



**Universitatea POLITEHNICA din București
FACULTATEA DE INGINERIE MEDICALĂ**



PROIECT DE DIPLOMĂ

**Sistem pentru detecția căderii pentru persoanele
din infrastructuri critice**

Student: Sonia-Cristina CHIRPEREAN

Conducător Științific: S.L. Dr. Ing. Adochiei Felix-Constantin

București

Iulie 2018



CUPRINS

INTRODUCERE.....	3
NOȚIUNI TEORETICE.....	4
STADIUL ACTUAL.....	10
II.1. SISTEME CONTEXTUALE	10
II.2. DISPOZITIVE PURTABILE	13
II.2.1. Sistemul PerFallD	13
II.2.2. Medical Guardian	16
MATERIALE ȘI METODE.....	18
III.1. MATERIALE.....	18
III.1.1. Arduino Nano ATmega328P	18
III.1.2. Modul 6DOF MPU-6050	20
III.1.3. Modulul de transmisie Bluetooth HC-06	22
III.1.4. Modulul GSM.....	23
III.1.5. Sistemul GPS.....	25
III.2. METODE	27
III.2.1. Algoritmul de detecție a căderii	27
REZULTATE.....	30
IV.1. PROIECTAREA DISPOZITIVULUI.....	30
IV.2. REALIZAREA MONTAJULUI.....	32
IV.3. ACHIZIȚIA DATELOR.....	33
IV.4. DEZVOLTAREA APLICAȚIEI ANDROID.....	34
IV.5. INTERPRETAREA REZULTATELOR	37
IV.6. SISTEMUL DE ALERTARE	40
IV.7. EVALUAREA SISTEMULUI.....	45
CONCLUZII	47
BIBLIOGRAFIE	49
ANEXĂ 1	51
ANEXĂ 2	52



INTRODUCERE

Tema aleasă pentru proiectul meu de diplomă se numește “Sistem pentru detecția căderii pentru persoanele din infrastructuri critice”. Motivația alegerii acestei teme este reprezentată de numărul tot mai mare de accidente suferite de persoanele ce lucrează în infrastructuri critice, în special accidentările cauzate de căderi. Există numeroși factori care determină căderea, însă cel mai des întâlnit factor este neatenția și neînțelegerea dintre lucrători, dar și nerespectarea normelor de protecție a muncii.

Semnalarea cât mai rapidă a accidentării, implicit a căderii, este vitală pentru sănătatea pacientului și pentru tratarea corectă și la timp a rănilor provocate. Din acest motiv am ales realizarea unei aplicații Android rapidă și ușor de utilizat. Pentru aceasta, am folosit o placă Arduino, un senzor și un modul Bluetooth și am monitorizat inițial mișcările folosind programul Arduino, iar apoi le-am vizualizat pe prima aplicație Android, dezvoltată folosind mediul de programare MIT App Inventor 2. Ulterior, după ce am ales pragurile, am implementat aplicația de alertare. Pentru evaluarea sistemului, am rugat 3 subiecți să efectueze anumite mișcări pentru a putea aprecia sensibilitatea și specificitatea dispozitivului.

Lucrarea este împărțită în patru mari capitole: noțiuni teoretice, stadiul actual, materiale și metode și rezultate. În noțiuni teoretice am definit căderea și tipurile de căderi, precum și factorii care le cauzează. Produsele și sistemele deja existente pe piață au fost prezentate în capitolul dedicat numit stadiul actual. Componentele folosite (placa Arduino, senzorul, modulul Bluetooth), cât și algoritmul implementat, le-am descris în cel de-al treilea capitol. În ultimul capitol, am descris întreg procesul de dezvoltare a sistemului, acesta incluzând și schema de proiectare, grafice cu înregistrări ale mișcărilor și tabele cu măsurători.



NOȚIUNI TEORETICE

Ce este căderea?

Definiția căderii este cunoscută tuturor, însă este dificilă descrierea acesteia cu precizie și, prin urmare, precizarea mijloacelor de detectare. Poate fi descrisă ca o schimbare rapidă de la poziția verticală / așezată la poziția înclinată sau aproape întinsă, dar nu este o mișcare controlată, cum ar fi, de exemplu, culcușul. În 1987, grupul internațional Kellogg a definit căderea ca fiind "apropierea neintenționată de pământ / podea sau la un nivel inferior, nu ca o consecință a încercării de a face față unei lovituri violente, unei pierderi a conștiinței, unui debut brusc al paraliziei ca și în accidentul vascular cerebral sau a unei crize epileptice" [1]. Această definiție a fost utilizată în numeroase studii de cercetare, deoarece este suficient de generală cât să poată fi extinsă pentru a include căderile care rezultă din amețelă și sincopă, consecințele unei crize epileptice sau ale unei prăbușiri cardiovasculare, cum ar fi hipotensiunea posturală și atacurile ischemice tranzitorii.

Tipuri de căderi

Trebuie luate în considerare diferite scenarii pentru identificarea tipurilor de căderi: căderi din mers sau din șezut, căderi de pe suporturi, căderi în somn sau stând în pat și căderi de pe scaun. Există câteva caracteristici comune între aceste tipuri de căderi, precum și caracteristici semnificative pentru fiecare.

Căderile au modele și caracteristici unice care pot fi exploatate pentru a le detecta și a le prezice. De exemplu, viteza de cădere crește proporțional cu caracteristicile inerțiale ale subiectului. Există, de asemenea, o schimbare a direcției după cădere, precedată de o perioadă de inactivitate a subiectului [2].

Etapele unei căderi

În figura 1.1 sunt captate etapele importante ale unei căderi simulate de pe un scaun. Prima etapă (a) este reprezentată de apariția dezechilibrului care produce căderea / alunecarea de pe scaun. Subiectul va încerca să își atenueze căderea și să se protejeze folosindu-se de

antebraț, prin plasarea acestuia între el și podea (b). Ultima etapă este reprezentată de întinderea subiectului pe podea, din care pot rezulta sau nu anumite traume.



Fig. 1.1. O cădere tipică de pe scaun (secvențe dintr-o cădere simulată)

Căderea la locul de muncă

Există anumite locuri de muncă și industrii care necesită deplasări rapide și / sau periculoase ale angajaților, precum: construcțiile, serviciile de alimentație publică (restaurante), serviciile de sănătate (spitale), întreținerea autostrăzilor, telecomunicații, etc. Conform Biroului de Statistică a Muncii, au loc accidente de tipul alunecărilor, împiedicărilor și căderilor (figura 1.3) în 15% din locurile de muncă [3].

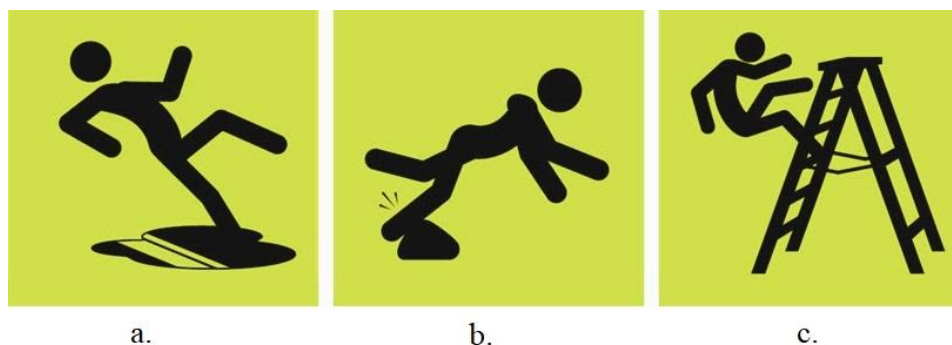


Fig. 1.2. Cele mai des întâlnite accidente la locul de muncă - a. Alunecare b. Împiedicare c. Cădere

Un studiu privind accidentele de muncă realizat de Mazin A. Tuma și colab. în 2013 a arătat că o cauză obișnuită a traumatismului este reprezentată de căderile de la înălțime pe șantierele de construcții, crescând șansele de mortalitate [4].

În Qatar, incidența accidentelor legate de căderea pe șantierul de construcții se apropie de cea a coliziunilor cu autovehicule și este o cauză principală a morții și a tulburărilor de durată în rândul muncitorilor [5].

Un studiu privind accidentele mortale la locul de muncă în Taiwan, desfășurat din 1996 până în 1999, a demonstrat că este cel mai fatal tip de accident la locul de muncă,



cauzând 38,2% leziuni fatale la bărbați și 39,2% dintre decese în rândul femeilor. Rata mortalității pentru bărbați a fost de 2,8 la 100000 de lucrători, iar lucrătorii din construcții au avut cea mai mare incidență de căderi fatale în comparație cu alte industrii [6]. Deși se înregistrează o scădere a numărului de decese din anii precedenți, industria construcțiilor are în continuare mai multe căderi fatale decât orice altă industrie, cu 31% din totalul rănilor fatale [7].

Unele cauze ipotetice ale morbidității și mortalității ridicate din căderi includ:

- lipsa experienței de muncă;
- barierele lingvistice pentru lucrătorii migranți;
- lipsa programelor de pregătire pentru protecția muncii;
- lipsa elementelor de siguranță fizică la șantierele de construcții, cum ar fi balustradele, semnele de avertizare sau echipamentele de siguranță;
- lipsa motivării companiilor pentru îmbunătățirea siguranței la locul de muncă;
- lipsa supravegherii legislative la șantierele de construcții.

În infrastructurile critice, câteva din cele mai des întâlnite tipuri de căderi sunt cele care au loc:

- de pe clădiri în construcții;
- din camioane sau semi-remorci;
- de pe trepte și / sau scări;
- de pe bărci;
- de pe dispozitive de ridicare;
- de pe acoperișuri. [8]

Au existat 29 de decese în grupul de studiu [4] pentru o rată a mortalității de 9,7% (17 decese pre-spitalicești și 12 decese în spitale). Leziunile localizate sunt descrise în figura 1.3. Cele mai frecvente leziuni au fost coloana vertebrală (orice combinație de leziuni ale coloanei vertebrale, toracice și / sau lombare), cap și piept. Durata medie de ședere pentru pacienții admiși la serviciul de traume în timpul perioadei de studiu a fost de $14,4 \pm 2,26$ zile, cu o durată medie de ședere de 8 zile.

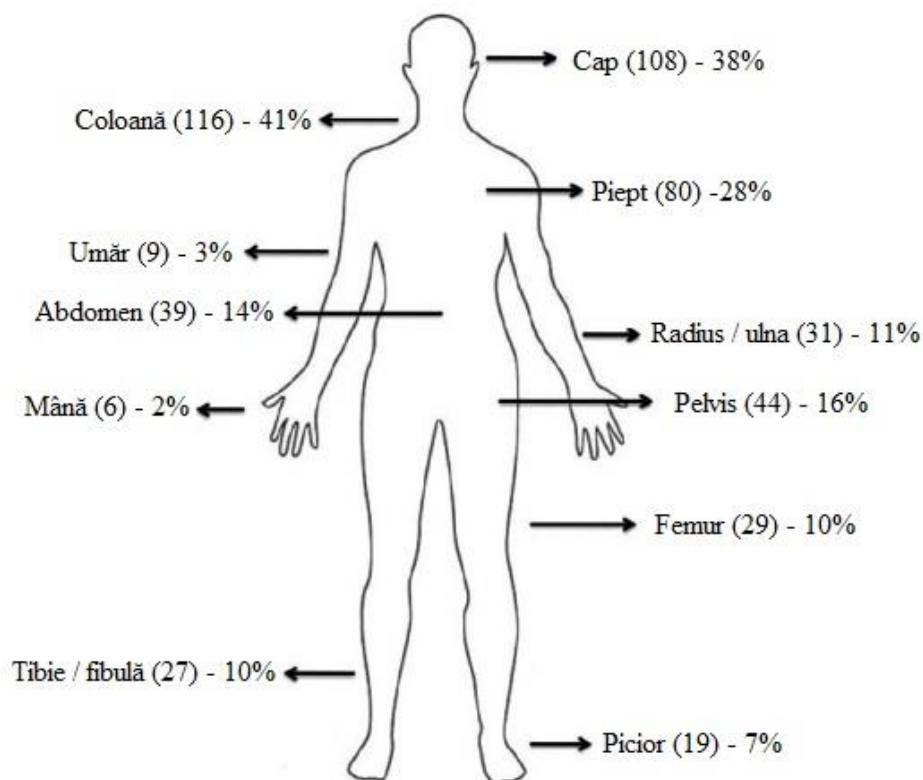


Fig. 1.3. Numărul și procentul accidentărilor în funcție de regiunea corpului

Căderea în rândul persoanelor în vârstă

În afara accidentelor cauzate de cădere în rândul personalului din infrastructurile critice, căderea în rândul persoanelor în vârstă este de asemenea o problemă majoră de sănătate deoarece cauzează numeroase fracturi [9] și are de asemenea consecințe psihologice dramatice care reduc independența persoanei [10-12].

Pe măsură ce oamenii înaintază în vârstă, corpurile lor trec prin mai multe schimbări fizice, făcându-le mai fragile și mai predispuse la căderi. De exemplu, simțul vederii se deteriorează în timp, împiedicând capacitatea oamenilor de a explora mediul înconjurător și de a identifica obstacolele de care se pot împiedica. Pentru a minimiza efectele îmbătrânirii, pe măsură ce fizicitatea umană se descompune, sunt prescrise medicamentele. În mod paradoxal, acestea cresc șansele unei persoane de a cădea, deoarece unele medicamente reduc vigilența psihică [13].

Mediul de viață al unei persoane este plin de potențiale pericole de cădere; tocmai de aceea cele mai multe căderi se petrec acasă. Podelele alunecoase, dezordinea, iluminarea slabă, mobilierul instabil, căile obstrucționate și animalele de companie sunt pericole comune în interiorul unei case [14].

Cauzele care produc căderi (recurente) sunt rezumate în figura 1.4. În general, pentru a se produce căderea sunt combinați doi sau mai mulți factori dintre cei enumerați [15].

