se date de la senzori diferiți, prin fuziunea potrivită a acestor date, pot fi cumulate avantajele și compensate dezavantajele senzorilor implicați.

Pentru navigația globală se utilizează sistemul GPS în corelație cu sistemul GIS, precum și transmisie GPRS între subiecți și centrul de supervizare.

Ghidarea subiectului este astfel asigurată de două sisteme de conducere, un sistem de conducere ierarhic, în care este inclusă și supervizarea și un sistem de conducere reactiv, care soluționează problema obstacolelor care se modifică dinamic, prin intermediul senzorilor.

2. TEHNICI DIN DOMENIUL ROBOILOR MOBILI, CU APLICAȚII ÎN DEPLASAREA ASISTATĂ A PERSOANELOR CU DEFICIENȚE DE VEDERE

2.1. Generalități privind roboții mobili

Roboții mobili au fost și sunt și la ora actuală un subiect de mare interes pentru cercetători. Pentru realizarea roboților mobili s-au adunat aportul mai multor domenii de cercetare cum ar fi: electronica, informatica, inteligența artificială, prelucrarea imaginilor dar și domenii precum biologia și filozofia.

În general un robot mobil se dorește a fi autonom iar pentru realizarea acestui comportament trebuie achiziționate diverse informații referitoare la mediu, trebuie cunoscută poziția robotului, este necesară abilitatea de a recunoaște în timp real diverse obiecte sau locuri, dar pentru succesul navigării la roboții mobili, se poate utiliza un model al mediului și conform datelor senzoriale primite, trebuie realizată o planificare a traiectoriei. Astfel, structura unui robot este compusă din mai multe subsisteme care participă împreună la realizarea comportamentului acestuia.

Achiziționând informațiile senzoriale referitoare la structura mediului în care își desfășoară activitatea robotul și având la dispoziție informații prealabile memorate într-o bază de date, se construiește un model al mediului pe baza căruia se determină poziția obstacolelor în raport cu poziția robotului. Apoi se poate planifica traiectoria de urmat a robotului.

În general roboții mobili se utilizează pentru sarcini în medii ce pot fi periculoase pentru om, în medii îndepărtate, unde trimiterea persoanelor umane este dificilă sau poate necesita mult timp, pentru sarcini care necesită multe operații ciclice, pentru sarcini dezagreabile pentru om sau chiar pentru ajutorarea persoanelor umane.

Roboții mobili pot fi clasificați după zona de activitate în roboți indoor și outdoor. Cei indoor prezintă câteva particularități față de roboți outdoor precum: desfășurarea activității într-un mediu bine structurat de cele mai multe ori de formă regulată, procesarea senzorială a datelor este considerabil ușurată, pentru a urini ghidării robotului pot fi adăugate mai multe puncte de reper, mediul are un grad mare de predictibilitate, condițiile de lucru sunt mult mai bune, respectiv temperatura, umiditatea și iluminarea sunt menținute sub control. Comparativ, roboții outdoor trebuie proiectați ca să-și poată desfășura activitatea într-un mediu mai dificil, complex, în general un mediu nestructurat, variabil, care necesită o capacitate mare de procesare a informațiilor senzoriale din partea robotului, ceea ce duce de regulă la viteze mai mici de deplasare. Pe lângă modificarea structurii, mediul își variază și temperatura, umiditatea, iluminarea.

După domeniul de aplicabilitate, roboții pot fi clasificați în:

- roboți industriali;
- roboți pentru servicii;
- roboți personali.

Roboții industriali sunt utilizați la scară mare în lume, în general de către firme mari, pentru realizarea de produse. Aceștia sunt de tipul indoor și se cunosc bine condițiile de lucru, sarcinile de realizat, așa încât nu pun probleme legate de navigare, legate de îndeplinirea sarcinilor sau legate de autonomie.

În schimb roboții pentru servicii activează în medii diferite de cele ale roboților industriali. Gradul de autonomie, de asemenea, devine mai scăzut. În lucrarea [28] roboții pentru servicii sunt definiți ca „dispozitive cinematice programabile care îndeplinesc servicii în mod semiautomat sau automat”.

Roboții mobili au evoluat în timp, de la sisteme ce realizau operații simple, de multe ori repetitive, până la sisteme complexe, cu mulți senzori, care pot naviga autonom în medii nestructurate. În ultimii ani, inspirația din domeniul biologiei pentru roboții mobili, a dus în cele din urmă la interesul crescut pentru colectivități de roboți mobili. În această colectivitate, fiecare dintre roboți este autonom sau semiautonom, dar comunică cu toți ceilalți roboți, având acces la toate informațiile disponibile.

Pe parcursul cercetărilor efectuate de-a lungul timpului, s-a ajuns la un anumit nivel de inteligență al robotului, însă nu suficient pentru obținerea unei autonomii complete în medii dinamice, nestructurate, astfel încât să nu fie necesară intervenția umană.

Robotul Shakey, realizat la Institutul de Cercetare din Stanford în 1967, este unul din primele proiecte care au introdus inteligența artificială pentru comanda roboților mobili. El avea legătură radio cu un calculator și a fost programat în limbajul FORTRAN.

Au urmat apoi alte proiecte de roboți mobili. Spre exemplu, un robot construit cu scopul de a imita mersul omului, numit Hexapod, a fost realizat la Universitatea Statului Ohio. El era legat de un calculator cu un „cordon ombilical” [29].

Un alt robot, construit de H. R. Everett, a fost dotat cu senzori multipli și era pe deplin controlat de calculator. El era un test pentru cercetările în domeniul inteligenței artificiale [30]. Sigur, tendința studiilor era obținerea unei cât mai mari autonomii, la realizarea unor sarcini cât mai complexe.

Utilizarea inteligenței artificiale a dus la tendința utilizării limbajului natural uman, a vorbirii, pentru comunicarea cât mai facilă cu robotul. Astfel în 1999 a fost început proiectul CARL (Communication, Action, Reasoning and Learning in Robotics) [31]. S-a încercat un dialog cu robotul, prin care operatorul uman să-i comunice sarcina de executat, iar robotul urmând să informeze despre modul în care execută sarcina.

Altă tendință apărută de-a lungul timpului, a fost realizarea de roboți miniatură, realizați cu componente SMD (Surface Mounted Devices), senzori inteligenți, de tipul MEMS (Microelectromechanical systems), care realizează o preprocesare locală a informației senzoriale [32].

Chiar dacă roboții mobili de înalta oră actuală astfel de senzori inteligenți și au chiar sisteme de operare având la bază platforme hardware cu performanțe superioare, tot nu au ajuns la autonomie completă decât în medii structurate binecunoscute, ceea ce a lăsat loc cercetării asupra colectivităților de roboți mobili, care aduc multe avantaje față de utilizarea unui singur robot:

- se pot realiza sarcini mai complexe decât cele pentru un robot;
- crește productivitatea prin munca în echipă, putându-se realiza mai multe operații complementare în același timp;

- uneori este mai ieftin să realizezi mai mulți roboți de mici dimensiuni decât un robot de gabarit mare;
- în cazul unor sarcini de explorare spațială se obține o eficiență sporită a explorării.

Aplicațiile roboților mobili sunt foarte variate, în funcție de tipul de robot și de domeniul de utilizare. Astfel, avem roboți indoor, ce operează în general în medii cunoscute, în industrie, pentru manipularea materialelor sau operații de fabricare a produselor, sau pentru diverse servicii, cum ar fi ghid de muzeu, de magazin, supravegherea unor spații sau operații de curățenie și spălare. Roboții outdoor au și mai multe domenii de aplicabilitate: în construcții, în agricultură, operații în rețelele de canalizare, exploatarea miniere, stingerea incendiilor, în domeniul militar, explorări spațiale, etc.

Un exemplu de robot destinat aplicațiilor în domeniul serviciilor este Skywash SW 33, realizat în 1990 de firma Putzmeister în colaborare cu Stuttgart Fraunhofer Institute, și era destinat spălării aeronavelor [28]. Era de fapt un manipulator gigantic pe 9 axe cu o viteză de deplasare a brațului efector de 1,5 m/s și o precizie de poziționare de 15mm. Astfel, în 2-3 ore, el realiza munca a 10 oameni pentru o durată de 10-12 ore.

Un alt robot, WEDA B400 [33], echipat cu o pompă și perii rotative, a fost testat practic la curățarea bazinelor cu apă, care în domeniul comercial trebuie curățate chiar zilnic. Pentru localizare, robotul folosește senzori ultrasonici, ale căror date senzoriale erau filtrate cu un filtru Kalman [34].

Altă aplicație utilă, aceea de ghid pentru locuri publice, a fost dovedită de robotul Rhino, instalat în 1997 în Muzeul German din Bonn. Acesta era ghidat de senzori laser și folosea o hartă. În 1998 robotul Minerva, echipat cu un sistem de navigare mult mai complex, cu senzori laser, ultrasonici și vizuali, cu o unitate de comunicare prin voce, cu panou de comandă prin atingere, cu server de internet, a fost instalat în Muzeul Național de Istorie Americană [35]. Pe panoul de control vizitatorii puteau atinge zona de vizitare și se deplasa cu o viteză de 70 cm/s.

N-au fost uitate nici persoanele cu handicap locomotor, pentru care s-au realizat diverși roboți de asistență, de tipul cucerioarelor mobile, pentru deplasare, sau pentru prinderea și deplasarea unor obiecte. Problema principală la acești roboți o reprezintă interfața de comunicație cu persoana în cauză. Pentru specificarea comenzilor se folosește tastatură, joystick, bil spațial sau chiar comanda vocală, iar pentru semnalizare și avertizare erau folosite semne grafice, texte afișate sau avertizare vocală.

Există chiar roboți concepuți pentru supraveghere pe timp de noapte [36].

Pentru conducerea autovehiculelor s-au realizat roboți care au sarcini outdoor, de tipul: recunoașterea și evitarea obstacolelor, planificarea și urmărirea traiectoriei. Unele sisteme au fost dedicate deplasării on-road, pe căi asfaltate, altele pentru deplasare pe teren accidentat off-road [37]. Astfel, la ora actuală, există sisteme care pot pilota autovehicule cu viteze de până la 100 Km/h [38]. Un astfel de sistem de conducere automată, bazat pe procesarea imaginilor, a fost testat de firma Mercedes, și s-a reușit o autonomie a unui camion, de 80%, pe o distanță de 2500 km.

De asemenea, roboții mobili își au utilitatea în explorarea spațiilor greu accesibile sau periculoase. Astfel de roboți sunt în general telecomandați, iar decizia în situațiile cerute este luată de către operatorul uman. Spre exemplu, inspecția tancurilor petroliere trebuie făcută în mod regulat, ceea ce presupune golirea lor, dar dacă se folosește un robot cu imersie precum Neptun [39], nu mai este

necesar golirea.

În industrie în general, roboții sunt utilizați pentru transportarea de materiale, aprovizionarea fluxului de producție în fabrică, astfel că procesul poate fi supervizat sau nu de către om, în funcție de pericolozitatea și de operațiile de executat [40].

În agricultură în schimb, sarcina roboților mobili este mult mai grea, datorită operării într-un mediu nestructurat, cu condiții de mediu în continuă schimbare: lumină, câldură, praf, noroi, temperaturi extreme, umiditate.

Aplicațiile în medicină sunt impresionante, mai ales că în acest domeniu cerințele sunt mai restrictive. Astfel că s-au realizat structuri robotice miniatur utilizate pentru explorarea corpului uman, sau roboți foarte preciși utilizați în operații.

În cercetarea spațială se folosesc roboți pentru manipularea obiectelor, a platformelor [41], sau roboți ce vizează explorarea planetei Marte [36].

Pentru inspecția și explorarea subacvatică, chiar în scop de cercetare, s-au realizat roboți mobili submersibili URV (Underwater Robotic Vehicles) [38] sau vehicule subacvatice autonome AUV (Autonomous Underwater Vehicles), care au ajuns să fie capabile de imersie până la 6000 m.

Odată cu interesul crescut pentru roboți, pe viitor vor fi tot mai multe domenii de utilizare, la care probabil nici nu ne gândim acum, iar pentru realizarea unor roboți mai eficienți, mai autonomi, cercetătorii se inspiră de la ființele vii, încercând reproducerea în informatică și electronică a acestor principii bioinspirate.

2.2. Principii de conducere a roboților mobili autonomi

Pe parcursul evoluției roboților mobili sau definitivat trei forme principale de organizare a sistemelor de conducere și anume: ierarhice, reactive sau comportamentale și hibride sau deliberativ/reactive. Procesele determinate de către sistemul comandamental roboților, pot fi împărțite în general în: percepție, planificare și acțiune [42][62].

În categoria percepție sunt funcții care preiau informația senzorială, o transformă în informații utile pentru celelalte funcții, la planificare avem funcții care preiau rezultatele celor din categoria percepție sau direct informația senzorială și creează un plan care trebuie executat de funcțiile din categoria acțiune.

Pentru actuatori, comenzile sunt asigurate de către funcțiile din categoria acțiune, pe baza informațiilor obținute de la funcțiile din celelalte două categorii menționate anterior.

Sistemele de conducere ierarhice au fost cele dintâi elaborate, fiind cele mai utilizate sisteme de conducere a roboților mobili în perioada 1967-1990 [42]. Acest tip de conducere are o evoluție de sus în jos, încercând să mimeze modul de gândire uman. Schema bloc a unui sistem de conducere ierarhizat este prezentat în figura 2.1 [62]. O deplasare a robotului în această manieră, înseamnă efectuarea a trei pași: la primul pas se percepe mediul înconjurător, la pasul doi se face planificarea mișcărilor, iar în final se realizează deplasarea robotului.

La aceste modele de conducere ierarhice, informația senzorială este concentrată într-un model complex al mediului, folosit apoi pentru planificare. Există deci o relație ordonată între blocurile funcționale, dar marele dezavantaj constă în procesul greoi de planificare și acțiune lent per ansamblu. Acest lucru se întâmplă pentru că la fiecare ciclu robotul actualizează modelul global al mediului și realizează din nou planificarea.

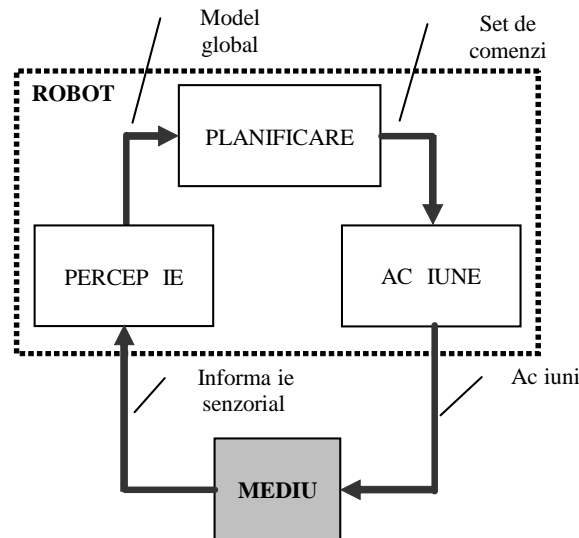


Figura 2.1: Schema bloc a unui sistem de conducere ierarhizat.

Puterea de calcul disponibilă la acea vreme, procesul volumului mare de informație destul de lent, astfel că viteza de deplasare a robotului era foarte mică, de câțiva metri pe secundă. La sistemele de conducere ierarhice, analogia cu sistemele biologice, unde informația senzorială este conectată direct la actuatori, nu există.

Sistemele cu conducere reactivă (comportamentală) apar în a doua jumătate a anilor 1980, datorită ineficienței conducerii ierarhice, dar și datorită implicării unor idei din domenii ca: psihologia și biologia. R. A. Brooks este persoana care a declanșat dezvoltarea amplă a sistemelor de conducere reactivă [42].

În teoria conducerii reactive este eliminată partea de planificare, urmându-se ideea: „Cel mai bun model al mediului este el însuși!” [42]. Efectul imediat al eliminării planificării în cadrul acestei teorii este viteza mare de reacție și, sigur, de deplasare. În figura 2.2 este prezentată structura unui sistem de conducere comportamentală [62].

Urmându-se teoria conducerii reactive, roboții se deplasau cu viteze mari și fiindcă s-au obținut astfel de performanțe, conducerea reactivă a dominat în domeniul roboticii între anii 1988 – 1992. În această perioadă s-au deosebit două tipuri de conducere reactivă (comportamentală): incluziunea (subsumtion) și câmpul potențial (potential field). Incluziunea se folosește de filosofia comportamentală care se bazează pe suprascrierea informațiilor nivelurilor inferioare de către cele superioare. În metoda câmpului de potențial, toate comportamentele trebuie să furnizeze informații compatibile cu forma vectorială. Astfel, în final, comportamentul se obține prin sumarea informațiilor modulelor.

Sistemele de conducere hibride (deliberativ/reactive) au apărut la începutul anilor 1990, pentru că s-a ajuns la concluzia că eliminarea planificării duce la dezavantaje. Astfel că metodele de conducere hibride sunt la ora actuală principala direcție de cercetare în domeniul roboticii. Chiar dacă se folosește din nou planificarea, aceasta nu trebuie să încurce prea mult eficiența perechii percepție-acțiune.

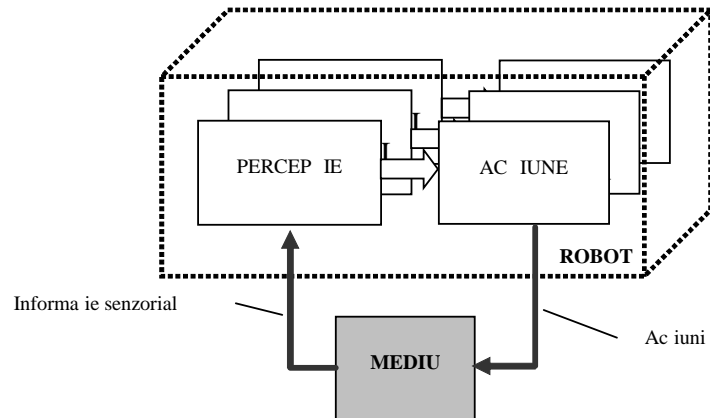


Figura 2.2: Structura unui sistem de conducere comportamental.

Astfel robotul trebuie să descompună inițial sarcina în obiective mai mici, pe care să le rezolve apoi reactiv. După ce s-a încheiat ciclul deliberativ, planificarea și execuția au loc simultan. În figura 2.3 se poate observa structura unui sistem de conducere hibrid [62].

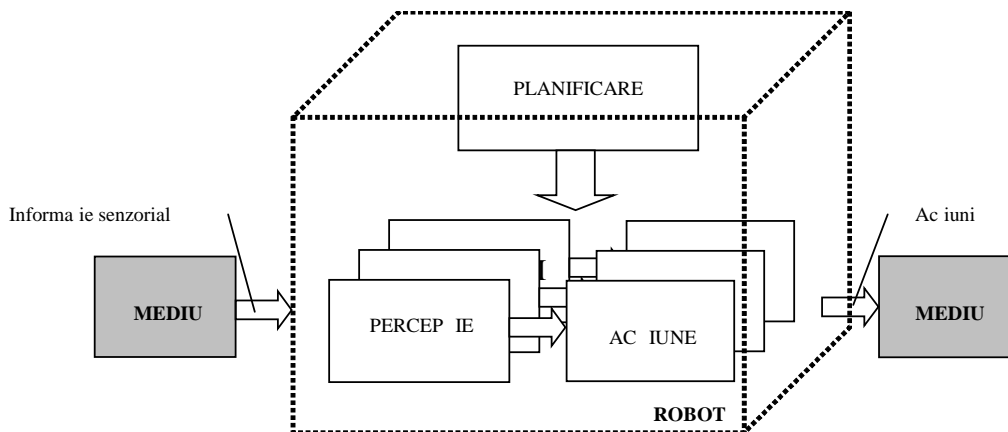


Figura 2.3: Structura unui sistem de conducere hibrid.

Folosindu-se această metodă însă, sunt absente realizarea unui model și posibilitatea memorării stărilor trecute ale robotului. Roboții mobili reactivi nu sunt capabili să planifice traiectorii optime și să construiască harta mediului, de aceea conducerea hibridă este cea preferată.

În navigarea prin conducere hibridă trebuie îmbinate planificarea traiectoriei cu deplasarea reactivă, dar în același timp trebuie observată evoluția robotului, dacă se deplasează spreintă sau nu. Odată cu progresul tehnologiei, cu apariția noilor procesoare, algoritmi de planificare a traiectoriei care aveau nevoie de minute pentru finalizare, acum se pot realiza în secunde. De asemenea, se poate realiza modelul global al mediului, ca sursă de informație pentru senzorii inteligenți.

Astfel c pot fi activate comportamentele nu doar pe baza informa iei senzoriale, ci i pe baza informa iilor globale din baza de date a robotului. S-au construit astfel diferite sisteme cu conducere hibrid , cum ar fi: AuRA, Sensor Fusion Effect, Saphira, TCA [44].

Conducerea robo ilor mobili s-a realizat i utilizând re ele neuronale i logic fuzzy, care î i g sesc mare aplicabilitate în acest domeniu. În literatura tiin ific se arat c cele dou paradigme de control men ionate au multe elemente comune. Ele pot fi considerate ca solu ii de reprezentare a unor func ii multi-intrare i multi-ire neliniare. În plus, ele au avantajul posibilit ii înv rii on-line, tr s tur esen ial a sistemelor adaptive, strict necesar pentru robo ii mobili ca s fac fa modific rilor din mediu [45][46].

Realizând o compara ie între paradigme, re elele neuronale utilizeaz doar date numerice i analogice, pe când logica fuzzy încorporeaz cuno tin e i de alt natur , precum cele lingvistice. În general pentru o multitudine de intr ri/ie iri se prefer re elele neuronale, pe când metodele cu logic fuzzy înva mult mai rapid i ofer un model sintetic al procesului, mai aproape de în elegerea uman . Tendin a actual este unirea celor dou paradigme sub o singur metod . Astfel au ap rut diverse combina ii, iar cea mai utilizat form este cea a re elelor neuro-fuzzy pentru conducerea robo ilor mobili.

Aplica ii ale re elelor neuronale s-au g sit multe, unele dintre ele fiind amintite în rândurile urm toare. Un pilot automat este descris în detaliu de c tre B. Kröse în lucrarea sa. E vorba de o re ea neuronal care are la baz un perceptron simplu, ce prime te la intrare imaginea drumului, cu rezolu ie sc zut (30x32 pixeli). Re eaua a fost antrenat on-line ca s ofere comenzile pe care le-ar fi generat un pilot uman. Dup doar 5 minute de înv are, re eaua a fost capabil s ghideze automat vehiculul la o vitez de 32 km/h, de 2 ori mai repede decât al i algoritmi. În lucrarea [47] este descris automatizarea parc rii autovehiculelor cu o re ea neuronal . În realitate exist o multitudine de posibilit i de urmat. De aceea se realizeaz o calculare off-line a tuturor acestor posibilit i, iar re eaua va avea ca rol s interpoleze punctele stocate în memorie pentru a realiza traiectoria.

Pentru conducerea robo ilor mobili se folose te mai des perceptronul multistrat, utilizând înv area supervizat cu penalizare (reinforcement learning). Mai sunt utilizate re ele neuronale dinamice i re ele Hopfield, aceste re ele fiind utilizate pentru c î i modific starea în func ie de stimuli i de starea intern . În unele cazuri este exploatat capacitatea re elelor neuronale de a lucra cu date infuzate de zgomot sau incomplete. De altfel, re elele neuronale au i tr s tura de a generaliza, oferind rezultate bune chiar i în cazul modelelor noi aduse la intrare.

Fiindc robo ii folosesc multe tipuri de senzori, procesarea informa iei senzoriale cu re ele neuronale înseamn extragerea informa iei din zgomot i recunoa terea/clasificarea tr s turilor de mediu, iar pentru aceasta este nevoie ca informa ia de la senzori s fie adus la aceea i form numeric . În lucrarea [48] A. Carullo prezint un exemplu de extragere a informa iei din zgomot, cu scopul de a îmbun t i precizia de calculare a întoarcerii ecoului emis de un senzor ultrasonic.

Atunci când re elele sunt folosite pentru crearea unui model global al mediului se prefer utilizarea structurilor Kohonen, care p streaz topologia tr s turilor de mediu [49][50].

S. G. Tzafestas în lucrarea [51] folose te o re ea Hopfield particularizat , la care interconectarea neuronilor nu mai este total , pentru a determina traiectoria de urmat pentru atingerea inteii, având la dispozi ie harta mediului. Re eaua acoper mediul ca o plas , fiecare neuron reprezentând o celul cu coordonate bine cunoscute. Itera ia presupune activarea unei unde care se propag de la înt în

toate direcțiile și se oprește atunci când se atinge poziția robotului. Acest metod va găsi întotdeauna calea cea mai scurtă către țintă, atunci când ea există, dar este nevoie să fie cunoscut mediul în totalitate și să avem o hartă globală a mediului.

2.3. Metode de navigație

Pentru roboții mobili, navigația este funcția principală de realizat, iar aceasta presupune realizarea unei succesiuni de operații de către sistemul de comandă al robotului, începând de la obținerea informațiilor referitoare la mediul și până la comanda sistemului locomotor al robotului. În cele mai multe cazuri navigația către țintă presupune un amplu proces de determinare a traiectoriei optime de urmat. Astfel, procesul de navigație a unui robot mobil poate fi compus în general din 5 etape: percepția mediului și a sarcinii, modelarea mediului, localizarea sa, planificarea traiectoriei și execuția deplasării.

În literatura de specialitate există descrise o mulțime de metode și strategii de navigare pentru roboții mobili autonomi, dintre care se poate alege una, în funcție de sarcina de îndeplinit și de condițiile existente.

Metodele de navigare se pot împărți în trei mari categorii, și anume:

- metode globale;
- metode locale;
- metode hibride.

Metodele globale se pot utiliza atunci când se cunoaște structura mediului în care se deplasează robotul, informații existente sub forma unei hărți a mediului. Pe baza acestor informații se poate planifica traiectoria de urmat, pornind de la o poziție de start până la poziția țintă. Aceste metode pot fi asociate cu nivelul ierarhic superior din sistemul de conducere al robotului. Astfel se obține o traiectorie optimă, cu ocolirea obstacolelor statice sau dinamice din mediu. Printre cele mai folosite metode globale de navigație a roboților mobili sunt: metoda spațiului de configurare [52], metoda câmpului de potențial [53],[54] și diagrama Voronoi generalizat [55],[56].

Metodele locale se aplică atunci când robotul nu dispune de informații cu privire la structura mediului. Astfel trebuie ca robotul, pe baza informațiilor senzoriale obținute din mediu, trebuie să navigheze către țintă, planificând pe porțiuni traiectoria. Aceste informații senzoriale sunt reprezentate ca o hartă parțială a mediului, referitoare la prezența obstacolelor care apar în câmpul de navigare al robotului. Cei mai utilizați senzori pentru navigația roboților mobili prin metode locale sunt: senzorii ultrasonici, senzorii laser și senzorii vizuali. Metodele locale de navigație sunt asociate cu nivelul ierarhic inferior de conducere al robotului. Navigația locală poate lua în considerare cinematica și dinamica robotului, dar utilizând doar informațiile senzoriale, cu toate că se pot evita coliziunile, nu putem obține traiectoria optimă și nici nu putem afla dacă ținta este accesibilă sau nu. Astfel, ambele metode prezentate mai sus au avantaje și dezavantaje și implicit se deduce necesitatea combinării celor două metode pentru navigarea optimă a roboților mobili autonomi.

Metodele hibride au apărut deci ca o necesitate pentru navigația roboților mobili, ele având ca scop obținerea unei traiectorii optime către țintă, evitând în același timp coliziunile. Pentru implementarea metodelor hibride, sistemul de conducere al robotului a fost împărțit pe nivele ierarhice. În consecință, nivelul ierarhic superior va coordona deplasarea robotului pe traiectoria optimă găsită, spre țintă, iar nivelul ierarhic inferior este responsabil de evitarea coliziunii cu obstacolele întâlnite în cale și chiar încercarea de ieșire din situații de blocaj.

Pentru a putea planifica traiectoria optimă a robotului, primul pas este stabilirea unei strategii de navigare. În principiu există trei strategii de navigare, și anume:

- deplasarea dintr-un punct al mediului în altul (de la punctul de start la punctul înt); strategia constă în generarea traiectoriei și a comenzilor de realizat pentru atingerea punctului înt;
- baleierea întregului mediu, strategie care este utilizată de roboți care au ca sarcină să cerceteze structura întregului spațiu în care se află (în scopul realizării unei hărți a mediului, pentru sarcini de curățenie a mediului sau pentru sarcini de asigurare a securității într-un anumit spațiu); această strategie presupune deplasarea robotului pe traiectorii spirale începând de la periferia mediului spre zonele interioare sau deplasarea în zigzag, din perete în perete;
- navigarea prin metoda wall-following [57][58], strategie în care robotul se deplasează având ca punct de reper peretele; de obicei această strategie este utilizată pentru deplasare în interiorul clădirilor.

Pentru că mediul are în general o structură complexă, cu multe obstacole, se încearcă împărțirea mediului în sub-zone în care să se poată folosi câte una din strategiile enumerate.

2.4. Prelucrarea semnalelor utilizând rețele neuronale celulare

Semnalele electrice, care urmează să fi prelucrate pot proveni de la diferiți senzori, din diverse domenii. Procesarea semnalelor utilizând rețele neuronale/nelineare (CNN - Cellular Neural Network [59]) este un domeniu de cercetare dinamic, în plină dezvoltare, începând de la rețeaua standard continuând până la noțiunea folosită actualmente de "cellular wave computing" [63].

Cercetările CNN includ două direcții interdependente: una cu caracter teoretic, prin care se urmărește extinderea domeniilor de aplicare; alta cu caracter aplicativ care are în vedere în primul rând modalitatea implementării din punct de vedere tehnologic. Ca structuri de calcul paralele, alături de celelalte procedee clasice, rețele neuronale celulare pot reprezenta soluții pentru realizarea unor aplicații în timp real în domeniul prelucrării semnalelor.

În consecință, introducerea tehnologiei CNN într-un echipament de asistare a persoanelor cu deficiențe de vedere pentru prelucrarea semnalelor de orice natură nu este un scop în sine, obiectivul urmărit prin aceasta este reducerea timpului de calcul prin procesarea CNN a semnalelor, complet paralel, sau cel puțin semi-paralel.

În acest capitol sunt prezentate exemple de aplicații care utilizează rețele neuronale celulare, la planificarea traiectoriei unor roboți mobili în medii cu obstacole. Pentru ca aceste exemple să poată fi mai ușor de urmărit, în prima parte a acestui capitol sunt prezentate pe scurt principalele noțiuni teoretice utilizate.

2.4.1. Rețele neuronale celulare

Rețeaua neuronală celulară are o structură bidimensională rectangulară, fiind formată din circuite analogice identice, nelineare, dispuse regulat, numite celule și care interacționează local între ele [59]. Structura rețelei neuronale celulare de bază monostrat, cu M linii și N coloane, de dimensiune $M \times N$, poate fi observată în figura 2.4. Se notează cu (i,j) coordonatele spațiale carteziene ale celulei $C(i,j)$ din rețeaua

neural celular , $1 \leq i \leq M$; $1 \leq j \leq N$.

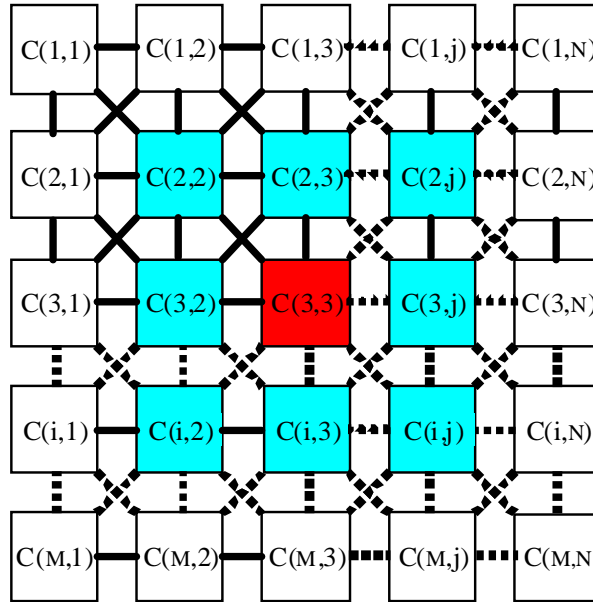


Figura 2.4: Structura de bază a unei rețele neuronale celulare monostrat cu M linii și N coloane.

Vicinătatea sau sfera de influență de rangul r a unei celule $C(i,j)$ este mulțimea definită prin relația 2.1:

$$N_r(i, j) = \{C(k, l) \mid \max\{|k - i|, |l - j|\} \leq r\}, \quad (2.1)$$

unde r este un număr întreg pozitiv.

Pentru o celulă $C(i,j)$ dimensiunea sferei de influență de rang r este $(2r+1) \times (2r+1)$. În figura 2.4 se poate vedea sfera de influență a unei celule $C(i,j)$ de rang $r=1$ (vicinătate 3×3). Sistemul de vecinătăți are proprietatea de simetrie: presupunând că $C(i,j) \in N_r(k,l)$ atunci și $C(k,l) \in N_r(i,j)$, pentru oricare $C(i,j)$ și $C(k,l)$ din rețeaua neuronală celulară.

Fiecare celulă este conectată în mod direct numai cu acele celule din rețea care se află în sfera ei de influență. De asemenea, celulele neconectate în mod direct pot comunica datorită efectului de propagare a interacțiunilor locale dintre celule, pe durata regimului tranzitoriu din rețea. Astfel, chiar dacă interconectările dintre celule sunt doar locale, se observă că utilizând rețelele CNN se pot extrage și proprietăți regionale și globale ale semnalelor procesate [59]. Mai mult, se poate observa că pentru $r=N-1$ și $M=N$, rezultă rețeaua neuronală celulară complet conectată, în care fiecare celulă este conectată cu fiecare celulă, adică sfera de influență pentru o celulă este toată rețeaua. O celulă $C(i,j)$ poate fi considerată celulă internă a unei rețele dacă toate celulele $C(k,l) \in N_r(i,j)$ din vecinătatea acesteia sunt incluse în această rețea. Altfel, celulele sunt de margine sau extreme.

Structura pentru o celulă $C(i,j)$ din rețeaua neuronală celulară standard, invariantă în spațiu, este prezentată în figura 2.5.

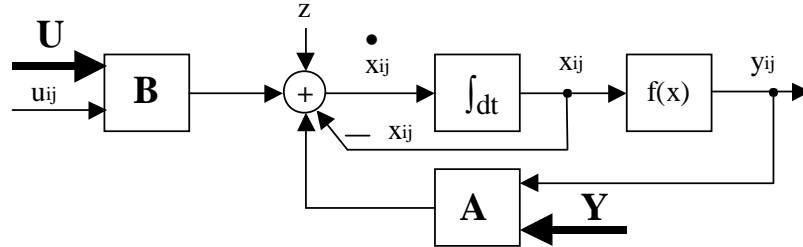


Figura 2.5: Structura unei celule C(i,j).

unde x sau x_{ij} reprezintă starea, y_{ij} ieșirea și u_{ij} intrarea, $1 \leq i \leq M$; $1 \leq j \leq N$;

$f(x)$ este funcția de transfer de la stare la ieșire:

$$f(x) = \frac{1}{2} [|x + 1| - |x - 1|] \quad (2.2)$$

În figura 2.6 se poate vedea reprezentat grafic funcția $f(x)$ de tip sigmoid aproximată liniar pe porțiuni.

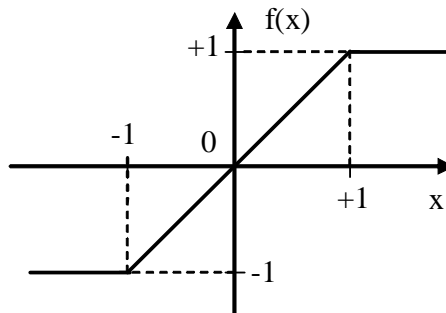


Figura 2.6: Caracteristica de transfer a funcției $f(x)$.

Rețeaua neuronală celulară standard, invariantă în spațiu, se caracterizează prin ecuația diferențială de stare, relația 2.3, atașată unei celule:

$$\dot{x} = -x_{ij} + A \otimes Y + B \otimes U + z, \quad (2.3)$$

unde „ \otimes ” este operația de convoluție spațială. Operatorul de reacție, A , împreună cu operatorul de control, B și polarizarea, z , formează ceea ce este numit „template” CNN, și au semnificația unor matrice de pondere sau de conexiune. O rețea neuronală celulară este invariantă în spațiu sau izotropă dacă operatorii A , B și z nu depind de indicii (i,j) .

Un operator A sau B este liniar dacă elementele sale sunt constante.

Pentru simplificarea descrierii, în cazul implementării VLSI (Very Large-Scale Integration) a rețelelor neuronale celulare, se utilizează de obicei forma normalizată, unde elementele R_x , R_y și C din circuitul electric asociat unei celule au valori unitare, precum și constanta de timp a regimului tranzitoriu: $\tau_{CNN} = C \cdot R_x = 1$.

În figura 2.7 este prezentat, circulară informații într-o rețea neuronală celulară standard, invariantă în spațiu cu operatori de dimensiune 3×3 .

Structura bidimensională a rețelei neuronale ne duce cu gândul la asocierea acesteia cu o imagine, fiecare celulă reprezentând un pixel. În plus, se pot asocia imagini corespunzătoare, starea rețelei (STATE), intrarea rețelei (INPUT) și ieșirea rețelei (OUTPUT).

Operatorii A , B , z , constituiți la rândul lor prin cei 19 parametri, definesc operația pe care o realizează rețeaua neuronală celulară asupra unei imagini de intrare $U(t_0)$, pentru obținerea unei imagini de ieșire stabilă Y . Aceste elemente alcătuiesc o instrucțiune elementară CNN. În acest model, starea inițială a rețelei este asociată cu imaginea de stare la momentul inițial t_0 , adică cu $X(t_0)$, sau dacă se consideră $t_0=0$, $X(0)$.

Operatorii A , B , z , constituiți la rândul lor prin cei 19 parametri, definesc operația pe care o realizează rețeaua neuronală celulară asupra unei imagini de intrare $U(t_0)$, pentru obținerea unei imagini de ieșire stabilă Y . Aceste elemente alcătuiesc o instrucțiune elementară CNN. În acest model, starea inițială a rețelei este asociată cu imaginea de stare la momentul inițial t_0 , adică cu $X(t_0)$, sau dacă se consideră $t_0=0$, $X(0)$.

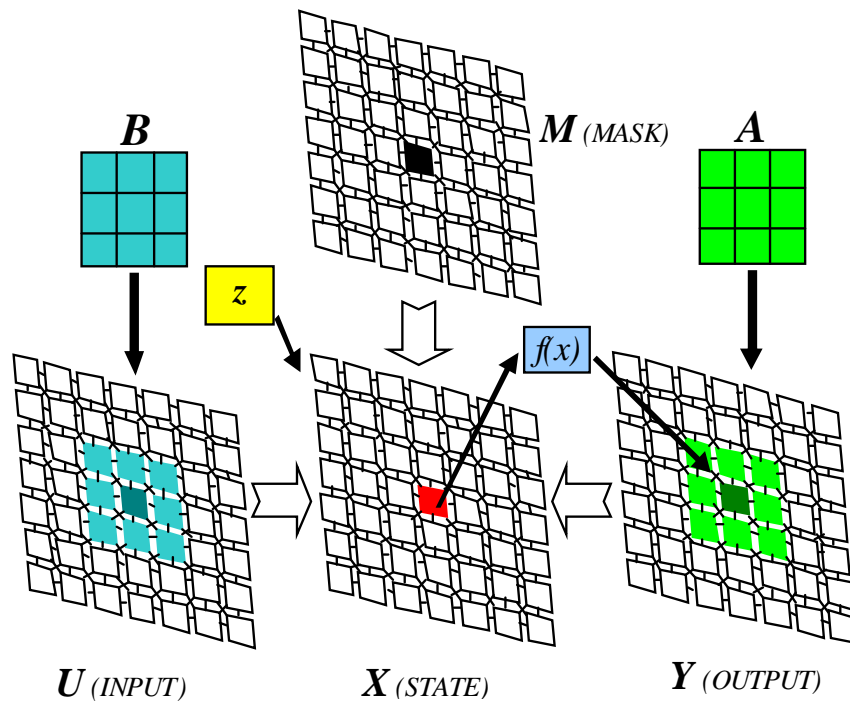


Figura 2.7: Circulația informației într-o rețea neuronală celulară standard, invariantă în spațiu, cu operatori de dimensiune 3×3 .

Ecuațiile de stare ale celulelor formează un sistem de ecuații diferențiale. Starea finală, la ieșirea rețelei, se obține prin rezolvarea acestui sistem de ecuații. Rezolvarea ecuațiilor diferențiale ordinare și neliniare este posibilă numai dacă sunt cunoscute condițiile inițiale și de limită sau de frontieră (boundary). Condițiile de frontieră se pot defini prin conectarea unor celule virtuale la marginile rețelei, atât pentru imaginea de intrare, imaginea de stare dar și pentru imaginea de ieșire a rețelei neuronale.

Celulele C_{kl} sunt celule virtuale, pentru care $|k - i| \leq r$, $|l - j| \leq r$, dar $k \notin \{1, 2, \dots, M\}$ și / sau $l \notin \{1, 2, \dots, N\}$. La aceste celule se asociază iri virtuale u_{kl} , și iri virtuale x_{kl} , iar iri virtuale y_{kl} și polarizări virtuale z_{kl} , pentru ca sistemul de ecuații diferențiale să devină compatibil. Dacă avem o rețea neuronală celulară de dimensiune $M \times N$, includerea de celule virtuale presupune adăugarea a două linii și a două coloane virtuale.

Cele două linii virtuale, vor avea indicii 0 și $M+1$. Similar, cele două coloane virtuale, vor avea indicii 0 și $N+1$.

Pentru a se impune condiții de frontieră, celulele virtuale trebuie forțate să aibă anumite valori, fapt care se realizează prin conectarea lor la surse de tensiune.

Frecvent sunt utilizate următoarele condiții de frontieră:

- condiții de frontieră în care celulele virtuale au valori constante (Dirichlet);
- condiții de frontieră zero-flux în care celulele virtuale repetă valorile din imediata lor vecinătate (Neumann).

Dar pentru respectarea condițiilor inițiale care se impun unei rețele, valorile elementelor de imagine se normalizează după cum urmează:

- în cazul unei imagini binare se asociază pentru nivelul alb valoarea -1 iar pentru nivelul negru valoarea $+1$;
- la o imagine cu niveluri de gri se asociază pentru nivelul pixelilor domeniul de valori $[-1, +1]$, de la alb la negru (domeniul valorilor standard CNN).

Un template este neliniar dacă oricare dintre elementele operatorului A sunt dependente de combinațiile valorilor de ieșire ale celulelor respective și dacă oricare dintre elementele operatorului B sunt funcții de combinațiile valorilor de intrare ale celulelor.

Se mai utilizează uneori și operatorul cel mai general, de tip $D_{ij,kl}$, care este de forma:

$$D_{ij,kl} = d(u_{ij}, x_{ij}, y_{ij}, u_{kl}, x_{kl}, y_{kl}) \quad (2.4)$$

La această funcție, între valorile de intrare, de stare și de ieșire, pot exista operațiile de adunare, scădere sau produs.

Luând în considerare tipurile de operatori prezentați mai sus, forma generală a ecuației diferențiale de stare pentru rețeaua neuronală celulară standard devine:

$$\begin{aligned} \dot{x} = & -x_{ij} + \sum_{C_{kl} \in N_r} A_{ij,kl} * y_{kl} + \sum_{C_{kl} \in N_r} B_{ij,kl} * u_{kl} + z_{ij} + \\ & + \sum_{C_{kl} \in N_r} C_{ij,kl} * x_{kl} + \sum_{C_{kl} \in N_r} D_{ij,kl}(u_{kl}, x_{kl}, y_{kl}) \end{aligned} \quad (2.5)$$

pentru $1 \leq i \leq M$; $1 \leq j \leq N$, unde i și j sunt coordonatele spațiale; M și N sunt dimensiunile rețelei.

Astfel, operatorul neliniar de reacție și operatorul neliniar de comandă include operatorul liniar de reacție și operatorul liniar de comandă.

În plus, operatorul neliniar generalizat $D_{ij,kl}$ include toți operatorii liniari și neliniari. Funcțiile a , b , c și d , care determină interacțiunile neliniare dintre celule, pot fi exprimate prin aproximare pe porțiuni, cu valori constante (piecewise constant-pwc) respectiv variații liniare (piecewise liniar-pwl).

Pentru o rețea de dimensiune $M \times N$, se asociază imaginii de stare, o imaginea mască, M (MASK) cu aceeași dimensiune. La anumite valori ale pixelilor din imaginea mască, nu se modifică pixelii din imaginea de stare (sunt celule inactive).

Astfel, pornind de la o imagine masc binar , pixelii din imaginea de stare i pot modifica valoarea în timpul procesului tranzitoriu (celule active), dac în imaginea masc le corespunde în aceea i pozi ie un element cu valoare $+1$. Dac în imaginea masc un pixel este de valoare -1 , elementul corespunz tor din imaginea de stare nu- i va schimba valoarea. Valorile implicite ale pixelilor imaginii de masc permit ca toate elementele din imaginea de stare s fie active.

Dac m rimea de polarizare z_{ij} (threshold, bias sau current) este dependent de pozi ia celulei în re ea, avem o posibilitate suplimentar pentru a comanda re earea neuronal celular . Imaginea de polarizare asociat B_s (BIAS) influen eaz regimul tranzitoriu al re elei i astfel determin , al turi de imaginile de intrare i de stare, comportamentul re elei.

Dac utiliz m cele dou imagini, de masc i de polarizare, avem posibilitatea încorpor rii în algoritmi CNN a unei adaptabilit i spa iale, liniare în cazul imaginii B_s i neliniare în cazul imaginii M [61].

2.4.2. Implementarea unei aplica ii CNN

Solu ionarea cu metode CNN a unei probleme concrete se poate realiza numai dup ce aceasta a fost transpus în mediul CNN. Aceasta înseamn c pentru fiecare opera ie de procesare dorit , trebuie elaborat template-ul potrivit. Prin urmare, proiectarea în domeniul re elelor neuronale celulare înseamn în primul rând proiectarea de template-uri [61][62]. Pentru anumite aplica ii complexe, nu este posibil determinarea unui template care s asigure prelucrarea dorit într-o singur etap i care s furnizeze un rezultat convenabil. În astfel de cazuri, un set de operatori nu este altceva decât o singur instruc iune elementar iar proiectarea CNN se transform , de fapt, în programare CNN cu ajutorul a mai multor instruc iuni elementare sau subrutine, având la baz operatori existen i [63][64]. Programarea în mediul CNN, este facilitat de existen a unei biblioteci software de template-uri i algoritmi care se dezvolt i se revizuie te periodic, pe baza rezultatelor cercet rilor CNN din întreaga lume [63].

Practic, în orice aplica ie care se poate prezenta sub form de algoritm este posibil i utilizarea re elelor neuronale celulare. Îns , este evident c , de i procesarea CNN este aplicabil în orice problem , utilizarea acesteia nu este eficient , fa de prelucrarea numeric serial , decât într-o clas restrâns de probleme. În anumite situa ii este posibil ca vitezele de prelucrare a celor dou metode s fie comparabile. Dac problema de solu ionat reprezint o parte a unui algoritm complex, atunci alegerea variantei de procesare cu re ele neuronale celulare, respectiv prelucrarea numeric serial , se face pe baza performan elor în ansamblu ale celor dou procedee, preferându-se o structur de prelucrare cât mai omogen .

