

**UNIVERSITATEA POLITEHNICA TIMIȘOARA
FACULTATEA DE ELECTRONICĂ ȘI TELECOMUNICAȚII
DEPARTAMENTUL DE ELECTRONICĂ APLICATĂ**

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

TEZĂ DE DOCTORAT

**Conducător științific:
Prof. Dr. Ing. VIRGIL TIPONUȚ**

**Doctorand:
Ing. LAVINIU ȚEPELEA**

2014

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 șansa 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 Tiponuț, conducătorul științific, pentru sprijinul deplin acordat pe parcursul elaborării tezei. Cunoștințele și experiența domniei sale, împărtășite 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

Țepelea Laviniu

REZUMATUL TEZEI

Persoanele cu deficiențe de vedere se constituie într-o categorie importantă în cadrul populației globului. 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 bruscă în timp ce pentru alții poate fi gradată.

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 șomajului în rândul acestor persoane (74%).

Pe parcursul timpului s-au încercat diverse metode de ajutorare a acestor persoane, 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. 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 disponibili la un preț tot mai scăzut.

Un capitol special în acest domeniu îl reprezintă sistemele robotice care asistă în deplasare persoanele cu deficiențe de vedere. Aceste sisteme robotice „beneficiază” tocmai de un mediu de desfășurare similar cu cel al roboților de 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, gările, aeroporturile, etc.

Pentru planificarea traiectoriei optime, se pot utiliza cu succes rețelele neuronale celulare. Utilizarea CNN aduce avantajul unui timp scurt de procesare. Algoritmii propuși în această lucrare folosesc procesări 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 real o constituie gradul 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 procesări 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 țintă. Pentru determinarea distanțelor dintre obiectele din mediu, se folosește ținta 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 propus, PATH, pentru determinarea traiectoriei, reduce mult timpul de procesare față de cazul utilizării unui alt template, 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 posibilă 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 domeniul roboților mobili se utilizează multe tipuri de senzori, însă în prezenta teză se abordează doar modul de utilizare al senzorilor propuși a fi utilizați de către mediul integrat de asistare la care se referă această lucrare.

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 vădește necesitatea utilizării complementare a altor tipuri de senzori.

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 necesară 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. Așadar, 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 fără 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 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 fixată pe spatele telefonului, care va fi ținut în mână de persoana asistată, nu va putea fi folosită 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 urmarea 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 căștilor și s-a ajuns la realizarea unui sistem acustic virtual 3D, în cadrul căruia se generează sunete sau chiar se sintetizează vocea umană spațializat, 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.

O altă modalitate de interfațare 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 înțelegerea acesteia este fără echivoc. Dacă în trecut recunoașterea vorbirii și sinteza vocală nu dădeau 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.

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 văzului, pentru aceste persoane.

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

Includerea unei unități de procesare și analiză a imaginilor în structura unui sistem de asistare a persoanelor cu deficiențe de vedere este absolut necesară, 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, de realizare a unor aplicații în timp real în domeniul prelucrării imaginilor.

În cadrul lucrării 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 artificială.

Pentru creșterea eficienței în detecția contururilor, s-au propus template-uri noi, optimizate pentru segmentare bazată 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 metricei undei neliniare CNN.

Prin implementarea metricei 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 coeficienții 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. În figura 1 pot fi observate unele rezultate ale testării algoritmului CNN de corelație între imagini.

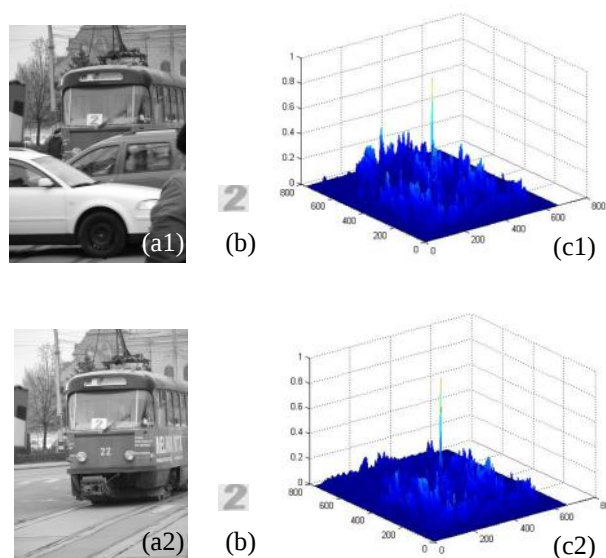


Figura 1: Detecția numărului tramvaiului: (a1, a2) imagine sursă; (b) imagine șablon; (c1,c2) imagine de corelație.

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 și necesitatea ca dimensiunile imaginii șablon să fie puteri ale 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 științifice prezentate aici pot fi utile și în alte aplicații cum ar fi, de exemplu, în sistemele semiautonome de conducere a roboților mobili sau a autovehiculelor.

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, menit să aducă un plus de eficiență în asistare.