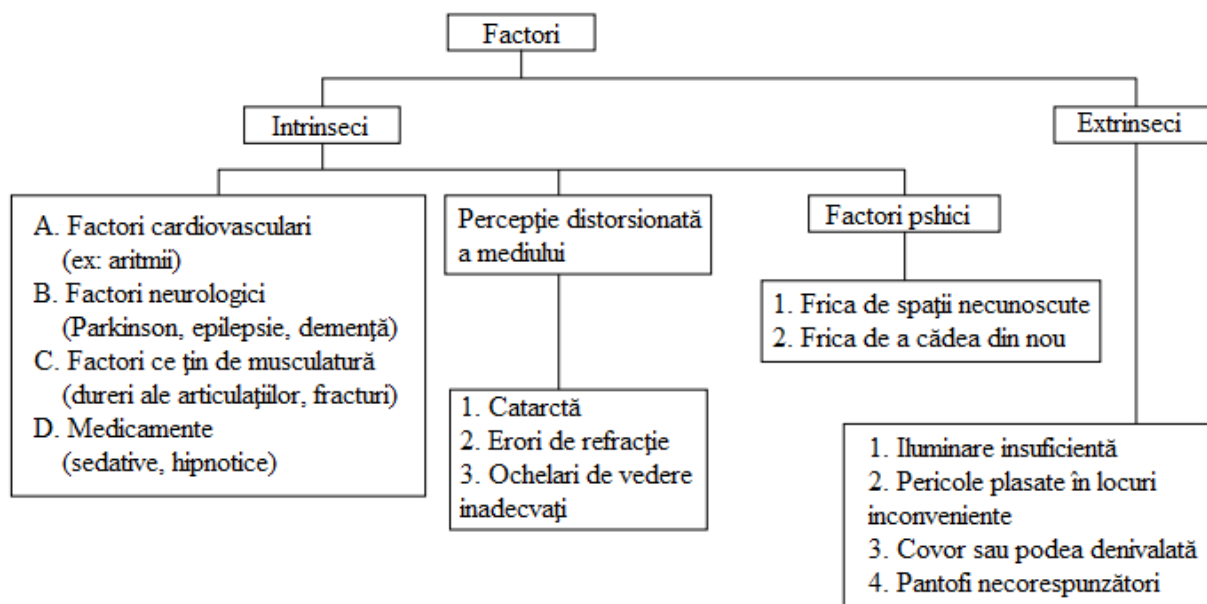


Fig. 1.4. Factori ce pot provoca căderea

Anual, mai mult de 1,6 milioane de adulți din SUA sunt tratați de urgență pentru vătămări / răni cauzate de cădere. Cele mai frecvente consecințe ale acestor leziuni sunt fracturile, pierderea independenței și chiar moartea. Două dintre cele mai frecvente cauze ale căderilor se datorează îmbătrânirii și obstacolelor din mediul de acasă.

Prevenirea căderilor

Pentru a preveni căderile și orice tip de accident de muncă, angajatorii ar trebui să se asigure că există măsuri de siguranță acolo unde există riscul unei căderi. Riscul unei căderi înseamnă o circumstanță la care este expus un lucrător în timpul muncii sau o altă persoană în timpul sau în vecinătatea unei persoane la locul de muncă. Aceasta include circumstanțele în care lucrător sau altă persoană este:

- în sau pe o structură care este la un nivel ridicat;
- în sau pe o instalație care este utilizată pentru a avea acces la o nivel ridicat;
- în apropierea unei deschideri prin care o persoană ar putea cădea;
- în vecinătatea unei margini peste care ar putea cădea o persoană;
- pe sau în vecinătatea unei suprafețe prin care o persoană ar putea cădea;
- pe sau în apropierea unei suprafețe alunecoase, înclinate sau instabile.



Pentru persoanele în vârstă sau care suferă de anumite condiții psihologice, este sugerată efectuarea unei analize aprofundate a casei pentru a identifica posibilele cauze ale căderii. Există câteva ajustări ce pot fi făcute pentru a minimiza riscul căderii, cum ar fi îmbunătățirea iluminării din casă, instalarea barelor de sprijin în cabina de duș sau lângă toaletă și îndepărtarea obiectelor ce obturează căile de acces (pantofi, cărți, haine).

Există și alte modalități de a preveni accidentele legate de cădere, în afară de modificările casei. Motivarea pacienților să facă exerciții fizice, conștientizarea efectelor secundare ale medicamentelor și luarea în considerare a problemelor de vedere sunt metode comune pentru a preveni căderea. Educarea adulților în vederea prevenirii factorilor de risc este esențială pentru a evita o cădere viitoare, deoarece majoritatea consideră căderile parte din procesul de îmbătrânire și cred că nu se poate face nimic în acest sens [16].

Sistemele de detecție a căderii și de prevenire a căderii au fost studiate timp de peste un deceniu, primul dintre acestea fiind cele mai cercetate. Acestea împărtășesc multe lucruri în comun, de exemplu, ambele folosesc elemente sensibile pentru detectarea căderii. În plus, acestea înțeleg datele colectate prin tehnici de viziune pe calculator, tehnici de extragere a datelor și tehnici de învățare automată.

Aceste sisteme trebuie să depășească multe provocări pentru a proiecta și implementa un sistem FD sau FP eficient. Unele dintre problemele cu care se confruntă sunt următoarele: obtrusivitatea, ocluzia, mai mulți oameni în scenă (sistemul bazat pe cameră), îmbătrânirea (caracteristicile cinematice se schimbă în timp), confidențialitatea, costul, zgomotul [17-19].

Sistemele de detectare și prevenire a căderilor au fost proiectate utilizând senzori externi sau senzori purtabili. Senzorii externi se află în imediata vecinătate a subiectului de interes, iar senzorii purtabili sunt atașați subiectului de interes [20]. Au existat și alte abordări care utilizează o combinație a ambelor tipuri de senzori, cunoscute ca sisteme hibride.

S-a remarcat că semnalarea cât mai rapidă a căderii scade riscul de mortalitate [21, 22].



STADIUL ACTUAL

Literatura revizuită dă dovadă de lipsa unei abordări comune. Noury și colab. [23] clasifică diferitele studii privind detectarea căderii în funcție de faptul dacă se concentrează doar pe detectarea șocului de impact sau includ, de asemenea, detectarea fazei de după cădere. Mubashir și colab. [24] au împărțit detectoarele de cădere în trei categorii: dispozitive purtabil, bazate pe senzori de ambianță și bazate pe cameră (viziune). Perry și colab. [25] le grupează în trei categorii: metode care măsoară accelerația, metode care măsoară accelerația combinată cu alte metode și metode care nu măsoară accelerația.

Sistemele pentru detecția căderii pot fi în mare parte clasificate în două tipuri: sisteme contextuale și dispozitive care pot fi purtate. Secțiunile următoare investighează unele dintre cele mai relevante studii din ambele grupuri.

II.1. SISTEME CONTEXTUALE

Aceste sisteme utilizează senzori implementați în mediul înconjurător pentru a detecta căderile. Principalul lor avantaj este că persoana nu trebuie să poarte asupra sa niciun dispozitiv special. Cu toate acestea, funcționarea acestora este limitată la acele locuri în care senzorii au fost instalați [26].

Dintre toate tipurile de senzori posibile, cele mai frecvente sunt camerele, senzorii de podea, senzorii infraroșu, microfoanele și senzorii de presiune. Sistemele bazate pe sisteme video pot fi considerate ca o subcategorie în acest grup deoarece folosesc tehnici de vizibilitate pe calculator care diferă de celelalte metode de detectare.

Tabelul 2.1 compară unele dintre cele mai recente lucrări din acest domeniu. Pentru comparație, s-a folosit un set de 7 elemente: anul publicării acestora, o scurtă descriere a tehnicii de detectare a căderii, caracteristicile extrase pentru a efectua detectarea căderii, tipurile de cădere considerate în studiu, performanța sistemului testat, tipul de senzor utilizat și câteva comentarii finale cu privire la eventualele avantaje sau dezavantaje.

Tabelul 2.1. Compararea sistemelor contextuale

Articol An	Principiu	Caracteristici utilizate	Tipuri de căderi	Performanță	Tipul de senzor	Comentarii
Zhang și colab. 2012	Detectarea automată a căderii păstrând confidența litatea	Deformația și înălțimea subiectului	Cădere de pe scaun, cădere din picioare	Acuratețe 94%	Camere RGBD	Sistemul poate gestiona cazuri speciale cum ar fi oprirea luminii (iluminare insuficientă)
Mastorakis și colab. 2012	Detectarea căderii în timp real bazat pe senzorul Kinect	Lățimea, înălțimea și grosimea posturii umane, care definesc o suprafață de separare 3D	Căderi în față, în spate sau laterale	Toate căderile au fost detectate cu exactitate	Infraroșu	Nu necesită cunoaștere prealabilă a scenei, ci doar trei parametri: lățimea, înălțimea și grosimea subiectului
Li și colab. 2011	Sistem acustic de detectare a căderii	Semnale acustice eșantionate la 20 KHz	Căderi în față, în spate sau laterale	Senzitivitate 100% Specificitate 97%	Microfoane	Se află sursa sunetului. Performanța detectorului acustic este evaluată utilizând sunete de cădere simulate și sunete normale
Rougier și colab. 2011	Sistem bazat pe analizarea deformării corpului uman	Câteva puncte de margine ale siluetei subiectului	Căderi cauzate de așezarea incorectă sau de pierderea echilibrului	Acuratețe 98%	Camera	Este crucială cunoașterea evenimentelor ce au loc după cădere (dacă există sau nu mișcare)
Diraco și colab. 2010	Sistem de detectare a căderii pentru îngrijirea la domiciliu a bătrânilor	Silueta persoanelor și centrul de greutate	Căderi în față, în spate sau laterale	Senzitivitate 80% Specificitate 97.3%	Camera	Informația despre poziția 3D a subiectului este combinată cu detectia inactivității acestuia



În funcție de tipul de senzor utilizat, există o variabilitate ridicată în tehnicile de detectare. La baza tuturor metodelor stau o serie de caracteristici, de exemplu, raportul dintre înălțimea și greutatea oamenilor [27], punctele de contur din silueta unei persoane, schimbările de iluminare [28], lățimea, înălțimea și grosimea posturii umane [29], culoarea pielii pentru a detecta oamenii [30] etc. Aceste caracteristici sunt comparate și clasificate astfel încât să distingă activitățile normale de căderi reale folosind diferite tehnici.



II.2. DISPOZITIVE PURTABILE

Acestea pot fi definite ca dispozitive miniaturale electronice pe bază de senzori ce pot fi purtate sub, cu sau peste îmbrăcăminte. Majoritatea detectorilor portabili de cădere sunt dispozitivele pe bază de accelerometru. Unele dintre ele includ și alte senzori, cum ar fi giroscopae, pentru a obține informații despre poziția pacientului. S-a explorat în mod activ utilizarea aplicațiilor bazate pe accelerometre și giroscopae în evaluarea mișcării și echilibrului, în evaluarea riscului de cădere și pentru monitorizarea mobilității [31]. Această tendință a crescut în ultimii ani datorită disponibilității unor senzori ieftini încorporați în smartphone-uri.

Acestea se clasifică la rândul lor în smartphone-uri care integrează accelerometre și dispozitive care se atașează corpului.

II.2.1. Sistemul PerFallD

PerFallD este un sistem universal de detectare a căderii, adaptat pentru telefoanele mobile. Sunt utilizate telefoanele mobile, întrucât acestea combină în mod firesc componentele de detectare cu cele de comunicare. Sistemul de detectare a căderilor pe bază de telefon mobil poate funcționa aproape oriunde, deoarece telefoanele mobile sunt cât se poate de portabile, toate componentele necesare sunt deja integrate în acestea, iar serviciile de comunicații au o acoperire vastă. Cerința minimă pentru o astfel de platformă de telefonie mobilă este prezența unui senzor simplu, de exemplu un accelerometru. În prezent, multe telefoane, în special smartphone-uri, conțin mai multe tipuri de senzori, inclusiv accelerometre.

Derularea operațiunilor sistemului PerFallD este ilustrată în figura 2.1. Imediat după începerea programului, este încărcat profilul utilizatorului, care conține configurații de bază pentru detectarea căderii (frecvența de eșantionare, algoritmul implicit de detectare, lista cu persoanele de contact în caz de urgență, etc). După ajustarea frecvenței de eșantionare, este lansat programul principal, care funcționează ca un *daemon*¹. Dacă informația colectată în timp real satisface o anumită condiție, începe procesul de stabilire dacă a avut loc sau nu o cădere. În cazul în care nu este detectată nicio cădere, execuția se întoarce la *daemon*. Dacă a

¹ *Daemon* este un tip de program care rulează în mod discret în fundal, mai degrabă decât sub controlul direct al unui utilizator, așteptând să fie activat de apariția unui anumit eveniment sau condiție [32]

"<http://www.linfo.org/daemon.html>."

fost detectată o cădere, programul daemon transmite un semnal care declanșează o alarmă și pornește un cronometru. Dacă utilizatorul nu oprește manual alarma într-o anumită perioadă de timp, sistemul apelează automat contactele salvate în lista de urgență în ordinea priorității. Telefonul va apela și va trimite mesaje în mod repetat până la cinci persoane.