Procesarea CNN a semnalelor se poate efectua cu ajutorul unui simulator care ruleaz pe un PC; acest simulator poate fi de sine-st t tor ca parte component a unui sistem de dezvoltare pentru aplica ii CNN ("CadetWin - CNN application development environment and toolkit under Windows") [65], sau ca modul (CNN toolbox for Matlab) [66]. al unui program de procesare dedicat, cum este mediul Matlab (Matlab Tools and Development Environment) [70]. Pe de alt parte, interesul deosebit acordat pe plan mondial cercet rii în domeniul re elelor neuronale celulare are la baz mai ales posibilitatea implement rii directe, complet paralele, a unei aplica ii pe un chip CNN analogic în tehnologia VLSI (Very-large-scale integration)[67].

Evident, procesarea CNN a semnalelor cu ajutorul unui simulator este cea mai lentă soluție, în timp ce a doua, implementarea directă, complet paralelă, pe un chip CNN analogic în tehnologia VLSI este cea mai rapidă. În același timp, chip-urile CNN analogice implementate VLSI sunt caracterizate prin dezavantaje majore legate de precizia relativ scăzută (7-8 biți) și sensibilitatea ridicată chiar și la cele mai mici variații de temperatură și tensiuni de alimentare.

Prin utilizarea mediului de dezvoltare CadetWin se pot realiza programe CNN cu ajutorul unui editor și interpretor în limbaj de nivel inferior (limbaj de asamblare specific AMC) ("AMC - Extended analogic macro code and interpreter") [64]. Este important de semnalat faptul că aceste programe sunt unitare și compatibile sub aspectul ruli în mediul CadetWin, atât pe mijloacele de simulare software cât și pe chipul CNN analogic.

Actualmente, între cele două posibilități de implementare a unei aplicații CNN, amintite mai sus, există o altă intermediară, adică cea a realizării emulatorului digital CNN implementat FPGA (Field Programmable Gate Array) [68],[69]. Prin această soluție se realizează un compromis între viteză și precizie, dar se asigură repetabilitate, reproductibilitate, flexibilitate, posibilitate de implementare CNN chiar a unor procedee complexe de prelucrare, dar și interfațarea cu sistemele digitale. De asemenea, implementarea FPGA permite, nu numai utilizarea template-urilor neliniare, inclusiv de tip D, dar și realizarea unor structuri cu mai multe straturi. În acest sens, emulatorul digital CNN implementat cu FPGA maximizează performanțele procesării CNN în ansamblu.

2.5. Aplicații ale rețelelor neuronale celulare în domeniul roboților mobili

2.5.1. Planificarea traiectoriei unui robot mobil

La planificarea traiectoriei unui robot mobil, trebuie să ținem cont de poziția inițială, poziția finală dorită a robotului, precum și de structura mediului pentru evitarea obstacolelor aparute în cale, astfel încât să se ajungă la generarea unei traiectorii optime. Este evident că procesarea acestor date necesită o putere de calcul destul de mare și este de dorit ca această procesare să fie cât mai rapidă, motiv pentru care se apelează la rețele neuronale celulare, recunoscute pentru posibilitatea procesării paralele a semnalelor, ceea ce duce la un timp scurt de procesare. Aadar, această soluție se dovedește promițătoare pentru procesarea semnalelor, ba chiar a imaginilor, în scopul ghidării roboților mobili autonomi. Putem vorbi aici de procesarea imaginilor preluate de la senzorii vizuali pentru că rețele neuronale celulare au o structură care se pretează foarte bine la prelucrarea imaginilor în mod paralel.

Pentru realizarea sarcinii de planificare a traiectoriei am conceput un mediu integrat fizic sintetic [74]. În figura 2.8 se observă schema bloc de principiu a acestui mediu integrat pentru comanda deplasării unui robot mobil pe baza imaginilor reale preluate de o cameră.

Robotul trebuie să se deplaseze spreintă pe o traiectorie cât mai scurtă, ocolind obstacolele pe care le întâlnește în calea sa. Camera video supraveghează întreg mediul de lucru și captează imagini la diverse momente de timp. Practic, atunci când robotul se află în impas (apar obstacole neașteptate în calea sa), el va înțina a supervisorul (calculatorul) care la rândul său va solicita achiziția unei noi imagini. După procesarea acesteia va fi planificată traiectoria ce trebuie urmată în

continuare de către robot [76].

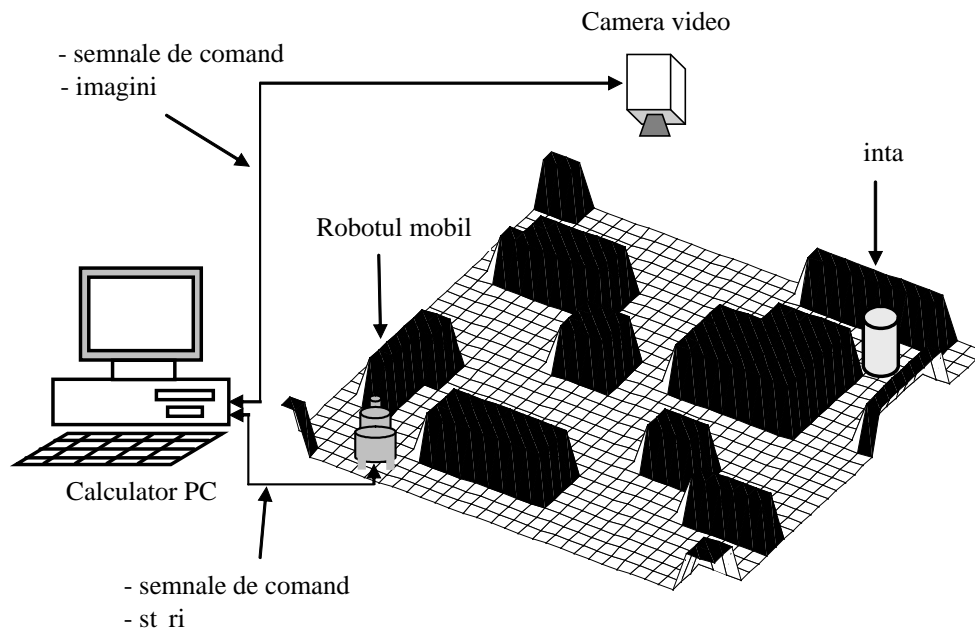


Figura 2.8: Schema bloc de principiu a sistemului integrat pentru comanda deplasării robotului mobil

Organigrama pe baza căreia se derulează întreg procesul de planificare și comandă a deplasării robotului se prezintă în figura 2.9.

Imaginea color a mediului de lucru, captată de către camera video este reprezentată în Matlab prin cele trei matrici de culoare R, G, B care au valorile elementelor în intervalul 0-255.

În aceste imagini vor fi identificate, de fiecare dată, poziția robotului mobil precum și poziția țintei. Poziția acestora va fi identificată prin câte un pixel chiar dacă dimensiunea reală a acestora este mai mare, se va reprezenta practic punctul central al acestor două elemente. Pentru a se face deosebire între acestea și obiectele din mediu poate fi atașat în partea superioară a acestora, o sursă de lumină monocrom (ex. LED). Dacă culoarea acestor surse este aleasă una din culorile primare (roșu, verde sau albastru), atunci identificarea se poate face ușor direct din imaginile color furnizate de cameră. Practic, prin identificare se înțelege aici, determinarea liniei și coloanei pe care se află pixelul din imagine, corespunzător poziției robotului și țintei.

În cazul de față s-a considerat o structură fixă a mediului, cu obstacole statice. Dacă în mediul de lucru sunt obstacole în mișcare, atunci este foarte important viteza de procesare a acestor imagini, iar prin implementarea algoritmului într-o structură hardware CNN, se poate realiza o procesare real-time.

Imaginea gray-scale a mediului este necesară, apoi, pentru identificarea pozițiilor din mediu în care sunt situate obstacolele. Pentru obținerea ei s-a aplicat formula de ponderare:

$$GRI = 0.2989 \times R + 0.5870 \times G + 0.1140 \times B \quad (2.6)$$

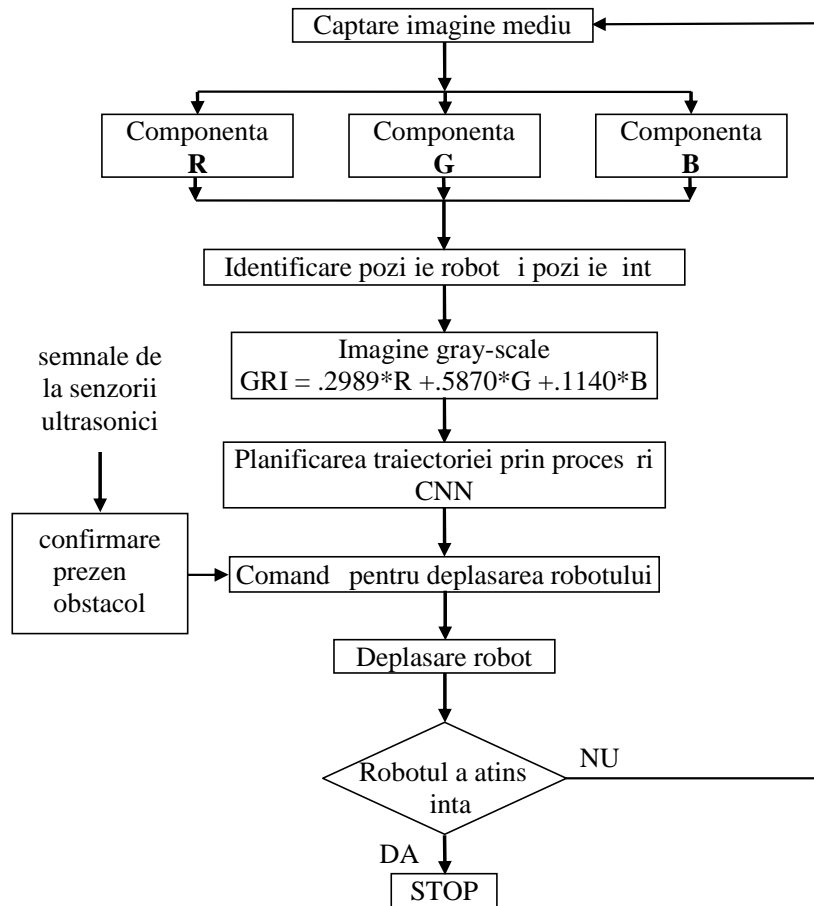


Figura 2.9: Organigrama procesului de planificare și comandă a deplasării robotului mobil.

În continuare, pentru a putea fi prelucrat cu ajutorul rețelelor neuronale celulare, imaginea a fost transferată în domeniul standard CNN adică $[-1, +1]$, de la alb către negru și în acest fel este posibil procesarea acesteia printr-o rețea neuronală standard. Pentru prelucrarea imaginilor alb-negru s-a utilizat toolbox-ul MatCNN din mediul de simulare Matlab [66].

Dacă obstacolele din mediul de lucru au luminanță mai mică decât cea a spațiilor libere, pentru identificarea acestora, se poate folosi template-ul TRESHOLD dat de relația:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad z = 0 \quad (2.7)$$

Pe intrarea și pe starea inițială a rețelei neuronale celulare se aplică imaginea cu niveluri de gri a mediului cu obstacole. După aplicarea template-ului prezentat mai sus, pe ieșirea rețelei se obține imaginea binară a mediului, în care obstacolele sunt reprezentate de către pixelii negri (valoarea $+1$) iar spațiile libere

de pixelii albi (valoarea -1).

Deplasarea robotului se va face pas un pas prin spațiul liber al mediului, ocolind obstacolele întâlnite în cale, până va atinge ținta. Traectoria acestuia trebuie planificat astfel încât robotul să nu atingă obstacolele și să păstreze o anumită distanță de gardă față de acestea [76].

Pentru simulare, rezoluția imaginii mediului a fost aleasă de dimensiune 32x32 pixeli. Imaginea binară a mediului de lucru poate fi observată în figura 2.10.

Algoritmul CNN este capabil să detecteze din start situațiile în care ținta nu este accesibilă de către robot, acesta fiind înconjurat de obstacole.

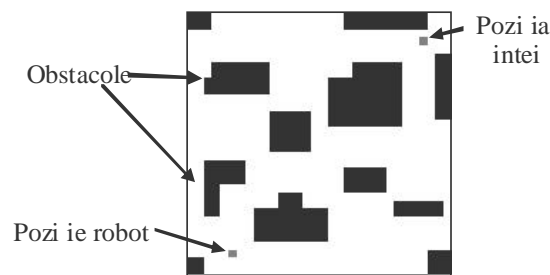


Figura 2.10: Imaginea binară a mediului de lucru.

Pentru realizarea unei traectorii, trebuie calculată distanța dintre poziția de start a robotului și poziția țintei. Pentru acest lucru se folosește un template EXPLORE, definit de relațiile 2.8, care generează o undă în planul mediului.

$$A = \begin{pmatrix} 0 & a & 0 \\ a & 1 & a \\ 0 & a & 0 \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad z = 0 \quad (2.8)$$

Acest template este neliniar, pentru că parametrul a este o funcție neliniară. Propagarea undei duce la explorarea câmpurilor accesibile în mediu, poziția de start fiind punctul sursă. Starea inițială a rețelei CNN pornește de la o imagine cu toate elementele de valoare +1, cu excepția țintei, care are valoarea -1. Imaginea mască utilizată este cea a mediului de lucru.

Ca rezultat al operației, valoarea pixelului reprezentând ținta, rămâne la aceeași valoare, în timp ce toți ceilalți pixeli își vor modifica valoarea proporțional cu distanța față de țintă, așa cum se poate observa în figura 2.11.

Pentru obținerea undei care atinge poziția de start a robotului, se aplică repetat template-ul EXPLORE, iar numărul de aplicații depinde de distanța dintre robot și țintă, iterația oprindu-se atunci când se ajunge la modificarea valorii pixelului reprezentând robotul.

Pentru alegerea direcției optime de deplasare, trebuie ales la fiecare pas, pixelul cu valoarea cea mai mică într-o vecinătate de rază $r=1$ a pixelului reprezentând poziția robotului.

Traectoria optimă se determină aplicând repetat un template SHIFT, definit de relația 2.9, rezultatul fiind traectoria pas cu pas corespunzător punctelor cardinale.

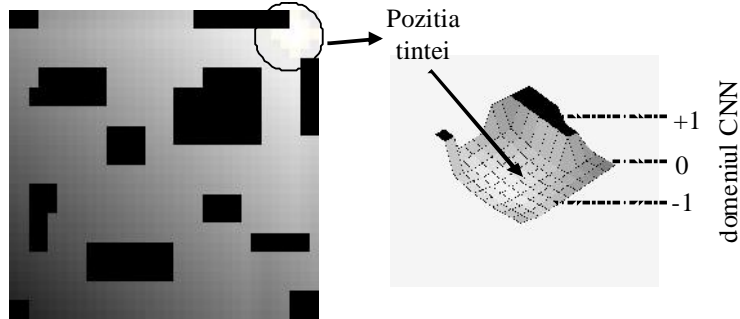


Figura 2.11: Rezultatul aplicării template-ului EXPLORE.

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} se & s & sv \\ e & 0 & v \\ ne & n & nv \end{pmatrix} \quad z = 0 \quad (2.9)$$

Aplicând alt metod, prin utilizarea template-ului DILATION, rezult o imagine masc reprezentând vecin tatea robotului cu raza $r=1$. Acest masc, aplicat peste imaginea rezultat în urma propagării unei utilizând template-ul EXPLORE, se ob ine doar vecin tatea robotului, ca în figura 2.12.

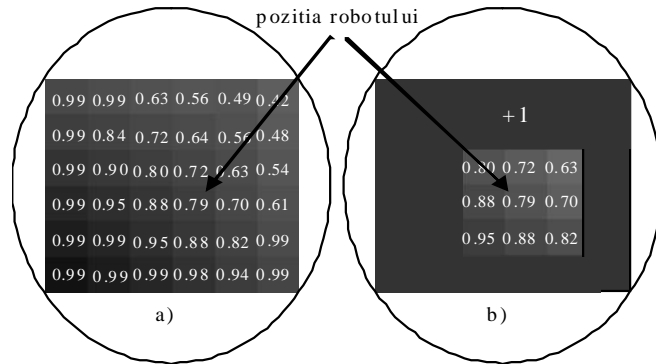


Figura 2.12: Propagarea unei în vecin tatea robotului.

Din această imagine trebuie ales doar pixelul care are valoarea minim, în acest caz, 0,63.

În continuare, pentru a se ob ine traiectoria optim se aplic un alt template, care se nume te PATH, descris de rela ia 2.10.

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} 0 & -0.1 & 0 \\ -0.1 & -8 & -0.1 \\ 0 & -0.1 & 0 \end{pmatrix} \quad z = 0.3 \quad (2.10)$$

Imaginea rezultat în urma aplicării acestui template, are to i pixelii de valoare -1 în afar de unul singur, de valoare +1, care reprezint direc ia de deplasare, a a cum se poate vedea în figura 2.13.

Dup ce s-a determinat pozi ia viitoare pentru robot, acest pixel devine

poziție curentă. În continuare se alege o nouă deplasare și procesul continuă.

Obținerea traiectoriei se poate face utilizând două metode:

- Deplasarea robotului în continuare pe direcția pixelului care are valoarea minimă, cu condiția apropierii de țintă;
- Deplasarea robotului prin alegerea la fiecare pas a pixelului cu valoarea minimă.

După alegerea direcției optime, la un punct de cotitură, imaginea care s-a indicat traiectoria spre țintă, se obține prin utilizarea grupului de template-uri SELECT, definite de relația 2.11 pentru cele opt direcții cardinale.

$$A = \begin{pmatrix} se & s & sv \\ e & 4 & v \\ ne & n & nv \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} se & s & sv \\ e & 0 & v \\ ne & n & nv \end{pmatrix} \quad z = 0 \quad (2.11)$$

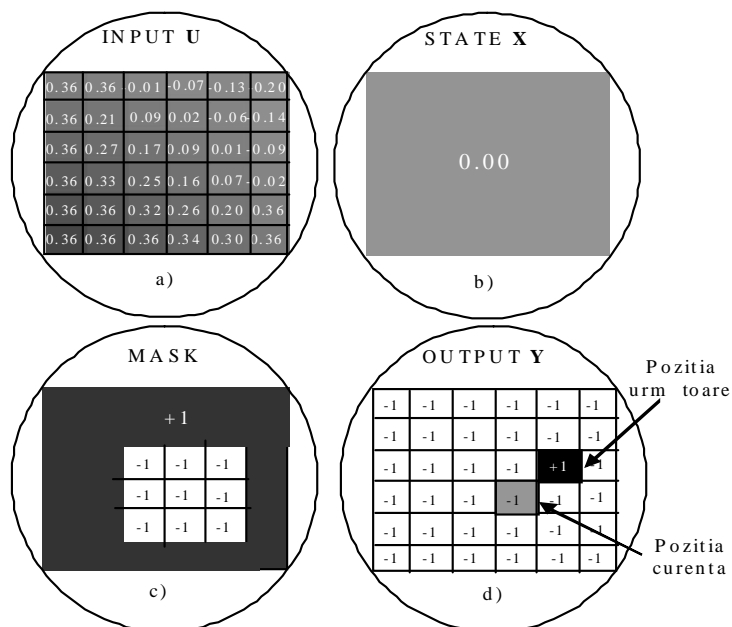


Figura 2.13: Rezultatul aplicării template-ului PATH: a) imaginea de intrare; b) imaginea de stare; c) imaginea mască; d) imaginea de ieșire a rețelei.

Aplicând acest algoritm CNN pentru determinarea traiectoriei robotului, în final, în funcție de metoda utilizată, se obține traiectoria din figura 2.14 sau din figura 2.15.

În primul caz, la deplasarea pe direcția pixelului cu valoarea minimă și menținerea direcției cât timp robotul se apropie de țintă, traiectoria este mai lungă, dar timpul de efectuare al algoritmului este mai scurt, pe când în cazul al doilea, la deplasarea pas cu pas și alegerea în fiecare pas a pixelului cu valoarea minimă, traiectoria este mai scurtă, mai direct către țintă, însă timpul de procesare al algoritmului este mai mare.

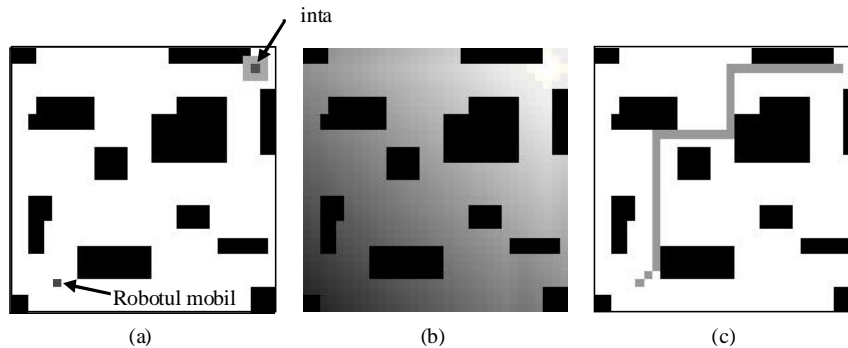


Figura 2.14: Traiectoria robotului în cazul deplasării în direcția pixelului cu valoare minimă, cu condiția apropierii de țintă: a) imaginea binară a mediului; b) imaginea unei unde propagate; c) traiectoria finală.

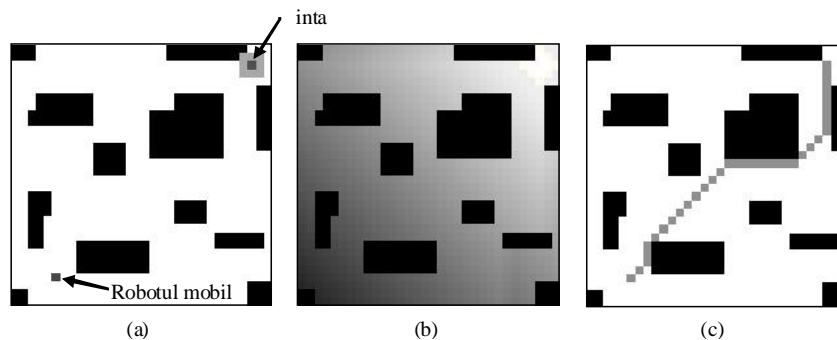


Figura 2.15: Traiectoria robotului în cazul deplasării pas cu pas și alegerea pixelului cu valoare minimă: a) imaginea binară a mediului; b) imaginea unei unde propagate; c) traiectoria finală.

În primul caz, la deplasarea pe direcția pixelului cu valoare minimă și menținerea direcției cât timp robotul se apropie de țintă, traiectoria este mai lungă, dar timpul de efectuare al algoritmului este mai scurt, pe când în cazul al doilea, la deplasarea pas cu pas și alegerea în fiecare pas a pixelului cu valoare minimă, traiectoria este mai scurtă, mai directă către țintă, însă timpul de procesare al algoritmului este mai mare.

Pe baza acestei metode de determinare a traiectoriei unui robot mobil, am realizat împreună cu colegii din echipa de cercetare un nou algoritm, de coordonare a doi roboți mobili, algoritmul pe care l-am prezentat în lucrarea [75].

O altă modalitate de deplasare a unui robot către țintă, este metoda wall-following, care este o metodă simplă, ce se poate observa în figura 2.16., în care se folosește repetat template-ul SHIFT.

O altă metodă care s-a utilizat [53][54] pentru estimarea poziției robotului față de țintă și determinarea traiectoriei, este metoda câmpului potențial artificial. Astfel, s-a creat o funcție potențial artificială care alocă fiecărui punct al mediului o valoare proporțională cu distanța (măsurată în pixeli) din punctul respectiv până la țintă.

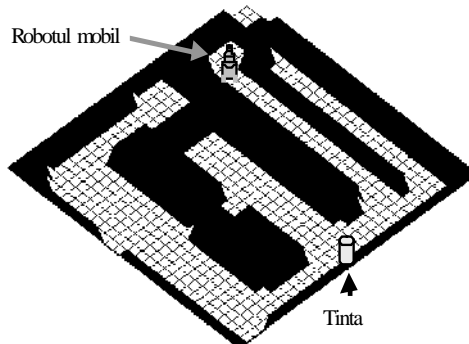


Figura 2.16: Deplasarea robotului utilizând metoda wall-following .

Determinarea distanței între două puncte din plan, $A(x_1, y_1)$ și $B(x_2, y_2)$ se poate face cu formula pentru calculul distanței euclidiene dată de relația:

$$d(A, B) = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (2.12)$$

Dacă notăm punctul unde este situată ținta cu T și coordonatele sale fiind (x_t, y_t) atunci distanța dintr-un punct de coordonate (i, j) al mediului de dimensiune $m \times n$, până la țintă, este dată de relația:

$$d(i, j) = \sqrt{(x_t - i)^2 + (y_t - j)^2} \quad \text{pentru } \forall \text{ ar fi } i = 1 \dots m, j = 1 \dots n. \quad (2.13)$$

Funcția potențial artificial pentru fiecare punct din mediul de lucru este dată de relația:

$$U(i, j) = \frac{1}{2} \cdot k \cdot d(i, j) \quad \text{pentru } \forall \text{ ar fi } i = 1 \dots m, j = 1 \dots n. \quad (2.14)$$

Astfel, valoarea funcției potențiale artificiale, denumită uneori și potențial atractiv, va avea minimum în punctul țintă și în rest valorile sale în fiecare alt punct din mediu, vor fi proporționale cu distanța din acel punct până în punctul țintă. Peste acest potențial va fi suprapus în punctele din plan un potențial suplimentar dat de către obstacole.

În figura 2.17b se prezintă un exemplu de potențial artificial de atracție creat pentru un mediu discretizat de dimensiune 32×32 de pixeli arătat în figura 2.17a. Se presupune că ținta este situată în acest mediu în poziția $i = 30$ și $j = 25$.

Se observă că în pozițiile unde sunt situate obstacolele, peste potențialul de atracție, se suprapune un potențial constant.

În funcție de poziția potențialului minim din jurul poziției actuale a robotului va fi stabilit direcția optimă de deplasare pentru următorul pas al deplasării [77]. Deplasarea robotului se face atâta timp cât potențialul pe direcția deplasării este în scădere. În momentul în care valoarea funcției potențiale artificiale pe direcția respectiv urmează să crească va fi achiziționată o nouă imagine și după procesarea acesteia va fi planificată noua direcție de deplasare. Procesul achiziției imaginii - planificarea traiectoriei - comandă deplasare, se va repeta până când robotul atinge ținta.

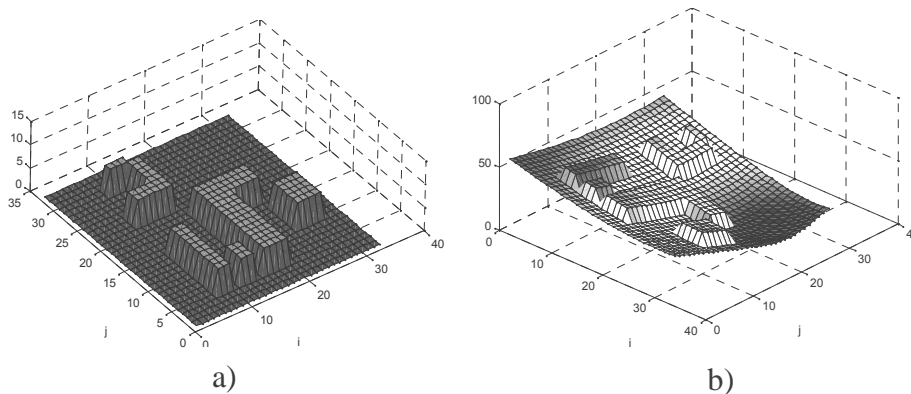


Figura 2.17: Exemplu de potențial artificial de atracție: a) imaginea tridimensională a mediului cu obstacole, b) forma potențialului artificial de atracție.

Portul paralel al calculatorului poate fi folosit și ca un port de intrare/ieșire de uz general, pentru cuplarea la calculator a unui dispozitiv extern care se potrivește caracteristicilor sale de intrare/ieșire [78].

Ieșirile interfeței paralele folosesc nivelele logice TTL, iar curentul poate diferi de la o interfață la alta. Majoritatea porturilor paralele pot furniza un curent de până la 12 mA. Pentru a evita distrugerea portului paralel este recomandat realizarea unei separări galvanice, mai ales în cazul experimentelor, prin utilizarea opto-cuploarelor.

Structura portului paralel al unui calculator PC se prezintă în figura 2.18.

Pentru comanda deplasării robotului au fost utilizate pinii conectorului de tip D de la 2 la 9 (Data0, Data1, ..., Data7). Acestea pot fi configurate din mediul Matlab fie ca pini de intrare, fie ca pini de ieșire. Nivelele de tensiune au valori standard, adică +5V la nivelul logic 1 și 0V la nivelul logic 0.

În acest scop au fost definite pinii D0...D5 ca pini de ieșire pentru transmiterea comenzilor de la calculator spre robot iar pinii D6 și D7 au fost definite ca pini de intrare prin care calculatorul este înținat despre starea robotului sau despre unele obstacole apărute în calea sa.

Comenzile atribuite fiecărui pin utilizat sunt:

- D0 = 1 deplasare în față;
- D1 = 1 deplasare spre dreapta cu 45 grade;
- D2 = 1 deplasare spre stânga cu 45 grade;
- D3 = 1 deplasare spre dreapta;
- D4 = 1 deplasare spre stânga;
- D5 = 1 oprire;
- D6 = 1 confirmarea efectuării deplasării;
- D7 = 1 prezența obstacol.

2.5.2. Rezultate experimentale

Mediul integrat sintetic a fost realizat și testat, iar captarea imaginii mediului s-a făcut cu o cameră Web de tipul USB PC Camera 305 montată pe portul USB al unui calculator Pentium IV. Comanda camerei video, respectiv stabilirea momentelor de achiziție a imaginilor a fost realizată prin mediul Matlab pe baza unui program

denumit VFM (Vision For Matlab) [79],[80].

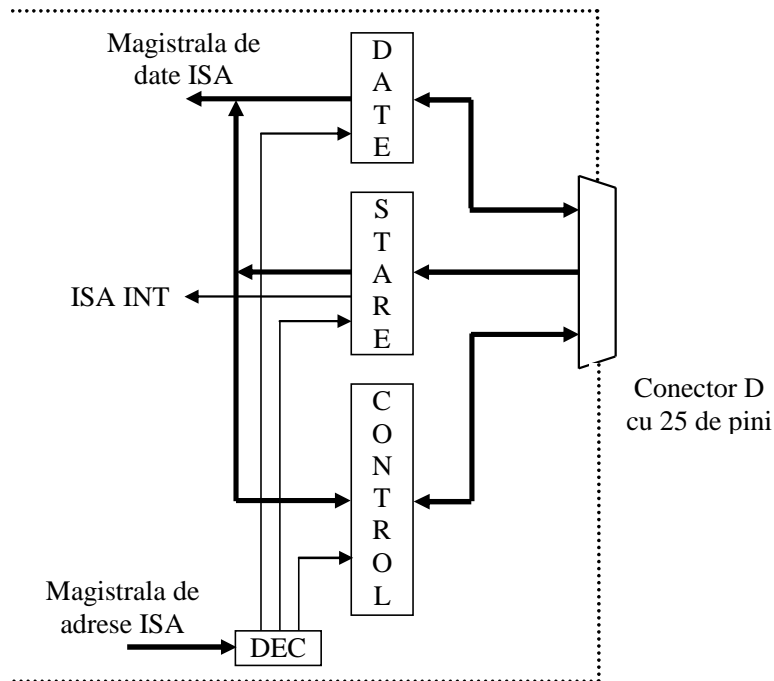


Figura 2.18: Schema bloc a portului paralel.

Practic, acest program transferă imaginile în mediul Matlab sub forma unor matrice, fiecare imagine fiind reprezentată prin cele trei matrice corespunzătoare culorilor primare din imagine (roșu, verde și albastru). Rezoluția imaginilor poate fi modificată în cinci trepte de la 160*120 pixeli până la 640*480 pixeli.

După transferarea acestora în domeniul CNN s-au făcut prelucrări pentru detectarea obstacolelor, utilizând toolbox-ul MATCNN [66]. În figura 2.19a este prezentată o imagine achiziționată de camera video, cu rezoluția 160*120 pixeli, care a fost folosită pentru simulare. Aceasta reprezintă imaginea gray-scale a unui mediu real cu obstacole iar în figura 2.19b este prezentată imaginea binarizată obținută după procesarea cu CNN.

În această imagine, cu negru sunt reprezentate obstacolele iar cu alb spațiile libere ale mediului pe unde robotul poate să se deplaseze. Poziția robotului și a întei au fost identificate din imaginile color furnizate de camera video deoarece în partea superioară a robotului a fost montat un led de culoare roșie, iar întei și sa atașat un led de culoare verde.

În exemplul prezentat mai sus, întea a fost identificată din imagini ca fiind pe coloana 140 și linia 15, astfel că, câmpul potențial artificial de atracție creat este prezentat în figura 2.20.

Pe baza acestui câmp potențial, robotul va fi coordonat astfel încât să aleagă, de fiecare dată, direcția de deplasare spre întea care prezintă potențialul minim din jurul poziției pe care se află robotul.

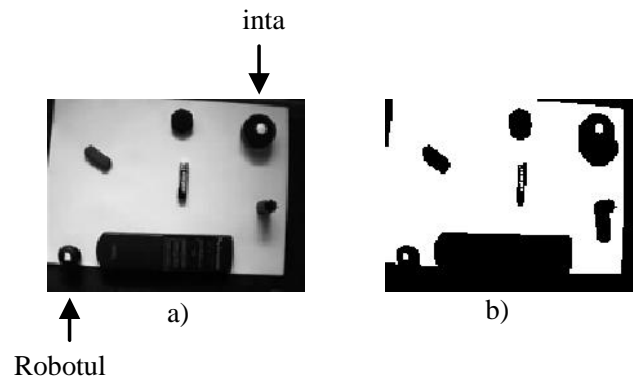


Figura 2.19: Exemple de imagini folosite pentru simulare; a) imaginea cu nivele de gri ale unui mediu real, b) imaginea binarizată a mediului.

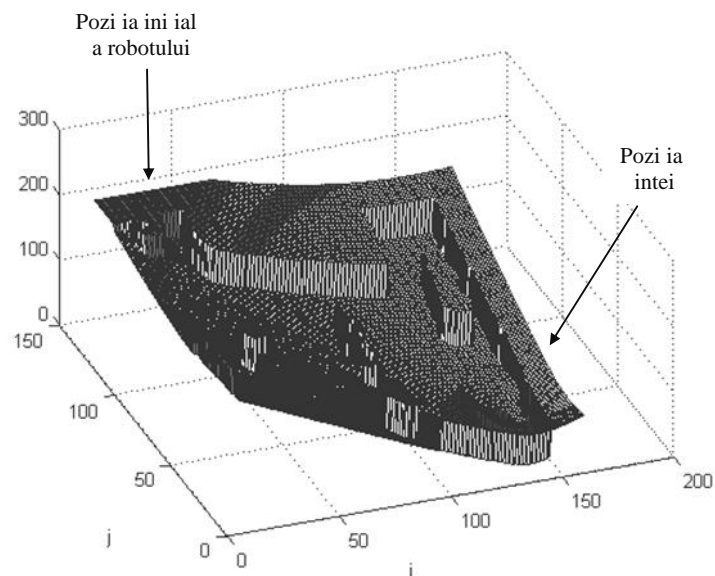


Figura 2.20: Forma câmpului potențial artificial de atracție.

Pe baza acestui câmp potențial, robotul va fi coordonat astfel încât să aleagă, de fiecare dată, direcția de deplasare spre inta care prezintă potențialul minim din jurul poziției pe care se află robotul. Pe baza imaginilor prezentate mai sus, a fost obținut prin simulare, traiectoria ce trebuie urmată de către robotul mobil din poziția inițială până la inta așa cum se poate observa în figura 2.21.

Comenzile succesive date robotului au fost deplasare în față, deplasare spre dreapta cu 45 grade, deplasare spre dreapta, deplasare spre dreapta cu 45 grade.

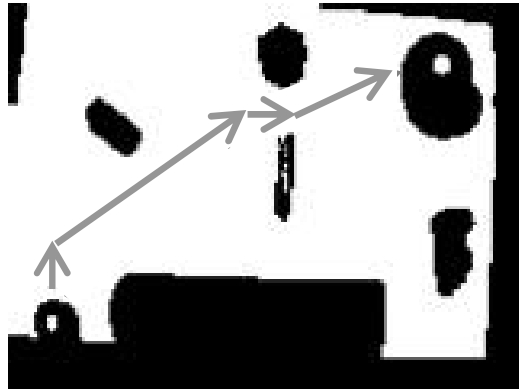


Figura 2.21: Traectoria ce trebuie urmată de către robot.

2.5.3. Deplasarea robotului prin metoda wall-following utilizând doi senzori în infraroșu

De multe ori metoda de deplasare wall-following folosește senzori ultrasonici cu scopul de a ridica o hartă a mediului [58]. Ca urmare putem distinge între două tipuri de reprezentare a mediului: o reprezentare de tip grilă, bazată pe celule [53], care pot fi ocupate sau libere și altă reprezentare bazată pe caracteristici [71], de exemplu un mediu modelat printr-un set de puncte, linii și plane.

Există și cazul utilizării metodei wall-following în cazul asistării unor persoane cu deficiențe, caz în care este necesară și detectarea obstacolelor.

Senzorii în infraroșu sunt de multe ori preferați în locul celor ultrasonici datorită costului scăzut, al timpului mai scurt de răspuns și al fascicolului emis, mai îngust, în utilizare. Din punct de vedere al intensității luminii detectate depinde de mai mulți parametri, precum: reflectanța suprafețelor întâlnite, distanța până la obstacol și orientarea relativă a emitorului, a receptorului față de suprafața obiectului întâlnit. Pentru o simplă citire a intensității nu dovedește suficientă acuratețe în detectarea obiectelor și a distanței la obiect, utilizarea senzorilor în infraroșu este mai redusă. Cu toate acestea sunt cazuri de utilizare a acestor tipuri de senzori pentru navigația roboților mobili, utilizarea lor fiind redusă la detectarea obstacolelor, a pereților înconjurători robotului [72], detectarea unui perimetru prin metoda wall-following sau în cazul unui sistem robotic de casă [73] care trebuie să îndeplinească anumite sarcini sau trebuie să se întoarcă la bază pentru reîncărcare.

Pentru deplasarea pe un anumit traseu, evitând coliziunea cu pereții sau cu alte obstacole, utilizând metoda wall-following, în lucrarea [76] am propus un algoritm pentru un robot echipat cu doi senzori în infraroșu, care emit într-un unghi de 45 de grade, așa cum se poate observa în figura 2.22.

Cei doi senzori pot emite fascicolul în infraroșu la trei nivele, notate cu L1, L2, L3, respectiv, R1, R2, R3, la distanțe de 30, 60 și 100 cm.

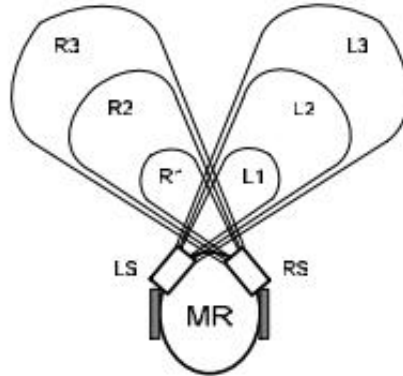


Figura 2.22: Poziția senzorilor IR pe robotul mobil.

În cadrul algoritmului, dacă cei doi senzori nu detectează nimic, robotul se deplasează cu viteza maximă setată. Dacă cel puțin unul din senzori detectează obstacol la nivelul 3, atunci viteza robotului va deveni medie, dacă se detectează obstacole la nivelul 2, robotul se deplasează la viteză scăzută, iar în cazul detectării de obstacole la nivelul 1, robotul se va întoarce la stânga sau la dreapta, în funcție de poziția obstacolului și de setarea din cadrul algoritmului. Aceste situații sunt prezentate în figura 2.23.

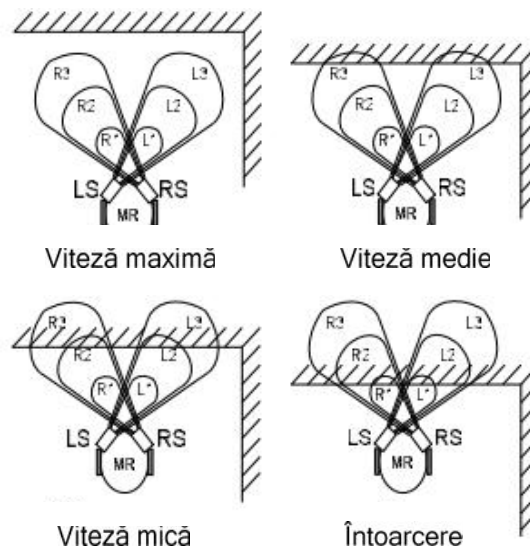


Figura 2.23: Exemple de situații posibile.

În tabelul nr. 2.1 sunt prezentate toate situațiile posibile din cadrul deplasării pe baza algoritmului.

În cazul sarcinii de evitare a obstacolelor, robotul se deplasează pe baza algoritmului conform tabelului nr. 2.2.

3	3	2	2	1	1	Deplasarea de-a lungul peretelui drept (stâng)
0	0	0	0	0	0	deplasare foarte rapid
0	1	0	0	0	0	deplasare rapid
0	1	0	1	0	0	deplasare normal
0	1	0	1	0	1	întoarcere la stânga 45° (dreapta 90°) apoi deplasare normal
1	0	0	0	0	0	deplasare rapid
1	0	1	0	0	0	deplasare normal
1	0	1	0	1	0	întoarcere la stânga 90° (dreapta 45°) apoi deplasare normal
1	1	0	0	0	0	deplasare rapid
1	1	1	0	0	0	deplasare normal
1	1	1	0	1	0	întoarcere la stânga 90° (dreapta 45°) apoi deplasare normal
1	1	0	1	0	0	deplasare normal
1	1	0	1	0	1	întoarcere la stânga 45° (dreapta 90°) apoi deplasare normal
1	1	1	1	0	0	deplasare normal
1	1	1	1	0	1	întoarcere la stânga 45° (dreapta 90°) apoi deplasare normal
1	1	1	1	1	0	întoarcere la stânga 90° (dreapta 45°) apoi deplasare normal
1	1	1	1	1	1	întoarcere la stânga 90° (dreapta 45°) apoi deplasare normal

Tabelul 2.1: Situațiile posibile în cazul utilizării algoritmului.

Testele au fost efectuate folosind robotul miniatur Robby RP5, care se poate observa în figura 2.24. Acest robot folosește un procesor Motorola M68HC05 și se deplasează pe roțile, cele două motoare de care dispune fiind comandate în PWM, iar algoritmul de deplasare fiind realizat în limbajul de programare BASIC.

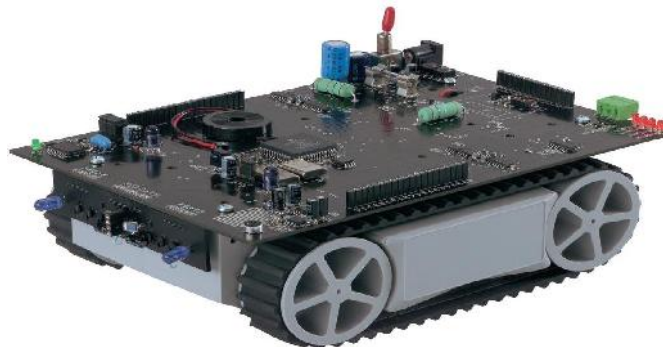


Figura 2.24: Robotul Robby RP5.

În urma testelor efectuate, s-a observat că algoritmul este eficient dar sunt situații în care detectarea peretelui nu este suficient de precis, așa cum se poate observa în figura 2.25, în cazul b, când direcția de deplasare a robotului nu este perpendiculară față de perete.

R3	L3	R2	L2	R1	L1	Evitarea obstacolelor
0	0	0	0	0	0	deplasare foarte rapid
0	1	0	0	0	0	deplasare rapid
0	1	0	1	0	0	deplasare normal
0	1	0	1	0	1	întoarcere la stânga 45° apoi deplasare normal
1	0	0	0	0	0	deplasare rapid
1	0	1	0	0	0	deplasare normal
1	0	1	0	1	0	întoarcere la dreapta 45° apoi deplasare normal
1	1	0	0	0	0	deplasare normal
1	1	1	0	0	0	deplasare normal
1	1	1	0	1	0	întoarcere la dreapta 45° apoi deplasare normal
1	1	0	1	0	0	deplasare normal
1	1	0	1	0	1	întoarcere la stânga 45° apoi deplasare normal
1	1	1	1	0	0	deplasare normal
1	1	1	1	0	1	întoarcere la stânga 45° apoi deplasare normal
1	1	1	1	1	0	întoarcere la dreapta 45° apoi deplasare normal
1	1	1	1	1	1	întoarcere la stânga 90° apoi deplasare normal

Tabloul 2.2: Situațiile posibile în cazul sarcinii de evitare a obstacolelor.

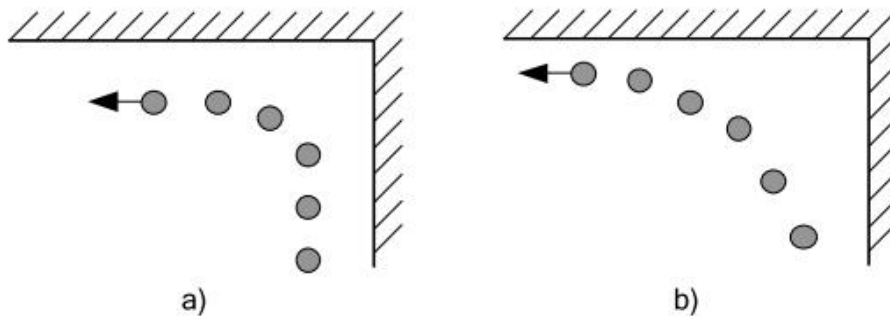


Figura 2.25: Deplasarea robotului la coluri: a) robotul vine din direcție perpendiculară ; b) robotul nu vine din direcție perpendiculară .

În urma testelor s-a constatat că există reflexii ale undei emise de un senzor, care sunt detectate de cel de al doilea senzor, generând detecții eronate. O soluție la această problemă ar fi utilizarea unor semnale codate, ca în cazul telecomenzilor și astfel reflexia de la senzorul vecin ar fi identificată. De asemenea există situații în care nu se detectează obiecte mici de către senzorii în infraroșu.

2.6. Concluzii

Există diverse metode de găsire a traiectoriei optime de deplasare a robotului mobil, însă, în general, întâi la care trebuie să ajungă robotul mobil nu este direct accesibil sau, în unele cazuri, chiar trebuie găsit, așa încât este necesar ca navigarea să fie un proces incremental de determinare și atingere a unor puncte intermediare, cu scopul de a se obține în final traiectoria optimă pentru atingerea poziției finale. În acest scop navigația poate fi descompusă în cinci etape principale: percepția mediului și a sarcinii, modelarea mediului, localizarea robotului, planificarea traiectoriei și executarea deplasării.

Metodele de navigație locale și globale au fiecare câteva dezavantaje și astfel apare necesitatea combinării celor două tipuri de metode pentru navigația roboților mobili autonomi. Aceasta nu înseamnă doar utilizarea concomitentă a acestora într-un anumit mod, fapt care poate duce la multe erori de navigare, ci trebuie realizate numeroase iterații de planificare - execuție. De asemenea, trebuie să existe o reanalizare completă a situației, aceasta însemnând percepția, modelarea și localizarea pentru actualizarea hărții mediului și astfel evitarea apariției erorilor în faza de execuție. În acest sens au apărut metodele hibride pentru navigarea roboților mobili. Metodele globale ghidază robotul pe o traiectorie optimă spre țintă, iar metodele locale îl ajută pe acesta să evite obstacolele ce pot apărea în calea sa.

O modalitate de implementare a metodelor hibride este realizată prin împărțirea sistemului de conducere al robotului pe nivele ierarhice. Nivelul ierarhic superior al robotului este cel care va coordona deplasarea robotului pe traiectoria optimă spre țintă, iar nivelul ierarhic inferior are sarcina de evitare a obstacolelor și de ieșire din situațiile de blocaj.