Dezvoltarea fără precedent 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, așa cum se poate observa în figura 2, în prezentarea conceptului de mediu integrat de asistare, propus de autor.

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.

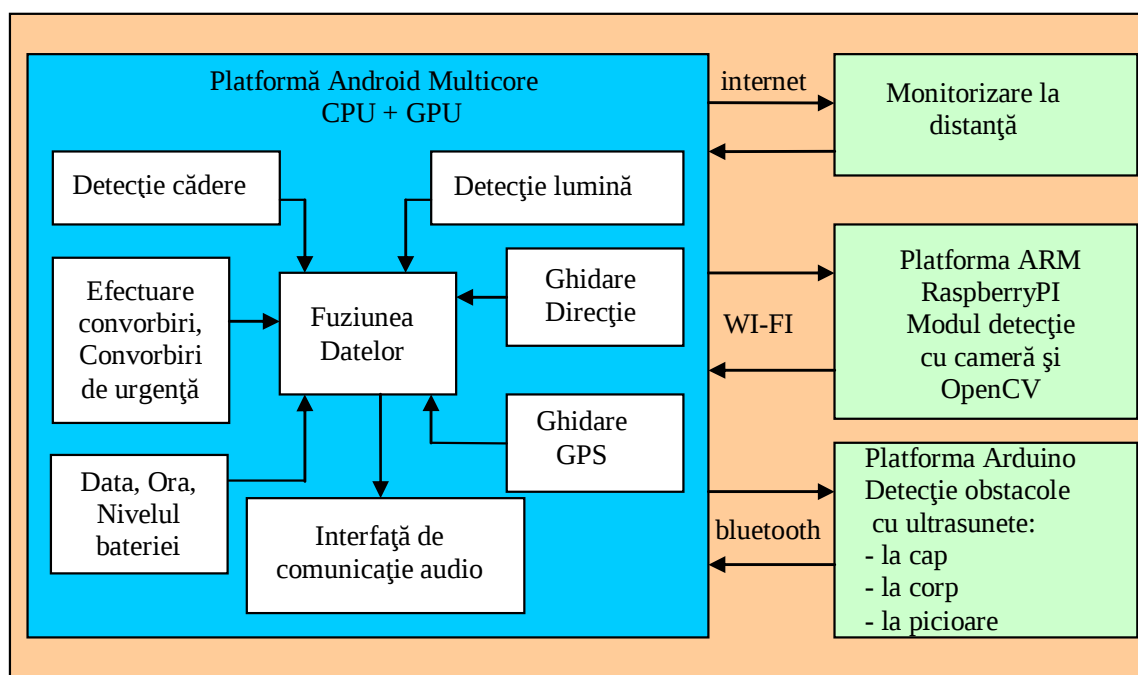


Figura 2: Mediul integrat de asistare propus, bazat pe Android.

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 detecția 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 văzătoare și de aceea a fost considerată improprie 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 permanent, 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 nevăzătoare 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.

O imagine de ansamblu asupra sistemului de asistare, realizat practic, se poate observa în figura 3, iar în figura 4 poate fi observată o imagine preluată în timpul efectuării testelor.



Figura 3: Sistemul de asistare pregătit pentru teste.



Figura 4: Testarea sistemul de asistare.

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 distanței optime de detecție a obstacolelor, atât în interiorul clădirilor, cât și în deplasarea în mediul exterior.

Interfața aplicației de asistare folosită pe telefonul mobil și-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, și-a dovedit pe deplin utilitatea, neexistând erori de comunicare sau înțelegere a informației de către utilizator. 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 comunicație 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 a fi recunoscută vocal de sistem.

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 planificată 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 luată 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 comunicare a 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. Toate aceste considerente au ca și consecință reducerea vitezei de deplasare în timpul asistării.

În interiorul clădirilor, distanța de detecție a obstacolelor se impune a fi mai mică de 1m, pentru a nu suprasolicita atenția persoanei în cauză, în timpul deplasării de-a lungul coridoarelor înguste, prin detectarea deasă a pereților, la devierea cursului de deplasare cu un anumit grad.

Referindu-ne la celelalte activități din cadrul aplicației android, conexe activității de asistare, cum sunt activitățile de comunicare a nivelului de încărcare a bateriei, a orei și a datei, de realizare a unor convorbiri telefonice, utilizarea lor nu a dus la apariția unor erori, ci a dovedit pe deplin utilitatea existenței lor.

Activitatea de recunoaștere optică a caracterelor, utilă pentru citirea unor afișe sau chiar a unor articole din ziar, a dat rezultate bune atât în lumină ambiantă puternică, cât și în lumină mai slabă, ca și în cazul clădirilor, datorită selectării serviciului OCR online de calitate, dar utilizarea acestei funcții, este destinată îndeosebi persoanelor cu deficiențe de vedere care nu sunt total nevăzătoare, pentru faptul că necesită poziționarea telefonului mobil deasupra zonei cu scris, în vederea unei bune focalizări și a unei bune recunoașteri 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.

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 prezentării acestei lucrări se are în vedere îmbunătățirea detecției 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.