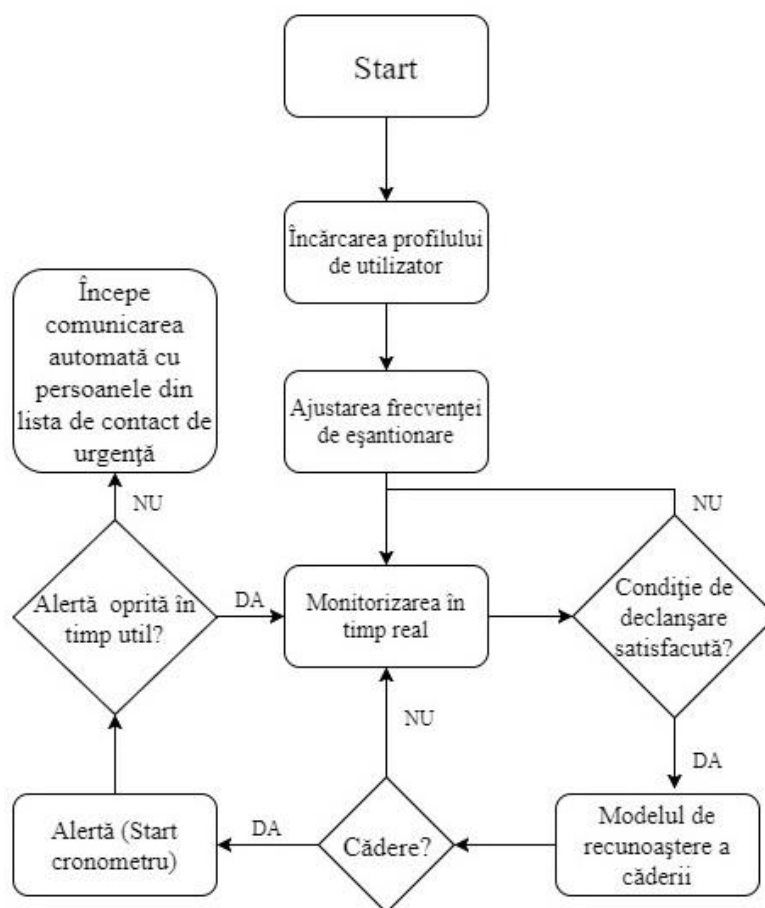


Fig. 2.1. Secvența de operații a sistemului PerFallD

Acest sistem poate funcționa doar pe bază de accelerometru sau cu anumite accesorii atașate, simultan cu accelerometrul.

Accelerometrul are rolul de a asigura citirea accelerației pe direcțiile x , y și z , cărora le corespund accelerațiile A_x , A_y și A_z . Direcțiile axelor x , y și z sunt determinate de poziția telefonului, așa cum este prezentat în figura 2.2.

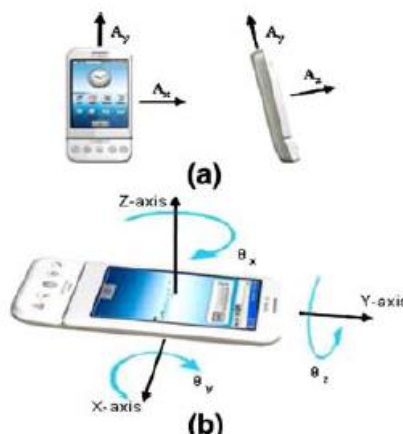


Fig. 2.2. Orientarea axelor în funcție de poziția telefonului

În cazul sistemului cu accesoriu s-a folosit un senzor pentru câmp magnetic și un accesoriu magnetic; telefonul a fost amplasat în buzunarul drept al pantalonilor, iar accesoriul magnetic deasupra genunchiului stâng. S-a ales această poziționare deoarece cercetările în biomecanică au arătat că mișcările picioarelor au caracteristici importante în timpul căderilor [33]. Pentru detectarea căderii, valoarea citită reprezintă intensitatea câmpului magnetic. Această intensitate depinde de distanța dintre telefon și accesoriul magnetic, respectiv distanța dintre picioare. De cele mai multe ori, această distanță este mai mică atunci când subiectul stă în picioare, decât este după o cădere.

PerFallD a fost implementat pe un telefon Android G1, cu două nuclee CPU, 98 MB memorie RAM și 70 MB memorie internă. Utilizează o baterie litiu-ion reîncărcabilă de 1150 mAh. În afară de cameră, telefonul G1 oferă trei senzori: un accelerometru, un senzor de orientare și un senzor digital de câmp magnetic.

Interfețele de utilizator ale PerFallD au butoane mari, luminate, care ușurează utilizarea. Ecranul color luminos afișează totul cu claritate. Nu există meniuri confuze, făcând clară accesarea tuturor opțiunilor.

Rezultatele experimentale arată că PerFallD atinge performanțe bune de detecție și eficiență energetică [34].

II.2.2. Medical Guardian

Conform paginii web de specialitate Top Ten Reviews [35], Medical Guardian se află pe primul loc în categoria celor mai bune dispozitive pentru detectarea căderii. Medical Guardian este un furnizor american de sisteme de alertă medicală cu sediul în Philadelphia, Pennsylvania, fondat de Geoff Gross în 2005 [36]. Acesta oferă mai multe produse pentru detectarea căderii sau semnalarea manuală a oricărei urgențe și furnizează atât dispozitive ce pot fi folosite în casă, cât și dispozitive ce pot fi utilizate oriunde.

➤ Classic Guardian

Este cel mai simplu și mai ieftin dispozitiv oferit de Medical Guardian. Este creat pentru a fi folosit în casă și în jurul acesteia, pe o rază de până la aproximativ 400 m. În caz de urgență, este apelată o bază medicală, care trimite ajutoare la adresa respectivului pacient.

Classic Guardian este constituit din două părți componente, așa cum este prezentat în figura 2.3; o componentă fixă, legată la linia de telefonie terestră, numită stație de bază, și o componentă mobilă. Aceasta poate fi un lanț sau o brățară, de care este atașată un buton de alarmă.

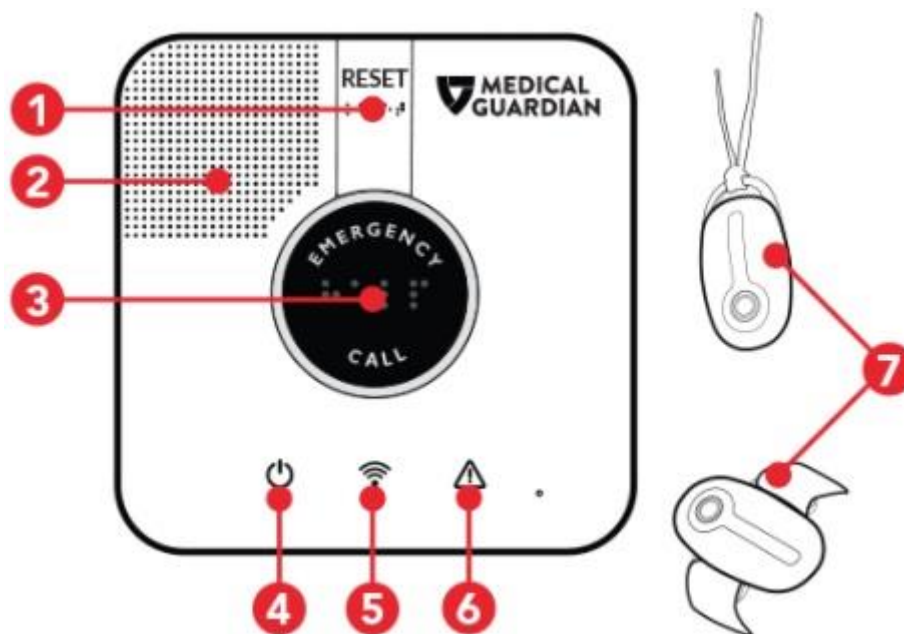


Fig. 2.3. Componentele dispozitivului Classic Guardian

- (1) buton pentru resetare, (2) difuzor, (3) buton de apelare în caz de urgență, (4) indicator de energie, (5) indicator de comunicații, (6) indicator de defectare, (7) lanț sau brățară cu buton de alarmă

➤ Active Guardian

Este singurul dispozitiv portabil de alertă medicală cu tehnologie GPS și WiFi și oferă cea mai avansată protecție la domiciliu și în deplasare. Are cea mai lungă durată de viață a bateriei pentru orice sistem mobil și poate fi dotat cu cea mai precisă tehnologie de avertizare a căderii.

Dispozitivul în sine cântărește 56.6 g, fiind ușor de purtat atașat unui lanț. Durata de viață a bateriei este de 5 zile, iar încărcarea completă durează 3 ore.

Sistemul Active Guardian este alcătuit din două părți (figura 2.4): furca conectată la o sursă de alimentare și dispozitivul în sine [37].

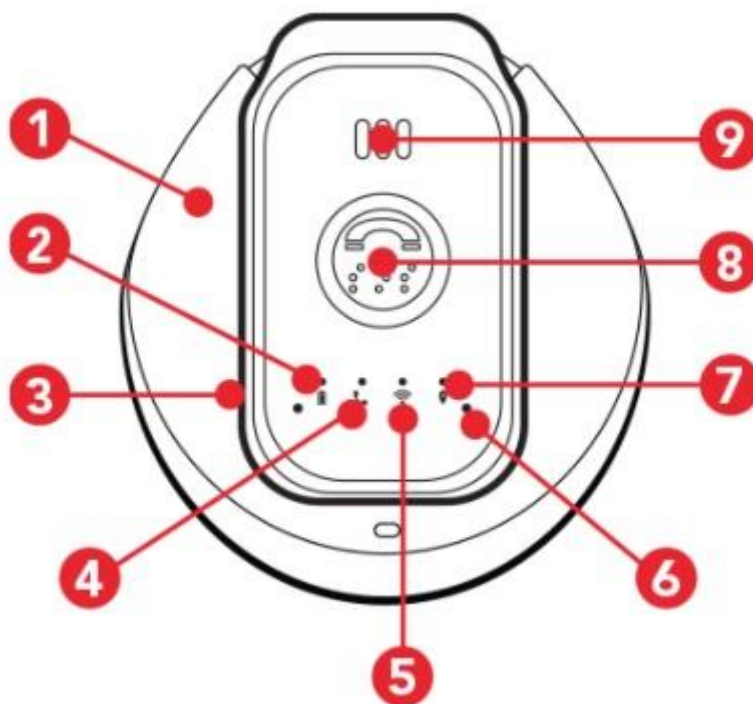


Fig. 2.4. Componentele dispozitivului Active Guardian.

- (1) furcă pentru încărcare, (2) semnal luminos baterie, (3) buton pornire/oprire, (4) semnal luminos apel, (5) semnal luminos WiFi, (6) microfon, (7) semnal luminos GPS, (8) buton apelare urgență, (9) difuzor

MATERIALE ȘI METODE

III.1. MATERIALE

În următoarea secțiune voi enumera și descrie materialele pe care le-am folosit pentru proiectarea dispozitivului de detecție a căderii.

III.1.1. Arduino Nano ATmega328P

Arduino este o platformă de prototipuri electronice cu sursă deschisă bazată pe hardware și software flexibile și ușor de utilizat. Este destinat artiștilor, designerilor, pasionaților și tuturor celor interesați să creeze obiecte sau medii interactive [38].

Arduino Nano este o placă mică, completă, bazată pe ATmega328P; oferă aceeași conectivitate și specificații ca placa Arduino UNO, dar la dimensiuni reduse [39]. În figura 3.1 este reprezentată plăcuța Arduino Nano, iar în figura 3.2 sunt specificate dimensiunile acesteia.

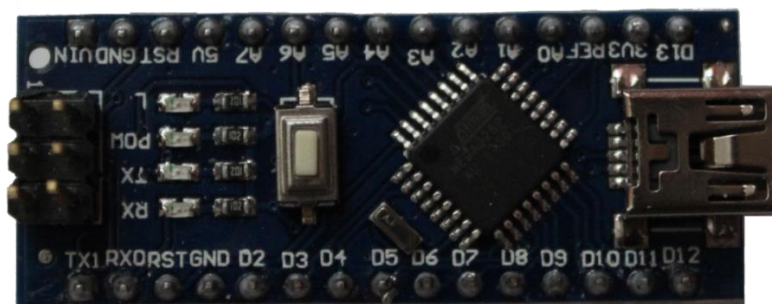


Fig. 3.1. Placa de dezvoltare Arduino Nano

Funcționează cu un cablu USB Mini-B, prin care poate fi alimentat cu o sursă externă de alimentare nereglată 6-20V (pinul 30) sau cu o sursă de alimentare externă reglată la 5V (pinul 27). Sursa de alimentare este selectată automat la cea mai înaltă sursă de tensiune.

Arduino Nano dispune de o serie de facilități pentru comunicarea cu un computer, un alt Arduino sau alte microcontrolere [40].

Tabelul 3.1. Specificații Arduino Nano ATmega328P

Microcontroller	Atmel ATmega328
Tensiunea de Lucru	5 V
Tensiunea de Intrare (recomandată)	7-12 V
Tensiunea de Intrare (Limite)	6-20 V
Pini Digitali I/O	14
Pini Analogi de Intrare	8
Curentul DC per Pin I/O	40 mA
RAM	32 KB
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHz
Dimensiuni	1.778 cm x 4.318 cm

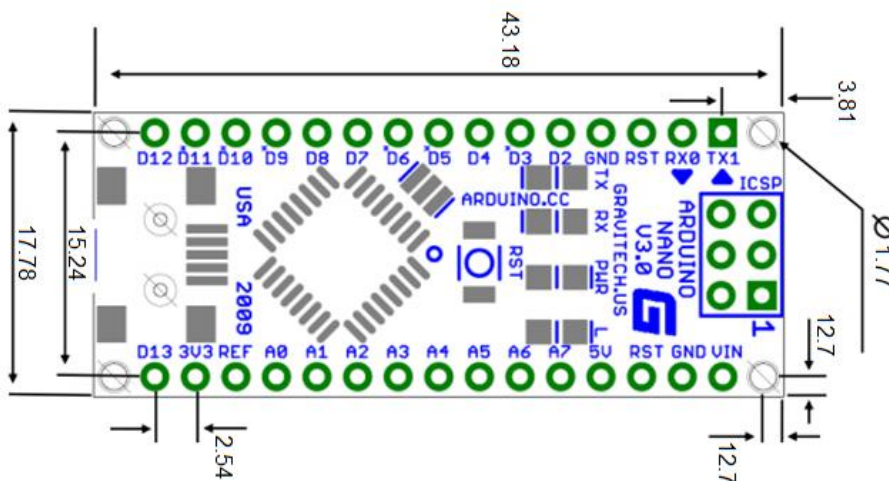


Fig. 3.2. Desenul mecanic pentru Arduino Nano

III.1.2. Modul 6DOF MPU-6050

Familia de piese MPU-6000 / MPU-6050 (figura 3.3) sunt primele și singurele dispozitive *MotionTracking* din lume cu 6 axe, concepute pentru cerințe de performanță scăzută, cu costuri reduse și performanțe ridicate ale smartphone-urilor, tabletelor și senzorilor care pot fi purtați [41]. Este foarte precis, deoarece conține un convertor analog-digital de 16 biți pentru fiecare canal. Prin urmare, captează canalele x, y și z în același timp. Senzorul utilizează magistrala I2C pentru a interconecta cu Arduino.