Prin conducerea reactivă a roboților, s-au obținut succese notabile în sensul măriții vitezei de deplasare a acestor roboți spre deosebire de cei conduși ierarhic care erau recunoscuți pentru viteza lor mică de deplasare.

Navigarea strict comportamentală are dezavantajul că nu se poate garanta care din comportamente va governa conducerea robotului la un moment dat. De asemenea, trebuie luat în calcul că o structură reactivă pură nu permite decât o percepere locală a mediului și astfel nu se poate afla dacă ținta este accesibilă.

Studiul agenților biologici poate oferi un punct de plecare pentru realizarea de către cercetători a diverse sisteme robotice bioinspirate.

Pentru planificarea traiectoriei optime, se pot utiliza cu succes rețele neuronale celulare.

Utilizarea CNN aduce avantajul unui timp scurt de procesare. Algoritmii propuși în această lucrare folosesc procesori CNN bazate pe câteva template-uri definite în scopul determinării traiectoriei optime, având ca sursă imaginea asupra mediului, preluată de o cameră de luat vederi. Procesarea presupune binarizarea imaginii preluate și translatarea acesteia în domeniul CNN, apoi identificarea obstacolelor, a robotului și a țintei, urmând ca traseul de urmat să fie găsit pe baza valorii pixelilor din imagine. O problemă întâmpinată în decursul simulării pe baza imaginii unui mediu de lucru cu obstacole reale este constituirea gradului de iluminare a mediului. Dacă iluminarea mediului nu este optimă atunci pot fi identificate ca fiind obstacole și unele zone din spațiile libere (mai ales dacă acestea au culoare închisă), iar dacă lumina vine din lateral, atunci umbra obstacolelor este interpretată și ea ca fiind zonă ocupată de obstacole. Condiția esențială pentru determinarea traiectoriei optime utilizând procesori CNN, este ca robotul și ținta să fie identificate fără dubii.

Timpul de procesare poate varia în funcție de algoritmul utilizat, dar și de distanța dintre robot și întregul mediu. Pentru determinarea distanțelor dintre obiectele din mediu, se folosește întâi ca punct de plecare al undei de explorare, iar la atingerea poziției robotului se oprește explorarea pentru a scurta timpul de procesare. De altfel, și utilizarea template-ului PATH pentru determinarea traiectoriei, reduce mult timpul de procesare față de cazul utilizării template-ului SHIFT.

În cadrul aplicației practice de utilizare a rețelelor neuronale celulare pentru determinarea traiectoriei optime a roboților mobili, s-a utilizat mediul de lucru Matlab, dar mai ales toolbox-ul dedicat MATCNN. O îmbunătățire a timpului necesar întregului proces ar fi posibil dacă toate procesările și comenzile din cadrul algoritmului ar fi realizate în întregime cu ajutorul rețelelor neuronale celulare, și chiar transpuse la nivelul cip-ului CNN.

Utilizarea metodei câmpului potențial artificial are dezavantajul existenței minimelor locale în care se poate „împotmoli” robotul. Încercând rezolvarea acestor probleme, prin actualizarea on-line a câmpului pe baza senzorilor și prin creșterea capacității de calcul a roboților, această metodă poate fi aplicată cu succes pentru navigația roboților mobili.

În cazul utilizării senzorilor în infraroșu pentru navigația roboților mobili, datele provenite de la senzori cu privire la existența obstacolelor în mediu, nu dovedesc acuratețe, ceea ce duce la o limitare a utilizării acestor senzori pentru cazurile mai simple de navigație, precum metoda wall-following, în care robotul se deplasează de-a lungul pereților, evitând totodată coliziunea cu obstacolele apărute înaintea sa.

Datorită reflexiilor pe diverse suprafețe ale undei emise de către un senzor, apar ecouri false, detectate de către alt senzor, detectând eronat prezența într-o anumită direcție a unui obstacol. Soluția pentru această problemă ar fi emisia codată în infraroșu, ca și în cazul telecomenzilor. Altă problemă ar fi incapacitatea de detecție a obstacolelor mici sau înguste, de către senzorii în infraroșu. Acest caz dovedește necesitatea utilizării complementare a altor tipuri de senzori.

3. SENZORI ȘI INTERFEȚE DE COMUNICĂȚIE PENTRU ASISTAREA PERSOANELOR CU DEFICIENȚE DE VEDERE

În cadrul acestui capitol, vor fi prezentate două principii esențiale ale unui sistem de asistare, prin intermediul cărora o persoană cu deficiențe de vedere interacționează cu mediul, și anume: sistemul senzorial, respectiv interfața de comunicație om-mășină.

3.1. Senzori utilizați într-un sistem pentru asistarea persoanelor cu deficiențe de vedere

După cum s-a prezentat și în capitolul 2, planificarea globală, singură, nu poate asigura navigația unui robot mobil într-un mediu cu obstacole, acest considerent fiind valabil și în cazul unui sistem de asistare a persoanelor cu deficiențe de vedere. Navigația locală presupune preluarea informației referitoare la mediul în care se deplasează sistemul, de la diferiți senzori, prelucrarea acestei informații, luarea unei decizii privind traiectoria de urmat și în cele din urmă acționarea pe direcția acestei traiectorii.

Ce informații pot fi preluate din mediu de către senzori? Prin intermediul senzorilor putem prelua informații despre lumină (vizibilă sau invizibilă cu ochiul uman), informații sonore (în domeniul audibil sau nu), informații de temperatură, informații chimice, informații de detectare a prezenței în proximitate, etc. [81]. Există o gamă largă de senzori care pot fi utilizați în robotică, însă în acest capitol se vor prezenta doar senzorii care prezintă interes în raport cu sistemul integrat propus pentru asistarea în deplasare a persoanelor cu deficiențe de vedere.

3.1.1. Senzori ultrasonici

Senzorii ultrasonici ocupă un loc important în gama de senzori utilizați în domeniul roboticii, fiind mult utilizați în domeniul roboților mobili. În general sunt preferați pentru că sunt ieftini, ușori, mici și consumă puțină energie. Sunt utilizați în primul rând pentru detectarea obstacolelor apărute pe traseul de navigație [82], obținându-se ușor chiar distanța până la obstacole. Sunt preferați și pentru volumul mic de procesare a datelor, ceea ce conduce la posibilitatea navigării în timp real.

Acești senzori au și alte domenii de aplicabilitate pentru roboții mobili, precum recunoașterea trăsăturilor, ce reprezintă o etapă premergătoare estimării poziției robotului, dar și aplicabilitate în explorarea mediului, fiind utili la realizarea hărții mediului de lucru.

Condiția esențială pe care trebuie să o îndeplinească acești senzori pentru a-și dovedi eficiența, este că obstacolele din mediu să aibă o impedanță acustică diferită de cea a mediului în sine, ca să se poată genera reflexii importante ale unde emise. Dar această condiție este îndeplinită în cazul aplicațiilor din domeniul roboților mobili.

Caracteristicile mai importante ale traductoarelor ultrasonice, precum și avantajele și dezavantajele lor [62] sunt următoarele:

- au rezoluție axială bună, dar cea laterală este slabă;
- prezintă o directivitate largă, de aproximativ 35-60 de grade, ceea ce poate constitui un dezavantaj pentru rezoluția laterală, dar este un avantaj în cazul utilizării pentru tehnicile holografice;
- se poate obține foarte ușor distanța până la obstacole; timpul de procesare a semnalelor electrice este redus;
- este necesar un timp lung de investigare (cca. 50-60 ms) pentru o distanță de până la 10m, în comparație cu senzorii laser, care necesită 0.1ms;
- apar probleme la detectarea obstacolelor a căror suprafață de reflexie face un unghi mare față de axa centrală a sensorului; în acest caz rezolvarea o reprezintă utilizarea mai multor senzori;
- pot lucra în condiții diferite de iluminare, de vizibilitate, condiții improprii pentru senzorii vizuali;
- sunt afectate de zgomot, acesta fiind un mare neajuns; zgomotele care afectează senzorii ultrasonici sunt de două tipuri: interferențele apărute de la alți senzori ultrasonici (cross-talk) și zgomotul din mediul înconjurător produs de diverse sisteme electromecanice; pentru rezolvarea acestei probleme, există multe soluții în literatura de specialitate, precum tehnicile de control ale momentului emisiei și recepției, dar și a benzii de frecvențe utilizate;
- alt problemă este apariția reflexiilor multiple generate de undele ultrasonice;
- acești senzori pot oferi informații despre impedanța acustică a obiectelor din mediu;
- pot oferi direct informații spațiale, ceea ce nu pot oferi senzorii video, decât cu un efort important;
- dacă se utilizează pentru vederea artificială, apare avantajul vitezei reduse a undei în aer, față de cea a luminii, ceea ce face posibilă utilizarea informației de fază a undelor sonore la determinarea structurii câmpului acustic, trăsătură utilizată din plin la tehnica holografică;
- au cost redus și fiabilitate mare.

Chiar dacă au unele dezavantaje, senzorii ultrasonici își dovedesc eficiența în diverse metode de navigație a roboților mobili. În unele cazuri însă este necesară utilizarea complementară a altor tipuri de senzori.

Parametrii traductoarelor ultrasonice

Din gama largă de parametri ce caracterizează senzorii ultrasonici, enumerăm în continuare pe cei mai importanți:

- poate cel mai important parametru este rezoluția spațială, având două componente: rezoluția laterală și rezoluția axială; rezoluția spațială reprezintă distanța minimă dintre două obiecte din mediu, pe care traductorul le poate percepe distinct;
- domeniul de supraveghere, fiind determinat de durata salvei ultrasonice și viteza de deplasare a sunetului în aer; acest parametru ne spune cu obiectele care se găsesc la o distanță mai mică decât jumătatea drumului parcurs de salvă, nu pot fi detectate pentru că la recepție se suprapune ecoul peste salvă;

- dimensiunile fizice, respectiv diametrul sensorului, care influențează lobul de directivitate în domeniul frecvențelor de lucru; dimensiunile sunt foarte importante atunci când se construiește un sensor multi-traductor;
- banda de frecvențe, foarte importantă la utilizarea tehnicilor holografice, fiind de dorit ca ea să fie cât mai mare; frecvențele uzuale sunt între 30 KHz și 200 KHz;
- puterea emisă, care se dorește a fi cât mai mare, dar influența senzorilor asupra mediului se dorește a fi cât mai mică, iar pe de altă parte contează și energia consumată pentru emisie.

Toate metodele de lucru cu senzori ultrasonici au la bază fenomenul de reflexie a undei emise pe suprafața obiectelor din mediu. O parte din această energie revine către traductor sub forma unui ecou.

În privința coeficientului de reflexie, cu cât diferența dintre impedanța acustică a mediului și cea a obstacolelor este mai mare, cu atât ecoul este mai puternic. Pe lângă coeficientul de reflexie, important este și directivitatea suprafețelor obstacolelor. Astfel, putem avea obstacole cu reflexie specular și obstacole cu reflexie difuză. Datorită lungimii de undă care se utilizează de obicei (8.25mm pentru 40KHz), majoritatea obstacolelor prezintă o reflexie specular, reflectând puternic unda emisă. Factorul care determină tipul de reflexie existent este rugozitatea suprafeței obstacolelor. Dacă rugozitatea este mai mică decât lungimea de undă, apare o reflexie specular, altfel avem reflexie difuză.

O problemă pentru senzorii ultrasonici o reprezintă reflexiile multiple, care apar datorită caracteristicii de directivitate largi, detectându-se obiecte fantomă [83]. Drumul parcurs de unda emisă poate să parcurgă traseul unor reflexii multiple între obiectele din mediu, ceea ce se detectează ca fiind un obiect la o distanță însumând drumul reflexiilor, dar acesta este un obiect fantomă. O soluție la această problemă ar fi utilizarea unor traductoare cu directivitate cât mai bună, ceea ce implică costuri mai mari, iar adâncimea câmpului investigat este limitată, pentru că la distanțe mai mari, conul de directivitate devine totuși larg. În literatura de specialitate sunt propuși diverși algoritmi complicați care să micșoreze efectul reflexiilor multiple sau efectul cross-talk.

Un alt efect determinat de o directivitate largă este prezența zonei de umbră în interiorul zonei investigate, aceasta însemnând opacitatea unor ecouri mai slabe pentru obstacole aflate în zona supravegheată.

Toate aceste probleme nu sunt de interes major dacă senzorii ultrasonici nu sunt utilizați pentru realizarea unei hărți a mediului, ci doar pentru avertizarea prezenței unor obstacole la anumite nivele față de sol și la o anumită distanță față de emițător, în cazul asistării persoanelor cu deficiențe de vedere, în vederea asigurării deplasării lor în bune condiții, evitându-se obstacolele apărute în cale.

Pentru detectarea prezenței obstacolelor și determinarea distanței până la obstacole, senzorii ultrasonici utilizează metoda timpului de zbor [85], care poate fi observată în figura 3.1. Se emite o undă ultrasonică scurtă de frecvență ridicată, unda se lovește de obstacol, iar ecoul undei este receptat de către senzor. Fiind viteza sunetului, cu care se deplasează unda în aer, pe baza duratei dintre emisia undei și recepția ecoului, putem afla distanța până la obiect.

Senzorii ultrasonici de generație recentă precum Parallax PING ultrasonic Sensor, sau varianta mai ieftină HC-SR04, care poate fi observată în figura 3.2, sunt senzori „inteligenti”, în sensul că platforma hardware care reprezintă suportul pentru emițătorul și receptorul ultrasonic, conține circuite de procesare a datelor senzoriale, astfel încât semnalele emise și receptate sunt condiționate, amplificate și filtrate, iar utilizarea unui astfel de senzor devine tot mai simplă.

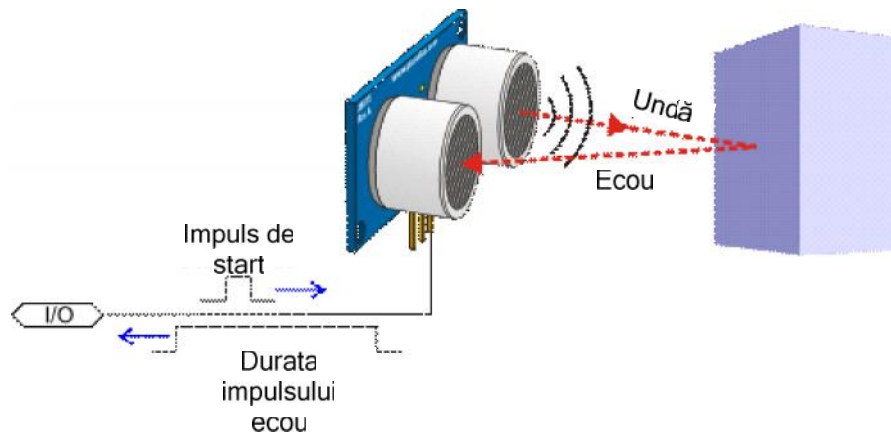


Figura 3.1: Modul de lucru al sensorului ultrasonic.



Figura 3.2: Modulul senzorial HC-SR04.

Există o diferență constructivă între cei doi senzori exemplificați și anume: la senzorul Parallax modulul senzorial conține 3 pini de conexiune, semnalul de emisie a undei și semnalul de recepție a ecoului folosesc același pin, pe când la modulul senzorial HC-SR04, există pini diferiți pentru cele două semnale.

În privința caracteristicilor ce definesc acești senzori, enumerăm pe cei mai importanți, care se referă la senzorul HC-SR04:

- tensiune de alimentare de 5V;
- curent de lucru: 15mA;
- curent de pauză: <2mA;
- unghiul de eficiență: <30 grade;
- raza de acțiune: 2cm – 400cm;
- rezoluție: 0.3cm;
- frecvența de lucru: 40KHz.

Pentru realizarea unei măsurători, modulul trebuie să primească un semnal de „1” logic pe o durată de cel puțin $10\mu\text{s}$, semnal care reprezintă startul unei măsurători. În continuare modulul emite un tren de 8 impulsuri ultrasonice cu frecvența de 40kHz, așa cum se poate vedea în figura 3.3. La sfârșitul acestui tren de impulsuri, linia de recepție ecou este trecută pe „1” logic, și se așteaptă recepția ecoului undei, moment în care linia de recepție ecou trece pe „0” logic. Timpul cât linia de recepție ecou a stat pe „1” logic, reprezintă durata deplasării undei până la obstacol și înapoi.

Conform datelor tehnice oferite de firma producătoare, distanța în centimetri, se obține foarte ușor, printr-o simplă împărțire [86].

Rezultatele măsurătorilor experimentale efectuate cu acest senzor au fost satisfăcătoare, chiar dacă lobilul de directivitate este ceva mai mare, așa cum se poate vedea în figura 3.4, nefiind interesată de cazuri particulare care să creeze probleme.

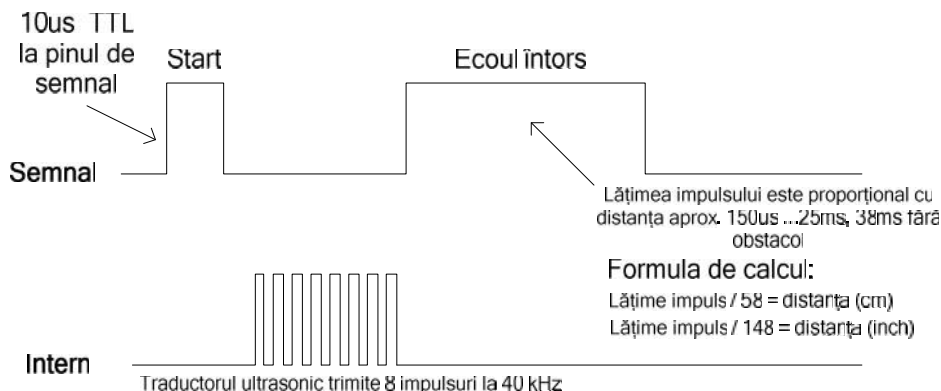


Figura 3.3: Protocolul de funcționare al senzorului.

Dacă distanța între senzori și obiect este prea mică, atunci ecoul ajunge la transductor mai repede decât este el pregătit pentru recepție și de aceea detecția nu se poate realiza. Pentru a avea o detecție cât mai bună a obstacolelor din mediu, se folosesc mai mulți senzori, care măsoară distanța și orientarea obiectelor. Totuși, dezavantajele lor sunt: raza mică de acțiune, precizie slabă din punct de vedere unghiular (între 10° și 30°), sensibilitatea lor la vânt, umiditate și fașă de orientarea obiectelor [87].

3.1.2. Senzori de poziție

Ca senzori de poziție putem utiliza: giroscopul, inclinometrul, compasul. Acest tip de senzori sunt utilizați pentru a determina orientarea și înclinarea. Cu ajutorul lor, determinând viteza de deplasare, putem estima poziția în spațiu [89].

Scopul sistemelor giroscopice este de a măsura modificările de orientare, folosindu-se de legile fizice, care produc efecte predictibile asupra rotației. Giroscopurile mecanice și girocompasurile au o istorie lungă în domeniul navigației. Giroscopul și girocompasul se bazează pe principiul conservării momentului unghiular. Momentul unghiular este tendința unui obiect aflat în rotație, de a menține rotația la aceeași viteză unghiulară în absența unei modificări externe.

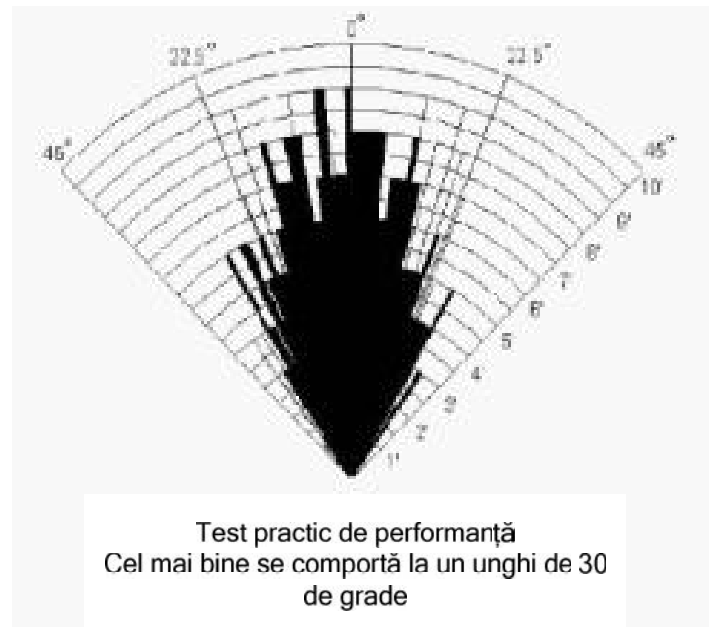


Figura 3.4: Lobul de directivitate al senzorului.

Momentul unghiular L al unui obiect la viteza unghiular ω și momentul inerțial I , este dat de formula:

$$L = I \times \omega \quad (3.1)$$

Giroscopul își menține astfel orientarea față de un punct de referință. În figura 3.5 putem observa un giroscop mecanic cu două axe.

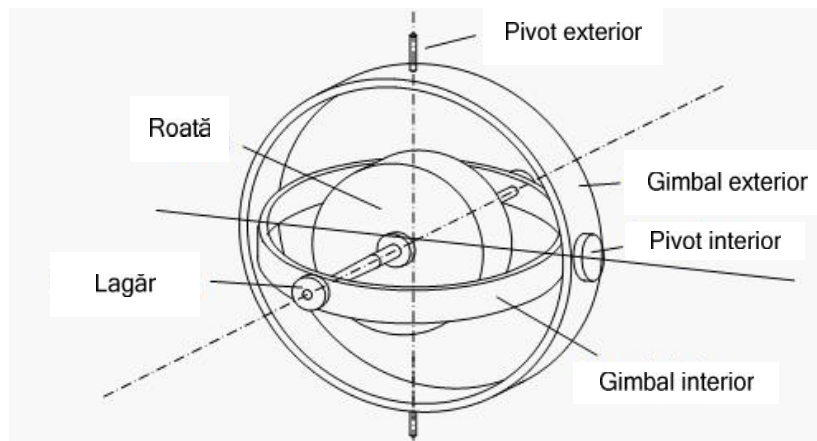


Figura 3.5: Giroscopul mecanic cu două axe.

Sunt disponibile spre vânzare mai multe tipuri de giroscop, dar prețul lor este destul de ridicat. Cele care sunt mai ieftine au acuratețe mai mici. Giroscopurile mecanice au fost repede înlocuite de altele moderne, de înaltă precizie,

giroscoapele optice, care au un preț sczut. Totuși, Futaba FP-G154 este un giroscop mecanic de mică precizie, cu preț sczut, proiectat pentru a fi utilizat în elicopterele și avioanele radio-controlate. Se folosește împreună cu un mic amplificator de control și are o greutate redusă, de numai 102g. Se alimentează împreună cu amplificatorul la 5V și consumă numai 120mA [82].

Girocompasele sunt o configurație aparte de giroscop, folosind referința gravitațională pentru a realiza o funcție de corectare a polului nord.

Alt tip de giroscop, este cel piezoelectric, care vibrează utilizând forțele Coriolis pentru a măsura rata de rotație. Sunt folosite trei transductoare piezoelectrice, montate pe suprafețele unei prisme. Unul din ele vibrează la frecvența de rezonanță, iar celelalte două recepționează aceste vibrații la intensitate egală. Dacă prisma este rotită de-a lungul axei longitudinale, forțele Coriolis rezultante vor cauza o mică diferență în intensitatea vibrațiilor la cele două transductoare receptoare. Tensiunea analogică rezultată este variabilă liniar cu rata de rotație măsurată. Murata Gyrostar ENV-05H, este un giroscop cu frecvența de rezonanță de 8kHz, de dimensiune mică, greutate redusă (42g) și cost mediu [82].

Giroscopale optice sunt preferate înaintea celorlalte tipuri, ele neavând pierderi în mișcare, sau mici pierderi în mișcare, și de aceea nu mai necesită aproape deloc întreținere, și de asemenea neavând sensibilitate gravitațională.

Giroscopul optic este un senzor de viteză unghiular care utilizează două fascicule luminoase monocromatice sau lasere, emise de aceeași sursă, în locul pierderilor mecanice în mișcare. Principiul de funcționare se bazează pe faptul că viteza luminii rămâne neschimbată și de aceea modificările geometrice duc la timpi diferiți de parcurgere a luminii până la destinație. Un fascicul laser este trimis în sensul aceluiași sens printr-o fibră, în timp ce alt fascicul traversează în sens invers aceluiași sens. Pentru că lumina laser care traversează în direcția rotației are o cale mai scurtă, va avea o frecvență mai mare. Diferența de frecvență dintre cele două fascicule este proporțională cu viteza unghiulară a cilindrului [82]. Efectul folosit aici se numește Sagnac. Întârzierea de timp dintre cele două fascicule, este detectată examinând interferența de fază. Se pot folosi de asemenea mai multe giroscopale optice cu axe neperpendiculare, pentru a măsura rotațiile tridimensionale [85].

Concluzionând putem spune că giroscopalele optice au următoarele avantaje: sunt imune la câmpurile electromagnetice, au abilitatea de a avea multe puncte de măsurare de-a lungul unei fibre optice, ceea ce poate duce la o multiplexare a senzorilor și pot fi bine integrate în structura unui sistem, nelăsând posibilitatea desprinderii lor în timpul operațiilor [89].

Tendința recentă este de a crea cât mai multe tipuri de senzori MEMS (Micro-Electromechanical Systems), care sunt senzori miniaturali. Senzorii de tip MEMS prezintă interes major, fiindcă sunt integrabili și astfel parametrii senzorilor pot fi controlați mai ușor. Astfel, s-au realizat și giroscopale MEMS bazate pe elemente mecanice vibratoare. Acestea se bazează pe transferul de energie generat de forțele Coriolis. Unele giroscopale MEMS folosesc cristale de cuarț vibratoare, iar altele mai noi folosesc vibratoare pe bază de siliciu. Pentru că giroscopalele MEMS nu au pierderi care se rotesc, ele consumă mai puțin energie, sunt mici, și astfel se folosesc tot mai mult în detrimentul celor mecanice clasice și celor optice.

Senzorii moderni cei mai utilizați pentru măsurarea direcției unui câmp magnetic sunt cei numiți compas cu efect Hall și cu poartă de flux. Fiecare are avantajele și dezavantajele lui. Efectul Hall descrie comportamentul potențialului electric într-un semiconductor în prezența câmpului magnetic. Când un curent constant este aplicat transversal pe lungimea semiconductorului, va exista o

diferență de tensiune în direcția perpendiculară, transversal pe lățimea semiconductorului, în plus, semnul diferenței de potențial identifică direcția câmpului magnetic. De aceea, un singur semiconductor generează două surtoare de flux în direcții unidimensionale. Compasurile digitale cu efect Hall sunt populare în domeniul roboților mobili, și conțin două astfel de semiconductoare așezate în unghi drept, furnizând două axe ale direcției câmpului magnetic. Asemenea senzori sunt ieftini dar suferă de mai multe dezavantaje. Rezoluția unui compas cu efect Hall digital este mică. Sursele interne de erori includ neliniaritatea senzorului de bază și erorile sistematice de alimentare la nivelul semiconductorului [92]. Este necesară o filtrare care încetinește procesul de preluare a semnalelor, astfel încât compasul cu efect Hall necesită 2,5s pentru a se stabiliza după o rotire de 90° .

Senzorii de tip compas cu poartă de flux operează după următorul principiu. Două bobine mici sunt înfășurate pe miezuri de ferită și sunt fixate perpendicular una pe alta. Când trece un curent alternativ prin ambele bobine, câmpul magnetic cauzează modificări ale fazei în funcție de alinierea relativă față de fiecare bobină. Măsurând deplasarea celor două faze, poate fi calculată direcția câmpului magnetic în 2D. Acest tip de compas poate măsura cu acuratețe puterea câmpului magnetic. Totuși, față de compasul cu efect Hall este de dimensiuni mult mai mari și mult mai scump [92].

Indiferent de tipul compasului utilizat, trebuie luate în calcul posibilitatea existenței unor perturbații de câmp magnetic, datorate existenței unor alte obiecte apropiate care generează câmp electromagnetic. De asemenea, aceste compasuri electronice au o limitare de bandă și pot fi influențate de vibrații. În general a fost evitată utilizarea unor astfel de compasuri în interiorul cilindrilor tocmai pentru a nu fi afectate măsurătorile de astfel de perturbații.

Cercetările în domeniu au dus la apariția altor tipuri de compasuri ca alternative celor menționate mai sus. Astfel au apărut și compasuri magnetorezistive și magnetoelastice.

Compasurile magnetorezistive AMR (anisotropic magnetoresistance) și GMR (giant magnetoresistance) sunt utilizate pentru detecția câmpului magnetic pe o rază mică de acțiune, însă au mare sensibilitate, direcționalitate, dimensiuni mici și cost scăzut. În mod tipic, un generator de undă dreptunghiular de 100Hz este cuplat capacitiv la o bobină externă, care înconjoară doi senzori magnetorezistivi montați ortogonal. Semnalul de ieșire al senzorilor este amplificat și trecut printr-un detector sincron, apoi redresat și astfel ajunge să fie utilizat ca rezultat de ieșire, proporțional cu componentele câmpului magnetic, H_1 și H_2 .

Tehnologiile recente de realizare a dispozitivelor mobile de comunicație abordează și utilizarea unor senzori MEMS de acest tip, pentru diverse aplicații. Tendința actuală este de micșorarea dimensiunilor, pentru realizarea unor dispozitive mobile foarte subțiri, așa cum este cazul celui mai subțire giroscop MEMS pentru stabilizare optică a imaginii preluate de camera video, senzorul IDG 2030 cu două axe, care se poate observa în figura 3.6, realizat de firma InvenSense. Acest senzor are și un consum redus de energie.

3.1.3. Accelerometrul

Un alt tip de senzor inerțial este accelerometrul, care detectează forțele ce acționează din exterior asupra vehiculului robotic. De luat în seamă este însă faptul că sesizează și forța gravitațională. S-au realizat și accelerometre mecanice, dar cercetările au dus la apariția altor tipuri de accelerometre, mai avantajoase și mai ușor de utilizat.

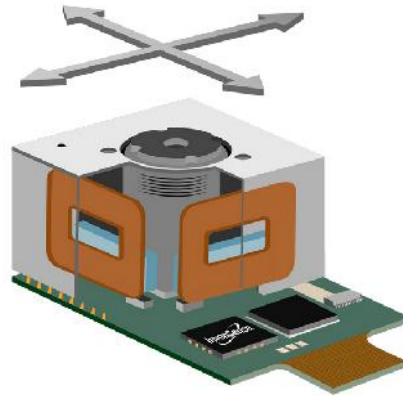


Figura 3.6: Giroscopul MEMS IDG2030.

La cele mecanice se utilizează o greutate legată de un arc, a cărei deplasare este proporțională cu forța aplicată din exterior senzorului. Acest tip de senzor este înș sensibil la vibrații [85].

Accelerometrele piezoelectrice folosesc principiul compresiei unui cristal piezoelectric de cuarț, pentru a genera o tensiune electrică proporțională cu forța de compresie, așa cum se observă în figura 3.7.

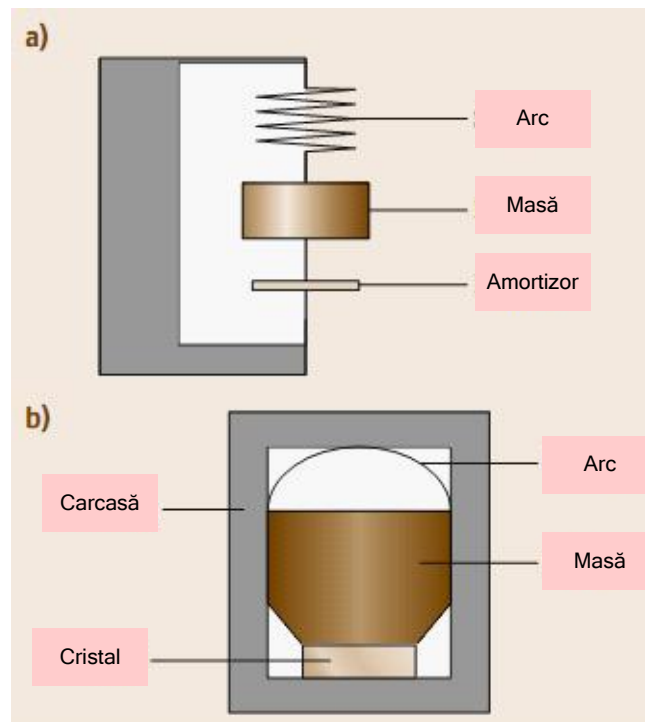


Figura 3.7: Accelerometru: a) mecanic, b) piezoelectric.

În ultimele decenii s-au realizat și alte tipuri de accelerometre, precum cele piezorezistive sau capacitive, de tipul MEMS. Cele capacitive sunt de fapt preferate celor piezoelectrice datorită sensibilității mari și rezoluției foarte bune, dar și a nivelului de zgomot mult mai mare, ceea ce duce la o imunitate mai mare față de zgomote [89].

Un astfel de accelerometru de dimensiuni reduse și cost scăzut este cel prezentat în figura 3.8, MX2125, realizat prin tehnologii MEMS, de către firma Parallax.

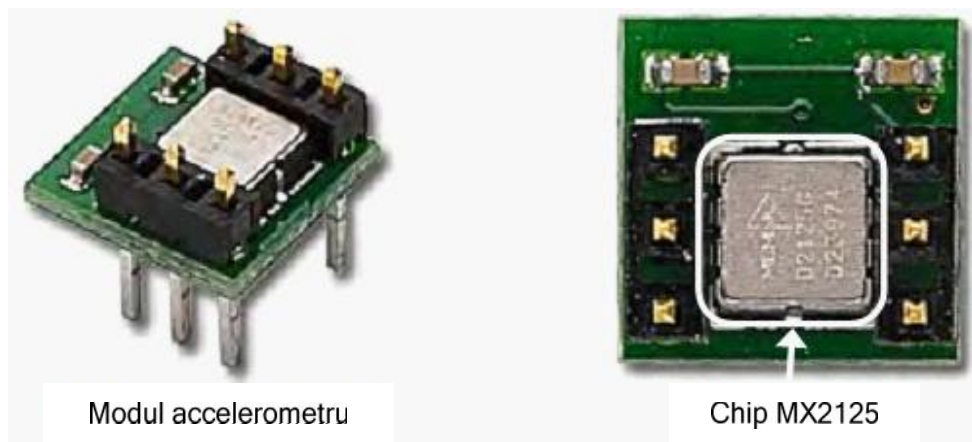


Figura 3.8: Accelerometrul MEMS MX2125.

Omul simte accelerația pe trei axe: față/spate, stânga/dreapta și sus/jos. Acest senzor detectează accelerația pe două axe, în funcție de cum este poziționat. În general, este suficient să detectezi accelerația pe două axe, dar dacă este nevoie de trei axe, se poate utiliza spre exemplu, senzorul MEMS Hitachi H48C.

Principiul de funcționare al senzorului MX2125 este relativ simplu. El conține o cameră cu gaz cu un element de încălzire în centru, și patru senzori de temperatură poziționați în coluri, așa cum se observă în figura 3.9.

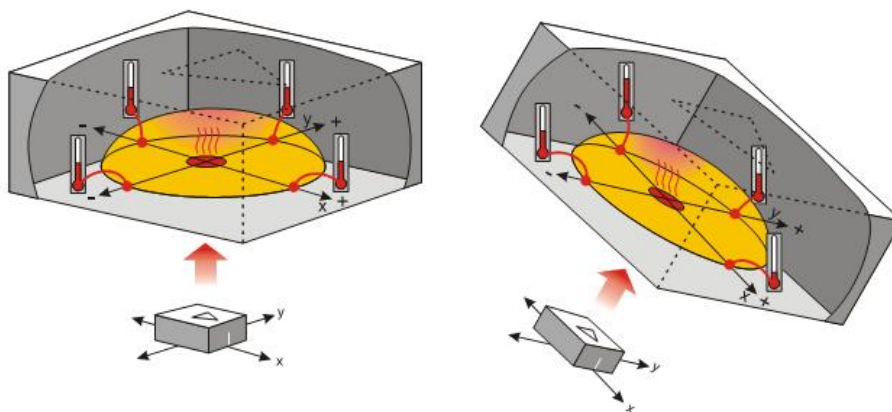


Figura 3.9: Principiul de funcționare al MX2125.

Dacă senzorul nu se mișcă, cei patru senzori detectează aceeași temperatură. Dacă este înclinat, dar nu se mișcă, se detectează o accelerație statică. Astfel, în funcție de poziția accelerometrului și de situarea lui în staționare sau mișcare, putem detecta gravitația, înclinarea și accelerația dinamică [93].

3.1.4. Camera video

Pentru asistarea persoanelor cu deficiențe de vedere s-au folosit în ultimele decenii ca senzori și camerele de luat vederi, de diferite forme și dimensiuni, pentru a fi cât mai mici, mai ușor de purtat, însă problema principală constă în procesarea imaginilor primite de la camere, în timp real, pentru a detecta obstacolele din mediu, cât și modul de comunicație a informației procesate, care trebuie să fie în eleas cât mai bine de persoana în cauză. Pentru a reuși să prelucreze informația, mulți cercetători au folosit camere de luat vederi cu rezoluție redusă, eventual o prelucrare fuzzy și trimiterea informației către un display tactil.

Astfel, autorii articolului [18] au folosit camere de luat vederi cu rezoluție de 320x240 pixeli, luând imagini cu rata de 30fps (cadre pe secundă). Au montat două camere de luat vederi pe rame de ochelari, iar pentru detecția obstacolelor de la nivelul solului au folosit senzori ultrasonici montați pe încălțăminte.

În schimb autorii articolului [19], au folosit o metodă nouă de detectare a obstacolelor în cadrul imaginilor provenite de la camere de luat vederi, și anume, utilizarea unei rețele neuronale antrenate pentru a clasifica regiunile din cadrul imaginilor în culori reprezentative pentru obiecte. Astfel s-a reușit detectarea diverselor obiecte, precum: vehicule, paviment, obstacole, cerul. Pentru clasificarea obiectelor în imagine de către rețeaua neuronală, s-a utilizat transformata Hough, care a redus foarte mult cantitatea de informație din imagine, ajungându-se la segmente de linii. Autorii acestui articol pledează pentru folosirea acestei imagini de informație redusă de către persoane cu vederea slabă, prin utilizarea unor implanturi moderne la calea vizuală a ochiului.

Alți cercetători, autorii proiectului WLVA (Wearable Low-Vision Aid), au încercat realizarea unui sistem portabil, cu cost redus, cu ajutorul camerelor de luat vederi care preiau informația din mediu, o preprocesează pentru a detecta diferite obstacole iar informația procesată este transformată de către un display cu fibră optică, montat pe ramele unor ochelari, în informație de lumină care este proiectată pe retină [20].

Într-un alt articol [21], autorii prezintă un sistem portabil cu cost redus care utilizează de asemenea două camere de luat vederi ieftine, conectate la portul USB, și un sistem tactil virtual care comunică informațiile persoanei nevăzătoare. S-au impus de asemenea, de la început o serie de constrângeri, cum ar fi: costul redus al sistemului, consum redus de energie, procesare în timp real, greutate sub 4Kg, să fie ușor de folosit, eficient și confortabil, să nu deranjeze în timpul acțiunilor obișnuite și nu în ultimul rând să fie portabil. La început s-a considerat că sistemul este folosit în interior și că nu există suprafețe reflectante sau geamuri, care ar putea crea erori de detecție a obstacolelor.

În cele mai multe cazuri se folosesc camere de luat vederi cu un câmp de vedere limitat și de aceea uneori se folosește metoda rotirii camerelor. Însă autorii articolului [97] au folosit camere catadioptrice omni-direcționale cu înaltă rezoluție, CCD Nikon Coolpix 995. Astfel au achiziționat imagini omni-direcționale (sferice) pe care le-au desfășurat apoi în plan și au detectat obiectele din mediu. Prin folosirea unor astfel de camere, se pot detecta obstacolele de jur-împrejurul persoanei și nu se mai pune problema unui anumit unghi de vedere [98], așa cum se poate observa

în figura 3.10.

Maniera în care persoana uman folosește ochii pentru a percepe lumea tridimensională, a inspirat pe unii cercetători să folosească două camere de luat vederi, iar perspectivele diferite asupra aceluiași mediu, de la cele două camere, au condus la detectarea deplasărilor relative din imagini, ceea ce se numește disparitate [99].

După ce s-au detectat obiectele în imaginea rezultată în urma procesării, rezultatul este convertit pentru a fi comunicat persoanei, în sunete de înaltă frecvență pentru obiecte aflate în partea superioară a imaginii și sunete de joasă frecvență pentru obiecte aflate în partea inferioară a imaginii. Intensitatea sunetului este direct proporțională cu intensitatea pixelilor din imagine. Alți cercetători au folosit pe lângă o pereche de camere și o altă metodă de comunicație, și anume o membrană cu actuatori piezoelectrice. Autorii articolului [99] au realizat un prototip de sistem numit (Stereo Vision based Electronic Travel Aid - SVETA), care este destul de mic pentru a putea fi purtat de o persoană. S-au folosit camere video CMOS (Complementary Metal–Oxide–Semiconductor), iar procesarea a fost făcută la 500MHz și 256 MB RAM.

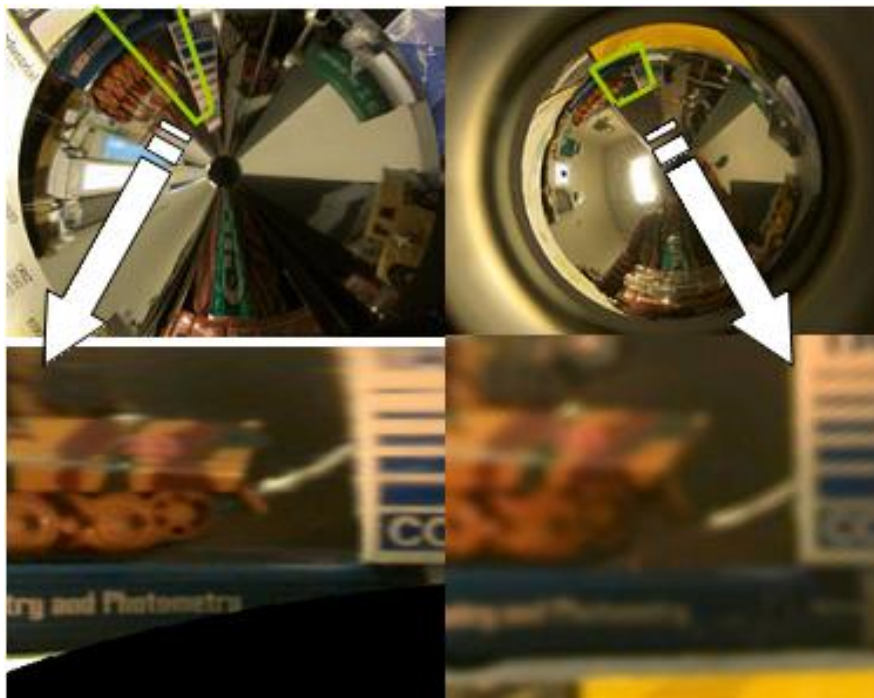


Figura 3.10: Imagini omni-direcționale.

Imaginea de disparitate obținută prin procesarea imaginilor de la cele două camere este convertită în sunete muzicale stereo, folosindu-se mai multe octave. Sistemul a fost testat cu mai multe persoane și rezultatele au fost satisfăcătoare, dar au apărut unele erori de multiplicare a obiectelor în medii exterioare luminoase.

Un alt grup de cercetători au preluat imaginile de la camerele de luat vederi și le-au comparat cu alte imagini preluate anterior, identificând puncte comune în

imagini, pentru a realiza prelucrarea imaginilor și a detectarea obstacolelor [100].

Într-un alt articol [101], autorii au folosit camere de luat vederi pentru a ajuta în deplasarea persoanelor cu deficiențe de vedere care se deplasează în curcubul, pentru care estimarea traiectoriei de urmat este și mai importantă. Au folosit camere de luat vederi de mici dimensiuni, conectate împreună, precum cele situate pe rampele ochelarilor, montate la partea superioară a capului, iar informațiile au fost procesate de către un laptop montat pe curcubul, cu puterea de procesare de 20 de imagini pe secundă. În cadrul testelor efectuate în medii interioare, dar mai ales exterioare, a scăzut rata de procesare a imaginilor la 5, însă suficiente, după cum spun autorii pentru a putea fi detectate obiecte depărtate în imagini.

Cercetările prezente care se realizează cu camere de luat vederi dau totuși speranța unei asistări mai bune, bazându-se pe noi algoritmi de procesare a imaginilor și pe creșterea puterii de calcul odată cu miniaturizarea senzorilor și a sistemelor de calcul.

La ora actuală, camerele video de tipul MEMS devin tot mai performante. Cantitatea de informație preluată de camere devine tot mai mare, de ordinul megapixelilor, procesarea tot mai rapidă, iar dimensiunile camerei devin tot mai mici, așa cum se poate observa în figura 3.11.



Figura 3.11: Camere video MEMS folosite în telefoane.

3.1.5. Senzori utilizați pentru navigație globală

În domeniul roboticii există senzori care se folosesc în metode de navigație locală, prin care se pot detecta obstacolele din imediata vecinătate, în vederea ocularii acestor obstacole și sunt senzori utilizați în metode de navigație globală, metode care au la bază o planificare inițială a traiectoriei și care detectează în fiecare moment poziția unei persoane, în acest caz, în cadrul traiectoriei.

În cele mai multe cazuri, la navigația locală, echipele de cercetare folosesc mai multe tipuri de senzori, fuzionând datele de la aceștia într-o anumită manieră, pentru a avea un rezultat cât mai satisfăcător, sau cu alte cuvinte, pentru a ghida cât mai bine persoanele cu deficiențe de vedere în deplasarea lor. Cu toate acestea, pot fi situații neprevăzute, în care traiectoria urmată cu regularitate de o anumită persoană să fie totuși blocată, spre exemplu de repararea unei străzi, sau de existența unei greve, iar persoana în cauză poate fi pusă într-o mare dificultate, dacă se vede nevoită să se întoarcă și să urmeze un alt traseu. Din acest motiv sunt echipe de cercetare care utilizează sisteme de asistare bazate atât pe navigație locală, cât și pe navigație globală, pentru că acestea din urmă au o componentă care realizează o supervizare a persoanei cu deficiențe de vedere, prin intermediul unei transmisii de radiofrecvență sau de tip GSM (Global System for Mobile Communications), sau folosind un modul GPS (Global Positioning System). Acest componentă aduce avantajul supervizării, având cunoștințe despre ruta de deplasare, modificările de ultim moment ale acestei rute, de genul unui accident de circulație, a blocajului unei străzi datorate unei manifestații, etc. și furnizează o siguranță în deplasarea persoanei.

Sistemul de poziționare globală este cea mai folosită metodă de determinare a locației. El furnizează o estimare a poziției tridimensionale în coordonate absolute și este utilizabil oriunde pe pământ. A fost inițial dezvoltat pentru aplicații militare, dar acum este foarte mult utilizat în aplicații civile, incluzând aici sistemele de navigație automotive, orientarea turistică, verificările pozițiilor autovehiculelor pe rutele dorite. Sistemul folosește recepția undelor radio emise de mai mulți sateliți care se deplasează pe orbite în jurul pământului. Comparând întârzierea rezultată la recepția acestor semnale, se poate calcula poziția sistemului. Cei mai utilizați sunt sateliții NAVSTAR în număr de 24, a căror înălțime este de 20,190 km. Câte patru sateliți se află localizați într-un plan inclinat la 55° față de planul ecuatorului, rezultând 6 astfel de plane. Fiecare satelit transmite continuu poziția sa și timpul transmisiei. Pentru determinarea poziției unui sistem GPS se folosește metoda triangulației, recepționându-se date simultan de la patru sateliți. Sateliții își sincronizează transmisiile, astfel încât recepția este simultană. Pentru ca sateliții să fie bine sincronizați, ei sunt în comunicație cu stații de la sol și fiecare satelit poartă câte un ceas atomic, pentru precizia timpului emis. Pentru că sistemul GPS de la sol are în componență doar un cuarț, iar pentru triangulație se folosesc semnalele de coordonate emise de trei sateliți, semnalul emis de unul din cele patru sateliți este utilizat pentru corecția timpului [92]. Astfel sistemul GPS are o precizie destul de bună. În figura 3.12 putem observa modul de funcționare al sistemului GPS.