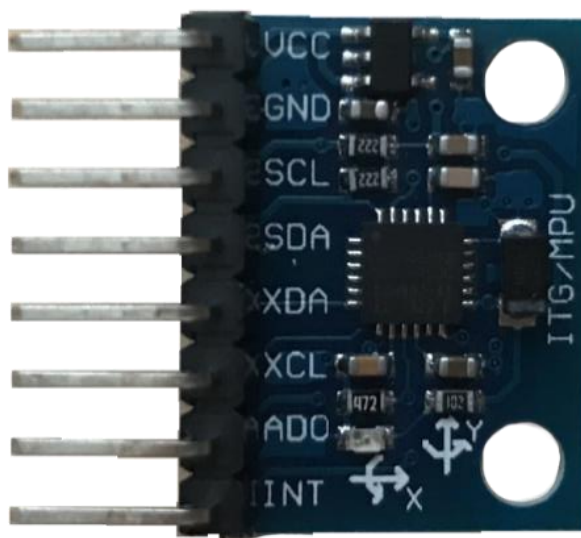


Fig. 3.3. Modulul 6DOF

Modulul 6DOF MPU-6050 conține atât un giroscop cu 3 axe, cât și un accelerometru tot cu 3 axe, permițând măsurători atât independent, cât și pe baza acelorași axe, eliminând astfel problemele legate de erorile axei transversale atunci când folosesc dispozitive separate [42, 43]. Giroscopul este folosit pentru a măsura rata de rotație în jurul axelor Ox (tangaj), Oy (girație), Oz (ruluu), iar accelerometrul măsoară unghiul de înclinare de-a lungul axelor (figura 3.4).

Atunci când este conectat cu o placă Arduino, senzorul este un *slave*, iar microcontrolerul este *master*. Microcontrolerul inițiază cererea de citire sau scriere a datelor. În conformitate cu interfața standard I2C, orice comunicare implică următorii pași: generarea condițiilor de pornire de către comandant; trimiterea adresei dispozitivului *slave*; citirea

datelor de la *slave* sau scrierea către el; generarea de către dispozitivul principal a stării de oprire.

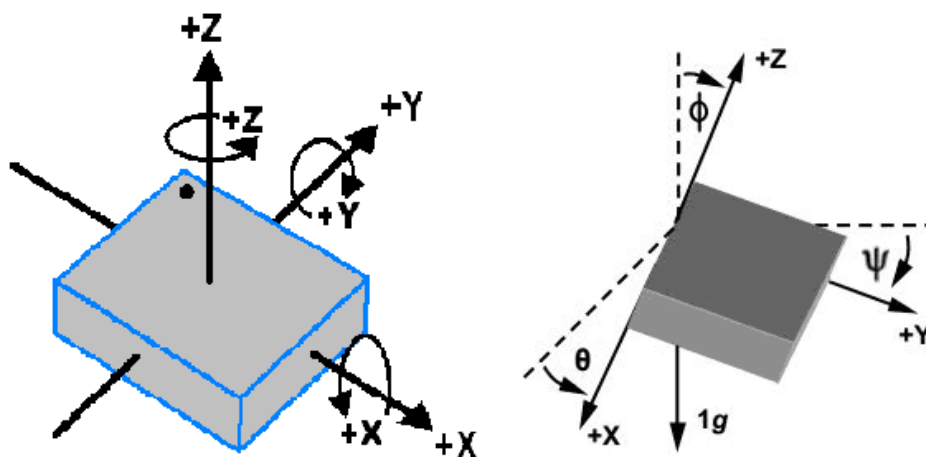


Fig. 3.4. Orientarea axelor pentru modulul MPU-6050

III.1.3. Modulul de transmisie Bluetooth HC-06

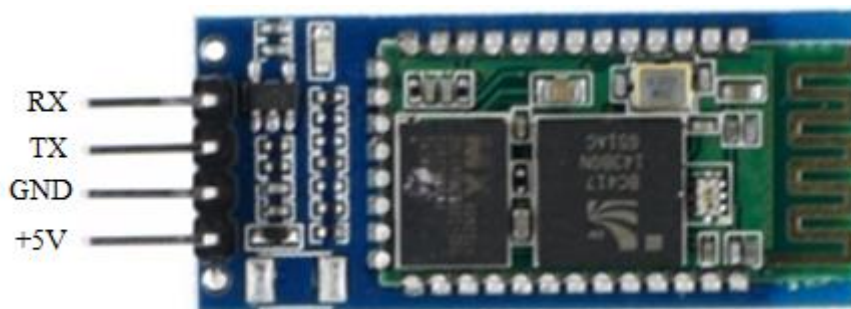


Fig. 3.4. Modulul Bluetooth

Acest modul Bluetooth poate realiza cu ușurință transmisii de date wireless și folosește o tensiune de intrare de maxim 7V (tabel 3.2). Frecvența sa de operare se numără printre cele mai populare benzi de frecvențe ISM (industriale, științifice și medicale) de 2,4 GHz. Pentru Bluetooth 2.0, timpul de transmisie a semnalului de la diferite dispozitive se situează la un interval de 0,5 secunde [44].

Tabelul 3.2. Specificații Modul Bluetooth HC-06

Tensiunea de intrare	3.6-6 V (nu poate fi mai mare de 7 V)
Curent	30 mA când nu este conectat 10 mA când este conectat
Distanța de lucru	10 m
Compatibil cu	Calculator Telefon mobil, tabletă
Viteza de transmisie	2.1 Mbps (max)
Dimensiuni	27mm×13mm×2mm

III.1.4. Modulul GSM

Sistemul GSM (*Global System for Mobile communication*) este un sistem digital de telefonie mobilă utilizat pe scară largă în Europa și în alte părți ale lumii. GSM digitizează și comprimă date, apoi le trimite către un canal cu alte două fluxuri de date de utilizator, fiecare în intervalul său propriu de timp. Funcționează fie la banda de frecvențe 900 MHz, fie la 1800 MHz [45].

Dezvoltarea GSM a început în 1982, când Conferința Posturilor și Telegrafelor Europene (CEPT) a format inițial un grup de studiu numit Group Special Mobile. Grupul urma să studieze și să dezvolte un sistem celular european în gama de 900 MHz. Criteriile de bază ale sistemului propus au fost:

- calitate bună a vorbirii subiective;
- cost redus al terminalului și al serviciilor;
- sprijin pentru roaming internațional;
- abilitatea de a susține terminalele portabile;
- eficiență spectrală.

GSM constă din mai multe subsisteme, cum ar fi stația mobilă (MS), subsistemul stației de bază (BSS), subsistemul de rețea și de comutare (NSS) și subsistemul de operare (OSS).

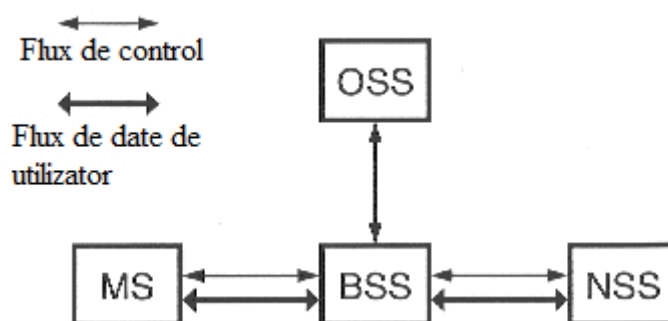


Fig. 3.5. Schema logică a sistemului GSM

Stația mobilă (MS) include echipamente mobile și un modul de identitate a abonatului (SIM). SIM-ul (în mod normal un card) este un modul de abonat care stochează toate informațiile legate de abonat. Atunci când SIM-ul este introdus în echipamentul mobil, informațiile relevante sunt verificate și apoi un apel este trimis la stația mobilă. Echipamentul



mobil nu este asociat cu un număr de apelant - care este conținut în SIM și, prin urmare, orice echipament mobil ar putea fi utilizat de un abonat prin simpla introducere a SIM-ului în unitate.

Subsistemul stației de bază (BSS) se conectează la MS printr-o interfață radio și se conectează, de asemenea, la NSS (subsistemul de rețea și de comutare). BSS constă dintr-o stație de emisie-recepție de bază (BTS) situată la locul antenei și un controler al stației de bază (BSC). O unitate de adaptare realizează decodificarea discursului și adaptarea ratei pentru transmiterea datelor.

Subsistemul de rețea și de comutare (NSS) este alcătuit din Centrul de Comutare a Serviciilor mobile (MSC), din Registrul de Localizare a Locuinței (HLR) și din Registrul de Localizare a Vizitatorilor (VLR).

- MSC coordonează configurarea apelurilor către și de la utilizatorii GSM.
- HLR constă dintr-o bază de date care conține informații despre abonat (de exemplu locația curentă).
- VLR conține în mod temporar informații administrative care sunt relativ la oricare dintre dispozitivele mobile aflate în prezent în zona sa.

Subsistemul de operare. Există trei domenii în cadrul OSS: funcțiile de operare și întreținere a rețelei, gestionarea abonamentelor, inclusiv taxarea și facturarea și gestionarea echipamentelor mobile [46].



III.1.5. Sistemul GPS

Sistemul Global de Poziționare (GPS) este în prezent singurul sistem global de navigație prin satelit complet funcțional. Douăzeci și patru de sateliți GPS orbitează în prezent în jurul Pământului și transmit semnale către receptoarele GPS, care determină locația, direcția și viteza receptorului. Deoarece primul satelit experimental a fost lansat în 1978, GPS-ul a devenit un instrument esențial pentru navigație și un instrument important pentru topografie și cartografie.

GPS-ul a fost inițial dezvoltat de Departamentul Apărării din Statele Unite ale Americii. Din cauza aplicării sale militare, Departamentul Apărării al SUA a aplicat o eroare selectivă, o eroare deliberată încorporată în sistem, menită să reducă riscul forțelor ostile folosind sistemele foarte precise. În 2000, președintele Clinton a anunțat că a ordonat armatei americane să oprească codarea semnalelor din rețeaua sa de satelit GPS, făcând astfel datele disponibile pentru proprietarii GPS civili [47].

Poziția unui receptor GPS este calculată prin măsurarea distanței dintre el și trei sau mai mulți sateliți GPS. Fiecare satelit este echipat cu un ceas atomic. Când sunt pornite pentru prima oară, dispozitivele GPS sunt supuse unei perioade de inițializare, în cursul căreia achiziționează semnale de la sateliți și sincronizează ceasul GPS cu ceasul atomic al satelitului. Dispozitivele GPS recepționează în mod constant și analizează semnalele radio de la sateliți, calculând distanța (intervalul) exactă pentru fiecare satelit urmărit. Dispozitivele GPS folosesc trilaterarea, o tehnică matematică, pentru a determina poziția utilizatorului, viteza și altitudinea.

GPS-ul este utilizat acum într-o varietate de aplicații comerciale și de cercetare, cum ar fi expunerea în mediu, agricultura, ecologia, estimarea timpului de călătorie. Îmbunătățirile tehnologice au generat unități portabile GPS cu memorie adecvată pentru a stoca datele poziționale în timp, oferind astfel oportunități pentru obținerea informațiilor despre locație la un cost redus. În ciuda îmbunătățirii portabilității, GPS-ul nu este fără limitări. Dispozitivele GPS nu înregistrează adesea poziții în interior (în special în clădirile din beton), sub bolta copacilor grei și în zonele urbane dense.

În 1997, Schutz și Chambaz [48] au sugerat că GPS-ul ar putea fi folosit pentru a evalua locația umană. Acestea au subliniat următoarele avantaje potențiale ale utilizării GPS:

- portabil, ușor și de dimensiuni mici;
- se pot face măsurători neinvazive;
- monitorizare continuă;
- acces liber la sateliții GPS din orice parte a lumii;
- cost rezonabil al receptorului GPS;
- datele pot fi stocate și ulterior recuperate dacă este necesar;
- tehnica poate fi utilizată pentru a valida independent măsurătorile vitezei de mers și a alerga prin alte tehnici (cum ar fi accelerometria).

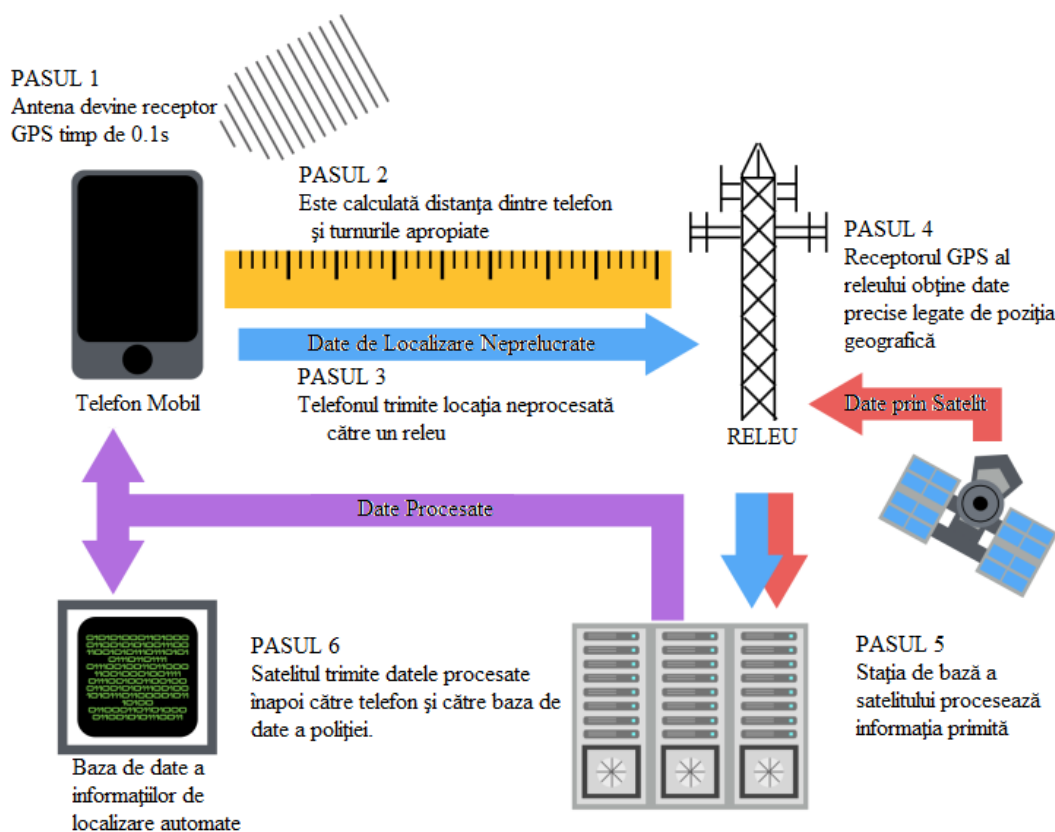


Fig. 3.6. Pașii necesari pentru determinarea locației unui telefon mobil de pe care a fost efectuat un apel de urgență la 112

Deși multe dintre beneficiile potențiale prezentate de Schutz și Chambaz există, pentru unele părți ale lumii (în special pentru țările în curs de dezvoltare), acoperirea prin satelit este slabă, ceea ce duce la disponibilitatea limitată a GPS-ului. Cu toate acestea, de la publicarea hârtiei Schutz și Chambaz, tehnologia GPS a fost rafinată mai mult pentru a fi folosită ca instrument sportiv, decât pentru un instrument de măsurare a activității fizice libere.

III.2. METODE

III.2.1. Algoritm de detecție a căderii

Senzorul utilizat trimite datele într-o formă neprelucrată, iar pentru vizualizarea acestora în unități de măsură cunoscute, am folosit următoarele transformări (tabel 4.1), conform fișei de date a senzorului:

Tabelul 3.3. Conversia datelor

Mărime fizică	Formulă	Unitate de măsură	
A_x	$A_{cx}/16384.0$	g	(3.1)
A_y	$A_{cy}/16384.0$	g	(3.2)
A_z	$A_{cz}/16384.0$	g	(3.3)
Temp	$Tmp/340.0 + 36.53$	$^{\circ}C$	(3.4)
G_x	$G_{yx}/16.4$	$^{\circ}/s$	(3.5)
G_y	$G_{yy}/16.4$	$^{\circ}/s$	(3.6)
G_z	$G_{yz}/16.4$	$^{\circ}/s$	(3.7)

unde A_{cx} , A_{cy} , A_{cz} , Tmp , G_{yx} , G_{yy} și G_{yz} reprezintă valorile neprelucrate primite de la senzor.

Folosind valorile accelerațiilor și ale rotațiilor de pe fiecare axă (O_x , O_y , O_z), se calculează accelerația liniară și rata de rotație cu formulele:

$$A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2} \quad (3.8)$$

$$\omega = \sqrt{\omega_x^2 + \omega_y^2 + \omega_z^2} \quad (3.9)$$

$$\theta = \arccos \frac{A_z}{g} \quad (3.10)$$



Unghiul θ reprezintă unghiul dintre senzor și vectorul accelerației gravitaționale – exemplu: între șold și vectorul accelerației gravitaționale.

Pentru a alege valorile prag, am clasificat căderile în patru categorii:

- spre față;
- spre spate;
- laterale pe partea dreaptă;
- laterale pe partea stângă.

După numeroase măsurători experimentale în care am dorit găsirea pragurilor optime pentru sesizarea căderilor și diferențierea acestora de alte mișcări și tranziții dinamice, am creat următorul algoritm pentru detecția căderilor prezentate anterior:

- căderi spre față:

$$A > 0,9 g \quad (3.11)$$

$$\omega \geq 500 \text{ }^\circ/\text{s} \quad (3.12)$$

$$\theta \in [90^\circ, 120^\circ] \quad (3.13)$$

- căderi spre spate:

$$A < 1 g \quad (3.14)$$

$$\omega \geq 500 \text{ }^\circ/\text{s} \quad (3.15)$$

$$\theta \in [60^\circ, 90^\circ] \quad (3.16)$$

- căderi spre partea dreaptă:

$$A < 0,7 g \quad (3.17)$$

$$\omega \geq 500 \text{ }^\circ/\text{s} \quad (3.18)$$

$$\theta \in [90^\circ, 100^\circ] \quad (3.19)$$



- căderi spre partea stângă:

$$A > 1 \, g \quad (3.20)$$

$$\omega \geq 500 \, ^\circ/s \quad (3.21)$$

$$\theta \in [40^\circ, 90^\circ] \quad (3.22)$$

unde $g = 9,80 \, m/s^2$ este accelerația gravitațională.



REZULTATE

În această secțiune voi discuta și ilustra cu ajutorul imaginilor, etapele parcurse pentru realizarea dispozitivului de detecție a căderii, posibilele metode de achiziționare a datelor și implementarea aplicațiilor Android.

IV.1. PROIECTAREA DISPOZITIVULUI

Înainte de a conecta firele și componentele între ele, am utilizat platforma de design Fritzing pentru proiectarea grafică dispozitivului ce urmează a fi creat. Fritzing oferă o bibliotecă largă de componente și permite designerilor și altor profesioniști să-și înregistreze prototipurile create pentru diferite circuite. De asemenea, este un software open-source și gratuit.

Pentru a conecta modulul Bluetooth cu placa Arduino folosim cei 4 pini ai acestuia (figura 4.1):

- pinul RX – pinul de recepție. Acesta va fi conectat la pinul TX de pe placa Arduino.
- pinul TX – pinul de transmisie. Se va conecta la pinul RX de pe placa Arduino.
- pinul GND – pinul de Ground. Acesta se conectează la pinul GND al senzorului, care la rândul lui se conectează la pinul GND al plăcii.
- pinul +5V – pinul VCC (pinul de alimentare). La fel ca în cazul pinului GND, este conectat la pinul +5V al senzorului, care la rândul său este conectat la pinul VCC al plăcii.

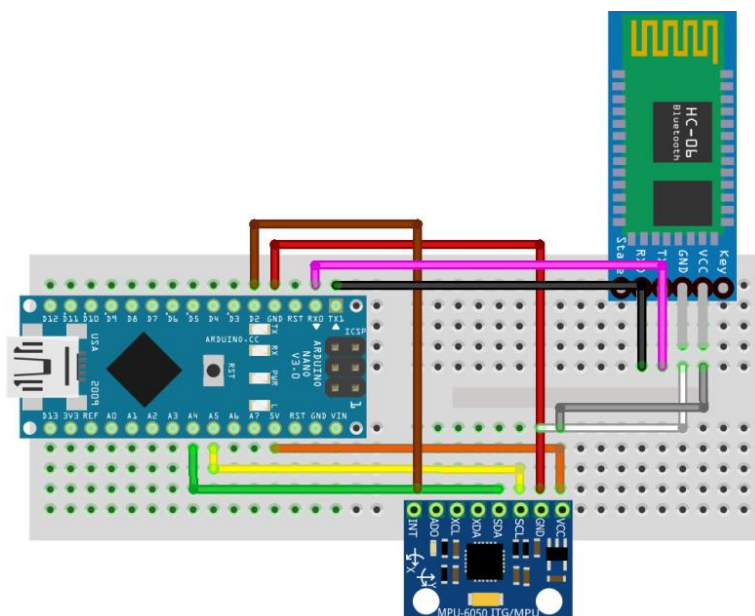


Fig. 4.1. Reprezentarea schematică a conexiunilor ce urmează a fi realizate

IV.2. REALIZAREA MONTAJULUI

În continuare am creat dispozitivul conform schemei anterioare, iar pentru alimentare am folosit o baterie portabilă de 5V. Am folosit materialele prezentate anterior (placa de dezvoltare Arduino Nano, modulul MPU-6050, modulul de transmisie Bluetooth) și fire colorate pentru conectarea modulelor pe breadboard. Un breadboard este o placă de plastic cu găuri și contacte metalice în interior, ce permite conectarea prin fire a elementelor de circuit, fără a mai fi nevoie de a le lipi, așa cum este prezentat în figura 4.2. Principalul motiv de alegere al acestor tipuri de componente este dimensiunea redusă, ceea ce face ca prototipul propus să fie unul portabil.

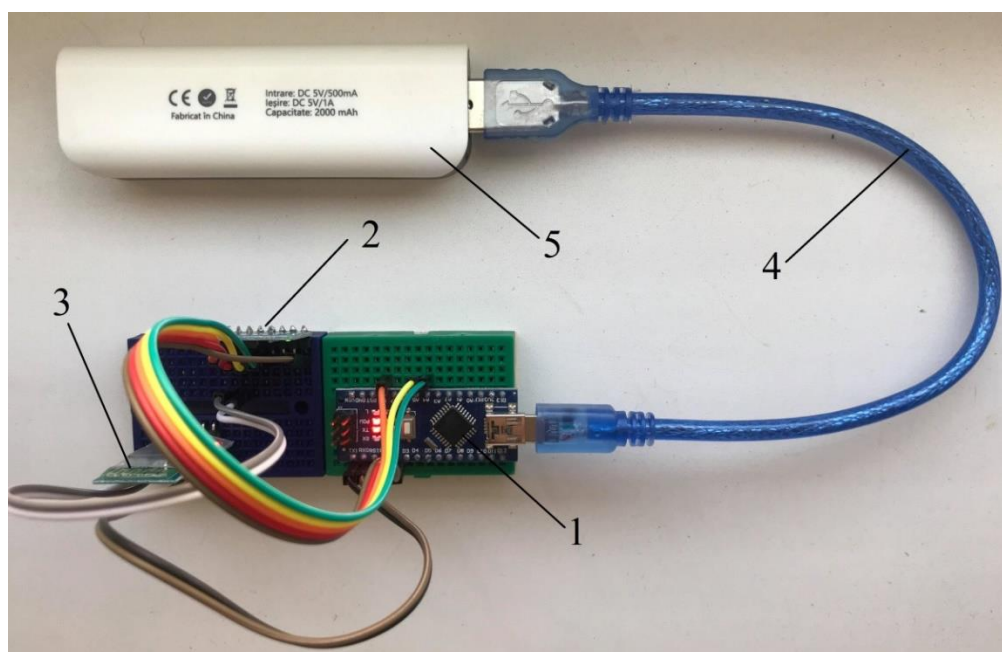


Fig. 4.2. Prezentarea sistemului experimental: 1 - placa de dezvoltare Arduino Nano, 2 - senzorul MPU6050, 3 - modul Bluetooth, 4 - cablu USB, 5 - baterie externă

IV.3. ACHIZIȚIA DATELOR

Prima metodă de colectare a datelor a fost cea prin conectare directă a dispozitivului la un calculator prin cablul USB, însă această abordare limitează dispozitivul doar la monitorizarea statică, spre exemplu monitorizarea poziției subiecților ce efectuează muncă de birou, monitorizarea poziției în somn, etc.

Folosind funcția Serial Plotter oferită de Arduino și ajustând parametrii necesari, am putut vizualiza toate datele primite de la modul MPU-6050, sub o formă grafică, așa cum este prezentat în figura 4.3. Graficul conține și o legendă corespunzătoare atașată.

Cea de-a doua metodă de abordare presupune utilizarea conexiunii Bluetooth, metodă optimă pentru monitorizarea activităților dinamice, limitată însă de antena încorporată cu bandă de acoperire de 10 metri și care depinde de obstacole sau pereți.

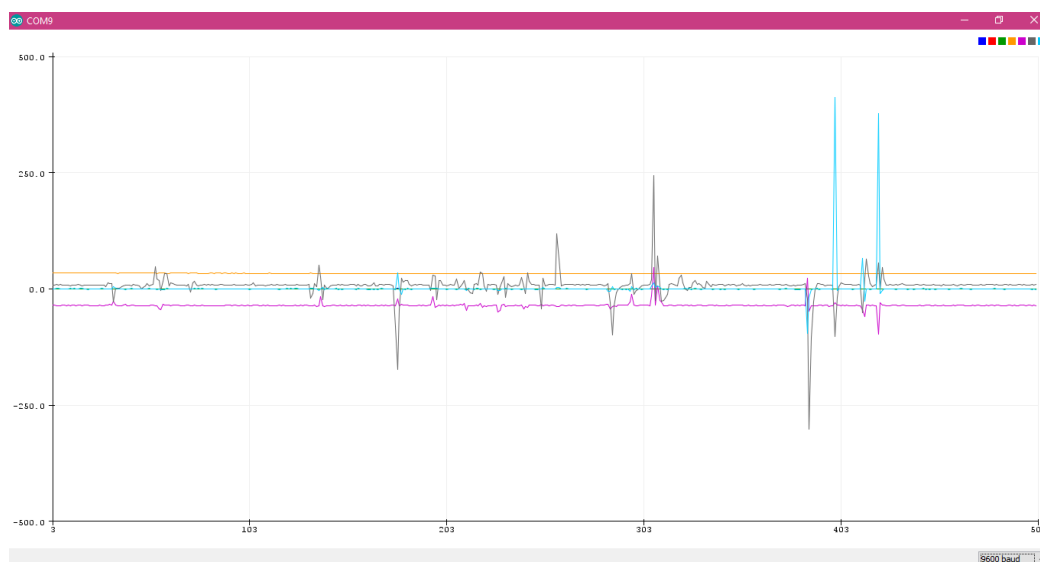


Fig. 4.3. Vizualizarea datelor recepționate de la senzor prin cablul USB

Pentru a îmbunătăți varietatea de date ce pot fi achiziționate s-a decis dezvoltarea unei aplicații Android de achiziție în timp real a informației furnizate de senzor.

IV.4. DEZVOLTAREA APLICAȚIEI ANDROID

Aplicațiile ce urmează să fie descrise au fost implementate pe un telefon Samsung Galaxy S4 I9515, care dispune de un procesor CPU cu patru nuclee, memorie RAM de 2GB și funcționează cu o baterie de tip litiu ion de 2600 mAh.