Un număr de factori influențează performanța localizării GPS. Unul dintre ei este poziția relativă diferită a distanței între doi sateliți, în zone diferite ale pământului, fiind astfel afectată rezoluția determinării poziției GPS. Ca urmare rezoluția se situează pe la 15 – 20m. Însă pentru îmbunătățirea rezoluției se utilizează diferite metode, cum ar fi GPS diferențial, care aduce rezoluția până la 1m sau chiar mai puțin. În acest caz se mai folosește un al doilea receptor static, care

se află la o poziție bine cunoscută, într-o rază de câțiva kilometri de primul, ca referință. Sunt și alte metode de îmbunătățire a rezoluției, unele din ele folosindu-se de faza semnalelor putătoare emise de sateliți. Sunt două astfel de semnale putătoare, la 19cm și 24cm, și astfel se poate obține o precizie mai bună surșând diferențele de fază la semnalele emise de sateliți.

Marele dezavantaj al sistemului GPS este absența semnalului în interiorul clădirilor, unde asistarea poate fi realizată doar de către senzori cu care se poate realiza navigație locală.

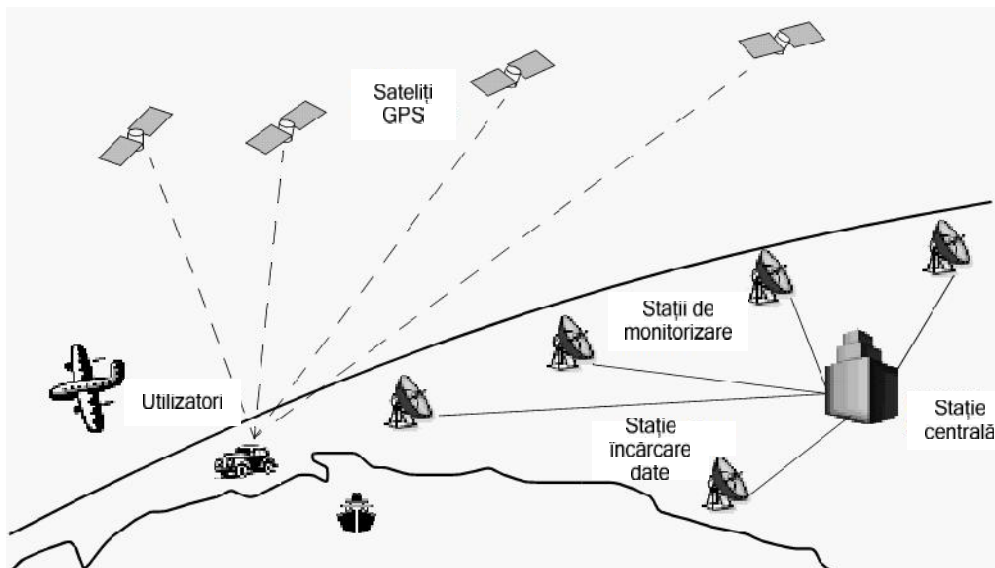


Figura 3.12: Modul de funcționare al sistemului GPS.

DRISHTI este un astfel de sistem de navigație cu comunicație la distanță. El integrează câteva tehnologii: calculator portabil, analiză și sinteză vocală, rețele fără fir, sistemul internațional geografic (GIS) și sistemul de poziționare global (GPS) [27].

Pe baza rezultatelor experimentale, concluzia autorilor a fost aceea că doar un sistem complex, care utilizează atât navigație locală bazată pe senzori multipli, cât și navigație globală realizată prin GIS, GPS și comunicație wireless, poate satisface mulțimea de condiții de asistare în deplasarea persoanelor cu deficiențe de vedere.

3.2. Interfețe de comunicație om-măcin pentru persoane cu deficiențe de vedere

La realizarea sistemelor de asistare senzorială, trebuie avute în vedere câteva cerințe de ordin tehnic: sistemele să fie portabile, să aibă cost redus, greutate redusă, autonomie energetică crescută și nu în ultimul rând, să fie ușor de folosit. Referindu-ne la ultima cerință pentru aceste sisteme, amintit mai sus, că sistemul să fie ușor de folosit, putem spune că este o cerință foarte importantă și că

eficiența sau utilitatea unui sistem de asistare depinde foarte mult de realizarea unei bune comunicații între sistem și persoana în cauză.

O persoană cu deficiențe de vedere este nevoită să se folosească de celelalte simțuri pe care le are și din acest motiv folosesc mult mai eficient aceste simțuri decât persoanele care au simțul vizual. De aceea din nașterea celorlalte simțuri nu sunt înzestrate diferit în sens superior decât la persoanele vizuale, totuși, pentru a se putea suplini vizual, persoanele în cauză sunt nevoite să utilizeze mult mai mult celelalte simțuri, adică pipitul, auzul, mirosul. Din punct de vedere al cantității de informație utilă receptată de către organism, vizual se situează pe primul loc, iar în lipsa lui, pipitul și auzul vor trebui să recepționeze cea mai mare parte de informație utilă pentru desfășurarea activității de zi cu zi a unei persoane vizuale.

3.2.1. Metode de comunicație audio

Precum am menționat anterior, o persoană cu deficiențe de vedere folosește în lipsa vizualului, celelalte simțuri disponibile, pentru a se putea deplasa și pentru a lucra. Pe lângă metodele care utilizează simțul tactil, în domeniul asistării, metodele de comunicație a informației din mediu sub formă audio sunt și ele mult utilizate, dovedindu-și eficiența, iar în unele cazuri comunicând chiar o mai mare cantitate de informație.

Termenul display audio a fost folosit în trecut pentru a face referire la toate modalitățile de comunicație audio a informației [103]. Sub această denumire poate fi sinteza vorbirii, prin care se citește un text unei persoane vizuale, o alertă sonoră pentru un anumit eveniment, sau comunicarea sub formă audio a existenței unor obstacole în mediu, unei persoane vizuale.

Metodele de comunicație a informației sub formă sonoră sunt diverse, începând de la emiterea unor sunete de alertă, la generarea unui mediu virtual audio 3D. Aceste metode sunt în continuă evoluție pentru a se găsi soluții optime, eficiente, în vederea înțelesului cât mai bun și mai rapid al informației comunicate.

3.2.2. Comunicație audio binaurală

Oamenii pot folosi simțul auzului pentru a localiza sunetele în mediul în care lucrează sau locuiesc. La persoanele cu deficiențe de vedere această abilitate s-a dezvoltat și mai mult datorită faptului că acestea sunt nevoite să se folosească mai mult de simțul auzului, datorită deficiențelor de vedere pe care le au. Localizarea sunetului se poate face pe baza diferenței de timp a recepției sunetului la cele două urechi (ITD – Interaural Time Difference) și a diferenței de intensitate (IID – Interaural Intensity Difference). IID este mai pronunțat peste frecvența de 1,5 kHz, iar ITD poate fi folosit pentru oricare frecvență din spectrul audio uman. Pentru obținerea de tonuri pure se mai poate folosi și alt parametru, și anume întârzierea de fază între cele două urechi (IPD – Interaural Phase Delay).

Sistemul de asistare sonic binaural Sonicguide [87], conceput în forma unei rame de ochelari, este bazat pe radiația ultrasonică cu fascicul larg (deschidere de 55°), iar semnalele ecou de la receptori sunt prelucrate și furnizate separat celor două urechi, diferența interaurală rezultată permițând utilizatorului să determine direcția obstacolului. Distanța până la un obiect este transpusă în frecvența semnalului audio, furnizându-se astfel informații clare despre poziția obiectului. Un avantaj al acestui sistem este că nu necesită o explorare activă din partea utilizatorului.

O versiune îmbunătățită a sistemului Sonicguide este cel numit KASPA, care este purtat de utilizator pe frunte. Acest sistem creează o imagine auditivă a obiectelor din fața utilizatorului, permițând acestuia prin antrenament, să distingă diferite obiecte și chiar diferite suprafețe din mediu [87].

Un alt sistem, NavBelt, poate funcționa în două moduri: ghidare, caz în care detectează obstacolele din fața sa, modificând direcția robotului mobil, care este urmat de persoană, și modul imagine, în care sistemul scanează mediul și realizează o imagine virtuală acustică a lui, pe care o transmite mai apoi persoanei [87].

În modul ghidare sistemul poate conduce persoana nevăzătoare la locația dorită, cum ar fi o stradă, o clădire, pe care aceasta o precizează, cu ajutorul unui sistem de poziționare global GPS. Pentru ghidare se folosesc semnale audio stereo, furnizate la căști. Dacă direcția de mers coincide cu cea planificată, atunci semnalul audio generat are o frecvență joasă (250Hz). Se folosește o frecvență joasă pentru ca persoana să fie capabilă să detecteze și sunete provenite direct din mediul înconjurător. Dacă în schimb, persoana merge pe o direcție diferită de cea planificată, într-o limită de $\pm 5^\circ$, atunci se emite un semnal sonor de frecvență înaltă.

În cazul modului imagine, principiul este cel al radarului, iar mediul acustic generat în căștile stereo, este un sunet care se deplasează „de la o ureche la alta”, în concordanță cu deplasarea spotului de scanare, iar caracteristicile audio ale acestuia sunt modificate în funcție de detecția sau nu a obiectelor.

Astfel, acest mod de lucru oferă o imagine virtuală acustică a mediului. Obstacolele sunt detectate de senzorii ultrasonici, iar informația rezultată poate fi reprezentată într-o histogramă polară. Scanarea se face pe pași de 15° acoperind în final 180° .

Acest mod de asistare folosește o reprezentare bidimensională a mediului în format audio, adică un mediu virtual acustic. Bineînțeles că este nevoie de mai multe ore de antrenament, după estimarea autorilor, până la 100 de ore, pentru ca sistemul să poată fi utilizat în asistare.

Un grup de cercetători din Korea au realizat așa-numitul sistem ETA (Electronic Travel Aids), care asistă persoana cu deficiențe de vedere, prin transformarea semnalului din stereo ultrasonic în sunet binaural [14]. Pentru achiziția informației cu privire la mediu se folosesc două subsisteme, unul la nivelul capului, având doi senzori ultrasonici, situat pe rame de ochelari, iar al doilea, la nivelul solului, situat pe un baston mobil echipat cu roți.

Există două modalități de comunicație, una de nivel înalt – limbajul, care însă creează probleme la reproducerea sa, din punct de vedere tehnic, iar a doua, de nivel scăzut – transmiterea sunetelor.

Această a doua metodă de transmitere a informației este cea utilizată de către sistemul ETA, bazându-se pe faptul că omul poate recunoaște nu doar sunetele, ci chiar poziția în spațiu a sursei sonore, datorită diferenței percepute de către cele două urechi.

Poziția obiectului pe orizontală este transpusă în amplitudinea și diferența interaurală de fază a semnalului audio, azimutul, sau poziția pe verticală este transpusă în timbrul sonor, iar proveniența datelor de la un subsistem sau altul (cel de la nivelul solului sau cel de la nivelul capului) este transpusă în modificarea benzii semnalului audio. Pentru informații provenite de la sistemul senzorial aplicat pe ochelari, semnalul audio generat este într-o bandă de frecvență joasă, iar pentru informații provenite de la sistemul senzorial mobil de la nivelul solului, semnalul audio va fi într-o bandă de frecvență înaltă.

O echipă de cercetare din Ungaria [14] a realizat un alt sistem de asistare care, similar cu cel anterior, realizează o ghidare audio a persoanei cu deficiențe de vedere, care transformă informația referitoare la poziția obiectului în semnal audio stereo.

Principalele funcții ale sistemului de asistare sunt: detectarea obstacolelor în fața utilizatorului prin intermediul ecografiilor ultrasonice și indicarea distanței și a poziției orizontale (2D) prin intermediul efectului stereo spațial; culegerea informațiilor din mediu prin intermediul unui subsistem radio. Subsistemul radio constă din transmițătoare montate pe vehicule și clădiri publice și transmițătoare mobile purtate de către persoanele nevizi toare. Sistemul este în particular folositor pentru a da informații de navigație privitoare la nodurile din trafic. Un sintetizator de voce inclus în sistem informează utilizatorul cu privire la datele relevante.

După cum menționează autorii, scopul lor a fost acela de a realiza un dispozitiv multifuncțional, practic și ieftin, luând în considerare cerințele persoanelor nevizi toare. Ca urmare, componentele sistemului au fost integrate într-o singură unitate de mici dimensiuni. Autorii au decis folosirea unui procesor de semnal (DSP-Digital Signal Processor), cu ajutorul căruia să realizeze o detecție a obstacolelor prin metoda ecografiilor și să comunice informația prin intermediul unui mediu virtual audio. În acest scop s-au utilizat un emițător ultrasonic și doi receptori, montați pe perimetrul persoanei nevizi toare.

Pentru comunicarea informației, s-a realizat un mediu virtual spațial care să ofere persoanei senzația de plasare a sursei de semnal acolo unde este în realitate obstacolul, prin intermediul unui semnal stereo furnizat la căști. Sistemul de asistare a fost realizat și testat practic.

Acestui sistem i-a fost adăugată o componentă informațională radio, prin intermediul căreia, o voce sintetică prezintă informații referitoare la ruta de urmat. Emițătoarele radio, cu o rază de acțiune de 20 metri, vor putea fi puse în locuri aglomerate, precum stațiile de autobuz, oficiile, garile, aeroporturile, pentru a da informații utile persoanelor cu deficiențe de vedere.

Sistemul a fost testat de persoane cu deficiențe de vedere. Forma de undă a semnalului audio a fost modulată în amplitudine, încercându-se reproducerea sunetului unor corzi. În cadrul testului au fost plasate diferite obiecte de dimensiune mai mare într-un spațiu închis mai restrâns și chiar au fost puse diferite persoane să traverseze prin zona respectivă. În final rezultatele testului au fost satisfăcătoare, persoana nevizi toare care a realizat testul fiind chiar entuziasmată menționând că este cel mai bun sistem de ajutorare pe care l-a încercat.

Putem menționa faptul că autorii au considerat că sistemul este încă în fază de dezvoltare, dar o versiune experimentală a demonstrat că principiile utilizate de către sistem sunt viabile a fi folosite pentru asistare.

3.2.3. Comunicație audio bazată pe funcții de transfer HRTF

Interesul pentru realizarea unui mediu audio tridimensional a crescut în ultimul timp. De asemenea și interesul pentru realizarea mediilor virtuale interactive a crescut [104], [105].

Pentru mai mulți ani de zile, interesul pentru sistemele audio binaurale 3D a stat la baza mai multor cercetări [106]. Înregistrările binaurale, care se fac chiar și în ziua de azi, sunt realizate cu scopul redării sunetelor prin intermediul căștilor, în așa manieră încât ascultătorul să aibă senzația ascultării reale a sunetelor [107].

Pentru a putea da răspunsul la întrebarea: cum se reproduc sunetele într-un mediu virtual 3D, este nevoie să știm cum pot oamenii localiza sunetele cu ajutorul

aparaturii auditive.

Un sunet generat în spațiul înconjurător generează o undă sonoră care se propagă în spațiul înconjurător. Dacă sursa sunetului se află în stânga ascultătorului, atunci sunetul întâlnește urechea stângă înainte de a ajunge la urechea dreaptă și astfel există o întârziere între cele două sunete recepționate de către urechi. În plus, sunetul va ajunge atenuat la urechea dreaptă datorită existenței capului în calea sunetului. De altfel, ambele sunete recepționate de către urechi vor fi afectate de prezența trunchiului uman, a capului și în mod particular de forma urechii externe. Căutele existente în forma urechii externe vor modifica parametrii semnalului sonor, în special atenuând anumite frecvențe din conținutul semnalului audio și amplificând alte frecvențe, într-o manieră care depinde de unghiul de incidență al sunetului și astfel în mod implicit, de locul sunetului în spațiu. Astfel o ureche acționează ca un circuit complicat de control al tonului, care este dependent de direcția de recepție a sunetului. Toți acești factori ce intervin în recepția sunetului de către aparatul auditiv uman trebuie luați în considerare în vederea modelării unui mediu virtual acustic realist [108].

Primii parametri ce trebuie luați în calcul pentru localizarea în plan a unui sunet sunt diferența de timp interaural și diferența de intensitate interaural [109]. Calea sunetului în cadrul aparatului auditiv uman este mai complexă, motiv pentru care modelarea mediului virtual acustic este greu de realizat și din acest motiv pot exista diferențe între realitate și mediul virtual. Cavitatea centrală a urechii externe are o contribuție majoră în modificarea componentelor sonore de frecvență situate în jurul valorii de 5KHz, amplificând nivelul acestora cu aproximativ 10-12dB.

Datorită greutății modelării reproducerii realiste a sunetului, s-a recurs la înregistrarea sunetelor la nivelul urechii, rezultând un set de caracteristici numite Head-Related-Transfer-Function (HRTF), care conține trei elemente: un răspuns din apropierea urechii, un răspuns de la depărtare și întârzierea de timp interaural. Cele trei elemente caracteristice ale setului HRTF, menționate mai sus, pot fi sintetizate electronic și apoi reproduse sunetele prin intermediul câștilor sau difuzoarelor [110].

Setul de funcții HRTF diferă însă de la persoană la persoană datorită diferențelor de mărime și de formă ale factorilor implicați, adică ale componentelor corpului uman care modifică modul de recepție a sunetului: trunchiul, capul, umerii, urechea externă. De aceea, pentru a realiza cât mai realist mediul virtual, acesta trebuie să fie individualizat, adică să țină cont de setul de caracteristici HRTF al persoanei în cauză.

De-a lungul timpului s-au realizat mai multe baze de date cu aceste caracteristici HRTF, de menționat fiind bazele de date publice realizate de laboratorul MIT (Massachusetts Institute of Technology) și cele ale CIPIC Interface Laboratory (University of California Davis). Măsurările realizate de către echipa MIT au fost efectuate pe un manechin numit KEMAR (Knowles Electronic Manikin for Acoustic Research), într-o cameră anecoică [111].

Echipa MIT a realizat în total 710 măsurători în diferite locații în apropierea manechinului KEMAR. Când se sintetizează o locație care nu este disponibilă prin aceste măsurători, se face o interpolare din cele patru locații adiacente. Cea mai simplă tehnică de interpolare este interpolarea liniară, la care se folosește media liniară a vecinilor HRTF pentru a obține poziția dorită. Se pot folosi însă și interpolări mai complexe, precum este interpolarea spline [112].

Întregul set de măsurători HRTF realizat de echipa de la MIT constă în parametrii măsurători la 72 locații diferite de azimut și 14 locații diferite de elevație. Setul acoperă întregul azimut ($0^{\circ} - 360^{\circ}$) și gama de elevație de la -40° la 90° .

M sur torile realizate de CIPIC Laboratory constau în 45 seturi de date HRTF individuale ob inute de la 43 persoane (27 bărbați și 16 femei) și de la un manechin KEMAR cu două modele ale urechii. Pentru fiecare persoană s-au realizat 1250 de măsurători la fiecare ureche, pentru 25 locații diferite de azimut și 50 locații diferite de elevație [112]. Pe baza acestor seturi de date s-au realizat aplicații software care să genereze mediul virtual acustic cât mai realist. Astfel, pe baza măsurătorilor realizate de laboratorul MIT a fost realizată o simulare Matlab [111].

Interfața grafică realizată, așa cum se vede în figura 3.13, permite introducerea de către utilizator a azimutului și a elevației pentru locația dorită de utilizator și fi reprodus sonor și aplicația încarcă datele corespunzătoare HRTF și generează sunetele folosind datele introduse. A doua posibilitate este ca utilizatorul să indice cu mouse-ul o locație într-o fereastră reprezentând o cameră virtuală.

Un punct ce reprezintă locația este reprezentat în camera virtuală, iar azimutul este reprezentat sub formă de text. În mod implicit este utilizat zgomotul alb pentru a simula efectul 3D pentru că acesta conține toate frecvențele necesare, dar pot fi utilizate pentru demonstrație și alte sunete precum: elicopter, pistol, geam spart, etc.

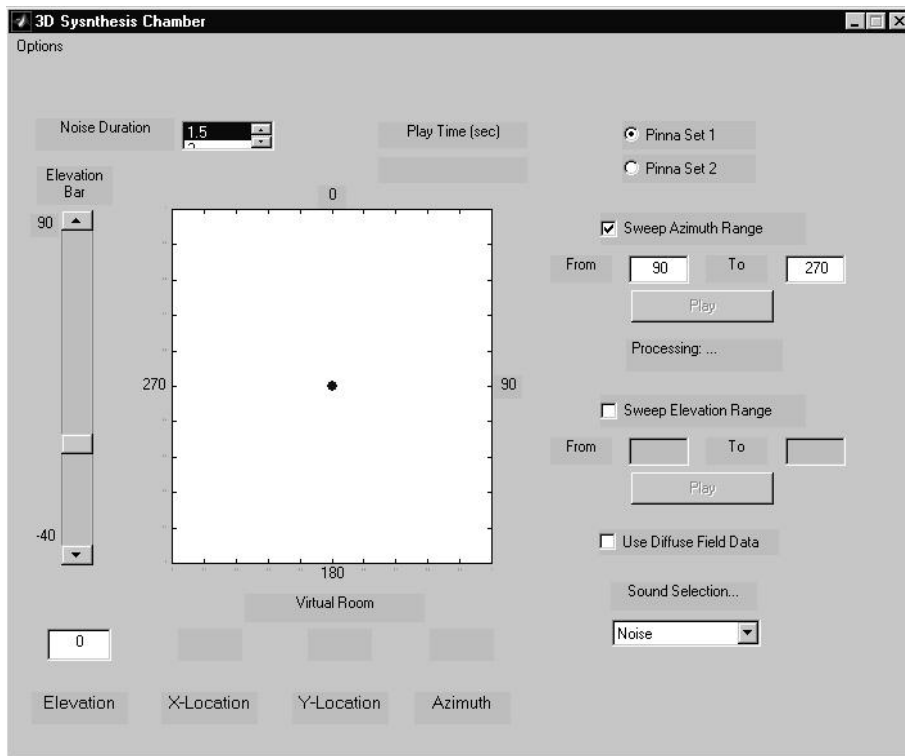


Figura 3.13: Implementare Matlab care utilizează setul HRTF.

Concluzia desprinsă de către autorii acestei implementări software este că se generează un sunet realist și că există o confuzie față de caracteristicile setului de date HRTF. Elevația, de asemenea, este detectată cu o ușoară dificultate.

Pornind de la setul de măsurători HRTF realizat de către echipa de la universitatea MIT și de la implementarea în Matlab a mediului virtual acustic, am propus în lucrarea [113] algoritmi pentru îmbunătățirea implementării și generarea unui mediu virtual acustic cât mai aproape de realitate, care să asiste persoanele cu deficiențe de vedere, poziționând cât mai exact în spațiul audio obstacolele detectate de sistem.

Au existat diferite metode de îmbunătățirea a modelării mediului acustic prin folosirea funcțiilor de transfer HRTF și există și actualmente un interes deosebit în cercetare în acest sens [113].

Setul de măsurători HRTF oferă posibilitatea reproducerii realiste a sunetului și a locației dorite a sursei, folosind la intrare un semnal audio monofonic [116][117].

De-a lungul timpului s-au realizat diferite implementări software bazate pe tehnici îmbunătățite care au la bază funcțiile de transfer HRTF, iar aceste implementări software au fost și sunt utilizate de către numeroase plăci de sunet pentru reproducerea unui mediu virtual acustic generat de către un joc, sau pentru a asculta muzică într-o ambianță acustică cât mai realistă. Însă domeniul mai lăsat acum loc de îmbunătățiri.

Un astfel de mediu virtual acustic este folosit ca mod de comunicare a informației de către diferite sisteme de ajutorare a persoanelor cu deficiențe de vedere și este de un real folos pentru că prin această modalitate persoanele în cauză percep realitatea înconjurătoare ca o imagine tridimensională, formată la nivelul cortexului cerebral. Cu siguranță este nevoie de ore de antrenament pentru a percepe această imagine tridimensională virtuală realizată acustic, însă în lipsa vederii este o bună modalitate de a percepe realitatea înconjurătoare, fiind similară cu percepția vizuală.

3.2.4. Comunicație bazată pe sinteza vorbirii

La începutul anului 2007, în Santiago de Chile a fost realizat un sistem de asistare a persoanelor cu deficiențe de vedere în deplasarea cu autobuzul pe distanțe mai mari, numit Transantiago. În completare se putea utiliza un alt sistem de asistare, portabil, numit AudioTransantiago, ce putea fi utilizat și pe rute de distanță mai mică la deplasarea cu mijloacele de transport în comun. Acest din urmă sistem de asistare se putea folosi pentru a planifica o călătorie și pentru a comunica informații necesare pe timpul călătoriei, prin intermediul sintezei vocale [119].

Aplicația software utilizată a fost realizată pentru un pocketPC sub platforma Windows Mobile 2005 și s-a folosit un software de randare Text-to-Speech (TTS) de la Acapela Group. Pentru a comunica persoanei nevăzătoare navigarea prin aplicație s-au folosit diverse sunete. Aplicația are două funcții principale: planificarea unei călătorii și realizarea călătoriei.

Pentru a planifica o călătorie, utilizatorul trebuie să urmeze căiva pași: selectarea unei zone din oraș unde vrea să călătorească, alegerea rutei pe care vrea să o parcurgă, alegerea direcției de călătorie, să definească un punct de pornire și în cele din urmă destinația călătoriei. Ca ajutor, călătoria în cadrul aplicației se poate realiza în avans, pentru a se verifica ruta potrivit a călătoriei.

La efectuarea testelor au participat 6 persoane nevăzătoare cu vârsta între 27 și 50 de ani, toți locuitori în Santiago de Chile. Pentru început s-a realizat un antrenament cu două sesiuni de câte 60 de minute în laboratorul de la Universitatea din Chile, pentru ca persoanele în cauză să se acomodeze cu sistemul portabil, cu aplicația propriu-zisă.

Ca urmare a testelor, participanții au apreciat alegerea potrivită a componentei software de sinteză vocală, care a realizat sinteza vorbirii rapid și clar, cu o voce agreabilă. De asemenea, persoanele care au avut o vedere slabă au apreciat și culorile potrivite folosite în cadrul aplicației, cu un contrast bun, pentru a facilita o bună vizualizare a aplicației.

Concluzia ce a urmat testelor efectuate a fost că un astfel de sistem de asistare este de un real folos, căci, după cum spunea unul din participanți, indicarea străzilor din jur în timpul călătoriei și de altfel a rutei, te ajută să anticipezi coborârea și îți dă siguranță în timpul călătoriei. Autorii sistemului de asistare au concluzionat că trebuie să mărească cantitatea de informație contextuală de comunicație, aplicația să poată planifica o călătorie pe mai multe rute, să fie încorporate rețelele de metrou în aplicație și în cele din urmă, să se efectueze teste mai complexe, cu rute mai lungi.

Mai multe echipe de cercetare au realizat sisteme de asistare care au folosit pentru comunicația informației privind existența unor obstacole în mediu, sinteza vorbirii. Autorii articolului [120] au folosit un receptor GPS conectat la un PDA (Personal Digital Assistant) portabil având o componentă software de sinteză vocală pentru a comunica informația privitoare la poziția detectată, în cadrul unui proiect numit CASBlIP. În mod complementar au folosit și alți senzori pentru detectarea obiectelor, iar informația cu privire la prezența unor obiecte în mediu este comunicată prin intermediul unui mediu virtual acustic 3D, bazat pe funcțiile de transfer HRTF.

DRISHTI este un astfel de sistem de navigație cu comunicație la distanță pentru supervizare. El integrează câteva tehnologii: calculator portabil, analiza și sinteza vocală, rețelele fără fir, sistemul internațional geografic și sistemul de poziționare global [27].

Pentru a realiza interfața de comunicație vocală între persoana asistată și sistem, s-a folosit componenta software IBM ViaVoice, cu implementare în Java Speech API. S-a realizat astfel atât recunoașterea vorbirii cât și sinteza vocală. O astfel de comunicație a informației, care să cuprindă atât sinteza vorbirii, cât și recunoașterea ei este cu siguranță eficientă, dacă există o anumită acuratețe a redării și a recunoașterii vocale, iar sistemul IBM ViaVoice a dovedit rezultate promițătoare, pentru că este necesară o bună alegere a informației comunicate atât de către sistem cât și de către om.

Alte sisteme de asistare folosesc sinteza vocală pentru comunicarea informației, dar într-o altă manieră, folosindu-se de mediul acustic virtual tridimensional, în cadrul căruia se comunică informația prin sinteză vocală, dând persoanei asistate senzația vorbirii din locația în care se află un obstacol.

Datorită progresului existent în domeniul Informaticii, mai multe firme, printre care și gigantul Google, au realizat aplicații software care reproduc vorbirea, așa cum este Text-To-Speech engine, motorul de sinteză vocală inclus în sistemul de operare Android al dispozitivelor mobile de comunicație, dar și aplicații software care recunosc vorbirea, Voice Recognition engine, inclus și el în sistemul de operare Android. În urma testelor efectuate se constată un procent mare de recunoaștere și reproducere a vorbirii, însă acest procent diferă mult în funcție de limba selectată. Cercetările ulterioare în domeniu vor aduce cu siguranță îmbunătățiri semnificative, iar aceste funcții vor fi folosite din plin pe dispozitivele mobile în viitorul apropiat.

3.3. Concluzii

În domeniul roboților mobili se utilizează multe tipuri de senzori, însă în acest capitol se abordează doar modul de utilizare al senzorilor propuși a fi utilizați de către mediul integrat de asistare la care se referă această lucrare.

Senzorii ultrasonici sunt foarte mult utilizați în domeniul roboților mobili datorită ușurinței în utilizare, a costului redus, a fiabilității lor, a volumului redus de procesare necesar și pentru obținerea cu ușurință a informației relevante, cum ar fi distanța până la obstacole. Un alt avantaj al senzorilor ultrasonici este acela că ei pot lucra în condiții diferite de iluminare și de vizibilitate.

Există și unele probleme care apar la utilizarea senzorilor ultrasonici și anume: efectul de cross-talk, atunci când ecoul undei trimise de către un senzor este receptat de către alt senzor, și apariția reflexiilor multiple, generate de undele ultrasonice, din cauza cărora se pot detecta obiecte fantomă. La aceste probleme s-au găsit diverse soluții, cum ar fi tehnicile de control ale momentului emisiei și recepției, dar și a benzii de frecvențe utilizate. Aadar, senzorii ultrasonici au avantajele și dezavantajele lor.

Am preferat utilizarea acestor senzori în cadrul sistemului de asistare pentru simplitatea în utilizare, iar sarcina lor în cadrul sistemului este aceea de detectare a obstacolelor la trei nivele față de sol: la cap, la corp și la picioare, la o anumită distanță de persoana asistată. Datorită sarcinii lor, problemele legate de reflexiile multiple și de fenomenul de cross-talk, nu intervin semnificativ la utilizarea sistemului de asistare. De altfel, la alegerea lor a contat și avantajul insensibilității la condițiile de lucru, de iluminare și vizibilitate, avantaj pe care nu îl au alți senzori, cum ar fi senzorii în infraroșu sau camerele video.

Odată cu dezvoltarea în precedent a tehnologiei dispozitivelor mobile, telefoanele au ajuns să conțină diferiți senzori miniatură, realizați în tehnologia MEMS.

Datorită condițiilor impuse de la început sistemului de asistare, și anume: să fie portabil, să aibă dimensiuni reduse, să aibă costuri reduse, să fie ușor de utilizat, și profitând de dezvoltarea dispozitivelor mobile, am încercat să folosesc cât mai mulți senzori miniatură care se găsesc într-un telefon de generație actuală, în cadrul sistemului de asistare.

Astfel, senzorul de accelerație este folosit pentru detectarea unei eventuale căderi a persoanei asistate, compasul, senzorul de înclinare și accelerometrul ne oferă informații asupra orientării în spațiu, iar senzorul de lumină ne poate avertiza dacă sistemul de asistare intră într-o zonă întunecoasă ce poate fi un spațiu închis, fără cale de ieșire și este necesară întoarcerea.

Camera video, realizată în tehnologie MEMS, are performanțe deosebite în ce privește cantitatea de informații preluată și viteza de reacție, dar fiind fixat pe spatele telefonului, care va fi ținut în mână de persoana asistată, nu va putea fi folosit pentru o activitate permanentă de detectare a obstacolelor în imagine, ci mai mult pentru alte funcții de recunoaștere, cum ar fi recunoașterea optică a caracterelor, în scopul citirii unor afișe sau a altor fragmente de text în scopul informării.

Dacă pentru detectarea obstacolelor apărute în timpul deplasării persoanei asistate s-au folosit cu succes senzorii ultrasonici, planificarea traiectoriei optime și urmărirea ei, presupune utilizarea unor senzori folosiți pentru navigația globală în domeniul roboticii. Astfel, senzorul GPS integrat în telefon oferă permanent sistemului de asistare, locația curentă, necesară pentru planificarea traiectoriei și

ghidarea în deplasare a persoanei în cauză, pe baza unei hărți.

În ce privește modul de comunicare între sistemul de asistare și persoana asistată, deși s-au folosit în trecut metode de comunicație tactilă, comunicarea audio prezintă mai multe avantaje, cum ar fi posibilitatea de creare a unui mediu virtual acustic. S-a pornit de la comunicația informației prin sistemul audio stereo, unde se modificau caracteristicile semnalului audio, precum amplitudinea și faza semnalului, separat pentru fiecare ureche, iar redarea se realiza prin intermediul câștilor și s-a ajuns la realizarea unui sistem acustic virtual 3D, în cadrul căruia se generează sunete sau chiar se sintetizează vocea umană spațializată, în așa manieră încât persoana asistată să poată identifica poziția în spațiul a surselor virtuale de sunet sau voce, surse care comunică de fapt prezența unor obstacole în mediu.

O altă modalitate de interacție între sistemul de asistare și persoana asistată, este transmiterea informației prin intermediul vorbirii, atât într-un sens cât și în celălalt, care se dovedește a fi cel mai eficient mod de comunicare. Față de alte modalități de comunicare, vorbirea transmite rapid și concentrat informația necesară, iar în alegerea acesteia este fără echivoc. Dacă în trecut recunoașterea vorbirii și sinteza vocală nu aveau rezultate deosebite, azi, aplicațiile software oferite de către gigantul Google și incluse gratuit în sistemul de operare Android, folosit pe telefoanele mobile, se ridică la performanțe deosebite.

4. PROCESAREA CNN A IMAGINILOR PENTRU ASISTAREA PERSOANELOR CU DEFICIENȚE DE VEDERE

4.1. Introducere. Motivația introducerii procesării imaginilor utilizând tehnologia rețelelor neuronale celulare

Dezvoltarea unor echipamente tot mai performante pentru asistarea persoanelor cu deficiențe de vedere, este strâns legată de rezultatele cercetărilor din domeniul prelucrării și analizei imaginilor, sau mai general a semnalelor multidimensionale. Astfel, odată imaginea achiziționată, pentru a putea fi utilizate informațiile conținute în aceasta, trebuie adus sub o formă cât mai ușor de interpretat, fiind supus în acest scop unui lanț de prelucrări și analize [123]. Toate aceste operații de prelucrare a imaginilor trebuie să fie efectuate în timp real, deoarece viteza achiziției a informațiilor și de interpretare poate fi vitală [124][125]. În acest scop, alături de celelalte procedee clasice, rețele neuronale celulare (CNN - wave computing), ca structuri de calcul paralel, oferă o soluție complementară de realizare a unor aplicații în timp real în domeniul procesării imaginilor.

În domeniul studiat al sistemelor de asistare a persoanelor cu deficiențe de vedere, un exemplu relevant este „Bionic Eyeglass” [121][122]. Acest echipament utilizează implementarea CNN pentru procesarea imaginilor, fiind un mediu integrat care ia în considerare recomandările persoanelor cu deficiențe de vedere, având definite următoarele funcții: recunoașterea hainelor bazată pe detecția texturii și a culorii, recunoașterea trecerilor de pietoni, recunoașterea bancnotelor, recunoașterea semnelor de transport public și a numărului rutei de transport, recunoașterea semnelor unui ascensor și recunoașterea direcției de deplasare a scârilor rulante. Dezvoltarea sistemului de asistare „Bionic Eyeglass” a luat în considerare existența a trei tipuri de medii în care oferă asistență: acasă, la locul de muncă și la deplasarea între aceste două locații. Abordările funcțiilor diferite realizate prin procedee CNN sunt bazate pe infrastructura hardware și software care include, pe de o parte, o arhitectură vizuală duală Bi-i [69], iar pe de altă parte și emulatoarea digitală CNN-UM implementată pe FPGA [68].

Se poate remarca că macroinstrucțiunile elaborate pentru acest sistem pot ușura implementarea eficientă a unor metrice utilizate inclusiv în recunoașterea formelor și clasificarea obiectelor. Introducerea oricărui criteriu simplificator suplimentar ușurează atingerea obiectivului urmărit. Deocamdată, în cazul sistemelor vizuale de asistare în deplasare a persoanelor cu deficiențe de vedere, rezultatele raportate soluționează clase particulare de probleme, fiecare dintre aceste sisteme având limitări privind performanțele. Desigur aceste arhitecturi CNN și altele asemenea sunt într-o dezvoltare continuă, atât independent cât și prin interconectarea lor, asigurând astfel îmbunătățirea performanțelor, în ceea ce privește creșterea preciziei și scurțarea timpului de procesare.

Complexitatea situațiilor întâlnite în realitate, justifică dezvoltarea diversilor algoritmi existenți precum și elaborarea unor soluții noi. Creșterea eficienței unui

algoritm, respectiv alegerea celui mai potrivit pentru o problem concret este o sarcin deosebit de dificil .

Pentru exemplificarea unor proces ri CNN elementare, în subcapitolul 4.2 sunt prezentate metode de segmentare a unei imagini bazat pe detec ia CNN a muchiilor i metrica undei neliniare CNN pentru compararea dimensiunilor a dou obiecte din imagini. Metodele clasice analizate precum i cele noi propuse au fost evaluate pentru a putea fi utilizate într-un sistem vizual al unui echipament de asistare a persoanelor cu deficien e de vedere.

4.2. Proces ri CNN elementare ale imaginii

4.2.1. Metode de segmentare a unei imagini, bazate pe detec ia CNN a muchiilor

În general, segmentarea imaginilor este definit ca fiind un proces de parti ionare în regiuni constitutive care sunt omogene în ceea ce privesc anumite caracteristici, cum ar fi intensitatea sau textura. Pentru solu ionarea acestei probleme au fost dezvoltate o serie de abord ri. Pentru segmentarea unei imagini gray-scale, sunt utilizate deopotriv metode bazate pe detec ia muchiilor i tehnici bazate pe regiuni [126][127].

Procedeu utilizat pentru efectuarea segment rii unei imagini variaza foarte mult în func ie de specificul aplica iei, de modalitatea de formare a imaginii, precum i de al i factori. În prezent nu exist o metod anume, general , de segmentare care s produc rezultate acceptabile pentru orice tip de imagini. Fiecare metod î i are avantajele i dezavantajele sale. De asemenea, un anumit algoritm, optimizat pentru o anumit structur hardware, poate s nu mai func ioneze la fel de bine pe o alt structur . Prin urmare, pentru o aplica ie concret , este necesar selectarea unei metode de segmentare optim pentru acea aplica ie [128].

Performan ele tehnicilor de segmentare sunt dificil de evaluat. Pentru evaluarea metodelor de segmentare a imaginilor, o importan deosebit au anumi i factori, i anume: m sura în care aceste procedee sunt reproductibile, sunt independente de con inutul imaginilor, precum i dac pot fi automatizate sau nu, în vederea integr rii lor în sisteme de asistare a persoanelor cu deficien e de vedere care furnizeaz rezultate în timp real. Într-un astfel de sistem, algoritmii de segmentare a imaginilor au un rol important pentru delimitarea anumitor structuri poate constitui unul dintre cei mai importan i pa i de preprocesare a imaginilor în scopul utiliz rii lor ulterioare în recunoa terea formelor i a obiectelor.

Ob inerea unor imagini de calitate ale muchiilor dintr-o imagine, depinde foarte mult de alegerea celor mai potrivi i operatori CNN pentru tipul de imagine analizat i mai ales s fie adapta i în func ie de tipul de zgomot prezent în imaginile originale [129][130][131]. Pentru cre terea eficien ei la segmentare în cazul unor imagini cu zgomot, se propune optimizarea unor template-turi CNN care s conduc i la un comportament robust al acestora în raport cu oricare efect perturbator (imunitate la parametri tehnici de implementare, comportament care s nu fie dependent de con inutul imaginii, etc.) [132].

Pentru detec ia muchiilor, în cazul imaginilor cu nivele de gri, este utilizat frecvent template-ul EDGEGRAY (1)[63].

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} B = \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix} z = -0.5 \quad (4.1)$$

Aplicarea acestui template are dezavantajul că amplifică zgomotul din imagini. Din acest motiv, în cazul imaginilor cu nivele de gri, afectate de zgomot, este mai potrivit template-ul AVERGRAD, prezentat în relația 4.2 [63]. Acesta este mai eficient deoarece realizează un proces de mediere, contribuind în acest fel la reducerea zgomotului din imagine.

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} B = \begin{pmatrix} b & b & b \\ b & 0 & b \\ b & b & b \end{pmatrix} z = 0 \quad (4.2)$$

unde $b = (u_{ij} - u_{kl}) \in [0, 1]$, (figura 4.1).

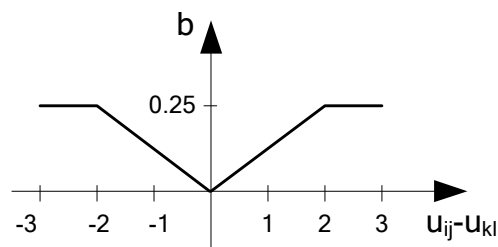


Figura 4.1: Caracteristica de transfer pentru funcția "b".

La evaluarea metodei de segmentare bazată pe detecția CNN a muchiilor s-a utilizat evaluarea erorii medii practice dintre două imagini. Pentru două imagini gray-scale I și I' , cu dimensiuni $M \times N$, eroarea medie practică dintre cele două imagini se poate calcula cu ajutorul relației 4.3.

$$MSE = \frac{1}{N \cdot M} \sum_{p=1}^N \sum_{q=1}^M (I(p,q) - I'(p,q))^2 \quad (4.3)$$

Zgomotele avute în vedere în analiza efectuată, sunt zgomotul de tip gaussian (zgomot alb, medie nulă și varianță 0.04) și cel de tip sare și piper. Pornind de la această ipoteză, în prima etapă, a fost aplicat template-ul EDGEGRAY pe o imagine sintetică fără zgomot, rezultând imaginea I_1 , din figura 4.2. Apoi, pe aceeași imagine sintetică I , a fost suprapus zgomot de tip sare și piper, I_2 , respectiv, zgomot de tip gaussian, I_3 . Asupra imaginilor I_2 , I_3 , a fost aplicat același template AVERGRAD, rezultând I_4 , I_5 urmat de aplicarea asupra imaginilor rezultate a template-ului EDGEGRAY. Având imaginile rezultate cu muchiile detectate în cele două cazuri, adică imaginile I_6 și I_7 , pe baza relației 4.3, se poate calcula eroarea medie practică dintre imaginea originală a muchiilor, I_1 și imaginile muchiilor în cazul imaginii afectate de zgomotele mai sus menționate, I_6 și I_7 .

În continuare au fost ajustate valorile componentelor template-ului AVERGRAD astfel încât să se obțină valori minime pentru MSE.

În final se obțin noile valori optimizate pentru template-ul AVERGRAD (AVERGRADM) care sunt mai adecvate pentru detecția muchiilor în imagini afectate de zgomot (relația 4.4).

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} B = \begin{pmatrix} b & b & b \\ b & 0 & b \\ b & b & b \end{pmatrix} z = -0.2 \quad (4.4)$$

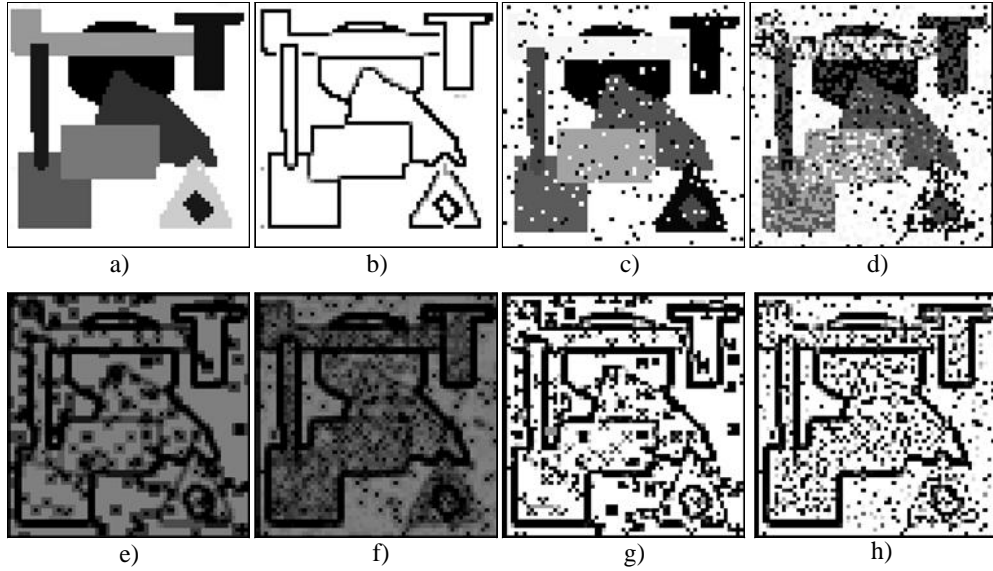


Figura 4.2: Detec ia muchiiilor cu EDGEGRAY i AVERGRAD: a) imaginea ini ial - I_1 ; b) detec ia muchiiilor din I_1 cu EDGEGRAY- I_{17} ; c) imaginea cu zgomot sare i piper- I_2 ; d) imaginea cu zgomot gaussian- I_3 ; e) detec ia muchiiilor din I_2 cu AVERGRAD - I_{14} ; f) detec ia muchiiilor din I_3 cu AVERGRAD- I_5 ; g) imaginea binar a muchiiilor din I_4 cu EDGEGRAY - I_{16} ; h) imaginea binar a muchiiilor din I_5 cu EDGEGRAY- I_{17} .

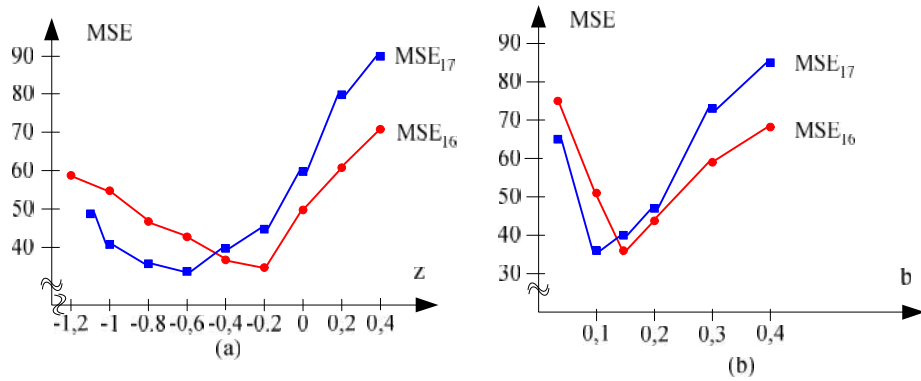


Figura 4.3: Valorile MSE i n func ie de componentele template-ului AVERGRAD: a) i n func ie de z ; b) i n func ie de b .