Am construit și compilat aplicația utilizând mediul de dezvoltare MIT App Inventor 2. App Inventor 2 este un mediu de programare „*drag and drop*” ușor de utilizat (figura 4.4) datorită blocurilor cu cod asigurat și care permite modificarea rapidă a aplicației pentru viitoare îmbunătățiri. După instalare, am observat că aplicația creată folosește doar puțin peste 21 MB din memoria internă a telefonului.

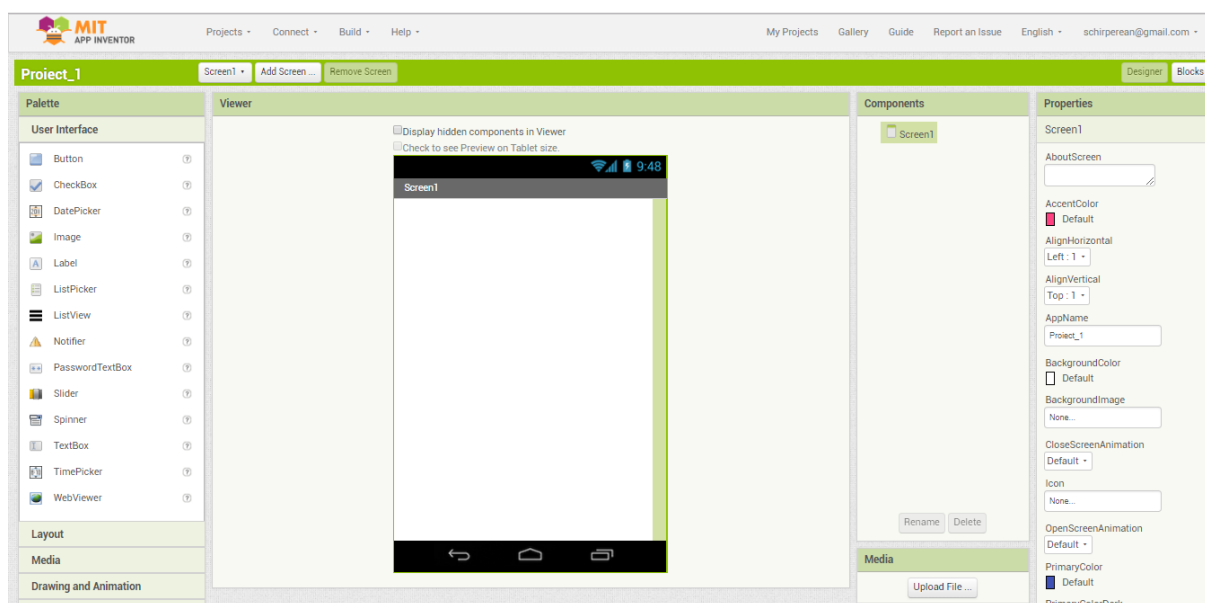


Fig. 4.4. Interfața de utilizare App Inventor 2.

Inițial am creat o aplicație Android pentru vizualizarea grafică a schimbărilor de poziție. Aplicația dezvoltată conține 2 vederi:

- vederea de conectare – aceasta a fost proiectată pentru a realiza conexiunea între telefonul mobil și placa Arduino. Apăsarea butonului de conectare deschide o nouă fereastră din care utilizatorul poate selecta dispozitivul Bluetooth dorit (figura 4.5).
- vederea Grafic – reprezintă componenta principală de vizualizare a datelor înregistrate în timp real.



Fig. 4.5. Capturi de ecran ale vederile dedicate pentru realizarea conexiunii Bluetooth

De asemenea, în timpul reprezentării grafice, datele numerice primite de la senzor sunt stocate automat într-un fișier text creat pe cardul SD pentru utilizarea ulterioară.

Pentru a conecta telefonul la modulul Bluetooth de pe dispozitivul creat, am folosit un număr redus de blocuri, după cum se poate observa în figura 4.6. Butonul „Conectare” deschide o listă ale cărei elemente sunt adresele și numele tuturor clienților Bluetooth cu care telefonul a mai fost conectat.

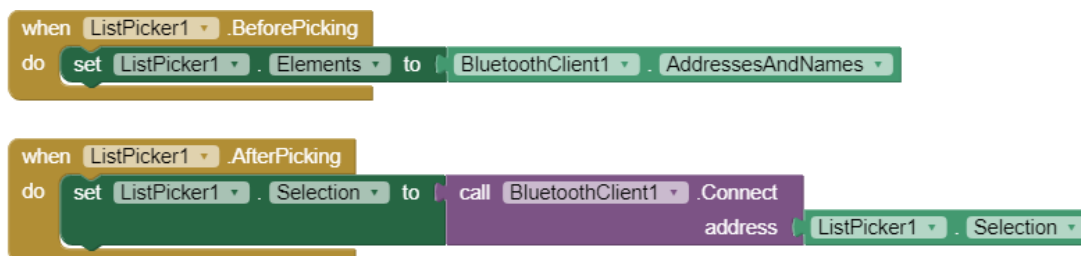


Fig. 4.6. Blocurile folosite pentru realizarea conexiunii Bluetooth

După ce a fost realizată conexiunea la dispozitiv, începe automat reprezentarea grafică a datelor recepționate. Utilizatorul poate alege, prin apăsarea unui buton, ce mărime fizică dorește să vizualizeze: accelerațiile, girațiile sau temperatura. În figura 4.7 se pot observa accelerațiile pe cele 3 axe și variațiile acestora atunci când mișcăm senzorul.

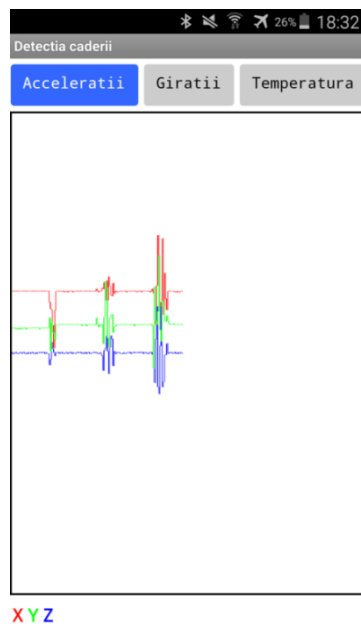


Fig. 4.7. Captură de ecran a vederii grafice. Sub grafic este atașată legenda corespunzătoare

IV.5. INTERPRETAREA REZULTATELOR

În studiile anterioare [49, 50] a fost evidențiat faptul că cele mai bune rezultate au fost obținute atunci când senzorul a fost amplasat pe șold, această amplasare reducând numărul erorilor ce ar putea apărea. De aceea am decis efectuarea măsurilor cu dispozitivul fixat pe șold, așa cum este ilustrat în figura 4.8.

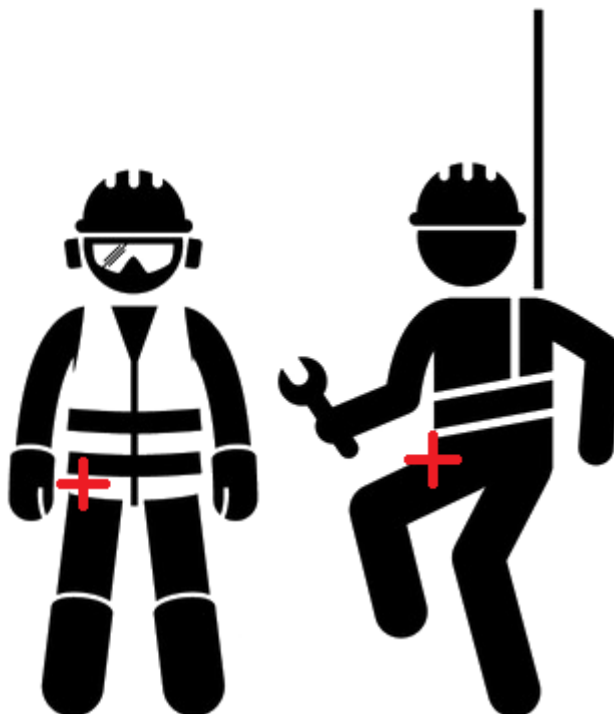


Fig. 4.8. Poziționarea senzorului

Figura 4.9 prezintă variația accelerației liniare și a girației liniare, calculate cu formulele 3.8 și 3.9, când senzorul este plasat pe șoldul subiectului. Din această figură se poate observa că amplitudinea accelerației pentru pozițiile staționare este mai mică de 0.70g, iar amplitudinea ratei de rotație pentru pozițiile staționare este mai mică de 500°/s. Folosind aceste praguri putem separa rapid și precis pozițiile statice de tranzițiile dinamice.

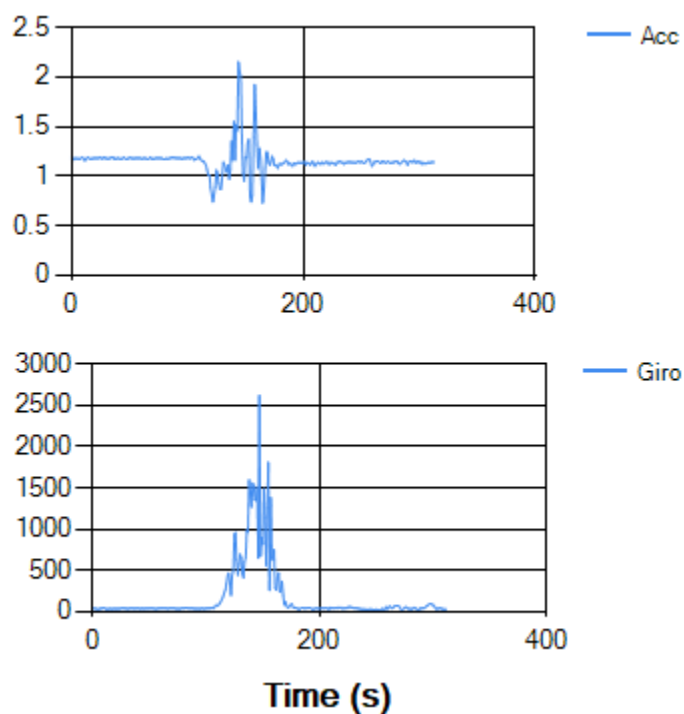


Fig. 4.9. Accelerația liniară și rata de rotație liniară pentru o postură statică în picioare urmată de așezarea pe un scaun

Totuși, după cum se poate observa în figura 4.10, doar compararea accelerației și a rotației cu anumite valori nu este suficientă pentru a distinge tranzițiile dinamice. Atât în cazul mersului, cât și în cazul urcatului scărilor, amplitudinile celor două mărimi sunt mai mari de 0.70g, respectiv 500°/s. Din acest motiv, am introdus în algoritmul pentru detectarea căderii încă un parametru ce urmează a fi analizat, și anume înclinația accelerației pe axa Z față de accelerația gravitațională, calculat folosind ecuația 3.10.

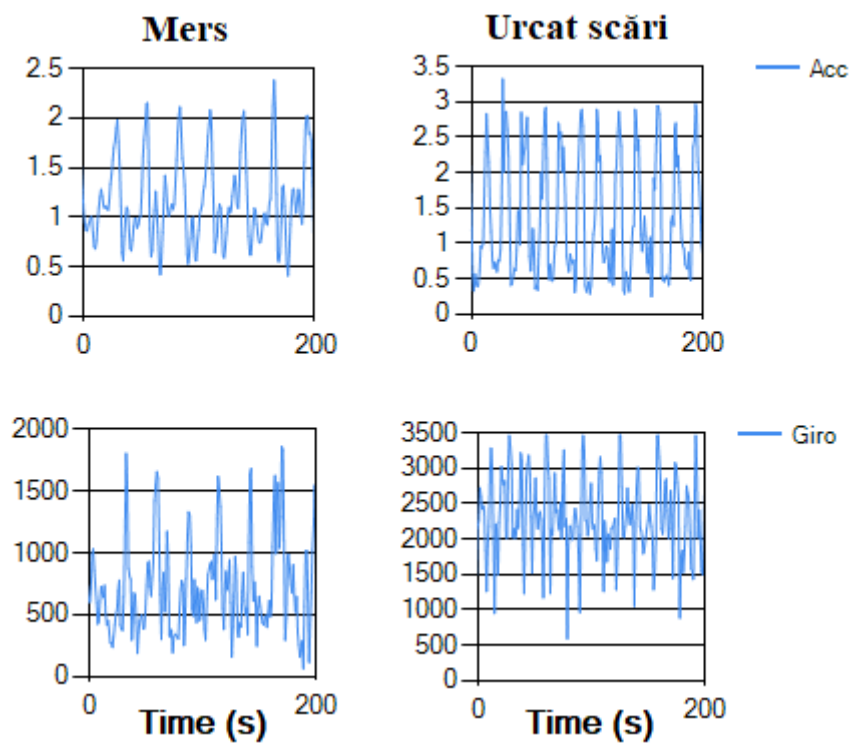


Fig. 4.10. Comparație între accelerația liniară și rata de rotație liniară pentru mers și urcat scări

IV.6. SISTEMUL DE ALERTARE

Deoarece principala și cea mai importantă funcție pe care se dorește să o îndeplinească dispozitivul construit este aceea de a detecta căderea, am creat o altă aplicație, destinată alertării subiectului și a altor persoane în cazul în care este sesizată o cădere.

Odată ce a fost sesizată căderea, subiectului i se oferă posibilitatea de a alege una din cele două variante, prin apăsarea butonului corespunzător: „SUNT BINE” sau „AJUTOR”. Dacă acesta a ales prima variantă, mesajul către persoana de contact în caz de urgență nu va fi trimis, iar aplicația va continua monitorizarea. Dacă a fost aleasă cea de-a doua variantă, persoana de legătură este contactată imediat, trimițând un mesaj automat cu textul “Nume a suferit o cădere. Locația acestuia este: *latitudine, longitudine*”. De asemenea, același mesaj este trimis în cazul în care subiectul nu poate alege nicio variantă din varii motive. În figura 4.11 este prezentată arhitectura schemei logice folosită în dezvoltarea aplicației.

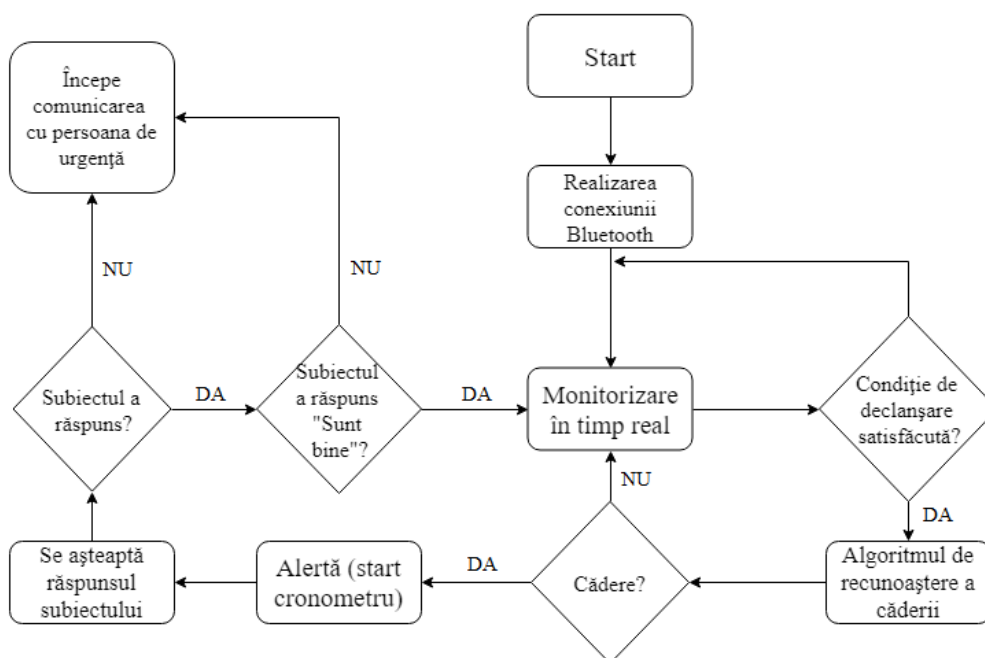


Fig. 4.11. Secvența de operații a aplicației de alertare

Am păstrat aceeași vedere de conectare ca și în aplicația anterioară, cu mici modificări legate de aspect, făcând interfața aplicației ușor de folosit și intuitivă (figura 4.12).

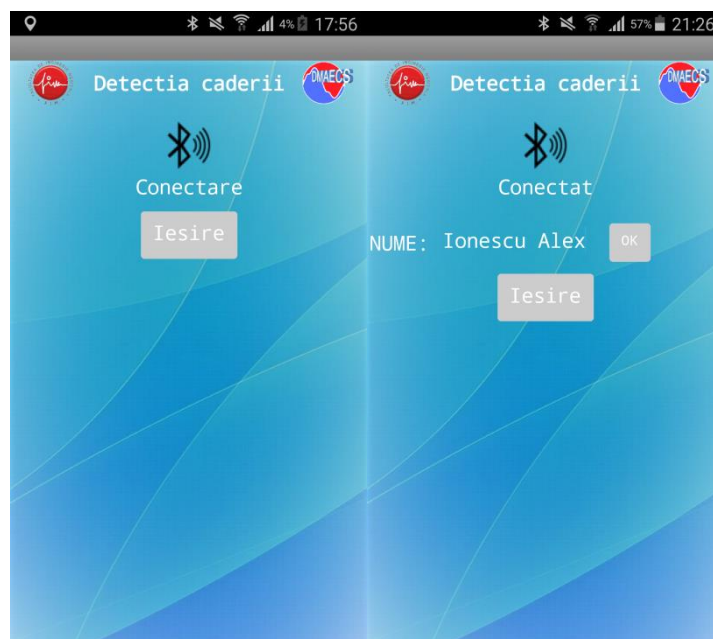


Fig. 4.12. Capturi de ecran ale vederilor de conectare

După selectarea și conectarea la modulul Bluetooth corespunzător dispozitivului, utilizatorului i se cere completarea unui câmp cu numele său pentru a putea începe monitorizarea mișcărilor și a modificărilor de poziție. Valorile acestora pot fi afișate pe ecran, într-un mod simplu și ușor de citit, prin simpla bifare a unei căsuțe. Ca și în prima aplicație, toate datele recepționate, inclusiv data curentă, ora, minutul și secunda, sunt salvate într-un fișier text pe cardul SD al telefonului. Debifarea acesteia ascunde valorile primite, însă monitorizarea continuă. Atunci când valorile recepționate depășesc valorile stabilite în algoritm, este afișată o alertă cu mesajul „A fost detectată o cădere”, iar telefonul vibrează timp de o secundă (figura 4.13).

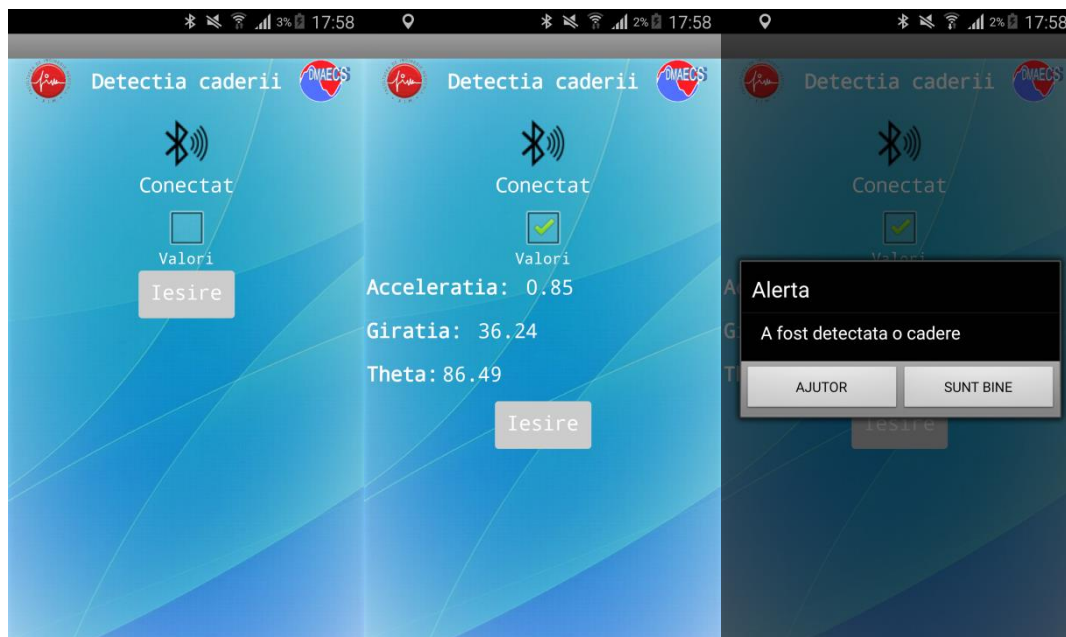


Fig. 4.13. Capturi de ecran ale vederilor de monitorizare și de alertare

În figura 4.14 am ilustrat secvența de blocuri pe care am folosit-o pentru a afișa alerta cu mesajul „A fost detectată o cădere”. La activarea semnalului de tact, este pusă o condiție de tip *if* și *then*. Dacă toate condițiile sunt îndeplinite, atunci telefonul va afișa alerta, va vibra timp de 1000 ms și va activa cronometrul.

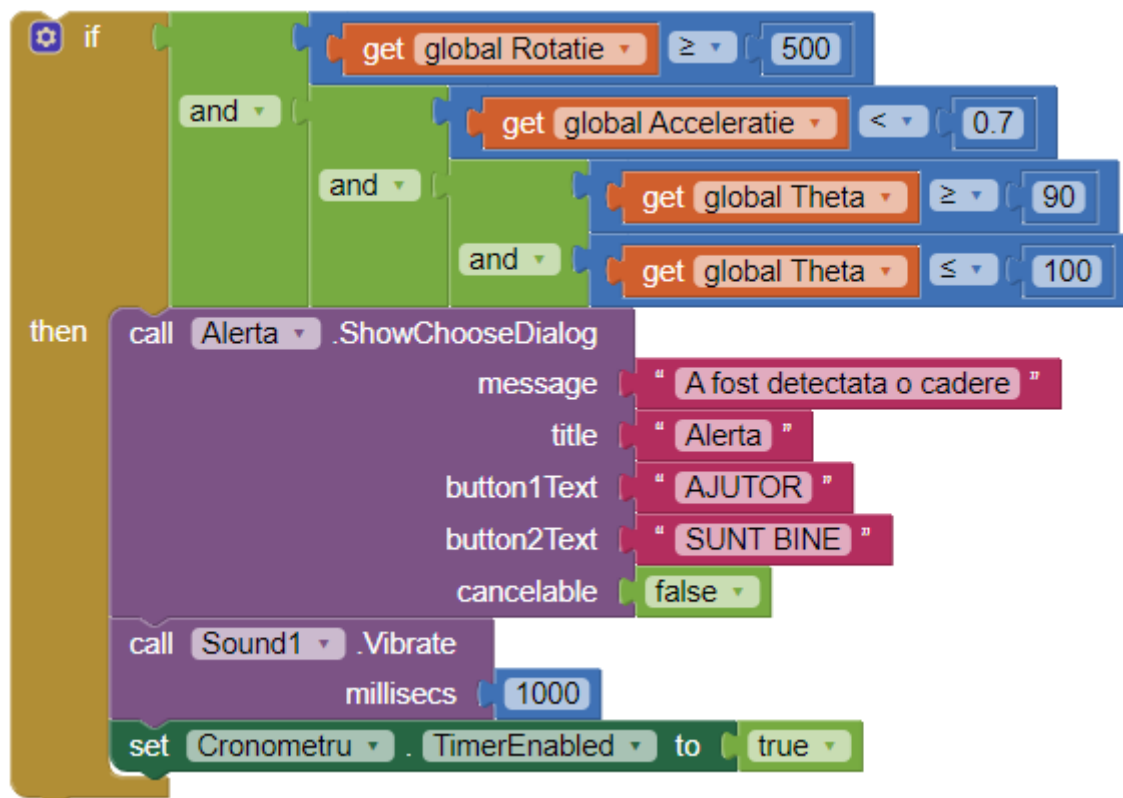


Fig. 4.14. Exemplu de blocuri folosite pentru a determina dacă a avut sau nu loc o cădere laterală spre dreapta

După ce utilizatorul a ales unul din cele două butoane, răspunsul acestuia este introdus într-un comparator; dacă a ales butonul denumit „AJUTOR”, atunci se trimite un SMS (figura 4.15) către persoana de contact imediat și este dezactivat cronometrul. Dacă răspunsul comparației este fals, ceea ce înseamnă că subiectul este bine, atunci aplicația nu va trimite niciun SMS și va dezactiva cronometrul. În cea de-a treia variantă, cea în care subiectul nu apasă niciun buton din posibile motive de accidentare, se va trimite SMS-ul automat după 10 secunde. Pentru a evita trimiterea succesivă a aceluiași mesaj, cronometrul este dezactivat imediat după trimiterea mesajului.

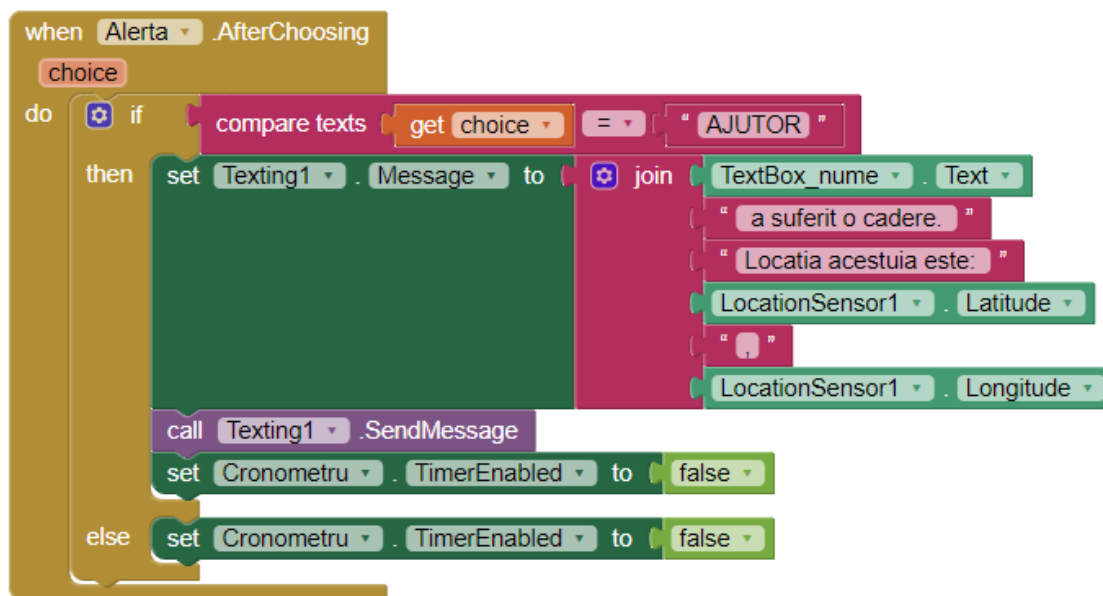


Fig. 4.15. Blocurile necesare pentru transmiterea unui SMS



IV.7. EVALUAREA SISTEMULUI

Detectarea căderii poate fi fie pozitivă dacă a fost identificată corect de sistem, fie negativă în cazul în care nu a fost identificată. Dat fiind faptul că rezultatul este unul binar, calitatea senzorului nu poate fi apreciată corespunzător printr-un singur test, ci este necesară realizarea unei analize statistice pe o serie de teste.

Există patru cazuri posibile:

- real pozitiv (RP) – are loc o cădere, iar sistemul o detectează;
- fals pozitiv (FP) – sistemul detectează o cădere care nu a avut loc;
- real negativ (RN) – o mișcare normală are loc și nu este considerată de sistem cădere;
- fals negativ (FN) – are loc o cădere, însă trece nesesizată de senzor.