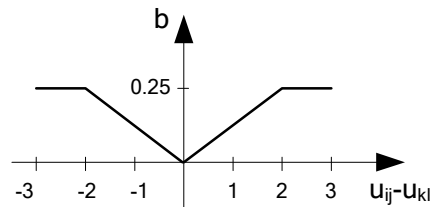


Figura 4.4: Caracteristica de transfer pentru func ia "b".

Testarea lui AVERGRADM pe o imagine real se vede în figura 4.5.

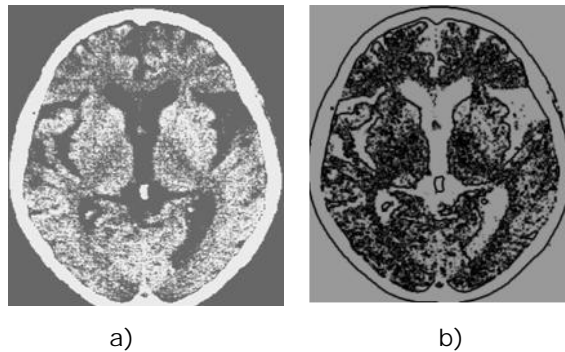


Figura 4.5: Segmentarea unei imagini, bazat pe detec ia CNN a muchiiilor: a) imaginea ini ial cu zgomot; b) imaginea ob inut prin aplicarea AVERGRADM.

Testarea i validarea metodelor CNN de procesare a imaginilor au fost realizate folosind mediul de simulare CadetWin, InstantVision Integrated Environment i mediul de dezvoltare de aplica ii Matlab împreun cu modulele specifice aferente (Matlab Tools and Development Environment).

Au fost evaluate metodele clasice i CNN de segmentare bazat pe detec ia muchiiilor pentru a putea fi utilizate într-un sistem de vedere artificial . Pe de alt parte, pentru cre terea eficien ei în detec ia conturilor s-au propus template-uri noi optimizate care, prin implementarea lor cu tehnologia CNN accesibil , în etapele urm toare ale aplica iei abordate, pot oferi o solu ie avantajoas pentru procesarea imaginilor achizi ionate din mediu. Valorile optimizate ale parametrilor template-ului propus pentru segmentare, r mân valabile doar dac imaginile prelucrate sunt caracterizate prin con inut asem n tor de zgomot, atât în privin a tipului, cât i a valorilor.

Pentru segmentarea imaginilor, cele mai recente abord ri folosesc metoda conturilor active, care de obicei, sunt bazate fie pe minimizarea unor func ii de cost (energii), fie sunt bazate pe detec ia unor nivele, respectiv pe variante ale acestora [129][130]. De i aceste tehnici sunt în general caracterizate prin performan e superioare în ceea ce prive te precizia, în acela i timp, ele necesit putere de calcul deosebit de mare.

Chiar dac se utilizeaz tehnologia CNN în acest scop, actualmente, segmentarea în timp real pe baza unor astfel de metode poate fi atins , numai în anumite aplica ii particulare. Prin utilizarea metodei bazate pe calcul varia ional, propus de autori în [133], rezult performan e ridicate, în special la segmentarea imaginilor medicale CT pentru evaluarea metastazelor.

4.2.2. Metrica undei neliniare CNN pentru compararea dimensiunilor a dou obiecte din imagini

Metricile sunt folosite frecvent pentru compararea dimensiunilor unor obiecte în imagini, aceasta reprezentând o sarcin des întâlnit pentru sistemul vizual al unui echipament de asistare a persoanelor cu deficien e de vedere. Desigur, aceste metrici trebuie alese în func ie de natura imaginilor care urmeaz a fi procesate i de modul de segmentare al acestora. Indiferent de metrica utilizat pentru comparare, de regul , aceasta reprezint o opera ie mare consumatoare de

timp. Din acest motiv se caut solu ii pentru simplificarea calculelor sau pentru utilizarea unor structuri care s realizeze aceste calcule într-un timp cât mai scurt.

În domeniul proces rii CNN a imaginilor, cele mai utilizate tipuri de metrice sunt: distan a Hamming i distan a Hausdorff [134][135], fiecare dintre acestea având deficien ele specifice.

Distan a Hamming este cea mai simpl metod de compara ie în imagini deoarece presupune compararea valorilor pixelilor i însumarea diferen elor existente. În cazul a dou imagini, A i B, distan a Hamming se calculeaz conform rela iei 4.5.

$$D_{Hm} = \sum (A \cup B) \setminus (A \cap B) \quad (4.5)$$

Distan a Hamming nu reprezint o m sur obiectiv a diferen elor dintre imagini deoarece poate avea valori foarte mici, chiar dac forma obiectelor este total diferit , dar au valori apropiate atât în ceea ce prive te num rul pixelilor ce reprezint obiectele cât i a valorilor acestora. Spre exemplificare, în imaginea din figura 4.6, distan a Hamming dintre obiectul din imaginea din mijloc i oricare dintre cele dou obiecte imagini laterale este aceea i, de i se pot observa c exist diferen e calitative mari între formele obiectelor incluse în imaginile de la extremit i.

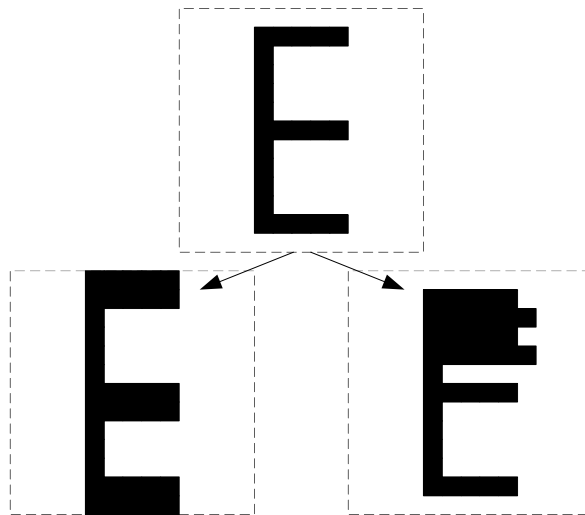


Figura 4.6: Imagini comparate cu distan a Hamming.

În consecin , distan a Hamming nu ia în considerare informa iile cu privire la forma obiectelor iar rezultatul compar rii a dou forme depinde foarte mult de centrarea acestora în cadrul imaginii. De asemenea, acest metod de compara ie este deosebit de sensibil la zgomote.

O alt metric utilizat pentru compararea imaginilor este distan a Hausdorff care este mai tolerant la erorile cauzate de transla ie [135].

În cazul a dou imagini, A i B, distan a Hausdorff se calculeaz conform rela iei:

$$D_{HS} = \max(h(A, B), h(B, A)) \quad (4.6)$$

$$\text{unde, } h(A, B) = \max_{a \in A} (\min_{b \in B} (|a - b|))$$

În această metrică are dezavantajul că omite complet informațiile despre forma obiectelor. După cum se poate observa ambele metrici prezentate mai sus au unele deficiențe în ceea ce privește compararea formelor a două obiecte din imagini. În practică s-a utilizat și varianta în care sunt calculate ambele metrici și apoi valorile acestora au fost ponderate astfel încât în final să se obțină o valoare care să reflecte cât mai obiectiv diferențele dintre două imagini. Desigur, ponderile stabilite pot să fie dependente de formele comparate, fiind optime doar pentru o anumită configurație a formelor comparate.

Ideea pe care o propun este bazată pe generarea unei unde prin propagarea unei unde neliniare în planul imaginii. Informațiile privind asemănările și deosebirile dintre obiectele comparate sau clasificate se pot ușor extrage utilizând operatori locali CNN, așa încât algoritmul propus poate fi ușor implementat pe o structură hardware CNN și oferă o toleranță mai bună la efectele zgomotului.

Metrica unei unde neliniare CNN constă în generarea controlată a unei unde care avansează progresiv în cadrul formelor comparate până când aceasta va ocupa complet aria respectivă [136]. Propagarea undeii se va face pe orizontal și pe vertical și vor fi comparate numărul de iterații necesare pentru propagarea undeii în cadrul celor două forme (A și B) care urmează să fie comparate, așa cum se poate observa în figura 4.7.

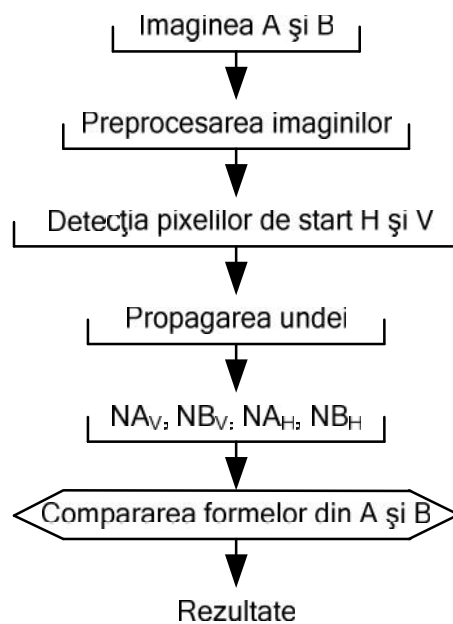


Figura 4.7: Compararea formelor din cele două imagini, A și B.

În cadrul proceselor CNN, poate fi generată o undă în planul unei imagini, prin utilizarea template-ului EXPLORE, definit de relația 4.7 [63]. Unda va avea originea sursei într-unul din pixelii situați la extremitățile obiectului investigat. Punctul final al propagării undeii va fi pixelul situat la extremitatea opusă obiectului.

$$A = \begin{pmatrix} 0 & a & 0 \\ a & 1 & a \\ 0 & a & 0 \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad z = 0 \quad (4.7)$$

Template-ul prezentat mai sus este neliniar, deoarece parametrul „a” este o func ie neliniar i depinde de diferen a dintre valorile $y_{ij}-y_{kl}$, cum se poate observa în figura 4.8.

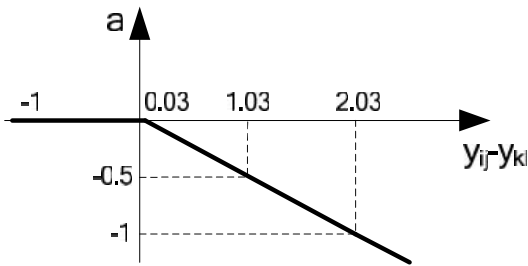


Figura 4.8: Caracteristica de transfer pentru func ia “a”.

Prin propagarea sa, a a cum se observ în figura 4.9, unda va explora toate direc iile posibile din cadrul forme i, pornind de la pixelul de start (p_{start}).

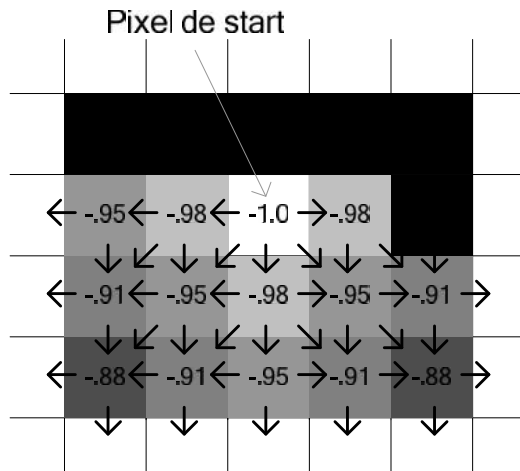


Figura 4.9: Modul de propagare al undei.

Pentru to i pixelii albi care apar in forme i, se poate rescrie ecua ia de stare caracteristic celulelor din cadrul CNN:

$$\begin{aligned} \dot{x}_{i,j}(t+1) &= -x_{i,j}(t) + y_{i,j}(t) + a \cdot [y_{i-1,j}(t) + y_{i,j+1}(t) + y_{i+1,j}(t) + y_{i,j-1}(t)] \\ &\dots\dots\dots (4.8) \\ \dot{x}_{i,j}(t+N) &= -x_{i,j}(t+N-1) + y_{i,j}(t+N-1) + \\ &+ a \cdot [y_{i-1,j}(t+N-1) + y_{i,j+1}(t+N-1) + y_{i+1,j}(t+N-1) + y_{i,j-1}(t+N-1)] \end{aligned}$$

Desigur, unda se va propaga până la pixelul final (p_{final}), doar după un anumit număr de iterații (N).

În figura 4.10 sunt prezentate rezultatele simulării pentru compararea a două imagini A și B. Compararea dintre A și B a fost făcută în funcție de diferența dintre NA_V+NA_H și NB_V+NB_H . Evaluând rezultatul obținut, obiectul din imaginea A are o suprafață mai mare decât obiectul din imaginea B. Aplicația a fost realizată astfel încât, în funcție de dimensiunile formelor comparate, să poată fi afișate rezultatele: $A=B$, $A>B$, $A<B$, $A>>B$ și $A<<B$.

Testarea metodelor CNN s-a efectuat utilizând mediul de simulare CadetWin și Matlab, împreună cu modulele specifice aferente.

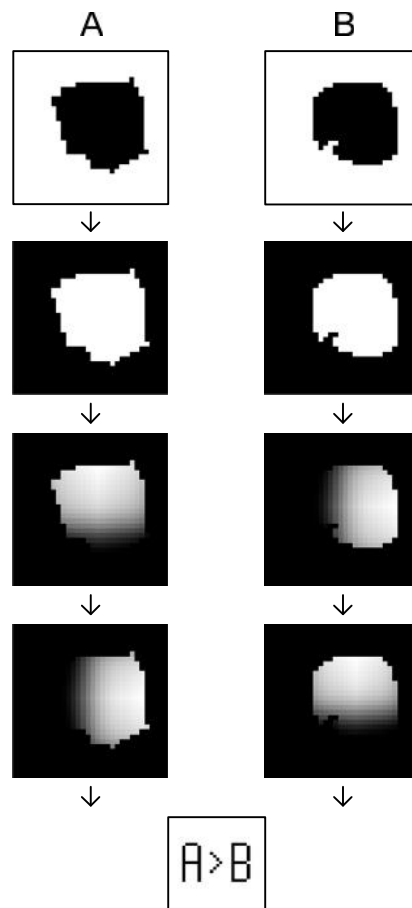


Figura 4.10: Exemplu de comparare a două obiecte prin metrica unei neliniare CNN.

Prin implementarea metricii unei neliniare pe o structură de calcul complet paralel, se ajunge la reducerea timpului de procesare în cazul comparării dimensiunilor a două obiecte din imagini. Deficiențele majore ale acestei metode se constată în cazul unor obiecte ce conțin mai multe forme convexe. În astfel de situații pot fi comparate doar formele principale care au aria cea mai mare sau se pot compara pe rând toate formele din imagine [136].

4.3. Algoritm CNN de corela ie pentru asistarea persoanelor cu deficien e de vedere

4.3.1. Analiza gradului de asem nare dintre dou imagini

În cazul potrivirii unor abloane din imagini (template matching) sau corela ia imaginilor, obiectivul principal este de a detecta i localiza într-o imagine surs (image test) obiecte similare cu un obiect con inut de o imagine ablon (template image sau correlation kernel) prin determinarea m surii în care o por iune din imagine se aseam n sau difer de imaginea ablon. Algoritmii de analiz a con inutului imaginilor prin potrivire cu un ablon sunt folosi i cel mai des pentru a identifica obiecte simple (numere, litere, figuri simple).

În cazul imaginilor binare se detecteaz obiectul din ablonul binar într-o imagine curent de intrare, achizi ionat , care, dup proces ri elementare este de asemenea, tot binar . Prin utilizarea unei metrice adecvate, deseori se ofer doar un r spus concret, dac exist sau nu în imaginea curent obiectul c utat din imaginea ablon f r a fi necesar localizarea exact ca pozi ie. În cazul compara iei pixel cu pixel a dou imagini binare, rezultatul ob inut este univoc, exist sau nu exist potrivire între doi pixeli corespunz tori din cele dou imagini.

Pentru a efectua corela ia imaginilor, la abordarea imaginilor color i gray-scale se poate apela la extragerea a cât mai multor informa ii relevante din imaginea original prin proces ri succesive, inclusiv binarizarea acestora i, în continuare evaluarea simultan a tuturor acestor informa ii primare. Dac se compar îns direct imaginile gray-scale, este evident c practic este imposibil o potrivire perfect a nivelelor de gri, de aceea trebuie folosit diferen a nivelelor de gri pentru a ob ine o valoare care indic gradul de potrivire a imaginilor comparate.

Pentru analiza gradului de potrivire dintre dou imagini se pot utiliza diferite metrice (procedee sau func ii) cum ar fi: distan a Euclidean , suma diferen elor absolute (SDA) (rela ia 4.9), i media diferen elor absolute (MDA) (rela ia 4.10) respectiv, coeficientul de corela ie normalizat (CCN) (rela ia 4.11) [126][127]:

$$SDA(i,j) = \sum_{p=1}^P \sum_{q=1}^Q |K(p,q) - \Lambda(p,q)| \quad (4.9)$$

$$MDA(i,j) = \frac{\sum_{p=1}^P \sum_{q=1}^Q |K(p,q) - \Lambda(p,q)|}{PQ} \quad (4.10)$$

unde, $K(p,q)$ reprezint imaginea ablon sau nucleul corela iei, $K: R^2 \rightarrow R$, i

$\Omega_K = \{(p,q): p \in [1,P], q \in [1,Q], P, i Q \in R^+\}$

respectiv, $\Lambda(p,q)$ reprezint imaginea curent comparat cu imaginea ablon,

$\Lambda: R^2 \rightarrow R$, i $\Omega_\Lambda = \{(p,q): p \in [1,P], q \in [1,Q], P, i Q \in R^+\}$.

Corespunz tor fiec rei astfel de metrice, pentru fiecare imagine se va determina coeficientul maxim în raport cu imaginea ablon (ori coeficientul de diferen minim), sau coeficien ii mai mari ca o valoare de prag prestabilit , rezultând dac obiectului c utat exist în imagine i în ce pozi ie.

De i procedeele men ionate mai sus pentru potrivirea abloanelor sunt relativ u or de implementat utilizând metode hardware clasice, totu i chiar i în

aceste condiții ele necesită timp de procesare ridicat. De fapt, metricile SDA și MDA sunt preferate în locul calculării coeficientului de corelație normalizat, tocmai pentru reducerea timpului de calcul. Desigur, uneori atingerea acestui deziderat se obține în detrimentul preciziei.

Pe de altă parte, așa cum s-a arătat deja, tehnologia CNN s-a dovedit a fi foarte utilă în ceea ce privește procesarea imaginilor în timp real [59][60]. Reducerea timpului de calcul, poate fi obținută numai în cazul în care algoritmul CNN poate fi implementat pe o structură paralelă de procesare [67],[69].

Pentru metricile SDA și MDA s-au elaborat algoritmi și s-au implementat CNN, atât în varianta analogică, utilizând chip CNN, cât și pe emulatorul digital CNN-UM implementat pe FPGA. Chiar și în aceste condiții alegerea variantei celei mai potrivite depinde de aplicația concretă: natura imaginilor procesate (imagini binare, gray-scale sau color); dimensiunile imaginilor; etc.

Luând în considerare limitările dispozitivelor FPGA și parametrizarea specială pentru propagarea undei, în lucrarea [137] se utilizează metrica SDA pentru analiza gradului de potrivire al unor imagini.

4.3.2. Coeficientul de corelație dintre două imagini

Se consideră imaginea $\Phi(m,n)$, unde $\Phi: \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}$, și $\Omega_\Phi = \{(m,n): m \in [1,M], n \in [1,N], M \text{ și } N \in \mathbb{R}^+\}$, reprezentând o imagine sursă (imaginea test), respectiv $K(p,q)$, o imagine ablon, unde $K: \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}$, și $\Omega_K = \{(p,q): p \in [1,P], q \in [1,Q], P \text{ și } Q \in \mathbb{R}^+\}$.

Imaginea sursă se baleiază pixel-cu-pixel astfel încât imaginea ablon să se suprapună complet pe imaginea test și se calculează gradul de potrivire în fiecare pixel.

Gradul de potrivire cu ablonul $K(p,q)$ a unei regiuni $\Lambda(p,q)$ din imaginea sursă se obține prin calcularea unui coeficient de corelație (index numeric) care indică valoric cât de bine se potrivește ablonul cu conținutul acelei regiuni (imagine comparată). Rezultatul astfel imaginea de corelație $\text{Corr}(i,j)$ sau imaginea întregă, figura 4.11 [126][127].

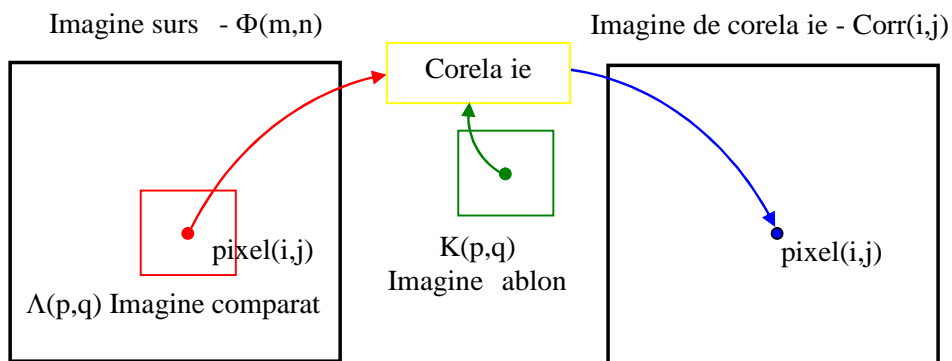


Figura 4.11: Principiile corelației imaginilor.

Coeficientul de corelație este o metrică care exprimă similaritatea (nivelul de potrivire) dintre două imagini (imaginea ablon și o regiune din imaginea sursă), nu în valoare ci în comportamentul general.

Pentru compararea imaginilor, este utilizat pe scar larg coeficientul de corela ie normalizat (CCN) definit prin rela ia:

$$\text{Corr}(i,j) = \frac{\sum_{p=1}^P \sum_{q=1}^Q (K(p,q) - \bar{K}) \cdot (J(p,q) - \bar{J})}{\sqrt{\sum_{p=1}^P \sum_{q=1}^Q (K(p,q) - \bar{K})^2} \cdot \sqrt{\sum_{p=1}^P \sum_{q=1}^Q (J(p,q) - \bar{J})^2}}, \quad (4.11)$$

unde, $K(p,q)$ reprezint imaginea ablon,

$J(p,q)$ reprezint imaginea curent , având coordonatele centrale (i,j) , comparat cu imaginea ablon,

\bar{K} este media nivelelor de gri din imaginea ablon,

\bar{J} este media nivelelor de gri din regiunea imaginii curente, având coordonatele centrale (i,j) .

Un exemplu simplu pentru determinarea imaginii de corela ie prin utilizarea imaginilor sintetice, f r zgomot, este prezentat în figura 4.12.

Coeficientul de corela ie are valoarea $\text{Corr}(i,j)=1$ dac cele dou imagini sunt absolut identice, $\text{Corr}(i,j)=0$ dac imaginile sunt complet necorelate i $\text{Corr}(i,j) = -1$ dac imaginile comparate sunt complet anti-corelate, de exemplu, dac o imagine este negativul celei de a doua.

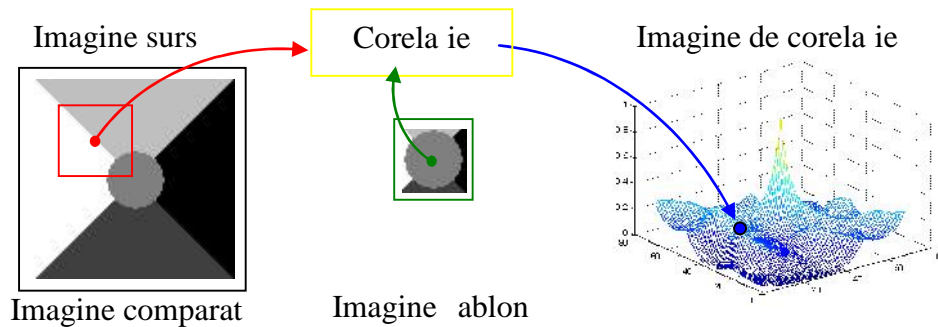


Figura 4.12: Testarea algoritmului pentru corela ia imaginilor.

4.3.3. Algoritm CNN pentru calculul corela iei între dou imagini

În cazul proces rii seriale timpul de calcul pentru un coeficient de corela ie de coordonate (i,j) este dependent de dimensiunile imaginii ablon, crescând propor ional odat cu acesta. Pe de alt parte este de dorit ca dimensiunile imaginii ablon s fie suficient de mari pentru a con ine informa ii relevante. Prin utilizarea algoritmului CNN de procesare paralel pentru calculul coeficientului de corela ie între dou imagini, se poate reduce acest timp de calcul, respectiv acesta nu va cre te propor ional odat cu cre terea dimensiunilor imaginii ablon [138].

La elaborarea algoritmului de procesare paralel CNN pentru calcularea coeficien ilor de corela ie între dou imagini se observ c rela ia 4.11 poate fi rescris ca:

$$\text{Corr}(i,j) = \frac{(\overline{K(p,q)} - \bar{K}) \cdot (\overline{J(p,q)} - \bar{J})}{\sqrt{(\overline{K(p,q)} - \bar{K})^2} \cdot \sqrt{(\overline{J(p,q)} - \bar{J})^2}} \quad (4.12)$$

Astfel, se constată că la calcularea coeficienților de corelație dintre două imagini de aceeași mărime, rezultă următoarele operații: mediere, adunare respectiv scădere, înmulțire, operații care în domeniul CNN sunt obținute prin procesare paralelă fără ca timpul de calcul să depindă de dimensiunile imaginilor. Singurele două operații care nu pot fi realizate în mod paralel, direct în domeniul CNN, sunt împărțirea și extragerea rădăcinii pătratice. În anumite medii de dezvoltare sunt deja algoritmi CNN (macroinstrucțiuni) pentru efectuarea și a acestor operații, fiind realizabile în mod cvasi-paralel utilizând DSP-uri (procesoare numerice de semnal).

În anumite clase de aplicații, fiind cunoscută importanța și domeniul de valori a coeficienților de corelație rezultă, relația 4.12 poate fi rescrisă în forma:

$$\text{Corr}^2(i,j) = \frac{[(\overline{K(p,q)} - \bar{K}) \cdot (\overline{J(p,q)} - \bar{J})]^2}{(\overline{K(p,q)} - \bar{K})^2 \cdot (\overline{J(p,q)} - \bar{J})^2} \quad (4.13)$$

Utilizând această transformare, operația de extragere a rădăcinii poate fi eliminată prin înlocuirea ei cu înmulțirea a două imagini (calculul rădăcinii unei imagini), operație CNN care poate fi realizată în mod paralel. În acest caz trebuie să luăm în considerare că, de fapt, valori înalte ale coeficienților de corelație vor rezulta chiar în situația în care două imagini sunt complet anticorelate.

Analizând relația 4.13, algoritmul CNN propus pentru calcularea coeficienților de corelație este bazat pe următoarele observații:

- În domeniul CNN, calculul valorii medii a unei imagini poate fi realizat în mod paralel prin procesare CNN (wave computing) și rezultă o imagine având pixelii de valoare constantă, reprezentând chiar valoarea medie a imaginii inițiale; Pentru acest scop, există template-uri CNN care au același efect de netezire pe imaginile procesate. Pentru a testa algoritmul CNN propus în această lucrare, am utilizat template-ul AINTPOL2 [140], caracterizat printr-o bună viteză de propagare a undei de mediere;
- Pentru reducerea timpului de calcul necesar pentru obținerea coeficienților de corelație, în general, se are în vedere că, valoarea medie a imaginii-ablon, (\bar{K}) , respectiv imaginea, $(\overline{K(p,q)} - \bar{K})$, trebuie calculat doar o singură dată, fiind considerat deci o constantă cunoscută; în mod similar se poate calcula pentru fiecare poziție (i,j), valoarea medie a imaginii comparate din imaginea sursă, \bar{J} , respectiv se poate calcula paralel imaginea diferență, $(\overline{J(p,q)} - \bar{J})$. Pe de altă parte, trebuie menționat că în domeniul CNN, la adunarea respectiv, scăderea a două imagini, trebuie avut în vedere că rezultatul acestor operații să nu conducă la saturare, adică valorile de ieșire să rămână în domeniul standard CNN. De aceea, întotdeauna, înaintea unor astfel de operații imaginile de intrare sunt ponderate cu $\frac{1}{2}$. ținând cont de această pondere, nu se alterează nici valoarea coeficientului de corelație rezultat.
- De asemenea, înmulțirea a două imagini în domeniul CNN poate fi realizată pe deplin în paralel (de exemplu $(\overline{K(p,q)} - \bar{K}) \cdot (\overline{J(p,q)} - \bar{J})$);

- astfel, timpul de procesare este acela i indiferent de dimensiunile imaginilor; desigur c imaginile care sunt înmul ite pixel cu pixel trebuie s aib acelea i dimensiuni. Utilizând template-ul AINTPOL2, calculul valorii medii a unei imagini este similar cu cazul \bar{K} sau \bar{J} , de exemplu, astfel se poate calcula $\overline{(K(p,q) - \bar{K}) \cdot (J(p,q) - \bar{J})}$ i $\overline{(K(p,q) - \bar{K})^2}$ i $\overline{(J(p,q) - \bar{J})^2}$.
- Pentru ca întregul algoritm propus s fie implementat omogen în mediul CNN, exist posibilitatea ca i opera ia de împ rire a imaginilor s fie realizat cvasi-paralel CNN (având în vedere restric iile men ionate deja) i, astfel nu se v-a consuma timp cu trecerea dintr-un domeniu în altul.

Se poate determina tot prin procesare CNN coeficientul de corela ie maxim (valoarea maxim din imaginea de corela ie) sau coeficien ii mai mari în raport cu o valoare de prag.

4.3.4. Testarea algoritmului CNN pentru corela ia imaginilor

Algoritmul CNN propus pentru ob inerea coeficien ilor de corela ie dintre dou imagini a fost testat prin simulare software utilizând mediile de simulare urm toare: CadetWin[65], InstantVision Integrated Software Environment [69][69] i Matlab [70].

Tipic, coeficientul de corela ie este utilizat pentru a compara dou imagini cu acelea i obiecte, scene sau cadre de imagine la momente diferite de timp [138][139].

Valorile ridicate ale coeficien ilor de corela ie reprezint o potrivire mai bun între cele dou imagini (imaginea ablon i regiunile comparate din imaginea surs). Pentru fiecare imagine se va determina coeficientul maxim (sau coeficien ii mai mari în raport cu o valoare de prag). Alegerea valorii de prag utilizate pentru compara ie este dependent de aplica ie i este adesea între 0,3 i 0,8. Pentru calcularea coeficien ilor de corela ie, este utilizat rela ia 4.13.

În această sec iune sunt prezentate rezultatele experimentale simulate, utilizând imagini reale, care pot exista în cazul în care algoritmul CNN propus este inclus într-un sistem de asistare a persoanelor cu deficien e de vedere [123]. În exemplele urm toare (figurile 4.13-4.15), pentru fiecare pereche de imagini surs (a_1, a_2), am utilizat aceea i imagine ablon.

Dac sunt câteva regiuni de interes caracterizate prin coeficien i de corela ie care trec de pragul de sensibilitate, în continuare, coeficien ii de corela ie pot fi calcula i în fiecare din aceste regiuni printr-o procedur care asigur o mai mare acurate e. Dezvoltarea unor algoritmi cu multiple praguri de condi ionare poate ajuta la recunoa terea anumitor forme. Dacă timpul de procesare pentru o etap este redus suficient, acurate ea recunoa terii unui ablon poate fi crescut .

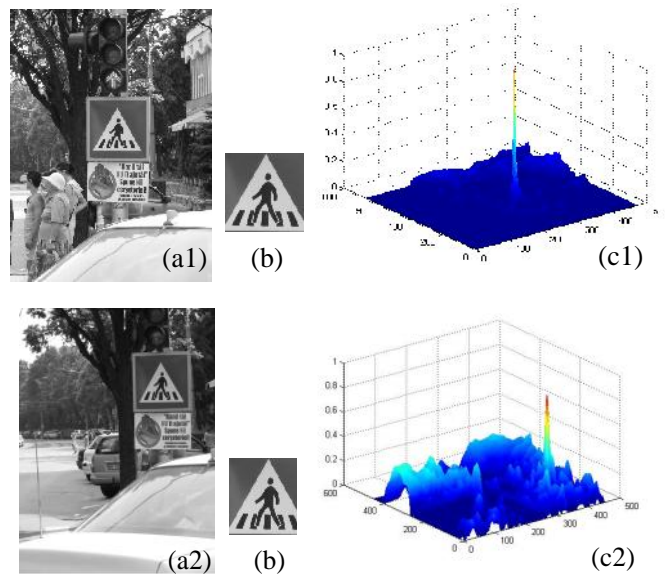


Figura 4.13: Detecia indicatorului de zebră : (a1, a2) imagine surs ; (b) imagine ablon; (c1,c2) imagine de corelație.

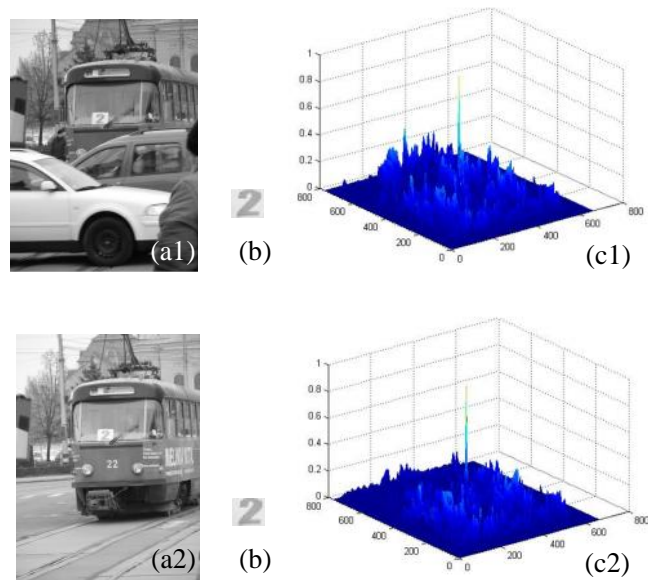


Figura 4.14: Detecia numărului tramvaiului: (a1, a2) imagine surs ; (b) imagine ablon; (c1,c2) imagine de corelație.

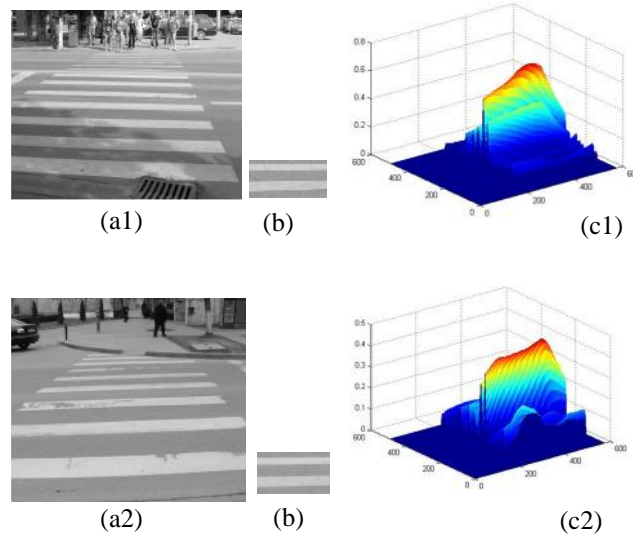


Figura 4.15: Detec ia trecerii de pietoni: (a1, a2) imagine surs ; (b) imagine ablon; (c1,c2) imagine de corela ie.

4.3.5. Implementarea FPGA a algoritmului CNN pentru corela ia imaginilor

În scopul integrării într-un sistem de asistare a persoanelor cu deficien e de vedere, algoritmul CNN propus pentru calcularea coeficien ilor de corela ie, a fost testat pe o platform hardware de emulare digital a CNN-UM utilizând FPGA [141]. În acela i timp au fost investigate i discutate aspectele esen iale ale aplica iei privind viteza de procesare i aria suprafe ei structurii FPGA utilizate.

În principiu, pentru implementarea practic FPGA a aplica iei de determinare a coeficien ilor de corela ie dintre dou imagini, exist trei moduri de abordare: secven ial , semi-paralel i complet paralel [142].

În primul caz, dac coeficien ii de corela ie sunt calcula i secven ial, prin utilizarea unui element de procesare, de i are cea mai mic cerin privind suprafa a FPGA, acesta reprezint cea mai lent solu ie. Prin urmare, nu poate fi folosit în cazul unei aplica ii în timp real.

În cazul solu iei complet paralele, coeficien ii de corela ie sunt calcula i de un procesor paralel de tip matrice (bidimensional) [143]. Astfel, această solu ie ofer cea mai mare vitez de procesare, dar aria suprafe ei utilizate cre te cu p tratul dimensiunii imaginii ablon. Prin urmare, această variant [143] poate fi aplicat numai în cazurile în care dimensiunea imaginii ablon este suficient de mic (de exemplu, între 12×12 pixeli i 20×20 pixeli).

Principala limitare în acest mod de abordare este legat de num rul de blocuri DSP dedicate pentru multiplicare i acumulare (MAC- Multiply-Accumulate). Imaginile ablon cu dimensiuni mari, precum 32×32 pixeli, trebuie s fie parti ionate (imp r ite), rezultând în acest fel ca dezavantaj înmul irea timpului de procesare cu num rul de parti ii.

Pentru calculul coeficien ilor de corela ie, pe baza pe rela iei 4.13, în lucrarea [141] am propus i implementat cea de a treia variant , respectiv solu ia

În scopul implementării și verificării procedurii, a fost utilizat mediul de programare Xilinx ISE Design Suite version 13.4 [144]. Aria suprafeței necesare și performanțele arhitecturii propuse au fost măsurate utilizând analiza raportului de hartă și a temporizărilor statice. Acest analiz este generat în mediul de dezvoltare integrat ISE. Pentru structura din familia FPGA Xilinx Seria-7 [144], au fost stabilite condițiile inițiale privind cerințele de suprafață, în cazul în care este utilizată o imagine sursă de intrare gray-scale pe 8-biți, având dimensiunile de 511×511 pixeli, respectiv imaginea șablon având dimensiunile cuprinse între 4×4 și 128×128 pixeli.

Trebuie precizat că pot fi utilizate eficient pentru efectuarea calculelor toate unitățile MAC numai dacă dimensiunile imaginii sursă sunt în concordanță cu dimensiunile imaginii șablon. De asemenea, dimensiunile imaginii șablon sunt setate la valori de puteri a lui doi, și astfel operația de împărțire pentru calculul valorii medii poate fi înlocuită cu o simplă operație de translație. Cerințele privind resursele generale (de exemplu, Logic Slices, Flip-flops and 6-input Look-Up-Tables) din unitatea nucleu pentru corelație sunt prezentate în figura 4.17. După cum se poate observa acestea cresc direct proporțional cu dimensiunile imaginii șablon.

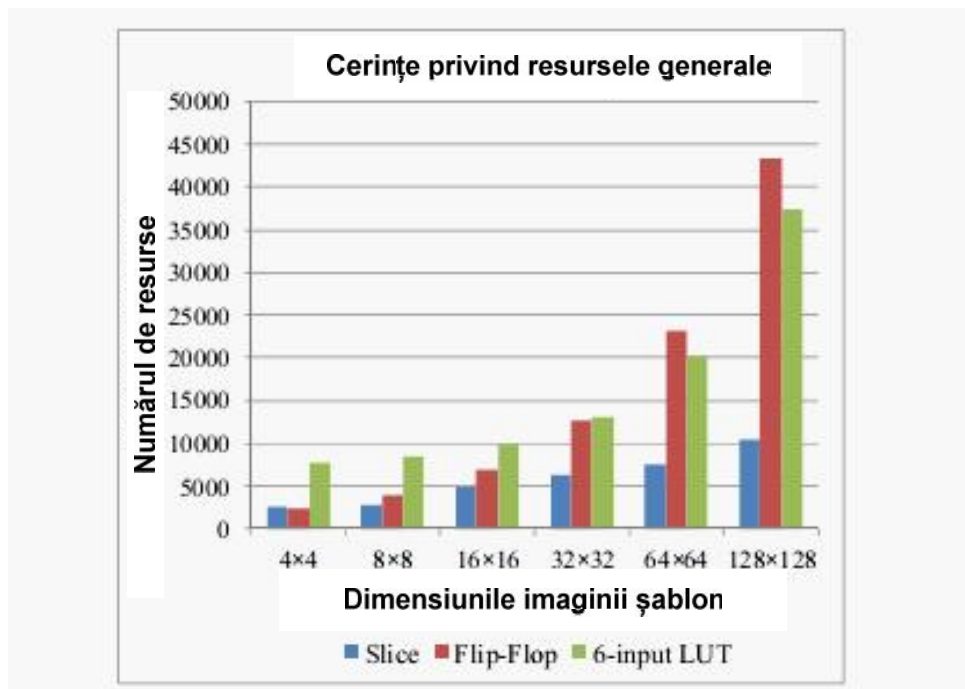


Figura 4.17: Cerințele privind resursele generale din unitatea nucleu pentru corelație.

Au fost evaluate și cerințele privind unele resurse dedicate ale unității nucleu pentru corelație (CCU), rezultatele fiind prezentate în figura 4.18.

După cum se poate observa în figura 4.18, numărul secunilor dedicate DSP48E1, crește direct proporțional cu dimensiunile imaginii șablon.

O operație de tip MAC pentru o imagine șablon de dimensiuni 4×4 pixeli necesită cel puțin 8 multiplicatori din unitatea MAC. De asemenea, independent de dimensiunile imaginii șablon, sunt necesari 18 multiplicatori DSP pentru a calcula în

final rezultatul corelației.

În timpul testelor de sinteză au fost investigate nu numai cerințele privind resursele totale privind întreaga unitate nucleu pentru corelație, ci au fost verificate și submodulele sale interne.

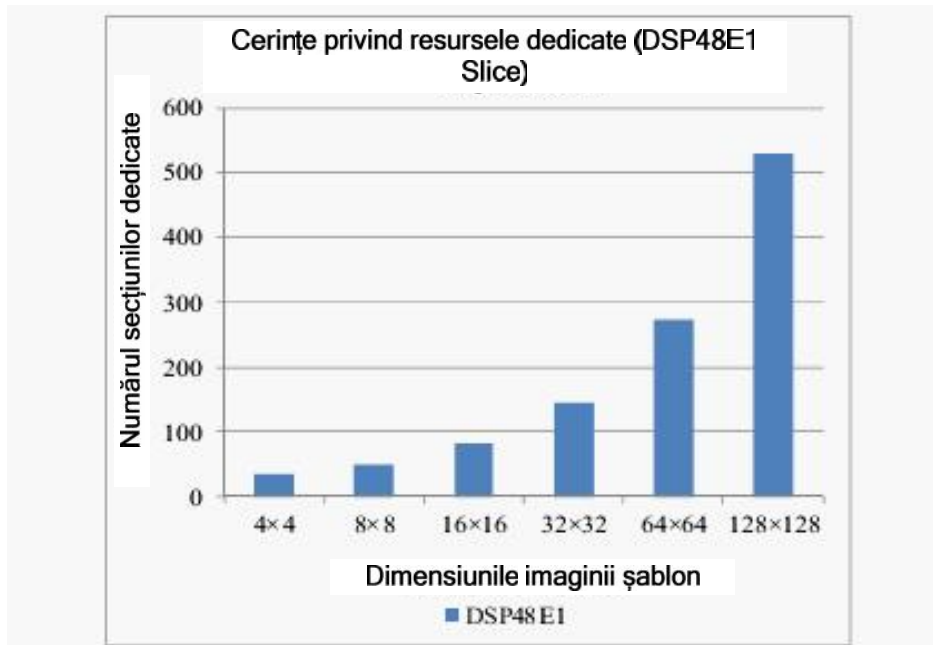


Figura 4.18: Cerințele privind resursele dedicate din unitatea nucleu pentru corelație.

După cum s-a precizat anterior, unitatea nucleu pentru corelație este de fapt construită din patru componente principale, având structuri modulare, în funcție modul descrierii VHDL (Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language). Cerințele privind resursele generale și specifice ale unității pentru rezultatul final sunt în esență independente de dimensiunile imaginii șablon. Prin urmare, numai cerințele privind resursele celorlalte trei părți, de mai mare interes, sunt prezentate în figura 4.19. (unitatea registru bidimensional, unitatea scizor și unitatea MAC, respectiv, unitatea registru de deplasare).

Examinând cerințele suprafețelor solicitate de diferite unități în raport cu imaginii șablon de diferite dimensiuni, rezultă dependențe direct proporționale pentru fiecare unitate în parte, similar cu cerințele privind resursele globale.

Unitatea registru de deplasare are cea mai mare cerință de resurse din cauza lungimii datelor. Unitatea scizor și MAC conține, de asemenea, secțiuni DSP48E1. Pentru unitățile MAC, numărul de secțiuni crește direct proporțional în funcție de dimensiunile imaginii șablon.

După examinarea cerințelor privind resursele necesare pentru CCU, au fost investigate performanțele sale maxime privind capacitatea de calcul. Testele noastre au arătat că frecvența de tact a unității este doar ușor dependentă de dimensiunile imaginii șablon. În consecință, în orice situație, practic poate fi atinsă frecvența de tact de 300 MHz.

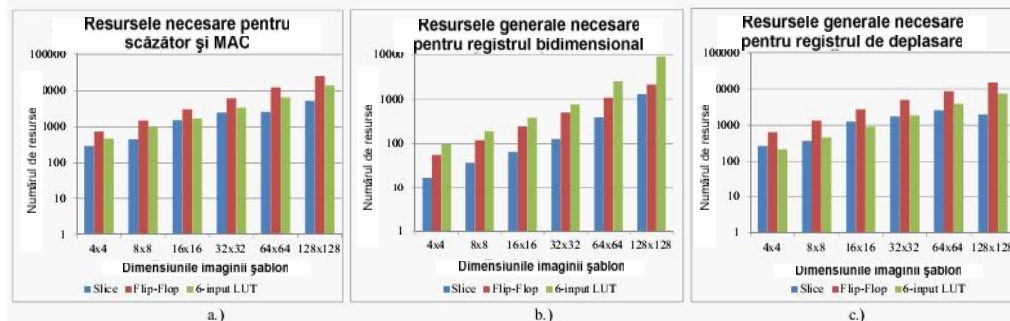


Figura 4.19: Cerințele privind resursele unor unități din CCU: a) resursele necesare pentru scăzător și MAC; b) resursele necesare pentru registrul bidimensional; c) resursele necesare pentru registrul de deplasare.

Rezultatele obținute de noi au fost comparate cu o implementare complet paralelă [143]. Compararea s-a făcut pentru o imagine sursă având dimensiunile de 511×511 pixeli și o imagine șablon având dimensiunile 64×64 pixeli.

În cazul implementării semi-paralele propuse de noi, timpul de procesare necesar este de aproximativ 57 ms, în timp ce în cazul arhitecturii complet paralele [143] timpul de procesare este de 0.652 ms. Cu toate acestea, soluția propusă de noi consumă doar 274 secuni DSP MAC, în timp ce în cazul implementării complet paralele sunt necesare de 14 ori mai multe blocuri MAC dedicate.

4.4. Concluzii

Includerea unei unități de procesare și analiză a imaginilor în structura unui sistem de asistare a persoanelor cu deficiențe de vedere este absolut necesar, în orice variantă propusă, având în vedere multitudinea de informații care pot fi extrase din imaginile achiziționate.

Prelucrarea și analiza imaginilor trebuie să fie efectuată în timp real, deoarece viteza de interpretare poate fi vitală. Alături de alte procedee clasice de calcul paralel, tehnologia rețelelor neuronale celulare (CNN - wave computing), poate reprezenta o soluție complementară la realizarea unor aplicații în timp real în domeniul prelucrării imaginilor.

În cadrul prezentului capitol s-a analizat posibilitatea implementării unor structuri CNN pentru procesarea imaginilor.

În acest scop au fost evaluate metodele clasice și CNN de segmentare, bazate pe detecția muchiilor, pentru a putea fi utilizate într-un sistem de vedere artificial.

Pentru creșterea eficienței în detecția conturilor, s-au propus template-uri noi optimizate pentru segmentare bazate pe detecția CNN a muchiilor, pentru imagini caracterizate printr-un anumit conținut de zgomot.

Pentru compararea dimensiunilor a două obiecte din imagini, am investigat distanța Hamming, distanța Hausdorff și metrici implementate CNN. Pentru reducerea deficiențelor constatate am propus utilizarea metricii undei neliniare CNN.

Prin implementarea metricii undei neliniare pe o structură de calcul complet paralel, poate rezulta reducerea timpului de procesare, în cazul comparării dimensiunilor a două obiecte din imagini, dar numai în cazul unor imagini ce conțin

un număr restrâns de forme convexe.

Pentru identificarea unor obiecte sau scene în imagini, am elaborat un algoritm de corelație bazat pe utilizarea rețelelor neuronale celulare, ce poate fi folosit la sistemele de asistare a persoanelor cu deficiențe de vedere. Valorile ridicate ale coeficienților de corelație reprezintă o potrivire bună între cele două imagini, adică între imaginea șablon și regiunile comparate din imaginea sursă. Pentru fiecare imagine de corelație se va determina coeficientul maxim, sau coeficientii mai mari în raport cu o valoare de prag.

În general, timpul de calcul pentru determinarea coeficienților de corelație dintre două imagini este ridicat și depinde de mărimea imaginii șablon, crescând proporțional cu aceasta. Pe de altă parte este de dorit ca mărimea imaginii șablon să fie suficient de mare pentru a conține informații relevante. Pentru a calcula coeficienții de corelație între două imagini, majoritatea operațiilor incluse în algoritmul CNN propus, se pot obține prin procesare paralelă. Astfel, pe de o parte, putem reduce timpul de calcul, iar pe de altă parte, acest timp nu va crește proporțional cu creșterea dimensiunilor imaginii șablon.

Pentru calculul coeficienților de corelație dintre două imagini, a fost propusă o arhitectură FPGA reconfigurabilă optimizată. Având în vedere aria suprafeței necesare și performanțele puterii de calcul rezultate, arhitectura semi-paralelă propusă, reprezintă un bun compromis între soluția complet serială și soluția complet paralelă. Deoarece resursele solicitate sunt moderate, arhitectura propusă poate fi implementată pe un sistem FPGA Virtex-7 de dimensiuni medii.

Pe de altă parte, prin implementarea FPGA a acestui algoritm CNN de calcul al corelației dintre imagini, performanțele ridicate privind puterea de calcul, fac posibilă procesarea în timp real a unor imagini sursă de dimensiuni de 511×511 pixeli, folosind chiar și imagini șablon având dimensiunile de 64×64 pixeli.

În vederea obținerii unor arhitecturi reconfigurabile mai performante, prin elaborarea unor versiuni viitoare, se poate elimina limitarea dimensiunilor imaginii sursă, dar este necesară ca dimensiunile imaginii șablon să fie puterile lui doi.

Algoritmul CNN propus pentru calcularea coeficienților de corelație poate fi integrat într-un sistem de asistare a persoanelor cu deficiențe de vedere pentru a oferi rezultate în timp real, dar rezultatele tipice prezentate în acest capitol pot fi utile și în alte aplicații cum ar fi, de exemplu, în sistemele semiautonom de conducere a roboților mobili sau a autovehiculelor.

5. SISTEM INTEGRAT PENTRU ASISTAREA ÎN DEPLASARE A PERSOANELOR CU DEFICIENȚE DE VEDERE

5.1. Introducere

Metodele de asistare prezentate în capitolele anterioare s-au dovedit a fi de folos pentru persoanele cu deficiențe de vedere, însă nu suficient de eficiente. Ele provin din domeniul roboților mobili și se pot împărți în metode de navigație locală, folosind informații senzoriale locale și metode de navigație globală, primind informații de localizare și coordonare de la distanță. În urma testelor efectuate cu aceste sisteme de asistare, s-a ajuns la concluzia că eficiența asistării se poate mări prin utilizarea concomitentă a celor două tipuri de navigație.

În plus, platformele hardware pe care se construiesc sistemele robotice pot beneficia de evoluția fără precedentă a tehnicii din ultimii ani. Performanțele procesoarelor au crescut enorm, memoriile au devenit tot mai încăpătoare, dimensiunile componentelor și ale plăcilor de circuit au devenit tot mai reduse, astfel încât au apărut noi oportunități de dezvoltare a sistemelor robotice de asistare.

O mare dezvoltare au cunoscut în ultimii ani dispozitivele mobile gen telefon (smartphone) sau tabletă. Aceste dispozitive sunt mult apreciate tocmai pentru posibilitatea de a fi portabile și pot fi de un real folos pentru asistarea persoanelor cu deficiențe de vedere.

5.1.1. Dispozitive mobile cu sistem de operare Android

Pentru dispozitivele mobile există diverse sisteme de operare dedicate, însă o mare popularitate a obținut sistemul de operare Android, pentru deschiderea pe care o are prin faptul că are o licență opensource, ceea ce înseamnă nu doar gratuitatea utilizării, ci și punerea la dispoziție a codului sursă pentru a fi la dispoziția dezvoltatorilor, cu condiția de a pune și ei la dispoziție, la rândul lor, eventualele îmbunătățiri ale sistemului de operare.

În primii ani de dezvoltare a dispozitivelor mobile, compania Nokia era cea care domina piața cu sistemul de operare Symbian. Însă odată cu intrarea în joc a gigantului Google, care beneficiază de o mare popularitate datorită motorului de căutare cu același nume, sistemul Android devine tot mai utilizat. Istoric vorbind, în 2007 a fost lansată prima versiune demo a sistemului de operare, iar un an mai târziu, apare prima versiune oficială. Acest sistem a fost creat de Google împreună cu Open Handset Alliance, un consorțiu de 48 de companii din domeniul software, hardware și telecomunicații, care avea ca scop dezvoltarea de standarde deschise pentru dispozitive mobile. Actualmente, sus în torul principal pentru Android este compania Google. Din 2008 până în prezent acest sistem s-a dezvoltat foarte mult, primind multe îmbunătățiri. Ceea ce a cucerit pe utilizatori, ca și în cazul iOS de la compania Apple, a fost în primul rând ușurința în utilizare, nefiind nevoie ca utilizatorul să fie un bun cunoscător al structurii hardware pentru a utiliza

dispozitivul mobil la capacitate maxim .

Cel mai mare avantaj al acestui sistem de operare constă în licența sa opensource, astfel încât dezvoltatorii de dispozitive mobile nu trebuie să plătească firmei Google nimic pentru utilizarea lui, iar dezvoltatorii de software, individuali sau firme, pot crea aplicații fără a avea nevoie de vre-o licență . Acest lucru a dus la avalanșa de aplicații apărute în scurt timp, disponibile de descărcat gratuit din magazinul Play Store al firmei Google.

Android este bazat pe sistemul de operare Linux, renumit pentru licența sa opensource, securitatea sporită oferită utilizatorilor și portabilitatea programelor datorită utilizării limbajului de programare C. Fără de nucleul Linux standard, Android vine cu modificări destinate utilizării sistemului pe platforme hardware cu performanțe mai reduse, cu memorie mai mică și autonomie limitată . Securitatea oferită utilizatorilor se păstrează însă , pentru că pe Android, fiecare aplicație de pe dispozitivul mobil este instalată sub un nume de utilizator unic și astfel, aplicația, cu toate componentele ei, se află la dispoziția exclusivă a acestui utilizator, alte aplicații neputând accesa în mod direct aceste componente. În plus, fiecare aplicație instalată este rulată într-un proces separat.

Pentru dezvoltarea aplicațiilor, Google oferă un mediu de dezvoltare gratuit sub limbajul Java, limbaj modern, cunoscut pentru realizarea compactă și rapidă a programelor, cu strictă orientare pe obiect. Există de asemenea posibilitatea dezvoltării codului în limbajul C și compilarea lui pentru procesoare de dispozitive mobile, însă pentru aceasta Google nu oferă sprijin decât pentru compilare. Ca alternativă , există și alte medii de dezvoltare a aplicațiilor, în alte limbaje de programare, precum Qt Creator, RAD Studio XE6 sau Basic4android.

Codul dezvoltat pentru prezentarea tezei de doctorat a fost realizat cu ajutorul mediului de dezvoltare Basic4android. Rezultatul este un cod nativ android care nu are nevoie de vre-o licență pentru rulare, ceea ce dă posibilitatea creării unor aplicații software de asistare gratuite, pentru persoanele cu deficiențe de vedere.

5.1.2. Aplicații de asistare

Dispozitivele mobile există de câțiva ani, astfel încât până acum s-au mai dezvoltat unele aplicații software pentru asistarea persoanelor cu deficiențe de vedere.

Din start trebuie să spunem că marile companii dezvoltatoare de hardware și software în domeniu, precum Apple, Samsung, Google, LG, s-au gândit și la persoanele nevăzătoare și au conceput aplicații destinate acestor persoane, în scopul utilizării dispozitivelor mobile. Spre exemplu, Google a creat aplicația Talkback, care comunică auditiv utilizatorului, permanent, care buton este atins pe ecranul tactil. Astfel, se poate naviga în sistemul de operare și în interiorul aplicațiilor, spre utilizare. Totuși astfel de aplicații nu sunt destinate asistării, ci doar pentru utilizarea la modul general al dispozitivului.

O categorie de aplicații pentru asistare se folosesc de senzorii dispozitivului mobil, cum ar fi camera video, pentru a trimite informațiile la distanță unei persoane voluntare care beneficiază de simțul vizual, iar aceasta va trimite interpretarea datelor către persoana cu deficiențe.

VizWiz este o aplicație de acest fel, cu o interfață simplă , care oferă utilizatorului posibilitatea realizării unei poze asupra mediului, crearea unei întrebări referitoare la acea imagine, și primirea în scurt timp a unui răspuns la acea întrebare, de la o persoană cu titlul de voluntar. Similar, aplicația LendAnEye se folosește de voluntariat pentru a informa utilizatorul asupra conținutului imaginii

preluate de cameră.

Aplicația Visual Impaired Helper oferă câteva servicii elementare disponibile la un telefon, precum, realizarea unei convorbiri, scrierea sau citirea unui mesaj text, citirea unui cod QR.

O aplicație aparte, numită TapTapSee, realizată atât pentru Android cât și pentru iOS, oferă un răspuns asupra conținutului imaginii preluate de către un dispozitiv cu camera, sugerând identificarea software a obiectelor din imagine, pe baza unui cost lunar, nefolosindu-se de conceptul de voluntariat.

Categoria a doua de aplicații pentru persoane nevăzătoare o constituie cea de asistare în deplasare. O astfel de aplicație gratuită este Blind Navigator, creată în scopul asistării și oferă următoarele opțiuni:

- realizarea unei convorbiri;
- citirea contactelor din memoria telefonului;
- citirea și compunerea unui mesaj text;
- setarea unei alarme;
- obținerea informațiilor referitoare la starea bateriei, a senzorului GPS și referitoare la puterea semnalului;
- realizarea unor calcule aritmetice;
- identificarea culorilor în imagine;
- ghidarea GPS pe baza unei monitorizări la distanță.

O altă aplicație de asistare, de tip comercial, este Georgie. Aceasta oferă mai multe servicii, ele constituindu-se în aplicații separate, fiecare cu un cost specific. A fost realizată în Marea Britanie de către organizația non-profit Screenreader, pentru început sub formă gratuită, iar acum este comercializată prin compania Sight and Sound Technology.

Serviciile oferite persoanelor cu deficiențe de vedere de către familia de aplicații Georgie sunt multe, dintre care enumerăm:

- realizarea de convorbiri;
- citirea și scrierea de mesaje;
- recunoașterea optică a caracterelor (OCR);
- servicii meteo;
- servicii de dictare;
- servicii de traducere;
- asistare în deplasare.

Serviciul de asistare în deplasare realizează o monitorizare GPS a poziției dispozitivului mobil și ghidează pas cu pas deplasarea persoanei pe o anumită traiectorie în spațiu.

O imagine preluată din aplicația Georgie Directions se poate observa în figura 5.1.

Această aplicație oferă asistarea în deplasare la nivel global, comunicând persoanei informații legate de ruta de urmat, bazându-se pe senzorul GPS. Nu oferă însă detectarea obstacolelor pe rute în cale, de aceea nu poate fi considerată a fi o reală asistare în deplasare. În lipsa acestei funcții importante, viteza de deplasare se reduce mult fiindcă persoana în cauză trebuie să utilizeze metode clasice de evitare a obstacolelor, cum ar fi bastonul alb. De altfel, aplicația nu oferă navigație în interiorul clădirilor datorită absenței semnalului GPS și a lipsei navigației senzoriale locale.

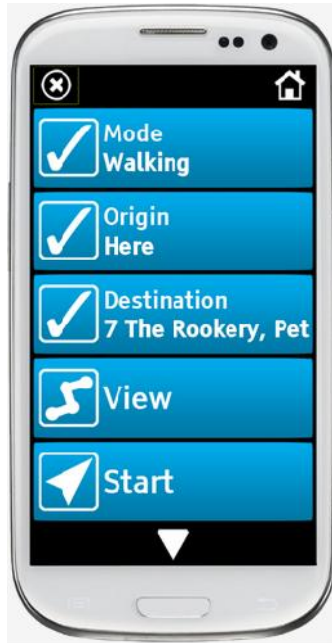


Figura 5.1: Aplicația Georgie Directions.

5.2. Mediu integrat de asistare

Pentru eficientizarea procesului de asistare, este necesar combinarea metodelor de navigație locală cu cele de navigație globală. Experiențele din domeniul roboticii dovedesc faptul că metodele de navigație locală sunt necesare pentru detecția și evitarea obstacolelor și rute pe traseul de navigare, iar metodele de navigație globală îi dovedesc utilitatea pentru proiectarea traiectoriei de urmat și monitorizarea deplasării pe traseul dorit, traseu stabilit ca fiind optim.

În vederea combinării optime a celor două tipuri de navigație, am gândit împreună cu autorii articolului [123], un concept de mediu integrat de asistare, care poate fi observat în figura 5.2.

În structura acestui sistem de asistare conceput, se evidențiază blocuri senzoriale de detecție a obstacolelor, blocul de fuziune a datelor senzoriale, blocul de detecție a poziției prin GPS, blocuri de comunicație la distanță prin GSM, blocul de planificare a traiectoriei pe baza datelor primite de la senzori și pe baza poziției, iar în final blocul de sinteză vocală, fiind cel care comunică persoanei nevăzătoare direcția de urmat pentru asistare.

Pentru monitorizarea persoanei, pe lângă poziția detectată prin GPS, se folosește și o aplicație software ce integrează sistemul de informații geografice GIS, necesar pentru proiectarea traiectoriei de urmat.

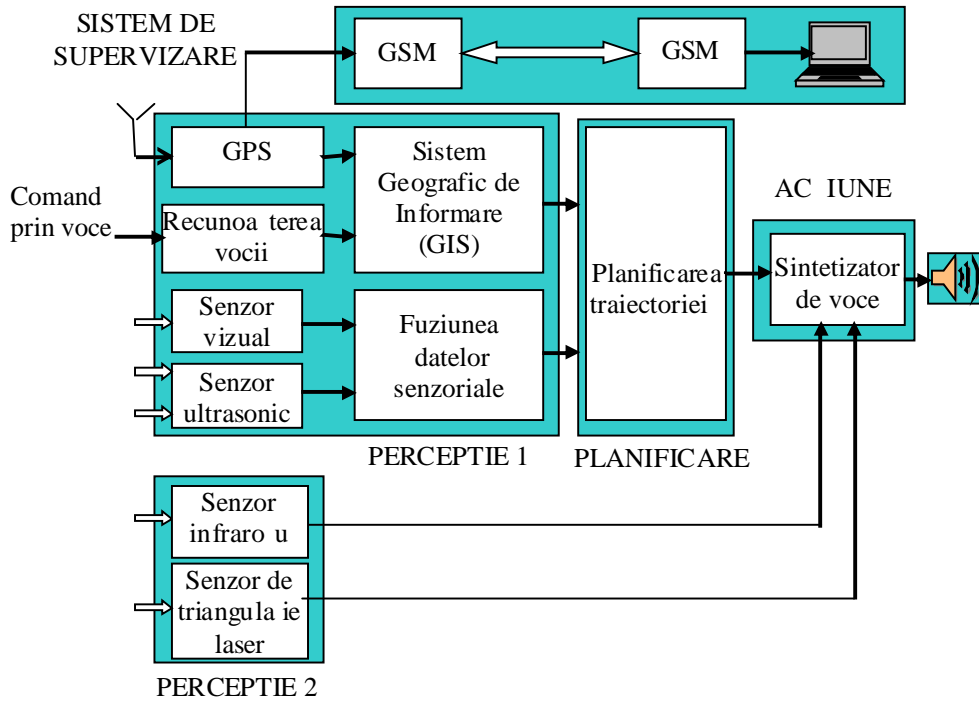


Figura 5.2: Arhitectura mediului integrat.

Sistemul de supervizare folosit, a c rui procedur se poate vedea în figura 5.3, avea ca scop asigurarea deplas rii persoanei pe traseul stabilit i detectarea pozi iei subiectului în vederea ocolirii unor obstacole ap rute accidentale pe traseu, cum ar fi apari ia unui convoi de ma ini sau de oameni, apari ia unei greve, etc.

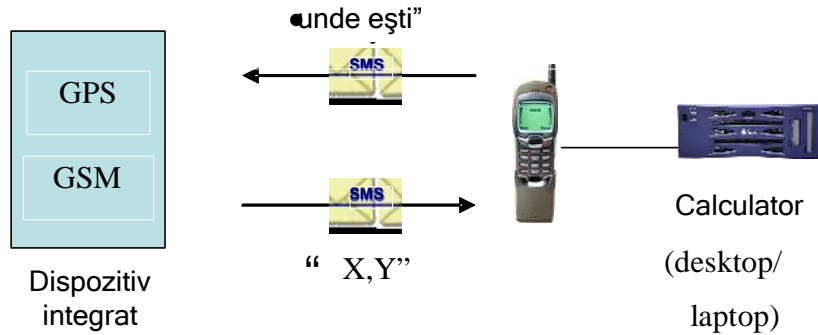


Figura 5.3: Procedura de monitorizare a subiectului.

Privit mai în detaliu, sistemul de supervizare are structura din figura 5.4.

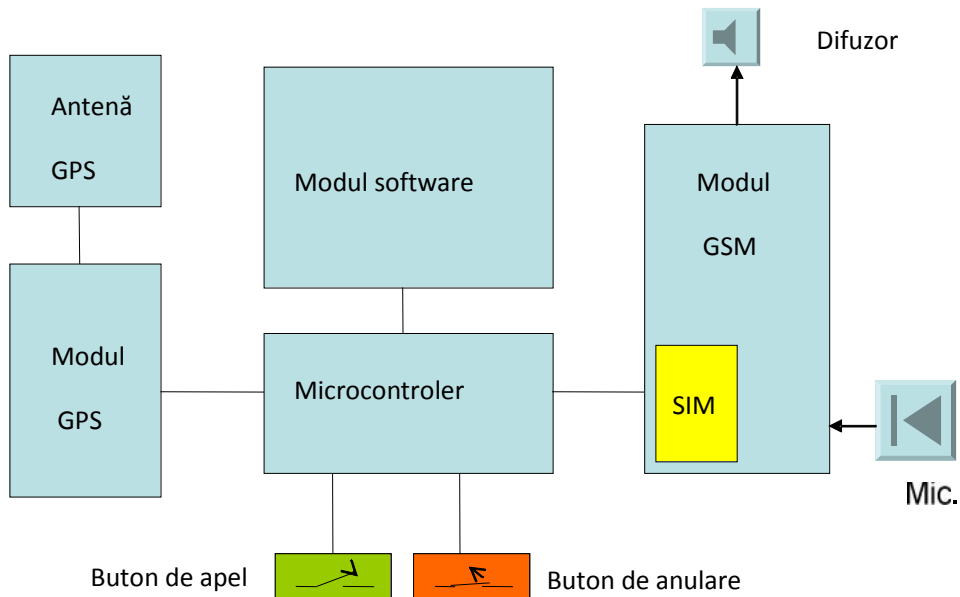


Figura 5.4: Structura sistemului de supervizare.

Aplicația software rulat pe microcontroler analizează mesajele primite și le convertește în comenzi valide pentru modulul GPS, iar modulul execută aceste comenzi și oferă poziția subiectului, care este transmisă apoi prin GSM către un punct de supervizare.

Pornind de la acest concept de mediu integrat de asistare, am modificat platforma de calcul în vederea utilizării unui dispozitiv mobil gen smartphone sau tablet și am obținut structura de sistem de asistare prezentată în figura 5.5, structură promovată de către această lucrare de doctorat și prezentată în lucrarea [146].

La acest mediu integrat de asistare, platforma principală este cea pe care este construit smartphone-ul, cu o putere de calcul apreciabilă.

Pe lângă platforma hardware principală, mai există două platforme care se conectează la ea. Una dintre ele este Arduino Nano, bazat pe microcontroler, având rolul de a detecta obstacolele la trei niveluri: la nivelul capului, la nivelul corpului și la nivelul picioarelor, senzorii de detecție fiind ultrasonici.

Cea de-a doua platformă anexă este RaspberryPI, care se bazează pe un procesor ARM cu procesor grafic integrat și cu memorie RAM de 256 MB. Această platformă are ca scop tot detecția obstacolelor. Detecția obstacolelor se face cu ajutorul unei camere video dedicate platformei, de mici dimensiuni, iar aplicația de detecție este bazată pe mediul software open-source OpenCV, recunoscut în domeniul roboticii pentru procesările video real-time.

Datorită faptului că telefonul este utilizat în mână, poziția lui este tot timpul variabilă și de regulă înclinat mai mult spre orizontal. Această poziție este improprie pentru a se putea utiliza camera video inclusă în telefon, la detectarea obstacolelor apărute în deplasare.

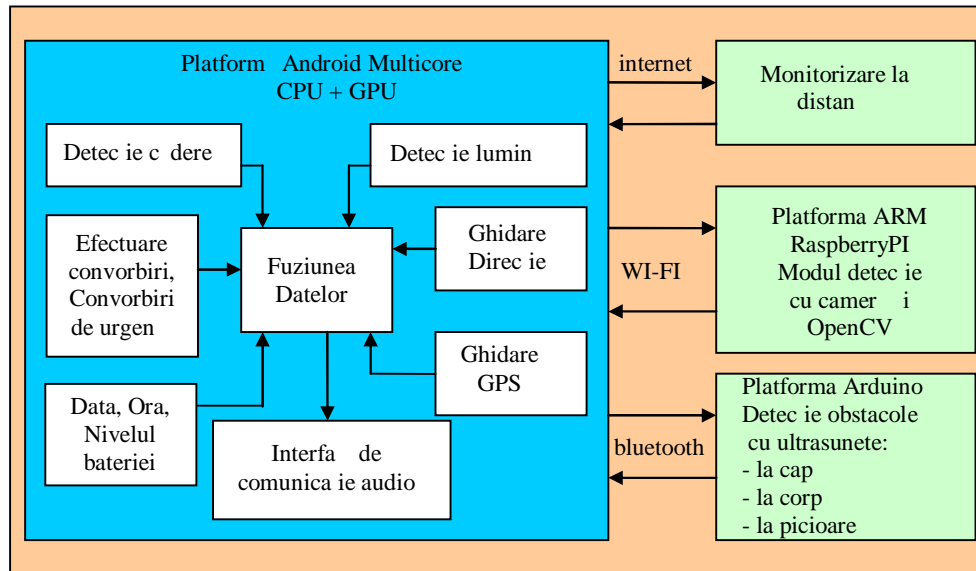


Figura 5.5: Mediul integrat de asistare bazat pe Android.

Îns camera poate fi utilizat pentru a detecta obiecte în imaginea preluat de camera foto în mod voluntar, spre exemplu pentru detecția bancnotelor, a semnelor de circulație. De asemenea, camera poate fi folosit pentru citirea unor afișe, articole din presă, etc. cu ajutorul funcției de recunoaștere optică a caracterelor.

Pe platforma hardware a telefonului sunt utilizați mai mulți senzori, iar datele provenite de la aceștia ajung la blocul de Fuziune a Datelor, care are rolul de a prioritiza datele primite de la senzori și de a lua o decizie privind asistarea persoanei, decizie care este comunicată imediat prin sintetizare vocală.

Blocul de Detecție C dere este util în cadrul supervizării persoanei nevizi toare. Se folosește sensorul numit accelerometru și se detectează o accelerație foarte mare, specific unei căderi sau loviri puternice, caz care se comunică imediat la distanță pe serverul folosit pentru monitorizare și opțional se poate apela un număr de telefon.

Blocul Detecție Lumin este util pentru ca sistemul de asistare să afle când persoana asistată ajunge într-un spațiu întunecos, care poate fi o cameră închisă, de unde ieșirea este mai dificilă și impune o încetinire a deplasării pe traiectoria dorită. De asemenea, se poate comunica persoanei sosirea nopții precum și sosirea zilei, pentru trezire.

Un alt bloc este cel de efectuare a convorbirilor telefonice, precum și de avertizare în situații de urgență printr-un apel telefonic, care poate fi chiar către serviciul 112.

Sistemul de asistare fiind portabil, are ca sursă de energie bateria telefonului, însă pentru platformele anexe se mai folosește o sursă de energie sub formă de baterie, cu încărcare solară. Aceste surse de energie fiind limitate, este necesară avertizarea persoanei asistate asupra necesității încărcării bateriei. De asemenea, acest bloc oferă informații la cerere asupra nivelului bateriei și asupra

datei și orei.

Pentru asistarea în deplasare, un bloc funcțional detectează poziția geografică prin GPS și pe baza unei cereri de asistare până la un anumit punct geografic, se oferă asistare pas cu pas asupra traiectoriei de urmat până la punctul final, folosindu-se serviciile Google.

Blocul de Ghidare Direcție este cel care oferă la nevoie direcția de urmat în asistare față de punctele cardinale.

Toate aceste date primite de la senzori sunt trimise pentru monitorizare la distanță, pe internet la un anumit server dedicat pentru această funcție. La acest centru de asistare monitorizarea se poate face permanent sau, se pot face avertizări automate cu privire la asistarea unei anumite persoane, atrăgând atenția personalului asupra unei necesități. Pentru validarea practică, experimentală, a sistemului de asistare, s-au folosit elemente disponibile în comerț și foarte ieftine, aceste cerințe fiind impuse de la începutul construirii sistemului propus de asistare a persoanelor cu deficiențe de vedere. Sistemul a fost experimentat practic sub deviza „totul într-un sistem eficient utilizând componente performante și ieftine”. Evident, creșterea performanțelor componentelor utilizate va conduce inevitabil și la creșterea eficienței sistemului de asistare în ansamblu.

5.3. Caracteristicile tehnice ale sistemului de asistare

Performanțele tehnice ale sistemului de asistare sunt influențate în primul rând de caracteristicile tehnice ale smartphone-ului. Telefonul care a fost folosit pentru testarea sistemului de asistare este Samsung Galaxy SII (GT-i9100), cu următoarele caracteristici tehnice:

- chipset - Exynos 4210 cu procesor ARM Dual-core 1.2 GHz Cortex-A9; include procesor grafic Mali400;
- memorie RAM – 1GB;
- memorie flash – 16GB;
- display – Super AMOLED Plus de tipul Touchscreen capacitive cu rezoluție de 480x800 pixeli, de 4.3 inch;
- telefonie 2G în benzile 850, 900, 1800, 1900 MHz;
- telefonie 3G în benzile 850, 900, 1900, 2100 MHz;
- conexiune de date cu viteze până la 21 Mbps;
- conexiune WI-FI 802.11 a/b/g/n;
- bluetooth v3.0;
- cameră de 8 MP, 3264 x 2448 pixeli, cu autofocus și flash cu LED;
- cameră frontală de 2MP;
- sistem de operare – Android 4.1.2;
- accelerometru, gyroskop, senzor de lumină, senzor de proximitate, GPS, compas, senzor de câmp magnetic;
- baterie de 1650mAh.

O imagine a telefonului poate fi observată în figura 5.6.

Acest telefon are performanțe suficiente pentru asistare, deși la ora actuală este depășit de performanțele altor telefoane, care se situează într-o evoluție a performanțelor fără precedent. Această evoluție aduce avantajul scăderii rapide a costului pentru un telefon performant, ceea ce este benefic pentru sistemul de asistare în ansamblu. Autonomia oferită de bateria telefonului este de până la 8 ore, însă pentru a mări această autonomie, am achiziționat o baterie extinsă cu capacitatea de 3800 mAh,

care oferă mult mai multe ore de funcționare continuă.

Platforma de detecție a obstacolelor Arduino Uno a devenit populară pe internet și este la ora actuală mult utilizată mai ales în scop didactic. Un avantaj care a dus la această popularitate este licența de tipul Opensource – Openhardware cu care este ea oferită. De altfel și mediul de programare este special conceput pentru o utilizare și o programare cât mai facilă. La acest sistem de asistare am optat pentru varianta miniaturală Arduino Nano, care este mai potrivită scopului, datorită dimensiunii mult reduse. Platforma este prezentată în figura 5.7.



Figura 5.6: Telefonul Samsung Galaxy SII.

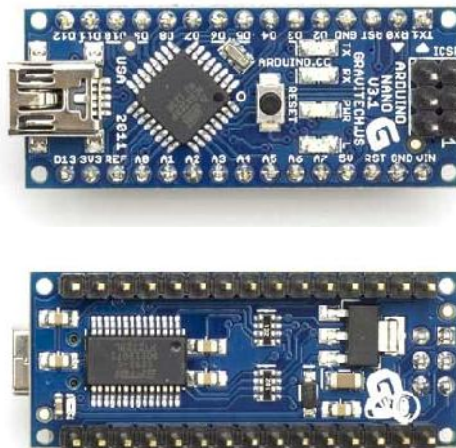


Figura 5.7: Platforma Arduino Nano (față și spate).

Caracteristicile tehnice ale acestei platforme sunt următoarele:

- microcontroler – ATmega328;
- tensiunea de alimentare – 5V;
- intrare tensiune exterioară – $7 \div 12V$;
- tensiune limită intrări – $6 \div 20V$;
- intrări/ieșiri digitale – 14 (din care 6 generează PWM);
- intrări analogice – 8;
- memorie Flash – 32KB;
- memorie SRAM – 2KB;
- memorie EEPROM – 1KB;
- frecvența de lucru – 16MHz.

Senzorii utilizați pentru detecția obstacolelor la această platformă sunt 3 senzori ultrasonici HC-SR04, prezentați în capitolul dedicat senzorilor.

Transferul datelor între Arduino Nano și telefonul mobil se realizează prin conexiunea bluetooth. În acest scop se utilizează un modul bluetooth Mate Silver RN-42, cu distanța maximă de acțiune de 10m, care poate fi observat în figura 5.8.



Figura 5.8: Modulul bluetooth Mate Silver RN-42.

Cea de a doua platformă, care este utilizată opțional pentru detecția obstacolelor, are numele de RaspberryPI. Ea are la bază un procesor ARM (Advanced RISC Machine) și un sistem de operare Linux de tip opensource. Pentru detecția obstacolelor se utilizează o aplicație realizată cu ajutorul mediului de programare OpenCV, folosindu-se de camera video dedicată platformei. Datorită acestui mediu de programare, scris în limbajul de programare C, cu multe librării dedicate, procesarea, adică detecția obiectelor în imagine se poate face real-time, ceea ce este un aspect foarte important pentru asistarea unei persoane în deplasare. În figura 5.9 se poate observa platforma RaspberryPI.

Această platformă are următoarele caracteristici tehnice:

- chipset sau SoC (System on a Chip) Broadcom BCM2835 care include un procesor ARM1176JZF-S și un procesor video numit VideoCore IV;
- memorie RAM – 256MB;
- memorie pentru sistemul de operare – un card SD extern de 4GB;
- frecvența de lucru – 700MHz;
- un port USB 2.0;
- port Ethernet;
- ieșire video de tipul HDMI;
- slot de conexiune GPIO cu 8 pini;

- slot dedicat camer video;
- tensiune de alimentare – 5V;
- curent consumat – 300mA.

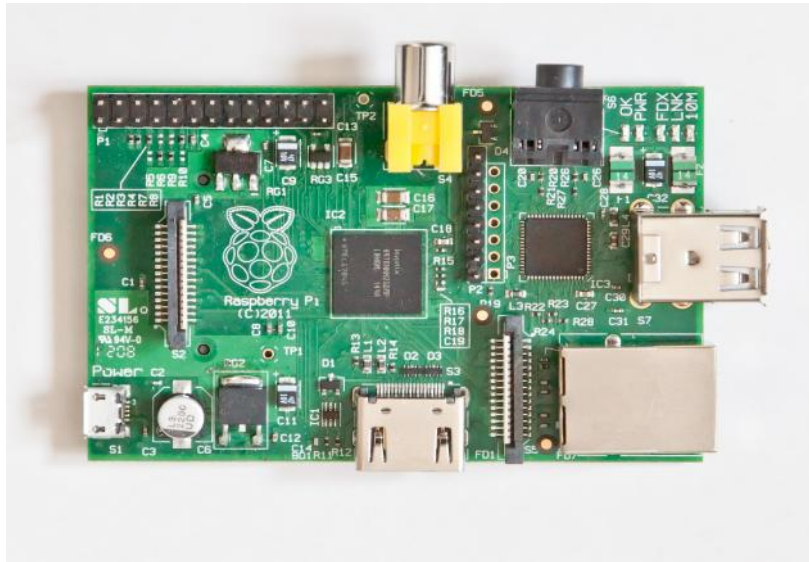


Figura 5.9: Platforma RaspberryPI.

Camera video utilizat este capabil s achizi ioneze imagini de 5MP i are un conector dedicat pentru transferul datelor. În figura 5.10 poate fi observat acest camer .



Figura 5.10: Camera RaspberryPI.

Comunica ia între RaspberryPI i telefonul mobil se realizeaz prin conexiune WI-FI, utilizându-se în acest scop un modul WI-FI miniatur ata at la RaspberryPI.

Cu toate c această platform î i arat utilitatea, ea are nevoie de conectare la un monitor, are nevoie de supervizare software din partea unei persoane umane. Nu este de fapt o platform care ruleaz ciclic o aplica ie unic , a a cum este cazul platformei Arduino, ci peste sistemul de operare complex, iar platforma este multitasking i poate rula diverse aplica ii, fapt care poate duce la un moment dat la închiderea aplica iei de detec ie a obstacolelor dintr-un anumit motiv, iar pornirea aplica iei nu se poate face decât de o persoan care posed sim ul v zului, utilizând

și un monitor conectat la această placă. Astfel, funcționarea acestei platforme nu este optimă pentru asistarea unei persoane nevăzătoare, motiv pentru care ea este folosită opțional. De altfel, prima platformă, Arduino Nano, îi dovedește eficiența în detectarea obstacolelor.

Pentru ca platformele anexe să fie alimentate, a fost nevoie de o sursă adițională de tensiune. În acest scop se utilizează un acumulator de capacitate mare, de 3500mAh, cu încărcare solară, pentru că acest sistem portabil de asistare trebuie să aibă o autonomie cât mai mare. El poate fi observat în figura 5.11.



Figura 5.11: Acumulator cu încărcare solară.

Încărcarea acestui acumulator se poate face ziua în timpul funcționării prin celulele solare dedicate acestui scop, iar la nevoie se poate încărca de la rețeaua de alimentare cu un încărcător de același tip cu al telefonului mobil.

5.4. Mediul de programare

Acest sistem de asistare folosește mai multe module senzoriale, precum și platforme externe, cu care comunică permanent datele necesare, iar opțiunile de asistare pe care trebuie să le ofere aplicația propriu-zisă de pe telefon sunt multe și diverse, astfel că s-a preferat utilizarea mediului de programare Basic4Android pentru o realizare mai facilă a aplicației.

În figura 5.12 se poate observa mediul de programare Basic4Android în timpul utilizării lui (interfața utilizator).

Dintre facilitățile oferite de acest mediu de programare amintim:

- instrument simplu și puternic pentru dezvoltarea de aplicații native Android;
- IDE (Integrated Development Environment) complet, cu compilare în bytecode nativ;
- nu sunt necesare biblioteci adiționale pentru rulare;
- fișierele aplicației APK sunt exact la fel ca și fișierele APK create cu Java / Eclipse;
- limbaj de programare orientat pe obiect;
- are instrument pentru corectarea rapidă a codului.

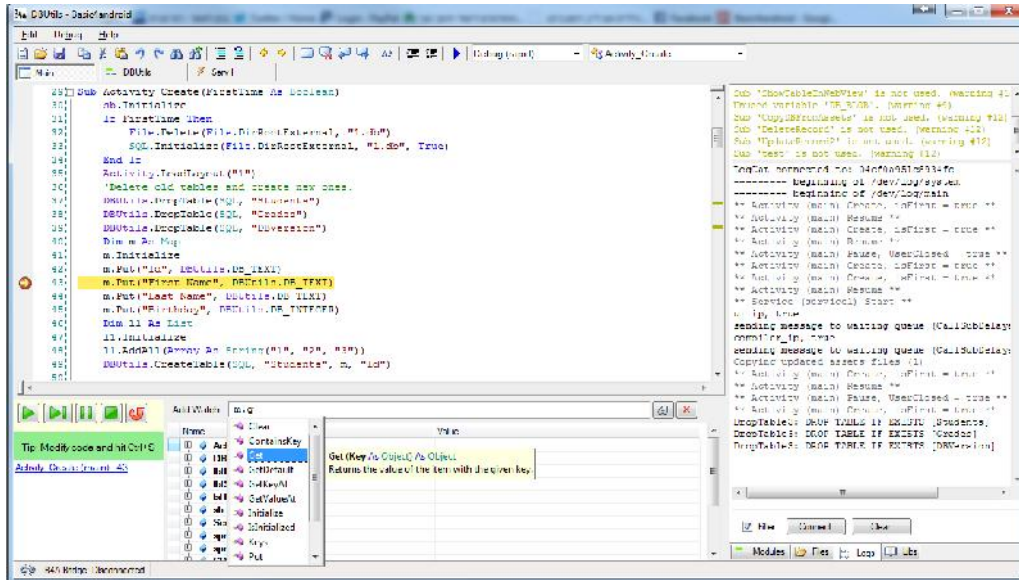


Figura 5.12: Mediul de programare Basic4Android în utilizare.

Pentru platforma adițional Arduino Nano, care realizează detectarea obstacolelor cu ajutorul ultrasunetelor, mediul de programare, oferit gratuit, se numește Arduino IDE și este oferit chiar și codul sursă. O imagine asupra acestui mediu de programare, interfața utilizator, este prezentată în figura 5.13.

5.5. Aplicația de detecție a obstacolelor

Detecția obstacolelor se realizează de către platforma Arduino Nano, care are conectați în acest scop 3 senzori ultrasonici de tipul HC-SR04. Acești senzori detectează obstacolele la trei nivele: la cap, la corp și la picior. Aplicația de detecție a obstacolelor, înscrisă în microcontrolerul de pe placa Arduino, nu are ca scop luarea unor decizii în ce privește detecția de obstacole, ci doar comunicarea prezenței unor obstacole la o anumită distanță, către telefonul mobil. Prelucrarea datelor provenite de la senzori are loc în activitatea android, din cadrul aplicației dedicate, de pe telefon.

Organigrama din figura 5.14 exemplifică modul de lucru al aplicației de detecție a obstacolelor cu ajutorul senzorilor ultrasonici.

Aplicația de detecție a obstacolelor poate fi citită integral în anexa 2, aflată pe CD-ul atașat lucrării, anexa ce reprezintă listingul programului realizat.

5.6. Aplicația Android pentru asistare

Așa cum am menționat anterior în lucrare, sistemul de asistare prezentat este conceput ca un sistem integrat, care se bazează pe smartphone-ul android, dar are conectat la el și o platformă hardware dedicată detectării obstacolelor la nivel local. Deși telefonul inteligent deține mulți senzori, modul de utilizare al telefonului, în mână, de către o persoană cu deficiențe de vedere, îl face impropriu pentru folosirea lui la detecția obstacolelor. Soluția găsită este aceea de conectare externă

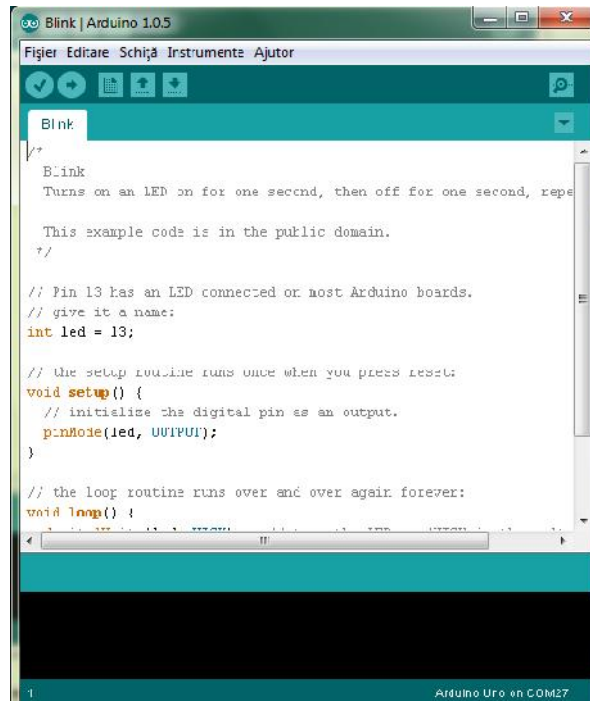


Figura 5.13: Mediul de programare Arduino IDE.

la o platformă dedicată acestui scop.

Platforma Arduino Nano, aleasă pentru întregirea sistemului de asistare, este o platformă hardware cu o unitate de procesare unică, de tipul microcontroler, care rulează o aplicație unică, dedicată, motiv pentru care nu este nevoie de supervizare umană și de aceea este o platformă propice pentru scopul propus.

Ca alternativă, s-a încercat folosirea unei platforme mai performante, RaspberryPI, care să detecteze obstacolele în urma procesării video a imaginilor primite de la o cameră dedicată platformei, însă în urma testelor efectuate s-a constatat că această platformă este improprie utilizării în scopul dorit, acela de asistare a persoanelor nevăzătoare. Deși platforma are un procesor mult mai puternic, de tipul ARM, pe care rulează un sistem de operare Linux, se utilizează aplicația de detecție a obstacolelor peste sistemul de operare, ceea ce aduce o instabilitate a rulării aplicației timp îndelungat, ba mai mult, chiar pornirea aplicației poate fi dificilă. Cu alte cuvinte, platforma RaspberryPI, de altfel performantă, îndeplinește funcția de detecție a obstacolelor, dar este improprie utilizării în acest caz datorită necesității implicării unei persoane nevăzătoare la nivelul software-ului. Pentru realizarea sistemului de asistare, se impun de la început câteva condiții specifice, și anume:

- sistemul trebuie să fie portabil, adică ușor de deplasat în timpul asistării;
- trebuie să fie ușor;
- trebuie să aibă dimensiuni reduse;
- trebuie să dispună de o autonomie cât mai mare;
- trebuie să fie ușor de utilizat;

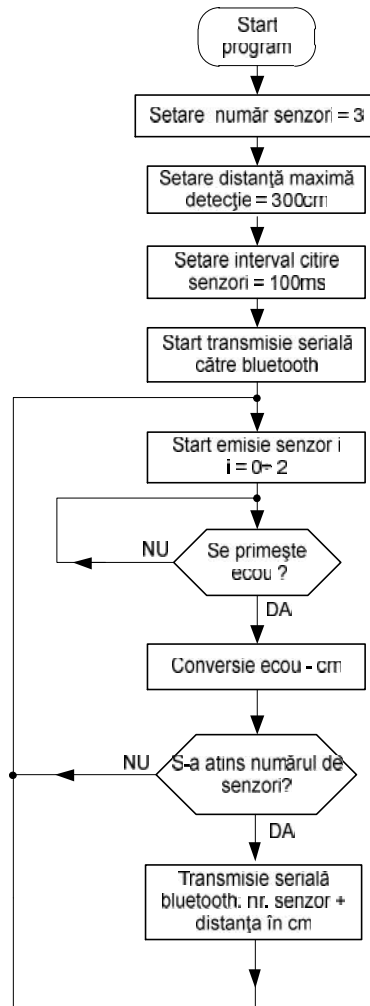


Figura 5.14: Detecția obstacolelor de către platforma Arduino Nano.

- trebuie să aibă un cost redus;
- trebuie să acopere cât mai bine necesitățile de asistare a unei persoane cu deficiențe de vedere.

La realizarea sistemului de asistare prezentat în această lucrare s-a ținut cont de toate aceste condiții impuse, dar necesare.

Utilizându-se un telefon mobil de generație actuală, împreună cu platforma Arduino Nano de dimensiuni mici, per ansamblu, sistemul de asistare este portabil, are dimensiuni mici, și este ușor. Dimensiunile telefonului mobil, dar și ale platformei împreună cu sursa adițională de alimentare, nu sunt mai mari de 13 cm x 7 cm, iar greutatea întregului ansamblu nu depășește 500g.

În privința portabilității, telefonul mobil este destinat a fi ținut în mână, iar platforma Arduino cu sursa de alimentare și modulul bluetooth formează un mic ansamblu care se poate purta într-un buzunar sau într-o husă de telefon atașată la

curea. Cei trei senzori ultrasonici utilizați sunt legați cu benzi la cele trei părți ale corpului: la cap, la corp și la picior.

În privința creșterii autonomiei, s-a înlocuit bateria originală a telefonului care avea capacitatea de 1650mAh cu o baterie extinsă cu capacitatea de 3800mAh, iar alimentarea platformei externe se face cu o sursă de alimentare cu capacitatea de 5600mAh. Încărcarea acestor surse de alimentare nu creează o problemă persoanelor ce vor utiliza sistemul pentru că telefonul deține o aplicație ce semnalizează auditiv necesitatea încărcării bateriei, dar și momentul încărcării complete, iar sursa de alimentare a platformei Arduino deține un panou solar pentru încărcare în timpul funcționării. Practic telefonul necesită să fie încărcat la un interval de timp mai mare de 24h, iar alimentarea secundară se încarcă permanent în timpul utilizării pe parcursul zilei.

În privința costului elementelor componente ale unui astfel de sistem de asistare, putem spune că este acceptabil, el situându-se în quantum în jurul valorii a 250 euro.

Pentru a fi ușor de utilizat, sistemul de asistare este proiectat pentru o funcționare ce nu necesită o supraveghere din partea unei terțe persoane, viztoare, iar interfața aplicației android pentru asistare este realizată special pentru a fi utilizată de persoane cu deficiențe de vedere.

Întreaga aplicație de asistare android este prezentată în listingul din anexa 1, din documentul înscris pe CD-ul atașat prezentei lucrări.

5.6.1. Interfața principală a aplicației de asistare

O aplicație android poate avea mai multe ferestre, cu funcții diferite, iar fiecare fereastră, afișată pe ecranul telefonului mobil, se numește activitate și are o funcționare separată. Per ansamblu toate activitățile aplicației comunică date între ele prin variabilele globale create și sunt rulate într-un singur proces de sistem, separat însă de sistemul de operare și de alte aplicații ce rulează, pentru mărirea securității.

Aplicația android destinată asistării, pe care am realizat-o, poartă numele de *Assisting application* și are mai multe activități care încearcă să acopere nevoile de asistare ale nevăzătorilor, fiecare activitate pornind de la butonul dedicat pe interfața principală a aplicației. Această interfață principală se poate observa în figura 5.15.