Pentru a putea compara rezultatele, am ales 4 scenarii în care subiectul execută activități dinamice diferite de cădere (exemplu: mers, alergat) și 4 scenarii folosind tipurile de căderi menționate anterior în lucrare. Am rugat 3 subiecți să efectueze fiecare dintre cele 8 activități de 10 ori. Rezultatele obținute sunt ilustrate în tabelul 4.1. Toate activitățile au fost efectuate într-un mediu controlat.

Tabelul 4.1. Măsurători efectuate pentru evaluarea sistemului

Activitate	A detectat o cădere?	
	Da	Nu
Alergat	20	10
Mers	5	25
Așezat pe scaun	2	28
Ridicat de pe scaun	0	30
Cădere spre spate	25	5
Cădere spre față	26	4
Cădere spre stânga	24	6
Cădere spre dreapta	26	4



Sensibilitatea și specificitatea sunt măsurători statistice ale performanței unui test de clasificare binar, cunoscut și ca statistică ca o funcție de clasificare.

Sensibilitatea (numită și probabilitatea de detectare) măsoară proporția de poziții reale identificate corect ca atare (procentul căderilor identificate corect ca fiind căderi).

$$\text{Sensibilitate} = \frac{RP}{RP + FN} \quad (4.1)$$

Specificitatea (numită și rata reală negativă) măsoară proporția de negative reale identificate corect ca atare (procentul activităților diferite de căderi identificate corect).

$$\text{Specificitate} = \frac{RN}{RN + FP} \quad (4.2)$$

Folosind datele din tabelul 4.1 și formulele 4.1 și 4.2, am calculat sensibilitatea și specificitatea sistemul realizat.

$$\text{Sensibilitate} = \frac{101}{101 + 19} \times 100 = 84.1\% \quad (4.3)$$

$$\text{Specificitate} = \frac{93}{93 + 27} \times 100 = 77.5\% \quad (4.4)$$



CONCLUZII

În această lucrare s-a propus realizarea unui dispozitiv de detecție a căderilor pentru personalul din infrastructuri critice bazat pe transmisia Bluetooth și transmiterea unui mesaj în caz de urgență ce înglobează și locația subiectului. Mesajul este transmis prin intermediul sistemului GSM, iar localizarea este realizată folosind sistemul GPS. Aplicația finală pentru alertare a fost dezvoltată în mediul de programare MIT App Inventor 2.

Sistemul realizat prezintă următoarele avantaje: este un sistem ușor de utilizat, de dimensiuni și costuri reduse, rapid și portabil datorită conexiunii Bluetooth. Semnalarea la timp a căderilor este foarte importantă pentru sănătatea și recuperarea pacientului, iar transmisia wireless și sistemul GSM asigură acest lucru. De asemenea, toate valorile achiziționate sunt salvate în memoria telefonului, fiind accesibile și după încheierea activității de monitorizare.

Sistemul este limitat de sursa de alimentare, și anume de bateria externă, cât și de durata de funcționare a bateriei telefonului. Ambele necesită reîncărcarea la un anumit interval de timp. De asemenea, se dorește pe viitor îmbunătățirea sensibilității și specificității acestuia.

În concluzie, sistemul detectează căderile subiectului, afișează alerte și trimite mesaje în caz de urgență. Obiectivul inițial de dezvoltare a unui sistem de detecție a a căderilor bazat pe accelerometru și giroscop a fost îndeplinit în această lucrare.



Universitatea POLITEHNICA din București
FACULTATEA DE INGINERIE MEDICALĂ





BIBLIOGRAFIE

- [1] M. J. e. a. Gibson, "The prevention of falls in later life. A report of the Kellogg International Work Group on the Prevention of Falls by the Elderly," *Danish Medical Bulletin*, 34 Supplement, 1987.
- [2] N. Caporusso, I. Lasorsa, O. Rinaldi, and L. la Pietra, "A pervasive solution for risk awareness in the context of fall prevention," *Pervasive Computing Technologies for Healthcare*, 2009.
- [3] "<http://info.ergoscience.com/employer-blog/anatomy-of-slips-trips-and-falls>."
- [4] M. A. Tuma, J. R. Acerra, A. El-Menyar, H. Al-Thani, A. Al-Hassani, J. F. Recicar, W. A. Yazeedi, and K. I. Maull, "Epidemiology of workplace-related fall from height and cost of trauma care in Qatar," 2013.
- [5] E.-M. A. El-Faramawy A, Zarour A, Maull K, Riebe J, Kumar K, et al. , "Presentation and outcome of traumatic spinal fractures.," 2012.
- [6] L. YH, C. CY, and L. JL, "Gender and age distribution of occupational fatalities in Taiwan," 2008.
- [7] "Health and Safety Executive. Work-related injuries and ill health in construction: Injuries," 2009.
- [8] "Work-related injuries and fatalities involving a fall from height, Australia," 2013.
- [9] S. S, A. Reimers, R. Andersson, and L. Laflamme, "Falls and fall related injuries among the elderly: a survey of residential-care facilities in a Swedish municipality," *J. Community Health*, 2004.
- [10] G. M, "Prevalence, circumstances and consequences of falls in institutionalized elderly; a pilot study," 1991.
- [11] R. OP, S. Kivela, R. Honkanen, and P. Laippala, "Falls and lying helpless in the elderly," 1992.
- [12] K. DP, "Falls," 1991.
- [13] Nihseniorhealth, "About falls."
- [14] S. R. Lord, H. B. Menz, and C. Sherrington, "Home environment risk factors for falls in older people and the efficacy of home modifications," *Age Ageing*, 2006.
- [15] F. Eto, "Causes of Falls in the Elderly," 2001.
- [16] Nihseniorhealth, "Fall Proofing Your Home."
- [17] M. Yu, A. Rhuma, S. M. Naqvi, L. Wang, and J. Chambers, "A posture recognition based fall detection system for monitoring an elderly person in a smart home environment," 2012.
- [18] K. Ozcan, A. Mahabalagiri, M. Casares, and S. Velipasalar, "Automatic fall detection and activity classification by a wearable embedded smart camera.," 2013.
- [19] E. Kim, S. Helal, and D. Cook, "Human activity recognition and pattern discovery," 2010.
- [20] O. D. Lara and M. A. Labrador, "A survey on human activity recognition using wearable sensors," 2013.
- [21] G. RJ, N. Lum, M. Sande, B. Lo, and M. Katz, "Persons found in their homes helpless or dead," *N Engl J Med*, 1996.
- [22] Wild, D. U. S. Nayak, and B. Isaacs, "How dangerous are falls in old people at home?," *Br Med J (Clin Res Ed)*, 1981.
- [23] N. Noury, A. Fleury, P. Rumeau, A. K. Bourke, G. Ó. Laighin, V. Rialle, and J. E. Lundy, "Fall detection – Principles and Methods," 2007.
- [24] M. Mubashir, L. Shao, and L. Seed, "A survey on fall detection: Principles and approaches," *Neurocomputing*, vol. 100, pp. 144-152, 2013/01/16/ 2013.



- [25] J. T. Perry, S. Kellog, S. M. Vaidya, J. H. Youn, H. Ali, and H. Sharif, "Survey and evaluation of real-time fall detection approaches," in *2009 6th International Symposium on High Capacity Optical Networks and Enabling Technologies (HONET)*, 2009, pp. 158-164.
- [26] C. Rougier, J. Meunier, A. St-Arnaud, and J. Rousseau, "Robust video surveillance for fall detection based on human shape deformation," 2011.
- [27] S. G. Miaou, S. Pei-Hsu, and H. Chia-Yuan, "A Customized Human Fall Detection System Using Omni-Camera Images and Personal Information," in *1st Transdisciplinary Conference on Distributed Diagnosis and Home Healthcare, 2006. D2H2.*, 2006, pp. 39-42.
- [28] Z. Fu, T. Delbruck, P. Lichtsteiner, and E. Culurciello, "An Address-Event Fall Detector for Assisted Living Applications," *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems*, vol. 2, pp. 88-96, 2008.
- [29] G. Mastorakis and D. Makris, *Fall detection system using Kinect's infrared sensor* vol. 9, 2014.
- [30] R. Cucchiara, A. Prati, and R. Vezzani, *A Multi-Camera Vision System for Fall Detection and Alarm Generation* vol. 24, 2007.
- [31] K. M. Culhane, M. O'Connor, D. Lyons, and G. ÓLaighin, *Accelerometers in rehabilitation medicine for older adults* vol. 34, 2005.
- [32] "<http://www.linfo.org/daemon.html>."
- [33] K. S, "Biomechanics in ergonomics," 1999.
- [34] J. Dai, X. Bai, Z. Yang, Z. Shen, and D. Xuan, "Mobile Phone-Based Pervasive Fall Detection," 2010.
- [35] "The Best Fall Detection Sensors <http://www.toptenreviews.com/health/senior-care/best-fall-detection-sensors/>."
- [36] Mastrull and Diane, "Millennials successfully selling medical-alert devices for seniors," 2015.
- [37] "https://www.medicalguardian.com/products/."
- [38] "Arduino Nano 3.0 (ATMEGA328) <http://www.gravitech.us/arna30wiatp.html>."
- [39] "https://www.arduino.cc/en/Guide/ArduinoNano."
- [40] "https://store.arduino.cc/usa/arduino-nano."
- [41] "https://www.dfrobot.com/product-880.html."
- [42] S. G, A. F, A. F, and C. C, "Senzori biomedicali si instrumentatie, Ed. Politehnica Press, Bucuresti, ISBN 978-606-515-650-0," 2015.
- [43] A. F, S. G, A. F, E. B, C. C, and G. S, "Senzori biomedicali Indrumar de laborator, Ed. Politehnica Press, Bucuresti, ISBN 978-606-515-803-0," 2018.
- [44] "https://www.geekbuying.com/item/HC-06-Wireless-Bluetooth-UART-Module-Serial-Port-Transparent-Transmission-Slave-Bluetooth-Transceiver-Module-For-Arduino-345178.html?gclid=Cj0KCQjw7Z3VBRC-ARIsAEQifZRjCelbr6DiANBCFk-nZjoWRczoiKjR49WN6hbiihgq4A7VTpXw1oaAoYYEALw_wcB."
- [45] "https://searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/GSM."
- [46] F. J. Fahham, T. Field, and R. Periannan, "Cellular Communication Networks - GSM."
- [47] "U.S. Government Info: Civilians Can Use Military GPS Data," 2000.
- [48] S. Y and C. A, "Could a satellite-based navigation system (GPS) be used to assess the physical activity of individuals on earth," *European Journal of Clinical Nutrition*, 1997.
- [49] A. K. Bourke, J. V. O'Brien, and G. M. Lyons, "Evaluation of a threshold-based tri-axial accelerometer fall detection algorithm," 2006.
- [50] M. Kangas, A. Kontila, I. Winblad, and T. Jamsa, "Determination of simple thresholds for accelerometry-based parameters for fall detection," in *2007 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2007, pp. 1367-1370.



ANEXĂ 1

Glosar termeni

Termen	Descriere
GPS	<i>Sateliți pentru poziționare globală</i>
WiFi	<i>Wireless local area networking</i>
RAM	<i>Random Acces Memory</i>
FD	<i>Fall Detection</i>
FP	<i>Fall Prevention</i>
CPU	<i>Unitatea centrală de prelucrare</i>
DC	<i>Direct Current</i>
I/O	<i>Input/Output</i>
RAM	<i>Random-Access Memory</i>
SRAM	<i>Static Random-Access Memory</i>
EEPROM	<i>Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
6DOF	<i>6 Degrees Of Freedom</i>
VCC	<i>Voltage Common Collector</i>



ANEXĂ 2

Cod Arduino

```
#include <math.h>

// MPU-6050 Short Example Sketch
// By Arduino User JohnChi
// August 17, 2014
// Public Domain

#include<Wire.h>

const int MPU_addr=0x68; // I2C address of the MPU-6050
int16_t AcX,AcY,AcZ,Tmp,GyX,GyY,GyZ;

void setup(){
  Wire.begin();
  Wire.beginTransmission(MPU_addr);
  Wire.write(0x6B); // PWR_MGMT_1 register
  Wire.write(0); // set to zero (wakes up the MPU-6050)
  Wire.endTransmission(true);
  Serial.begin(9600);
}

void loop(){
  Wire.beginTransmission(MPU_addr);
  Wire.write(0x3B); // starting with register 0x3B (ACCEL_XOUT_H)
  Wire.endTransmission(false);
  Wire.requestFrom(MPU_addr,14,true); // request a total of 14 registers
  AcX=Wire.read()<<8|Wire.read(); // 0x3B (ACCEL_XOUT_H) & 0x3C (ACCEL_XOUT_L)
  AcY=Wire.read()<<8|Wire.read(); // 0x3D (ACCEL_YOUT_H) & 0x3E (ACCEL_YOUT_L)
  AcZ=Wire.read()<<8|Wire.read(); // 0x3F (ACCEL_ZOUT_H) & 0x40 (ACCEL_ZOUT_L)
```



```
Tmp=Wire.read()<<8|Wire.read(); // 0x41 (TEMP_OUT_H) & 0x42 (TEMP_OUT_L)
GyX=Wire.read()<<8|Wire.read(); // 0x43 (GYRO_XOUT_H) & 0x44 (GYRO_XOUT_L)
GyY=Wire.read()<<8|Wire.read(); // 0x45 (GYRO_YOUT_H) & 0x46 (GYRO_YOUT_L)
GyZ=Wire.read()<<8|Wire.read(); // 0x47 (GYRO_ZOUT_H) & 0x48 (GYRO_ZOUT_L)
Serial.print("Acc=");
Serial.print(sqrt(pow((AcX/16384.0),2)+pow((AcY/16384.0),2)+pow((AcZ/16384.0),2)));
Serial.print("|");
Serial.print("Gyr=");
Serial.print(sqrt(pow((GyX/16.4),2)+pow((GyY/16.4),2)+pow((GyZ/16.4),2)));
Serial.print("|");
Serial.print("Theta=");
Serial.println((acos(AcZ/16384.0))*57296/1000);
delay(250);
}
```