Fiindcă utilizatorii acestei aplicații sunt persoane cu deficiențe de vedere, interfața activităților a fost special realizată pentru a putea fi ușor de utilizat de către aceste persoane. În acest scop, orice zonă definită pe ecran, fie ea un buton sau alt obiect grafic, duce la comunicarea obiectului atins pe ecran cu degetul. Astfel, prin atingerea unui buton, se comunică numele butonului, iar atingerea zonei din afara butoanelor duce la comunicarea acestui lucru. Tipul de comunicare cu persoanele nevăzătoare, cel mai la îndemână, existent pe un telefon inteligent la ora actuală, este comunicarea audio, verbală sau nonverbală. În acest caz am utilizat motorul de sinteză vocală de la Google (*Google TTS – Text to speech*), pentru a transmite prin vorbire informația dorită, o informație mult mai bogată decât cea comunicată nonverbal.

Organigrama din figura 5.16 exemplifică modul de lucru al activităților principale din cadrul aplicației de asistare.

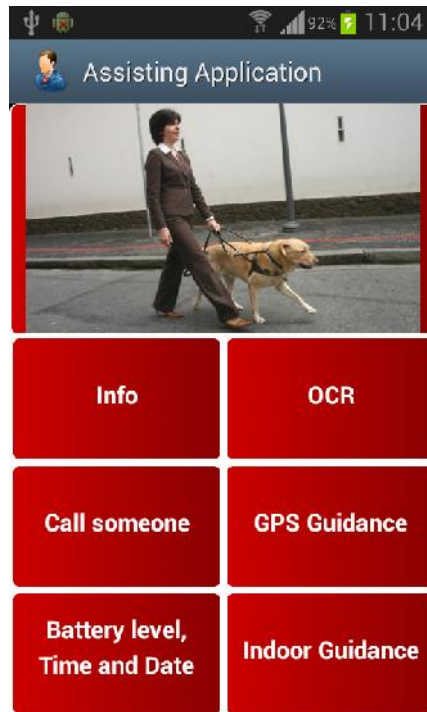


Figura 5.15: Interfața principală a aplicației de asistare.

În momentul atingerii butonului dorit, pentru activarea unei anumite activități de asistare definite de acel buton, o dublă atingere a butonului, repetată rapid, duce la activarea acelei activități. Intrarea într-o altă activitate duce la schimbarea interfeței de pe ecranul telefonului și concomitent se comunică verbal utilizatorului trecerea la acea activitate. Similar, la ieșirea dintr-o activitate, revenirea automat în cadrul aplicației la activitatea precedentă este comunicată utilizatorului. Astfel, în fiecare moment, utilizatorul poate afla conținutul ecranului telefonului, cunoscând în același timp la ce activitate se află în cadrul aplicației.

Ca o măsură de protecție împotriva ieșirii accidentale dintr-o anumită activitate, sau din aplicația în sine, activitatea butoanelor back, meniuri și home aflate la subsolul ecranului telefonului mobil, a fost anulată, iar ieșirea dintr-o anumită activitate se face în mod voit prin activarea butonului Exit Activity, definit în acest scop. Mai mult decât atât, pot exista situații în care telefonul, nefiind încărcat la timp, se poate închide, iar deschiderea lui și pornirea aplicației de asistare poate fi dificilă pentru un nevăzător, motiv pentru care, aplicația a fost setată să pornească în mod automat la pornirea telefonului. Specific sistemului de operare Android este și managementul resurselor pentru asigurarea unei autonomii energetice cât mai bune. Din acest motiv, sistemul de operare intră în stand-by după un interval de timp de neutilizare. Intrarea în stand-by duce la întreruperea activității aplicației și la intrarea în stand-by a senzorilor telefonului. Pentru a se evita intrarea în stand-by în timpul asistării, aplicația forțeză menținerea în funcțiune a ecranului și anulează intrarea în stand-by, dar pentru reducerea consumului de energie datorat utilizării continue a aplicației, după un interval de timp în care ecranul nu a fost atins, aplicația reduce mult luminozitatea ecranului.

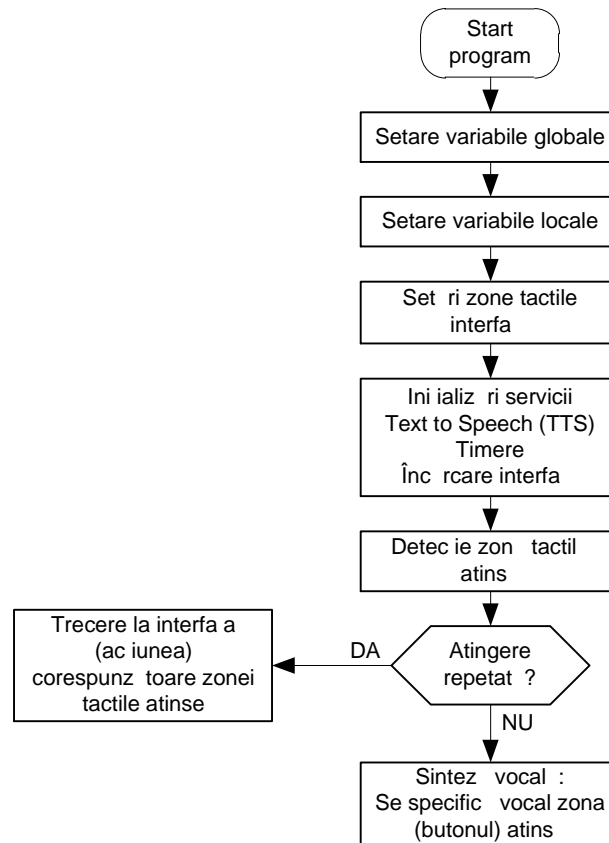


Figura 5.16: Modul de lucru al activităților principale din cadrul aplicației android.

Dacă aplicația de asistare nu este utilizată pentru un interval lung de timp, utilizatorul poate activa în mod voit intrarea în stand-by a telefonului prin acționarea butonului din lateralul dispozitivului, aplicația întrerupându-și activitatea, senzorii intrând în stand-by iar consumul de energie reducându-se semnificativ. La revenirea din stand-by, prin acționarea aceluiași buton din lateral, aplicația își reia funcționarea, de la activitatea unde a rămas ultima dată.

Cu toate acestea utilizarea acestui sistem de asistare presupune ca și în cazul altor sisteme, o perioadă de antrenament, credem că această perioadă devine mult mai redusă în acest caz, de ordinul orelor. De altfel, primul buton care se recomandă să fie activat pe fereastra principală a aplicației este numit Info, care informează utilizatorul asupra modului de utilizare al aplicației.

Cu toate acestea tema acestei lucrări se referă în mod deosebit la asistarea persoanelor cu deficiențe de vedere în deplasare, acest sistem nu poate face abstracție de necesitățile de asistare a acestor persoane la modul general, pentru a fi cu adevărat de folos acestei categorii de persoane. Astfel, aplicația acoperă diverse nevoi de asistare, chiar dacă ele nu se referă strict numai la deplasarea asistată.

5.6.2. Activitatea Battery, Time and Date

Pentru ca sistemul de asistare să nu se închidă în mod neașteptat din cauza consumului energiei, utilizatorul poate afla verbal în orice moment, care este nivelul de încărcare al bateriei telefonului, precum și starea bateriei, dacă a fost conectat corect la încărcător și se încarcă sau nu. Interfața acestei activități, numită Battery, Time and Date, poate fi observată în figura 5.17.

Se poate observa coloritul diferit al butoanelor pe ecran, contrastând între ele. Acest lucru nu este de folos persoanelor nevăzătoare, în schimb persoanelor cu vederea slabă le este de un real folos pentru identificarea mai ușoară a butoanelor și utilizarea mai ușoară a întregului sistem.

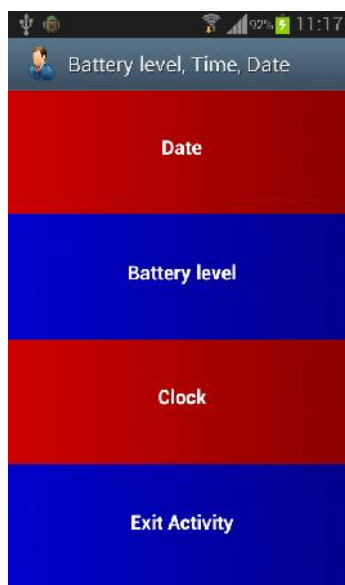


Figura 5.17: Interfața activității Battery, Time and Date.

În figura 5.18 poate fi observat modul de lucru al acestei activități.

A doua funcție importantă a acestei activități este comunicarea orei, atunci când se dorește de către utilizator. Utilizatorul poate afla astfel în orice moment cât este ceasul, sub forma unui răspuns ce comunică ora și minutele și îi poate planifica mai bine activitatea din ziua respectivă.

De asemenea, utilizatorul poate afla data la care se află, suplimentând astfel vederea unui calendar.

Un ultim buton necesar, despre care am precizat anterior în lucrare, este acela de ieșire în mod voit din activitatea curentă, pentru a intra în altă activitate de asistare.

5.6.3. Activitatea Call Someone

De la apariția telefonului mobil până în momentul actual, funcția principală pe care trebuie să o îndeplinească un telefon, este aceea de a realiza convorbiri telefonice cu diverse persoane. Pentru o persoană cu deficiențe de vedere, această

funcție este foarte importantă, pentru că deplasarea persoanei este mult redusă și din acest motiv și comunicarea cu alte persoane este mai redusă.

Din experiențăm știm că uneori uităm numele persoanei pe care dorim să o sunăm și de aceea, unul din butoanele acestei interfețe, Contacts from Agenda, activează funcția de comunicare verbală a listei persoanelor din agenda. În momentul aflării numelui persoanei dorite, se poate anula comunicarea listei, activând butonul back din subsolul ecranului telefonului.

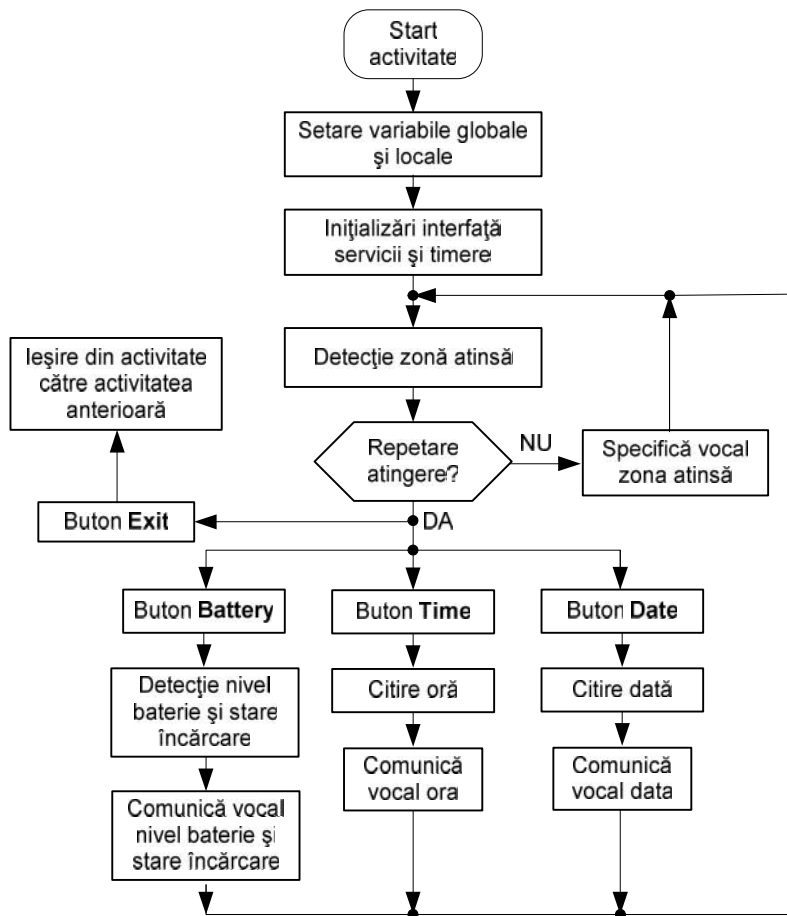


Figura 5.18: Modul de lucru al activității Battery, Time and Date.

Ce de al doilea buton de pe interfață, Call Someone, așa cum se poate vedea în figura 5.19, realizează efectiv convorbirea telefonică. Pentru aceasta, la activarea butonului, telefonul realizează lista de contacte disponibile pe telefon. La atingerea unui contact din listă, ni se comunică vocal persoana selectată, iar la dublă atingere, este realizată convorbirea telefonică cu acea persoană.

Modul de lucru al acestei activități poate fi observat în organigrama din figura 5.20.

5.6.4. Activitatea OCR (Optical Character Recognition)

Termenul OCR desemnează operația de recunoaștere a caracterelor în urma procesării unei imagini. Pentru această operație există o multitudine de metode și algoritmi de procesare. Niciuna dintre acestea nu reușește o recunoaștere de 100% în orice condiții. Pentru o recunoaștere cât mai bună a caracterelor trebuie ca imaginea procesată să îndeplinească anumite cerințe de calitate, cum ar fi, să aibă o luminozitate cât mai bună, un contrast bun, o claritate mare și de asemenea textul care trebuie recunoscut este bine să fie cât mai lizibil, să nu fie obiecte grafice asemănătoare textului în imagine, etc.



Figura 5.19: Interfața activității Call Someone.

Algoritmii mai performanți sunt costisitori, însă există și variante gratuite, cum este cea concepută de HP în 1985 și care este de înut acum de Google, fiind acum sub numele de Tesseract. Există de asemenea și variante gratuite online, care sunt accesibile.

Dintre toate aceste variante, în urma testelor efectuate, am constatat că pe platforma Android se preferă varianta de procesare online, pe baza internetului. Singura posibilitate de procesare gratuit offline o reprezintă Tesseract, care este deja portată pe platforma Android, dar procesarea prin Tesseract este de lungă durată și rezultatele nu sunt tocmai satisfăcătoare.

Fiindcă o persoană cu deficiențe de vedere are nevoie de o procesare OCR în timp real, pentru citirea unor afișe, a unor texte, modalitatea cea mai rapidă rămâne varianta online, unde procesarea se face rapid pe serverul dedicat în acest scop.

Pentru aplicația de asistare prezentată de această lucrare, am ales o procesare OCR online folosind adresa: <http://www.ocrwebservice.com/>. Activitatea

OCR a fost descris în lucrarea [145].

Interfața activității de recunoaștere optică a caracterelor poate fi observată în figura 5.21. Imaginea este preluată de la camera de pe spatele telefonului, realizându-se preliminar o focalizare automată. Rezultatul este primit de la server sub forma unui text care a fost recunoscut, text care va fi citit cu voce utilizatorului. Modul de lucru al acestei activități poate fi observat în organigrama din figura 5.22.

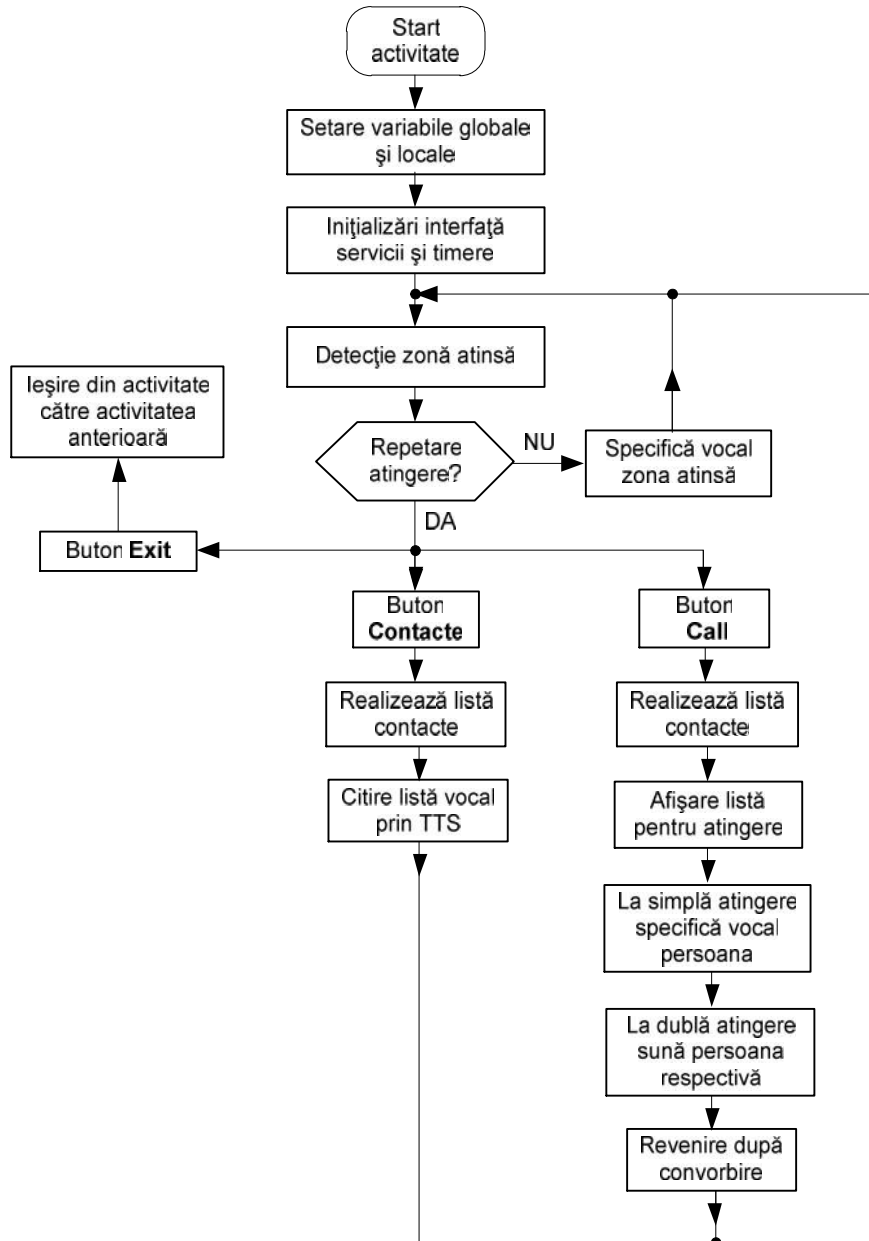


Figura 5.20: Modul de lucru al activității Call Someone.

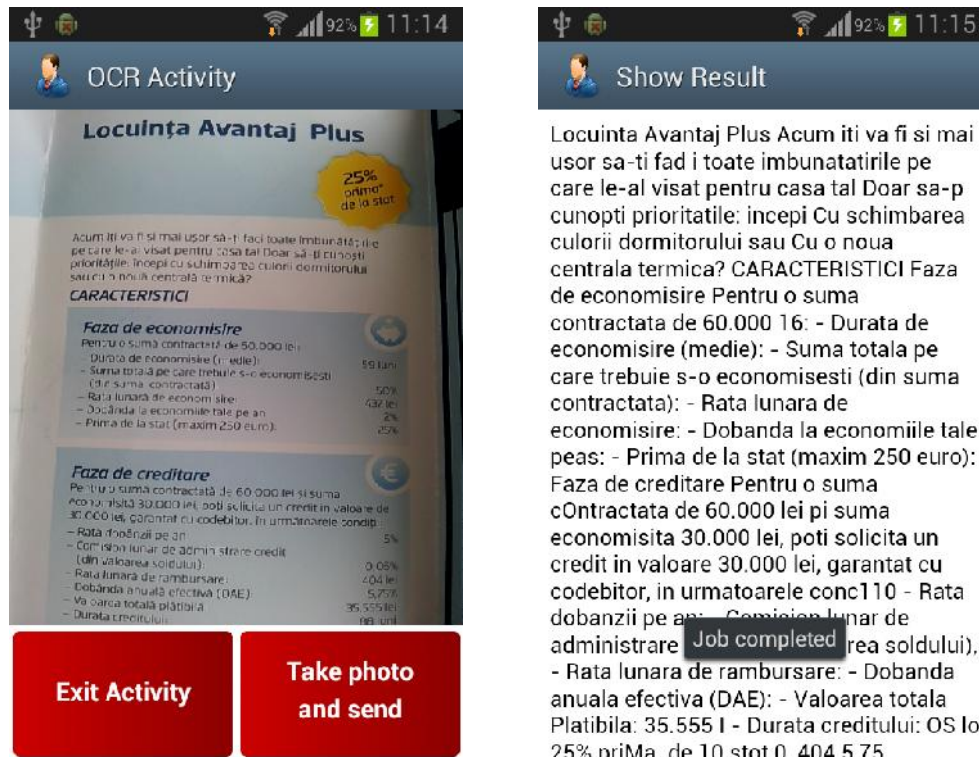


Figura 5.21: Interfa a activității OCR și interfa a de comunicare a rezultatului.

5.6.5. Activitatea GPS Guidance

Ghidarea utilizatorului cu ajutorul GPS presupune existența acestui semnal, dat de sateliți. Datorită numărului mare de sateliți, semnalul GPS este relativ rapid obținut de către senzorul din telefon (circa 30 secunde), însă acest semnal este slab sau chiar lipsește cu desăvârșire în interiorul clădirilor, motiv pentru care, ghidarea GPS nu se poate face în interiorul clădirilor, fiind nevoie să utilizăm alți senzori, care să asiste utilizatorul în deplasare, detectând obstacolele ce apar în deplasare.

Pentru a putea realiza asistarea în deplasare a utilizatorului pe baza semnalului GPS, pe un anumit traseu, avem nevoie de un sistem de hărți, pe care ni-l oferă în acest caz, gratuit Google. Sigur, am putea utiliza un sistem de hărți offline, însă este mult mai ușor să ne folosim de serviciile oferite la ora actuală de Google, servicii care sunt îmbunătățite pe zi ce trece, fiind permanent actualizate.

Pentru a stabili traseul de urmat este nevoie în primul rând să știm locația curentă, pe care o aflăm cu ajutorul senzorului GPS, sub forma unor coordonate de latitudine și longitudine, dar și destinația la care vrem să ajungem. Locația curentă se poate comunica nevăzătorului, vocal, în urma conversiei coordonatelor GPS în adresă, așa cum se poate observa și în figura 5.23, unde este reprezentată interfața activității GPS Guidance.

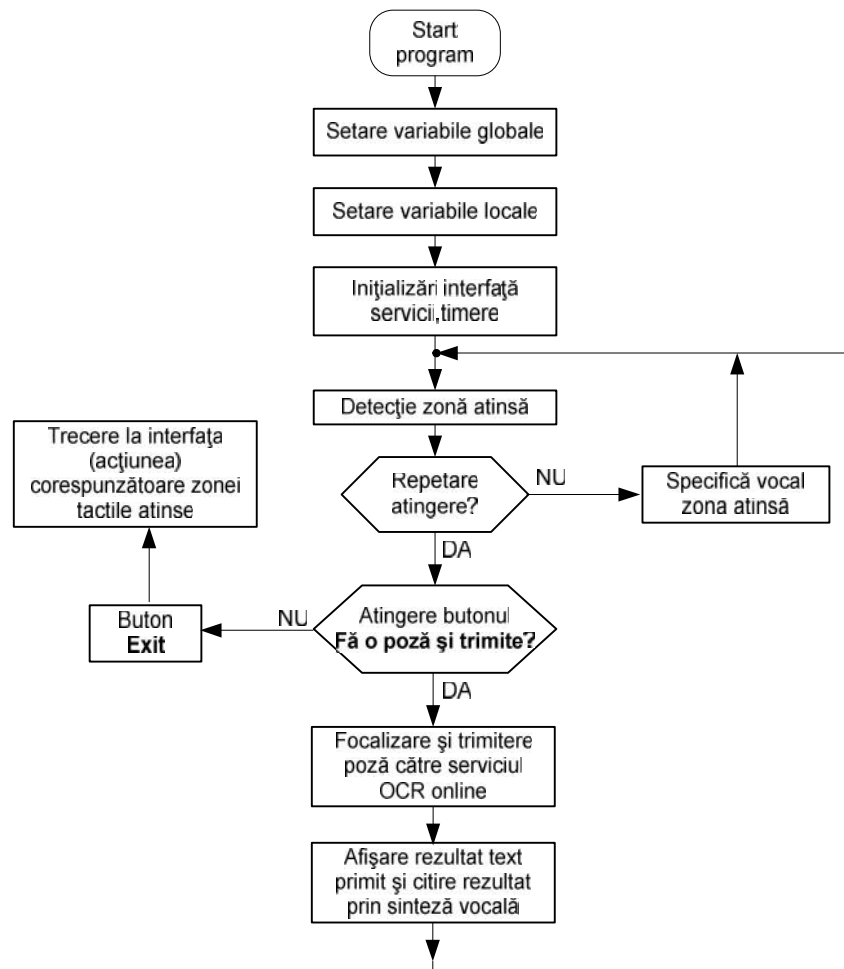


Figura 5.22: Modul de lucru al activității OCR.

Destinația dorită trebuie să o comunice utilizatorul verbal, utilizându-se în acest scop motorul de recunoaștere a vorbirii de la Google. Adresa comunicată împreună cu locația curentă, sunt trimise într-o cerere de planificare a traseului către Google, care ne oferă în continuare o hartă cu traseul marcat, așteptând în același timp să pornim pe acest traseu, oferindu-se să ne ghideze vocal pe parcursul deplasării, așa cum se poate observa și în figura 5.24.

De asemenea, la cerere, utilizatorul poate afla orientarea sa în spațiu, activând butonul Orientation, și se va comunica poziția sa în grade față de nordul geografic. Această orientare se obține de la senzorul „virtual” de orientare din telefon, care nu este un senzor propriu-zis, ci o metodă de procesare a datelor primite de la accelerometru și de la giroscop, existent în sistemul de operare Android.



Figura 5.23: Interfața activității GPS Guidance.

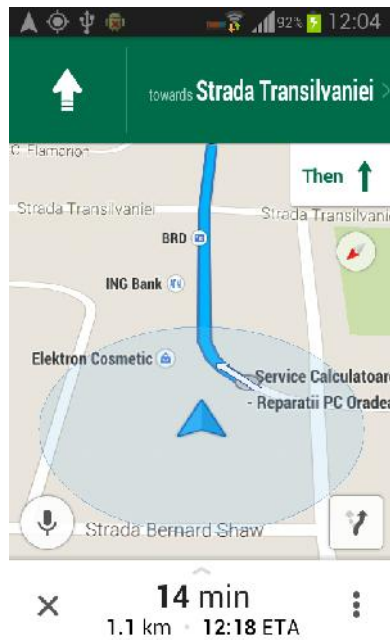


Figura 5.24: Harta oferită de Google gratuit pentru navigație.

De asemenea, la cerere, utilizatorul poate afla orientarea sa în spațiu, activând butonul Orientation, și se va comunica poziția sa în grade față de nordul geografic. Această orientare se obține de la senzorul „virtual” de orientare din telefon, care nu este un senzor propriu-zis, ci o metodă de procesare a datelor primite de la accelerometru și de la giroscop, existent în sistemul de operare Android.

În momentul pierderii semnalului GPS, activitatea curentă comunică acest lucru, vocal utilizatorului, iar acțiunea de ghidare cu ajutorul senzorului GPS se poate încheia, fiind nevoie să se treacă la activitatea de asistare prin metode locale de detectare a obstacolelor.

Organigrama din figura 5.25 exemplifică modul de lucru al acestei activități.

5.6.6. Activitatea Indoor Guidance

Așa cum am menționat mai sus, există situații în care semnalul GPS se poate pierde, sau chiar poate lipsi permanent, cum e cazul deplasării în interiorul clădirilor. În această situație asistarea în deplasarea persoanelor nevizi toare se poate face doar prin metode de navigație locală din domeniul roboticii, metode care detectează și comunică prezența unor obstacole pe parcursul deplasării.

Activitatea numită Indoor Guidance, a cărei interfață se poate vedea în figura 5.26, primește date senzoriale de la platforma Arduino Nano prin intermediul comunicației bluetooth, date pe care le procesează și avertizează vocal utilizatorul în cazul apariției obstacolelor, la nivelul capului, al corpului sau al picioarelor.

În primă fază, este nevoie să se realizeze comunicația bluetooth cu platforma Arduino, lucru pe care trebuie să-l facă utilizatorul prin activarea butonului Connection, iar conexiunea se va face automat cu această platformă, desigur, după procesul de împerechere a celor două dispozitive, care se realizează o singură dată, la început, în timpul orelor de antrenament necesare pentru nevizi toare. Datele primite de la senzori sunt și afișate, pentru control. Datele de la senzori se primesc într-un ciclu care are durata de 800ms, un interval de timp considerat optim pentru comunicarea unei eventuale avertizări. În cazul unei avertizări prea dese, repetarea vocală devine deranjantă pentru utilizator.

De asemenea, sunt preluate datele și de senzorul de accelerație, iar în urma detectării unei accelerații mari, corespunzătoare unei căderi, activitatea curentă realizează un apel de urgență către centrul de supraveghere a persoanelor nevizi toare sau către serviciul de urgență 112 sau chiar către o persoană cunoscută, în vederea trimiterii unui ajutor.

Luminozitatea poate fi un factor ajutător asistării în deplasare, de aceea utilizatorului îi se comunică faptul că se află într-o zonă luminoasă sau dimpotrivă, întunecoasă, ceea ce poate presupune intrarea într-un spațiu îngust sau închis, în interiorul unei clădiri.

Organigrama din figura 5.27 exemplifică modul de lucru al activității Indoor Guidance principale, care realizează conexiunea bluetooth cu platforma Arduino Nano, iar organigrama din figura 5.28 exemplifică modul de lucru al activității Indoor Guidance secundare, care primește datele de la senzori și le prelucrează.

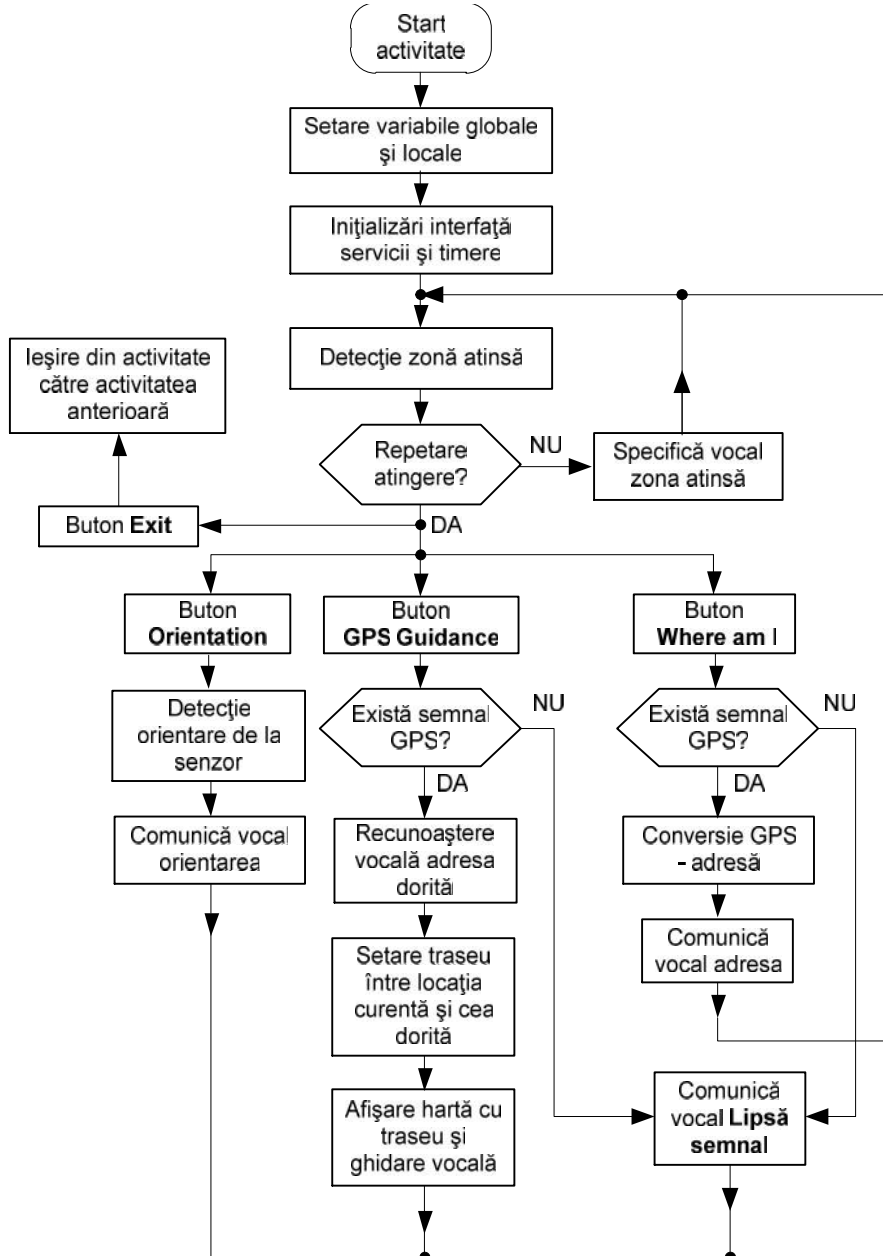


Figura 5.25: Modul de lucru al activității GPS Guidance.

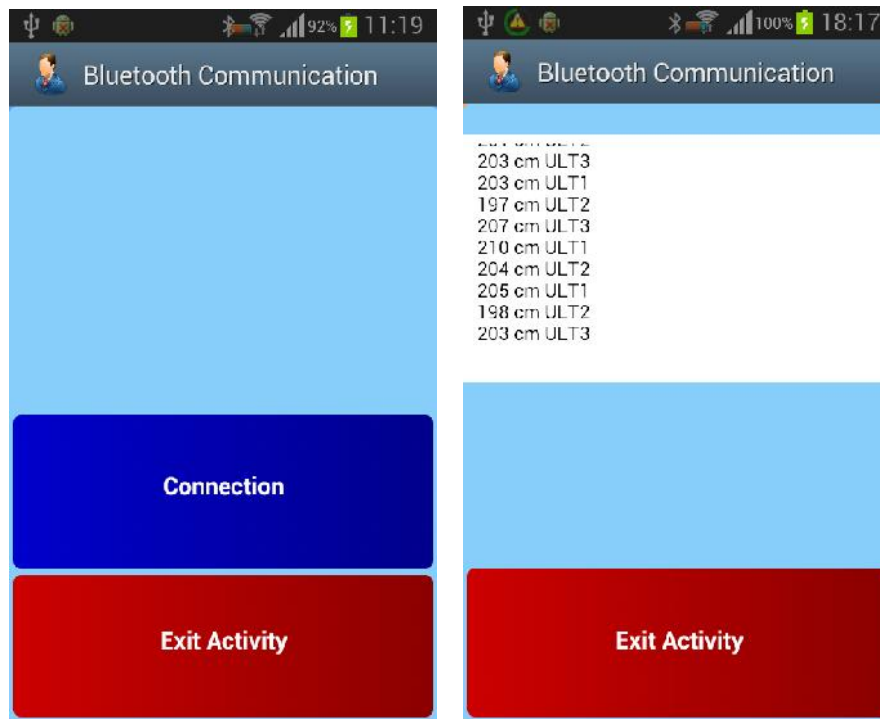


Figura 5.26: Activitatea Indoor Guidance.

5.7. Testarea sistemului de asistare

Testarea sistemului de asistare a persoanelor cu deficiențe de vedere, s-a realizat de către autor și persoanele apropiate atât în interiorul clădirilor, cât și în deplasare în mediul exterior. În figura 5.29 poate fi observat întregul sistem de asistare, iar în figura 5.30 poate fi observat autorul lucrării în timpul efectuării testelor.

În urma testelor efectuate s-au observat unele limitări ale sistemului de asistare și s-au formulat unele concluzii.

Interfața aplicației de asistare folosită pe telefonul mobil i-a dovedit eficiența în privința utilizării ei de către persoane cu deficiențe de vedere, neexistând probleme de funcționalitate, interacțiunea cu această interfață realizându-se la nivel tactil. De asemenea, comunicarea informațiilor pe tot parcursul asistării, realizându-se vocal, cu ajutorul componentelor software oferite gratuit de către Google, i-a dovedit pe deplin utilitatea, neexistând erori de comunicare sau în alegerea informației de către utilizator.

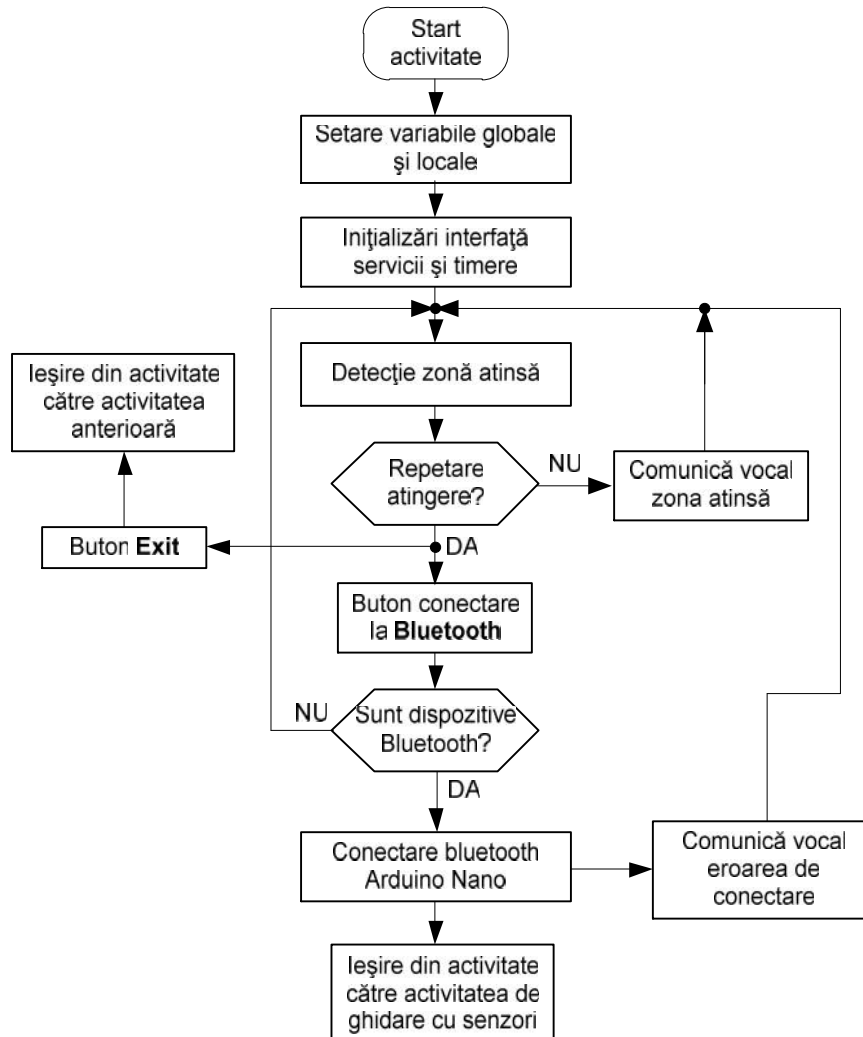


Figura 5.27: Modul de lucru al activității Indoor Guidance principale.

În privința recunoașterii vocale a adresei de destinație în cadrul asistării, de către telefonul mobil, au existat cazuri de recunoaștere vocală eronată a adresei, datorită existenței zgomotului mediului ambiant, dar și datorită prezenței slabe a semnalului de telefonie 3G în unele zone, ceea ce a dus la scăderea vitezei de comunicare a datelor pe internet, și implicit, la erori de recunoaștere vocală.

În vederea îmbunătățirii ratei de recunoaștere vocală, se impune utilizarea la telefonul mobil a unor căști cu microfon, utile și în scopul realizării de convorbiri de calitate, dar se impune mai ales retragerea persoanei în cauză într-un loc mai izolat, cum ar fi scara unui bloc, în vederea comunicării adresei de destinație ce urmează să fie recunoscută vocal de sistem.

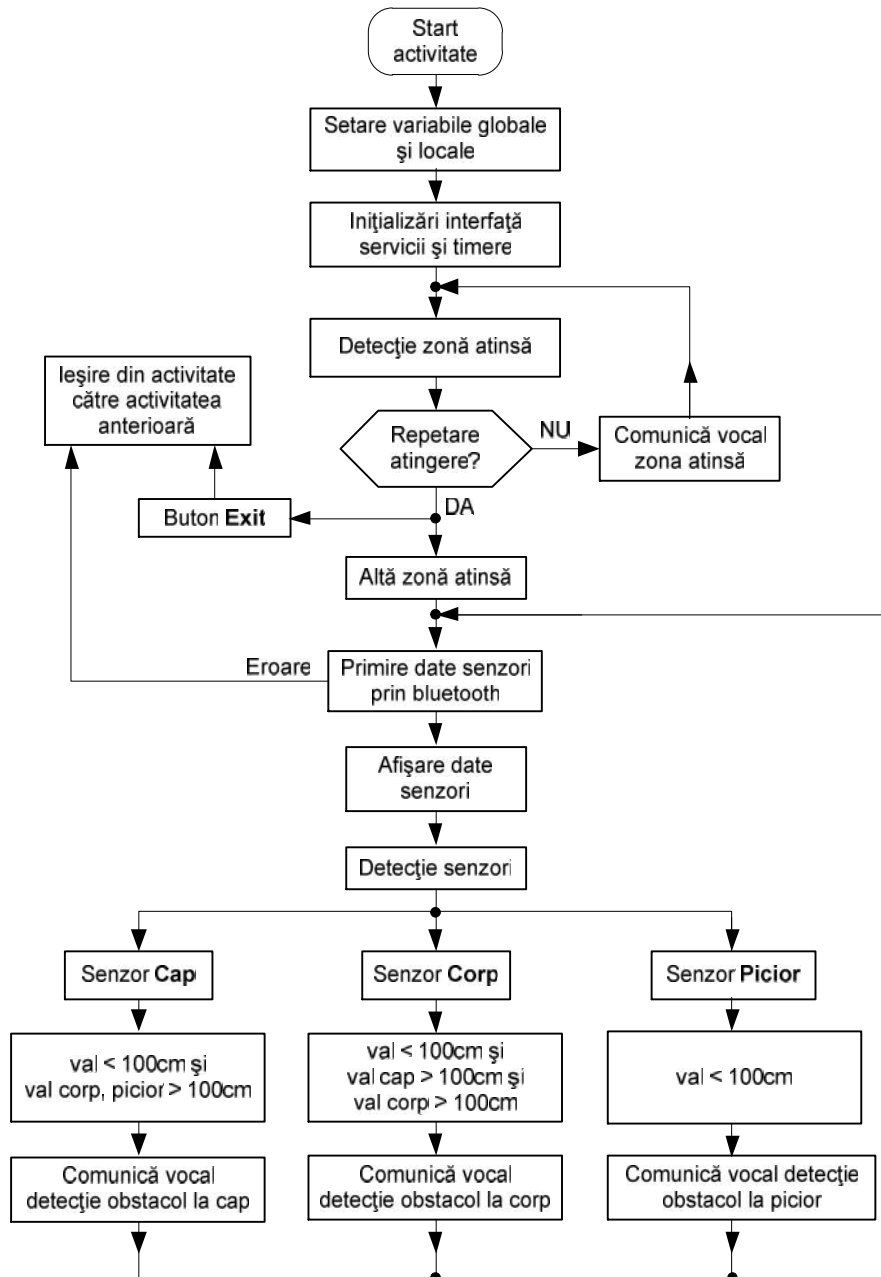


Figura 5.28: Modul de lucru al activității Indoor Guidance secundare.

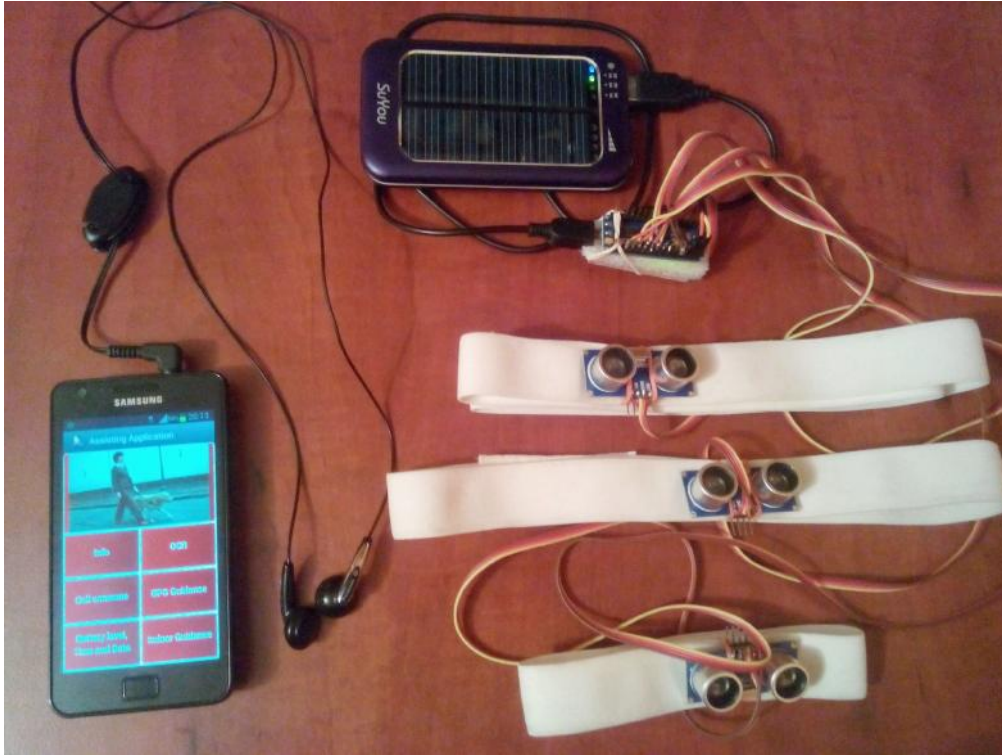


Figura 5.29: Sistemul de asistare pregătit pentru teste.

În ce privește ghidarea în timpul deplasării, aceasta se bazează pe informațiile primite de la senzorul GPS, dar și pe informațiile geografice oferite de către Google pe baza unei hărți. Traseul de urmat, precum și traiectoria respectivă este planificat de către serviciul Google, aplicația folosind aceste informații pentru ghidare. În măsura în care aceste informații, primite de la Google oferă o anumită exactitate, ghidarea în deplasare a persoanelor cu deficiențe de vedere, poate fi mai precisă sau mai puțin precisă. Testele au dovedit eficiența acestei ghidări, pe baza hărții Google, dar nu există garanția unei precizii deosebite în ghidare, ceea ce impune utilizarea platformei de detecție a obstacolelor, în vederea deplasării în siguranță.

La detecția obstacolelor, distanța de 1m pentru detecție, a fost aleasă ca un compromis între o distanță mai mare, care ducea la detecția obiectelor de la o distanță mai mare, dar deranja utilizatorul cu informații dese privind detecția, și detecția exclusivă a obiectelor apropiate, aflate în imediata vecinătate a persoanei, ce pot provoca coliziuni.

În calculul distanței de detectare a obstacolelor a fost luat în considerare și viteza de reacție a sistemului de asistare, atât viteza de reacție a platformei Arduino, care necesită aproximativ 500ms pentru un ciclu complet de detecție și comunicarea informației prin bluetooth, dar și viteza de reacție a aplicației de asistare de pe telefonul mobil, care necesită un anumit timp pentru recepția informațiilor prin bluetooth și comunicarea lor prin sinteză vocală.



Figura 5.30: Autorul testând sistemul de asistare.

Toate aceste considerente au ca i consecin reducerea vitezei de deplasare în timpul asist rii.

În interiorul cl dirilor, distan a de detec ie a obstacolelor se impune a fi mai mic de 1m, pentru a nu suprasolicita aten ia persoanei în cauz , în timpul deplas rii de-a lungul coridoarelor înguste, prin detectarea deas a pere ilor, la devierea cursului de deplasare cu un anumit grad.

Referindu-ne la celelalte activit i din cadrul aplica iei android, conexe activit ii de asistare, cum sunt activit ile de comunicare a nivelului de înc rcare a bateriei, a orei i a datei, de realizare a unor convorbiri telefonice, utilizarea lor nu a dus la apari ia unor erori, ci a dovedit pe deplin utilitatea existen ei lor.

Activitatea de recunoa tere optic a caracterelor, util pentru citirea unor afi e sau chiar a unor articole din ziar, a dat rezultate bune atât în lumin ambient puternic , cât i în lumin mai slab , ca i în cazul cl dirilor, datorit select rii serviciului OCR online de calitate, dar utilizarea acestei func ii, este destinat îndeosebi persoanelor cu deficien e de vedere care nu sunt total nev z toare, pentru faptul c necesit pozi ionarea telefonului mobil deasupra zonei cu scris, în vederea unei bune focaliz ri i a unei bune recunoa teri a textului. Testele efectuate

au dovedit o bună recunoaștere a textului, dar aceasta depinde de factorii de mediu, de poziționarea bună a telefonului deasupra zonei cu scris și nu în ultimul rând depinde de capacitatea de recunoaștere a algoritmului utilizat de către serviciul OCR online.

5.8. Concluzii

Sistemele de asistare pentru persoane cu deficiențe de vedere propuse și realizate până acum și-au dovedit utilitatea și au demonstrat faptul că asistarea este mai eficientă dacă se utilizează atât metode de navigație locală, din domeniul roboticii, cât și metode de navigație globală.

Utilizarea concomitentă a acestor tipuri de navigație a dus la crearea conceptului de sistem integrat de dezvoltare, menită să aducă un plus de eficiență în asistare.

Dezvoltarea fără precedentă a dispozitivelor mobile, gen telefon sau tabletă, creează o oportunitate pentru realizarea sistemelor de asistare pentru persoane cu deficiențe de vedere. Sistemul de asistare propus și prezentat în această lucrare are la bază conceptul de sistem integrat, conceput anterior de membrii echipei de cercetare din care face parte și autorul.

Cercetările efectuate dovedesc faptul că au mai fost încercări de realizare a unui sistem de asistare bazat pe dispozitive mobile, multe din ele bazându-se exclusiv pe utilizarea dispozitivului mobil. Prezentul sistem utilizează atât dispozitivul mobil cât și platforme externe cu senzori, utilizate pentru detectarea obstacolelor la nivel local.

Utilizarea dispozitivelor mobile actuale dă posibilitatea realizării unui sistem de asistare care corespunde întocmai cerințelor impuse pentru un astfel de sistem. Astfel, sistemul prezentat este portabil, de mici dimensiuni, are greutate redusă, are autonomie energetică ridicată, este ușor de utilizat, necesitând doar puțin timp de antrenament, iar utilitatea lui se dovedește prin încercarea de a acoperi cât mai bine necesitățile de asistare ale acestor persoane.

Astfel, prin activitățile create în cadrul aplicației android de pe telefon, utilizatorul poate realiza convorbiri telefonice, poate afla ora, data, precum și starea de încărcare a bateriei, poate citi un articol din ziar, utilizând funcția de recunoaștere optică a caracterelor.

Pentru asistare, aplicația android dispune de câteva activități, și anume: funcția de recunoaștere optică a caracterelor pentru citirea unor afișe, ghidarea în deplasare cu ajutorul semnalului GPS și a unei hărți, dar și ghidarea în deplasare în interiorul clădirilor, cu ajutorul platformei externe și a unor senzori, datorită lipsei semnalului GPS.

Interfața aplicației este special concepută pentru a fi utilizată de persoane cu deficiențe de vedere. În acest scop, atingerea unui obiect grafic de pe ecran duce la comunicarea funcției acestuia către utilizator, iar prin dublă atingere se activează funcția corespunzătoare. Comunicarea între sistem și utilizator se face vocal, metodă care comunică multă informație prin resurse puține, utilizându-se motorul de sinteză vocală oferit gratuit de către Google. Fiindcă de cele mai multe ori mediul de asistare este unul public și zgomotos, comunicarea vocală se face prin intermediul unor căști și nu la difuzor, pentru ca mesajul să fie bine înțeles și pentru a nu deranja în jur. Comenzile date de către utilizator sistemului de asistare pot fi vocale, prin utilizarea motorului de recunoaștere vocală oferit de Google, dar mediul zgomotos de asistare poate duce la erori de recunoaștere vocală, motiv pentru care se preferă activarea comenzilor prin dubla atingere a butoanelor de pe ecran.

Pentru detectarea obstacolelor la nivel local s-au propus două platforme externe dispozitivului mobil, una bazată pe microcontroler, Arduino Nano, lucrând la frecvență mai redusă, dar fără sistem de operare și rulând o aplicație unică, iar cea de a doua, RaspberryPI, cu procesor ARM de frecvență ridicată, cu sistem de operare Linux, rulând peste sistemul de operare o aplicație de detectare a obstacolelor în imagini, folosind bibliotecile OpenCV.

Platforma Arduino Nano utilizează trei senzori ultrasonici de detectare a obstacolelor, la nivelul capului, al corpului și al picioarelor. RaspberryPI se folosește de o cameră video dedicată pentru detectarea obiectelor, iar aplicația funcționează în timp real.

În urma testelor experimentale efectuate s-a constatat că platforma RaspberryPI necesită o supervizare software din partea unei persoane vizătoare și de aceea a fost considerat impropriu pentru sistemul de asistare în cauză. În schimb, platforma Arduino Nano și-a dovedit utilitatea în detectarea obstacolelor cu ajutorul senzorilor ultrasonici, ea rulând o singură aplicație permanentă, nefiind necesară nici o intervenție umană.

Platforma externă comunică datele preluate de la senzori către telefon prin bluetooth, unde are loc o fuziune a datelor de la mai mulți senzori, iar la momentul necesar, se comunică vocal utilizatorului, avertizarea privind existența unei obstacol la un anumit nivel.

Activitatea de ghidare în deplasare cu ajutorul semnalului GPS oferă utilizatorului în orice moment posibilitatea de a afla locația în care se află, precum și orientarea în spațiu cu ajutorul senzorului de orientare din telefon. Pentru asistarea în deplasare, utilizatorul trebuie să comunice vocal destinația dorită, iar după recunoașterea vocală a destinației, se încarcă harta oferită gratuit de Google și începe procesul de ghidare.

În cadrul activității de ghidare în deplasare se utilizează și alți senzori disponibili pe telefonul mobil. În acest scop se detectează lumina ambiantă, care poate fi un factor de avertizare pentru utilizator asupra intrării într-un spațiu închis sau asupra deplasării într-un spațiu îngust, care impune o deplasare cu mai mare atenție.

De asemenea, persoana vizătoare poate suferi un accident prin cădere, fenomen detectat de către senzorul de accelerație, moment în care aplicația efectuează un apel telefonic la o persoană cunoscută, sau la centrul de supraveghere în asistare sau la centrul de urgență 112, în vederea oferirii unui ajutor.

Testele experimentale efectuate cu sistemul de asistare au dovedit utilitatea lui, dar au relevat și unele deficiențe care trebuie soluționate în viitor. În acest scop sunt necesare teste suplimentare, care să ducă la găsirea distanțelor optime de detectare a obstacolelor, atât în interiorul clădirilor, cât și în deplasarea în mediul exterior.

Odată cu dezvoltarea exponențială a tehnologiei dispozitivelor mobile, un astfel de sistem de asistare reprezintă o soluție viabilă, mai ales datorită reducerii mari a costurilor, dar și pentru ușurința utilizării, reducându-se mult timpul de antrenament necesar. De asemenea, evoluția tehnologică va permite existența unei viteze mai bune de reacție a platformei Arduino la detectarea obstacolelor, dar și o viteză mai bună de reacție a aplicației android pe telefonul mobil, ceea ce poate duce implicit la creșterea vitezei de deplasare în asistare.

În activitatea de cercetare ulterioară prezentei acestei lucrări se are în vedere îmbunătățirea detectării obstacolelor în imagini cu ajutorul camerei de luat vederi, prezentă pe o platformă FPGA externă telefonului, dar mai ales cu ajutorul camerei de luat vederi miniatură prezentă pe telefonul mobil.

CONTRIBU II

În prezenta lucrare s-a pornit de la ideea de a găsi noi metode tehnice de asistare a persoanelor cu deficiențe de vedere în deplasare. Pentru abordarea acestei teme s-a pornit de la studierea sistemelor de asistare realizate până în momentul de față. De-a lungul timpului această temă a fost abordată de multe echipe de cercetare, dar nu s-a ajuns la un sistem de asistare pe deplin satisfăcător. Din acest motiv, îmi totodată luând în considerare evoluția tehnologică din ultima perioadă de timp, am considerat că este oportună ideea gășirii de noi metode de asistare. Ca urmare, lucrarea de față prezintă un sistem de asistare bazat pe tehnologia de ultimă oră, integrat într-un dispozitiv mobil, la care este anexată și o platformă exterioară de procesare a datelor senzoriale, bazată pe microcontroler.

Pe parcursul lucrării s-au evidențiat mai multe contribuții ale autorului, unele de ordin teoretic, altele de ordin aplicativ. Ele vor fi enumerate în continuare, în ordinea apariției lor în lucrare.

Din punct de vedere teoretic, se pot evidenția următoarele contribuții:

1. În capitolul 1 s-a realizat un studiu sintetic și comparativ privind sistemele de asistare realizate până în momentul de față, de către diverse echipe de cercetare; pe baza studiului din capitolul 1 s-au conturat cerințele de bază ale sistemului de asistare, care au fost urmăriți îndeplinite de către sistemul propus în această teză: portabilitatea sistemului, greutate redusă, dimensiuni mici, cost redus, autonomie energetică crescută; tot datorită studiului comparativ efectuat, am ajuns la concluzia necesității utilizării unor metode de navigație globală, concomitent cu unele metode de navigație locală;

2. În scopul utilizării camerei video pentru asistare, am abordat procesarea imaginilor cu ajutorul CNN, pentru reducerea timpului de procesare; am evaluat metode clasice și CNN de segmentare bazate pe detecția muchiilor, care pot fi utilizate într-un sistem de vedere artificial;

3. Pentru compararea dimensiunilor a două obiecte în imagini, am investigat distanța Hamming, distanța Hausdorff și metrici implementate CNN, iar pentru reducerea deficiențelor constatate, am propus utilizarea unei metrici neliniare CNN; implementarea metricii unde neliniare pe o structură hardware de calcul complet paralel, poate duce la reducerea semnificativă a timpului de procesare în cazul comparării dimensiunilor a două obiecte;

4. Pentru interfața de comunicație între om și sistem, am realizat un studiu sintetic și comparativ privind cele mai utilizate metode de comunicație: audio și tactil.

Din punct de vedere aplicativ, se pot evidenția următoarele contribuții:

1. Împreună cu echipa de cercetare din care fac parte, am realizat un concept de sistem de asistare ca un mediu integrat, utilizând atât navigație locală, bazată pe mai multe tipuri de senzori, cât și navigație globală, bazată pe senzori și pe monitorizare; conceptul de mediu integrat de asistare a fost valorificat prin diverse lucrări științifice; acest concept stă la baza sistemului de asistare propus în această lucrare;

2. Pentru procesarea cu rapiditate a datelor senzoriale, am propus în lucrarea de față algoritmi CNN și template-ul PATH, concepuți de către autor împreună cu echipa de cercetare din care face parte, pentru determinarea traiectoriei optime a unui robot mobil; acești algoritmi au fost valorificați prin realizarea de lucrări științifice; de asemenea, am conceput și un algoritm de deplasare și atingere a țintei, pentru un robot mobil echipat cu senzori în infraroșu, algoritm bazat pe metoda wall-following; pentru testare s-a folosit mediul de lucru Matlab împreună cu toolbox-ul dedicat MATCNN;

3. Pentru procesarea imaginilor cu un anumit conținut de zgomot, am propus optimizarea unor template-uri, pentru segmentare bazată pe detecția CNN a muchiilor, în vederea creșterii eficienței în detecția conturilor;

4. Pentru detectarea unor obiecte în imagini, am elaborat un algoritm de corelație bazat pe CNN; timpul de calcul pentru determinarea corelației între două imagini este ridicat și depinde de mărimea imaginii șablon, dar prin utilizarea unui algoritm CNN se poate realiza o procesare paralelă și timpul de calcul pentru corelație scade mult; algoritmul CNN propus pentru corelația între două imagini poate fi integrat într-un sistem de asistare a persoanelor cu deficiențe de vedere, dar poate fi util și pentru alte aplicații cum ar fi sistemele semiautonome de conducere a roboților mobili sau a autovehiculelor;

5. Pentru calculul coeficienților de corelație a fost propus o arhitectură FPGA reconfigurabil optimizată; aria reconfigurabilă calculată, necesară pentru algoritmul CNN este redusă, iar procesarea devine de timp real, așa cum au dovedit-o testele efectuate pe o astfel de platformă FPGA;

6. Pentru interfața de comunicație audio, am adus îmbunătățiri privind modul de realizare a unui mediu virtual acustic prin care se percepe mediul înconjurător; în acest scop am utilizat mediul de lucru Matlab;

7. Am conceput aplicația de asistare android numită „Assisting application”, care este utilizată pe telefonul mobil și stă la baza întregului proces de asistare, realizat prin intermediul sistemului integrat propus;

8. Am conceput aplicația de detectare a obstacolelor cu ajutorul ultrasunetelor, utilizată pe platforma externă Arduino Nano;

9. Aplicația android folosită de către sistem este special concepută pentru utilizarea ei de către persoane cu deficiențe de vedere; chiar dacă platforma hardware este un smartphone care conține în mod uzual diverse aplicații, cea folosită pentru asistare este permanent activă; sistemul comunică permanent starea lui și informațiile necesare pentru asistare prin sinteză vocală;

10. Pentru ghidarea în deplasare, aplicația android realizată utilizează informațiile de localizare provenite de la senzorul GPS și planifică traiectoria pe baza unei hărți Google; destinația până la care se dorește asistarea, se comunică vocal de către utilizator, iar sistemul o percepe prin recunoașterea vocală; în plus detectarea obstacolelor apărute în timpul deplasării se realizează cu ajutorul platformei externe bazate pe microcontroler; detectarea obstacolelor se face cu ajutorul senzorilor ultrasonici, la trei nivele: la cap, la corp și la picioare, pentru prevenirea accidentării sub diverse forme;

11. Aplicația oferă utilizatorului în orice moment, în deplasare, la cerere, informații privind localizarea sa și orientarea în spațiu;

12. Aplicația avertizează utilizatorul cu privire la deplasarea sa prin spații ferice sau spații înguste;

13. În cadrul aplicației se detectează posibila accidentare prin cererea utilizatorului, fapt semnalat telefonic la centrul de supervizare; în acest scop se poate contacta telefonic o persoană apropiată în vederea oferirii unui ajutor;

14. Pentru citirea unor afișe sau a altor texte informative, am creat în cadrul aplicației funcția de recunoaștere optică a caracterelor, prin intermediul căreia informația este comunicată utilizatorului prin sinteză vocală;

15. Pe lângă activitatea principală, de asistare, din cadrul aplicației android, am conceput și alte activități de asistare conexe: utilizatorul sistemului poate realiza convorbiri telefonice, poate afla ora, data, și cantitatea de energie din baterie;

16. Utilizatorul poate fi supervizat de la distanță prin trimiterea informațiilor concludente prin internet, către un centru de monitorizare;

17. Sistemul de asistare propus și realizat practic pentru această lucrare se dovedește a fi ușor de utilizat, necesitând puține ore de antrenament pentru persoanele cu deficiențe de vedere, iar asistarea realizată de către sistem nu se reduce la asistarea în deplasare, ci acoperă mai multe necesități de asistare ale acestor persoane.

BIBLIOGRAFI E

- [1] M. La Plante and D. Carlson, Disability in the United States: Prevalence and Causes, U. S. Department of Education, National Institut of Disability and Rehabilitation Research, Washington D. C., 2000
- [2] N.A. Bradley and M.D. Dunlop, A Pathway to Independence: wayfinding systems which adapt to a visually impaired person's context, Proceedings of IEE Symposium on Assistive Technologies, Glasgow, april, 2003
- [3] H. Mori and S. Kotani, Robotic travel aid for the blind: HARUNOBU-6, Proc. 2nd Euro. Conf. Disability, Virtual Reality & Assoc. Tech., Skövde, Sweden, ECDVRAT and University of Reading, pp. 193-202, UK, 1998
- [4] ***, Program on Employment and Disability, New York State School of Industrial and Labor Relations, Cornell University, january, 1994
- [5] V. Kulyukin, C. Gharpure, J. Nicholson, S. Pavithran, RFID in Robot-Assisted Indoor Navigation for the Visually Impaired, IEEE/RSJ Intern. Conf. on Intelligent Robots and Systems, Sendai, Japan (IROS), 2004
- [6] J. Dowling, A. Maeder, W. Boles, - Intelligent Image Processing Constraints for Blind Mobility Facilitated through Artificial Vision, The Eight Australian and New Zealand Intelligent Information Systems Conf. (ANZIIS), pp. 109-114, 2003
- [7] S. Shoval, I. Ulrich, J. Borenstein, Robotics-based obstacle avoidance systems for the blind and visually impaired, IEEE Robotics and Automation Magazine, vol. 10, no. 1, pp. 9-20, march, 2003
- [8] J. Borenstein, I. Ulrich, The GuideCane – A Computerized Travel Aid for the Active Guidance of Blind Pedestrians, Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Albuquerque, NM, pp. 1283-1288, Apr. 21-27, 1997
- [9] R. Farcy, R. Leroux, R. Damaschini, R. Legras, Laser Telemetry to improve the mobility of blind people: report of the 6 month training course
- [10] Young-Jip Kim, Chong-Hui Kim, and Byung-Kook Kim, Design Of Auditory Guidance System For The Blind With Signal Transformation From Stereo Ultrasonic To Binaural Sound-, Proc. of the 32nd ISR (Intern. Symposium on Robotics), 19-21 April 2001
- [11] W.L. Gulick, G.A. Gescheider, and R.D. Frisina, Hearing Phychoacoustics, Oxford University Press, New York, 1989
- [12] S.K. Roffler and R.A. Butler, Factors that influence the localization of sound in the vertical plane, Journal of Acoust. Soc. Amer., vol. 43, pp. 1257-1259, 1968
- [13] I. Ulrich, J. Borenstein, The GuideCane - Applying Mobile Robot Technologies to Assist the Visually Impaired, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, Vol. 31, No. 2, pp. 131-136, March 2001
- [14] P. Csontos, A. Balog, P. Tatai, P. Mihajlik, Superbat – a navigation aid for

-
- the blind, University of Technology and Economics, Department of Telecommunications and Telematics, Budapest, IKTA5-050, 2002
- [15] T. Tsukiyama, Navigation system for the Mobile Robots using RFID Tags, in Proc. of the IEEE Conf. on Advanced Robotics, Coimbra, Portugal June-July, 2003
- [16] V. Hayward, H. M. Cruz-Hernández, Tactile display device using distributed lateral skin stretch, Proceedings of the Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems Symposium, ASME International Mechanical Engineering Congress & Exposition, Orlando, Florida, U.S.A., pp. 1309-1314, 2000
- [17] R. Velázquez, F. Maingreud, E. Pisaloux, Intelligent Glasses: A New Man-Machine Interface Concept Integrating Computer Vision and Human Tactile Perception, EUROHAPTICS, Dublin, pp. 456-460, 2003
- [18] F. Van der Heijden, P.P.L. Regtien, Wearable navigation assistance – a tool for the blind, Measurement Science Review, vol. 5, Section 2, 2005
- [19] M.R. Everingham, B. T. Thomas, T. Troscianko and D. Easty, Neural network virtual reality mobility aid for the severely visually impaired, Proceedings of the 2nd European Conference on Disability, Virtual Reality and Associated Technologies, pp. 183-192, The University of reading, September, 1998
- [20] Jordan Andersen, Eric Seibel, PhD, Real-time Hazard Detection via Machine Vision for Wearable Low Vision Aids, Human Interface Technology Laboratory, University of Washington, Seattle
- [21] Ryland C. Bryant, Cameron M. Lee, Robert A. Burstein and Eric J. Seibel, Engineering a Low-cost Wearable Low Vision Aid base don Retinal Light Scanning, Human Interface Technology Laboratory, university of Washington, Seattle, SID 04 Digest, 2004
- [22] R. L. Gregory, Eye and Brain: The Psychology of Seeing, 5th ed. Tokyo: Oxford University Press, 1998
- [23] E. Margalit, M. Maia, J. D. Weiland, et al., Retinal Prosthesis for the Blind, Survey of Ophthalmology, vol. 47, pp. 335-356, 2002
- [24] Paul Bach-y-Rita, Mitchell E. Tyler, Kurt A. Kaczmarek, Seeing with the Brain, International Journal of Human-Computer Interaction, 15(2), 285-295, Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 2003
- [25] G. Dagnelie, Ph. D., Virtual technologies aid in restoring sight to the blind, Communications Through Virtual Technology: Identity Community and Technology in the Internet Age, Edited by G. Riva and F. Davide, IOS Press: Amsterdam, cap. 15, pp. 248-271, 2001
- [26] E. Fernandez, F. Pelayo, P. Ahnelt, J. Ammermuller, R.A. Normann, Cortical Visual Neuroprostheses for the Blind, Restorative Neurology and Neuroscience, In Press, 2004
- [27] A. Helal, S. Moore, B. Ramachandran, Drishti: An Integrated Navigation System for Visually Impaired and Disabled, Intern. Symposium on Wearable Computers (ISWC), pp. 149-156, 2001
- [28] R.D. Schraft, Mechatronics and Robotics for Service Applications, IEEE Robotics and Automation Magazine, Vol. 1(4), Dec., pp. 31-35, 1994
- [29] A. Meystel, Autonomous Mobile Robots Vehicles with Cognitive Control,

- World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore, 1991
- [30] H.R. Everett, *Sensors for Mobile Robots – Theory and Application*, A. K. Peters, Wellesley, MA, 1995
 - [31] L.S. Lopes, A. Teixeira, *Human-Robot Interaction through Spoken Languages Dialogue*, Proceedings of the 2000 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Takamatsu, Japan, Oct./Nov., pp. 528-534, 2000
 - [32] F. Mondala, E. Franzi, P. Ienne, *Mobile robot miniaturisations: A tool for investigation in control algorithms*, Experimental Robotics III, Proceedings of the 3-rd International Symposium on Experimental Robotics, Kyoto, Japan, Oct. 28-30, 1993, Springer Verlag, London, pp. 501-513, 1994
 - [33] M. Simoncelli, G. Zunino, H. I. Christensen, *Autonomous Pool Cleaning: Self Localization and Autonomous Navigation for Cleaning*, Autonomous Robots No. 9, Kluwer Academic Publishers, Manufactured in The Netherlands, pp. 261-270, 2000
 - [34] S. Thrun, D. Fox, W. Burgard, F. Dellaert, *Robust Monte Carlo Localization for Mobile Robots*, School of Computer Science, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, to appear in Artificial Intelligence, Summer, 2001
 - [35] S. Thrun, M. Bennewitz, W. Burgard, A. B. Cremers, F. Dellaert, D. Fox, D. Hahnel, C. Rosenberg, N. Roy, J. Schulte, D. Schultz, *MINERVA: A Second-Generation Museum Tour-Guide Robot*, School of Computer Science, Carnegie Mellon University, Pittsburg and Computer Science Departament, University of Bonn, Germany, 1999
 - [36] R. A. Russell, *Laying and sensing odor markings as a strategy for assisting mobile robot navigation tasks*, IEEE Robotics and Automation Magazine, pp. 3-9, Sept., 1995
 - [37] D. Lange, J. K. Rosenblatt, M. Heber, *A behavior-based system for off-road navigation*, IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol. 10, No. 6, pp. 776-782, Dec., 1994
 - [38] S. K. Choi, J. Yuh, *Development of the omni-directional intelligent navigator*, IEEE Robotics and Automation Magazine, Vol. 2, Mar., 1995
 - [39] H. Schempf, B. Cheme and N. Everett, *NEPTUNE: Above ground Storage-Tank Inspection Robot System*, IEEE Robotics and Automation Society Magazine, June, 1995
 - [40] H. Lehtinen, P. Kaarmila, M. Blom, I. Kauppi, J. Kerva, *Mobile robots evolving in industrial applications*, VTT Automation, Machine Automation, Mobile Robotics – Mechatronics, Finland, 2001
 - [41] C. R. Weisbin, D. Lavery, *NASA rover and telerobotics technology program*, IEEE Robotics and Automation Magazine, pp. 14-21, Dec. 1994
 - [42] R. R. Murphy, *Introduction to AI Robotics*, The MIT Press, ISBN 0-262-13383-0, 2000
 - [43] T. Boto, *Cercet ri privind conducerea adaptiv a robo ilor mobili autonomi*, Universitatea Politehnica Timi oara, Tez de doctorat, 2005
 - [44] U. Nehmzow, *Mobile Robotics: A Practical Introduction*, Springer Verlag 2000, ISBN 1-85233-173-9, 2000
 - [45] Y. Zhang, P. Sen and G. E. Hearn, *An On-Line Trained Adaptive Neural Controller*, IEEE Control Sytems, Oct., 1995

-
- [46] B. Yamauchi, R. Beer, Spatial Learning for Navigation in Dynamic Environments, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, June, 1996
- [47] D. Gorinevsky, A. Kapitanovsky, A. Goldenberg, Neural Network Architecture for Trajectory Generation and Control of Automated Car Parking IEEE Transactions on Control System Technology, Jan., 1996
- [48] A. Carullo, F. Ferraris, S. Graziani, U. Grimaldi and M. Parvis, Ultrasonic Distance Sensor Using a Two-Level Neural Network, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Apr., 1996
- [49] R. Spence, S. Hutchinson, An Integrated Architecture for Robot Motion Planning and Control in the Presence of Obstacle with Unknown Trajectories, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Jan., 1995
- [50] U. Nehmzow, T. Smithers, Map Building Using Self-Organizing Networks in „Really Useful Robots“
- [51] S. G. Tzafestas, K. C. Zikidis, A Mobile Robot Guidance System Based on Three Neural Network Modules, Intelligent Automation and Active Systems, International Conference on Advance Robotics, Vienna, Sept., 1996
- [52] E. Sacks, Path planning for planar articulated robots using configuration spaces and compliant motion, IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol. 19, No. 3, pp. 381–390, 2003
- [53] J. Borenstein, Y. Koren, The Vector Field Histogram - Fast Obstacle Avoidance for Mobile Robots, IEEE Transaction of Robotics and Automation Vol. 7, No. 3, pp. 278-288, June, 1991
- [54] Z. Liu, M. H. Ang Jr., W. K. G. Seah, A Potential field based Approaches for Multi-Robot Tracking of Multiple Moving Targets, The First Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control Environment and Management (HNICEM) International Conference, March 27-30, Manila, Philippines, 2003
- [55] H. Choset, J. Burdick, Sensor-Based Exploration: The Hierarchical Generalized Voronoi Graph, The International Journal of Robotics Research Vol. 19, No. 2, pp. 96-125, February, 2000
- [56] W. L. Roque, D. Doering, Constructing Approximate Voronoi Diagrams from Digital Images of Generalized Polygons and Circular Objects, Proceedings of WSCG'2003, Febr. 3-7, Plzen, Czech Republic, 2003
- [57] A. G. Lamperski, Owen Y. Loh, Brett L. Kutscher, Noah J. Cowan, Dynamical Wall-Following for a Wheeled Robot using a Pasive Tactile Sensors, John Hopkins University, Baltimore, 2004
- [58] P. van Turenout, G. Honderd, L. J. van Schelven, Wall-following control of a Mobile Robot, IEEE, International Conference on Robotics and Automation, pp. 280-285, May, 1992
- [59] L.O. Chua, L. Yang, Cellular Neural Networks: Theory and Applications, IEEE Trans. on Circuits and Systems Vol.35, pp. 1257-1290, 1988.
- [60] T. Roska, L. O. Chua, The CNN universal machine: an analogic array computer, IEEE Trans. on Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing, Vol. 40, pp. 163-173, 1993.

-
- [61] A. Gacsádi, V. Tîponu , Re ele neuronale celulare. Aplica ii, Editura Universitatii din Oradea, 189 pag., 2002.
- [62] V. Tîponu , I. Gavrîlu , A. Gacsádi, Robo i mobili autonomi - Conducere cu re ele neuronale artificiale, Editura Politehnica din Timi oara, 286 pag., 2010.
- [63] *** Software Library for Cellular Wave Computing Engines in an era of kilo-processor chips, Version 3.1, Cellular Sensory and Wave Computing Laboratory of the Computer and Automation Research Inst., Hungarian Academy of Sciences and the Jedlik Laboratories of the Pázmány P. Catholic University Budapest, 2010.
- [64] *** "CadetwWin-99, Extended analogic macro code (AMC) and interpreter", Reference Manual, Version 3.0, Analogical and Neural Computing Laboratory, Computer and Automation Institute, Hungarian Academy of Sciences, Budapest, 1999.
- [65] *** "CadetWin-99, CNN application development environment and toolkit under Windows" Version 3.0, Analogical and Neural Computing Laboratory, Computer and Automation Institute, Hungarian Academy of Science, Budapest, 1999.
- [66] C. Rekeczky, MATCNN - Analogic Simulation Toolbox for Matlab, Version 1.0, Analogical and Neural Computing Laboratory, Computer and Automation Institute of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest, 1997.
- [67] G. L. Cembrano, A. Rodríguez-Vázquez, S. Espejo-Meana, R. Domínguez-Castro, ACE16k: A 128x128 Focal Plane Analog Processor with Digital I/O, Intern. Journal Neural Systems, 13(6), pp. 427-434, 2003.
- [68] Z. Nagy, Zs. Vörösházi, P. Szolgay, Emulated Digital CNN-UM Solution of Partial Diferential Equations, Intern. Journal of Circuit Theory and Applications Vol. 34, Issue 4, pp. 445-470, 2006.
- [69] ***, "Bi-i V301F-Vision System", InstantVision Integrated Software Environment, Version 3.1, User's Manual, AnaLogic Computers Ltd., 2007.
- [70] ***, Matlab Tools and Development Environment.
- [71] Ben J. A. Krose, Kai M. Compagner, Franciscus C. A. Groen, Accurate estimation of environment parameters from ultrasonic data, Robotics and Autonomous Systems, Vol. 11, No. 3-4, pp. 221-230, Dec., 1993.
- [72] R. Clark, A. El-Osery, K. Wedeward and S. Bruder, A Navigation and Obstacle Avoidance Algorithm for Mobile Robots Operating in Unknown, Maze-Type Environments, Proc. International Test and Evaluation Association Workshop on Modeling and Simulation, Las Cruces, NM, December 2004
- [73] K. H. Kim, H. D. Choi, S. Yoon, K. W. Lee, H. S. Ryu, C. K. Woo, and Y. K. Kwak, Development of Docking System for Mobile Robots Using Cheap Infrared Sensors, 1st International Conference on Sensing Technology, Palmerston North, New Zealand, November 21-23, 2005
- [74] I. Gavrîlu , V. Tîponu , O. Neam u, L. **Tepelea**, A. Gacsádi, Path Planning Methods for Mobile Robot by Using Cellular Neural Networks, Proceedings of the International Conference on Renewable Sources and Environmental Electro-Technologies (RSEE'206), ISN 1454-9239, pp. 39-42, Analele Universit i din Oradea, Fascicula Electrotehnic , Sec iunea Electronic ,

- Oradea, Romania, 2006
- [75] I. Gavriliu , A. Gacsádi, L. epelea, V. Tiponu , Motion planning for two mobile robots in an environment with obstacles by using cellular neural networks, Proceedings of the The 7-th International Symposium on Signals, Circuits and Systems, (ISSCS 2005) pp. 801-804, Ia i, 2005
 - [76] I. Gavriliu , V. Tiponu , A. Gacsádi, L. epelea, Wall-following Method for an Autonomous Mobile Robot using Two IR Sensors, New Aspects of Systems, Proc. WSEAS Intern. Conf. on SYSTEMS, pp.205-209 ISSN 1790-2769, Heraklion, Crete Island, Greece, 2008
 - [77] I. Gavriliu , L. epelea, A. Gacsádi, CNN Processing Techniques for Image-Based Path Planning of a Mobile Robot, Proceedings of the WSEAS International Conference on Systems, Recent Researches in System Science, ISSN: 1792-4235, ISBN: 978-1-61804-023-7, pp.259-263, July 14-16, Corfu Island, Greece, 2011
 - [78] I. Gavriliu , V. Tiponu , A. Gacsádi, L. epelea, Mobile robot control by using CNN processing - An experiment, Intern. Conf. on Engineering of Modern Electric Systems (EMES' 2007), ISSN 1454-9239, pp. 36-39, Oradea, Romania, 2007
 - [79] <http://www.isr.ist.utl.pt/~alex/Resources/vfm/>
 - [80] A. Soinio, A Lego-robot with camera controlled by Matlab, LEGO Group Company, <http://www.abo.fi/fak/tkf/rt/robot>, 2003
 - [81] Steven D. Kaehler, SRS Secretary/Meeting Organizer, Centralia Community College, December 20, 2008
 - [82] J. Borenstein, H. R. Everett, and L. Feng, „Where am i?”. Sensors and Methods for Mobile Robot Positioning, The University of Michigan for the Oak Ridge National Lab D&D Program and for the United States Department of Energy, april 1996
 - [83] Stan Gibilisco, Concise Encyclopedia of Robotics, published by McGraw-Hill, 0-07-141010-4, 2003
 - [84] Penelope Probert Smith, Active sensors for local planning in mobile robotics, published by World Scientific, World Scientific Series in Robotics and Intelligent Systems - Volume 26, ISBN 981-02-4681-1, 2001
 - [85] Bruno Siciliano, Oussama Khatib (Eds.), Handbook of Robotics, Springer, ISBN: 978-3-540-23957-4, 2008
 - [86] http://www.elecfreaks.com/store/download/product/Sensor/HC-SR04/HC-SR04_Ultrasonic_Module_User_Guide.pdf
 - [87] Shoal, S., Ulrich, I., and Borenstein, J., Computerized Obstacle Avoidance Systems for the Blind and Visually Impaired, invited chapter in "Intelligent Systems and Technologies in Rehabilitation Engineering." Editors: Teodorescu, H.N.L. and Jain, L.C., CRC Press, ISBN/ISSN: 0849301408, Publication Date: 12/26/2000, pp. 414-448, 2000
 - [88] Shuzhi Sam Ge, Frank L. Lewis, Autonomous Mobile Robots. Sensing, Control, Decision, Making and Applications, Published in 2006 by CRC Press, Taylor & Francis Group, International Standard Book Number-13: 978-0-8493-3748-2 (Hardcover),
 - [89] 2006Pavel Ripka, Alois Tipek, Modern sensors handbook, ISTE Ltd, ISBN 978-1-905209-66-8, 2007

-
- [90] Ron M. Willis, Dalton Ramey, Development of a Handheld Navigational Aid for the Visually Impaired, Team Project, Department of Applied Science University of Arkansas at Little Rock
- [91] R. Bostelman, P. Russo, J. Albus, T. Hong, and R. Madhavan, Applications of a 3D Range Camera Towards Healthcare Mobility Aids, International Conference on Networking, Sensing and Control, Ft. Lauderdale, FL, April 23-25, 2006
- [92] Roland Siegwart, Illah R. Nourbakhsh, Introduction to Autonomous Mobile Robots, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, ISBN 0-262-19502-X, 2004
- [93] ***, Smart Sensors and Applications, Student guide, Parallax Inc., ISBN 1-928982-39-5
- [94] Naoyuki Kubota, Kenichiro Nishida, Cooperative Perceptual Systems for Partner Robots Based on Sensor Network, IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, VOL.6 No.11, November 2006
- [95] Francesco Bellotti, Ricardo Berta, Alessandro De Gloria, Massimiliano Margarone, Guiding Visually Impaired people in the exhibition, Department of Biophysical and Electronic Engineering, University of Genoa, Italy
- [96] Vladimir Kulyukin, Chaitanya Gharpure, Nathan De Graw, Human – Robot Interaction in a Robotic Guide for the Visually Impaired, Computer Science Department, Utah State University, American Association for Artificial Intelligence, 2004
- [97] Shih-Schön Lin, Ruzena Bajcsy, High Resolution Catadioptric Omni-Directional Stereo Sensor for Robot Vision, Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Robotics & Automation, Taipei, Taiwan, September 14-19, pp. 1694 – 1699, 2003
- [98] Gian Luca Mariottini, Domenico Prattichizzo, and Andrea Cerbella, Image-Based Visual Servoing for Mobile Robots with Catadioptric Camera, H.I. Christensen (Ed.): European Robotics Symposium 2006, STAR 22, pp. 159–170, 2006
- [99] G. Balakrishnan, G. Sainarayanan, R. Nagarajan and Sazali Yaacob, Wearable Real-Time Stereo Vision for the Visually Impaired, research from Ministry of Science, Technology and Innovation, Malaysia, University Malaysia, Sabah, under IRPA code: 03-02-10-0043/EA0041, 2007
- [100] Sylvie Treuillet, Eric Royer, Thierry Chateau, Michel Dhome, Jean-Marc Lavest, Body mounted vision system for visually impaired outdoor and indoor wayfinding assistance, Conference & Workshop on Assistive Technologies for People with Vision & Hearing Impairments, Assistive Technology for All Ages, CVHI 2007
- [101] Volodymyr Ivanchenko, James Coughlan, William Gerrey and Huiying Shen, Computer Vision-Based Clear Path Guidance for Blind Wheelchair Users, ASSETS'08, Halifax, Nova Scotia, Canada, October 13–15, 2008
- [102] Loren Schwiebert, Sandeep K. S. Gupta, Pepe Siy Gregory Auner, Gary Abrams, Ray Iezzi, Pat McAllister, A Biomedical Smart Sensor for the Visually Impaired, National Science Foundation Grants DGE-9870720
- [103] Kirsten Rassmus-Gröhn, User-Centered Design of Non-Visual Audio-Haptics, Doctoral Thesis, Certec, Rehabilitation Engineering Research, Department of Design Sciences, Faculty of Engineering, Lund University,

- ISBN 978-91-976894-5-8, 2008
- [104] Fabio P. Freeland , Luiz Wagner P. Biscainho, Paulo Sergio R. Diniz, Efficient HRTF interpolation in 3d moving sound, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil
 - [105] C. Phillip Brown, Richard O. Duda, A Structural Model for Binaural Sound Synthesis, Fellow, IEEE Transactions On Speech and Audio Processing, Vol. 6, No. 5, September 1998
 - [106] C. Jin, T. Tan, A. Kan, D. Lin, A. van Schaik, K. Smith, M. McGinity, Real-time, Head-tracked 3D Audio with Unlimited Simultaneous Sounds, Proceedings of ICAD 05-Eleventh Meeting of the International Conference on Auditory Display, Limerick, Ireland, July 6-9, 2005
 - [107] David A. Burgess, Real-Time Audio Spatialization with Inexpensive Hardware, Graphics Visualization and Usability Center - Multimedia Group, Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia
 - [108] William G. Gardner, Ph.D., 3D Audio and Acoustic Environment Modeling, Wave Arts, Inc., Arlington, March 15, 1999
 - [109] Vikas C. Raykar , Ramani Duraiswami, Larry Davis, B. Yegnanarayana, Extracting significant features from the HRTF, Proceedings of the 2003 International Conference on Auditory Display, Boston, MA, USA, July 6-9, 2003
 - [110] Alastair Sibbald, Virtual audio for headphones, Sensaura Ltd., 2000
 - [111] Kaibo Liu, Syed Hassan, Matlab Implementation of 3D Synthetic Environment, Electrical and Computer Engineering Computer Lab
 - [112] Bill Kapralos, Auditory Perception and Virtual Environments, Ph.D. Qualification Exam Document, Department of Computer Science, York University, North York, Ontario, Canada, January 29, 2003
 - [113] L. epelea, V. Tiponu , A HRTF Interface for Visually Impaired People, Sesiunea Doctor ETC 2007, Buletinul tiin ific al Universit ii "Politehnica" din Timi oara, Seria ELECTRONIC i TELECOMUNICA II, TRANSACTIONS on ELECTRONICS and COMMUNICATIONS, Tom 52(66), Fascicola 2, pp. 26-29, 2007
 - [114] Martin Talbot, Bill Cowan, Trajectory capture in frontal plane geometry for visually impaired, Proceedings of the 12 th International Conference on Auditory Display, London, UK, pp. 16-23, June, 20-23, 2006
 - [115] Niklas Röber, Interaction with sound – Explorations beyond the frontiers of 3D virtual auditory environments, Phd dissertation, Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, September 16, 2008
 - [116] Corey I. Cheng, Visualization, measurement, and interpolation of head-related transfer functions (hrtf's) with applications in electro-acoustic music, Phd dissertation, The University of Michigan, 2001
 - [117] Martin Tomitsch, Richard Schögl, Thomas Grechenig, Christoph Wimmer, Thomas Költringer, Accessible Real-World Tagging through Audio-Tactile Location Markers, NordiCHI 2008: Using Bridges, 18-22 October, Lund, Sweden, 2008
 - [118] Bruce N. Walker, Jeffrey Lindsay, Navigation Performance With a Virtual Auditory Display: Effects of Beacon Sound, Capture Radius, and Practice, HUMAN FACTORS, Vol. 48, No. 2, Summer 2006, pp. 265–278, 2006

-
- [119] J. H. Sánchez, C. A. Oyarzún, Mobile audio assistance in bus transportation for the blind, Proc. 7th ICDVRAT with ArtAbilitation, Maia, Portugal, pp. 279-286, 2008
- [120] Nuria Ortigosa Araque, Larisa Dunai, Francesco Rossetti and team, Sound Map Generation for a Prototype Blind Mobility System Using Multiple Sensors, Service Robotics & Smart Homes: How a gracefully adaptive integration of both environments can be envisaged ?, Bilbao, Spain, December 11, 2008
- [121] T. Roska, D. Balya, A. Lazar, K. Karacs, and R. Wagner, System aspects of a bionic eyeglass, Proc. IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS'06), pp. 161-164, 2006.
- [122] K. Karacs, A. Lazar, R. Wagner, B. Balint, T. Roska, M. Szuhaj, Bionic eyeglass: The first prototype A personal navigation device for visually impaired - A review, Intern. Symposium on Applied Sciences on Biomedical and Communication Technologies, ISABEL '08, pp. 1-5, 2008.
- [123] V. Tiponu , A. Gacsádi, L. **Tepelea**, C. Lar, I. Gavrilu , Integrated Environment for Assisted Movement of Visually Impaired, Proc. Intern. Workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region, (RAAD 2006), Balatonfüred, pp. 234-239, Hungary, 2006.
- [124] V. Tiponu , S. Ionel, C. C Ileanu, I. Lie, Improved Version of an Integrated Environment for Assisted Movement of Visually Impaired, Proc. WSEAS Intern. Conf. on Systems, pp. 87-91, Crete, Greece, 2007.
- [125] V. Tiponu , D. Ianchis, Z. Haraszy, Assisted Movement of Visually Impaired in Outdoor Environments, Proc. WSEAS Intern. Conf on SYSTEMS, pp.386-391, 2009.
- [126] B. Jähne, Digital image processing, Heidelberg, Springer-Verlag, Berlin, 2002.
- [127] R. C. Gonzalez, R. E. Woods and S. L. Eddins. Digital Image Processing using MATLAB, Pearson Education, 2004.
- [128] D. L. Pham, C. Xu, J. L. Prince, A Survey of Current Methods in Medical Image Segmentation, Annual Review of Biomedical Engineering, Vol. 2, pp.315-338, 2000.
- [129] D. Hillier, V. Binzberger, D. L. Vilariño, Cs. Rekeczky, Topographic cellular active contour techniques: theory, implementations and comparisons, Int. Journal of Circuit Theory and Applications, Vol. 34 Issue 2, pp.183-216, 2006.
- [130] Cs. Rekeczky, CNN Architectures for Constrained Diffusion Based Locally Adaptive Image Processing: Research Articles, Intern. Journal of Circuit Theory and Applications Vol.30, pp.313-348, 2002.
- [131] Gavrilu , A. Gacsádi, C. Grava, O. Straciuc, L. **Tepelea**, Analysis methods of noise extraction from CT images, Journal of Electrical and Electronics Engineering, Vol.2, No.2, pp.146-149, 2009, University of Oradea Publisher, ISSN 1844-6035.
- [132] L. **Tepelea**, I. Gavrilu , A. Gacsádi, Edge Based CNN Image Segmentation Methods for Medical Imaging, Journal of Computer Science and Control Systems, Vol. 3, Nr. 2, 2010, University of Oradea Publisher, pp.95-98, ISSN 1844-6043, 2010.

-
- [133] A. Gacsádi, L. epelea, I. Gavrilu , O. Straciuc, Energy Based Medical Imaging Segmentation Methods by using Cellular Neural Networks, Proceedings of the WSEAS International Conference on Systems, Recent Researches in System Science, pp.109-195, Corfu Island, Greece, 2011.
- [134] I. Szatmári, C. Rekeczky, T. Roska, A nonlinear wave metric and its CNN implementation for object classification, Journal of VLSI Signal Processing, 23, pp.437-447, 1999.
- [135] A. Horvath, D. Hillier, Topographic metrics for image segmentation, 12th International Workshop on Cellular Nanoscale Networks and their Applications (CNNA), 2010.
- [136] I. Gavrilu , L. epelea, A. Gacsádi, A CNN Based Nonlinear Wave Metric for CT Images, Journal of Electrical and Electronics Engineering, Vol.4, No.2, 2011, University of Oradea Publisher, pp.29-32, ISSN 1844-6035, 2011.
- [137] Z. Kincses, L.Orzó, Z. Nagy, G. Mez and P. Szolgay, High-Speed, SAD Based Wavefront Sensor Architecture Implementation on FPGA, Journal of Signal Processing Systems, Springer, New York, 06 May, 2010.
- [138] L. epelea, A. Gacsádi, I. Gavrilu , V. Tiponu , A CNN Based Correlation Algorithm to Assist Visually Impaired Persons, IEEE Proceedings of the International Symposium on Signals Circuits and Systems (ISSCS 2011), pp.169-172, June 30 2011-July 1 2011, Iasi, Romania, ISBN 978-1-4577-0201-3, Digital Object Identifier: 10.1109/ISSCS.2011.5978686, 2011.
- [139] L. epelea, I. Gavrilu , A. Gacsádi, A CNN Based Algorithm for Medical Images Correlation, Journal of Computer Science and Control Systems, Vol. 4, Nr. 2, 2011, University of Oradea Publisher, pp.69-72, ISSN 1844-6043, 2011.
- [140] A. Gacsádi, P. Szolgay, Interpolation of 2D signals using CNN, Proc. of the European Conference on Circuit Theory and Design, pp. I 349-352, Espoo, 2001.
- [141] Z. Kincses, Zs. Vörösházi, Z. Nagy, P. Szolgay, T. Laviniu, A. Gacsádi, Investigation of area and speed trade-offs in FPGA implementation of an image correlation algorithm, Proc. Intern.Workshop on Cellular Nanoscale Networks and their Applications, Turin, Italy, 2012.
- [142] D. G. Bailey, Design for Embedded Image Processing on FPGAs, Wiley-IEEE Press, 2011.
- [143] L. Almudena, E. Luis, High performance FPGA-based image correlation, Journal Real-Time Image Proc., Vol. 2, Special Issue, pp. 223-233, Springer, 2007.
- [144] ***, Xilinx Inc [Webpage], 2012: www.xilinx.com.
- [145] L. epelea, I. Gavrilu , V. Tiponu , P. Szolgay, Al. Gacsádi, OCR application on smartphone for visually impaired people, Journal of Electrical and Electronics Engineering, Vol. 7, Issue 1, pp. 153-156, Oradea, May 2014
- [146] L. epelea, V. Tiponu , P. Szolgay, Al. Gacsádi, Multicore Portable System for Assisting Visually Impaired People, 14th Intern. Workshop on Cellular Nanoscale Networks and their Applications, University of Notre Dame, USA, July 29-31, 2014.